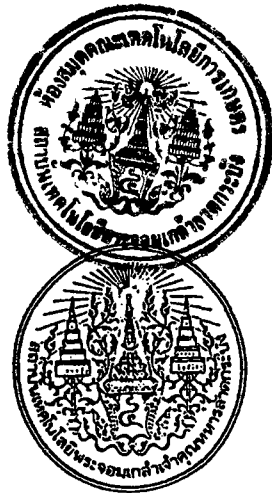


1529 *



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาสภาวะการดัดแปรที่เหมาะสมในการดัดแปรแป้งโดยวิธีครอสลิงกิง
(Studies of optimum condition to produce Crosslinking Starch)

โดย

นาย ภูมิ สมอาหาร
นาย พินิจ เสียงเสนาะ

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

อ.วรวิทย์ อารีกุล 24.1.31/29 อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ
(อ.วรวิทย์ อารีกุล)

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

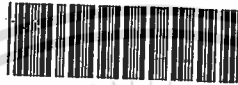
พ.ศ.ดร.ระศิพร หาเรือนกิจ
(หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร)
หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 30 เดือน ก.พ. พ.ศ. 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รฟ.
ธ ๒๒47
๒๕๓๘

การศึกษาสภาวะการตัดแปรที่เหมาะสมในการตัดแปรแป้งโดยวิธีครอสลิงกิง
(Studies of optimum condition to produce Crosslinking Starch)



T096604

นาย ภูมิ สมหาร รหัส 35404276
นาย พินิจ เสียงเสนาะ รหัส 35404234

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ป.พ.

พ.ศ.2539

๑๖๖4 11

2539

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....

รับ เดือน ปี.....

๑๖๖๐๔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ ซึ่งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พินิจ เสียงเสนาะ และ ภูมิ สมาหาร . 2539 . : การศึกษาสภาวะการดัดแปรที่เหมาะสมในการดัดแปรแป้งโดยวิธีครอสลิงกิง (Studies of optimum condition to produce Closslinking starch) . ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง . อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์วรวิทย์ อารีกุล , 47 หน้า.

การทดลองใช้ตัวอย่างแป้งมันสำปะหลัง 2 ตัวอย่าง แป้งข้าวโพด 1 ตัวอย่าง นำมาดัดแปรเป็นแป้งครอสลิงค์สตาร์ช และศึกษาผลของความเข้มข้นของ Sodium hexametaphosphate ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$) อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการผลิตครอสลิงค์สตาร์ช พบว่าปริมาณฟอสเฟตในแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านกรรมวิธีการดัดแปรจะมีปริมาณฟอสเฟตสูงขึ้น และแปรผันกับความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิและเวลา ส่วนการละลายรวมทั้งการพองตัวของแป้งดัดแปรที่มีแนวโน้มลดลง โดยจะแปรผกผันกับความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิ และเวลาจากผลการทดลอง เมื่อใช้ Sodium hexametaphosphate ความเข้มข้น 0.2 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะให้ครอสลิงกิงสตาร์ช ที่มีความหนืดสูงสุด คือ มีความหนืด 1,850 หน่วยบราเบนเดอร์ อัตราการพองตัว 20.51 เปอร์เซ็นต์ อัตราการละลาย 4.36 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณฟอสเฟต 0.0147 เปอร์เซ็นต์ และการใช้วิธีการดัดแปรแป้งครอสลิงกิงโดยวิธีการดังกล่าวไม่เหมาะกับการดัดแปรแป้งข้าวโพด

การทดลองนำแป้งครอสลิงกิงสตาร์ชไปใช้ในการผลิตเต้าส่วนข้าวโพดกระป๋อง ภายหลังจากที่ให้ความร้อน 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที พบว่า เต้าส่วนข้าวโพดที่ใช้แป้งครอสลิงกิงสตาร์ช 5 เปอร์เซ็นต์ จะมีความหนืดสูงกว่า และมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นเดียวกัน

พินิจ เสียงเสนาะ

ภูมิ สมาหาร

ลายมือชื่อนักศึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา

วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานปัญหาพิเศษฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ อ.วริพัทธ์ย์ อารีกุล เป็นอย่างสูง ที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไข ปัญหาพิเศษฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณ อ.งามชื่น คงเสรี และนักวิทยาศาสตร์ของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ที่ให้ความช่วยเหลือในการศึกษาปัญหาพิเศษนี้เป็นอย่างดียิ่งตลอดมา ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานีที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสารเคมีต่างๆ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในระหว่างการศึกษาปฏิบัติงาน รวมทั้ง ขอขอบคุณเพื่อนๆน้องๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจอย่างดียิ่งจนได้รับความสำเร็จ

ภูมิ สมหาหาร

พินิจ เสียงเสนาะ

22 มีนาคม 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	2
2.1 แ bìงและคุณสมบัติที่สำคัญของแ bìง	2
2.2 การดัดแปรโดยวิธีครอบสลิงกิง	8
3. อุปกรณ์และวิธีทดลอง	18
3.1 วัดฤติบ	18
3.2 อุปกรณ์ในการทดลอง	18
3.3 สารเคมี	18
3.4 วิธีกรทดลอง	19
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	24
4.1 การหาความชื้นของแ bìงที่ใช้เป็นวัดฤติบในการดัดแปรแ bìง	24
4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟต	24
4.3 การหาความสามารถในการละลายและการพองตัวของเม็ดแ bìง	26
4.4 การวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดโดยเครื่องบราเวนเดอร์อะมัยโลกราฟ	31
5. สรุปผลการทดลอง	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก	40
ประวัติผู้เขียน	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตารางและสารบัญภาพ

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 แสดงขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งจากพืชชนิดต่างๆ	2
2 แสดงความแตกต่างของอะมัยโลสกับอะมัยโลเพคติน	3
3 แสดงปริมาณอะมัยโลสและอะมัยโลเพคตินในพืชชนิดต่างๆ	4
4 แสดงอุณหภูมิขณะเกิดเพสต์ ความหนืดสูงสุดและกำลังการพองตัวของแป้งชนิดต่างๆ	15
5 แสดงปริมาณความชื้นของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดก่อนการดัดแปร	24
6 แสดงปริมาณฟอสเฟตของแป้งที่ผ่านการดัดแปรเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร	25
7 แสดงความหนืดของตัวอย่างแป้งที่วัดโดยเครื่อง Brabender Viscoamylograph	31
8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงในกราฟมาตรฐาน	41

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แสดงผลของน้ำตาลชนิดต่างๆต่อการเกิดเจลในแป้งข้าวโพด	6
2 แสดงผลของพีเอชต่อการเกิดเจลของแป้ง	7
3 แสดงสมการการเกิดปฏิกิริยาการดัดแปรแป้งแบบครอสลิงกิงโดยใช้ฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์และสารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต	9
4 แสดงสูตรโครงสร้างของโมโนสตาร์ชฟอสเฟตและไดสตาร์ชฟอสเฟต	9
5 แสดงสมการการเกิดปฏิกิริยาการดัดแปรแป้งแบบครอสลิงกิงโดยใช้สารอีพิกคลอโรไฮดริน	11
6 แสดงโครงสร้างของเม็ดแป้งก่อนและหลังการพองตัว	13
7 แสดงอะมัยโลแกรมของแป้งดิบชนิดต่างๆ	14
8 แสดงอะมัยโลแกรมของแป้งข้าวโพดที่ดัดแปรแบบครอสลิงกิงโดยใช้สารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ	16
9 แสดงกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งมันสำปะหลังตราปลาสีดาว	28
10 แสดงกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งมันสำปะหลังตราจิ้งจอก	29
11 แสดงร้อยละการละลายของแป้งข้าวโพด	30
12 แสดงอะมัยโลแกรมของแป้งมันสำปะหลังกับแป้งดัดแปร A1	33

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
13 แสดงอะมียโลแกรมของแป้งมันสำปะหลังกับแป้งดัดแปร A3	33
14 แสดงอะมียโลแกรมของแป้งมันสำปะหลังกับแป้งดัดแปร A4	34
15 แสดงอะมียโลแกรมของแป้งมันสำปะหลังกับแป้งดัดแปร A5 และ A6	35
16 แสดงอะมียโลแกรมของแป้งมันสำปะหลังกับแป้งดัดแปร A7 และ A8	36
17 แสดงอะมียโลแกรมของแป้งข้าวโพดกับแป้งดัดแปร C3 และ C7	37
18 แสดงกราฟมาตรฐานปริมาณฟอสฟอรัส	42
19 แสดงภาพเครื่องบราเบนเดอร์อะมียโลกราฟ	44
20 แสดงภาพปุ่มควบคุมเครื่องบราเบนเดอร์อะมียโลกราฟ	45
21 แสดงภาพเครื่องบดแป้ง	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

วิธีการดัดแปรแป้งแบบครอสลิงกิง เป็นวิธีการดัดแปรโดยใช้สารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ (Multifunctional group) ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลบนโมเลกุลของแป้งมากกว่า 1 หมู่ และเกิดพันธะอีเทอร์หรือพันธะเอสเทอร์ที่เป็นพันธะโควาเลนต์เชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลแป้ง สารเคมีที่นิยมใช้ในการดัดแปรแป้งโดยวิธีครอสลิงกิงในทางการค้าได้แก่ ฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ (POCl_3) และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$) เป็นต้น แป้งดัดแปรที่ได้จากวิธีนี้เรียกว่า Distarch phosphate ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาครอสลิงกิง ได้แก่ ปริมาณสารเคมีที่ใช้ พีเอช ปริมาณเกลือ อุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารละลาย (Rutenberg และ Solarek, 1984)

แป้งดัดแปรประเภทครอสลิงกิงจะใช้แรงยึดเหนี่ยวของพันธะไฮโดรเจนทำหน้าที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งให้แข็งแรงยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังเปลี่ยนแปลงการเกิดเจลลิต์ในเซชัน และคุณสมบัติในการพองตัวของอนุภาคเม็ดแป้ง กล่าวคือเม็ดแป้งจะเกิดเจลที่อุณหภูมิสูงกว่าเดิมและสามารถรักษาความหนืดให้คงอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูง

ปัจจุบันแป้งดัดแปรโดยวิธีครอสลิงกิงนี้สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ได้แก่ น้ำสลัด ซอส ชุป อาหารเด็กอ่อน ตลอดจนอาหารกระป๋องต่างๆ เนื่องจากคุณสมบัติที่คงทนต่อสภาวะแรงเฉือน การทนต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงและการทนต่อความเป็นกรดซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะช่วยรักษาความหนืดของผลิตภัณฑ์เอาไว้ได้ดี

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

1. แป้งและคุณสมบัติที่สำคัญของแป้ง

แป้งเป็นผลิตภัณฑ์จากธัญพืชที่สำคัญได้จาก ข้าวเจ้า ข้าวสาลี มันสำปะหลัง ข้าวเหนียว และมันฝรั่ง เป็นต้น โดยแป้งแต่ละชนิดจะมีวิธีการในการผลิตแตกต่างกัน ทำให้ได้แป้งดิบที่มีคุณสมบัติทางด้านเคมี กายภาพ และทางด้านคุณค่าทางโภชนาการต่างกันซึ่งแป้งเหล่านี้จัดเป็นกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆกัน ทำให้มีการนำไปใช้ประโยชน์หลากหลาย เช่น ทำเป็นสารให้ความข้นในผลิตภัณฑ์อาหาร ทำกาว ทำหมึกสำหรับอุตสาหกรรมทอผ้า เป็นต้น

ในธรรมชาติสตาร์ชจะอยู่ในรูปเม็ดแป้ง(Starch Granules) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 2-150 ไมครอนและมีรูปร่างแตกต่างกันขึ้นกับชนิดแป้ง(ตารางที่ 1) เช่น สตาร์ชมันสำปะหลังมีรูปร่างทรงกลม(Round)ขนาดประมาณ 5-25 ไมครอน สตาร์ชข้าวโพดมีรูปร่างหลายแบบทั้งทรงกลมและหลายเหลี่ยมขนาดประมาณ 4-26 ไมครอน เป็นต้น

ตารางที่ 1 แสดงขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งจากพืชชนิดต่างๆ

ชนิดของพืช	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เม็ดแป้ง		รูปร่างลักษณะ
	ขนาด	ขนาด	
	(ไมครอน)	(ไมครอน)	
ข้าวโพด	4-26	15	ทรงกลมและหลายเหลี่ยม
ข้าวฟ่าง	6-30	15	ทรงกลมและหลายเหลี่ยม
ข้าวสาลี	2-38	20-22	ขนาดเล็กรูปร่างทรงกลม
มันฝรั่ง	15-100	30	รูปไข่ภายในแป้งซ้อนกันเป็นชั้นๆ
มันเทศ	15-55	25-50	หลายเหลี่ยมส่วนใหญ่เม็ดเล็ก
มันสำปะหลัง	5-25	20	ทรงกลมหรือรูปไข่มีด้านหนึ่งเว้า
ข้าวเหนียว	2-7	-	รูปร่างหลายเหลี่ยม

ที่มา: ปราณ (2534)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เม็ดแป้งมีองค์ประกอบที่สำคัญเป็นโพลีแซคคาไรด์ 2 ชนิดคือ อะมัยโลส(Amylose) และ อะมัยโลเพคติน (Amylopectin) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมพันธะของโมเลกุลของกลูโคสเป็นสายยาวหรือ โพลีเมอร์ อะมัยโลสในแป้งมีประมาณ 15-25 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นเป็นอะมัยโลเพคติน ซึ่งจะมีความ แตกต่างกันระหว่างอะมัยโลสและอะมัยโลเพคตินแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงความแตกต่างของอะมัยโลสกับอะมัยโลเพคติน

ลักษณะ	อะมัยโลส	อะมัยโลเพคติน
พันธะในโครงสร้าง	เชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงยาวด้วย พันธะ 1,4-glucosidic	เกาะกันเป็นกิ่งก้านสาขาด้วย พันธะ 1,4 และ 1,6 glucosidic
จำนวนกลูโคส	ประกอบด้วยกลูโคส 250-2000 หน่วย	แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
การละลายน้ำ	ละลายน้ำได้มากกว่า	ละลายน้ำได้น้อยกว่า
การให้สีกับไอโอดีน	ให้สีน้ำเงินกับไอโอดีน	ให้สีม่วงแดงหรือน้ำตาลกับไอโอดีน
ความหนืดเมื่อได้รับ ความร้อน	เมื่อต้มจะหนืดน้อยกว่า	เมื่อต้มความหนืดจะมากกว่า
การเกิดเจล	ต้มแล้วปล่อยให้เย็นจะเกิดเจล	และใส ไม่เกิดเจล

ที่มา: วรรณข (2535)

อะมัยโลสและอะมัยโลเพคตินจะเรียงตัวกันอย่างมีระบบแบบแผนในเม็ดแป้ง ภายในเม็ดแป้ง จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนผลึกและส่วนที่ไม่เป็นผลึกที่เรียกว่า ออสติฐานซึ่งจัดเรียงสลับกัน ทำให้เกิดการหักเหสองแนวเป็นเงากากบาทเมื่อส่องผ่านแสงโพลาไรซ์(Polarized light) เรียกว่า ไบรีฟริงเจนซ์(Birefringence) จากการศึกษาทำให้ทราบว่า อะมัยโลเพคตินเป็นตัวการสำคัญในการ เรียงตัวของผลึกและส่วนที่ไม่เป็นผลึกในเม็ดแป้ง โดยที่อะมัยโลเพคตินขนาดใหญ่ 1 โมเลกุล จะอยู่ใน ทั้งสองส่วน ซึ่งส่วนผลึกนั้นเกิดจากส่วนที่เป็นเส้นตรงในโมเลกุล อะมัยโลเพคตินที่เรียงต่อกันและเกิด พันธะไฮโดรเจนระหว่างสายในโมเลกุลและต่างโมเลกุลเป็นจำนวนมาก แต่จำนวนพันธะไฮโดรเจนจะ ลดลงเรื่อยๆจากส่วนผลึกมาเป็นส่วนที่ไม่เป็นผลึก ซึ่งเมื่อตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่า ส่วนนี้เป็นส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาของอะมัยโลเพคติน ส่วนอะมัยโลสจะแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของ อะมัยโลเพคตินทั้งสองส่วนนี้(Rutenberg,1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชชนิดต่างๆจะมีอัตราส่วนอะมัยโลสต่ออะมัยโลเพคตินแตกต่างกันซึ่งอัตราส่วนนี้จะมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง(Swelling) ความหนืด(Viscosity) ความใสของเพสต์(Paste) และการเกิดรีโทรกราเดชัน(Retrogradation)เมื่อตั้งทิ้งไว้ให้เย็น(วรรณภา,2535)

แป้งของพืชแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เพราะมีปริมาณอะมัยโลสและอะมัยโลเพคตินในปริมาณไม่เท่ากัน ซึ่งแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณอะมัยโลสและอะมัยโลเพคตินในพืชชนิดต่างๆ

Satrch source	Amylose content(%)	Amylopectin content(%)
Maize	26	74
Rice	17	83
Sorghum	26	74
Potato	24	76
Sago	27	73
Waxy maize	1	99
Waxy sorghum	1	99
Tapioca	17	83
Wheat	25	74

ที่มา; วรรณภา (2535)

1.1 การเกิดเจลวาทินเซชัน(Gelatinization)

เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจดูการพองตัวของเม็ดแป้ง จะพบการพองตัวเกิดขึ้นในขณะที่มีการให้ความร้อน เนื่องจากพลังงานจลน์ที่ล้อมรอบเม็ดแป้งมีค่ามากพอที่จะทำลายพันธะไฮโดรเจนที่ยึดระหว่างโมเลกุลสตาร์ช ทำให้น้ำเริ่มซึมเข้าไปในเม็ดแป้งบริเวณโมเลกุลสตาร์ชที่มีความหนาแน่นน้อยก่อน กลไกในการเกิดเจลจะมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสตาร์ชเป็นลักษณะคล้ายตาข่ายที่จับตัวกันอย่างหลวมๆแต่โครงสร้างของเม็ดแป้งยังเหมือนเดิม การดูดน้ำมากหรือน้อยของเม็ดแป้งนั้นขึ้นกับชนิดพืช ตามปกติแป้งจะมีสีขาวขุ่นแต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ร้อนขึ้นอย่างช้าๆน้ำแป้งจะใสขึ้นเรื่อยๆ และมีความข้นเหนียวเพิ่มขึ้น ความใสของเม็ดแป้งสังเกตได้จากลักษณะโปร่งแสงที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากดัชนีการหักเหแสง(Refractive index) ของเม็ดแป้งเข้าใกล้ธรรมชาติการหักเหของน้ำ เมื่อให้ความร้อนต่อไปเม็ดแป้งจะพองตัวมากขึ้นเกิดการเบียดกันของเม็ดแป้งและมีแรงเสียดทานหลังจากที่พ้นจุด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดสูงสุด(Peak viscosity) แล้วเมื่อดึงจะแตกออกทำให้อะมัยโลสหลุดออกมาจากเม็ดแป้ง ซึ่งในช่วงดังกล่าวเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบว่าส่วนใหญ่เม็ดแป้งจะแตกออกและมีการกระจายตัวห่างกันไม่ได้เกาะกันในรูปแบบเม็ดแป้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของแป้ง

Hodge และ Osman (1976) ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของแป้งที่สำคัญๆดังนี้

1) อัตราส่วนระหว่างแป้งและของเหลว

ความหนืดของแป้งสูงขณะที่ร้อนและความเหนียวของแป้งสูงขณะที่เย็นแล้ว ขึ้นกับปัจจัยหลายชนิด เป็นต้นว่า อัตราส่วนระหว่างแป้งกับน้ำ ถ้ามีปริมาณแป้งมากจะมีลักษณะข้นเหนียว ดังนั้นจะเห็นว่าปริมาณแป้งและน้ำในเม็ดแป้งมีความสำคัญโดยเฉพาะในการทำพุดดิ้ง ซอสหรือน้ำเกรวี่ และจำเป็นต้องใช้ปริมาณน้ำมากเพียงพอที่จะทำให้แป้งเป็นเจลที่สมบูรณ์ได้

2) น้ำตาล

น้ำตาลสามารถละลายในน้ำได้ ส่วนแป้งก็มีคุณสมบัติไฮโดรฟิลิกเช่นกัน ดังนั้นเมื่อเติมน้ำตาลในน้ำแป้งจะมีผลทำให้การพองตัวของแป้งน้อยลง การใช้น้ำตาลความเข้มข้นต่ำๆจะมีผลในการยับยั้งการพองตัวของแป้งได้ไม่ชัดเจน และความหนืดของน้ำแป้งจะเพิ่มเล็กน้อย แต่เมื่อใช้น้ำตาลความเข้มข้นสูงจะสามารถยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งและมีผลทำให้ความหนืดของแป้งลดลงดังแสดงในภาพที่ 1

3) ค่าพีเอช

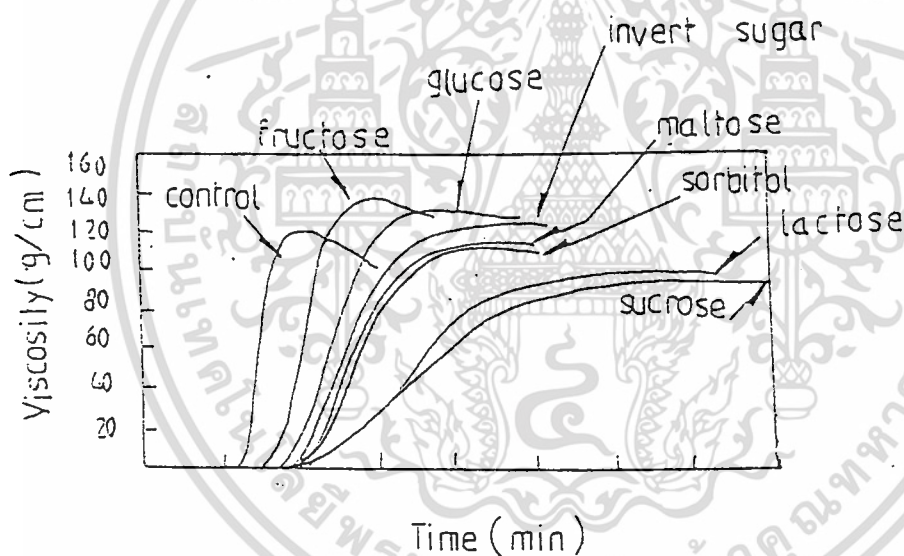
อาหารส่วนใหญ่มีค่าพีเอชในช่วง 4-7 ซึ่งความเป็นกรดในช่วงนี้จะมีผลต่ออัตราการพองตัวและความหนืดของแป้งเล็กน้อย(ภาพที่ 2) ส่วนการศึกษาผลของค่าพีเอชต่ออัตราการพองตัวของเม็ดแป้งนั้นได้รับความสนใจน้อยกว่าผลอันเนื่องมาจากกรด ตัวอย่างอาหารที่มีความเป็นกรดได้แก่ น้ำสลัด ผลไม้ที่ทำเป็นไส้พาย และซูปมะเขือเทศ เป็นต้น นอกจากนี้ความเป็นกรดยังช่วยเร่งการพองตัวของเม็ดแป้งอย่างรวดเร็ว ตลอดจนมีผลต่อการแตกตัวของเม็ดแป้งทำให้ความหนืดของน้ำแป้งลดลงอย่างรวดเร็ว ลักษณะเช่นนี้พบเสมอในการเก็บรักษาอาหารประเภทกรด ในอุตสาหกรรมจึงได้มีการนำแป้งดัดแปรไปใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

4) ไมเลกุลของแป้งในอาหาร จะไม่มีหมู่ไอออน(lonizable group) ที่สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไอออนในเซชันได้เหมือนโปรตีน ดังนั้นเกลือจึงมีผลต่อแป้งน้อยกว่าโปรตีน ยกเว้นแป้งมันฝรั่งที่มีหมู่ไฮดรอกซิลของอะมัยโลเพคตินสามารถถูกแทนที่ด้วย Orthophosphate group ในปฏิกิริยาการเกิดเอสเทอร์ได้ อย่างไรก็ตามอาหารที่มีโปรตีนนั้น ผลของเกลือต่อโปรตีนจะบดบังผลของเกลือที่มีต่อแป้ง ปัจจุบันมีการศึกษาผลของไอออนชนิดต่างๆที่มีต่อแป้งแต่ผลการศึกษาไม่สามารถหาข้อสรุปที่เด่นชัด

ได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ไขมัน

ไขมันมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้งและความหนืดของเม็ดแป้งได้หรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับว่าไขมันดังกล่าวเป็นไขมันอย่างเดี่ยวหรือเป็นไขมันที่ผสมอิมัลซิไฟเออร์ ทั้งนี้เนื่องจากผลที่เกิดจากไขมันทั้งสองชนิดให้ผลตรงข้ามกัน ไขมันธรรมชาติซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ชนิด Aliphatic chain (C16-C18) เป็นส่วนใหญ่ และมีค่าไอโอดีนระหว่าง 38-132 จะมีผลต่อความหนืดแป้งได้คล้ายๆกัน ไขมันมีผลต่ออุณหภูมิของการเกิดความหนืดสูงสุด (Maximum viscosity) เช่น แป้งข้าวโพดเข้มข้น 6 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติจะมีความหนืดของเจลสูงสุดที่อุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส เมื่อไขมันผสมอยู่ 9-12 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิดังกล่าวลดลงเป็น 82 องศาเซลเซียส

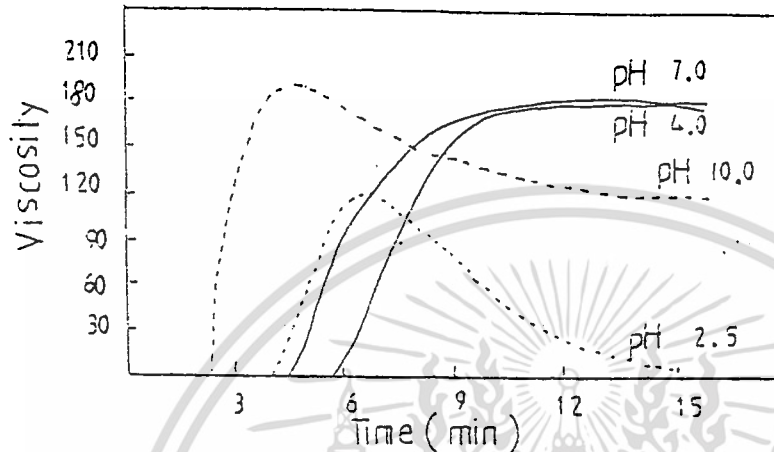


ภาพที่ 1 แสดงผลของน้ำตาลชนิดต่างๆต่อการเกิดเจลในแป้งข้าวโพด(ความเข้มข้น 5%) โดยวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Viscometer

ที่มา; Hodge and Osman (1976)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cornstarch cooked in water
to 90 °C (water - starch ratio.: 20)



ภาพที่ 2 แสดงผลของพีเอชต่อการเกิดเจลของแป้ง
ที่มา; Hodge and Osman (1976)

1.2 การเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation)

โมเลกุลอะมัยโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้งแล้วนั้น จะแขวนลอยในน้ำได้ตลอดเวลาที่มีน้ำร้อนล้อมรอบอยู่ เมื่อเพสต์(Paste)เย็นลง โมเลกุลอะมัยโลสจะเกิดการเกาะกันเองทำให้เกิดโครงสร้างตาข่าย(Network) มีผลให้เม็ดแป้งที่กระจายตัวอยู่เข้าใกล้กันยิ่งขึ้นและความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "รีโทรกราเดชัน" ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในขณะที่เพสต์เย็นตัวลง หรืออาจเรียกอีกอย่างว่าหนึ่งว่าการเกิด Recrystallization ของแป้ง

จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นเพียงลักษณะทั่วไปของแป้งดิบ แต่ปัจจุบันนี้มีการพัฒนาเทคโนโลยีทำให้เกิดแป้งชนิดใหม่ที่เรียกว่า "แป้งดัดแปร" (Modified starch) ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นเฉพาะตัวและแตกต่างกันตามแป้งดิบที่นำมาทำ โดยแป้งดัดแปรสามารถแบ่งตามลักษณะการดัดแปรได้เป็น 3 แบบ คือ

-การดัดแปรโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณอะมัยโลสหรืออะมัยโลเพคติน

-การดัดแปรโดยวิธีทางกายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

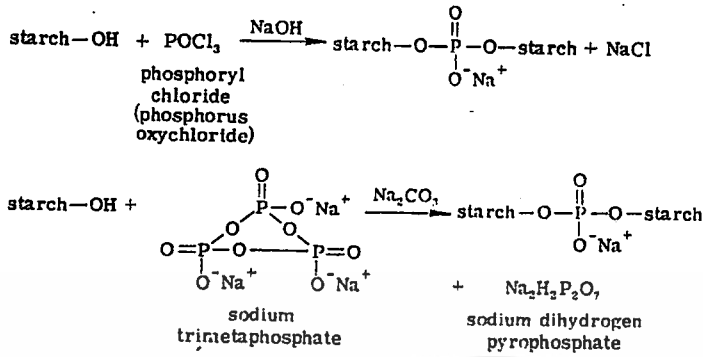
-การดัดแปรโดยวิธีทางเคมี

ซึ่งในขั้นตอนการทดลองทำแป้งดัดแปรนั้น พบว่าควรจะใช้วิธีทางกายภาพและทางเคมีทั้งนี้ เนื่องจากอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้สามารถหาได้ง่ายกว่าวิธีแรก อีกทั้งขั้นตอนไม่ยุ่งยากนัก แป้งดัดแปรประเภทครอสลิงค์สตาร์ชเป็นแป้งดัดแปรชนิดหนึ่งที่ได้จากการดัดแปรโดยวิธีการทางเคมี ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างจากแป้งดิบหลายประการได้แก่ การทนความร้อน การทนต่อแรงเฉือน การทนกรด และสามารถควบคุมอัตราการเจลาติไนซ์ได้ง่าย นอกจากนี้ยังนำไปดัดแปรร่วมกับวิธีอื่นทำให้ได้แป้งดัดแปรที่มีคุณสมบัติแตกต่างออกไปอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ล้วนแต่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารที่ใช้เครื่องจักรในการผลิตเป็นหลัก

2. การดัดแปรโดยวิธีครอสลิงกิง

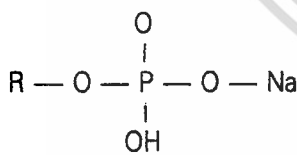
ครอสลิงกิงสตาร์ช เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ (Multifunctional Reagent) โดยจัดเป็นปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Esterification) หรืออีเทอร์ริฟิเคชัน (Etherification) เป็นการดัดแปรแป้งให้เกิดเป็นอนุพันธขึ้นกับชนิดของสารเคมีที่ใช้ สารเคมีที่ใช้จะสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งได้มากกว่า 1 หมู่ ทำให้เกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ในลักษณะพันธะเชื่อมข้าม (Crosslink หรือ Intermolecular Bridge) ขึ้นระหว่างโมเลกุลของแป้ง ซึ่งจะช่วยให้เสริมพันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งให้แข็งแรงยิ่งขึ้น อีกทั้งยังช่วยยึดซับสเตรทให้ติดแน่นกับเม็ดแป้ง และทำให้น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลช่วยลดการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งดัดแปรที่ได้ทนต่อสภาวะความเป็นกรด ความร้อนและสภาพที่มีแรงเฉือนจากเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหารซึ่งสภาวะเหล่านี้จะก่อให้เกิดการแตกหักของเม็ดแป้ง และสภาวะนี้พบได้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด สารเคมีที่นิยมใช้ในการดัดแปรโดยวิธีครอสลิงกิงคือ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตและฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ แป้งดัดแปรที่ได้เรียกว่า ไดสตาร์ชฟอสเฟต (Distarch Phosphate) สารเคมีที่ทำให้เกิดครอสลิงกิงบางที่เรียกว่า Inhibiting reagent โดยปกติการดัดแปรโดยวิธีนี้จะใช้สารเคมีในปริมาณน้อยมากคือประมาณ 0.05-0.3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแป้ง แป้งที่มีความหนืดมากแสดงว่าเกิดการพองตัวได้ดีระหว่างเจลาติไนเซชัน และอัตราการเกิดเจลาติไนซ์จะสัมพันธ์กับจำนวนการเกิดครอสลิงกิงในแป้ง ซึ่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันหรืออีเทอร์ริฟิเคชันจะเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง โดยปฏิกิริยาการดัดแปรแป้งโดยใช้ฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ และโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต เป็นปฏิกิริยาแบบเอสเทอร์ริฟิเคชันจะเป็นดังภาพที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

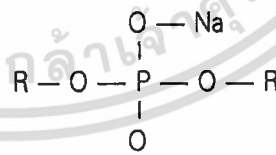


ภาพที่ 3 แสดงสมการการเกิดปฏิกิริยาการดัดแปรแป้งแบบครอสลิงกิงโดยใช้ฟอสฟอรัสออกซีคลอไรด์ และสารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต
ที่มา; Rutenberg (1984)

โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตและโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตเป็นสารประกอบพวกไซคลิกโพลีฟอสเฟต(Cyclic Polyphosphate) เป็นเกลือที่สามารถละลายน้ำได้ดี ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค จึงนิยมนำมาใช้ในการดัดแปรแป้งแบบครอสลิงกิงสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร แป้งครอสลิงกิงหรือ ไดสตาร์ชฟอสเฟตนี้มีสูตรโครงสร้างอย่างง่ายแสดงในภาพที่ 4 ดังนี้



monostarch phosphate



distarch phosphate

ภาพที่ 4 แสดงสูตรโครงสร้างของโมโนสตาร์ชฟอสเฟตและไดสตาร์ชฟอสเฟต

ที่มา; Kerr (1950)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kerr และ Cleveland(1957) ได้ทดลองพัฒนาการใช้เกลือโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตที่ละลายได้ ในการตัดแปรแป้งวีครอสลิงกิง โดยเตรียมแป้งข้าวโพดที่มีความชื้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 180 กรัม ใส่ลงในสารละลายแล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตในน้ำ ที่มีค่าพีเอชเป็น 11.0 ที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทำปฏิกิริยา 1-2 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาแล้วจึงปรับพีเอชให้เป็นกลาง ด้วยกรดเจือจาง จากนั้นนำแป้งตัดแปรที่ได้นำมาล้างและอบให้แห้ง กระบวนการดังกล่าวสามารถใช้ได้กับแป้งชนิดอื่นๆได้ เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง แป้งข้าวโพด หรือแป้งตัดแปร ชนิดต่างๆ เช่น สตาร์ชเอสเทอร์ สตาร์ชอีเทอร์ หรือ ออกซิไดซ์สตาร์ช

ต่อมา Kite(1971) ได้ทำการศึกษาถึงผลของเกลือโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตในช่วงความเข้มข้น 0.025-0.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งข้าวฟ่างแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งดิบและแป้งตัดแปร พบว่าแป้งข้าวฟ่างที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปรจะเกิดเจลอย่างรวดเร็วและมีความหนืดสูงสุด แต่ความหนืดจะลดลงเมื่อให้ความร้อนต่อไปเรื่อยๆ ส่วนแป้งตัดแปรจะมีอุณหภูมิเจลต์ในเซชันสูงกว่า และสามารถรักษาความหนืดไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต 0.02 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งแห้งจะมีความหนืดมากที่สุดและมีเสถียรภาพของความหนืดมากที่สุด และในการศึกษาผลของการตัดแปรแป้งข้าวโพดจะให้ผลสอดคล้องกัน แต่ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต 0.01 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแป้งแห้ง จึงจะให้ผลดีที่สุด

Kerr และ Cleveland(1957) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาครอสลิงกิงได้แก่ ปริมาณสาร พีเอช ปริมาณเกลือ อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยาโดยปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสาร โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต จะเกิดอย่างมีประสิทธิภาพที่พีเอช 11.0 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ในการปรับพีเอช ถ้าใช้ปริมาณโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต 0.03 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแป้งแห้ง อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พีเอช 11.0 เวลาในการทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง จะได้แป้งตัดแปรที่ไม่เป็นเจลในน้ำเดือด จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้นถ้าอุณหภูมิ พีเอช และปริมาณสารเพิ่มขึ้น ถ้าใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50 องศาเซลเซียส แต่ถ้าใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาและพีเอชเท่าเดิม ต้องใช้ปริมาณสารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตเพิ่มขึ้น การใช้เกลือในรูปของโซเดียมอ็อกซิไดซ์ได้จากโซเดียมคลอไรด์หรือโซเดียมคาร์บอเนต จะช่วยให้การพองตัวของเม็ดแป้งในสภาพต่างระหว่างการผลิต เป็นการลดการเกิดการเจลาติไนเซชันของแป้งในสภาพที่มีความเข้มข้นของต่างสูงในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาครอสลิงกิง(Knight, 1969)

Maxwell(1978)ได้ศึกษาการเตรียมแป้งครอสลิงกิงโดยการเติมสารเคมีลงในสารละลายแป้งที่ อุณหภูมิ 20-50 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ และนำมาทำให้แห้งที่พีเอชประมาณ 8-12 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาควคุมได้ง่ายขึ้น โดยช่วยให้การดูดน้ำของสารละลายข้างทำให้ สารละลายเข้าไปในเม็ดแป้งอย่างช้าๆและทั่วถึงมากขึ้น และเมื่อเติมฟอสฟอรัสออกไซด์คลอไรด์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 คุณสมบัติของแป้งครอสลิงค์

1) คุณสมบัติทางกายภาพ

1.1) ลักษณะของเม็ดแป้ง การดัดแปรแบบครอสลิงกิ้งนั้นจะไม่มีผลต่อลักษณะของเม็ดแป้ง เมื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่อุณหภูมิห้อง(Chabot,1976) เมื่อให้ความร้อนในสภาพที่ชื้นหรือในสภาพที่สามารถทำลายเม็ดแป้งได้ จึงจะพบความแตกต่างระหว่างเม็ดแป้งที่ดัดแปรกับเม็ดแป้งดิบที่เกิดขึ้น เช่น สภาพที่มีแรงเฉือนจากเครื่องมือ สภาพเป็นกรด เม็ดแป้งที่ดัดแปรโดยวิธีครอสลิงกิ้งจะสามารถทนต่อสภาวะดังกล่าวได้มากกว่าแป้งดิบ

1.2) การเกิดเจลลิตีในเซชัน การดัดแปรแป้งแบบครอสลิงกิ้งทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างโมเลกุลแป้ง ซึ่งจะเพิ่มความแข็งแรงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม เนื่องจากเมื่อให้ความร้อนกับแป้งดิบ พันธะไฮโดรเจนจะค่อยๆถูกทำลายลง ขณะที่เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนได้ความหนืดสูงสุด และเมื่อเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่แล้วแต่ยังคงให้ความร้อนต่อไปอีกจะทำให้เม็ดแป้งแตกออกและมีความหนืดลดลง แต่ในการดัดแปรแป้งแบบครอสลิงกิ้ง เม็ดแป้งที่พองตัวยังคงสามารถรักษาสภาพของเม็ดแป้งไว้ได้ เนื่องจากพันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นจะช่วยยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้ ทำให้แป้งดัดแปรยังคงสามารถรักษาความหนืดไว้ตลอดการหุงต้ม(Kruger และ Murray,1979) ดังนั้นการดัดแปรแป้งแบบครอสลิงกิ้งจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ช้า และมีผลให้การเกิดเจลลิตีในเซชันได้ช้าลงส่งผลให้อุณหภูมิเจลลิตีในเซชันสูงกว่าแป้งดิบ

1.3) ความสามารถในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้ง การดัดแปรแป้งแบบครอสลิงกิ้งจะลดการพองตัวของเม็ดแป้ง จึงช่วยลดการละลายของสารประกอบต่างๆของเม็ดแป้งในระหว่างกระบวนการพองตัวในระหว่างขั้นตอนการหุงต้ม และทำให้การละลายของเม็ดแป้งลดลงด้วย(Leach,1959) ซึ่งเมื่อระดับการครอสลิงกิ้งเพิ่มขึ้นการพองตัวจะลดลง ในขณะที่เม็ดแป้งดิบมีการพองตัวสูงมาก ระดับการครอสลิงกิ้งต่ำ จะช่วยยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งได้(Kite,1971) ในการวัดค่าจะแสดงในรูปกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายตามวิธีของSchoch(1957) ซึ่งภาพที่ 6 จะแสดงโครงสร้างของเม็ดแป้งก่อนและหลังการพองตัว

1.4) ความคงทนต่อสภาวะการหุงต้ม ทำให้เม็ดแป้งทนต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง ความเป็นกรดและสภาพที่มีแรงเฉือนจากเครื่องมือ ซึ่งสภาวะเหล่านี้จะทำให้เกิดการแตกหักของเม็ดแป้งมีผลให้สูญเสียความหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้แป้งเป็นสารในการเพิ่มความข้นหนืด การดัดแปรแบบครอสลิงกิ้งจะทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากและช่วยยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้ได้(Chabot,1976) การเลือกใช้แป้งดัดแปรที่มีระดับครอสลิงกิ้งเหมาะสม สามารถใช้ในการเตรียมและการผลิตอาหารที่มีสภาพความเป็นกรดและ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขจากการกวนของเครื่องมือหรือการส่งผ่านตามท่อโดยใช้ปั๊ม นอกจากนี้ยังสามารถใช้แป้งดัดแปรในการชะลอการเกิดเจลาติโนเซชันทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเหนียวตามที่ต้องการเมื่อเย็นตัวลงสามารถศึกษาได้จากการเปลี่ยนแปลงความหนืด(B.U.)ขณะที่ให้ความร้อนและมีการกวนโดยศึกษาจากอะมัยโลกราฟ ซึ่งที่อุณหภูมิต่างๆกันจะแสดงความหนืดของแป้งที่ต่างกัน โดยแป้งแต่ละชนิดจะมีเส้นกราฟที่แตกต่างกันสามารถดูได้จากอะมัยโลแกรมของแป้งดิบชนิดต่างๆแสดงในภาพที่ 7

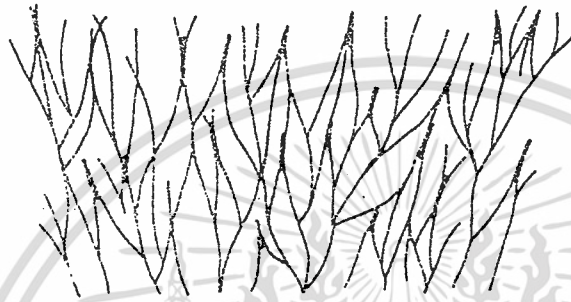


Figure Micellar organization within starch granules.

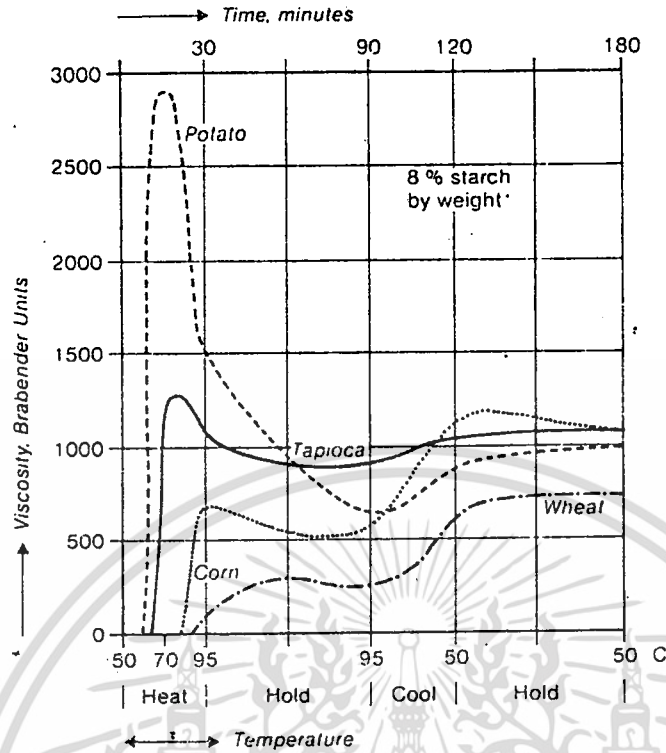


Figure Micellar organization within swollen starch granules.

ภาพที่ 6 แสดงโครงสร้างของเม็ดแป้งก่อนและหลังการพองตัว

ที่มา; Charley (1982)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 แสดงอะมัยโลแกรมของแป้งชนิดต่างๆ
ที่มา; Knight (1969)

จากภาพที่ 7 กราฟที่ได้จะแสดงถึงการเกิดการเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง ช่วงแรกความหนืดในน้ำแป้งจะไม่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งความร้อนถึงจุดที่จะทำให้เกิดเพสท์ได้ เม็ดแป้งมีการดูดน้ำและพองตัวโดยจุดที่กราฟเริ่มขึ้นถึงเป็นจุดที่เป็นอุณหภูมิขณะเกิดเพสท์ (Brabender pasting temperature) ซึ่งจะสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชันเล็กน้อยต้องอาศัยสูตรในการคำนวณจึงจะคำนวณค่าอุณหภูมิขณะเกิดเพสท์และอุณหภูมิเจลาติไนเซชันได้ ต่อมาเมื่อให้ความร้อนและกวนต่อไปอีกเม็ดแป้งจะพองตัวมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เบียดกันมากขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด ขณะเดียวกันแรงยึดกันในโมเลกุลแป้งจะลดลงทำให้เม็ดแป้งแตกออก และมีเม็ดแป้งบางส่วนแตกหักเนื่องจากแรงเฉือนด้วย เมื่อลดอุณหภูมิจาก 95 องศาเซลเซียสเป็น 50 องศาเซลเซียส จะเกิดรีโทรกราเดชันโดยอะมัยโลสที่หลุดออกไปจากเม็ดแป้งระหว่างการพองตัวจะยึดเกาะกันเป็นโครงร่างตาข่ายทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นอีก

จากอะมัยโลแกรมนี้แป้งมันฝรั่งจะมีความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) มากที่สุด ส่วนแป้งข้าวโพดจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่ำเนื่องจากการพองตัวในระดับปานกลาง ขณะที่แป้งสาลีจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดสูงสุด(Peak) ในระดับต่ำสุด และยังพบว่าแป้งมันสำปะหลังจะพองตัวในขอบเขตที่กว้างกว่า แป้งข้าวโพด ตามปกติแป้งที่ได้จากหัวและรากพืชจะมีพันธะในเม็ดแป้งที่ทำให้กราฟความหนืด มีความชันมากกว่าแป้งจากธัญพืชชนิดอื่น ซึ่งความหนืดนี้สามารถวัดได้จาก Thickening power ของ น้ำแป้งที่เพิ่มขึ้นเมื่อให้ความร้อน จากกราฟเมื่อนำมาแสดงค่าจะแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงอุณหภูมิขณะเกิดเพสต์ ความหนืดสูงสุดและกำลังการพองตัวของแป้งชนิดต่างๆ

Starch	Brabender pasting temperature (°C)	Brabender peak viscosity(8%; B.U.)	Swelling power ที่ 95°C
Corn	75-80	700	24
Potato	60-65	3000	53
Wheat	80-85	200	21
Tapioca	65-70	1200	71
Waxy maize	65-70	1100	64
Sorghum	75-80	700	22
Rice	70-75	500	19
Sago	65-70	1100	97
Arrowroot	-	-	54
Sweet Potato	65-70	-	46

หมายเหตุ B.U. หมายถึงหน่วยวัดความหนืดบราเบนด์ริยูนิต

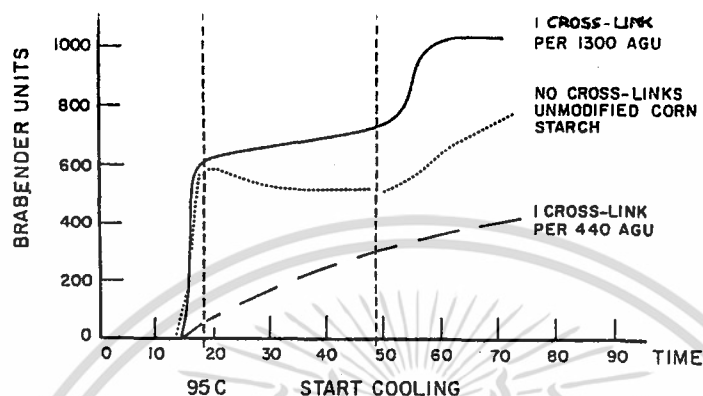
8% หมายถึงความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ใช้

- หมายถึงไม่มีในรายงานการทดลอง

ที่มา; Knight (1969)

สำหรับแป้งดัดแปรโดยวิธีครอสลิงกิงจะมีพันธะโควาเลนต์ในลักษณะเชื่อมข้ามช่วยยึดโครงสร้างไว้ ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนจนพันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้งถูกทำลายไปแต่พันธะโควาเลนต์ในลักษณะเชื่อมข้ามยังคงอยู่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งเอาไว้ได้ ทำให้สามารถรักษาความหนืดไว้ได้ตลอดการให้ความร้อน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากอะมัยโลแกรมของแป้งข้าวโพดดังภาพที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 แสดงอะมัยโลแกรมของแป้งข้าวโพดที่ดัดแปรแบบครอสลิงกิงโดยสารโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ
ที่มา: Kite (1971)

2) คุณสมบัติทางเคมี

แป้งโดยทั่วไปจะมีฟอสฟอรัสประกอบอยู่ด้วย ดังนั้นในแป้งดัดแปรแบบครอสลิงกิงหรือโดสตาฟอสเฟตจึงมีเกณฑ์กำหนดและลักษณะบ่งชี้ว่าประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาดีเพียงใดและเป็นไปตามข้อกำหนดของกระทรวงอุตสาหกรรม(2535) ปริมาณฟอสเฟตโดยคำนวณในรูปฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.14 เปอร์เซ็นต์สำหรับแป้งดัดแปรที่มาจากแป้งมันฝรั่งหรือแป้งสาลี และมีปริมาณไม่เกิน 0.04 เปอร์เซ็นต์สำหรับแป้งจากพืชชนิดอื่นๆ ซึ่งในการหาค่าใช้วิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐานที่ 460 นาโนเมตร โดยปริมาณฟอสเฟตที่มีในแป้งดัดแปรจะแสดงถึงประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา จะบอกให้ทราบว่าสถานะที่ใช้ในการผลิตแป้งนั้นเหมาะสมหรือไม่ ซึ่งคุณสมบัติทางเคมีควรจะศึกษาคู่กับคุณสมบัติทางกายภาพเพื่อให้ได้แป้งดัดแปรที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

แป้งครอสลิงกิงมีความคงตัวและให้เพสต์ที่มีความหนืดสูงอีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่ดีคือทนต่อความร้อน ทนต่อกรดและทนต่อแรงเฉือนของเครื่องจักรต่างๆ สามารถนำไปผสมกับแป้งดัดแปรที่เป็นอนุพันธ์ต่างๆทำให้เกิดแป้งที่มีความคงทนต่อการถูกทำลาย แป้งดัดแปรที่มีระดับการครอสลิงกิงสูงเพียงพอจะสามารถยืดเหนียวโมเลกุลกันไว้ได้ดีทำให้ทนต่อแรงเฉือนและพื้นที่ผิวที่ร้อนได้ดี ดังนั้นแป้งดัดแปรเหล่านี้จึงเหมาะใช้ในอุตสาหกรรมที่ใช้เอ็กซ์ทรูดเดอร์

แป้งครอสลิงกิงสามารถเตรียมได้จากแป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง และแป้งมันสำปะหลัง ในอุตสาหกรรมเกษตรเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นสารเพิ่มความข้นในน้ำสลัด เพราะความหนืดจะคงที่ในสภาวะที่เป็นกรดและมีแรงเฉือนสูงๆจากการโฮโมจีไนเซชัน สำหรับในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง แป้งครอสลิงกิงจะเกิดเจลาติโนเซชันอย่างช้าๆแม้ว่าจะมีอัตราการแพร่กระจายความร้อนในรีทอร์ทสูงก็ตาม ทั้งนี้รวมถึงการเพิ่มความร้อนอย่างรวดเร็วในการสเตอริไลเซชันด้วย นอกจากนี้ยังเหมาะใช้เป็นสารเพิ่มความข้นเพราะสามารถคงความข้นไว้ในอาหารพวกซूप น้ำเกรวี่ ซอส อาหารเด็กอ่อน และครีมสไตล์คอร์น (Cream style corn) เป็นต้น เม็ดแป้งครอสลิงกิงที่ผ่านกรรมวิธี Drum Dryer จะมีอะมัยโลสต่ำเหมาะกับการนำมาทำเค้กต่างๆ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เช่นแป้งครอสลิงกิงจะนำไปใช้แทนกาว ภายใต้อุสภาวะที่เป็นต่างอย่างมาก นอกจากนี้ยังใช้ทำหมึกพิมพ์สำหรับพิมพ์สิ่งทอ หรือใช้ทำไฟเบอร์กลาส เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีทดลอง

3.1 วัสดุดิบ

- 3.1.1 แป้งมันสำปะหลังตราจิ้งจอก
- 3.1.2 แป้งมันสำปะหลังตราปลาสีดาว
- 3.1.3 แป้งข้าวโพดโรงงาน

3.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

- 3.2.1 บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
- 3.2.2 อ่างน้ำที่สามารถปรับอุณหภูมิได้(Water Bath)
- 3.2.3 เครื่องกรองประกอบด้วย Buchner Funnel, Buchner Flask ต่อกับ Vacuum Pump
- 3.2.4 ตู้อบไฟฟ้าคุมอุณหภูมิได้(Hot air oven)
- 3.2.5 เครื่องวัด Brabender Viscoamylograph
- 3.2.6 เครื่องวัดพีเอช(pH meter)
- 3.2.7 เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์
- 3.2.8 เครื่องแก้วอื่นๆ
- 3.2.9 เครื่องบดสำหรับบราเวนเดอร์
- 3.2.10 เครื่อง Muffle furnace
- 3.2.11 Aluminium can

3.3 สารเคมี

- 3.3.1 โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต
- 3.3.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3.3.3 กรดไฮโดรคลอริก
- 3.3.4 โซเดียมคลอไรด์
- 3.3.5 กรดไนตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 สารละลายแอมโมเนียมวานาเดต

3.3.8 สารละลายซิงค์อะซีเตต

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมแป้งดัดแปร (Kerr และ Cleveland,1957)

- 1).อบตัวอย่างแป้งที่อุณหภูมิแห้ง 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 2).เตรียมน้ำแป้งเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของแป้ง
- 3).ปรับพีเอชเป็น 11.0 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอล
- 4).เติมสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 0.02 เปอร์เซ็นต์(หรือ 0.2 เปอร์เซ็นต์)
- 5).ทำปฏิกิริยาคrossลิงกิงในสภาวะที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส(หรือ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง(หรือ 5 ชั่วโมง)
- 6).กรองและล้างด้วยน้ำ 2 ครั้ง
- 7).อบแห้งที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10-15 ชั่วโมง
- 8).นำแป้งที่เตรียมได้มาบดให้ละเอียดได้เป็นแป้งดัดแปรcrossลิงค์สตาร์ช

3.4.2 การตรวจหาปริมาณความชื้น (AOAC,1980)

การอบไล่ความชื้นจะใช้วิธีคำนวณหาน้ำหนักที่หายไปมีหลักการคือ การระเหยของน้ำอิสระ(Free water) จะเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ใช้ในการหาความชื้นของแป้งดิบเริ่มต้น แป้งดัดแปรและแป้งดิบก่อนจะนำไปทดลองขั้นต่อไป

1).อบอุณหภูมิเนยแมคที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสใน Hot air oven เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปิดฝา ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

2).นำแป้งประมาณ 2-5 กรัม ใส่ในอุณหภูมิเนยแมคที่ทราบน้ำหนักแล้วชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าที่แน่นอนทศนิยม 4 ตำแหน่ง

3).อบอุณหภูมิเนยแมคที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4).ปิดฝาและทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก

5).คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตร

ปริมาณความชื้น = $(\text{นน. แป้งเริ่มต้น} - \text{นน. แป้งหลังอบ}) \times 100$

นน. แป้งเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การหาความหนืดของแป้งโดยเครื่อง Brabender Viscoamylograph(กระทรงอุตสาหกรรม,2535)

ทำการวัดค่าความหนืดที่อุณหภูมิต่างๆดังนี้

- อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์
- ความหนืดสูงสุด
- ความหนืดที่ 94.5 องศาเซลเซียส
- ความหนืดที่ 94.5 องศาเซลเซียส 20 นาที
- ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียส

- 1) ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม(น้ำหนักแห้ง) ลงในน้ำ 450 มิลลิลิตร
- 2) นำน้ำแป้งเทใส่ในเครื่องบราเบนด์อะมีโยกราฟ
- 3) เพิ่มอุณหภูมิ 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 94.5 องศาเซลเซียส
- 4) คมอุณหภูมิ 94.5 องศาเซลเซียสให้คงที่เป็นเวลา 20 นาที
- 5) ค่อยๆลดอุณหภูมิลงในอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนอุณหภูมิต่ำสุดท้ายเป็น 50 องศาเซลเซียสแล้วปิดเครื่อง
- 6) ตรวจสอบลักษณะเจลและเปรียบเทียบความหนืดกับอุณหภูมิที่เกิดเจลจากกราฟ ระหว่างตัว อย่างแป้งดัดแปรและแป้งดิบ

3.4.4 การตรวจหาปริมาณฟอสเฟตเฉพาะแป้งดัดแปร (AOAC,1980)

ก. การเตรียมสารเคมี

(1). สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดตเข้มข้นร้อยละ 5

ละลายแอมโมเนียมโมลิบเดตเตตราไฮเดรต ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 50 กรัม ในน้ำอุ่น 900 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

(2). สารละลายแอมโมเนียมวานาเดตเข้มข้นร้อยละ 2.5

ละลายแอมโมเนียมเมตาวานาเดต(NH_4VO_3) 2.5 กรัม ในน้ำเดือดปริมาตร 600 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงถึง 60-70 องศาเซลเซียส แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตร

(3). สารละลายซิงค์อะซีเตตเข้มข้นร้อยละ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายซิงค์อะซีเตตไดไฮเดรต($Zn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$) ในน้ำกลั่นปริมาตร 880 มิลลิลิตร แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 2

(4). สารละลายกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 29

เติมกรดไนตริกเข้มข้น(ความถ่วงจำเพาะ 1.42) 300 มิลลิลิตรลงในน้ำกลั่น ปริมาตร 600 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน

(5). สารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน(ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)

ละลายสารละลายโมโนเบสิกโปดัสเซียมฟอสเฟต(KH_2PO_4) 438.7 มิลลิกรัม ลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่า Optical Density ที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร แล้วจึงนำค่าที่ได้ไปเทียบหาปริมาณฟอสเฟตจากกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ

ข. การเตรียมตัวอย่าง

(1). ชั่งสารตัวอย่าง 20-25 กรัมลงในเบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

(2). เติมสารละลายเมธานอลในน้ำ(7:3) 200 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันนาน 15 นาที จากนั้นกรองสารตัวอย่างด้วย Buchner Funnel ผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4

(3). ล้างด้วยสารละลายเมธานอลในน้ำอีกครั้ง แล้วจึงอบสารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และบดตัวอย่างให้ละเอียด นำไปหาความชื้นที่มีอยู่

ค. การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน

(1). ปิเปตสารละลายฟอสเฟตมาตรฐาน ใส่ให้ได้ 0,5,10,15,20 มิลลิลิตรใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร

(2). เติมสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต สารละลายแอมโมเนียมวานาเดตและกรดไนตริกอย่างละ 10 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากันแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

(3). ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้ ไปเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของ P_2O_5 จะได้เป็นกราฟมาตรฐาน

(4). การเตรียม Blank ให้ใช้น้ำกลั่นแทนสารละลายมาตรฐาน และนำค่าที่อ่านได้มาเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่แต่ละความเข้มข้น (มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อ 100 มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ง.การวัดปริมาณ ฟอสฟอรัส

- (1) ชั่งสารตัวอย่างมา 10 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง ใส่ใน Crucible
- (2) เติมสารละลายซิงค์อะซีเตต 10 มิลลิลิตรให้ทั่ว ค่อยๆทำให้แห้งบน Hot Plate
- (3) ทำการเผาตัวอย่างบน Hot plate จนไหม้เกรียมและนำไปเผาอีกครั้งในเครื่อง Muffle Furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง และทำให้เย็น
- (4) ล้างแก้วที่ได้ด้วยน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไนตริก 5 มิลลิลิตรเพื่อล้างตัวอย่างที่ติดอยู่
- (5) ถ่ายสารละลายที่ได้ ลงในขวดตวงขนาด 200 มิลลิลิตรแล้ว Rinse ด้วยน้ำกลั่น ประมาณ 60 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 200 มิลลิลิตร
- (6) ดูดสารละลายที่ได้ V มิลลิลิตร(ควรจะมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 1.5 มิลลิกรัม) ถ่ายลงในขวดตวงขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายตามลำดับเหมือนที่เติมในสารละลายฟอสฟอรัสมาตรฐาน ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
- (7) วัดค่าการดูดกลืนแสงอ่านค่าเทียบกับกราฟมาตรฐานได้ค่าฟอสฟอรัส เท่ากับ A แล้วคำนวณค่าตามสมการ

$$\text{ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่าง(mg/kg)} = \frac{A \times 200 \times 1000}{V \times W}$$

เมื่อ W = น้ำหนักของสารตัวอย่าง(กรัม)

V = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง(มิลลิลิตร)

A = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร

3.4.5 การวัดกำลังการพองตัว(Swelling Power และร้อยละการละลาย(Solubility)(Schoch,1969)

- 1) ชั่งตัวอย่าง 0.500 กรัม ใส่ในหลอดเซนตริฟิวส์ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร แช่ใน อ่างปรับอุณหภูมิ(Water Bath) ที่ 85 องศาเซลเซียส คนตลอดเป็นเวลา 30 นาที
- 2) นำมาเหวี่ยงที่ 2,200 rpm นาน 15 นาที ดูดน้ำส่วนบนออกใส่อลูมิเนียมแคน ที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปอบแห้งที่ 100 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง
- 3) ชั่งน้ำหนักหาปริมาณแป้งที่ละลายน้ำ ส่วนแบ่งเปียกนำมาชั่งเพื่อหากำลังการพองตัวแล้วคำนวณค่าตามสมการ

$$\text{ร้อยละของการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ}}{\text{น้ำหนักแป้งแห้ง} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})} \times 100$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การหาความชื้นของแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการตัดแปรงแป้ง

เตรียมแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพดที่ใช้เป็นวัตถุดิบให้มีความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามวิธีของ AOAC(1980) ซึ่งการตัดแปรงแป้งด้วยวิธีครอสลิงกิงนิยมใช้ตัวอย่างแป้งที่มีความชื้น 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อนำไปตัดแปรงตามวิธีของ Kerr และ Cleveland(1967)

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณความชื้นของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดก่อนนำไปใช้ผลิตแป้งตัดแปรง

ตัวอย่างแป้ง	%ความชื้น
แป้งมันสำปะหลัง ตราปลาสีดาว	9.86
แป้งมันสำปะหลัง ตราจิงโจ้	9.26
แป้งข้าวโพด	10.25

จากตารางที่ 5 พบว่าปริมาณความชื้นที่วัดได้ของแป้งทั้ง 3 ชนิดจะใกล้เคียงกันโดยอยู่ในช่วง 9-10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อนำไปชั่งน้ำหนักแห้งจึงเกิดความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเนื่องจากน้ำหนักน้ำในเม็ดแป้ง

2. การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟต

การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟต โดยเผาแป้งตัวอย่างแล้ว นำตะกอนไปละลายด้วยกรดไนตริก จากนั้นจึงเติมสารละลายแอมโมเนียมวานาเดต สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณฟอสเฟตของแป้งที่ผ่านการดัดแปรเทียบกับแป้ง ที่ไม่ผ่านการดัดแปร

สภาวะที่ทดลอง	ร้อยละปริมาณฟอสเฟต(กรัม/กรัม)		
	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวโพด
	ตราปลาสดาว	ตราจิงโจ้	
แป้งดิบ(ไม่ผ่านการดัดแปร)	0.010	0.010	0.024
0.02%SHP,30°C,3 ชั่วโมง	0.013	0.013	0.026
0.02%SHP,30°C,5 ชั่วโมง	0.017	0.014	0.027
0.02%SHP,50°C,3 ชั่วโมง	0.021	0.016	0.027
0.02%SHP,50°C,5 ชั่วโมง	0.017	0.017	0.029
0.2%SHP ,30°C,3 ชั่วโมง	0.023	0.021	0.031
0.2%SHP ,30°C,5 ชั่วโมง	0.025	0.026	0.032
0.2%SHP ,50°C,3 ชั่วโมง	0.028	0.028	0.040
0.2%SHP ,50°C,5 ชั่วโมง	0.028	0.032	0.043

หมายเหตุ : % หมายถึงความเข้มข้นร้อยละโดยปริมาตร

SHP หมายถึงสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต

การตรวจหาปริมาณฟอสเฟตในแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรทั้ง 2 ชนิด และแป้งข้าวโพดที่ผ่านการดัดแปรเทียบกับกราฟมาตรฐานสามารถดูได้จากภาพที่ 18 ในภาคผนวก ข. พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต เวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น จะทำให้แป้งดัดแปรที่ได้มีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นตามสภาวะ(ตารางที่6) ซึ่งการเพิ่มปริมาณโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตกับเวลาในการทำปฏิกิริยา หรือปริมาณสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตกับอุณหภูมิหรือการเพิ่มเวลากับอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา จะมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น แป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการดัดแปรจะมีปริมาณฟอสเฟต 0.010 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการดัดแปรโดยใช้โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 0.02 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณฟอสเฟต 0.017 เปอร์เซ็นต์ และจากทุกๆตัวอย่างในตารางที่ 6 จะเห็นว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างที่มีปริมาณฟอสเฟตสูงสุดคือ แป้งข้าวโพด 0.2%SHP ,50 °C,5 ชั่วโมง มีเปอร์เซ็นต์ฟอสเฟต = 0.043 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กระทรวงอุตสาหกรรม(2535) ที่กำหนดไว้สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสที่มีได้ในแป้งมันฝรั่งและแป้งข้าวโพดคือ 0.04 เปอร์เซ็นต์ และยังใกล้เคียงกับการทดลองของ Kerr และ Cleveland(1957) ที่มีปริมาณฟอสฟอรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแป้งดัดแปรอยู่ในช่วง 0.01-0.03 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในระดับนี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์

3. ความสามารถในการละลายและการพองตัวของเม็ดแป้ง

การวัดความสามารถในการละลายและความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำโดยนำตัวอย่างแป้งไปละลายน้ำ แล้วนำไปตั้งบนอ่างปรับอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง แล้วจึงดูดสารละลายส่วนที่เป็นน้ำแยกออกจากส่วนที่เป็นแป้งเปียก นำแต่ละส่วนไปอบแล้วชั่งหาน้ำหนักเพื่อนำไปคำนวณร้อยละละลายของเม็ดแป้ง และกำลังในการพองตัว ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงในภาพที่ 9,10 และ 11 โดยกำหนดให้

A = แป้งมันสำปะหลัง ตราปลาสีดาว

A1 = แป้งมันดัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 3 ชั่วโมง

A2 = แป้งมันดัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 5 ชั่วโมง

A3 = แป้งมันดัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 3 ชั่วโมง

A4 = แป้งมันดัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 5 ชั่วโมง

A5 = แป้งมันดัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 3 ชั่วโมง

A6 = แป้งมันดัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 5 ชั่วโมง

A7 = แป้งมันดัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 3 ชั่วโมง

A8 = แป้งมันดัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 5 ชั่วโมง

B = แป้งมันสำปะหลัง ตราจิงโจ้

B1 = แป้งมันดัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 3 ชั่วโมง

B2 = แป้งมันดัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 5 ชั่วโมง

B3 = แป้งมันดัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 3 ชั่วโมง

B4 = แป้งมันดัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 5 ชั่วโมง

B5 = แป้งมันดัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 3 ชั่วโมง

B6 = แป้งมันดัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 5 ชั่วโมง

B7 = แป้งมันดัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 3 ชั่วโมง

B8 = แป้งมันดัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 5 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- C = แป้งข้าวโพดโรงงาน
- C1 = แป้งข้าวโพดตัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 3 ชั่วโมง
- C2 = แป้งข้าวโพดตัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 5 ชั่วโมง
- C3 = แป้งข้าวโพดตัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 3 ชั่วโมง
- C4 = แป้งข้าวโพดตัดแปร 0.02% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 5 ชั่วโมง
- C5 = แป้งข้าวโพดตัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 3 ชั่วโมง
- C6 = แป้งข้าวโพดตัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 30°C, 5 ชั่วโมง
- C7 = แป้งข้าวโพดตัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 3 ชั่วโมง
- C8 = แป้งข้าวโพดตัดแปร 0.2% โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต, 50°C, 5 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์หาการละลายของเม็ดแป้งและความสามารถในการพองตัว พบว่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการละลายจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับการครอสลิงกิงเพิ่มขึ้นแสดงในภาพที่ 9 ตัวอย่างเช่น แป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตัดแปรมีการละลายของเม็ดแป้ง 10.94 เปอร์เซ็นต์ และมีการพองตัว 28.53 เปอร์เซ็นต์ แต่แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปรโดยใช้โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 0.02 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง การละลายของเม็ดแป้งและความสามารถในการพองตัวจะลดลงเหลือ 7.94 และ 25.63 ตามลำดับ จึงแสดงให้เห็นว่าแป้งมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการตัดแปร จะมีการละลายของเม็ดแป้งและความสามารถในการพองตัวสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการตัดแปร การตัดแปรแป้งโดยวิธีครอสลิงกิงทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์แบบเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลของเม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งมีการพองตัวลดลงดังแสดงในภาพที่ 9 และ ภาพที่ 10 นอกจากนี้พันธะเชื่อมขามันยังช่วยลดปริมาณอะมัยโลสที่หลุดออกมาจากให้ออกมาน้อยลง ทำให้มีส่วนที่ละลายน้ำออกมาในขั้นตอนการหุงต้มน้อย จึงมีประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ให้ความร้อนในระดับสูงโดยที่จะควบคุมความหนืดของน้ำแป้งให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Leach และคณะ (1969)

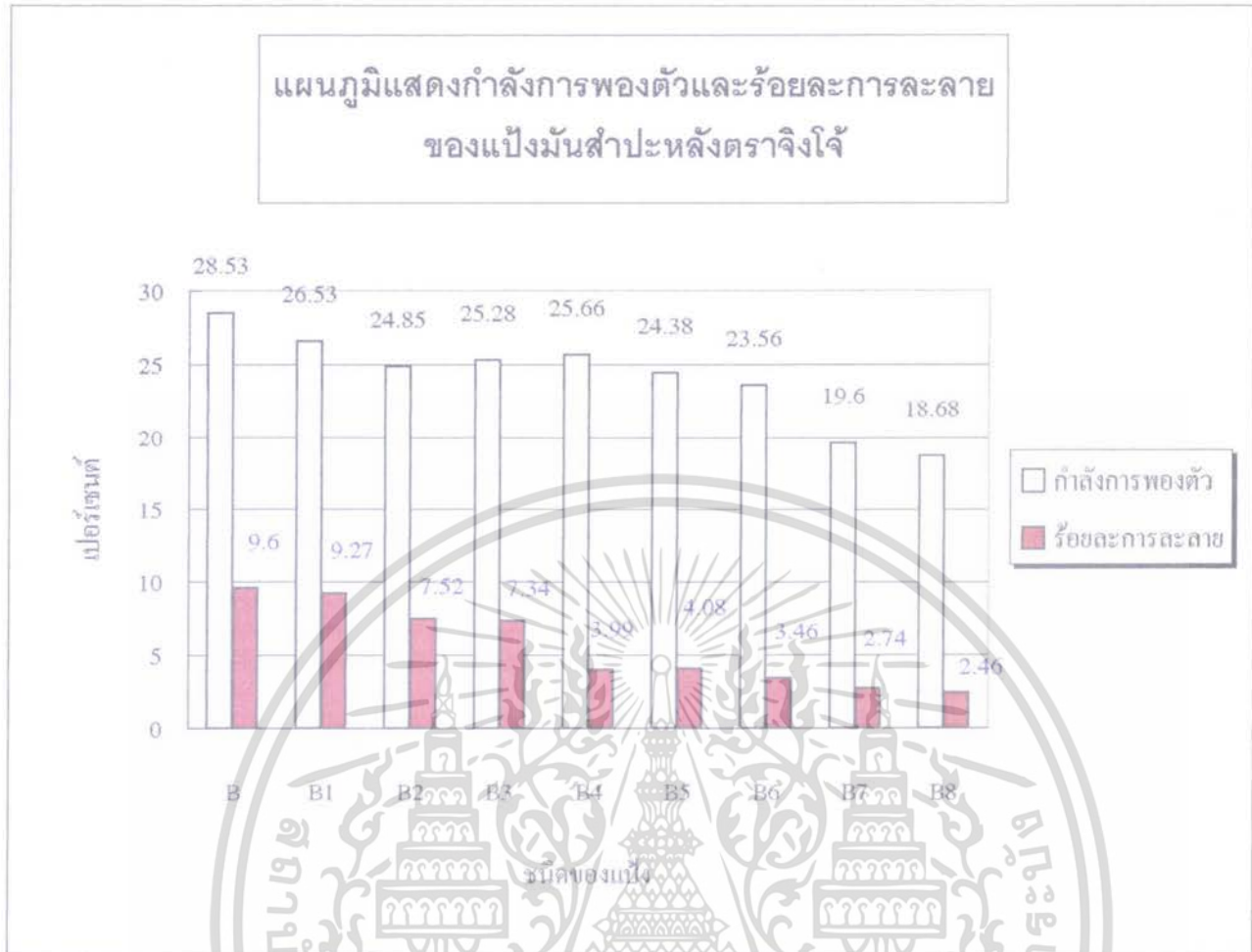
ส่วนแป้งข้าวโพดทั้งที่ผ่านการตัดแปรและไม่ผ่านการตัดแปร มีความสามารถในการละลายลดลง แต่ไม่สามารถหาค่าการพองตัวได้ เนื่องจาก แป้งข้าวโพดภายหลังจากการเกิดเจลลิตีในเซชันแล้วโปรตีนในเม็ดแป้งจะตกตะกอน ดังนั้นทั้งในแป้งข้าวโพดที่ตัดแปรและไม่ตัดแปรจึงไม่สามารถแยกส่วนที่เป็นแป้งเปียกออกมาได้ ทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าการพองตัวได้ แต่ค่าร้อยละการละลายของแป้งข้าวโพดแสดงในภาพที่ 11

แผนภูมิแสดงกำลังการพองตัวและร้อยละการละลาย
ของแป้งมันสำปะหลังตราปลาสดาว



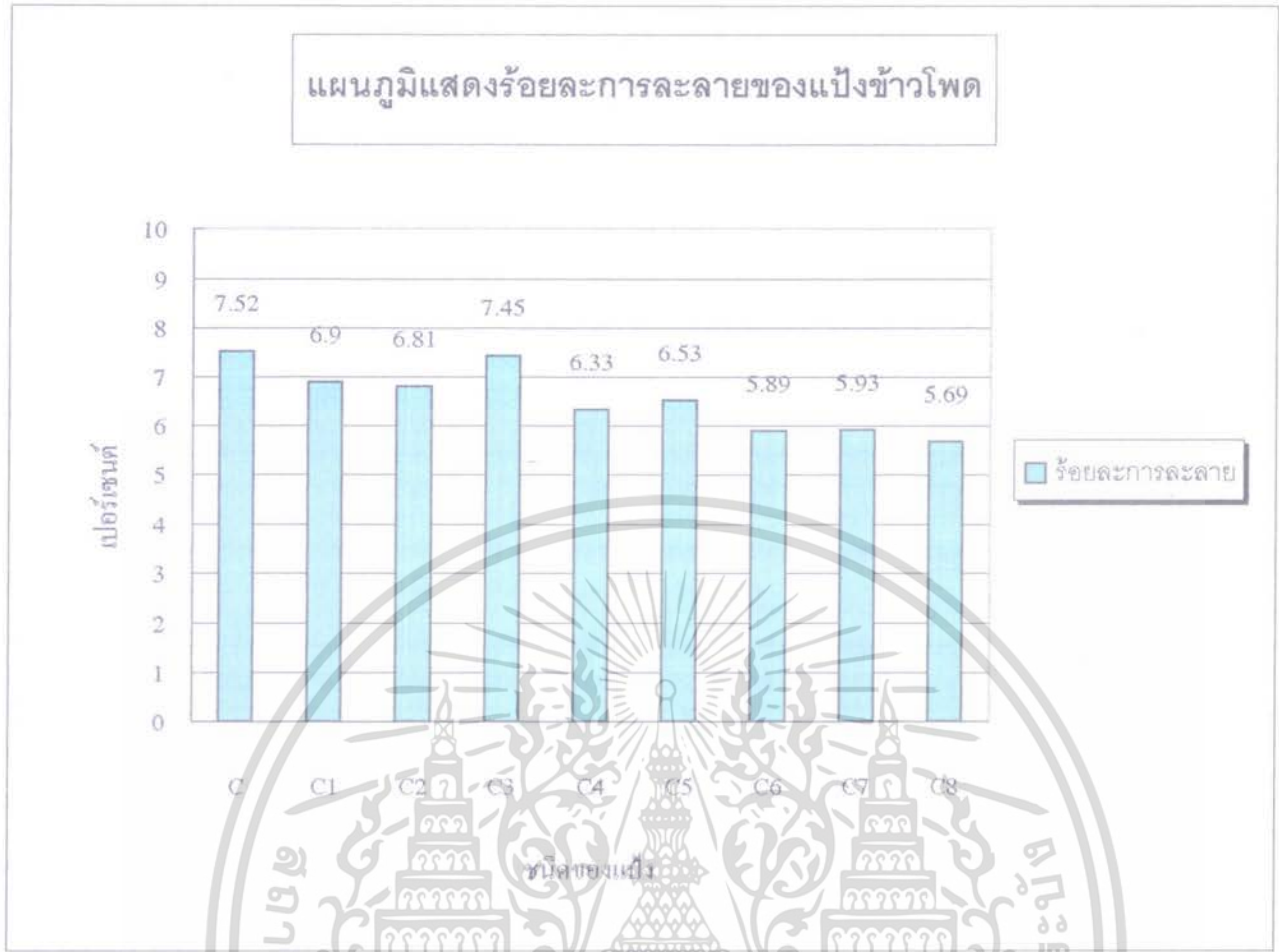
ภาพที่ 9 แสดงกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งมันสำปะหลังตราปลาสดาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 แสดงกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งมันสำปะหลังตราจิ้งจอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 11 แสดงร้อยละการละลายของแป้งข้าวโพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งโดยเครื่องบราเบนเดอร์อะมัยโลกราฟ

การวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง นำน้ำแป้ง 10 เปอร์เซ็นต์ ใส่ลงในเครื่องบราเบนเดอร์ อะมัยโลกราฟ ทำการวิเคราะห์หาอุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ ความหนืดสูงสุด ความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 94.5 องศาเซลเซียสและหลังจากคงอุณหภูมิไว้ 20 นาที รวมทั้งความหนืดภายหลังลดอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยในการวัดค่าความหนืดจะทำการคัดเลือกตัวอย่างแป้งโดยเลือกแป้งมันสำปะหลังตราปลาสีดาวเป็นตัวอย่างแป้งดิบจำนวน 1 ตัวอย่าง และแป้งมันสำปะหลังดัดแปรอีกจำนวน 7 ตัวอย่าง สำหรับแป้งข้าวโพดจะเลือกตัวอย่างแป้งดิบจำนวน 1 ตัวอย่างและแป้งข้าวโพดดัดแปรอีกจำนวน 2 ตัวอย่าง

ตารางที่ 7 แสดงความหนืดของตัวอย่างแป้งที่วัดโดยเครื่อง Brabender Viscoamylograph

ตัวอย่างแป้ง	ความหนืดที่ช่วงต่างๆ(B.U.)			
	Peak Viscosity	เริ่ม 95 °C	สิ้นสุด 95 °C	สิ้นสุด 50 °C
แป้งมันสำปะหลังตราปลาสีดาว	1,520	700	440	620
A1 0.02%SHP,30°C,3 ชั่วโมง	1,620	630	420	740
A3 0.02%SHP,50°C,3 ชั่วโมง	1,620	780	500	650
A4 0.02%SHP,50°C,5 ชั่วโมง	1,600	840	480	770
A5 0.2%SHP ,30°C,3 ชั่วโมง	1,780	740	440	710
A6 0.2%SHP ,30°C,5 ชั่วโมง	1,740	800	500	750
A7 0.2%SHP ,50°C,3 ชั่วโมง	1,560	700	440	640
A8 0.2%SHP ,50°C,5 ชั่วโมง	1,675	840	525	750
แป้งข้าวโพด	980	980	1,260	1,570
C3 0.02%SHP,50°C,3 ชั่วโมง	1,050	1,000	730	1,420
C7 0.2%SHP ,50°C,3 ชั่วโมง	1,060	1,020	815	1,480

หมายเหตุ : % หมายถึงความเข้มข้นร้อยละโดยปริมาตร

SHP หมายถึงสารละลายโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต

B.U. หมายถึงหน่วยวัดความหนืดเป็นบราเบนเดอร์ยูนิต

จากผลการทดลองพบว่า แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรจะมีค่าความหนืดสูงสุด และค่าความหนืดสุดท้าย ภายหลังจากที่ลดอุณหภูมิลงเหลือ 50 องศาเซลเซียสแล้ว สูงกว่าแป้งมันสำปะหลังต้นตำรับ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ไม่ผ่านการตัดแปรสามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 12 ถึง 16 ทั้งนี้เนื่องจากการตัดแปรแบบครอสลิงกิงทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างโมเลกุลของแป้งและช่วยเพิ่มการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลแป้ง ทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรง มากกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรในระหว่างการหุงต้ม พันธะไฮโดรเจนในแป้งดิบจะค่อยๆถูกทำลายลงไปขณะที่เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุดและเม็ดแป้งมีการพองตัวเต็มที่ เมื่อมีการให้ความร้อนต่อเนื่องไปอีก เม็ดแป้งนี้จะแตกออก ทำให้ความหนืดลดลง แต่การตัดแปรแป้งแบบครอสลิงกิง เม็ดแป้งที่พองตัวยังคงสามารถรักษาสภาพของเม็ดแป้งไว้ได้ เนื่องจากพันธะโควาเลนต์ที่เกิดขึ้นช่วยยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้ ทำให้สามารถรักษาความหนืดไว้ได้ตลอดการหุงต้ม (Kruger และ Murray ,1979) แป้งมันสำปะหลังการตัดแปรที่ผ่านการให้ความเข้มข้นโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 0.2 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการตัดแปรแป้ง เนื่องจากให้ความหนืดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1,780 B.U. และมีค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 710 B.U.สูงกว่าของแป้งดิบที่มีค่า 1,520 B.U. และ 620 B.U. ตามลำดับ และแป้งตัดแปรที่สภาวะนี้เมื่อเทียบกับแป้งตัดแปรที่สภาวะอื่นๆพบว่าจะมีค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายสูงกว่าทุกๆสภาวะ

ส่วนแป้งข้าวโพดที่ผ่านการตัดแปรนั้น มีเสถียรภาพของความหนืดที่ไม่ดี เนื่องจากแป้งข้าวโพดที่ผ่านการตัดแปรเกิดการตกตะกอนของโปรตีน ทำให้ค่าความหนืดสุดท้าย ต่ำกว่าแป้งข้าวโพดที่ไม่ผ่านการตัดแปรแสดงในภาพที่ 17

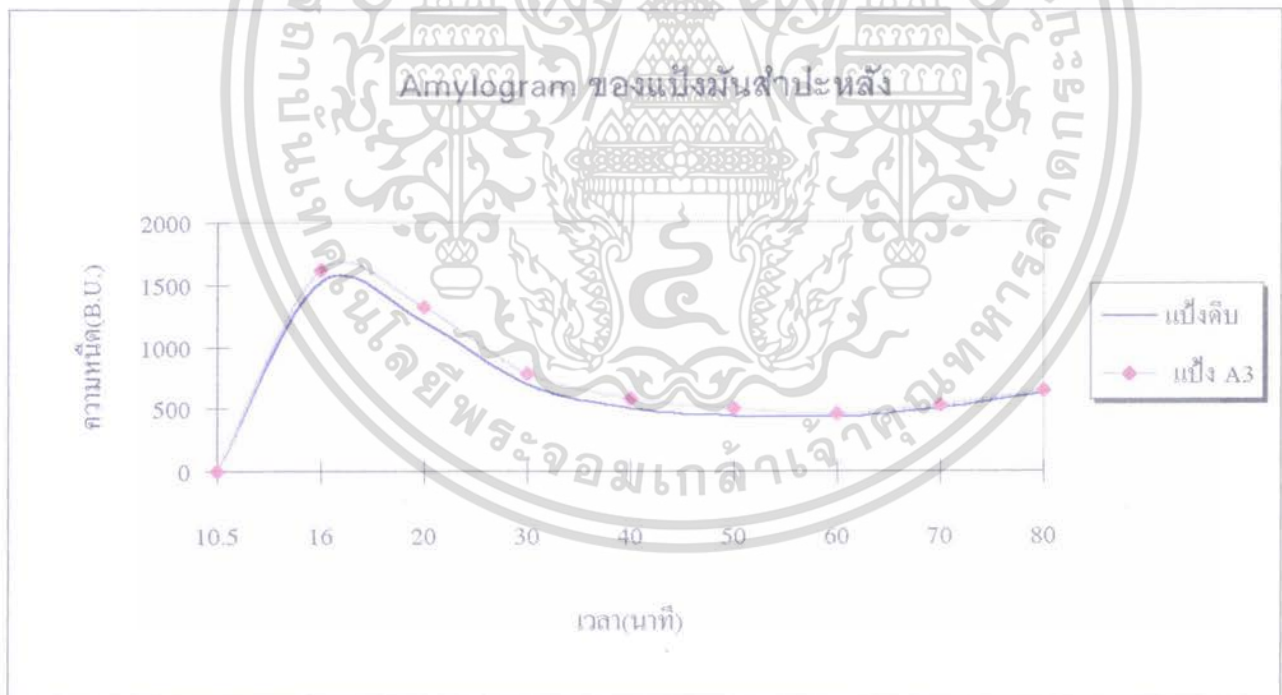
สำหรับผลการทดลองเมื่อดูจากค่าความหนืดแล้วพบว่าแป้งมันสำปะหลังทั้งหมดมีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันใกล้เคียงกันคือจะมีอุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียสเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาทีและของแป้งข้าวโพดทั้งหมดมีอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน 88 องศาเซลเซียสเมื่อเวลาผ่านไป 17 นาที จากภาพที่ 12 และ 13 กราฟของแป้งมันสำปะหลังทั้งหมดจะมีความชันสูงกว่าและมีความหนืดสูงสุดสูงกว่าแป้งข้าวโพด แต่ในช่วง 95 องศาเซลเซียสความหนืดของแป้งมันสำปะหลังทั้งหมดจะลดลงอย่างรวดเร็ว และค่อยๆเพิ่มขึ้นอีก เมื่อค่อยๆลดอุณหภูมิลงเรื่อยๆจนถึง 50 องศาเซลเซียสซึ่งที่อุณหภูมิดังกล่าว แป้งมันสำปะหลังจะมีลักษณะใสเหนียวแต่สามารถไหลได้

แป้งข้าวโพดจะมีความหนืดสูงสุดไม่สูงมากเนื่องจากแป้งข้าวโพดมีการพองตัวในระดับปานกลาง แตกต่างกับแป้งมันสำปะหลังที่มีการพองตัวในระดับสูง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียสกราฟจะเริ่มตกลงเนื่องจากเม็ดแป้งแตกตัวออก และเมื่อทำให้เย็นแป้งข้าวโพดจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นสูงมากเนื่องจากการเกาะตัวกันหนาแน่นและมีน้ำหนักรวมมาก ได้เป็นแป้งที่มีลักษณะขาวขุ่นเกาะกันแน่นเป็นก้อน และแป้งข้าวโพดตัดแปรมีความหนืดสูงสุดใกล้เคียงกับแป้งดิบมาก รวมทั้งมีความหนืดสุดท้ายต่ำกว่าแป้งดิบ ดังนั้นคุณสมบัติของแป้งข้าวโพดตัดแปรจึงใกล้เคียงกับแป้งข้าวโพดที่ไม่ได้ตัดแปร ทำให้ไม่เหมาะจะนำแป้งข้าวโพดมาตัดแปรด้วยวิธีดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



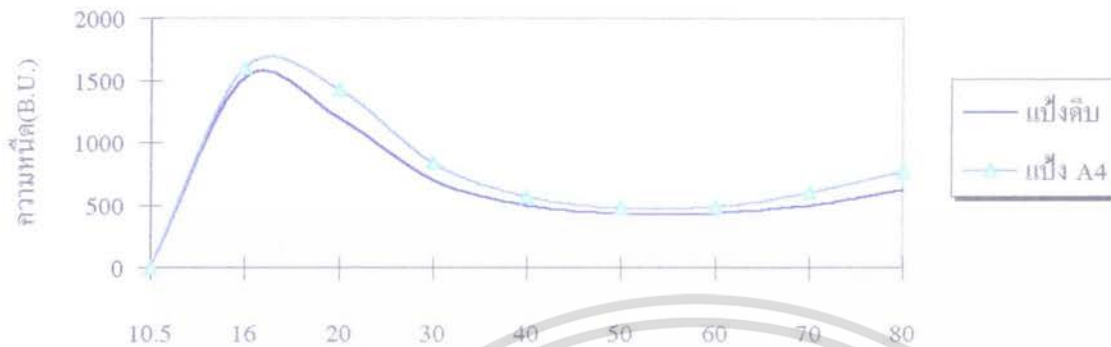
ภาพที่ 12 แสดงอะมัยโลแกรมของแป้งมันสำปะหลังและแป้งดัดแปร A1



ภาพที่ 13 แสดงอะมัยโลแกรมของแป้งมันสำปะหลังและแป้งดัดแปร A3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

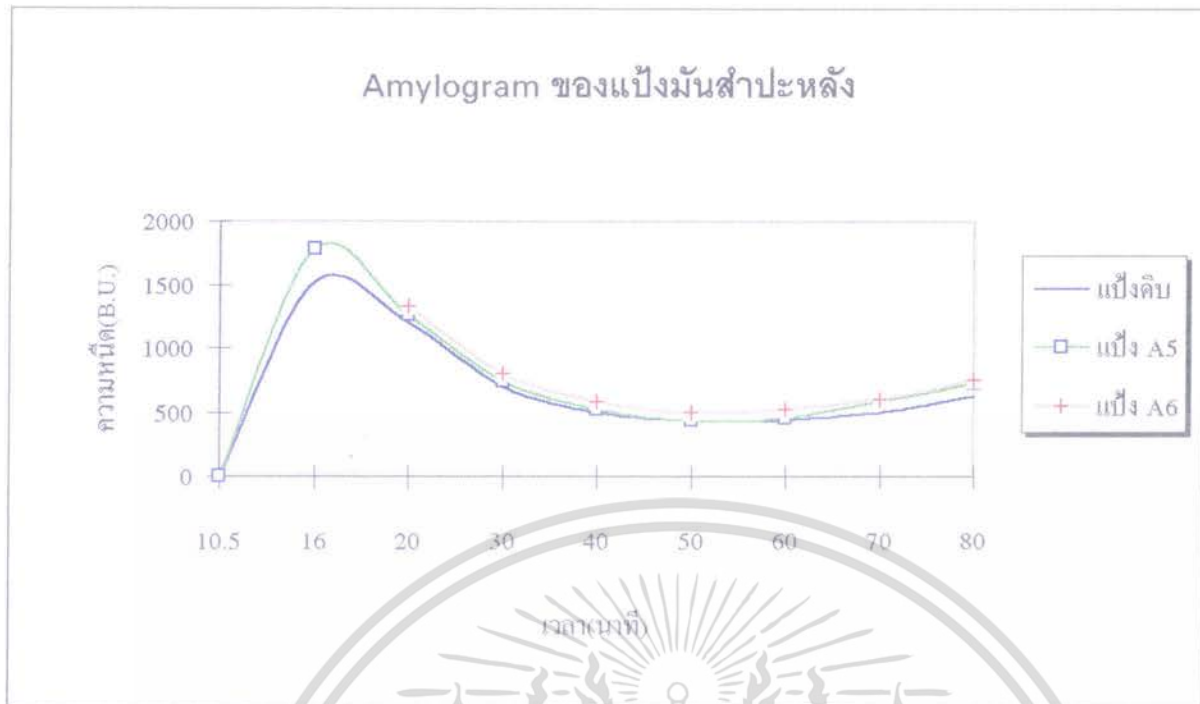
Amylogram ของแป้งมันสำปะหลัง



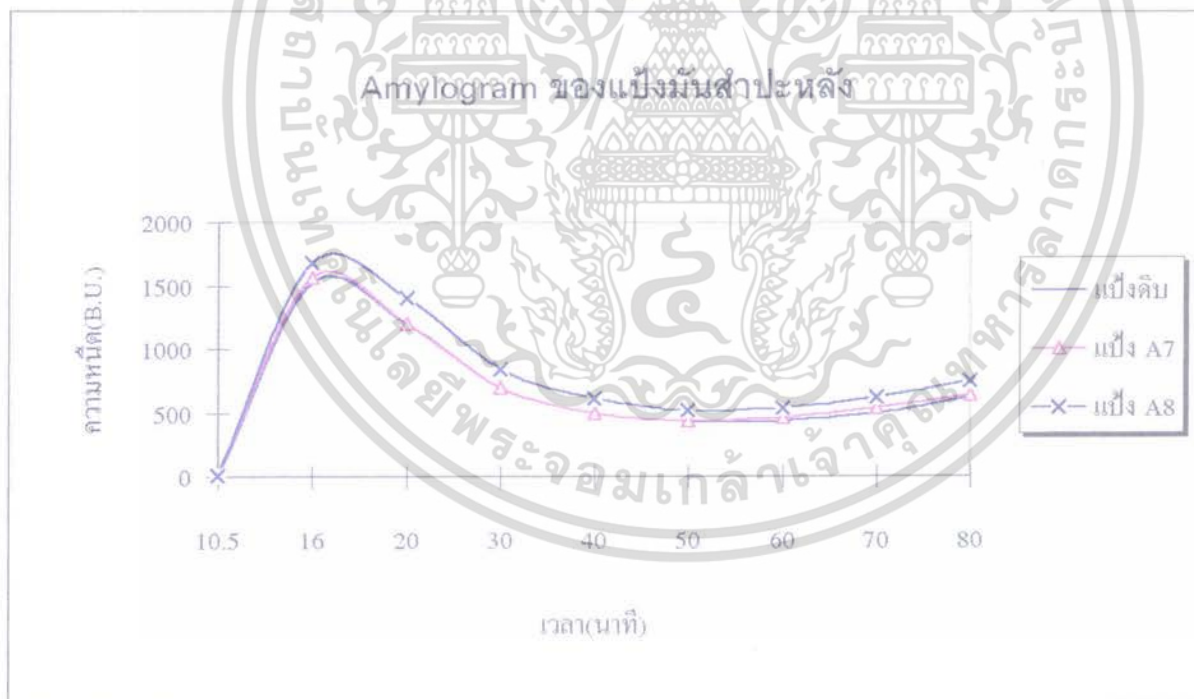
เวลา(นาที)

ภาพที่ 14 แสดงอะมัยโลแกรมของแป้งมันสำปะหลังและแป้งชนิดแปร A4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

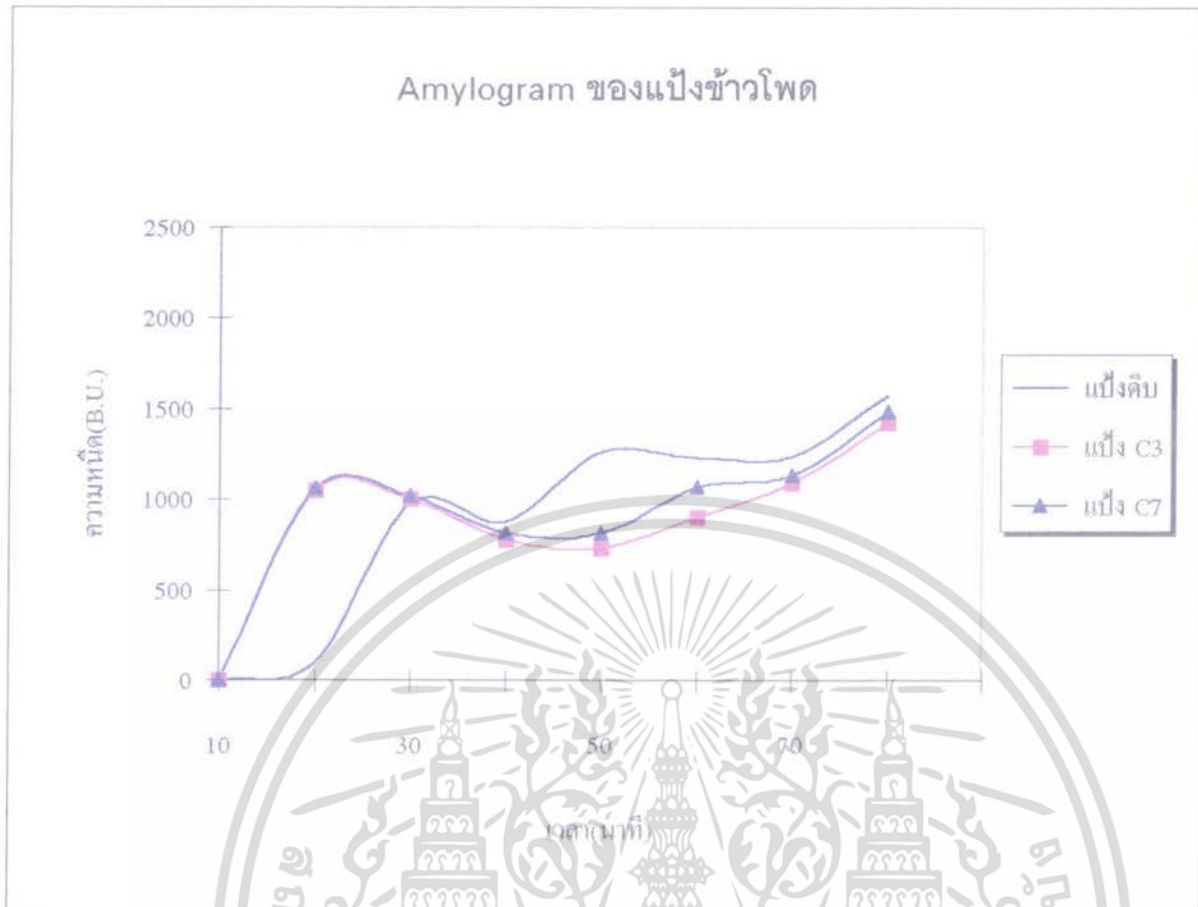


ภาพที่ 15 แสดงอะมีลโลแกรมของแป้งมันสำปะหลังกับแป้งดัดแปร A5 และ A6



ภาพที่ 16 แสดงอะมีลโลแกรมของแป้งมันสำปะหลังกับแป้งดัดแปร A7 และ A8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 17 แสดงอะมัยโตแกรมของแป้งข้าวโพดกับแป้งคิดเบริง C3 และ C7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ปริมาณฟอสเฟตในแป้งที่ดัดแปร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยจะแปรผันตามความเข้มข้นของ โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลา

2. การละลายของเม็ดแป้งและความสามารถในการพองตัวของแป้งดัดแปร มีอัตราที่ลดลง โดยแปรผกผันกับความเข้มข้นของโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิ และเวลา เมื่อเทียบกับแป้งดิบ

3. สภาพที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตครอสลิงค์สตาร์ช จากแป้งมันสำปะหลังคือ 0.2 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 3 ชั่วโมง

4. แป้งข้าวโพดไม่เหมาะที่จะนำมาดัดแปรโดยวิธีครอสลิงกิง เนื่องจากแป้งข้าวโพดเกิดการตกตะกอนของโปรตีนในระหว่างการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง

5. การผลิตผลิตภัณฑ์ได้ส่วนข้าวโพดบรรจุกระป๋องโดยใช้แป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการดัดแปรแทนแป้งมันสำปะหลัง พบว่า ผลิตภัณฑ์จะคงคุณสมบัติความหนืดดีกว่า ภายหลังจากการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- วรรณุช ศรีเชษฐารักษ์. 2535. การแปรรูปแป้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 53 น.
- วรรณณา ตั้งเจริญชัย. 2535. เคมีอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง. 320 น.
- ปราณี สราสวัสดิ์. 2534. เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ธัญพืช. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะธุรกิจเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. 331 น.
- Birch,G.G. and R.J.Priestly. 1980. Official Method of Analysis.13rd ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. pp 35-36.
- Charley,H. 1982. Food Science.2nd ed. John Wiley & Sons Inc, New York. pp 73.
- Chabot,J.F. 1976. Effect of Chemical modification on the ultrastructure of corn,waxy maize,and topioca starches. Cereal Chem. 53(1):85-91.
- Elder,A.L. and T.J. Schoch. 1959. Measuring The Useful Properties of Starch. Cereal Science Today.4(7):202-208.
- Greenwood,C.T. and W.Banks. 1975. Starch and Its Components. Halsted press, New York. pp 95-99.
- Hodge,J.E. and E.M. Osman. 1976. Carbohydrates In Food Chemistry.1st ed. (Fennema,O.R.ed). Marcel Dekker Inc, New York. pp 102-104.
- Kerr,R.W. 1950. Chemistry and Industry of Starch. Academic Press, New York. pp 231-233.
- Kite,F.E. 1971. Phosphate in Food Processing. AVI Publishing Company,Connecticut. pp 103-119.
- Knight,J.W. 1969. The Starch Industry. Pergamon press, Oxford. pp 77-79.
- Kruger,L.H. and M. Murray. 1979. Rheology and Texture in Food Quality. AVI Publishing Company, Connecticut. pp 427-444.
- Leach,H.W. and T.J. Schoch. 1959. Structure of the Starch granule swelling and solubility patterns of various starches. Cereal Chem. 36(1):534-544.
- Rutenberg,M.W. and D.Solarek. 1984. Starch Production Technology. Academic Press, New york. pp 154-160.

Schoch,T.J. 1945. Advances in Carbohydrate Chemistry Vol 1. Academic Press, New York.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
pp 146-147.
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schoch,T.J. 1959. Starch Technology. McGraw-Hill Book Company, New York. pp 32-35.

Zobel,H.F. 1988.Molecules to Granules:A Comprehensive Starch Review.

Starch/starke.40(20):44-50.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การคำนวณหาปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นของแป้งที่จะใช้ควรอยู่ในช่วง 10-11 เปอร์เซ็นต์ เพื่อไม่ให้ เกิดความคลาดเคลื่อนจากน้ำหนักน้ำในแป้ง โดยนำตัวอย่างแป้งประมาณ 2-5 กรัม มาหาความชื้นโดยคำนวณจากสูตร

ตัวอย่างเช่น การหาปริมาณความชื้นแป้งมันสำปะหลังตราปลาสีดาว

น้ำหนักแป้งก่อนอบ = 3.5034 กรัม

น้ำหนักแป้งหลังอบ = 3.1579 กรัม

$$\text{ปริมาณความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งก่อนอบ} - \text{น้ำหนักแป้งหลังอบ}}{\text{น้ำหนักแป้งก่อนอบ}} \times 100$$

$$\text{ปริมาณความชื้นแป้ง} = \frac{(3.5034 - 3.1579)}{3.5034} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{มันสำปะหลังตราปลาสีดาว} & \quad 3.5034 \\ & = 9.86 \% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

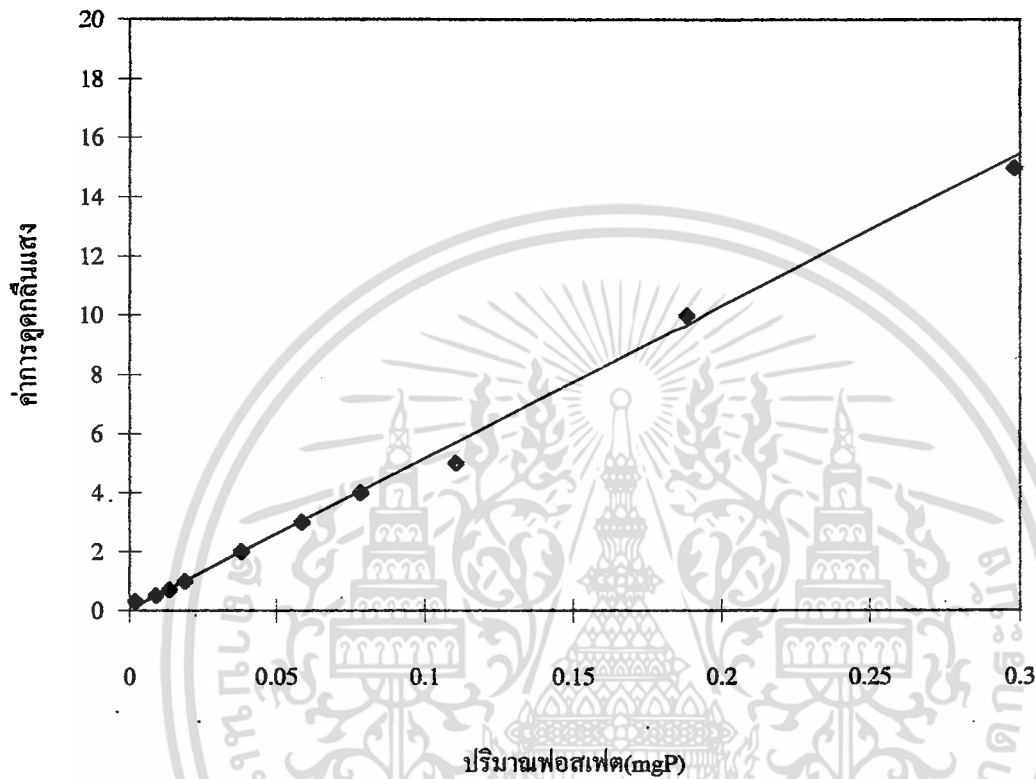
กราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส

ตารางที่ 8 แสดงค่าการดูดกลืนแสงในกราฟมาตรฐาน

ปริมาณสารละลาย ฟอสฟอรัสมาตรฐาน (mgP /ml)	ค่าการดูดกลืนแสง ($\lambda = 460 \text{ nm}$)
0	0
0.03	0.002
0.05	0.009
0.07	0.014
0.10	0.019
0.20	0.038
0.30	0.059
0.40	0.078
0.50	0.110
1.00	0.188
1.50	0.298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟมาตรฐานปริมาณฟอสฟอรัส



ภาพที่ 18 แสดงกราฟมาตรฐานในการหาปริมาณฟอสฟอรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การคำนวณร้อยละการละลายและกำลังการพองตัว

สูตรการคำนวณ

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่เป็นแป้งเปียก} \times 100}{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

ตัวอย่างเช่นการหาร้อยละการละลายและกำลังการพองตัวของแป้งมันสำปะหลังตราปลาสีดาว

$$\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} = 0.0954 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} = 1.0036 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักส่วนที่เป็นแป้งเปียก} = 2.3636 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} = 0.0954 \text{ กรัม}$$

ซึ่งสามารถคำนวณค่าร้อยละการละลายและกำลังการพองตัวได้ดังนี้

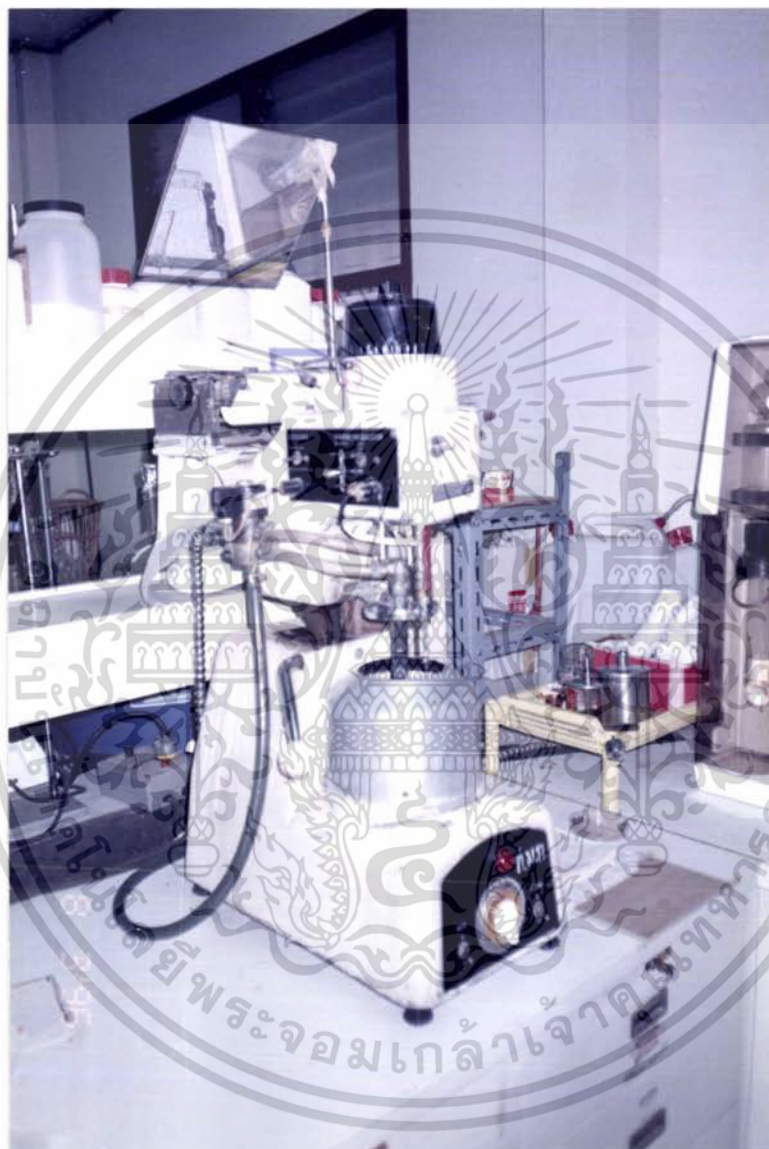
$$\begin{aligned} \text{ร้อยละการละลาย} &= \frac{0.0954 \times 100}{1.0036} \\ &= 9.51\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{กำลังการพองตัว} &= \frac{2.3636 \times 100}{0.0954 \times (100 - 9.51)} \\ &= 26.95\% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

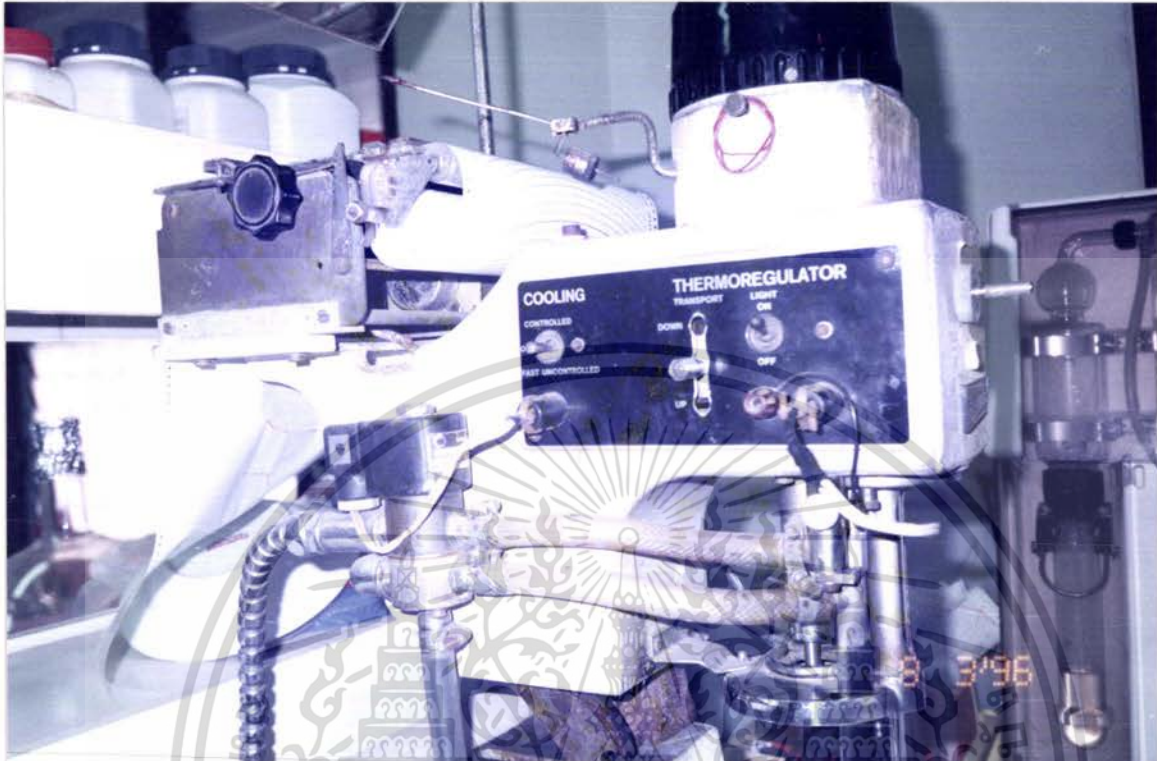
ภาคผนวก ง.

ภาพแสดงเครื่องบราเบนเดอร์และเครื่องบดแป้ง



ภาพที่ 19 แสดงภาพเครื่องบราเบนเดอร์วิสโคะมัยโลกกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 20 แสดงภาพปุ่มควบคุมเครื่องบราเวนเดอร์วิสโคะมัยโลกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 21 แสดงภาพเครื่องบดแป้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายภูมิ สมหาร เกิดเมื่อวันที่ 3 มกราคม 2516 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต(วท.บ.) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีพ.ศ. 2539 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนราชวินิต มัธยม จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีพ.ศ. 2534

นายพินิจ เสียงเสนาะ เกิดเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม 2516 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต(วท.บ.) สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีพ.ศ. 2539 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนวัดทรงธรรม จังหวัดสมุทรปราการ ในปีพ.ศ. 2535



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้