



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของไคโตซานต่อคุณสมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์ของเส้นก๋วยเตี๋ยว

Effect of Chitosan on Physicochemical Properties of Rice Noodle

นามผู้วิจัย นางสาวภัทรานิษฐ์ กลิ่นมัลย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(..... อาจารย์สาวิตรี รัตนสมวงศ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์น้ำฝน ลำดับวงศ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์มาศอุบล ทองงาม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา
(..... ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณี จิรภาคย์กุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....
(..... รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D. Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงห์ มทาวินทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของไคโตซานต่อคุณสมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์ของเส้นก๋วยเตี๋ยว

Effect of Chitosan on Physicochemical Properties of Rice Noodle

โดย

นางสาวภัทรานิษฐ์ กลิ่นมัลย์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กัทรานิษฐ์ กลิ่นมาลัย 2557: ผลของไคโตซานต่อคุณสมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์ของเส้นก๋วยเตี๋ยว ปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร) สาขาวิทยาศาสตรการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร
และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สาวิตรี รัตนสุมาวงศ์, Ph.D.

182 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาผลของไคโตซานต่อสมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตาร์ชและแป้ง
ข้าว ได้แก่ สมบัติด้านความหนืดและสมบัติทางความร้อน 2) ศึกษาผลของไคโตซานต่อคุณสมบัติของเส้น
ก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากสตาร์ชและแป้งข้าวในด้านกายภาพ ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเส้นก๋วยเตี๋ยว การเกิด
อันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซาน และเนื้อสัมผัส 3) ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเกิดรีโทรเกร-
เดชันและคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษา โดยความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานที่ใช้ใน
งานวิจัยนี้ คือ 0.33% และ 0.50% ไคโตซานในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.33% จากผลการทดลอง พบว่า
การเติมไคโตซานจะส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดต่ำสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และค่าเซตแบคของ
สตาร์ชและแป้งข้าวมียกเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวแทนละลาย นอกจากนี้ การเติม
ไคโตซานและกรดอะซิติกจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า T_0 , T_p , T_c และ ΔH ของการเกิดเจลในเซชัน
ของสตาร์ชและแป้งข้าว เนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชเมื่อมีไคโตซานจะมีความนุ่มและมีค่าความเกาะติดกันสูง
ที่สุด ซึ่งอาจจะอธิบายได้จากภาพจากกล้องฟลูออเรสเซนซ์ ที่พบว่า ไคโตซานมีการแทรกตัวอยู่ในเส้น
ก๋วยเตี๋ยวซึ่งไคโตซานอาจจะไปขัดขวางการเกิดโครงข่ายร่างแหของแอมิโลส ทำให้เจลที่ได้นุ่มขึ้น แต่การเติม
ไคโตซานจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเจลแป้งข้าว ซึ่งอาจจะอธิบายได้จากภาพจากกล้อง
ฟลูออเรสเซนซ์และกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราดที่พบว่า โครงข่ายร่างแหของโปรตีนในเส้น
ก๋วยเตี๋ยวซึ่งโครงสร้างดังกล่าวอาจช่วยยึดโครงสร้างของเจลแป้งข้าวเอาไว้ นอกจากนี้การเติมไคโตซานจะไม่
ส่งผลต่อค่าความชื้น แต่จะทำให้สีของเส้นก๋วยเต๋วยมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น โดยค่าความเป็นสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นตาม
ความเข้มข้นของไคโตซานที่เพิ่มขึ้นทั้งในเส้นก๋วยเต๋วยที่ทำจากสตาร์ชและแป้งข้าว เมื่อทำการศึกษาผลของ
ไคโตซานต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันและคุณภาพของเส้นก๋วยเต๋วยที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 4 °ซ
พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 °ซ ค่าพลังงานในการสลายผลึกแอมิโลเพกทินของเส้นก๋วยเต๋วยเพิ่มขึ้นตลอดช่วงวันที่เก็บ
รักษา 5 วัน แต่การเก็บรักษาเส้นก๋วยเต๋วยที่อุณหภูมิ 4 °ซ ค่าพลังงานในการสลายผลึกแอมิโลเพกทินของเส้น
ก๋วยเต๋วยจะเพิ่มขึ้นในวันที่ 1 และคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 14 วัน ระยะเวลาในการเก็บรักษาไม่ส่งผล
ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างและค่าสีของเส้นก๋วยเต๋วยที่ทั้งสองอุณหภูมิ ค่าความชื้นของเจลแป้ง
ข้าวมียกต่ำลงเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 30 °ซ แต่ค่าความชื้นมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บ
รักษา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 4 °ซ การใช้ไคโตซานสามารถช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็ง และการลดลงของ
ค่าความเกาะติดกันและค่าความยืดหยุ่นในเจลแป้งข้าวเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °ซ แต่ไม่สามารถช่วย
ชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งในเจลแป้งข้าวเมื่อทำการเก็บรักษาที่ 4 °ซ

Phatthranit Klinmalai 2014: Effect of Chitosan on Physicochemical Properties of Rice Noodle.
Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and
Technology. Thesis Advisor: Mrs. Savitree Ratanasumawong, Ph.D. 182 pages.

The objective of this work were 1) to study the effect of chitosan on physicochemical properties of rice starch and rice flour e.g. pasting properties and thermal properties 2) to study the effect of chitosan on physical properties, microstructure, the interaction between rice starch and chitosan and texture properties of rice noodle prepared from rice flour and rice starch 3) to study the effect of chitosan on retrogradation and quality of rice flour noodle during storage. The concentration of chitosans used in this work were 0.33% and 0.50% chitosan in 0.33% acetic acid. The addition of chitosan in rice starch and rice flour slurry increased peak viscosity, trough viscosity, final viscosity and setback when compared to sample with the presence of acetic acid. The addition of chitosan and acetic acid had no effect on T_o , T_p , T_c and ΔH of starch gelatinization in both rice starch and rice flour. Fluorescence micrographs revealed the distribution of chitosan clusters in rice starch noodle. These chitosan clusters may interrupt the formation of starch network in rice starch noodle. Softness and cohesiveness of rice starch gel with chitosan were the highest. This may be attributed to the interruption of chitosan in starch network. However, chitosan had no effect on the texture of rice flour gel. Fluorescence micrographs and confocal laser scanning micrographs of rice flour noodle revealed that there was protein network in rice flour noodle. Therefore, the protein network may retard the interruption effect of chitosan in rice flour gel. The addition of chitosan had no effect on the moisture content but it increased the yellowness of rice starch and rice flour noodle. The yellowness of rice noodle increased with the increase of chitosan concentration. Amylopectin retrogradation enthalpy of rice flour noodle continuously increased during storage for 5 days at 30°C but amylopectin retrogradation enthalpy of rice flour noodle increased at day 1 and then it was constant during storage for 14 days at 4°C. The storage time of rice noodle had no effect on the change of pH and color at both temperatures. Moisture content of rice flour gel decreased during storage for 5 days at 30°C but it was constant during storage for 14 days at 4°C. Chitosan can retard the increase of hardness and decrease of cohesiveness and springiness of rice flour gel during storage at 30°C. However, chitosan cannot retard increase of hardness in rice flour gel during storage at 4°C.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร. สาวิตรี รัตนสุมาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น แนวทางในการแก้ปัญหา ความเอาใจใส่ ความเมตตา และฝึกฝนให้มีประสบการณ์ไม่ใช่ว่าแค่ด้านการเรียน แต่รวมถึงประสบการณ์อื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ในการใช้ชีวิต ตลอดจนตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. น้ำฝน ลำดับวงศ์ และ ผศ. ดร. มาศอุบล ทองงาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณ Prof. Dr. Takaharu Sakiyama และ Assoc. Prof. Dr. Tomoaki Hagiwara ที่คอยแนะนำและให้คำปรึกษาในขณะที่ผู้วิจัยได้ไปทำวิจัยแลกเปลี่ยนที่ Tokyo University of Marine Science and Technology ณ ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นงานวิจัยส่วนหนึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ กราบขอบพระคุณ Assoc. Prof. Dr. Mika Fukuoka ที่ช่วยแนะนำการใช้เครื่องดีเอสซี กราบขอบพระคุณ ดร.พิณทิพย์ รัชมกการณ์ ประธานควบคุมการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และ ดร.ศรีย กวักเพฑูรย์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำเพิ่มเติม และช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่เมตตาอบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้ามีความรู้มาจนถึงปัจจุบัน

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่กรุณามอบทุนการศึกษาให้กับผู้วิจัยและขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (KURDI) ที่กรุณามอบทุนอุดหนุนวิจัยเพื่อใช้ในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และการช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อน รุ่นพี่ และรุ่นน้องนิสิตปริญญาโท และเอก สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดช่วงระยะเวลาของการศึกษาในระดับปริญญาโท

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ที่ได้ให้การสนับสนุนและส่งเสริมด้านการศึกษา ตลอดจนกำลังใจที่ดีที่มีให้มาโดยตลอด รวมถึงผู้มีพระคุณที่มีได้เอื้อนามไว้ ณ ที่นี้ทุกท่าน สำหรับความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจอย่างดีเสมอมา

ภัทรานิษฐ์ กลิ่นมาลัย

กรกฎาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	22
อุปกรณ์	22
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	40
สรุปและข้อเสนอแนะ	125
สรุป	125
ข้อเสนอแนะ	127
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	128
ภาคผนวก	141
ภาคผนวก ก วิธีการตรวจสอบคุณภาพทางเคมี	142
ภาคผนวก ข การตรวจสอบคุณภาพทางเคมีเชิงกายภาพ	151
ภาคผนวก ค ผลการทดลองและแบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส	154
ภาคผนวก ง ข้อมูลประกอบผลการทดลอง	158
ภาคผนวก จ ข้อมูลเพิ่มเติม (ค่าสี) จากการวิเคราะห์ทางสถิติแบบสปริทตลอด	168
ภาคผนวก ฉ ผลของกรดอะซิติกต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งข้าวเจ้า และคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวสด	176
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	182

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบของแป้งและสสารข้าวเหลือง 11	41
2 ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย ค่าเซตแบค และอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของสสารข้าว	44
3 ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย ค่าเซตแบค และอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าว	48
4 การเกิดเจลในเซชันของสสารข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่มีตัวทำละลายแตกต่างกัน	51
5 การเกิดเจลในเซชันของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่มีตัวทำละลายแตกต่างกัน	54
6 ปริมาณความชื้นและค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสสารข้าว	56
7 คุณภาพด้านสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสสารข้าว	57
8 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเจลที่ทำจากสสารข้าว	70
9 ปริมาณความชื้นและค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าว	71
10 คุณภาพด้านสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าว	72
11 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเจลที่ทำจากแป้งข้าว	83
12 T_o , T_p , T_c และ ΔH ของการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของ แอมิโลเพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 วัน	87
13 ค่าความชื้นของเจลแป้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 วัน	89
14 ค่าความชื้นของเจลแป้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 วัน	89
15 ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 วัน	90
16 ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 วัน	92
17 ค่าความขาวของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 วัน	93
18 ค่าความขาวของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 วัน	94
19 ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียวติดยึด (Gumminess) ของเจลแป้ง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 วัน	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
20 ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ของเจลแป็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 วัน	99
21 ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) และค่าความเหนียวติดยืด (Gumminess) ของเจลแป็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 วัน	102
22 ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ของเจลแป็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 วัน	104
23 T_0 ของการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	109
24 T_p , T_c และ ΔH ของการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันแอมิโลเพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	110
25 T_0 , T_p , T_c และ ΔH ของการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันแอมิโลเพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน	111
26 ค่าความชื้นของเจลแป็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	113
27 ค่าความชื้นของเจลแป็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน	114
28 ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	115
29 ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน	116
30 ค่าความขาวของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	117
31 ค่าความขาวของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน	119
32 ค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	122
33 ค่าระยะทางของเจลแป็ง ณ ตำแหน่งที่เกิดแรงสูงสุดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	123
34 ค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน	123

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
35 ค่าระยะทางของเจลเป็ง ณ ตำแหน่งที่เกิดแรงสูงสุดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน	124
ตารางผนวกที่	
ค1 การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ (Hedonic test) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของกรดอะซิติกแตกต่างกัน	155
ค2 การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสแบบ Triangle ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของกรดอะซิติกแตกต่างกัน	155
ง1 ค่าสีของถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนและกระดาษสีขาวที่ใช้บรรจุเส้นก๋วยเตี๋ยว	161
ง2 อุณหภูมิใจกลางของเจลเป็งก่อนการวัดเนื้อสัมผัส เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C	163
ง3 อุณหภูมิใจกลางของเจลเป็งก่อนการวัดเนื้อสัมผัส เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C	163
จ1 ค่า $L^*a^*b^*$ ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 วัน	169
จ2 ค่า $L^*a^*b^*$ ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 วัน	170
จ3 ค่า L^* ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	172
จ4 ค่า a^* และ b^* ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	174
จ5 ค่า $L^*a^*b^*$ ของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 14 วัน	175
ฉ1 ค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย ค่าเซตแบคและอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าว	179
ฉ2 ค่าความชื้นและค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยว	180

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

หน้า

น3 ค่าเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว

180



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างของสตาร์ชที่ประกอบด้วย ก) แอมิโลส และ ข) แอมิโลเพกทิน	7
2 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคติน และไคโตซาน	15
3 แผนผังกระบวนการผลิตไคตินและไคโตซาน	15
4 แนวการตัดตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการตัดด้วยเครื่องตัดตัวอย่างที่จุดเยือกแข็ง	33
5 กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชข้าวที่ใช้ตัวทำละลายต่างกัน	42
6 กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวที่ใช้ตัวทำละลายต่างกัน	45
7 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชข้าวที่ใช้ตัวทำละลายต่างกัน	49
8 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวที่ใช้ตัวทำละลายต่างกัน	52
9 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตาร์ชข้าว	60
10 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซานในอัตราส่วน 1:1	61
11 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 ก่อนและหลังการให้ความร้อน	62
12 การกระจายตัวของสตาร์ชภายในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตาร์ชข้าว	64
13 การกระจายตัวของโครงสร้างภายในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตาร์ชแบบ Phase contrast	65
14 การกระจายตัวของโปรตีนภายในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตาร์ชข้าว	66
15 โครงสร้างภายในของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตาร์ชข้าว	68
16 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าว	74
17 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในของผสมระหว่างแป้งข้าวและไคโตซานในอัตราส่วน 1:1	75
18 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในของผสมระหว่างแป้งข้าวและไคโตซานในอัตราส่วน 1:1 ก่อนและหลังการให้ความร้อน	76
19 การกระจายตัวของสตาร์ชภายในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าว	78
20 การกระจายตัวของโครงสร้างภายในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าวแบบ Phase contrast	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
21 การกระจายตัวของโปรตีนภายในเส้นก๊วยเตี๋ยที่ทำจากแป้งข้าว	80
22 โครงสร้างภายในของเส้นก๊วยเตี๋ยที่ทำจากแป้งข้าว	82
23 สมบัติทางความร้อนของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อใช้น้ำดีไออไนซ์เป็นตัวทำละลาย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 0 และ 1 วัน	86
24 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรดต่างระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 วัน	91
25 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความแข็งระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 วัน	97
26 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความเหนียวติดยี่ระหว่างวันที่เก็บรักษาและ สภาวะในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 1 วัน	97
27 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความแข็งระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 วัน	103
28 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความเกาะติดกันระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 วัน	103
29 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความเหนียวติดยี่ระหว่างวันที่เก็บรักษาและ สภาวะในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 5 วัน	104
30 สมบัติทางความร้อนของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อใช้น้ำดีไออไนซ์เป็นตัวทำละลาย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 0 และ 1 วัน	106
31 กราฟความสัมพันธ์ของค่า T_0 ระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	109
32 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความขาวระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	118
33 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความขาวระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน	119
34 กราฟความสัมพันธ์ของค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	122

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
35 กราฟความสัมพันธ์ของค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักระหว่างวันที่เก็บรักษาและสถานะในการทดลองของเส้นก้วยเดี่ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน	124
ภาพผนวกที่	
ก1 ปริมาณแอมิโลสและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน แอมิโลสที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร	149
ง1 สีของสารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้น 200 ppm และ 3000 ppm	159
ง2 ลักษณะของเส้นก้วยเดี่ยวที่เตรียมจากแป้งข้าวโดยใช้ตัวทำละลายต่างกัน	159
ง3 ลักษณะของเส้นก้วยเดี่ยวที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวโดยใช้ตัวทำละลายต่างกัน	160
ง4 ลักษณะการบรรจุตัวอย่างเพื่อใช้ในการวัดสีเส้นก้วยเดี่ยวสด	160
ง5 ลักษณะของเจลแป้งที่เตรียมจากแป้งข้าว	161
ง6 ลักษณะของเจลแป้งที่ใช้ในการวัดเนื้อสัมผัส	161
ง7 ลักษณะของเชื้อที่พบในเส้นก้วยเดี่ยวที่มีการเสื่อมเสียระหว่างการเก็บรักษา	162
ง8 ลักษณะการบรรจุตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันในเส้นก้วยเดี่ยว	162
ง9 สมบัติทางความร้อนของเส้นก้วยเดี่ยวเมื่อใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 0 และ 1 วัน	164
ง10 สมบัติทางความร้อนของเส้นก้วยเดี่ยวเมื่อใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลาย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 0 และ 1 วัน	164
ง11 สมบัติทางความร้อนของเส้นก้วยเดี่ยวเมื่อใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 0 และ 1 วัน	165
ง12 สมบัติทางความร้อนของเส้นก้วยเดี่ยวเมื่อใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลาย เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 0 และ 1 วัน	165
ง13 กราฟการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเจลแป้ง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 0 วัน	166

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ง14 กราฟการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเจลแป็ง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 1 วัน	166
ง15 กราฟการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเจลแป็ง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน	167
ง16 กราฟการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเจลแป็ง เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 14 วัน	167
จ1 กราฟความสัมพันธ์ของค่า L* ระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 5 วัน	171
จ2 กราฟความสัมพันธ์ของค่า a* ระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 5 วัน	171
จ3 กราฟความสัมพันธ์ของค่า b* ระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 7 วัน	172
จ4 กราฟความสัมพันธ์ของค่า L* ระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะ ในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 7 วัน	173
ฉ1 กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวที่มีความเข้มข้นของกรดอะซิติก เป็นตัวทำละลายต่างกัน	177
ฉ2 ลักษณะพื้นผิวของเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้นของกรดอะซิติก เป็นตัวทำละลายต่างกัน	181

ผลของไคโตซานต่อคุณสมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์ของเส้นก๋วยเตี๋ยว

Effect of Chitosan on Physicochemical Properties of Rice Noodle

คำนำ

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวเจ้าที่คนไทยนิยมบริโภค เนื่องจากมีราคาถูก และสามารถนำไปประกอบเป็นอาหารได้หลายรูปแบบ ในปัจจุบันตลาดของผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้เติบโตอย่างรวดเร็ว ก๋วยเตี๋ยวเส้นสดส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในรูปของก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ซึ่งผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศ แต่ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่มักมีปัญหาในเรื่องอายุการเก็บรักษาที่สั้น เนื่องจากมีปริมาณความชื้นและค่า a_w สูง คือ 62.51% และ 0.91 ตามลำดับ (Rachtanapun and Tangnonthaphat, 2011) ทำให้เกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อราและแบคทีเรีย เช่น เชื้อรา *Aspergillus* ซึ่งพบอยู่ในแป้ง เชื้อรา *Penicillium* รวมทั้งเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* (สุวรรณมณฑ, 2546; Rachtanapun and Tangnonthaphat, 2011) ดังนั้นในทางอุตสาหกรรมมักมีการเติมกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) รวมทั้งเกลือเบนโซเอต (Sodium benzoate) ลงไปในขั้นตอนการทำเส้นก๋วยเตี๋ยวสด เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (กัลยาณี, 2541) ซึ่งปริมาณที่อนุญาตให้ใช้กรดเบนโซอิกในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 281) พ.ศ. 2547 จะกำหนดการใช้กรดเบนโซอิกไม่เกิน 1,000 มิลลิกรัมต่อ 1 กิโลกรัมอาหาร แต่ในปัจจุบันพบว่า มีการใช้วัตถุกันเสียดังกล่าวในปริมาณที่เกินมาตรฐานกำหนด ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคอย่างมาก (นิรนาม, 2550) ดังนั้น การนำไคโตซานซึ่งเป็นไบโอโพลิเมอร์จากธรรมชาติ ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (No *et al.*, 2002; Goy *et al.*, 2009) มาใช้ในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น การนำไคโตซานมาใช้เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์อาหารมีการศึกษาในอาหารหลายชนิด เช่น ขนมันฝรั่ง ผัก ผลไม้ เต้าหู้ แครกข้าว และเส้นพาสต้า (Lee *et al.*, 2000; No and Meyers, 2004; No *et al.*, 2007; Nobile *et al.*, 2009) แต่การที่จะนำไคโตซานมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น จำเป็นที่จะต้องละลายไคโตซานในสารละลายกรด เช่น สารละลายกรดอะซิติก โดยการละลายไคโตซานในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้ดีที่สุด (No *et al.*, 2002) ดังนั้นการนำไคโตซานมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้นจะมีอิทธิพลของกรดร่วมด้วย โดยมีรายงานว่า การใช้กรดอะซิติกจะทำให้การเกิดรีโทรเกรเดชันมีค่าลดลง (Ohishi *et al.*, 2007; Wu *et al.*, 2010) และค่าความแข็งกระด้างของข้าว-หุงสุกมีค่าลดลง (Kasai *et al.*, 2001) นอกจากอิทธิพลจากกรดแล้ว ไคโตซานเองก็อาจส่งผลต่อ

คุณภาพของอาหารเช่นกัน การศึกษาผลของไคโตซานในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นมีความจำเป็นอย่างมาก ซึ่งในปัจจุบันงานวิจัยส่วนนี้ยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยมีรายงานการศึกษาในเต้าหู้ขมปัง และ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชมันเทศ (Baek *et al.*, 2001; No and Meyers, 2004; Kerch *et al.*, 2008; Kerch *et al.*, 2010) การเติมไคโตซานในเต้าหู้จะทำให้เต้าหู้มีค่าความแข็งสูงกว่าเต้าหู้ทางการค้าและมีอายุการเก็บรักษานานกว่าเต้าหู้ที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) ในการตกตะกอนเป็นเวลา 3 วัน (No and Meyers, 2004) การเติมไคโตซานจะช่วยให้ขนมปังมีความชื้นสูงกว่าในสถานะที่ไม่มีไคโตซานตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Kerch *et al.*, 2008) และทำให้ความแน่นเนื้อของขนมปังมีค่าเพิ่มขึ้น (Kerch *et al.*, 2010) แต่การใช้ไคโตซานจะทำให้ค่าความแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชมันเทศมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีสารส้ม (ตัวอย่างควบคุม) และเมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานจะทำให้ระยะเวลาในการสุกของเส้นก๋วยเตี๋ยวนานขึ้น ค่าความแข็งและค่าความเหนียวติดขัดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเกาะติดกันและค่าความยืดหยุ่นจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซาน (Baek *et al.*, 2001)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการนำไคโตซานมาใช้ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในเส้นก๋วยเตี๋ยวนั้นจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงผลกระทบของไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วย แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับผลของไคโตซานต่อคุณสมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์รวมถึงคุณภาพในเส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่ทำจากแป้งข้าวเลย ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ไคโตซานในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของไคโตซานต่อคุณสมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์ของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยทำการศึกษาผลของไคโตซานต่อสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตาร์ชและแป้งข้าว ศึกษาผลของไคโตซานต่อสมบัติของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตาร์ชและแป้งข้าวในด้านกายภาพ ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเส้นก๋วยเตี๋ยว การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซาน และเนื้อสัมผัส รวมทั้งศึกษาผลของไคโตซานต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันและคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อเป็นแนวทางในการใช้ไคโตซานในผลิตภัณฑ์จากสตาร์ชข้าวหรือแป้งข้าวให้เหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลของโคโคซานต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดและสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชและแป้งข้าวเจ้า
2. ศึกษาอิทธิพลของโคโคซานต่อคุณสมบัติของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากสตาร์ชและแป้งข้าวในด้านกายภาพ ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเส้นก๋วยเตี๋ยว การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชข้าวและโคโคซาน และเนื้อสัมผัส
3. ศึกษาอิทธิพลของโคโคซานและกรดอะซิติกต่อการเกิดรีโทเกรเดชันและคุณสมบัติของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวโดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและ 4 องศาเซลเซียส

การตรวจเอกสาร

1. ก้วยเตี่ยว

ก้วยเตี่ยวเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากแป้งข้าวเจ้าที่นิยมแพร่หลายในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ไทย เวียดนาม โดยในประเทศเวียดนามเรียกเส้นก้วยเตี่ยวที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าว่า เฝอ ในปัจจุบันพบว่า คนไทยมีการบริโภคก้วยเตี่ยวปริมาณมากรองจากการบริโภคข้าวหุงสุก (ประชาชาติธุรกิจ, 2554) เนื่องจากเป็นอาหารที่บริโภคง่าย สะดวก และมีราคาถูก นอกจากนี้เส้นก้วยเตี่ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากโปรตีนกลูเตน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมก้วยเตี่ยว (มอก. 959-2533) ได้ให้คำจำกัดความของก้วยเตี่ยวไว้ว่า เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าวเจ้าที่นำมาไม่หรือแป้งข้าวเจ้าซึ่งอาจมีแป้งชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยก็ได้ และนำมาทำให้เป็นแผ่นบาง นึ่งให้สุก ตัดเป็นเส้นและทำให้แห้ง ก้วยเตี่ยวที่ได้จะต้องมีความหนาสม่ำเสมอโดยเฉลี่ยไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร มีสีขาวนวลสม่ำเสมอ มีกลิ่นรสตามธรรมชาติ ไม่มีกลิ่นหืน หรือกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์อื่น นุ่มและเหนียวไม่เกาะติดกัน ในการผลิตเส้นก้วยเตี่ยวมักจะใช้ปลายข้าวเป็นวัตถุดิบ ก้วยเตี่ยวจะทำจากข้าวที่มีเมล็ดยาวและมีปริมาณแอมิโลสสูง (Bhattacharya *et al.*, 1999) โดยใช้ข้าวที่มีความเก่าอย่างน้อย 3-4 เดือนหลังเก็บเกี่ยว งามชื่น (2541) และพอฟงส์ (2526) รายงานว่า ข้าวเก่าจะเหมาะสมสำหรับเป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์เส้น เนื่องจากเส้นก้วยเตี่ยวที่ได้จะเหนียว ไม่ขาดง่าย

การจำแนกเส้นก้วยเตี่ยวตามปริมาณความชื้นภายในเส้นก้วยเตี่ยวจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้ (งามชื่น, 2541; วิภา, 2541)

1. ก้วยเตี่ยวสด เป็นเส้นก้วยเตี่ยวซึ่งไม่ผ่านขั้นตอนการทำแห้ง ปกติจะมีความชื้นร้อยละ 60-64 เก็บรักษาได้ไม่นาน มีอายุการเก็บรักษา 1-2 วัน
2. ก้วยเตี่ยวกึ่งแห้ง เป็นก้วยเตี่ยวที่ได้จากการนำเส้นสดมาผึ่งลมจนมีความชื้นร้อยละ 37 จึงตัดเป็นเส้น ก้วยเตี่ยวชนิดนี้มีอายุการเก็บ 1-2 วัน เช่นเดียวกับก้วยเตี่ยวสด
3. ก้วยเตี่ยวเส้นแห้ง เป็นก้วยเตี่ยวที่ทำให้แห้งด้วยการอบลมร้อนหลังจากตัดเป็นเส้นแล้ว ก้วยเตี่ยวชนิดนี้มีความชื้นร้อยละ 13% หรือต่ำกว่า สามารถเก็บได้นานเป็นปีในสภาวะที่เหมาะสม

2. วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

2.1 ข้าวเจ้า

ข้าวที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ทำก๋วยเตี๋ยวต้องเป็นข้าวที่มีเมล็ดแข็ง ยาวเรียวยาว และมีปริมาณแอมิโลสสูงระหว่างร้อยละ 27-33 (อรอนงค์, 2550) เนื่องจากปริมาณแอมิโลสมีความสำคัญต่อการเกิดเจล เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิที่แป้งสุก (gelatinization temperature) และปล่อยให้เย็นลง แป้งสุกที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวเป็นแผ่นได้ดี มีลักษณะเหนียว ยืดหยุ่น ไม่แฉะติดกัน และเจลที่ได้จะมีความคงตัวสูงทนทานต่อการสลายตัวระหว่างการหุงต้ม (พิมพ์เพ็ญ, 2533) ซึ่งสอดคล้องกับน้ำฝน (2548) รายงานว่า แป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสมากกว่าร้อยละ 22 จะสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นก๋วยเตี๋ยวได้ ไม่แฉะแตก พันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพดีเหมาะสำหรับนำมาทำก๋วยเตี๋ยวมีหลายพันธุ์ เช่น ข้าวเหลือง 11 ข้าวเหลืองประทิว 123 ข้าวขาว 500 และ กข 1 (ศศิภา, 2553) เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสสูง นอกจากนี้ อรอนงค์ (2550) และอรพิน (2533) กล่าวว่า ข้าวที่นำมาใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวควรเป็นข้าวเก่าที่มีอายุการเก็บอย่างน้อย 4 เดือนและจะต้องเป็นข้าวที่ผ่านการขัดสีสูงเพื่อให้กลายเป็นข้าวขาว เนื่องจากเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จะมีความขาว ไม่ติดเครื่องนึ่ง เส้นที่ได้จะมีความเหนียว ไม่ขาดง่ายและไม่อมน้ำเมื่อนำมาประกอบอาหาร นอกจากนี้ข้าวเก่าจะให้เนื้อก๋วยเตี๋ยวมากกว่า เพราะมีสมบัติในการดูดน้ำและขยายตัวได้สูงจึงมีการสูญเสียจากการล้างน้ำน้อย

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเจ้า

2.1.1.1 คาร์โบไฮเดรต

ในข้าวสารจะมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ร้อยละ 77-89 ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสตาร์ชร้อยละ 90 (อรอนงค์, 2550) สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งข้าวเจ้า โดยโมเลกุลของสตาร์ชจะรวมตัวกันเป็นเม็ดสตาร์ช (starch granule) มีขนาด 3-5 ไมครอน เม็ดสตาร์ชจะมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (semi-crystallite) ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส คือ แอมิโลส (amylose) และแอมิโลเพกทิน (amylopectin) โดยจัดเรียงตัวในเม็ดสตาร์ชทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนอสัณฐาน (อรอนงค์, 2550; กล้าณรงค์และเกื้อกูล, 2550)

2.1.1.1.1 แอมิโลส ประกอบด้วยโมเลกุลสายตรงที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วยจัดเรียงตัวกันด้วยพันธะแอลฟาดี-1,4-กลูโคซิดิก (α -1,4-glucosidic linkage) โมเลกุลของแอมิโลสจัดเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสสายยาวที่มีขนาดใหญ่มาก ดังภาพที่ 1ก แอมิโลสในสตาร์จะมีสายกิ่งที่จับอยู่กับสายโซ่หลักด้วยพันธะแอลฟาดี-1,6-กลูโคซิดิกบ้างเล็กน้อยประมาณ 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์ของพันธะทั้งหมด (นิธิยา, 2549) โมเลกุลของแอมิโลสจะมีน้ำหนักโมเลกุล 10^5 - 10^6 ดาลตัน (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2550; Van Soest and Vliegenthart, 1997) โครงสร้างของแอมิโลสจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คล้ายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) เมื่อแอมิโลสอยู่ในสารละลาย พบว่า โมเลกุลของแอมิโลสซึ่งเป็นสายยาวจะจับคู่กับแอมิโลสอีกโมเลกุลหนึ่งเกิดโมเลกุลเกลียวคู่ เกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (กล้านรงค์และเกื้อกูล, 2550) นอกจากนี้ แอมิโลสสามารถจับกับไอโอดีนโดยพันธเป็นเกลียว (helical structure) รอบๆ ไอโอดีน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไอโอดีน (amylose-iodine complex) สีที่เกิดขึ้นจะเป็นสีน้ำเงินซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีแอมิโลสเป็นองค์ประกอบ โดยความเข้มของสีจะแปรผันตามความยาวของสายแอมิโลส (Pomeranz, 1991) นอกจากนี้แอมิโลสสามารถรวมตัวกับสารประกอบอื่นๆ เช่น กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว และไฮโดรคาร์บอน

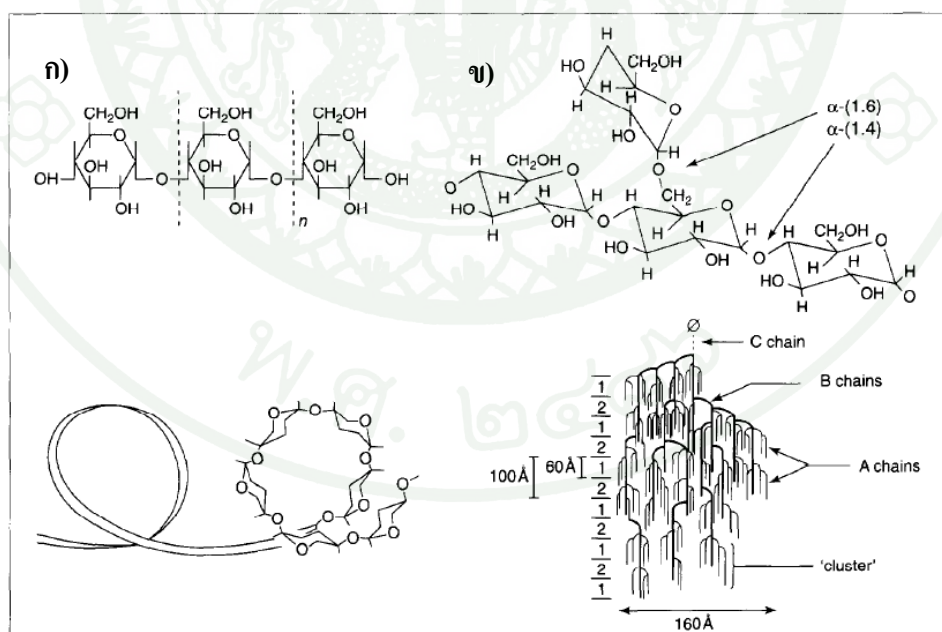
ในกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวนี้พบว่า แอมิโลสเป็นส่วนสำคัญในการทำให้เกิดเป็นแผ่นก๋วยเตี๋ยวได้ น้ำฝนและสงวนศรี (2548) ได้ทำการทดลองทำแผ่นก๋วยเตี๋ยวโดยใช้แป้งข้าว 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ชัยนาท 1 พันธุ์เหลือง 11 และพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่า แป้งข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์เหลือง 11 ซึ่งเป็นข้าวที่มีแอมิโลสสูงสามารถนำมาทำเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ เนื่องจากแป้งข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์เหลือง 11 มีปริมาณแอมิโลสสูงพอที่จะทำให้แผ่นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเย็นตัวลงจะเกิดการจับตัวเชื่อมต่อกันของแอมิโลส สามารถลอกออกมาเป็นแผ่นก๋วยเตี๋ยวได้ แต่พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไม่สามารถทำเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ นอกจากนี้ยุทธนา (2545) กล่าวว่า ปริมาณแอมิโลสในแป้งข้าวมียผลต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันและคุณภาพของเจล โดยแป้งข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำจะทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชันได้ช้า เจลที่ได้จะเหนียวเหนอะหนะ แต่เมื่อปริมาณแอมิโลสในแป้งสูงขึ้น พบว่า สามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็ว ความเหนียวจะลดลงและมีความหนืดมากขึ้น

2.1.1.1.2 แอมิโลเพกทิน เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีลักษณะเป็นสายโซ่กิ่งของกลูโคสซึ่งต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1,6-กลูโคซิดิก (α -1,6-glucosidic linkage) และส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมกันด้วยพันธะแอลฟา-1,4-กลูโคซิดิก (α -1,4-glucosidic linkage)

ดังภาพที่ 1 ข แอมิโลเพกทินจัดเป็นโมเลกุลของสตา์รซ์ที่มีขนาดใหญ่กว่าแอมิโลสมาก คือ มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของแอมิโลส (10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน) และปริมาณสายกิ่งในแอมิโลเพกทินมีประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ของพันธะทั้งหมด (นิธิยา, 2549) เมื่อแอมิโลเพกทินทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนจะได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง ก้านตรงและเกือกูล (2550) กล่าวว่าลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของแอมิโลเพกทินประกอบด้วยสายโซ่ 3 ชนิด คือ

1. สายเอ มีลักษณะเชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว จะไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้
2. สายบี มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า
3. สายซี เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวง 1 หมู่ ในแอมิโลเพกทินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสายซี 1 สายเท่านั้น

ในการจับกันเป็นกลุ่มของแอมิโลเพกทินจะทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) ซึ่งการเกิดเกลียวคู่นี้ต้องใช้พันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ในการเชื่อมต่อกัน ทำให้เม็ดแป้งมีความคงทนต่อการทำปฏิกิริยากับกรดและเอนไซม์ (ก้านตรงและเกือกูล, 2550)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของสตา์รซ์ที่ประกอบด้วย ก) แอมิโลส และ ข) แอมิโลเพกทิน

ที่มา: Van Soest and Vliegenthart (1997)

2.1.1.2 โปรตีน

โปรตีนในแป้งข้าวส่วนใหญ่ มีรูปร่างกลม โดยจะแทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ชภายในเมล็ดข้าว (Xie *et al.*, 2008) และโปรตีนที่อยู่ผิวของสตาร์ชข้าวส่วนใหญ่คือโปรตีนสะสมที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ โดยโปรตีนที่อยู่ผิวของสตาร์ชข้าวเป็นโปรตีนที่ประกอบไปด้วยกรดแอมิโนชนิดเบสและชนิดไฮโดรโฟบิก (Baldwin, 2001) โดยดูดซับอยู่ที่ผิวของสตาร์ชและบางส่วนอาจเกิดพันธะกับไขมันที่มีขั้ว เช่น ฟอสโฟลิปิดและไกลโคลิปิด (Debet and Gidley, 2006) อรอนงค์ (2550) กล่าวว่า โมเลกุลของโปรตีนที่รวมตัวกันเป็นรูปร่างโปรตีน (protein bodies) ซึ่งมีกลูเตลินเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ภายในนั้นจะมี 3 รูปแบบ คือ 1.แบบผลึก 2.แบบรูปร่างกลมขนาดเล็ก 3.แบบรูปร่างกลมขนาดใหญ่ ซึ่งโปรตีนที่กระจายอยู่ในเนื้อเมล็ดจะเป็นโปรตีนที่มีรูปร่างกลมขนาดเล็ก

โปรตีนในข้าวจะมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โปรตีนจากข้าวมี 4 ประเภท ได้แก่ 1) โปรตีนที่ละลายน้ำหรือแอลบูมิน (albumin) มีปริมาณประมาณร้อยละ 5 ของโปรตีนทั้งหมด มีรายงานค่า isoelectric points ของแอลบูมินไว้หลายค่า เช่น ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.1 (Ju *et al.*, 2001), 6.42 (Padhye *et al.*, 1979) 2) โปรตีนที่ละลายในเกลือหรือโกลบูลิน (globulin) มีอยู่ประมาณร้อยละ 12 ของโปรตีนทั้งหมด มีรายงานค่า isoelectric points ของโกลบูลินไว้ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.3 และ 7.9 (Ju *et al.*, 2001), 5.85-7.27 (Padhye *et al.*, 1979) 3) โปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์หรือโพรลามิน (prolamin) มีอยู่ประมาณร้อยละ 3 ของโปรตีนทั้งหมด มีรายงานค่า isoelectric points ของโพรลามินไว้ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6-6.5 (Padhye *et al.*, 1979) และ 4) โปรตีนที่ละลายในเบสหรือกลูเตลิน (glutelin) หรือออริซานิน (oryzanin) ซึ่งมีถึงร้อยละ 80 ของโปรตีนทั้งหมด เป็นโปรตีนหลักในข้าวมีรายงานค่า isoelectric points ของออริซานินไว้ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4.8 (Ju *et al.*, 2001) แต่จากการทดลองของ Padhye *et al.* (1979) และ Wen and Luthe (1985) พบว่า โปรตีนออริซานินซึ่งเป็นโปรตีนหลักในข้าวจะมี isoelectric points ที่ค่าความเป็นกรดต่าง 2 ช่วง คือ ช่วงที่เป็นซับยูนิตชนิดแอซิดิกหรือแอลฟา (α (acidic) subunits) ซึ่งประกอบด้วยกรดแอมิโนกลูตามิก/กลูตามีน ซีรีนและไกลซีนเป็นหลัก และช่วงที่เป็นซับยูนิตชนิดเบสิกหรือบีตา (β (basic) subunits) ประกอบด้วยกรดแอมิโนอะลานีน ไลซีน กรดแอมิโนแอสพาร์ทิก/แอสพาราจีน และไอโซลิวซีนเป็นหลัก ซับยูนิตชนิดแอลฟามี isoelectric points ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.70-6.86 (Padhye *et al.*, 1979), 6.5-7.5 (Wen and Luthe, 1985) ส่วนซับยูนิตชนิดบีตามี isoelectric points ที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 8.00-8.72 (Padhye *et al.*, 1979), 9.4-10.3 (Wen and Luthe, 1985)

นอกจากนี้พบว่า อุณหภูมิในการเสียสภาพธรรมชาติ (denaturation temperature) ของโปรตีนแอลบูมิน โกลบิวลิน และกลูเทลินมีค่าเท่ากับ 73.3, 78.9 และ 82.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าการเจลาทิไนซ์ของสตาρχ้าวซึ่งมีอุณหภูมิ 84.7 องศาเซลเซียส ส่วนโปรตีนโพรลามีนไม่พบฟิสิกของการเสียสภาพของโปรตีน เมื่อเกิดการเสียสภาพของโปรตีนโกลบิวลิน และกลูเทลินจะทำให้ความเป็น hydrophobic ที่พื้นผิวของโปรตีนมีค่าเพิ่มขึ้น (Ju *et al.*, 2001)

ในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว โปรตีนที่มีปริมาณสูงจะทำให้สีของผลิตภัณฑ์อาหารเส้นคล้ำลงและทำให้ความเหนียวของเส้นลดลง เนื่องจากโปรตีนจะไปขัดขวางการเชื่อมต่อโครงสร้างร่างแหของโมเลกุลของสตาρχ (งามชื่น, 2541)

Hamaker and Griffin (1993) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนในแป้งข้าวกับการเจลาทิไนเซชันของสตาρχ พบว่า ในระหว่างการเกิดเจลาทิไนเซชันพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนในแป้งข้าวจะไปยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาρχและทำให้เม็ดสตาρχถูกทำลายได้ลดลง การพองตัวของเม็ดสตาρχจึงลดลง เมื่อให้แรงเหวี่ยง ค่าความหนืดลดลงจะมีค่าลดลงแต่เมื่อพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนถูกทำลาย เม็ดสตาρχจะสามารถพองตัวได้มากขึ้น และความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Chrastil (1990) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนออริซานิน (oryzanin) กับสตาρχข้าวในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า โปรตีนมีความสัมพันธ์กับความเหนียวของข้าวหุงสุก เนื่องจากพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนจะเกาะเกี่ยวกับเม็ดสตาρχทั้งในส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินมีผลทำให้ขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาρχ ทำให้ความหนืดต่ำ และข้าวหุงสุกที่ได้จะมีความเหนียวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Hamaker (1994) ที่กล่าวว่า โปรตีนมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติในการเจลาทิไนเซชันของเม็ดสตาρχและมีผลเกี่ยวข้องโดยตรงกับลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก และยังสอดคล้องกับการทดลองของ Suwansri (2004) พบว่า ถ้าปริมาณโปรตีนสูงจะทำให้การดูดซึมน้ำของเม็ดแป้งลดน้อยลงและต้องใช้พลังงานมากในการทำให้แป้งสุก ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากแป้งข้าวที่มีโปรตีนสูงมีลักษณะแห้ง แข็ง และมีความเหนียวลดลง

2.1.1.3 ไขมัน

ในข้าวจะมีปริมาณไขมันประมาณ 3% และมีอยู่บริเวณด้านนอกเมล็ดข้าวมากกว่าบริเวณใจกลางเมล็ด ดังนั้นเมื่อจะทำเป็นแป้งข้าว ข้าวจะต้องผ่านการขัดสีให้เป็นข้าวขาวทำให้มีปริมาณไขมันเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย อรอนงค์ (2550) กล่าวว่า ไขมันจะมีความสัมพันธ์กับเม็ด-

สตาร์ชใน 3 ลักษณะ คือ 1) ไขมันที่อยู่ติดกับโปรตีน โดยจะอยู่บริเวณผิวของเม็ดสตาร์ชภายนอกหรืออาจอยู่ร่วมกับโครงสร้างของแอมิโลเพกทินสายนอก 2) ไขมันที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ชโดยเกาะเกี่ยวกับสตาร์ช และ 3) ไขมันที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ชแต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช นอกจากนี้ Eliasson and Wahlgren (2004) กล่าวว่า สตาร์ชจะรวมตัวกับไขมันเป็นเกลียว (helical structure) โดยไขมันส่วนที่เป็นไฮโดรโฟบิกจะอยู่ข้างในสายโซ่เกลียว ในขณะที่ส่วนหัวที่เป็นไฮโดรฟิลิกจะอยู่ข้างนอกเกลียวรวมกันเป็นสายโซ่ (helix) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างไขมันกับสตาร์ชนั้นจะมีความเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์อาหาร ไขมันจะไปยับยั้งการพองตัวของสตาร์ชและทำให้สายแอมิโลสหลุดออกมาได้น้อย ในขณะที่ให้ความร้อน และมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันเนื่องจากการรวมตัวระหว่างไขมันจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลสหรือแอมิโลเพกทิน จะไปขัดขวางการเกิดโครงสร้างผลึกสามมิติของสตาร์ช ทำให้อัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง อุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนเซชันและความหนืดของสตาร์ชจะมีค่าลดลงด้วย (Hamaker and Griffin, 1990)

2.1.1.4 เถ้า

โดยทั่วไปเมื่อนำข้าวขาวเต็มเมล็ดมาไม่ป่นเป็นแป้งข้าว พบว่า มีเถ้าประมาณ 0.6-0.9% (Zhou *et al.*, 2002) และชนิดของแร่ธาตุหลัก (major minerals หรือ macro minerals) ในเถ้าที่พบ ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซิลิกอน แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และเหล็ก (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2550)

2.1.1.5 ความชื้น

อรอนงค์ (2550) กล่าวว่า การควบคุมความชื้นในแป้งจะมีผลต่อคุณภาพของแป้ง เนื่องจากการควบคุมความชื้นในแป้งให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 9 เป็นการลดการทำงานของเอนไซม์ลิเพส (lipase) ซึ่งเอนไซม์ลิเพสจะทำหน้าที่ย่อยไขมันที่อยู่ในแป้งเพื่อให้ได้กรดไขมันอิสระ ทำให้แป้งที่ได้มีกลิ่นหืน ดังนั้นการควบคุมความชื้นในแป้งให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 9 จะทำให้การย่อยของเอนไซม์เกิดขึ้นได้ช้า เป็นการลดการเกิดกลิ่นหืนในแป้ง แต่ถ้าแป้งมีความชื้นสูงกว่าร้อยละ 15 การย่อยของเอนไซม์จะเกิดขึ้นได้เร็วมาก ทำให้แป้งเสื่อมเสียเร็ว ดังนั้นหากต้องการให้แป้งเสื่อมเสียยากมีอายุการเก็บรักษาได้นานควรควบคุมให้แป้งมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 15 ซึ่งข้าวที่มีความชื้นต่ำส่วนใหญ่จะเป็นข้าวเก่า เมื่อนำมาผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวจะได้เส้นที่มีลักษณะแข็งและคงตัวมากกว่าแป้งที่ได้จากข้าวใหม่

2.2 น้ำ

อรอนงค์ (2550) กล่าวว่า ส่วนผสมของน้ำกับแป้งที่ไม่ได้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้ ถ้าปริมาณน้ำน้อยเกินไปจะส่งผลให้เส้นมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง แต่ถ้าปริมาณน้ำมากเกินไป เส้นที่ได้จะนิ่ม และขาดง่าย ความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ควรมีปริมาณของแข็งร้อยละ 38-40 โดยน้ำหนัก (โสภิตา, 2550) เจลที่ได้มีความเหนียวนุ่ม ผิวหน้าเจลไม่แฉะ สามารถลอกเป็นแผ่นได้ง่ายโดยไม่ฉีกขาด และน้ำที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ควรเป็นน้ำที่สะอาด สามารถบริโภคได้

3. กรรมวิธีในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวสด

3.1 การทำความสะอาด และแช่ข้าว

การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวเริ่มจากการทำให้เมล็ดข้าวเปลี่ยนเป็นแป้งข้าวโดยนำข้าวมาทำความสะอาดแยกสิ่งสกปรกออก หลังจากนั้นล้างน้ำให้สะอาด โดยทั่วไปจะล้างข้าวประมาณ 2-3 ครั้ง จากนั้นแช่ข้าว 3-4 ชั่วโมง โดยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ คือ 1:2.5 พรพิศ (2548) กล่าวว่า การแช่ข้าวจะทำให้ข้าวดูดน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เมล็ดข้าวนิ่ม สามารถโม่ได้ง่ายเนื่องจาก เม็ดแป้งจะแตกได้ง่ายขึ้นเมื่อโม่ โดยการโม่ข้าวจะเป็นการทำให้เม็ดแป้งและองค์ประกอบอื่นๆ หลุดและแตกออกจากกันและทำให้เซลล์ที่ห่อหุ้มเม็ดแป้งแตกด้วย

3.2 การโม่ข้าว

เมื่อนำข้าวหักมาผ่านการโม่ ซึ่งอาจทำได้หลักๆ 3 วิธี คือ วิธีไม่เปียก โม่แห้ง และวิธีโม่แบบผสม ซึ่งการโม่ข้าวเป็นการทำให้เม็ดสตาร์ชและองค์ประกอบอื่นๆ หลุดและแตกออกจากกัน โดยปริมาณเม็ดสตาร์ชที่แตกออกนั้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการโม่ หลังจากผ่านกระบวนการโม่จะได้แป้งข้าว ในอุตสาหกรรมผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวนั้นจะนิยมใช้วิธีการไม่เปียกซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าวเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากเม็ดสตาร์ชจะถูกบดละเอียดและแตกตัวได้มาก (อรพรรณ, 2547) วิธีการไม่เปียกจะทำการโม่พร้อมกับน้ำโดยใช้อัตราส่วนระหว่างข้าวกับน้ำ คือ 2:1 อรพรรณ (2547) กล่าวว่า การใช้น้ำทำให้อุณหภูมิขณะโม่ไม่สูงเกินไป แป้งที่ได้จะมีคุณภาพดี เมื่อผ่านการโม่แล้วแป้งที่ได้จะมีความละเอียดสม่ำเสมอ

การตรวจสอบคุณสมบัติของแป้งข้าวกล้ายคลึงกับการตรวจสอบคุณสมบัติของข้าว ซึ่งคุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวที่ตรวจสอบ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน สตาร์ช และเถ้า เป็นต้น (อรอนงค์, 2550) นอกจากนี้ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.638-2529) ได้ให้คำจำกัดความของแป้งข้าวไว้ว่า แป้งข้าวเจ้า หมายถึง แป้งที่ได้จากข้าวขาว มีสีขาวหรือขาวนวล มีกลิ่นตามธรรมชาติของแป้งข้าวเจ้า ไม่มีกลิ่นอับ หืน เหม็นเปรี้ยว หรือกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่น ปราศจากสิ่งแปลกปลอม

3.3 การเตรียมน้ำแป้ง

ในการทำเส้นก๋วยเตี๋ยวความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ใช้ควรมีปริมาณของแป้งร้อยละ 38-40 (วิภา, 2541) นอกจากนี้ ควรตั้งน้ำแป้งทิ้งไว้ 2-3 ชั่วโมง เนื่องจากการแช่น้ำแป้งเพื่อให้แป้งดูดน้ำได้เต็มที่และทำให้ได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีความนุ่ม และในระหว่างการแช่น้ำแป้งต้องมีการคนเป็นระยะเพื่อป้องกันแป้งตกตะกอนและช่วยให้แป้งดูดน้ำได้ดี เป็นผลให้แป้งมีความเหนียวมากขึ้นเนื่องจากเม็ดแป้งพองตัว

อนุกุลและคณะ (2548) ได้ทำการหาเวลาที่เหมาะสมในการแช่น้ำแป้งเพื่อปรับปรุงขั้นตอนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า เมื่อเปรียบเทียบเวลาในการแช่น้ำแป้งก่อนที่จะนำไปนึ่งระหว่าง 1 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง พบว่า น้ำแป้งที่แช่เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะมีเนื้อแป้งเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีเม็ดแป้งหลงเหลือเป็นเม็ด เนื่องจากการดูดน้ำของเม็ดสตาร์ชเกิดขึ้นได้อย่างเต็มที่ และเมื่อนำไปนึ่งเม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัว โครงร่างผลึกในเม็ดสตาร์ชจะถูกทำลาย โมเลกุลน้ำเข้าไปเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเอมิโลสและเอมิโลเพกทินด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดการเจลาติไนซ์ได้สมบูรณ์ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จะขาดยากและเหนียวมาก ได้เนื้อสัมผัสที่ดีซึ่งแตกต่างจากน้ำแป้งที่แช่เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพราะ การแช่น้ำแป้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เม็ดสตาร์ชจะไม่สามารถดูดน้ำได้เต็มที่ทำให้เส้นที่ได้มีความแข็งและความเหนียวน้อย สามารถขาดได้ง่ายมาก

3.4 กระบวนการนึ่ง

อรอนงค์ (2550) กล่าวว่า ความร้อนจากการนึ่งทำให้เม็ดสตาร์ชที่อยู่ในน้ำแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยทำให้แป้งสุกที่ได้เหนียวขึ้นเกาะกันเป็นแผ่นไม่ขาด เนื่องจากความร้อนจะทำให้พันธะไฮโดรเจนที่เกาะเกี่ยวกันในโมเลกุลของสตาร์ชคลายตัวลง น้ำสามารถเข้าไปในโมเลกุลของสตาร์ชทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวขึ้น เมื่อมีสัดส่วนของน้ำในส่วนผสมน้ำแป้งพอดีจะทำให้ได้แผ่นก๋วยเตี๋ยวที่เหนียวและสุกพอดี

3.5 การตัดเส้น

หลังจากการนึ่งเส้นก๋วยเตี๋ยวแล้ว จึงนำเส้นก๋วยเตี๋ยวมาทำให้แป้งสุกเกิดการเย็นตัวลง เพื่อให้เกิดการรีโทรเกรเดชันของเอมิโลส ทำให้ได้เจลที่มีความแข็งแรงและเหนียวมากขึ้น สามารถเกาะเป็นแผ่นได้ดีไม่ติดกัน นำแผ่นก๋วยเตี๋ยวเมื่อนำมาตัดเป็นเส้นขนาดความกว้าง 1.5-2.5 เซนติเมตร จะได้ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่สุด โดยจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 60 (ทัศนีย์, 2553)

4. ไคโตซาน

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติอย่างหนึ่งและเป็นอนุพันธ์ของไคติน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ในเปลือกนอกของสัตว์ เช่น กุ้ง ปู แคนหมึก และผนังเซลล์ของพวกรา ยีสต์ และจุลินทรีย์ ไคติน (chitin) และไคโตซาน (chitosan) มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายเซลลูโลส แต่จะมีหมู่ acetylamine แทนที่หมู่ไฮดรอกซิลที่ C-2 ของวงแหวนน้ำตาล (sugar ring) ดังภาพที่ 2 พอลิเมอร์ของไคโตซานจะมีลักษณะต่อกันเป็นเส้นตรง (linear polymer) ด้วยพันธะบีตา 1-4 ไกลโคซิดิก ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญอยู่ในรูปของดีกลูโคซามีน (D – glucosamine) (Yamaguchi *et al.*, 2003)

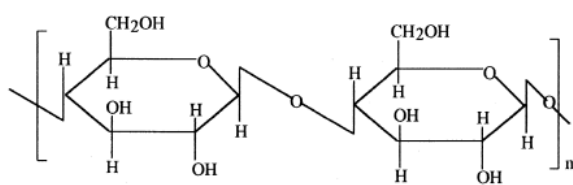
การแบ่งแยกไคตินกับไคโตซานอาศัยจำนวนหมู่เอมีน โดยมีผู้แบ่งแยกไว้ต่างกัน เช่น Goy *et al.* (2009) กล่าวว่า ถ้ามีหมู่เอมีนมากกว่า 85% จะเรียกว่า ไคโตซาน ในขณะที่ Brugnerotto *et al.* (2001) และ Cho *et al.* (2005) กล่าวว่า ถ้ามีการกำจัดหมู่อะซีทิล (degree of deacetylation) ของไคตินมีมากกว่า 50% จะเรียกว่า ไคโตซาน ในประเทศไทย ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 2351-2550) ได้ให้คำนิยามของไคโตซานไว้ดังนี้ ไคโตซาน หมายถึง อนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการดึงกลุ่มอะซีทิล ($-\text{CO}-\text{CH}_3$) ออกจากไคตินได้เป็นสารที่มีกลุ่มเอมีโนมีสูตรเคมี $(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}_4)_n$ ซึ่งไคโตซานสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ 1.ประเภทอุตสาหกรรมอาหาร 2.ประเภทอุตสาหกรรมทั่วไป ลักษณะทั่วไปของไคโตซานจะมีลักษณะเป็นผง เกล็ด หรือเม็ด มีสีขาวหรือสีครีม และปราศจากสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้

กระบวนการผลิตไคตินและไคโตซานจะมีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอนหลัก (Mathur and Narang, 1990; Simpson *et al.*, 1994) ดังในภาพที่ 3 คือ

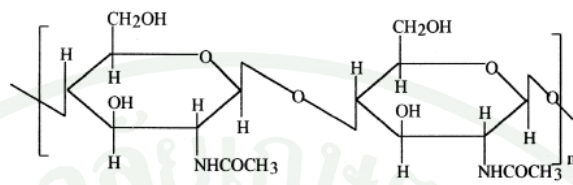
1. การกำจัดโปรตีน (Deproteination) วัตถุดิบจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในกระบวนการนี้โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกจากวัตถุดิบ นอกจากนี้ไขมันและรงควัตถุบางชนิดจะถูกกำจัดออกมาด้วย
2. การกำจัดเกลือแร่และแร่ธาตุต่างๆ (Demineralization) วัตถุดิบที่ผ่านการกำจัดโปรตีนมาแล้วจะทำปฏิกิริยากับกรดในกระบวนการกำจัดเกลือแร่ ซึ่งส่วนมากจะใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ขั้นตอนนี้จะทำให้โปรตีนและรงควัตถุที่สามารถละลายในกรดได้จะถูกกำจัดออกไปด้วย นอกจากนี้ในเปลือกสัตว์ของปู กุ้งจะมีสารจำพวกคาโรทีนอยด์ ได้แก่ Astaxantin อยู่ด้วย ซึ่งไม่สามารถกำจัดออกไปกับโปรตีนและแร่ธาตุพร้อมกันได้ จึงต้องมีการกำจัดสีโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ จำพวกแอลกอฮอล์หรืออะซิโตน ผลึกกันท์ที่ได้หลังจากกระบวนการนี้คือ ไคติน (chitin)
3. การกำจัดหรือลดหมู่อะซีติล (Deacetylation) เพื่อเปลี่ยนรูปจากไคตินเป็นไคโตซาน ดังภาพที่ 3 กระบวนการกำจัดหรือลดหมู่อะซีติลนั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการลดหรือกำจัดหมู่-อะซีติล ($\text{CH}_3\text{CO}-$) ที่มีอยู่บนสายโซ่โมเลกุลของไคติน เป็นการเพิ่มหมู่เอมิโน ($-\text{NH}_2$) บนสายโซ่โมเลกุลของไคตินเพื่อให้เกิดเป็นไคโตซาน (Mathur and Narang, 1990; Simpson *et al.*, 1994)

ไคโตซานมีคุณสมบัติเป็น cationic polyelectrolyte เนื่องจาก ไคโตซานมีหมู่เอมิโนอิสระ ($-\text{NH}_2$) ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 2 หมู่เอมิโนนี้จะมีความสามารถในการรับโปรตอนจากสารละลาย ไคโตซานจึงสามารถละลายได้ดีขึ้น และละลายได้ในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรดต่ำอยู่ในช่วงกรด (pH น้อยกว่า 6) ทำให้ไคโตซานมีศักยภาพในการใช้ประโยชน์สูงในสารละลายที่มีค่าความเป็นกรดต่ำในช่วงนี้ด้วย ซึ่งการละลายไคโตซานในกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1 จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้ดีที่สุด (No *et al.*, 2002)

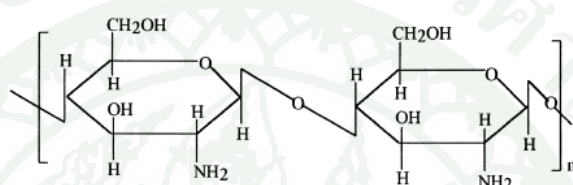
ในประเทศเกาหลีและญี่ปุ่น ไคโตซานได้รับการอนุญาตให้ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหารตั้งแต่ ค.ศ. 1995 และ 1983 ตามลำดับ (No and Mayers, 2004) และในประเทศไทยตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาได้ออกประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 293) พ.ศ. 2548 เรื่อง ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร พบว่า ไคโตซานซึ่งเป็นกลุ่มสารสกัดจากสัตว์ได้รับอนุญาตให้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารได้ และตามบัญชีรายชื่อสารสำคัญที่มีการกำหนดปริมาณสูงสุดที่ได้รับต่อวันซึ่งออกโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา พบว่า ปริมาณสูงสุดที่ได้รับต่อวันของไคโตซาน คือ 2,400 มิลลิกรัม



Cellulose



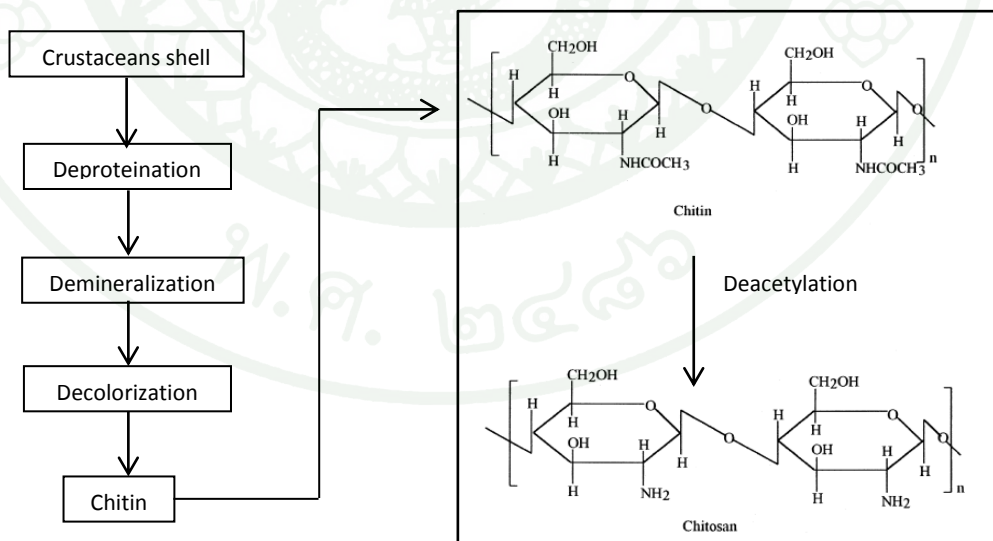
Chitin



Chitosan

ภาพที่ 2 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส ไคตินและไคโตซาน

ที่มา: Majeti and Kumar (2000)



ภาพที่ 3 แผนผังกระบวนการผลิตไคตินและไคโตซาน

ที่มา: Mahoney *et al.* (2012)

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้กรดอินทรีย์ในสตาร์ช แป้ง และผลิตภัณฑ์อาหาร

Kasai *et al.* (2001) ได้ศึกษาผลของกรดอะซิติกที่เติมลงไปในช่วงการหุงสุกต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของข้าวหุงสุกพบว่า ข้าวที่หุงด้วยสารละลายกรดอะซิติก 0.1 โมลาร์จะมีค่าความมันวาว ค่าความโปร่งแสง และค่าความเหนียวของข้าวหุงสุกเพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดอะซิติกที่ใช้หุงข้าวมีค่าเพิ่มขึ้น (จากความเข้มข้นของสารละลายกรดอะซิติก 0 โมลาร์ถึง 0.2 โมลาร์) พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิง ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณโปรตีน และกรด-แอมิโนจะถูกละลายออกจากเมล็ดข้าวในช่วงการหุง โดยจะพบในน้ำที่ใช้ในการหุงข้าว นอกจากนี้ ค่าความเหนียวของข้าวหุงสุกมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความแข็งกระด้างของข้าวหุงสุกมีค่าลดลง

Ohishi *et al.* (2003) ได้ศึกษาผลของกรดอะซิติกต่อการละลายของโปรตีน และการกระตุ้นของเอนไซม์โปรตีเนสในข้าว พบว่า เมื่อหุงข้าวโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ พบว่า ปริมาณของโปรตีนจะถูกสกัดออกมามากกว่าใช้น้ำกลั่นในการหุงข้าว โปรตีนที่พบคือ กลูเตลิน อัลบูมิน และ โกลบิวลิน การละลายได้ของโปรตีนในกรดอะซิติกจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

Ohishi *et al.* (2007) ได้ศึกษาผลของกรดอะซิติกต่อการเจลาทิไนเซชันและคุณสมบัติด้านความหนืดของข้าวหุงสุก พบว่า การพองตัวและการละลายได้ของสตาร์ชข้าวเจ้าในสารละลายกรดอะซิติกจะเกิดขึ้นดีกว่าในน้ำกลั่น นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) และค่าเซตแบค (setback) จากสตาร์ชข้าวเจ้าจะมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าความหนืดลดลง (breakdown) จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดอะซิติกจาก 0.05 โมลาร์ เป็น 0.2 โมลาร์ ค่าความหนืดสุดท้าย (final-viscosity) ของแป้งเปียกจากสตาร์ชและแป้งข้าวเมื่อเติมกรดอะซิติกจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อไม่เติมกรดอะซิติกแสดงว่าเมื่อเติมกรดอะซิติกจะทำให้ข้าวหุงสุกเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำลง และเมื่อพิจารณาผลของโปรตีนต่อคุณสมบัติของสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้า พบว่า โปรตีนจะมีผลในการยับยั้งการพองตัวและการแตกตัวของสตาร์ชในช่วงการให้ความร้อน ทำให้สตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมโปรตีนมีค่าความหนืดน้อยกว่าสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้เติมโปรตีน

Ghasemi *et al.* (2008) ได้ศึกษาผลของกรดอะซิติกและกรดแลกติกต่อคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสและสีของข้าวขณะหุงสุก พบว่า เมื่อใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ แทน

น้ำกลั่นในการหุงข้าว จะพบว่า สารละลายกรดอะซิติกไม่มีผลต่อค่าความแข็งกระด้างของข้าวหุงสุก แต่เมื่อเติมสารละลายกรดแลคติกที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าข้าวหุงสุกมีค่าความแข็งกระด้างลดลง เมื่อเทียบกับข้าวที่หุงด้วยน้ำกลั่นและค่าความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุกไม่เปลี่ยนแปลง ข้าวที่หุงด้วยสารละลายกรดอะซิติกและสารละลายกรดแลคติกจะทำให้โครงสร้างพื้นผิวเรียบเนียนขึ้น เนื่องจากกรดจะช่วยให้การพองตัวและการละลายของสตาร์ชเพิ่มขึ้น สตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ได้ง่ายขึ้น เป็นสาเหตุให้จำนวนรูพรุนในข้าวหุงสุกลดลง

Yang and Tao (2008) ศึกษาผลของการหมักให้เกิดกรดแลคติกต่อ FTIR spectra ของแป้งข้าว พบว่า พิกตรงตำแหน่งเลขคลื่น 1047 ซม.⁻¹ ซึ่งเป็นพิกที่แสดงโครงสร้างผลึกการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของสตาร์ชในแป้งข้าวนั้น จะพบในตัวอย่างแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการหมักเพียงตัวอย่างเดียว แป้งข้าวที่ผ่านการหมักจะพบพิกตรงตำแหน่งเลขคลื่น 1022 ซม.⁻¹ ซึ่งแสดงโครงสร้างในส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (amorphous) ของสตาร์ช และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางด้านความหนืด พบว่า แป้งข้าวที่ผ่านการหมักจะมีค่าเซตแบคและค่าความหนืดลดลงต่ำกว่าแป้งข้าวปกติ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แป้งข้าวที่ผ่านการหมักจะส่งผลต่อการสลายโครงสร้างผลึกในเมล็ดสตาร์ช

Wu *et al.* (2010) ได้ศึกษาเรื่องผลของกรดอินทรีย์ต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้า พบว่า เมื่อเติมกรดอินทรีย์ (กรดอะซิติก กรดแลคติก กรดมาลิก กรดซัคซินิก และกรดซิตริก) ปริมาณ 0.1 มิลลิโมลาร์ จะทำให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ค่าความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความหนืดคืนตัว (setback) ของแป้งข้าวมีค่าลดลง จากตัวอย่างควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเติมกรดอินทรีย์ปริมาณ 1 และ 10 มิลลิโมลาร์ จะทำให้ค่าความแข็งของเจลจากแป้งข้าวเจ้ามีค่าลดลงจากตัวอย่างควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งการเติมกรดอินทรีย์ทำให้สามารถขัดขวางการรีโทรเกรเดชันของแป้งข้าว (อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส) ทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชันได้ช้าลง สามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าว เช่น เค้กข้าว สามารถลดความไวต่อการเกิดซินเนอริซิสหรือการเกิดรีโทรเกรเดชันของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

Hirashima *et al.* (2005) ศึกษาผลของการเติมกรดซิตริก กรดอะซิติก กรดแลคติก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก และกรดแอสคอร์บิกต่อสมบัติหยุ่นหนืด (viscoelasticity) ของเพสต์สตาร์ชข้าวโพด โดยค่าความเป็นกรดต่ำที่ใช้ในการทดลองจะอยู่ระหว่าง 3 และ 6 พบว่า ในสภาวะก่อนการเกิดเจลาติไนเซชัน ค่าความเป็นกรดต่ำที่อยู่ในช่วง 3.6 ถึง 5.5 จะทำให้เพสต์สตาร์ชข้าวโพดมีความหนืดสูงขึ้น เป็นเช่นเดียวกันกับค่า storage modulus (G') และค่า loss modulus (G'') คือ จะมีค่าสูงขึ้น

เมื่อค่าความเป็นกรดต่ำที่อยู่ในช่วง 3.6 ถึง 5.5 เมื่อเทียบกับสภาวะที่ไม่มีการเติมกรดซึ่งจะมีค่าความเป็นกรดต่ำเท่ากับ 6.3 นอกจากนี้เมื่อค่าความเป็นกรดต่ำมีค่าลดลงเท่ากับ 3.5 จะทำให้ค่าความหนืดของเพสต์มีค่าลดลงต่ำกว่าตัวอย่างควบคุมเนื่องจาก เกิดการยุบตัวของสตาร์ชหรือเกิดการไฮโดรไลซิสของสตาร์ชขึ้น ทำให้การเกี่ยวพันกันของโมเลกุลกลูโคสลดลง และเมื่อพิจารณาในสภาวะที่มีการเติมกรดหลังการเกิดเจลาทิไนเซชัน พบว่า การเติมกรดในช่วงที่มีค่าความเป็นกรดต่ำเท่ากับ 3-6 จะไม่ทำให้ค่าความหนืดมีค่าลดลง แสดงว่า การเติมกรดหลังการเกิดเจลาทิไนเซชันจะป้องกันการไฮโดรไลซิสของโมเลกุลกลูโคส

Hirashima *et al.* (2012) ศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลสตาร์ชข้าวโพดที่มีกรดซิตริก (ค่าความเป็นกรดต่ำเท่ากับ 3, 4 และ 5) โดยทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 วัน และทำการวัดขณะที่ตัวอย่างมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า การเติมกรดซิตริก (ค่าความเป็นกรดต่ำเท่ากับ 3, 4 และ 5) จะไม่ส่งผลต่อค่าความเค้น แต่ทำให้ค่าความเครียดมีค่าลดลงและค่า Yong's modulus ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าความเค้นต่อความเครียดมีค่าเพิ่มขึ้น มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการปรับกรด (ค่าความเป็นกรดต่ำเท่ากับ 6.3) และเมื่อทำการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันโดยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อน พบว่า เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส น้อยกว่า 30 วันการเติมกรดซิตริกจะทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่หลังจาก 30 วันการเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ไคโตซานในผลิตภัณฑ์อาหาร

Baek *et al.* (2001) ได้ศึกษาผลของไคโตซานต่อเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชมันเทศ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไคโตซานแทนสารส้ม (Alum) ในเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า การใช้ไคโตซานจะทำให้ค่าความแข็งของเส้นก๋วยเตี๋ยวมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีสารส้ม (ตัวอย่างควบคุม) และค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความเหนียวติดยัด (Gumminess) ค่าการเคี้ยว (Chewiness) จะมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการหุงต้ม (cooking time) นานขึ้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณไคโตซานที่เติมมากขึ้น แต่ค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) และค่าความยืดหยุ่น (Springiness) จะมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซาน และเมื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมสารส้มและเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมไคโตซาน 750 ppm มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่คล้ายคลึงกัน สี และความชอบรวมทั้งหมดเป็นที่ยอมรับ ดังนั้นการใช้ไคโตซานสามารถใช้แทนสารส้มในการเตรียมเส้นก๋วยเตี๋ยวจากสตาร์ชมันเทศได้

No and Meyers (2004) ได้ศึกษาการเตรียมเต้าหู้โดยใช้ไคโตซานช่วยในการตกตะกอนและปรับปรุงอายุการเก็บรักษาของเต้าหู้ พบว่า การใช้ไคโตซานความเข้มข้น 1% ละลายในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1% จะมีค่าความแข็งของเต้าหู้ไม่แตกต่างจากเมื่อเทียบกับการใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายอย่างเดียว และในการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า การเติมไคโตซานจะทำให้เต้าหู้มีรสชาติเปรี้ยวน้อยกว่าเต้าหู้ที่ใช้กรดอะซิติก 1% เป็นตัวทำละลายอย่างเดียว นอกจากนี้ เพื่อที่จะปรับปรุงคุณภาพของเต้าหู้ให้ดีขึ้น มีการใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1% ร่วมกับสารละลายกรดแลคติกความเข้มข้น 1% ในอัตราส่วน 1:1 เป็นตัวทำละลายไคโตซาน จะทำให้เต้าหู้มีรสชาติเปรี้ยวลดลง เมื่อเทียบกับเต้าหู้ทางการค้า พบว่า การเติมไคโตซานจะทำให้เต้าหู้มีค่าความแข็งสูงกว่าเต้าหู้ทางการค้า ในด้านการเก็บรักษา พบว่า เต้าหู้ที่ใช้สารละลายกรด (สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1% ร่วมกับสารละลายกรดแลคติกความเข้มข้น 1% ในอัตราส่วน 1:1) มีอายุการเก็บรักษานานกว่าเต้าหู้ที่ใช้แคลเซียมคลอไรด์ในการตกตะกอน 3 วัน

Kerch *et al.* (2008) ได้ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในระหว่างการอบและการแข็งตัวของขนมปัง (staling) พบว่า การเติมไคโตซานจะทำให้ขนาดของรูที่เกิดขึ้นในขนมปัง (bread crumb) มีขนาดลดลงและเพิ่มความหนาแน่นให้แก่เนื้อขนมปัง นอกจากนี้เมื่อทำการศึกษาในส่วนเปลือกของขนมปัง (crust) พบว่า ไคโตซานจะทำให้เปลือกของขนมปังมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากเกิดปฏิกิริยามेलลาร์ดในระหว่างการอบขนมปัง และพบว่า บริเวณเปลือกของขนมปังจะมีรูเกิดขึ้นมากเมื่อเติมไคโตซาน นอกจากนี้ค่าความชื้นของส่วนเปลือกขนมปังที่มีไคโตซานจะมีค่าความชื้นสูงกว่าไม่มีไคโตซานตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

Kerch *et al.* (2010) ศึกษาผลของไคโตซานและไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์ต่อการแข็งตัวของขนมปัง (staling) และปริมาณความชื้น (moisture content) พบว่า การเติมไคโตซานและไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์ทำให้ค่า firmness ของขนมปังมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าในสภาวะที่ไม่มีไคโตซาน เนื่องจากประจุบวกของไคโตซานจะไปทำปฏิกิริยากับประจุลบในโมเลกุลสตาร์ช ในการเกิดการแข็งตัวของขนมปังจะถูกแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงสองวันแรกการแข็งตัวของขนมปังจะเป็นผลเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสตาร์ช และพบว่า ไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์และไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทำให้ค่าความแข็งของเนื้อขนมปังมีค่าน้อยกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง เนื่องจากไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์สามารถไปจับกับไขมันและป้องกันการเกิด amylose-lipid complex และช่วงหลังของการแข็งตัวของขนมปังซึ่งเกิดเนื่องจากการสูญเสียไอน้ำในเนื้อขนมปัง นอกจากนี้ พบว่า ไคโตซานโอลิโกแซคคาไรด์จะช่วยชะลอการเคลื่อนที่ของน้ำจากเนื้อขนมปังไปยังเปลือกขนมปัง

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของไคโตซานต่อความแข็งแรงและสามารถในการดึงยืดและการเกิดอันตรกิริยาระหว่างไคโตซานและสตาร์ช

Bourtoom and Chinnan (2008) ได้ศึกษาค่าแรงต้านทานการดึง (Tensile strength) และความสามารถในการดึงยืด (Elongation-at-break) ของฟิล์มที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวและไคโตซาน พบว่า ค่าแรงต้านทานการดึงของฟิล์มจะมีค่าสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของไคโตซานเพิ่มขึ้น ค่าแรงต้านทานการดึงสูงสุด เมื่ออัตราส่วนของสตาร์ชและไคโตซานเป็น 0.5:1 และ 1:1 สาเหตุที่ค่าแรงต้านทานการดึงของฟิล์มจะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุลระหว่างหมู่ NH_3^+ ของไคโตซานและหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ช ในตัวทำละลายที่เป็นกรด หมู่เอมิโน (NH_2) ของไคโตซานจะได้รับโปรตอนจากกรดทำให้เกิดเป็น NH_3^+ ในขณะที่โครงสร้างผลึกของโมเลกุลสตาร์ชจะถูกทำลายเมื่อเกิดการเจลาติไนเซชัน ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลแสดงออกมาและเกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจนขึ้นภายในโมเลกุลทำให้ฟิล์มแข็งแรงขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนของสตาร์ชและไคโตซานเป็น 2:1 ค่าแรงต้านทานการดึงของฟิล์มจะลดลง เนื่องจากเมื่อปริมาณสตาร์ชมีเพิ่มขึ้นพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ช (intra-molecular hydrogen bonds) จะมีปริมาณมากกว่าพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชและไคโตซาน (inter-molecular hydrogen bonds) ทำให้เกิดการแยกเฟสขึ้น (Phase separation) ระหว่าง 2 องค์ประกอบ ฟิล์มที่ได้มีความแข็งแรงน้อยลง ค่าแรงต้านทานการดึงลดลง และเมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการดึงยืดของฟิล์มพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสตาร์ชจะทำให้ความยืดหยุ่นของฟิล์มลดลงและทำให้ค่าความสามารถในการดึงยืดของฟิล์มลดลง ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลการทดลองของ Xu *et al.* (2005) ซึ่งศึกษาในฟิล์มที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวโพดและไคโตซาน

นอกจากนี้ Bourtoom and Chinnan (2008) ทำการศึกษาการเกิดอันตรกิริยาระหว่างไคโตซานกับสตาร์ชข้าวโพดในฟิล์มผสมโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) และเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FTIR-ATR) พบว่า เมื่อทำการศึกษา X-ray diffractograms ของสตาร์ชข้าว ผงไคโตซาน และฟิล์มที่ทำจากสตาร์ชข้าวและไคโตซาน จะเห็นว่า ผงไคโตซานอยู่ในสถานะที่เป็นผลึก เนื่องจากมี crystalline peak 2 พิก และเมื่อนำมาทำเป็นฟิล์มไคโตซาน พบว่า ยังมีพิกเกิดขึ้นอยู่ แต่ค่า intensity ต่ำกว่าเมื่อตัวอย่างเป็นผง นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณสตาร์ชในฟิล์มที่ทำจากสตาร์ชและไคโตซาน จะทำให้ crystalline peak ของไคโตซานลดลง แสดงว่า มีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชและไคโตซาน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชกับไคโตซานเป็น 2:1 พบว่า พิกของไคโตซานและสตาร์ชชัดเจนขึ้นแสดงว่า เกิดการแยกเฟสระหว่าง

สตาร์ชกับไคโตซานในฟิล์ม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองทางด้านเนื้อสัมผัส และเมื่อทำการศึกษาการเกิดอันตรกิริยาของสตาร์ชกับไคโตซานโดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FTIR) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างไคโตซานและสตาร์ชเป็น 1:1 พบว่า พีคของหมู่เอไมด์ (NH bending) ของไคโตซานในฟิล์มผสมที่เตรียมจากไคโตซานและสตาร์ชขาวจะขยับขึ้นจาก 1541.15 cm^{-1} เป็น 1621.95 cm^{-1} เมื่อเปรียบเทียบกับไคโตซานฟิล์ม แสดงว่า มีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชและไคโตซานเกิดขึ้นในฟิล์ม โดยผลการทดลองที่ได้เป็นเช่นเดียวกับผลการทดลองของ Xu *et al.* (2005) ซึ่งศึกษาในฟิล์มที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวโพดและไคโตซาน

Mathew *et al.* (2006) ศึกษาการเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชและหมู่เอมิโนในฟิล์มที่เตรียมจากไคโตซานความเข้มข้น 2% ละลายในกรดอะซิติกความเข้มข้น 1% และสตาร์ชมันฝรั่งในอัตราส่วน 1:1 โดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FTIR) พบว่า เกิดอันตรกิริยาทางเคมีระหว่างสตาร์ชและไคโตซาน พีคของโมเลกุลสตาร์ชจะมีเลขคลื่นเท่ากับ 1659 cm^{-1} และเอไมด์พีคของไคโตซานในฟิล์มผสมเท่ากับ 1580 cm^{-1} เอไมด์พีคของไคโตซานในฟิล์มไคโตซานเท่ากับ 1633 cm^{-1} ซึ่งจะพบว่า พีคของไคโตซานมีตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง NH_3^+ และหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ช นอกจากนี้ได้มีการตรวจสอบโครงสร้างของฟิล์มโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light-microscopy) พบว่า ฟิล์มที่เตรียมจากไคโตซาน สตาร์ช และไคโตซานอัตราส่วน 1:1 และสตาร์ชฟิล์ม มีลักษณะเรียบและแน่น แต่ฟิล์มที่เตรียมจากสตาร์ชนั้นจะมีสตาร์ชโกสต์ (starch ghost) ปรากฏอยู่ ซึ่งในฟิล์มที่เตรียมจากสตาร์ชและไคโตซานอัตราส่วน 1:1 พบสตาร์ชโกสต์เช่นเดียวกันแต่มีปริมาณน้อยกว่า นอกจากนี้เมื่อตรวจสอบพื้นผิวของฟิล์มที่เตรียมจากสตาร์ชและฟิล์มที่เตรียมจากสตาร์ชและไคโตซานโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) พบว่า มีลักษณะไม่แตกต่างกันและไม่พบสตาร์ชโกสต์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 ข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 (ห.จ.ก. โรงสีไฟฟ้าพลังงานรุ่งเรือง 3 อ.กมลพิสัย จ.กาฬสินธุ์)
- 1.2 ไคโตซานจากปู (crab chitosan polymer flake) (บริษัท ต้าหมิง เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด จ.สมุทรสาคร) มวลโมเลกุล เท่ากับ 280,000 ดาลตัน

2. อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างแป้งข้าวและเส้นก๋วยเตี๋ยว
 - 2.1.1 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (PA4102, Ohaus, USA)
 - 2.1.2 เครื่องบดเปียก Colloid mill (Masuko Sangyo, MKPB6-2, Japan)
 - 2.1.3 เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบตะกร้า (Basket centrifuge) (รุ่น H-130G, KokusanEnsink, Japan)
 - 2.1.4 เครื่อง Rotor mill (SR300, Retsch, Germany)
 - 2.1.5 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer) (KAN 1960, KanSeng Lee, Thailand)
 - 2.1.6 เครื่องปั่นแห้ง (Moulinex รุ่น Y46, France)
 - 2.1.7 ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช (Retsch, Germany)
 - 2.1.8 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) (รุ่น UNB500, Memmert, Germany)
 - 2.1.9 อุปกรณ์เครื่องแก้ว
 - 2.1.10 อุปกรณ์เครื่องครัว เช่น ถาดสแตนเลส มีด แท่งแก้วคน
- 2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการสกัดสาร
 - 2.2.1 เครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนที่อุณหภูมิต่ำ (refrigerated centrifuge) (รุ่น Sorvall RC 6t centrifuge, Thermofisher scientific, Germany)

- 2.2.2 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (รุ่น 210A , ORION, USA)
- 2.2.3 หลอดเซนทรีฟิวจ์
- 2.2.3 ตู้อบแบบลมร้อน (Hot Air Oven, Memmert รุ่น ULE500, Germany)
- 2.2.4 ตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช (Retsch, Germany)
- 2.2.5 ตะแกรงร่อนขนาด 170 เมช (Retsch, Germany)
- 2.2.6 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (Ohaus รุ่น PA4102, USA)
- 2.2.7 โกรังบดยา
- 2.2.8 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจสอบคุณภาพ

- 2.3.1 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Buchikjeldahl system) ประกอบด้วยเครื่องย่อย (Buchi 435 digestion system) และเครื่องกลั่น (Buchi digestion unit B-316, Switzerland)
- 2.3.2 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Tecator รุ่น Soxtec™ Systems HT6 1043, Sweden)
- 2.3.3 เตาเผา (Muffle furance) (FSE-621, Sanyo Gallenkamo, UK)
- 2.3.4 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer, Stable Micro System รุ่น TA-XT PLUS, UK)
- 2.3.5 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (RVA4, Newport Scientific Instruments & Engineering, Australia)
- 2.3.6 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer, Thermo Electron Corporation รุ่น GENESYS™10, UK)
- 2.3.7 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter รุ่น210A , ORION, UK)
- 2.3.8 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (รุ่น ULE400, Memert, Germany)
- 2.3.9 เครื่องวัดสี (รุ่นMiniScan XE, Hunter Lab, USA)
- 2.3.10 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, Perkin-Elmer รุ่น Pyris1, USA)
- 2.3.11 เครื่องฟูริเยร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectroscopy, Nicolet 6700 FT-IR, Madison, USA)

2.3.12 เครื่องตัดตัวอย่างที่จุดเยือกแข็ง (Cryostat, Leica CM1850, Germany)

2.3.13 กล้องฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence microscopy, BZ-9000 series, Japan)

2.3.14 กล้องจุลทรรศน์อเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Confocal laser scanning microscope รุ่น LSM5, PASCAL, Germany)

2.3.15 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง (PA4102, Ohaus, USA)

2.3.16 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (SI-234, Denver, USA)

2.3.17 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) (รุ่น UNB500, Memmert, Germany)

2.3.18 เซซิเคเตอร์

2.3.19 กระป๋องอคูมินีม (Moisture can)

2.3.20 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3. สารเคมี

3.1 สารเคมีสำหรับเตรียมตัวอย่าง

กรดอะซิติค 100% (glacial) (Merck, Germany)

3.2 สารเคมีสำหรับสกัดสาร

3.2.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, Analytical grade, Merck, Germany)

3.2.2 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, Analytical grade, Merck, Germany)

3.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์โปรตีน

3.3.1 กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 95-97 (Sulfuric acid, Analytical grade, Merck, Germany)

3.3.2 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate, Analytical grade, CarloErba Reagent, Italy)

3.3.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, Analytical grade, Merck, Germany)

3.3.4 กรดบอริก (Boric acid, Analytical grade, Merck, Germany)

3.3.5 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate, Analytical grade, CarloErba Reagent, Italy)

3.3.6 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, Analytical grade, Merck, Germany)

3.3.7 เมทิลเรด (Methyl red, Analytical grade, Ajax Finechem, Australia)

3.3.8 โบรโมครีซอลกรีน (Bromocresol green, Analytical grade, Ajax Finechem, Australia)

3.4 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ไขมัน

ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether, Analytical grade, J.T. Baker, USA)

3.5 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์แอมิโลส

3.5.1 เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 (Ethanol, Analytical grade, Merck, Germany)

3.5.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, Analytical grade, Merck, Germany)

3.5.3 กรดกลีเซอริก (Glacial acetic acid, Analytical grade, Merck, Germany)

3.5.4 แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (Amylose from potato, Sigma, USA)

3.5.5 ไอโอดีน (Iodine, CarloErba Reagent, Italy)

3.5.6 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide, Analytical grade, Ajax Finechem, Australia)

3.6 สารเคมีสำหรับตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของเส้นก๊วยเดียว

3.6.1 โรดามีนบีไอโซไทโอไซยาเนต (Rhodamine B isothiocyanate mixed isomer, Sigma, USA)

3.6.2 Periodic acid Dihydrate (Orthoperiodic acid) (Wako, Japan)

3.6.3 โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ (Sodium metabisulfite, Sigma, USA)

3.6.4 2-Methylbutane (Wako, Japan)

3.6.5 โรดามีน บี (Rhodamine B, Invitrogen, USA)

3.6.6 ฟลูออเรสซิน ไอโซไทโอไซยาเนต (Fluorescein isothiocyanate, FITC, sigma, USA)

3.6.6 เอทานอล 95% (Ethanol, Analytical grade, Merck, Germany)

4. เครื่องมือที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

4.1 โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 12

วิธีการ

1. ผลของโคโตซานต่อสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตาร์ชและแป้งข้าวเจ้า

1.1 การเตรียมแป้งข้าวเจ้า

ทำการเตรียมแป้งข้าวโดยดัดแปลงจาก Ngamnikorn and Songsermpong (2011) นำข้าวเจ้าพันธุ์เหลือง 11 มาทำการแยกสิ่งแปลกปลอมออกแล้วล้างทำความสะอาดและแช่ข้าวในน้ำสะอาดโดยใช้อัตราส่วนของน้ำต่อข้าว คือ 2 ต่อ 1 ทิ้งไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการโม่ข้าวแบบเปียกด้วยเครื่องบดเปียก (Colloid mill) และนำน้ำแป้งข้าวใส่ในถุงผ้า เหยียงโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบตะกร้า (Basket centrifuge) ความเร็วรอบ 1492 rpm เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำก้อนแป้งที่ได้มาแผ่ให้กระจายตัวบนถาด ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อนประมาณ 24 ชั่วโมง จนแป้งที่ได้มีความชื้นประมาณ 10% และนำแป้งมาทำให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่อง rotor mill จากนั้นร่อนแป้งโดยผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช บรรจุในถุงพลาสติกและถุงซีลล็อกเก็บรักษาที่ห้องเย็นอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

1.2 การเตรียมสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้า

การสกัดสตาร์ชข้าวเจ้าใช้วิธีการดัดแปลงจาก Lumdubwong and Seib (2000) โดยเริ่มจากการแช่แป้งข้าวเจ้าที่เตรียมตามหัวข้อ 1.1 ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.05 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าต่อสารละลายต่าง คือ 2:5 เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง นำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงแยกตะกอนอุณหภูมิต่ำโดยใช้ความเร็วรอบ 3000 g เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเทสารละลายส่วนใส (supernatant) ออกและชุดโปรตีนซึ่งเป็นก้อนคราบสีเหลืองในส่วนตกตะกอนออก หลังจากชุดโปรตีนออกแล้ว นำแป้งส่วนที่ตกตะกอนไปแช่ในสารละลายต่างโดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวและสารละลายต่างเท่าเดิม (2:5) คนให้เข้ากันและทิ้งไว้ 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง กรองสารละลายสตาร์ช (slurry) ผ่านตะแกรง 170 เมช จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3000 g เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำส่วนตะกอน (sediment) ผสมกับน้ำดีไอออนไนซ์ (Deionized water) 1000 มิลลิลิตร และปรับความเป็นกรดต่างให้อยู่ในช่วง 6.5-7.0 โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

ความเข้มข้น 1 โมลาร์ นำน้ำแป้งที่ปรับพีเอชแล้วไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3000 g เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จากนั้นดูดเอาส่วนของโปรตีนซึ่งมีสีเหลืองในส่วนตะกอนออก และทำซ้ำอีก 3 ครั้งในขั้นตอนการล้าง การหมุนเหวี่ยง และการดูดเอาส่วนของโปรตีนออก นำสตาร์ชที่ได้มาอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดสตาร์ชด้วยมือ โดยใช้โกร่ง ร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช บรรจุในถุงพลาสติกและถุงซิปล็อคเก็บรักษาที่ห้องเย็น อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ในการสกัดสตาร์ชนั้น โปรตีนที่พบในสตาร์ชจะต้องมีปริมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.5 (Bao and Bergman, 2004)

1.3 การเตรียมสารละลายไคโตซาน

เตรียมสารละลายไคโตซานพอลิเมอร์จากปูความเข้มข้น 0.33% และ 0.50% (w/v) โดยนำสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% (v/v) จำนวน 1000 มิลลิลิตร ผสมกับไคโตซานพอลิเมอร์จากปูที่บดแล้วจำนวน 3.3 กรัม และ 5 กรัม ตามลำดับ โดยใช้เครื่อง Magnetic Stirrer กวนผสมเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่ได้เทลงในขวดดูแรนด์ (Duran) และนำไปเข้าเครื่อง Autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

1.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวเจ้า

1.4.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (2000)

1.4.2 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ AOAC (2000)

1.4.3 ปริมาณไขมัน ตามวิธีการของ AOAC (2000)

1.4.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (2000)

1.4.5 ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีการของ Juliano (1971)

1.5 การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชและแป้งข้าวเจ้าด้วยเครื่องวัดความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA) ตามวิธีการของ Li and Corke (1999) รายละเอียดตามภาคผนวก ข โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

1.6 ตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชและแป้งข้าวเจ้าด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)

ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชและแป้งข้าวเจ้าด้วย เครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter) เตรียมแป้งใน ปีกเกอร์โดยนำแป้งข้าวผสมกับน้ำคืไอออนไนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% (v/v) หรือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% (w/v) หรือ 0.50% (w/v) โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง แป้งข้าว:สารละลาย เป็น 40:60 โดยน้ำหนัก คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน ตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำ การคนน้ำแป้งให้เป็นเนื้อเดียวกัน และใช้ช้อนตักสารสแตนเลสตักตัวอย่างให้ได้น้ำหนัก 42 มิลลิกรัม ใส่ลงในถ้วยใส่ตัวอย่างชนิดสแตนเลส (stainless steel pan) แล้วปิดฝาให้สนิท นำไปวิเคราะห์การเกิด เจลาทีไนเซชันด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Gunarante and Corke (2007) ให้อุณหภูมิตัวอย่าง 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่ม อุณหภูมิจาก 30 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 130 องศาเซลเซียสด้วยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ใช้ถ้วยสแตนเลสเปล่าเป็นตัวอย่างอ้างอิง หลังจากทำการวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติ ทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์แล้ว นำถ้วยสแตนเลสที่มีตัวอย่าง มาเจาะรูและนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักที่คงที่ เพื่อ คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นของตัวอย่างในถ้วยสแตนเลส ทำการวิเคราะห์ 2 ตัวอย่างต่อ 1 ซ้ำ และ ทำการวิเคราะห์จำนวน 2 ซ้ำ รายงานค่าพลังงานเอนทัลปีที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนัก 1 กรัมของ น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง

2. ผลของไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว

2.1 ศึกษาผลของไคโตซานต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากสตาร์ชข้าว

2.1.1 การผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว

ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยดัดแปลงจาก Cham และ Suwannaporn (2010) ดังนี้ ทำการเตรียมของผสมสตาร์ชโดยนำสตาร์ชข้าวผสมกับน้ำดีไอออไนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% (v/v) หรือสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% (w/v) หรือสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% (w/v) โดยใช้อัตราส่วน สตาร์ชข้าว : สารละลาย เป็น 40:60 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะทำให้มีความเข้มข้นสุดท้ายของกรดอะซิติกในเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็น 2000 ppm และความเข้มข้นของไคโตซานในเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็น 2000 ppm และ 3000 ppm ตามลำดับ คนให้เป็นเนื้อเดียวกันตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง ชั่งน้ำแป้ง 60 กรัม เทใส่ถาดสเตนเลส นำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที เมื่อแผ่นก๋วยเตี๋ยวสุกนำถาดพักไว้ประมาณ 3 นาทีที่อุณหภูมิห้อง ลอกแผ่นก๋วยเตี๋ยวออกวางบนถาด ตัดเส้นก๋วยเตี๋ยวให้มีความกว้าง 1.5 เซนติเมตร ได้เป็นก๋วยเตี๋ยวเส้นสด

2.1.2 การวิเคราะห์ค่าความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวตามวิธีการของ AOAC (2000) รายละเอียดตามภาคผนวก ก โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2.1.3 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวสดตามวิธีการของ AOAC (2000) รายละเอียดตามภาคผนวก ก โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2.1.4 การตรวจสอบค่าสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่องวัดสีในระบบ CIELAB แสดงค่า L^* a^* และ b^* โดยทำการวัดดังนี้ นำแผ่นก๋วยเตี๋ยวหลังจากลอกจากถาดมาตัดเป็นแผ่นให้มีขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร บรรจุในถุงพลาสติกเย็น (Polyethylene) ดังภาพผนวกที่ 4 โดยวางกระดาษ A4 สีขาวบนพื้นโต๊ะและวางถุงที่บรรจุตัวอย่างแล้วบนกระดาษ และวัดค่าสี โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง $D65^\circ/10^\circ\text{C}$ อ่านค่าสีที่วัดได้ในระบบ L^* a^* และ b^* ทำการวัดค่าสี 10 แผ่นต่อ 1

ตัวอย่าง จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่า whiteness ดังสูตรที่ (1) (Prasert และ Suwannaporn, 2009) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

$$WI = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

2.1.5 การตรวจสอบการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชข้าวเจ้ากับไคโตซานในเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยเครื่องฟูรีเยร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

นำแผ่นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์ สารละลายกรดอะซิติก และสารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายดังที่กล่าวในข้อ 2.1.1 มาตัดให้มีขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตร และยาว 1 เซนติเมตร นำไปวัดด้วยเครื่องฟูรีเยร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ด้วยวิธี attenuated total reflection (ATR) ตามวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Bourtoom และ Chinnan (2008) โดยแต่ละสเปกตรัมใช้ Scanning time เท่ากับ 32 ที่ 4 cm^{-1} resolution ใช้หัววัดแบบ Diamond ความยาวคลื่น $525\text{-}4500 \text{ cm}^{-1}$ และใช้ concave tip ทำการวัดตัวอย่าง 5 จุดในเส้นก๋วยเตี๋ยว ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ

เนื่องจากการทดสอบอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชข้าวเจ้าและไคโตซานในเส้นก๋วยเต๋วนั้น สตาร์ชข้าวเจ้ามีปริมาณมากกว่าไคโตซานมาก จึงทำให้ไม่เห็นพีคของไคโตซาน ดังนั้น จึงทำการศึกษาการเกิดอันตรกิริยาของของผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้าและสารละลายไคโตซาน (ไคโตซานความเข้มข้น 0.50% ที่ละลายในกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33%) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวเจ้าและสารละลายไคโตซานเป็น 1:1 ในการศึกษาการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชข้าวเจ้าและไคโตซานด้วยเครื่องฟูรีเยร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ด้วยวิธี attenuated total reflection (ATR) และใช้หัววัดแบบ Diamond โดยทำการเตรียมตัวอย่างดังนี้ นำแป้งข้าวเจ้าปริมาณ 0.5 กรัม มาละลายในสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ทำการหยดของผสมปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงบนที่วางตัวอย่าง จากนั้นทำการวัดโดยแต่ละสเปกตรัมใช้ Scanning time เท่ากับ 32 ที่ 4 cm^{-1} resolution ความยาวคลื่น $525\text{-}4500 \text{ cm}^{-1}$ และใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็น background นอกจากนี้ทำการวัดพีคของไคโตซานจากสารละลายไคโต-

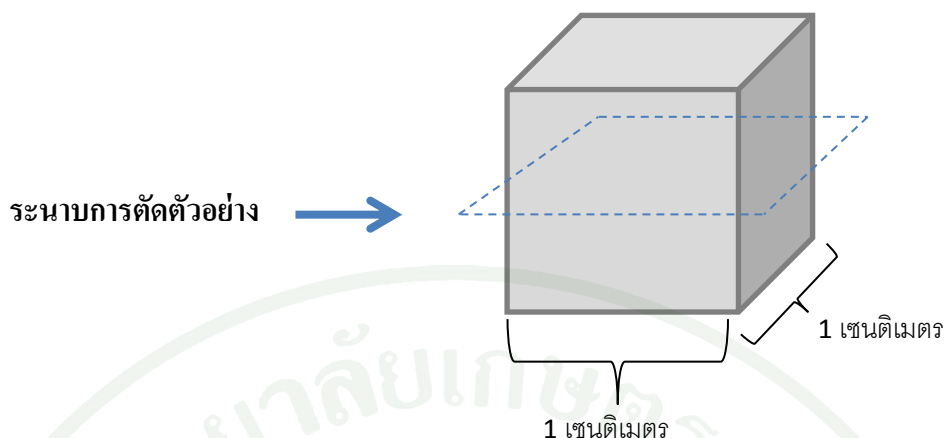
χανความเข้มข้น 0.50% เพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งฟลูออโรโพรตีน การทดลองดังกล่าว ทำการวิเคราะห์ 3 ตัวอย่างต่อ 1 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ทำการทดสอบผลของการให้ความร้อนต่อการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ช ข้าวเจ้าและโกลโคซานในของผสม โดยนำของผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้าและสารละลายโกลโคซานที่เตรียมได้ตามวิธีการข้างต้น ใส่ในภาชนะคลุมนิยมนขนาดยาว 7.3 เซนติเมตร กว้าง 5.4 เซนติเมตร และนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 นาที เช่นเดียวกับวิธีการนึ่งเส้นก๋วยเตี๋ยว ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจสอบด้วยเครื่องฟลูออโรทรานสฟอर्मอินฟารีดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ดังวิธีการข้างต้น โดยทำการวิเคราะห์ 3 ตัวอย่างต่อ 1 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2.1.6 การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากสตาร์ชข้าว

2.1.6.1 กล้องฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence Microscopy)

ตรวจสอบการกระจายตัวของโปรตีนภายในเส้นก๋วยเตี๋ยวด้วยกล้องฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence Microscopy) โดยทำการตัดเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยใช้เครื่อง cryostat (Leica CM 1850, Germany) ก่อนนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องฟลูออเรสเซนซ์ ดังนี้ นำแผ่นเส้นก๋วยเตี๋ยวมัดคให้มีขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 1 เซนติเมตร จากนั้นทำให้ตัวอย่างแข็งโดยนำตัวอย่างใส่ตะแกรงและนำไปจุ่มลงในถ้วยที่มี 2-Methylbutane ร่วมกับการใช้ไนโตรเจนเหลวเพื่อให้ตัวอย่างแข็ง จากนั้นนำตัวอย่างที่แข็งแล้วไปใส่ใน Frozen section compound (FSC) จุ่มในไนโตรเจนเหลวอีกครั้งรอบ ให้ FSC แข็งตัว แล้วนำไปตัดด้วยเครื่อง cryostat ตามแนวขนานกับความกว้างของตัวอย่าง ดังภาพที่ 4 ให้มีความหนา 10 ไมครอนและติดบนแผ่นสไลด์ จากนั้นทำการย้อมตัวอย่างเพื่อดูโปรตีนโดยใช้สีย้อมโรดามีนบีไอโซไทโอไซยาเนต (Rhodamine b isothiocyanate) ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 (w/v) ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 30 วินาที จากนั้นล้างออกด้วยน้ำกลั่นจนไม่มีสีออกมาด้วยสีย้อมปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ และนำไปตรวจสอบด้วยกล้องฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งมี excitation wavelength 540 ± 12.5 นาโนเมตร และ absorption wavelength 605 ± 27.5 นาโนเมตร ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ



ภาพที่ 4 แนวการตัวอย่างเส้นก๊วยเตี๋ยที่ผ่านการตัดด้วยเครื่องตัดตัวอย่างที่จุดเยือกแข็ง (cryostat)

2.1.6.2 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light microscope)

ตรวจสอบการกระจายตัวของสสารในเส้นก๊วยเตี๋ย โดยการตัดตัวอย่างให้มีขนาด 10 ไมครอนด้วยเครื่อง cryostat ตามในหัวข้อ 2.1.6.1 ทำการย้อมสีสสารด้วยสีย้อม Periodic acid Schiff (PAS) โดยหยด Periodic acid dehydrate ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 (w/v) ปริมาณ 50 ไมโครลิตรลงบนตัวอย่าง ทิ้งไว้ 30 วินาที ล้างด้วยน้ำกลั่น 1 นาที จากนั้นแช่ใน Cold-Schiff's reagent 1 นาที และแช่ใน Sodium metabisulfite 30 วินาที ล้างออกโดยการแช่ในน้ำกลั่น 10 นาที (เปลี่ยนน้ำทุกๆ 2 นาที) และนำไปตรวจสอบการกระจายตัวของสสารด้วย BZ-9000 โดยใช้ observation method แบบ Bright field ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ

ทำการตรวจสอบโครงสร้างของตัวอย่างเส้นก๊วยเตี๋ยโดยการตัดตัวอย่างให้มีขนาด 10 ไมครอนด้วยเครื่อง cryostat นำไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light-microscope) ในโหมด Phase contrast ซึ่งจะไม่มีการย้อมสีตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ

2.1.6.3 กล้อง Confocal Laser Scanning Microscope (CLSM)

ตรวจสอบการกระจายตัวของโปรตีนและสสารภายในเส้นก๊วยเตี๋ยตามวิธีการที่ดัดแปลงของศศิภา (2553) โดยนำเส้นก๊วยเตี๋ยสดมาตัดให้มีขนาดกว้าง 5 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตรด้วยใบมีดไมโครโทม จากนั้นทำการย้อมสีโดยหยดสีย้อมฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยานเนท ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 (w/v) ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 5 นาที และย้อมด้วยโรดามินบี

ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 (w/v) ปริมาณ 50 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 30 วินาที จากนั้นล้างออกด้วยน้ำกลั่น จนไม่มีสีออกมาที่สีย้อม ปิดด้วยกระจก และนำไปตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์-แบบส่องกราด (CLSM, model LSM5 PASCAL, ZEISS, Germany) ใช้แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ชนิด Helium-Neon (He-Ne) ซึ่งฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยานเท ถูกกระตุ้นด้วยลำแสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 488 นาโนเมตร และปล่อยลำแสงที่ความยาวคลื่น 500-530 นาโนเมตร และโรดามีนบีจะถูกกระตุ้นด้วยลำแสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 543 นาโนเมตร และปล่อยลำแสงที่ความยาวคลื่น 620-650 นาโนเมตร ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 3 ซ้ำ

2.1.7 เนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชข้าวเจ้า

ทำการเตรียมของผสมของสตาร์ชข้าวกับน้ำดีไอออไนซ์ สารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 0.33% สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% ในอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชกับสารละลาย 40:60 กรัม เช่นเดียวกับการทำเส้นก๋วยเตี๋ยวสด เทสารละลายสตาร์ชข้าว 60 กรัม ลงในภาชนะลูมิเนียมขนาดยาว 7.3 เซนติเมตร กว้าง 5.4 เซนติเมตร ความสูงของน้ำแป้ง 1 เซนติเมตร จากนั้นนำไปนึ่งในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 15 นาที หลังจากนั้นตัดก้อนเจลให้มีขนาด 1x1x1 เซนติเมตร นำก้อนเจลที่เตรียมได้ ไปวัดคุณลักษณะเนื้อสัมผัสตามวิธีการที่ดัดแปลงจากปิตพร (2546) โดยใช้หัววัด flat-faced cylinder probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ทำการวัดคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Profile Analysis (TPA) โดยใช้ Load cell 50 กิโลกรัม แรงกด 50% strain ใช้อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ ขึ้นลงของหัววัดกดเท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที Hold time เท่ากับ 60 วินาที (มีการทาน้ำมันบริเวณ หัวโพรบเนื่องจากป้องกันตัวอย่างจะติดไปกับโพรบ) และทำการวัดค่าเก้าโครงคุณลักษณะเนื้อสัมผัส ของเจลสตาร์ช ดังนี้ ความแข็ง (Hardness), ความเกาะติดกัน (Cohesiveness), ความยืดหยุ่น (Springiness) และความเหนียวติดยืด (Gumminess) ทำการวิเคราะห์จำนวน 10 ตัวอย่างต่อ 1 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

2.2 ศึกษาผลของไคโตซานต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าว

ทำการศึกษาผลของสารละลายไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าว โดยเตรียมเส้นตามวิธีการในข้อ 1.1 แต่ใช้แป้งข้าวแทนสตาร์ชข้าวและนำเส้นที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ตามวิธีในข้อ 2.1.1-2.1.7

3. ผลของไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษา

3.1 ผลของไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

3.1.1 การเตรียมตัวอย่าง

ทำการเตรียมตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าวซึ่งเตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% หรือสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย โดยเตรียมแผ่นก๋วยเตี๋ยวสดตามหัวข้อ 2.1.1 ในการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันและการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างจะทำการตัดเส้นก๋วยเตี๋ยวให้มีขนาดความกว้าง 1.5 เซนติเมตร และยาว 18 เซนติเมตร ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีจะทำการเตรียมตัวอย่างโดยตัดแผ่นก๋วยเตี๋ยวให้มีขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และในการศึกษาค่าความชื้นและเนื้อสัมผัสจะทำการเตรียมตัวอย่างเจลแป้งข้าวตามหัวข้อ 2.1.7 ให้มีขนาด 1x1x1 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำไปบรรจุในถุงพลาสติก Polyethylene และเก็บไว้ในตู้ incubator อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน เพื่อนำมาวัดคุณสมบัติด้านต่างๆต่อไป

3.1.2 ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

นำตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0, 1, 3 และ 5 วัน มาบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน และชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 42 มิลลิกรัม ใส่ลงในถ้วยใส่ตัวอย่างชนิดสแตนเลส (stainless steel pan) ปิดฝาให้สนิท นำไปวิเคราะห์การเกิดรีโทรเกรเดชันด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล-

สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ โดยให้อุณหภูมิตัวอย่าง 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิจาก 30 องศาเซลเซียส ไปจนถึง 130 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ใช้ถ้วยสแตนเลสเปล่าเป็นตัวอย่างอ้างอิง หลังจากทำการวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์แล้ว นำถ้วยสแตนเลสที่มีตัวอย่างมาเจาะรูและนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนได้น้ำหนักที่คงที่ เพื่อคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นของตัวอย่างในถ้วยสแตนเลส ทำการวิเคราะห์ 2 ตัวอย่างต่อ 1 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์จำนวน 2 ซ้ำ รายงานค่าพลังงานเอนทัลปีที่เปลี่ยนแปลงต่อน้ำหนัก 1 กรัมของน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง

3.1.3 วิเคราะห์ค่าความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวตามวิธีการของ AOAC (2000) ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.1.4 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวสดตามวิธีการของ AOAC (2000) รายละเอียดตามภาคผนวก ก โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.1.5 ตรวจสอบสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0, 1, 3 และ 5 วัน

นำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในแต่ละวันมาทำการวัดสีโดยใช้วิธีการทดลองเช่นเดียวกับในหัวข้อ 2.1.4

3.1.6 การวัดเนื้อสัมผัสของเจลที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าแบบ Texture Profile Analysis (TPA)

นำเจลแป้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในแต่ละวันมาทำการวัดเนื้อสัมผัสแบบ TPA ตามวิธีการในหัวข้อ 2.1.7

3.2 ผลของไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ทำการเตรียมตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวเช่นเดียวกับหัวข้อ 2.1.1 ซึ่งเตรียมโดยใช้น้ำ-ดีไอออนไนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% หรือสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย เช่นเดียวกับในหัวข้อ 2.1.1 ในการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันและการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างจะทำการตัดเส้นก๋วยเตี๋ยวให้มีขนาดความกว้าง 1.5 เซนติเมตร และยาว 18 เซนติเมตร ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสีจะทำการเตรียมตัวอย่างโดยตัดแผ่นก๋วยเตี๋ยวให้มีขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และในการศึกษาค่าความชื้นและเนื้อสัมผัสจะทำการเตรียมตัวอย่างเจลแป็งข้าวตามหัวข้อ 2.1.7 ให้มีขนาด 1x1x1 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำไปบรรจุในถุงพลาสติก Polyethylene และทำการเก็บรักษาไว้ในตู้แช่เย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน

3.2.2 ศึกษาผลของไคโตซานต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 14 วัน

นำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในแต่ละวันมาทำการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยใช้วิธีการทดลองเช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.1.2

3.2.3 วิเคราะห์ค่าความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวตามวิธีการของ AOAC (2000) รายละเอียดตามภาคผนวก ก โดยทำการทดลองสิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ

3.2.4 วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวสดที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0, 1, 7 และ 14 วัน ตามวิธีการของ AOAC (2000) รายละเอียดตามภาคผนวก ก โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

3.2.5 ตรวจสอบสีของเส้นก๊วยเตี๋ยวดกที่เก็บรักษาเป็นเวลา 0, 1, 7 และ 14 วัน

นำเส้นก๊วยเตี๋ยวกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในแต่ละวันมาทำการวัดสีโดยใช้วิธีการทดลองเช่นเดียวกับในหัวข้อ 2.1.4

3.2.6 วิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเจลแป้งแบบการวัดแรงกด (compression test)

ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลแป้ง โดยก่อนการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสจะนำตัวอย่างออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเจลแป้งแบบการวัดแรงกด (compression test) ตามวิธีการที่ดัดแปลงจากปิตุพร (2546) โดยใช้หัววัด flat-faced cylinder probe ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ที่ 70% strain ใช้อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นและลงของหัวกดเท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ไม่มีการทาน้ำมันบริเวณหัวโพรบ ทำการวิเคราะห์จำนวน 10 ตัวอย่างต่อ 1 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การทดลองในหัวข้อที่ 1 และ 2 เรื่องผลของไคโตซานต่อสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตาร์ชและแป้งข้าวเจ้า และผลของไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๊วยเตี๋ยวกทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) โดยข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 12

ในการทดลองหัวข้อที่ 3 เรื่องผลของไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๊วยเตี๋ยวกในระหว่างการเก็บรักษาได้วางแผนการทดลองแบบสปริตพลอต (split plot) เนื่องจากในแต่ละซ้ำของการทดลองจะมีการเตรียมตัวอย่างและแบ่งตัวอย่างเพื่อไปทำการเก็บรักษาในระยะเวลาต่างกัน และนำมาทำการวิเคราะห์คุณภาพของเส้นก๊วยเตี๋ยวก ซึ่งในการวางแผนการทดลองแบบนี้จะมี 2 ปัจจัย คือ สภาวะในการทดลองและระยะเวลาในการทดลอง โดยให้แต่ละสภาวะการทดลองเป็นหน่วยทดลองขนาดใหญ่ (Whole plot) และระยะเวลาเป็นหน่วยทดลองขนาดเล็ก (Subplot) ข้อมูลที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปทางสถิติ SPSS version 12

5. สถานที่ทดลอง

ห้องปฏิบัติการและอาคารแปรรูป ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะ
อุตสาหกรรมเกษตร วิทยาเขตบางเขนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ห้องปฏิบัติการและอาคารแปรรูปภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
มหาวิทยาลัย Tokyo University of Marine Science and Technology ประเทศญี่ปุ่น

6. ระยะเวลาการทดลอง

ตั้งแต่เดือนกันยายน 2554 ถึงเดือนมกราคม 2557

7. แหล่งทุนสนับสนุน

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. ผลของโคโตซานต่อสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของสตาร์ชและแป้งข้าวเจ้า

1.1 องค์ประกอบของสตาร์ชและแป้งข้าวเจ้า

องค์ประกอบของแป้งและสตาร์ชข้าวเจ้าเหลือง 11 แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า มีค่าใกล้เคียงกับผลการรายงานค่าองค์ประกอบของแป้งข้าวเหลือง 11 ในงานวิจัยของคันสนีย์ (2548) เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบระหว่างสตาร์ชและแป้งข้าวเจ้า พบว่า สตาร์ชมีปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า และไขมันน้อยกว่าในแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ปริมาณแอมิโลสในสตาร์ชข้าวเจ้ามีปริมาณสูงกว่าในแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การที่ปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชข้าวเจ้าสูงกว่าในแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นั้น สอดคล้องกับการทดลองของคันสนีย์ (2548) ที่รายงานว่า สตาร์ชข้าวพันธุ์เหลือง 11 มีปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ 36.42) มากกว่าแป้ง (ร้อยละ 35.04) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) และยังสอดคล้องกับการทดลองของสิริลักษณ์ (2548) ที่รายงานว่า แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาทมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 31.59 แต่สตาร์ชมีปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 37.19 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อทำการวัดปริมาณแอมิโลสโดยใช้ตัวอย่างสตาร์ชและแป้งข้าวในปริมาณที่เท่ากัน ปริมาณโปรตีนในสตาร์ชมีน้อยกว่าในแป้ง ทำให้สัดส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินในสตาร์ชมีมากกว่าในแป้ง ส่งผลให้เมื่อวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส พบว่า ในสตาร์ชมีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าในแป้ง ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของข้าวเจ้าเหลือง 11 แสดงให้เห็นว่า ข้าวเหลือง 11 ที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้มีความเหมาะสมในการนำมาทำเส้นก๋วยเตี๋ยวเนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าร้อยละ 25 จะให้เจลที่มีความคงตัวสูง (high gel-consistency) (Yoenyongbuddhagal and Noomhorm, 2002; Cham and Suwannaporn, 2010)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของแป้งและสสารข้าวเจ้าเหลือง 11

ตัวอย่าง	ความชื้น (%ฐานเปียก)	โปรตีน (%ฐานแห้ง)	เถ้า (%ฐานแห้ง)	ไขมัน (%ฐานแห้ง)	แอมิโลส (%ฐานแห้ง)
แป้งข้าว	9.66±0.02 ^b	6.02±0.09 ^b	0.23±0.00 ^b	0.11±0.01 ^b	36.51±0.15 ^a
สสารข้าว	9.45±0.02 ^a	0.10±0.01 ^a	0.17±0.01 ^a	0.01±0.00 ^a	38.80±0.16 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายความว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

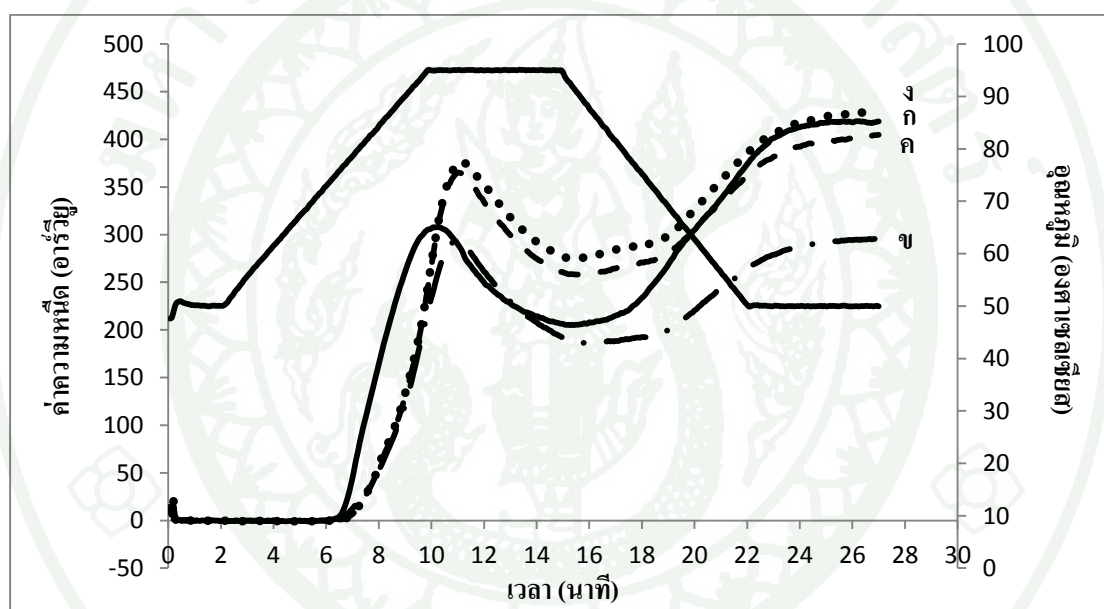
1.2 ผลของไคโตซานและกรดอะซิติกต่อสมบัติด้านความหนืดของสสารและแป้งข้าวเจ้า

1.2.1 สมบัติด้านความหนืดของสสารข้าวเจ้า

เมื่อนำสสารข้าวมาทำการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของสสารข้าวโดยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (RVA) จะมีลักษณะกราฟดังภาพที่ 5 พบว่า ในช่วงแรกของการให้ความร้อนกับตัวอย่าง (น้อยกว่า 6 นาที) จะไม่มีความหนืดเกิดขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดสสารเริ่มดูดน้ำ และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของตัวอย่างทั้ง 4 สถานะการทดลองพบว่า การเติมสารละลายกรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานในระดับที่ใช้ในการทดลองนี้ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดประมาณ 78 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของสสารข้าวที่ใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายอยู่ที่ 74.80 องศาเซลเซียส โดยลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสสารข้าวเมื่อมีและไม่มีกรดอะซิติกในการทดลองนี้มีรูปร่างลักษณะของกราฟเช่นเดียวกับการทดลองของ Ohishi *et al.* (2007)

จากการทดลอง พบว่า การใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดมีค่าน้อยกว่าการใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลาย (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ohishi *et al.* (2007) ซึ่งทำการศึกษาผลของกรดอะซิติกต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสสารข้าวโดยใช้ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นเดียวกับกรดอะซิติกที่ใช้ในการทดลองนี้ โดย Ohishi *et al.* (2007) รายงานว่า การเติมกรดอะซิติกจะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดมีค่า

น้อยกว่าเมื่อไม่มีกรดอะซิดิก เนื่องจากการเติมกรดอะซิดิกจะทำให้เม็ดสตาร์ชอ่อนแอลงส่งผลให้ความหนืดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับไม่มีกรดอะซิดิก ส่วนการใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดมีค่ามากที่สุด ดังตารางที่ 2 อาจเนื่องมาจาก ไคโตซานเป็นไฮโดรคอลลอยด์ เมื่อมีไคโตซานอยู่ในระบบอาจจะทำให้เม็ดสตาร์ชเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดในระบบมีค่าสูงขึ้น และอาจเนื่องมาจาก การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของไคโตซานกับแอมิโลสหรือแอมิโลเพกทิน จึงส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดในระบบมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีไคโตซาน อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณไคโตซานในของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและสารละลายไคโตซาน พบว่า ค่าความหนืดสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



ภาพที่ 5 กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชข้าวที่ใช้ตัวทำละลายต่างกัน — (ก) น้ำดีไอ-ออนไนซ์ - - - (ข) สารละลายกรดอะซิดิกความเข้มข้น 0.33% - - - (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% และ (ง) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย

ความหนืดต่ำสุด (trough viscosity) เป็นค่าความหนืดที่เกิดขึ้นหลังจากการให้ความร้อนแก่ของผสม หลังจากเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวเต็มที่แล้วมีการให้แรงเฉือนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเม็ดสตาร์ชจะเกิดการแตกออก ทำให้โมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชกระจายออกมา ความหนืดจึงมีค่าลดลงจากการทดลอง พบว่า การใช้กรดอะซิดิกเป็นตัวทำละลายจะทำให้ค่าความหนืดต่ำสุดมีค่าลดลงต่ำ

กว่าการใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเติมกรดอะซิติกจะทำให้เม็ดสตาร์ชอ่อนแอลงส่งผลให้ความหนืดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับไม่มีกรดอะซิติก (Ohishi *et al.*, 2007) แต่เมื่อใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลาย พบว่า ค่าความหนืดต่ำสุดของของผสมมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 2 แสดงว่า การใช้ไคโตซานจะทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มมากขึ้น

ความหนืดลดลง (break down) เป็นค่าของผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุด จากการทดลอง พบว่า การใช้สารละลายกรดอะซิติกหรือไคโตซานเป็นตัวทำละลาย จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดลดลงของสตาร์ชข้าว และมีค่าไม่แตกต่างกับเมื่อใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) เป็นค่าที่วัดได้เมื่อส่วนผสมผ่านการทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ถ้าค่าความหนืดสุดท้ายมีค่ามาก แสดงถึงแนวโน้มของการเกิดรีโทรเกรดชันในระหว่างการทำให้เย็นจะมีค่าเพิ่มขึ้น (Oikku and Rha, 1978) ส่วนค่าเซตแบคหรือค่าการคืนตัว แสดงถึง ความแข็งแรงของเจลและบ่งชี้ว่าแป้งเกิดเจลได้มากหรือน้อย ถ้าค่าเซตแบคเป็นบวก แสดงว่า แป้งเกิดรีโทรเกรดชันได้ดีและมีแนวโน้มเกิดเจลที่แข็งแรง (Beta and Corke, 2001) จากการทดลอง พบว่า ค่าความหนืดสุดท้ายของสตาร์ชข้าวที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายมีค่าสูงกว่าค่าที่รายงานโดยสันสนีย์ (2548) ซึ่งรายงานค่าความหนืดสุดท้ายของสตาร์ชข้าวเหลือง 11 ที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย เท่ากับ 345.67 อาร์วียู ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกันโดยงานวิจัยของสันสนีย์ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน 12.30 นาที และจากการทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน 27 นาที ซึ่งระยะเวลาการให้ความร้อนที่นานกว่าอาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดสุดท้าย นอกจากนี้ พบว่า การใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายจะทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายและค่าเซตแบคมีค่าสูงที่สุด แต่การใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายและค่าเซตแบคมีค่าน้อยกว่าเมื่อใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 2 แสดงว่า การใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะทำให้การเกิดรีโทรเกรดชันมีแนวโน้มลดลง เจลที่ได้มีแนวโน้มที่จะแข็งแรงน้อยกว่าเมื่อใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย และ การใช้ไคโตซานซึ่งมีกรดอะซิติกอยู่จะทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายและค่าเซตแบคมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 2 อาจเป็นเพราะการใช้ไคโตซานทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย ค่าเซตแบคและอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของสตาร์ชข้าว

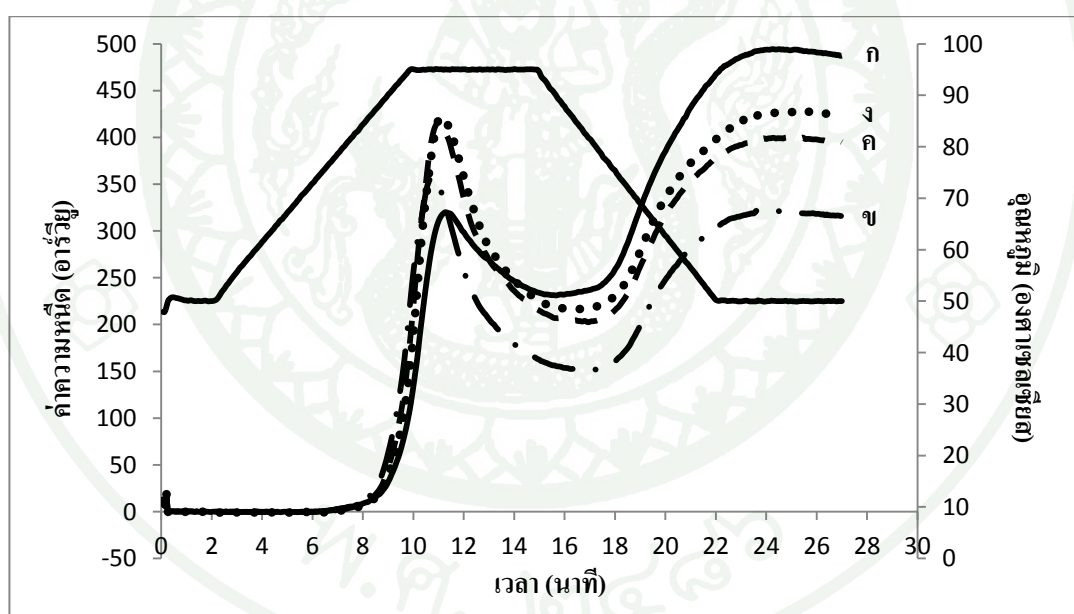
ตัวอย่าง	ความหนืด (อาร์วียู)					อุณหภูมิเริ่มเกิด ความหนืด (องศาเซลเซียส)
	ความหนืดสูงสุด	ความหนืด ต่ำสุด	ความหนืดลดลง	ความหนืด สุดท้าย	เซตแบค	
สตาร์ชข้าวและน้ำดีไอออนไนซ์	308.78±4.82 ^b	204.05±1.29 ^b	104.72±5.98 ^a	419.22±2.16 ^c	215.17±3.36 ^d	74.80±0.00 ^a
สตาร์ชข้าวและกรดอะซิติก	291.03±2.14 ^a	182.95±3.64 ^a	108.08±2.67 ^a	294.33±1.55 ^a	111.39±2.09 ^a	78.22±0.03 ^b
สตาร์ชข้าวและไคโตซาน (0.33%)	362.17±5.19 ^c	254.53±6.81 ^c	107.64±1.64 ^a	399.36±9.34 ^b	144.84±2.55 ^b	78.63±0.40 ^b
สตาร์ชข้าวและไคโตซาน (0.50%)	373.78±2.89 ^d	272.61±2.13 ^d	101.17±2.20 ^a	425.47±3.26 ^c	152.86±2.57 ^c	78.38±0.19 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแนวดิ่ง หมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.2.2 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้า

จากผลการทดลอง พบว่า การเติมสารละลายกรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานในแป้งข้าวเจ้าจะมีลักษณะของกราฟดังภาพที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของตัวอย่างทั้ง 4 สภาวะ พบว่า การเติมสารละลายกรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานในระดับที่ใช้ในการทดลองนี้ จะทำให้อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดมีค่าลดลงจากการใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยจะมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดประมาณ 85 องศาเซลเซียส แต่การใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดประมาณ 87 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากการใช้กรดอะซิติกจะทำให้โปรตีนที่เกาะที่ผิวสตาร์ชละลายออกมามากขึ้นกว่าการใช้ น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลาย (Ohishi *et al.*, 2003) ทำให้เม็ดสตาร์ชสามารถพองตัวได้ง่ายขึ้น โดยลักษณะกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าเมื่อมีและไม่มีกรดอะซิติกในการทดลองนี้มีรูปร่างลักษณะของกราฟเช่นเดียวกับการทดลองของ Ohishi *et al.* (2007)



ภาพที่ 6 กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ตัวทำละลายต่างกัน — (ก) น้ำดีไอออนซ์ - - - (ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% ---- (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% และ (ง) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย

ตารางที่ 3 แสดงค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย ค่าเซตแบคและอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าว พบว่า การใช้กรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะส่งผลให้ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของแป้งข้าวมียาค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการใช้กรดอะซิติกช่วยลดระยะเวลาในการเกิดความหนืดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวที่ใช้น้ำดีไอออนซ์และสารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลาย ดังแสดงในภาพที่ 5 การที่กรดอะซิติกช่วยลดระยะเวลาในการเกิดความหนืดสูงสุดนั้นอาจเนื่องมาจากการละลายได้ของโปรตีนในกรดอะซิติก เม็ดแป้งสามารถพองตัวได้ง่ายขึ้น (Ohishi *et al.*, 2003) ทำให้ใช้ระยะเวลาในการเกิดความหนืดสูงสุดได้น้อยลง ส่วนการเติมสารละลายไคโตซานจะทำให้ความหนืดสูงสุดของระบบเพิ่มขึ้นกว่าในสภาวะอื่นๆ เช่นเดียวกับในสตาร์ชข้าว อาจเนื่องมาจากการผลึกกันระหว่างประจุบวกของไคโตซานและประจุลบของโปรตีนในระบบซึ่งเป็นบวก ทำให้ไคโตซานสามารถกระจายตัวได้ในระบบ ส่งผลให้ไคโตซานอาจด้านการเคลื่อนที่ของไบพอลิเมอร์มีการกวน จึงทำให้ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity) พบว่า การใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายในแป้งข้าวจะส่งผลให้มีความหนืดต่ำสุดน้อยกว่าแป้งข้าวที่ใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 3 เนื่องจากการเติมกรดอะซิติกจะทำให้เม็ดสตาร์ชอ่อนแอลงส่งผลให้ความหนืดมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับไม่มีกรดอะซิติก (Ohishi *et al.*, 2007) และการเติมไคโตซานในระบบมีผลทำให้ความหนืดต่ำสุดเพิ่มขึ้นกว่าในสภาวะที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายเช่นเดียวกับในสตาร์ช

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดลดลง (break down) พบว่า การใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายจะทำให้ค่าความหนืดลดลงมีค่าน้อยที่สุด แต่การใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะทำให้แป้งข้าวมียาค่าความหนืดลดลงสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 3 สอดคล้องกับการทดลองของ Ohishi *et al.* (2007) ซึ่งรายงานว่าการเติมกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นนี้ส่งผลให้ค่าความหนืดลดลงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการละลายได้ของโปรตีนในกรดอะซิติก ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ง่ายและพองตัวได้มาก เม็ดแป้งไม่แข็งแรง (Ohishi *et al.*, 2003) ส่วนในสภาวะที่ใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลาย ส่งผลให้แป้งข้าวจะมีความหนืดลดลงสูงกว่าเมื่อใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายเล็กน้อย แสดงว่า ในสภาวะที่มีไคโตซาน เม็ดแป้งจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าในสภาวะที่ไม่มีไคโตซาน

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) พบว่า ค่าความหนืดสุดท้ายของแป้งข้าวที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายมีค่าสูงกว่าค่าที่รายงานโดยคันสนีย์ (2548) ซึ่งรายงานว่าค่าความหนืดสุดท้ายของสตาρχ้าวเหลือง 11 ที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย เท่ากับ 422.20 อาร์วียู ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกันโดยงานวิจัยของคันสนีย์ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน 12.30 นาที และจากการทดลองนี้ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน 27 นาที ซึ่งระยะเวลาการให้ความร้อนที่นานกว่าอาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดสุดท้าย จากผลการทดลอง พบว่า การใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายและค่าเซตแบคมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับแป้งข้าวที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 3 สอดคล้องกับการทดลองของ Ohishi *et al.* (2007) ซึ่งพบว่า การเติมกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นเดียวกัน (0.05M) ส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าลดลง แสดงว่า การใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะทำให้การเกิดรีโทรเกรเดชันมีแนวโน้มลดลง เจลที่ได้มีแนวโน้มที่จะแข็งแรงน้อยกว่าเมื่อใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย นอกจากนี้การเติมไคโตซานในระบบมีผลทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายและค่าเซตแบคเพิ่มขึ้นมากกว่าในสภาวะที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายแต่จะมีค่าน้อยกว่าในสภาวะที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย อาจเป็นเพราะการใช้ไคโตซานทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของกรดอะซิติกและไคโตซานในสตาρχ้าวกับแป้งข้าว พบว่า การเติมสารละลายไคโตซานจะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดต่ำสุดของของผสมสตาρχ้าวกับแป้งข้าวมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้น้ำดีไอออไนซ์และกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย อย่างไรก็ตามการเติมไคโตซานจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดลดลงในสตาρχ้าว แต่จะทำให้ค่าความหนืดลดลงมีค่าสูงที่สุดในแป้งข้าว นอกจากนี้การเติมกรดอะซิติกส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายและค่าเซตแบคมีค่าลดลงเช่นเดียวกันทั้งในแป้งข้าวและสตาρχ้าว แต่เมื่อเติมไคโตซานค่าความหนืดสุดท้ายและค่าเซตแบคจะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่าเมื่อใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย ดังนั้น การใช้กรดอะซิติกและไคโตซานอาจสามารถชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันในผลิตภัณฑ์ที่ทำจากสตาρχ้าวและแป้งข้าวได้

ตารางที่ 3 ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย ค่าเซตแบคและอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าว

ตัวอย่าง	ความหนืด (อาร์วียู)					อุณหภูมิเริ่มเกิด ความหนืด (องศาเซลเซียส)
	ความหนืด สูงสุด	ความหนืด ต่ำสุด	ความหนืด ลดลง	ความหนืด สุดท้าย	เซตแบค	
แป้งข้าวและน้ำคืไอออไนซ์	321.05±1.10 ^a	230.50±0.87 ^d	90.56±1.95 ^a	489.17±1.94 ^d	258.66±2.08 ^d	87.17±0.21 ^c
แป้งข้าวและกรดอะซิติก	357.11±0.75 ^b	151.89±1.33 ^a	205.22±1.50 ^b	315.00±1.00 ^a	163.11±1.69 ^a	85.13±0.03 ^a
แป้งข้าวและไลโคซาน (0.33%)	424.50±7.16 ^c	203.92±1.30 ^b	220.58±5.92 ^c	399.89±4.54 ^b	195.97±3.34 ^b	85.93±0.03 ^b
แป้งข้าวและไลโคซาน (0.50%)	438.06±6.90 ^d	218.81±6.18 ^c	219.25±0.80 ^c	428.14±7.89 ^c	209.33±3.46 ^c	85.97±0.25 ^b

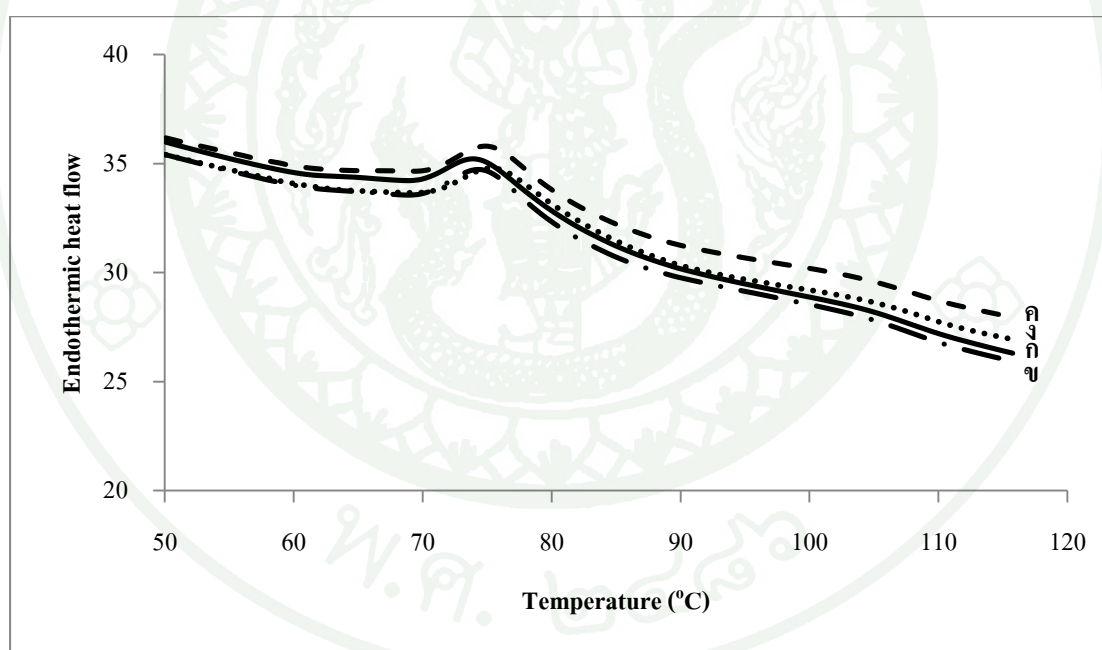
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายถึงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

1.3 ผลของสารละลายไคโตซานและกรดอะซิติกต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชและแป้งข้าวเจ้า

1.3.1 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชข้าวเจ้า

ภาพที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชข้าวเจ้าเมื่อใช้น้ำดีไอออนไนซ์ กรดอะซิติก หรือสารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลาย พบว่า ในทุกสภาวะจะมีพีคเกิดขึ้น 2 ตำแหน่ง คือ ช่วงอุณหภูมิ 67-84 องศาเซลเซียส และมีพีคเล็กๆเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 90-110 องศาเซลเซียส พีคแรกเป็นพีคของพลังงานที่ใช้ในการเจลาทิไนเซชันของโมเลกุลสตาร์ช ซึ่งเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการทำลายพันธะไฮโดรเจนในส่วนโครงสร้างที่เป็นระเบียบของโมเลกุลแอมิโลเพกทินในเม็ดสตาร์ช (Hagenimana *et al.*, 2005) ส่วนพีคที่สองเป็นพีคของการสลายสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมัน (amylose-lipid complex) (Zhou *et al.*, 2010)



ภาพที่ 7 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชข้าวที่ใช้ตัวทำละลายต่างกัน — (ก) น้ำดีไอออนไนซ์
 - - - (ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% ----- (ค) สารละลายไคโตซาน
 ความเข้มข้น 0.33% และ (ง) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำ
 ละลาย

ตารางที่ 4 แสดงการเกิดเจลาทีโนเซชันของสตาร์ชข้าวเหลือง 11 ที่มีตัวทำละลายแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาการเกิดเจลาทีโนเซชันของสตาร์ชข้าวเหลือง 11 ที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย พบว่า มีอุณหภูมิเริ่มเกิดการเจลาทีโนเซชันของสตาร์ช (T_o) อุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชเกิดเจลาทีโนเซชันสูงสุด (T_p) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาทีโนเซชัน (T_c) และค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเจลาทีโนเซชันมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของคันสนีย์ (2548) ซึ่งพบว่า ในสภาวะที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 60 (อัตราส่วนระหว่างสตาร์ชและน้ำ คือ 40 ต่อ 60) สตาร์ชข้าวเหลือง 11 มีอุณหภูมิเริ่มเกิดการเจลาทีโนเซชันของสตาร์ช (T_o) เท่ากับ 64.88 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชเกิดเจลาทีโนเซชันสูงสุด (T_p) เท่ากับ 71.43 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาทีโนเซชัน (T_c) เท่ากับ 80.71 องศาเซลเซียส และค่าพลังงานทั้งหมดใช้ในการเจลาทีโนเซชัน เท่ากับ 10.21 จูลต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) เมื่อพิจารณาอุณหภูมิเริ่มเกิดการเจลาทีโนเซชันของสตาร์ช (T_o) พบว่า มีความสอดคล้องกับค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนของสตาร์ชข้าว กล่าวคือ เมื่อมีการระเหยน้ำและไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะส่งผลให้อุณหภูมิเริ่มเกิดการเจลาทีโนเซชันของสตาร์ช มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิเริ่มเกิดการเจลาทีโนเซชันของสตาร์ชทุกสภาวะการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ การใช้กรดอะซิติกหรือสารละลายไคโตซานแทนน้ำดีไอออไนซ์จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชเกิดเจลาทีโนเซชันสูงสุด อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาทีโนเซชัน และค่าพลังงานทั้งหมดใช้ในการเจลาทีโนเซชันในของผสมสตาร์ชข้าว อย่างไรก็ตามเมื่อใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลาย ค่าพลังงานในการสลายผลึกที่ได้ซึ่งคิดเป็นต่อกรัมน้ำหนักแห้งทั้งหมดจะรวมน้ำหนักแห้งของไคโตซานอยู่ด้วยแต่เมื่อคิดปริมาณน้ำหนักแห้งของไคโตซานจะมีค่าน้อยมากจึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานดังกล่าว

ตารางที่ 4 การเกิดเจลลาทีโนเซชันของสตาร์ชข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่มีตัวทำละลายแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	การเกิดเจลลาทีโนเซชัน				ความชื้น ^{NS} (%)
	To ^{NS} (องศาเซลเซียส)	Tp ^{NS} (องศาเซลเซียส)	Tc ^{NS} (องศาเซลเซียส)	ΔH ^{NS} (จูลต่อกรัม น้ำหนักแห้ง)	
สตาร์ชข้าวและน้ำดีไอออนไนซ์	66.24±1.90	73.03±1.77	82.38±0.85	12.85±1.28	63.06±0.97
สตาร์ชข้าวและกรดอะซิติก	67.08±1.69	73.74±1.54	82.10±0.89	11.96±0.69	62.88±0.59
สตาร์ชข้าวและ ไคโตซาน (0.33%)	67.37±1.56	74.21±1.55	82.85±1.10	12.33±0.54	63.32±0.51
สตาร์ชข้าวและ ไคโตซาน (0.50%)	67.76±1.37	74.76±1.30	84.08±0.22	12.49±0.21	62.50±0.04

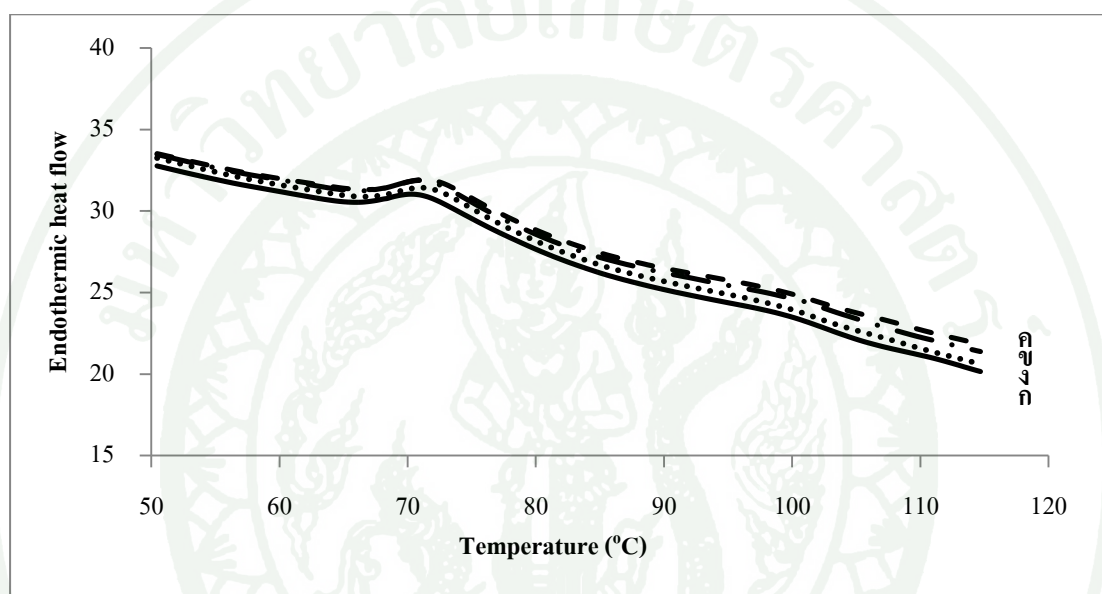
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

NS คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

To, Tp, Tc และ ΔH คือ อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้ายและค่าพลังงานในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน

1.3.2 สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวเจ้า

จากภาพที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวที่ใช้ น้ำดีไอออนไนซ์ กรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลาย พบว่า มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนเหมือนกันและเหมือนกับในสตาร์ชข้าว คือ มีฟีกเกิดขึ้น 2 ตำแหน่ง คือ ที่อุณหภูมิ 67-83 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิประมาณ 90-108 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 8 สมบัติทางความร้อนของแป้งข้าวที่ใช้ตัวทำละลายต่างกัน — (ก) น้ำดีไอออนไนซ์
- - - (ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% - - - - (ค) สารละลายไคโตซาน
ความเข้มข้น 0.33% และ - - - - - (ง) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำ
ละลาย

ตารางที่ 5 แสดงการเกิดเจลในเซชันของแป้งข้าวเหลือง 11 ที่มีตัวทำละลายแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาการเกิดเจลในเซชันของแป้งข้าวเหลือง 11 ที่ใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลาย พบว่า แป้งข้าวเหลือง 11 มีอุณหภูมิเริ่มเกิดการเจลในเซชันของแป้งข้าว (To) อุณหภูมิที่ทำให้แป้งข้าวเกิดเจลในเซชันสูงสุด (Tp) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลในเซชัน (Tc) และค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเจลในเซชันมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของคันสนีย์ (2548) ซึ่งรายงานไว้ว่า อุณหภูมิเริ่มเกิดการเจลในเซชันของแป้งข้าว (To) เท่ากับ 68.71 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ทำให้แป้งข้าวเกิดการเจลในเซชันสูงสุด (Tp) เท่ากับ 72.99 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ

สุดท้ายของการเกิดเจลาทีโนเซน (Tc) เท่ากับ 78.86 องศาเซลเซียส และค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเจลาทีโนเซน เท่ากับ 7.37 จูลต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง)

นอกจากนี้จากผลการทดลอง พบว่า การเคี่ยวน้ำตาลละลายกรดอะซิติกหรือสารละลายไคโตซานในแป้งข้าวไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดการเจลาทีโนเซนของสตาร์ช (To), อุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชเกิดเจลาทีโนเซนสูงสุด (Tp) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลาทีโนเซน (Tc) และค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเจลาทีโนเซนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากการตารางที่ 4 และตารางที่ 5 พบว่า สตาร์ชและแป้งข้าวเหลือง 11 มีค่า To, Tp และ Tc ใกล้เคียงกันในทุกสภาวะการทดลอง ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของสันสนีย์ (2548) พบว่า ปริมาณน้ำร้อยละ 60 ค่า To และ Tp ของแป้งมีค่ามากกว่าในสตาร์ชข้าว เนื่องมาจากโปรตีนจะไปแย่งจับกับน้ำทำให้ขัดขวางไม่ให้น้ำเข้าไปในเม็ดแป้ง ดังนั้นจึงต้องใช้อุณหภูมิในการเกิดเจลาทีโนเซนที่สูงกว่าในสตาร์ช และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำเป็นร้อยละ 70 พบว่า ค่า To และ Tp ของแป้งไม่แตกต่างจากในสตาร์ช อาจเป็นเพราะปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าร้อยละ 62-63 ซึ่งอาจเพียงพอสำหรับใช้ในการเจลาทีโนเซนของแป้งและสตาร์ช และเมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานในการเกิดเจลาทีโนเซนระหว่างแป้งและสตาร์ชข้าวเหลือง 11 พบว่า แป้งข้าวมีค่าพลังงานในการเกิดเจลาทีโนเซนน้อยกว่าสตาร์ชข้าวสอดคล้องกับผลการทดลองของสันสนีย์ (2548) เนื่องจากปริมาณสตาร์ชในแป้งข้าวน้อยกว่าในตัวอย่างที่เป็นสตาร์ชข้าว ดังนั้นจึงใช้พลังงานในการเกิดเจลาทีโนเซนของสตาร์ชในแป้งข้าวน้อยกว่าในสตาร์ชข้าว

ตารางที่ 5 การเกิดเจลลิตีในเซชันของแป้งข้าวเจ้าเหลือง 11 ที่มีตัวทำละลายแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	การเกิดเจลลิตีในเซชัน				ความชื้น ^{NS} (%)
	T _o ^{NS} (องศาเซลเซียส)	T _p ^{NS} (องศาเซลเซียส)	T _c ^{NS} (องศาเซลเซียส)	ΔH ^{NS} (จูลต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)	
แป้งข้าวและน้ำดีไอออนไนซ์	67.39±4.01	73.48±3.73	82.75±4.20	9.25±0.01	62.44±0.15
แป้งข้าวและกรดอะซิติก	67.39±4.02	73.87±3.93	83.06±3.84	9.26±0.09	62.37±0.28
แป้งข้าวและ ไคโตซาน (0.03%)	67.39±4.03	74.19±3.92	82.84±4.48	9.23±0.08	62.48±0.66
แป้งข้าวและ ไคโตซาน (0.50%)	67.39±4.04	74.47±3.51	83.41±3.29	9.28±0.03	62.85±0.64

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

NS คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

T_o, T_p, T_c และ ΔH คือ อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสุดท้ายและค่าพลังงานในการสลายเกิดเจลลิตีในเซชัน

2. ผลของไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว

2.1 ผลของไคโตซานต่อคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตาร์ชข้าวเจ้า

2.1.1 ปริมาณความชื้นและค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ตารางที่ 6 แสดงค่าปริมาณความชื้นและค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตาร์ชข้าว พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% หรือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% เป็นตัวทำละลาย จะมีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 59-60 ซึ่งเป็นค่าความชื้นปกติที่พบในก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ (งามชื่น, 2541; วิภา, 2541) เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดต่างในของผสมสตาร์ชข้าว (rice starch slurry) ที่ใช้ในการทำเส้นก๋วยเตี๋ยว (อัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวและสารละลาย คือ 40:60) พบว่า ของผสมสตาร์ชข้าวที่ใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายมีค่าความเป็นกรดต่างสูงที่สุด รองลงมา คือ ของผสมที่ใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลาย และของผสมที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายมีค่าความเป็นกรดต่างต่ำสุด ($p\leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดต่างในเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า มีแนวโน้มเดียวกันกับในของผสมสตาร์ชข้าว การที่เส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายมีค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่าเมื่อใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนการเตรียมไคโตซานจะมีการใช้ด่างในขั้นตอนการแยกโปรตีนออก และใช้ด่างในการทำปฏิกิริยาลดหมู่อะซิดิลเพื่อให้ได้ไคโตซาน ซึ่ง 2 ขั้นตอนนี้อาจมีด่างหลงเหลืออยู่ในไคโตซานหลังจากการล้างน้ำแล้ว (Mathur and Narang, 1990; Abdou *et al.*, 2008) ทำให้สารละลายไคโตซานที่เตรียมได้มีค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่าสารละลายกรดอะซิติก

ตารางที่ 6 ปริมาณความชื้นและค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตรัซข้าว

พารามิเตอร์	สภาวะในการทดลอง			
	น้ำดีไอออนไนซ์	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)
ความชื้น (%ฐานเปียก)	59.91±0.83 ^a	59.32±0.68 ^a	59.44±1.49 ^a	59.38±2.30 ^a
ค่าความเป็นกรดต่าง (ของผสมสตรัซ)	6.20±0.11 ^d	4.00±0.25 ^a	4.48±0.04 ^b	4.72±0.01 ^c
ค่าความเป็นกรดต่าง (เส้นก๋วยเตี๋ยว)	6.26±0.09 ^d	4.29±0.07 ^a	4.45±0.05 ^b	4.61±0.04 ^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.1.2 คุณภาพด้านสีของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ตารางที่ 7 แสดงคุณภาพด้านสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตรัซข้าว พบว่า การเติมไคโตซานจะทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีค่าความสว่าง (L^*) น้อยที่สุด และมีค่าความเป็นสีแดง (a^*) ลดลงและมีค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (b^* คิดลบน้อยลง) เมื่อเทียบกับในสภาวะที่ใช้กรดอะซิติก และน้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลาย แสดงว่าการเติมไคโตซานจะทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่าในสภาวะอื่นๆ และจะมีค่าความเป็นสีเหลืองมากขึ้นเมื่อมีปริมาณไคโตซานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสีเหลืองที่เกิดขึ้นนั้นมาจากแผ่นของไคโตซานซึ่งมีสีค่อนข้างเหลืองจากการใช้ด่างในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาลดหมู่อะซิติกเพื่อให้ได้ไคโตซาน ซึ่งจะทำให้ไคโตซานที่ได้มีสีเหลือง (Yen *et al.*, 2009) นอกจากนี้การใช้ความร้อนในการสเตอริไรส์สารละลายไคโตซาน ก็ทำให้สารละลายไคโตซานมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเช่นกัน (Yang *et al.*, 2007) ดังนั้นเมื่อปริมาณไคโตซานเพิ่มมากขึ้น ค่าความเป็นสีเหลืองของสารละลายไคโตซานก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพผนวกที่ 1 ส่งผลให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลายมีค่าความขาวน้อยที่สุด

ตารางที่ 7 คุณภาพด้านสีของเส้นก๊วยเตี๋ยที่ทำจากสตาร์ชข้าว

พารามิเตอร์	สภาวะในการทดลอง			
	น้ำดีไอออนไนซ์	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)
L*	86.29±0.60 ^b	86.20±0.34 ^b	85.92±0.02 ^b	84.77±0.50 ^a
a*	0.86±0.25 ^b	0.83±0.05 ^b	0.69±0.02 ^{ab}	0.45±0.05 ^a
b*	-5.68±0.54 ^c	-6.14±0.63 ^c	-4.74±0.16 ^b	-3.72±0.19 ^a
ค่าความขาว	85.07±0.30 ^b	84.83±0.37 ^{ab}	85.09±0.06 ^b	84.29±0.44 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
($p \leq 0.05$)

2.1.3 ผลการตรวจสอบอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชข้าวเจ้าและไคโตซานในเส้นก๊วยเตี๋ยด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FTIR)

ภาพที่ 9 แสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของหมูฟังก์ชันที่พบในเส้นก๊วยเตี๋ยที่ทำจากสตาร์ชข้าวที่เตรียมโดยใช้สารละลายต่างๆเป็นตัวทำละลาย พบว่า ลักษณะของพีกและหมูฟังก์ชันของเส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% หรือสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% เป็นตัวทำละลาย มีจำนวนพีกและตำแหน่งเลขคลื่นของแต่ละพีกมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาพีกที่พบในเส้นก๊วยเตี๋ยที่ใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลาย (ภาพที่ 9ก) พบว่า พีกที่พบจะมีตำแหน่งเลขคลื่น 3387.95 cm^{-1} , 1643.33 cm^{-1} , 1153.03 cm^{-1} , 1081.08 cm^{-1} , 1024.69 cm^{-1} และ 709.34 cm^{-1} ซึ่งพีกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3387.95 cm^{-1} มาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างการดึงยืด (stretching) ของโมเลกุล O-H โดยในตัวอย่างนี้จะมาจากโมเลกุล O-H ของสตาร์ชข้าว หรือมาจาก O-H ในโมเลกุลของน้ำ (Xu *et al.*, 2005; Mathew *et al.*, 2006) พีกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1643.33 cm^{-1} แสดงแถบการดักคลื่นแสงอินฟราเรดที่มีสาเหตุมาจากการโค้งงอ (bending) ของโมเลกุล O-H จากโมเลกุลของน้ำ (Rueda *et al.*, 1999; Xu *et al.*, 2005; Mathew *et al.*, 2006) พีกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1153.03 cm^{-1} แสดงแถบการดักคลื่นแสงอินฟราเรดที่มีสาเหตุจากการดึง

ยืดของโมเลกุล C-O-C ของพันธะไกลโคซิดิก (anti-symmetric bridge stretching) พิกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1081.08 cm^{-1} , 1024.69 cm^{-1} และ 709.34 cm^{-1} แสดงแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่มาจาก การดึงยืดของโมเลกุล C-O (stretching vibration) ของโครงสร้างโมเลกุลน้ำตาล (saccharide structure) (Galat, 1980; Pawlak and Mucha, 2003; Xu *et al.*, 2005; Mathew *et al.*, 2006; Rao *et al.*, 2006)

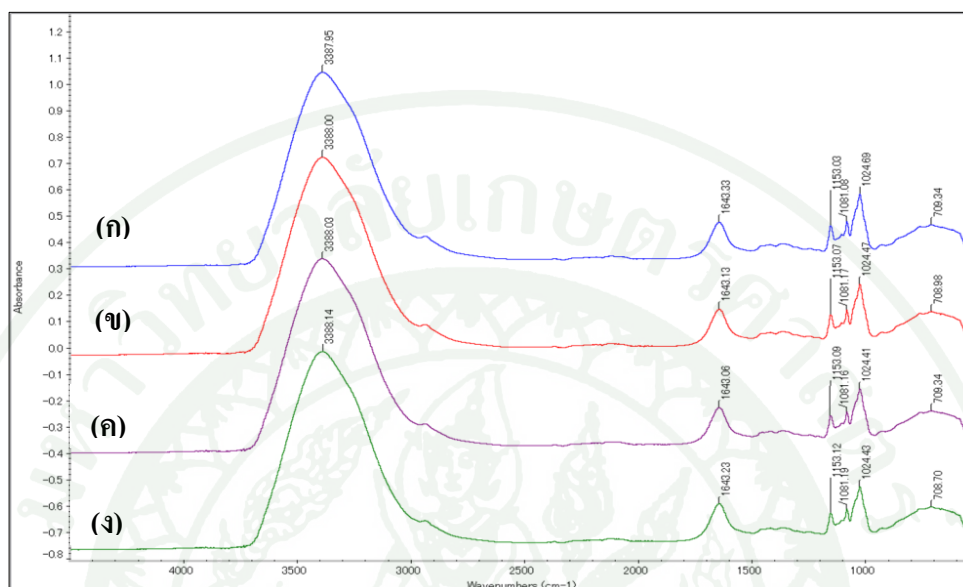
เมื่อพิจารณาพิกที่พบในเส้นก๊วยเตียที่ใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% เป็นตัวทำละลาย (ภาพที่ 9ข) พบว่า มีตำแหน่งเลขคลื่น 3388.00 cm^{-1} , 1643.13 cm^{-1} , 1153.07 cm^{-1} , 1081.17 cm^{-1} , 1024.47 cm^{-1} และ 708.98 cm^{-1} โดยพิกที่พบน่าจะมาจากหมู่ฟังก์ชันเดียวกับหมู่ฟังก์ชันที่พบในเส้นก๊วยเตียที่ใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลาย

เมื่อพิจารณาพิกที่พบในเส้นก๊วยเตียที่ใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% และ 0.50% เป็นตัวทำละลาย (ภาพที่ 9ค และ 9ง) พบว่า สภาวะที่ใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% เป็นตัวทำละลายจะมีตำแหน่งของพิกที่เลขคลื่น 3388.03 cm^{-1} , 1643.06 cm^{-1} , 1153.09 cm^{-1} , 1081.16 cm^{-1} , 1024.41 cm^{-1} และ 709.34 cm^{-1} และในสภาวะที่ใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลายจะพบพิกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3388.14 cm^{-1} , 1643.23 cm^{-1} , 1153.09 cm^{-1} , 1081.16 cm^{-1} , 1024.43 cm^{-1} และ 708.70 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับพิกที่พบในเส้นก๊วยเตียที่ใช้น้ำดีไอออนไนซ์และสารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย ซึ่งพิกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3388.03 cm^{-1} และ 3388.14 cm^{-1} อาจมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างการดึงยืด (stretching) ของโมเลกุล O-H ในสตาร์ชข้าว หรือเกิดจาก N-H stretching ของไคโตซาน เนื่องจากตำแหน่งเลขคลื่นที่เกิดในช่วงนี้จะใกล้เคียงกันมาก (Xu *et al.*, 2005; Mathew *et al.*, 2006) พิกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1643.06 cm^{-1} และ 1643.23 cm^{-1} อาจเกิดจากการโค้งงอ (bending) ของโมเลกุล O-H จากโมเลกุลของน้ำหรือการดึงยืด (stretching) ของโมเลกุล C=O (amide I) (Rueda *et al.*, 1999; Xu *et al.*, 2005; Mathew *et al.*, 2006; Yin *et al.*, 2006) นอกจากนี้ พิกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1153.09 cm^{-1} และ 1153.12 cm^{-1} แสดงแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่มีสาเหตุจากการดึงยืดของโมเลกุล C-O-C (anti-symmetric bridge stretching) พันธะไกลโคซิดิก พิกที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1081.16 cm^{-1} , 1081.19 cm^{-1} , 1024.41 cm^{-1} , 1024.43 cm^{-1} , 709.34 cm^{-1} และ 708.70 cm^{-1} แสดงแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่มีสาเหตุจากการดึงยืดของโมเลกุล C-O (stretching vibration) ซึ่งพิกที่เกิดจากการดึงยืดของโมเลกุล C-O เป็นพิกของโครงสร้างโมเลกุลน้ำตาล (saccharide structure) โดยจะสามารถพบได้ทั้งในโครงสร้างของสตาร์ชและไคโตซาน (Galat, 1980; Pawlak and Mucha, 2003; Xu *et al.*, 2005; Mathew *et al.*, 2006; Rao *et al.*, 2006)

Xu *et al.* (2005) ได้รายงานว่า พบพิกที่แสดงลักษณะของไคโตซานในฟิล์มไคโตซานซึ่งจะมี 2 ตำแหน่ง คือ พิกตำแหน่งเลขคลื่น 1578 cm^{-1} ซึ่งแสดงแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่มีสาเหตุมาจากการโค้งงอ (bending) ของโมเลกุล N-H (amide II (R-NH_2)) และพิกตำแหน่งเลขคลื่น 1655 cm^{-1} ซึ่งแสดงแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่มีสาเหตุมาจากการดึงยืด (stretching) ของโมเลกุล C=O (amide I (RCONHR')) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rao *et al.* (2006), Yin *et al.* (2006) และ Bourtoom and Chinnan (2008) ที่พบพิกของไคโตซานในช่วงตำแหน่งนี้ และในไคโตซานที่มีการลดหมู่อะซิติลที่สูง (%deacetylation มาก) พิกที่พบในไคโตซานจะเหลือเพียงพิกของโมเลกุล N-H (amide II) (Mima *et al.*, 1983; Duarte *et al.*, 2002) ในงานวิจัยนี้ ไคโตซานที่นำมาใช้ในการทำการทดลองนี้มีค่า %deacetylation ค่อนข้างสูง (94.78%) อย่างไรก็ตามพิกที่ปรากฏทั้งหมดไม่ได้แสดงลักษณะเฉพาะของไคโตซานเลย อาจเนื่องมาจาก ในเส้นกัวยเดียวมีปริมาณสตาร์ชมากกว่าปริมาณไคโตซานมาก โมเลกุลของสตาร์ชอาจจะไปบดบังโมเลกุลของไคโตซานจึงทำให้ไม่พบพิกของไคโตซาน

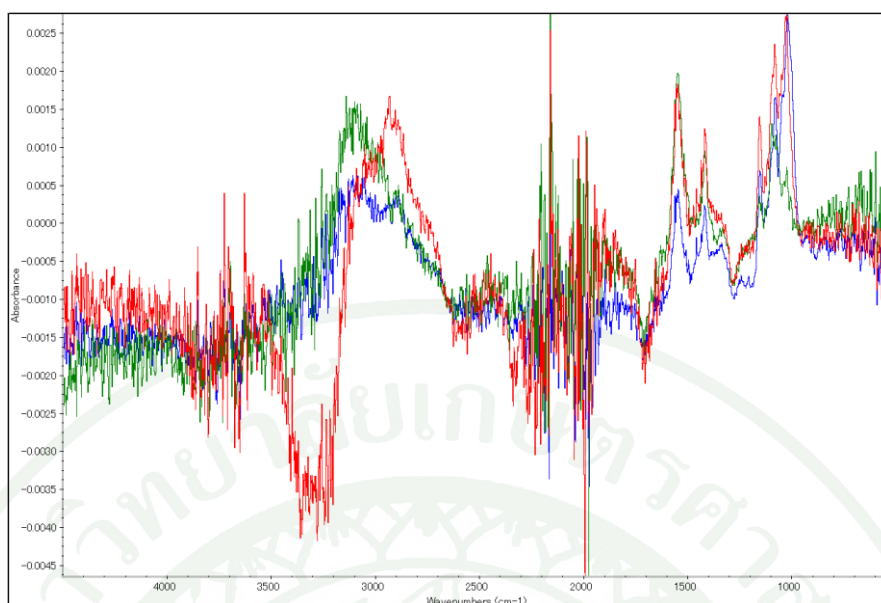
ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการทดลองโดยใช้การตรวจวัดในของผสมระหว่างสตาร์ชกับไคโตซาน ซึ่งมีอัตราส่วน 1:1 เพื่อลดปริมาณของสตาร์ชลง โดยทำการวัดในสภาวะก่อนและหลังให้ความร้อน นอกจากนี้ยังวัดสารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้น 0.50% เพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งของพิกจากไคโตซานดังแสดงในภาพที่ 9 พบว่า ตำแหน่งของพิกที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง ดังนั้น แสดงว่า เมื่อลดปริมาณสตาร์ชลงจะเห็นลักษณะพิกของไคโตซานได้ จึงอาจกล่าวได้ว่า ในเส้นกัวยเดียวจะไม่พบพิกของไคโตซานเนื่องจากปริมาณสตาร์ชเยอะจริง แต่ในของผสมระหว่างสตาร์ชกับไคโตซาน ซึ่งมีอัตราส่วน 1:1 พิกที่ได้จะมีพิกขนาดเล็กครบถ้วนจำนวนมาก (noise) เนื่องจากตัวอย่างมีน้ำมาก ดังนั้นจึงทำการขยายสัญญาณเฉพาะตำแหน่งเลขคลื่นที่อยู่ในช่วง 1200-1900 cm^{-1} ดังภาพที่ 10 พบว่า ตำแหน่งเลขคลื่นในสารละลายไคโตซาน (ภาพที่ 10ก) มีตำแหน่งเลขคลื่นอยู่ที่ 1549.16 cm^{-1} ซึ่งแสดงแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่มีสาเหตุมาจากการโค้งงอ (bending) ของโมเลกุล N-H (amide II (R-NH_2)) จากไคโตซาน และเมื่อพิจารณาของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซานก่อนการให้ความร้อน พบว่า มีพิกของไคโตซานปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1545.46 cm^{-1} เช่นเดียวกับของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซานหลังการให้ความร้อน โดยตำแหน่งเลขคลื่นของไคโตซานในของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซานทั้งก่อนและหลังการให้ความร้อนจะไม่แตกต่างกับตำแหน่งเลขคลื่นของไคโตซานในสารละลายไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในของผสมระหว่างสตาร์ชกับไคโตซาน ซึ่งมีอัตราส่วน 1:1 มีน้ำมาก ทำให้โอกาสในการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไคโตซานและสตาร์ชน้อย จึงไม่สามารถสรุปได้ว่ามีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างไคโตซานกับสตาร์ชจริงหรือไม่ ดังนั้นเพื่อพิสูจน์ถึง

การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชและไคโตซานในเส้นก๊วยเตี๋ยควรใช้เครื่องมืออื่นที่เหมาะสม เช่น การใช้รามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy) ในการศึกษาต่อไป



ภาพที่ 9 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในเส้นก๊วยเตี๋ยที่ทำจากสตาร์ชข้าว

- (ก) เส้นสีน้ำเงิน คือ น้ำดีไอออไนซ์
- (ข) เส้นสีแดง คือ สารละลายกรดอะซิติก
- (ค) เส้นสีม่วง คือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33%
- (ง) เส้นสีเขียว คือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

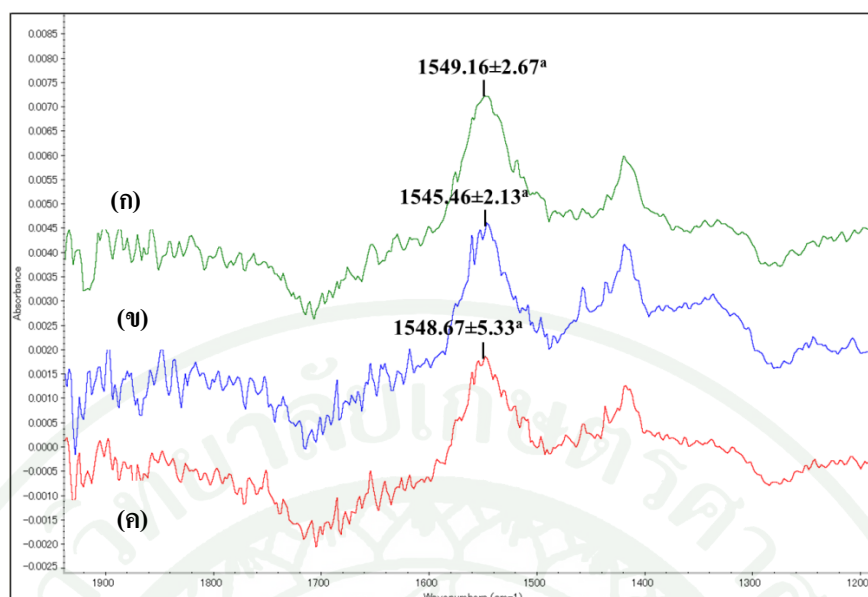


ภาพที่ 10 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซาน โดยมีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซาน 1:1

เส้นสีเขียว คือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

เส้นสีน้ำเงิน คือ ของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซาน โดยมีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซาน 1:1 ก่อนการให้ความร้อน

เส้นสีแดง คือ ของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซาน โดยมีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซาน 1:1 หลังการให้ความร้อน



ภาพที่ 11 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซานโดยมีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซาน 1:1 ก่อนและหลังการให้ความร้อน

(ก) เส้นสีเขียว คือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

(ข) เส้นสีน้ำเงิน คือ ของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซานโดยมีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซาน 1:1 ก่อนการให้ความร้อน

(ค) เส้นสีแดง คือ ของผสมระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซานโดยมีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซาน 1:1 หลังการให้ความร้อน

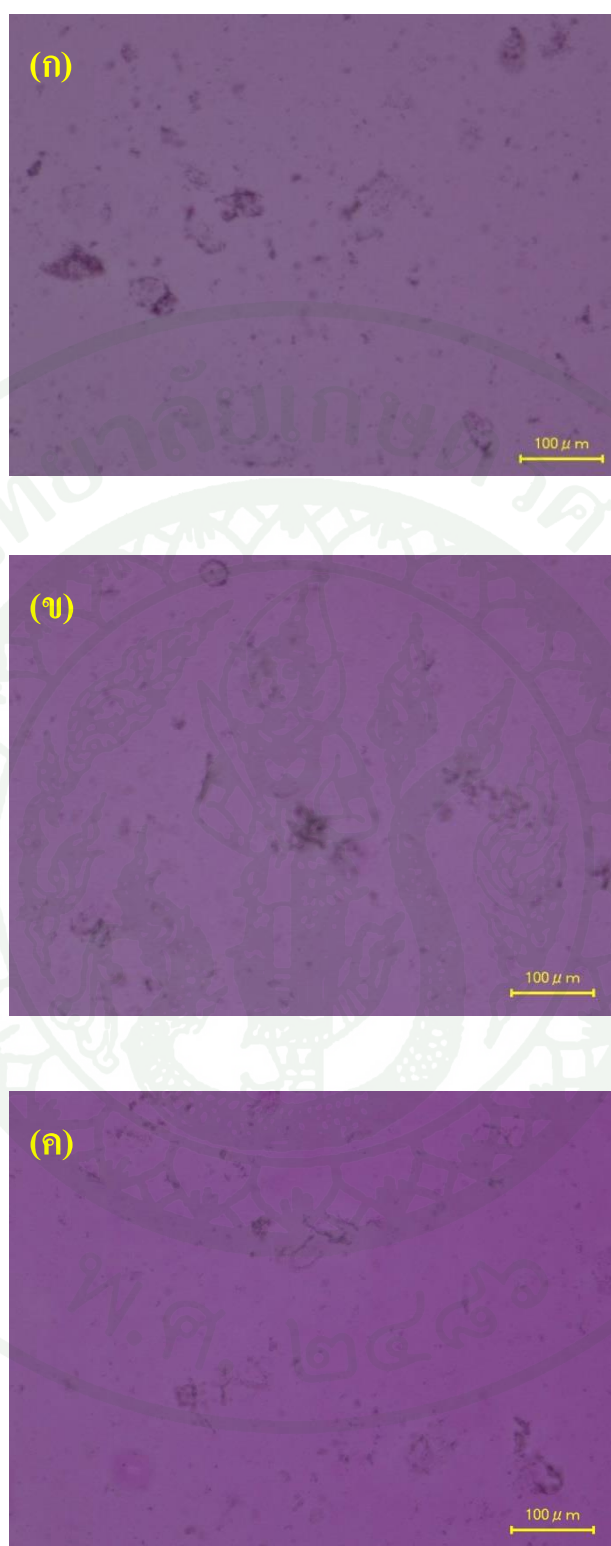
หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.1.4 โครงสร้างจุลภาคของเส้นก๊วยเดี่ยวจากสตาร์ชข้าว

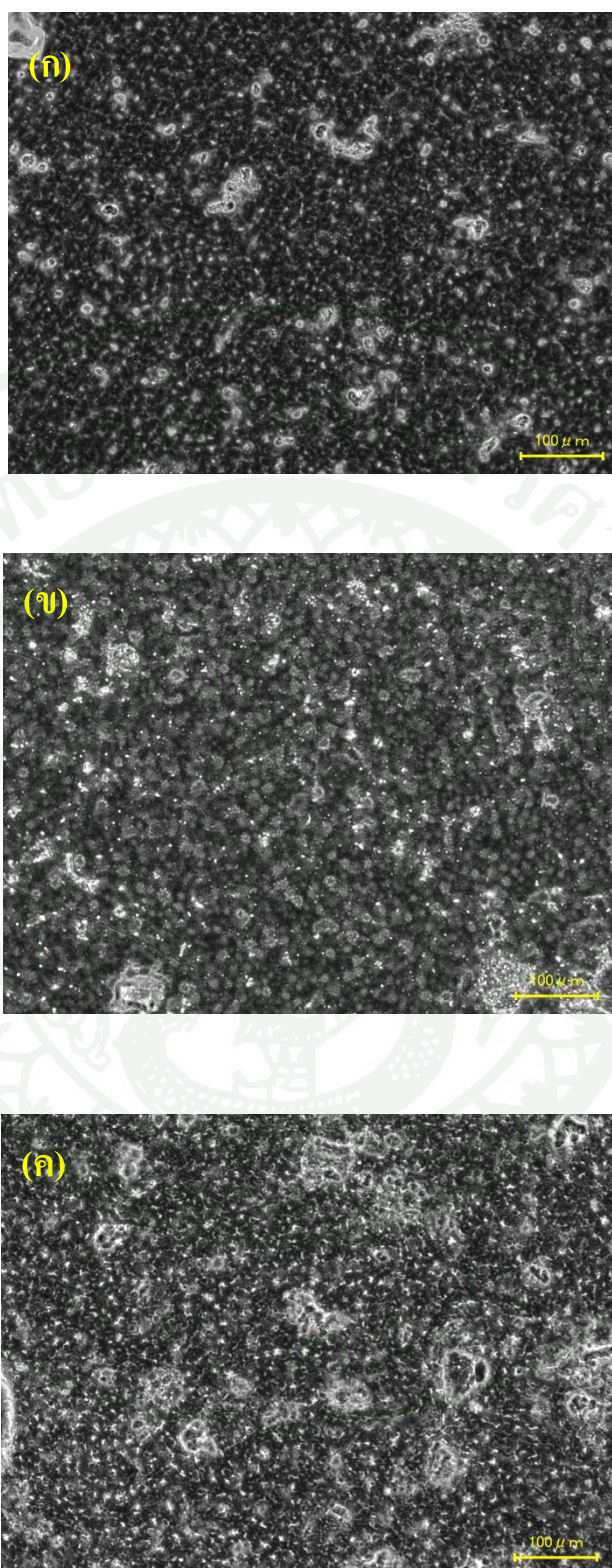
ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างและการกระจายตัวของสตาร์ชในเส้นก๊วยเดี่ยวที่เตรียมจากสตาร์ช โดยใช้สีย้อม Periodic acid Schiff^s ซึ่งจะย้อมติดกลุ่มของคาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช (Gallant *et al.*, 1997) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light microscope) ดังภาพที่ 12 พบว่า เส้นก๊วยเดี่ยวที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ กรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลายปรากฏเป็นภาพสีม่วงทั้งหมด ซึ่งสีม่วงเกิดจากหมู่อัลดีไฮด์ในสตาร์ชจะไปทำปฏิกิริยากับ Schiff reagent เกิดสีม่วง (Atkin *et al.*, 1998) แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของสตาร์ชเป็นเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) เชื่อมติดกันแน่นภายในเส้นก๊วยเดี่ยว

เมื่อทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างและการกระจายตัวของโครงสร้างภายในเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยใช้ phase contrast พบว่า ภาพที่เกิดขึ้นทั้งส่วนที่เป็นสีขาวและสีดำซึ่งเกิดเนื่องจากความหนาแน่นที่ต่างกันภายในตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยว ดังแสดงในภาพที่ 13 เส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะพบการกระจายตัวของส่วนที่เป็นสีขาวสม่ำเสมอทั่วทั้งตัวอย่าง (ภาพที่ 13ข) แตกต่างจากเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลาย ซึ่งพบกลุ่มของสีขาวขนาดใหญ่กระจายอยู่ไม่สม่ำเสมอ แสดงให้เห็นว่า การใช้กรดอะซิติกช่วยทำให้โครงสร้างของเส้นก๋วยเตี๋ยวมีความสม่ำเสมอมากขึ้น ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะพบกลุ่มสีขาวกระจายอย่างสม่ำเสมอคล้ายกับในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย แต่จะพบว่า มีโครงสร้างขนาดใหญ่สีขาวแทรกตัวอยู่ด้วย

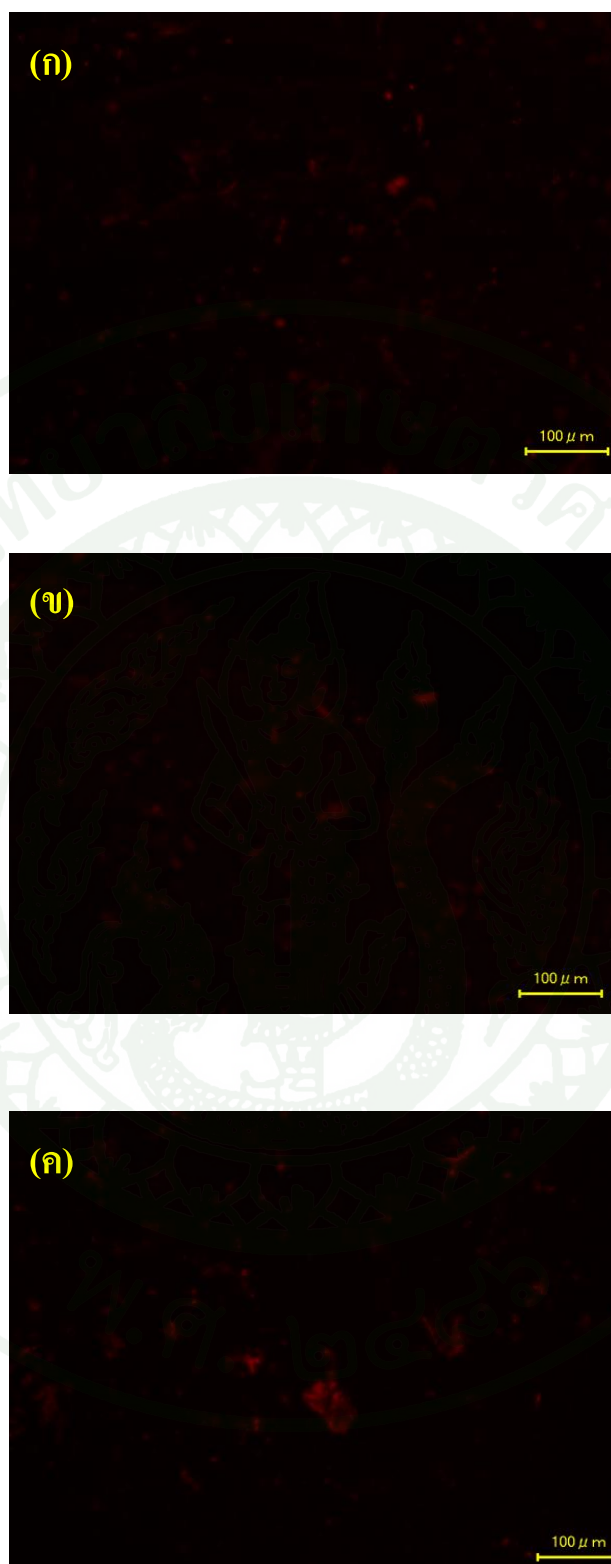
เมื่อทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างและการกระจายตัวของโปรตีนในเส้นก๋วยเตี๋ยวจากสตาร์ชข้าวโดยใช้โรดามีนบีไอโซไทโอไซยาเนต (Rhodamine B isothiocyanate) ภายใต้กล้องฟลูออเรสเซนส์ดังแสดงในภาพที่ 14 พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์และกรดอะซิติก เป็นตัวทำละลายจะสังเกตเห็นจุดสีแดงจากโรดามีนบีไอโซไทโอไซยาเนตกระจายอยู่บ้าง เนื่องจากเมื่อทำการสกัดสตาร์ชแล้วอาจมีโปรตีนหลงเหลืออยู่บ้าง ดังแสดงในภาพที่ 14ก และภาพที่ 14ข โปรตีนที่พบอยู่นั้นน่าจะเป็นโปรตีนชนิดที่ติดอยู่กับเม็ดแป้ง (granule-bound starch synthase, GBSS) จะยังคงอยู่หลังจากทำการสกัดสตาร์ชโดยใช้ด่างและจะไม่หลุดออกมา (leaching) ในระหว่างกระบวนการเจลาติไนเซชันด้วย (Han and Hamaker, 2002) ส่วนในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลาย (ภาพที่ 14ค) พบว่า จะเห็นลักษณะกลุ่มก้อนสีแดงขนาดใหญ่กว่าที่พบในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้น้ำดีไอออนไนซ์และกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย สีของโรดามีนบีไอโซไทโอไซยาเนต (Rhodamine B isothiocyanate) สามารถเกิดพันธะเชื่อมข้ามแบบโควาเลนต์กับโครงสร้างที่ติดสี ได้แก่ โปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ เช่น ไคโตซาน ยกเว้นสตาร์ช โดยจะย้อมติดตรงหมู่เอมิโน (Tromp *et al.*, 2003; Velde *et al.*, 2003; Ma *et al.*, 2008) ดังนั้นกลุ่มสีแดงที่เห็นน่าจะมาจากกลุ่มของไคโตซานแสดงว่า ไคโตซานมีการแทรกตัวอยู่ในเส้นก๋วยเตี๋ยว



ภาพที่ 12 การกระจายตัวของสสารภายในเส้นก๊วยเดียวที่ทำจากสสารสีขาว ที่กำลังขยาย 20X
 (ก) น้ำดีไอออน (ข) สารละลายกรดอะซิติก (ค) สารละลายโคโคซานความเข้มข้น 0.50%



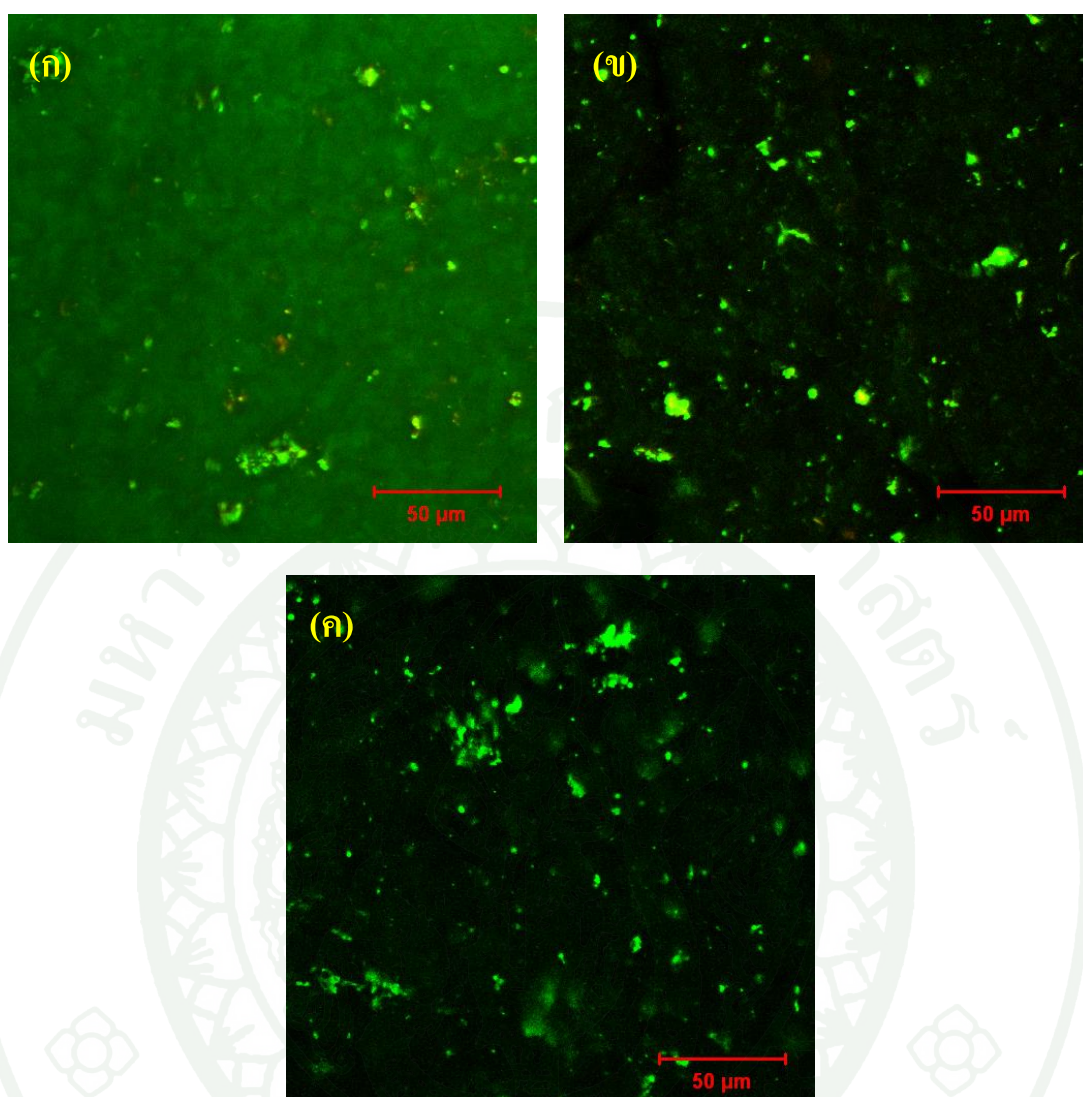
ภาพที่ 13 การกระจายตัวของโครงสร้างภายในเส้นก๊วยเตี่ยวที่ทำจากสดาร้งข้าว แบบ phase contrast ส่องที่กำลังขยาย 20X (ก) น้ำดีไอออนไนซ์ (ข) สารละลายกรดอะซิติก (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%



ภาพที่ 14 การกระจายตัวของโปรตีนภายในเส้นก๊วยเดียวที่ทำจากสตา์ชข้าว ที่กำลังขยาย 20X
 (ก) น้ำดีไอออนไนซ์ (ข) สารละลายกรดอะซิติก (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของโปรตีนและสตาร์ชในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราดโดยใช้น้ำดีไอออไนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% หรือสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย ดังภาพที่ 15 ใช้วิธีการย้อมสีตัวอย่างแบบ non-covalent staining ซึ่งสีย้อมฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยานเนต (FITC) สามารถย้อมติดทั้งสตาร์ชและโปรตีน และสีย้อมโรดามีนบีจะย้อมติดโปรตีนโดยจะมีความจำเพาะกับโปรตีนมากกว่าสีย้อมฟลูออเรสซินไอโซไทโอไซยานเนต (FITC) ในบริเวณที่มีโปรตีน โดยจะติดตรงหมู่แอมิโนของโปรตีน และตำแหน่งที่ย้อมติดโรดามีนบีจะเห็นเป็นสีแดง (Tromp *et al.*, 2003; Velde *et al.*, 2003) จากภาพที่ 15 พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชในสถานะที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายนั้นจะเห็นจุดสีเขียวเข้มๆปรากฏอยู่ซึ่งอาจมาจากการรวมกลุ่มกันของสตาร์ช จุดสีเขียวดังกล่าวยังพบเพิ่มขึ้นในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชในสถานะที่ใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% และสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชในสถานะที่ใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย มีปริมาณของกลุ่มสีเขียวเข้มมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายเล็กน้อย ซึ่งกลุ่มสีเขียวดังกล่าวอาจเกิดจากการรวมตัวกันของสตาร์ชหรือสตาร์ชกับไคโตซาน

จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวสามารถสรุปได้ว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายนั้น ไคโตซานแทรกตัวอยู่ในเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยภายในเส้นก๋วยเตี๋ยวอาจมีการรวมกลุ่มกันของสตาร์ชหรือสตาร์ชกับไคโตซานเกิดขึ้น นอกจากนี้ การใช้ไคโตซานจะทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีความสม่ำเสมอของตัวอย่างมากกว่าการใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายแต่มีความสม่ำเสมอน้อยกว่าเมื่อใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย



ภาพที่ 15 โครงสร้างภายในของเส้นท้วเดี่ยวที่ทำจากสตาร์ชข้าว ที่กำลังขยาย 40X

(ก) น้ำดีไอออนไนซ์ (ข) สารละลายกรดอะซิติก (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

2.1.5 เนื้อสัมผัสของเจลที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวเจ้า

ทำการตรวจสอบเนื้อสัมผัสของเจลที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวเจ้าแบบ Texture Profile Analysis (TPA) ผลการทดลองแสดงค่าในตารางที่ 8 พบว่า ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ของเจลสตาร์ชที่ใช้ น้ำดีไอออนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% สารละลายไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อพิจารณาค่าความแข็ง (Hardness) ของเจลสตาร์ช พบว่า เจลสตาร์ชข้าวที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะมีค่าความแข็ง (Hardness) น้อยกว่าเจลสตาร์ชที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกและน้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลาย จากการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค พบว่า มีการแทรกตัวอยู่ของไคโตซานในเส้นก๊วยเตี๋ย ซึ่งไคโตซานอาจไปขัดขวางการเกิดโครงข่ายร่างแหของโมเลกุลแอมิโลส ทำให้โมเลกุลของแอมิโลสในเจลแข็งเกิดโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์แข็งแรงเท่ากับเจลแข็งที่ไม่มีไคโตซานส่งผลให้โครงสร้างของเจลที่ได้จึงมีความนุ่มมากกว่าในสภาวะอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ของเจลสตาร์ชทั้ง 4 สภาวะการทดลอง พบว่า เจลสตาร์ชที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายมีค่าความเกาะติดกันมากกว่าในสภาวะอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า ไคโตซานทำให้เกิดการเกาะติดกันขององค์ประกอบต่างๆ ในเส้นก๊วยเตี๋ย ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 15ค ที่พบว่า มีการรวมกลุ่มของจุดสีเขียวเกิดขึ้นมากกว่าในสภาวะอื่นๆ ซึ่งอาจเป็นการรวมกลุ่มของสตาร์ชหรือระหว่างไคโตซานและสตาร์ชก็ได้ และเมื่อพิจารณาค่าความเหนียวติดยืด (Gumminess) ของเจลสตาร์ชซึ่งเป็นพลังงานที่ทำให้อาหารแตกออกจนสามารถกลืนได้ พบว่า เจลสตาร์ชข้าวเจ้าที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะใช้พลังงานที่ทำให้อาหารแตกออกจนสามารถกลืนได้ น้อยกว่าในสภาวะอื่นๆ เนื่องจากมีค่าความแข็งน้อยกว่า ดังนั้น จากการวิเคราะห์คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ช อาจกล่าวได้ว่า เมื่อใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายในเส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมจากสตาร์ชมีแนวโน้มที่จะให้เส้นก๊วยเตี๋ยที่มีลักษณะนุ่ม และมีความเกาะตัวกันมากกว่าในสภาวะอื่น

ตารางที่ 8 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเจลที่ทำจากสตาร์ชข้าว

สภาวะในการทดลอง	พารามิเตอร์			
	Hardness (N)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess(N)
น้ำดีไอออนซ์	10.43±0.21 ^b	0.70±0.03 ^a	0.91±0.01 ^a	9.42±0.17 ^b
กรดอะซิติก	11.33±0.24 ^b	0.73±0.06 ^a	0.89±0.01 ^a	10.04±0.08 ^b
ไคโตซาน (0.33%)	7.51±0.14 ^a	0.68±0.04 ^a	0.94±0.00 ^b	7.05±0.12 ^a
ไคโตซาน (0.50%)	7.72±0.60 ^a	0.72±0.03 ^a	0.94±0.01 ^b	7.23±0.51 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.2 ผลของไคโตซานต่อคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า

2.2.1 ปริมาณความชื้นและค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ตารางที่ 9 แสดงค่าปริมาณความชื้นและค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าว พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากการใช้น้ำดีไอออนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% สารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% เป็นตัวทำละลาย มีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 58-59 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงและมีแนวโน้มเดียวกับผลการทดลองในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชข้าว เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดต่างของของผสมน้ำแป้งที่ใช้ในการทำเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า ของผสมแป้งข้าวที่ใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายมีค่าความเป็นกรดต่างสูงที่สุด รองลงมา คือ แป้งข้าวที่ใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลาย และแป้งข้าวที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายมีค่าความเป็นกรดต่างต่ำสุด ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำมาทำเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้น้ำดีไอออนซ์ กรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 9 ปริมาณความชื้นและค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าว

พารามิเตอร์	สภาวะในการทดลอง			
	น้ำดีไอออนซ์	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)
ความชื้น (%)	58.25±1.37 ^a	59.17±1.59 ^a	58.46±2.04 ^a	58.49±1.30 ^a
ค่าความเป็นกรดต่าง (น้ำแป้ง)	5.90±0.21 ^c	4.17±0.07 ^a	4.51±0.09 ^b	4.72±0.12 ^b
ค่าความเป็นกรดต่าง (เส้นก๋วยเตี๋ยว)	6.16±0.13 ^b	4.38±0.14 ^a	4.34±0.06 ^a	4.54±0.12 ^a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.2.2 คุณภาพด้านสีของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ตารางที่ 10 แสดงคุณภาพด้านสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าว พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้น้ำดีไอออนซ์ กรดอะซิติกและไคโตซานมีค่าความสว่าง และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่จะมีความแตกต่างกันที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายมีค่าความเป็นสีเหลืองน้อยที่สุด และเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้น้ำดีไอออนซ์กับสารละลายไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0.33% มีค่าความเป็นสีเหลืองไม่แตกต่างกัน ในขณะที่สารละลายไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0.50% มีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด ส่งผลให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายมีค่าความขาวสูงที่สุด และเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้ตัวทำละลายไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0.50% มีค่าความขาวน้อยที่สุด

นอกจากนี้ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากแป้งข้าวจะมีค่าความเป็นสีเหลืองมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตรัซข้าว เนื่องจากในแป้งข้าวมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าในสตรัซข้าว

ตารางที่ 10 คุณภาพด้านสีของเส้นก๊วยเตี๋ยที่ทำจากแป้งข้าว

พารามิเตอร์	สภาวะในการทดลอง			
	น้ำดีไอออนไนซ์	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)
L*	87.27±0.14 ^a	87.95±0.98 ^a	87.13±0.59 ^a	86.45±1.05 ^a
a*	-1.26±0.21 ^a	-1.03±0.02 ^a	-1.20±0.15 ^a	-1.28±0.14 ^a
b*	5.13±1.20 ^b	3.29±0.15 ^a	6.03±1.35 ^b	8.75±0.15 ^c
ค่าความขาว	86.18±0.38 ^b	87.47±0.91 ^c	85.68±0.11 ^b	83.81±0.85 ^a

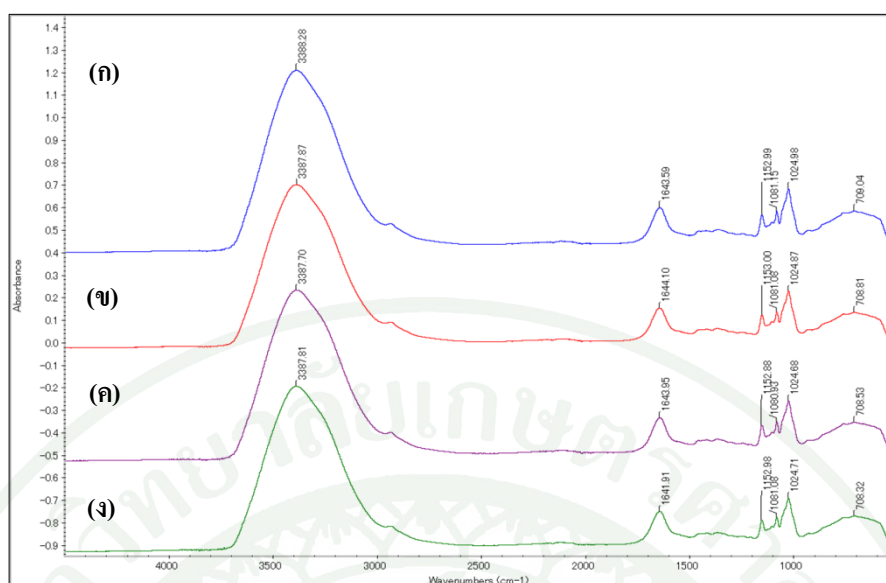
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

2.2.3 ผลการตรวจสอบการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชข้าวเจ้า โปรตีนข้าวเจ้า และไคโตซานในเส้นก๊วยเตี๋ยด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (FTIR)

ภาพที่ 16 แสดงสเปกตรัมอินฟราเรดของหมูฟังก์ชันที่พบในเส้นก๊วยเตี๋ยที่ทำจากแป้งข้าวที่เตรียมโดยใช้สารละลายต่างๆเป็นตัวทำละลาย พบว่า จำนวนพีคและตำแหน่งเลขคลื่นในเส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% หรือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% เป็นตัวทำละลาย ใกล้เคียงกับผลในเส้นก๊วยเตี๋ยจากสตาร์ชข้าว แต่ในแป้งข้าวจะมีพีคของโปรตีนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจากงานวิจัยของ Lu *et al.* (2005) จะพบพีคของโปรตีนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1655 ซม.⁻¹ ซึ่งเป็นพีคที่เกิดจาก C=O ของ amide I ในแป้งข้าว และจากภาพที่ 16 พบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์ สารละลายกรดอะซิติก สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% และ 0.50% มีพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1643.59 ซม.⁻¹, 1644.10 ซม.⁻¹, 1643.95 ซม.⁻¹ และ 1641.91 ซม.⁻¹ ซึ่งอาจเกิดจากการโค้งงอ (bending) ของโมเลกุล O-H จากโมเลกุลของน้ำหรือการดึงยืด (stretching) ของโมเลกุล C=O (amide I) ของไคโตซาน (Rueda *et al.*, 1999; Xu *et al.*, 2005; Mathew *et al.*, 2006; Yin *et al.*, 2006) ดังนั้นจึงไม่สามารถระบุได้ว่าพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่นดังกล่าวมาจากโปรตีน ไคโตซาน หรือเป็นพีคของน้ำ

อย่างไรก็ตามพิกที่ปรากฏทั้งหมดจากการทดลองไม่ได้แสดงลักษณะเฉพาะของไคโตซานเลย อาจเนื่องมาจากในเส้นก๊วยเดี่ยวนั้นมีปริมาณแป้งข้าวมากกว่าปริมาณไคโตซานมาก โมเลกุลของสตาร์ชอาจจะไปบดบังโมเลกุลของไคโตซาน จึงทำให้ไม่พบพิกของไคโตซาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองโดยใช้อัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวและไคโตซานเป็น 1:1 เพื่อลดปริมาณของสตาร์ชลง โดยทำการวัดในสภาวะก่อนและหลังให้ความร้อน นอกจากนี้ยังวัดสารละลายไคโตซานที่มีความเข้มข้น 0.50% เพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่งของพิกจากไคโตซานดังแสดงในภาพที่ 17 พบว่าตำแหน่งของพิกที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง ดังนั้น แสดงว่า เมื่อลดปริมาณแป้งลงจะเห็นลักษณะพิกของไคโตซานได้ จึงอาจกล่าวได้ว่า ในเส้นก๊วยเดี่ยวนั้นจะไม่พบพิกของไคโตซานเนื่องจากปริมาณแป้งเยอะจริง แต่ในของผสมระหว่างแป้งกับไคโตซาน ซึ่งมีอัตราส่วน 1:1 พิกที่ได้จะมีพิกขนาดเล็กรบกวนจำนวนมาก (noise) เนื่องจากตัวอย่างมีน้ำมาก ดังนั้นจึงทำการขยายสัญญาณเฉพาะในช่วง 1200-1900 ซม.⁻¹ ดังภาพที่ 18 พบว่า ตำแหน่งเลขคลื่นในสารละลายไคโตซาน (ภาพที่ 18ก) มีตำแหน่งเลขคลื่นอยู่ที่ 1549.16 ซม.⁻¹ ซึ่งแสดงแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่มีสาเหตุมาจากการโค้งงอ (bending) ของโมเลกุล N-H (amide II) จากไคโตซานและเมื่อพิจารณาของผสมระหว่างแป้งข้าวและไคโตซานก่อนการให้ความร้อน พบว่า มีพิกของไคโตซานปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1546.37 ซม.⁻¹ เช่นเดียวกับของผสมระหว่างแป้งข้าวและไคโตซานหลังการให้ความร้อน โดยตำแหน่งเลขคลื่นของไคโตซานในของผสมระหว่างแป้งข้าวและไคโตซานทั้งก่อนและหลังการให้ความร้อนจะไม่แตกต่างกับตำแหน่งเลขคลื่นของไคโตซานในสารละลายไคโตซานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในระบบมีน้ำมาก ทำให้โอกาสในการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไคโตซานและสตาร์ชข้าวน้อย จึงไม่สามารถสรุปได้ว่ามีการเกิดอันตรกิริยาระหว่างไคโตซานกับสตาร์ชข้าวจริงหรือไม่ ดังนั้นเพื่อพิสูจน์ถึงการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชข้าวและไคโตซานในเส้นก๊วยเดี่ยวนั้น ควรใช้เครื่องมือที่เหมาะสม เช่น การใช้รามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy) ในการศึกษาต่อไป



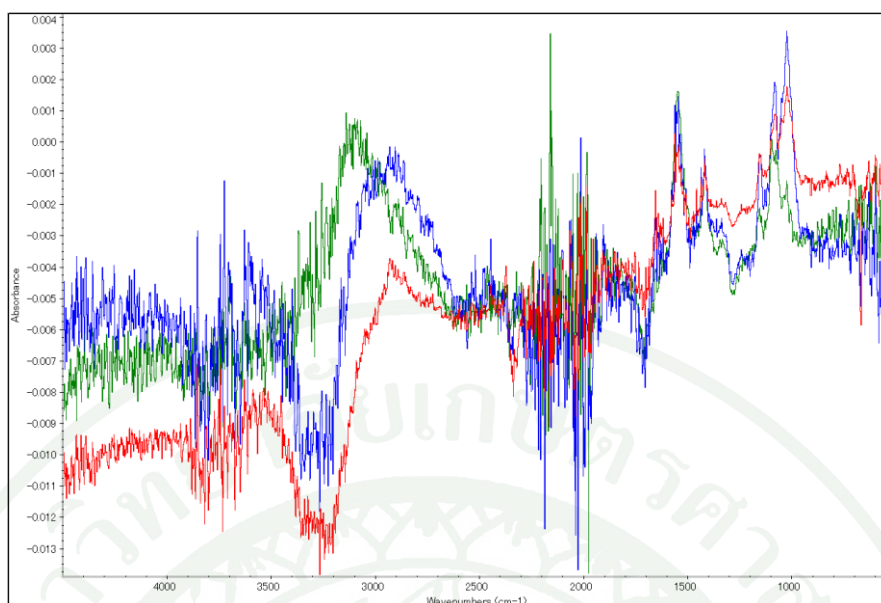
ภาพที่ 16 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในเส้นก้วยเดี่ยวที่ทำจากแป้งข้าว

(ก) เส้นสีน้ำเงิน คือ น้ำดีไอออนไนซ์

(ข) เส้นสีแดง คือ สารละลายกรดอะซิติก

(ค) เส้นสีม่วง คือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33%

(ง) เส้นสีเขียว คือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

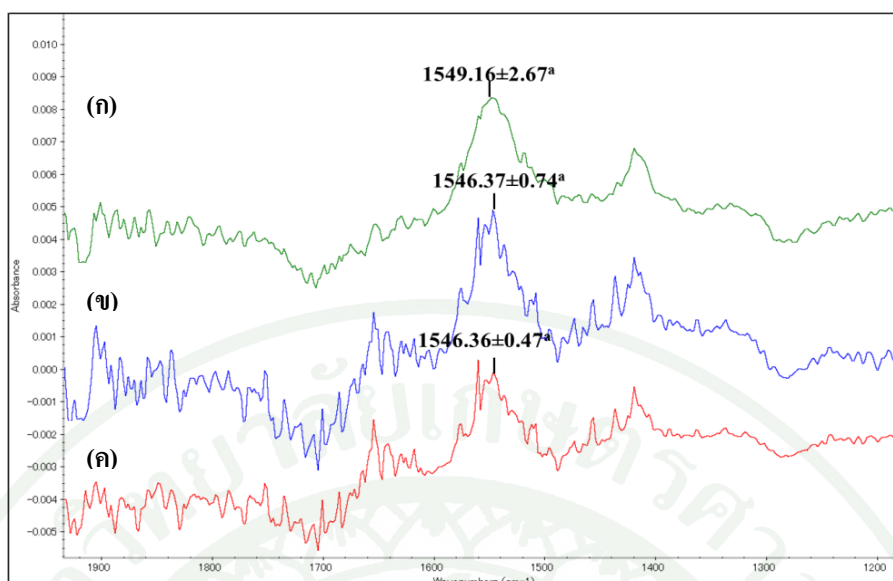


ภาพที่ 17 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในของผสมระหว่างแป้งข้าวและไคโตซาน โดยมีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวและไคโตซาน 1:1

เส้นสีเขียว คือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

เส้นสีน้ำเงิน คือ ของผสมระหว่างแป้งข้าวและไคโตซาน โดยมีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวและไคโตซาน 1:1 ก่อนการให้ความร้อน

เส้นสีแดง คือ ของผสมระหว่างแป้งข้าวและไคโตซาน โดยมีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวและไคโตซาน 1:1 หลังการให้ความร้อน



ภาพที่ 18 สเปกตรัมอินฟราเรดแสดงหมู่ฟังก์ชันในของผสมระหว่างแป้งข้าวและไคโตซานโดยมีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวและไคโตซาน 1:1 ก่อนและหลังการให้ความร้อน

(ก) เส้นสีเขียว คือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

(ข) เส้นสีน้ำเงิน คือ ของผสมระหว่างแป้งข้าวและไคโตซานโดยมีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวและไคโตซาน 1:1 ก่อนการให้ความร้อน

(ค) เส้นสีแดง คือ ของผสมระหว่างแป้งข้าวและไคโตซานโดยมีอัตราส่วนระหว่างแป้งข้าวและไคโตซาน 1:1 หลังการให้ความร้อน

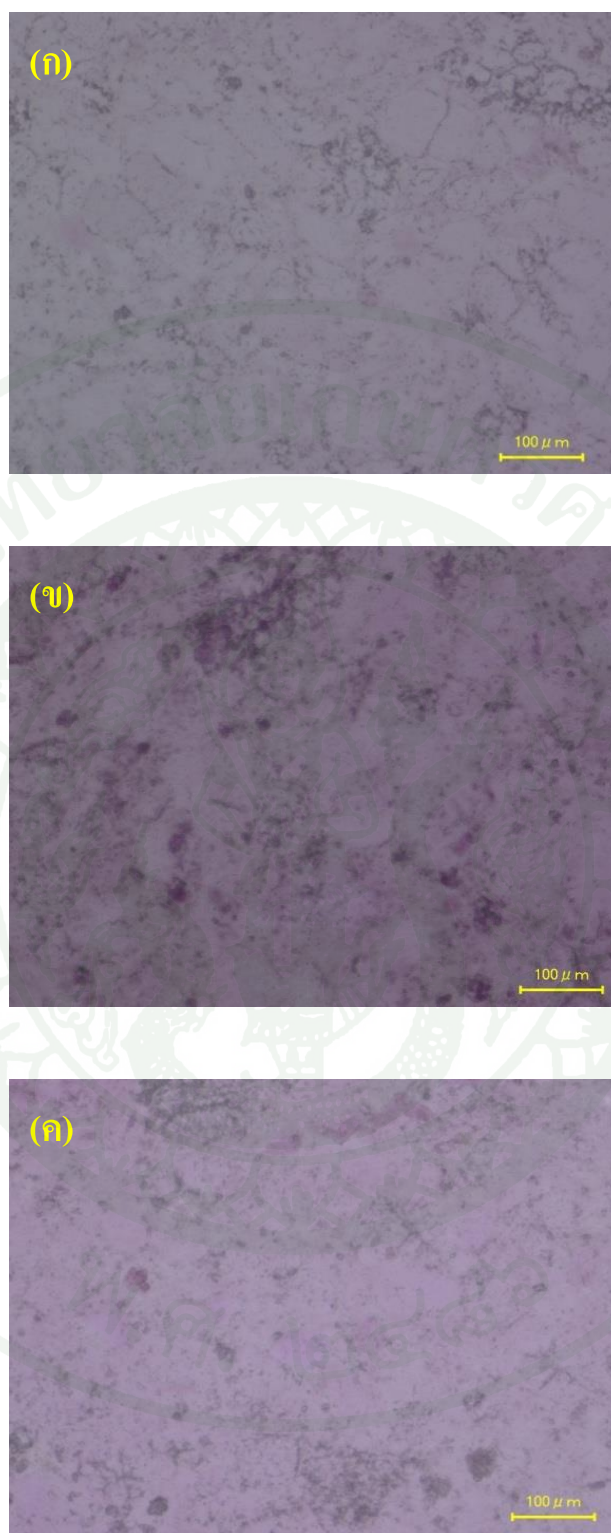
หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2.2.4 โครงสร้างจุลภาคของเส้นก๊วยเตี๋ยจากแป้งข้าว

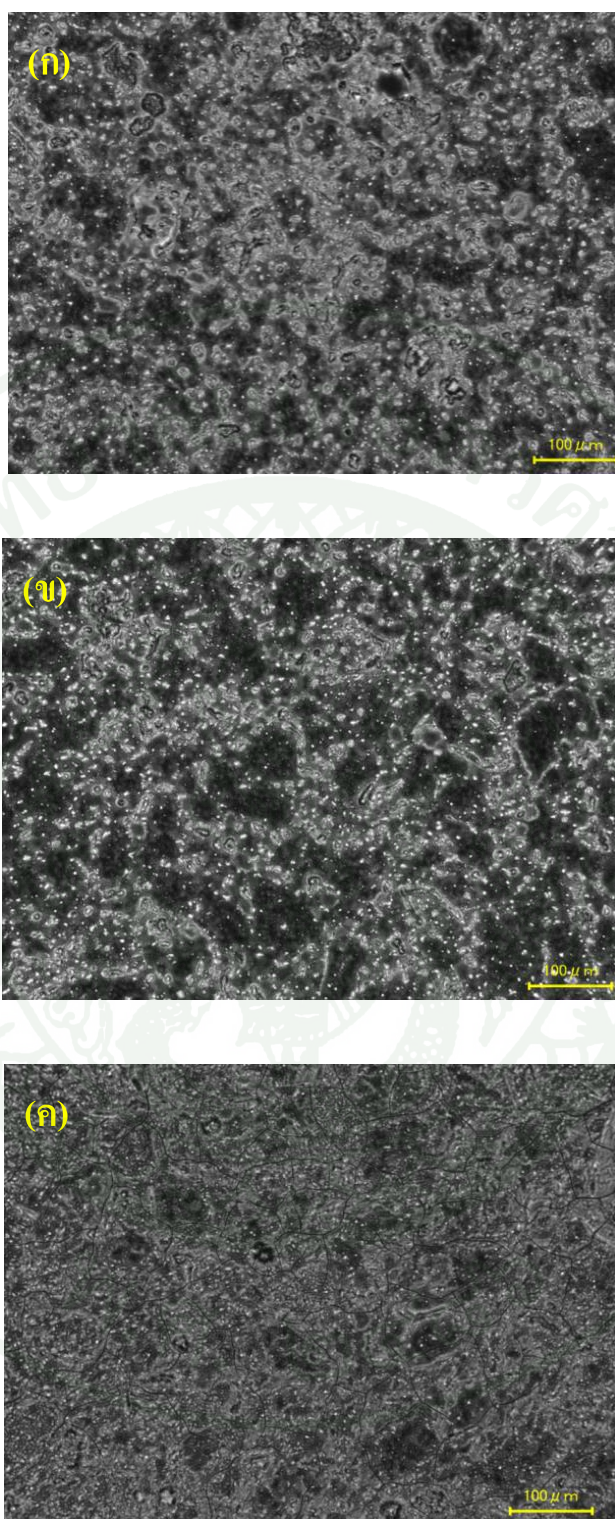
ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคและการกระจายตัวของสตาร์ชในเส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมจากแป้งข้าวโดยใช้สีย้อม Periodic acid Schiff's ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ดังภาพที่ 19 พบว่า ลักษณะของสตาร์ชภายในเส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมจากแป้งข้าวโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ สารละลายกรดอะซิติก และสารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะไม่แตกต่างกัน

เมื่อทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างและการกระจายตัวของโครงสร้างภายในเส้นก๊วยเตี๋ยโดยใช้ phase contrast พบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะมีความสม่ำเสมอแตกต่างกันภายในตัวอย่างมากที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะที่ใช้น้ำดีไอออนซ์และไคโตซานเป็นตัวทำละลาย ดังภาพที่ 20 และพบว่า เมื่อใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายในการทำเส้นก๊วยเตี๋ย เส้นก๊วยเตี๋ยที่ได้จะมีความสม่ำเสมอมากที่สุด

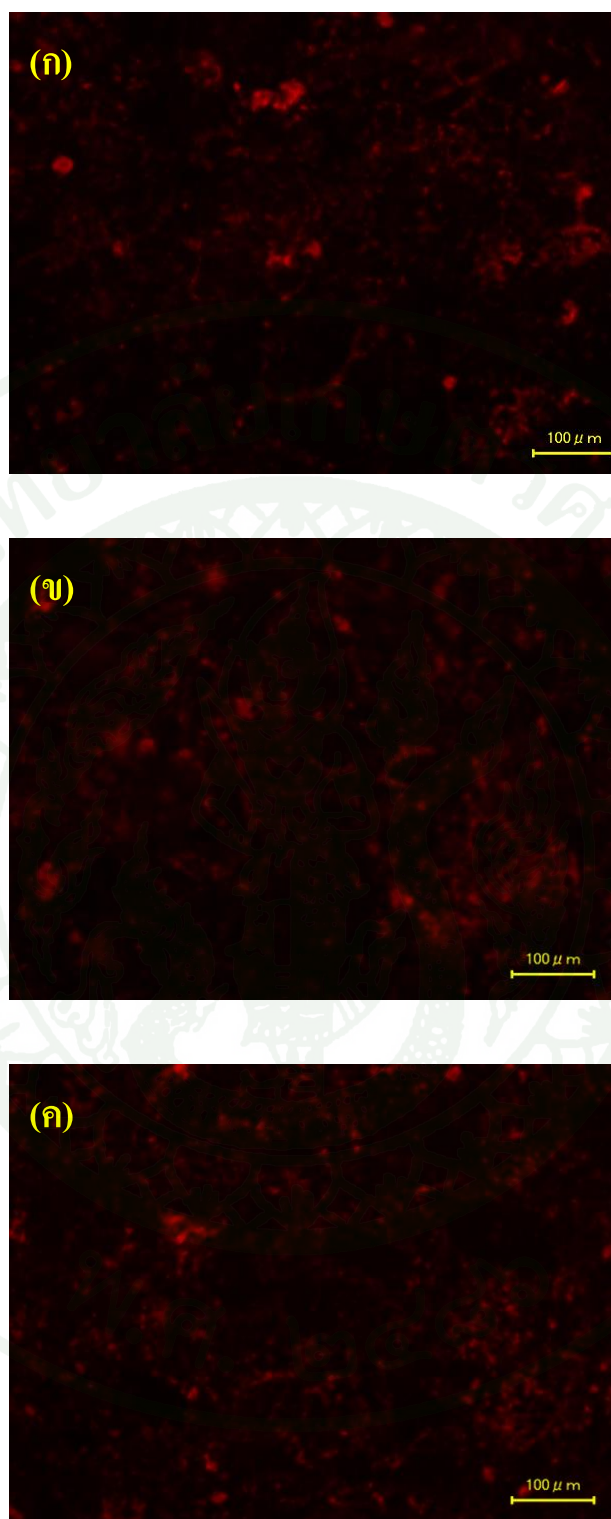
เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของโปรตีนโดยใช้โรดามีนบีไอโซไทโอไซยาเนต (Rhodamine B isothiocyanate) ภายใต้กล้องฟลูออเรสเซนส์ ซึ่งจะปรากฏเห็นเป็นสีแดง พบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมจากแป้งข้าวโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ (ภาพที่ 21ก) จะมีลักษณะโครงข่ายร่างแหของโปรตีนเกิดขึ้นน้อยกว่าเมื่อใช้กรดอะซิติก และสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย (ภาพที่ 21ข และ 21ค) โดยในเส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลาย กลุ่มสีแดงอาจมาจากทั้งโปรตีนและไคโตซาน



ภาพที่ 19 การกระจายตัวของสสารภายในเส้นก๊วยเดียวที่ทำจากแป้งข้าว ที่กำลังขยาย 20X
 (ก) น้ำดีไอออนไนซ์ (ข) สารละลายกรดอะซิติก (ค) สารละลายโคโคซานความเข้มข้น 0.50%



ภาพที่ 20 การกระจายตัวของโครงสร้างภายในเส้นก๊วยเดียวที่ทำจากแป้งข้าว แบบ phase contrast ส่องที่กำลังขยาย 20X (ก) น้ำดีไอออนไนซ์ (ข) สารละลายกรดอะซิติก (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

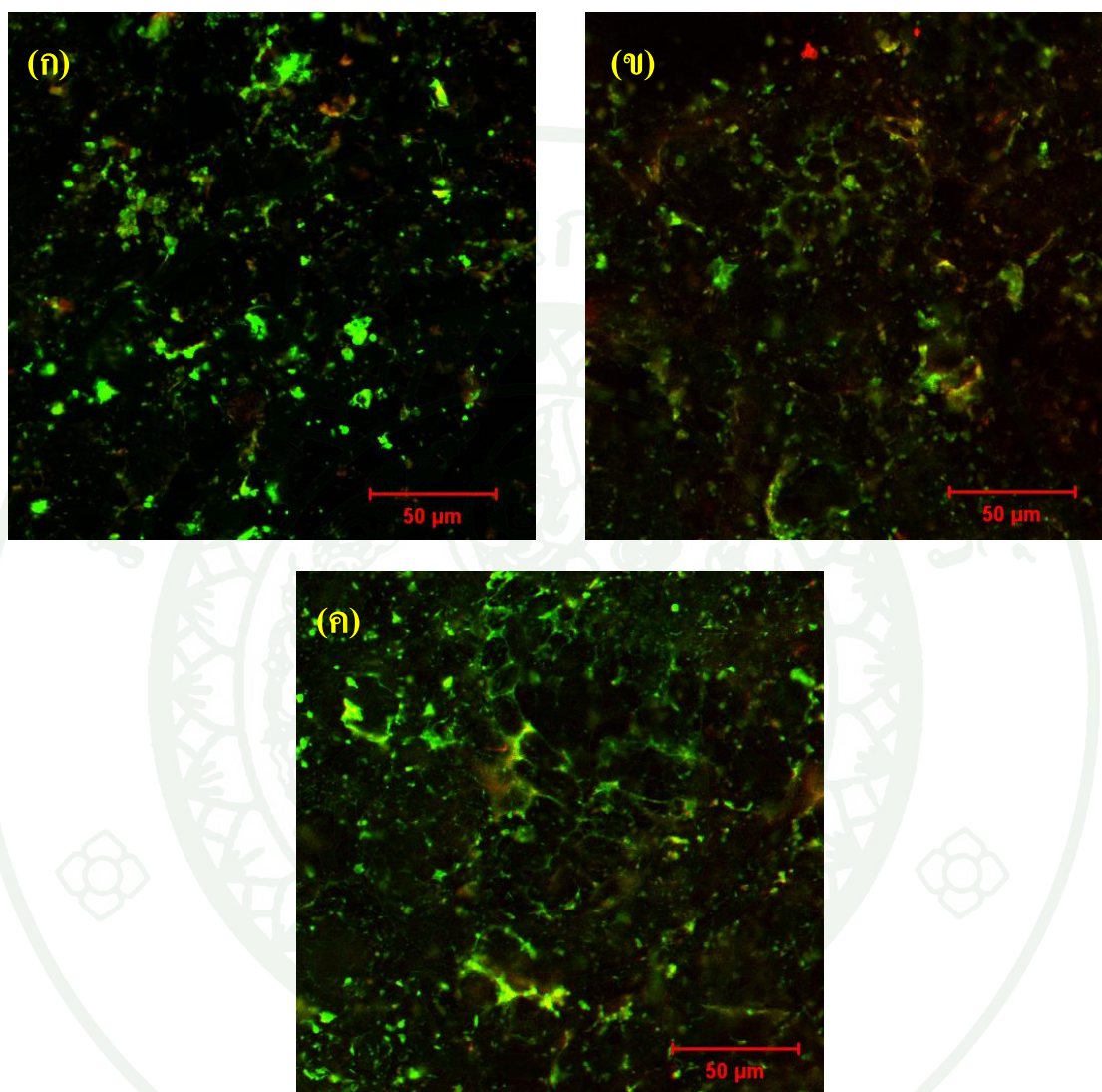


ภาพที่ 21 การกระจายตัวของโปรตีนภายในเส้นก๊วยเดี้ยวที่ทำจากแป้งข้าว ที่กำลังขยาย 20X
 (ก) น้ำดีไอออนไนซ์ (ข) สารละลายกรดอะซิติก (ค) สารละลายโคโคซานความเข้มข้น 0.50%

เมื่อทำการศึกษาการกระจายตัวของโปรตีนและสารรั่วภายใต้กล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราด (CLSM) ในเส้นก๊วยเดียวที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% และสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย และทำการย้อมสีเช่นเดียวกับในเส้นก๊วยเดียวที่เตรียมจากสตาร์ช จากการทดลองพบว่า ในสถานะที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย มีการแทรกสอดของโปรตีนกับเม็ดสตาร์ชเกิดขึ้นมากกว่าในสถานะที่ใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลาย ดังภาพที่ 21x เนื่องจากในสถานะที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำแป้งจะมีค่าน้อยกว่าค่าไอโซอิเล็กทริกของโปรตีนกลูเทลินซึ่งเป็นโปรตีนหลักในข้าว ทำให้โปรตีนในเส้นก๊วยเดียวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายเกิดการคลายตัว จึงเห็นลักษณะของโครงข่ายร่างแหสีเขียวที่มีสีแดงแทรกสอดอยู่ และเมื่อใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายในเส้นก๊วยเดียว พบลักษณะของโครงข่ายร่างแหสีเขียวที่มีสีแดงแทรกสอดอยู่คล้ายกับในสถานะที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย เนื่องจาก ในสารละลายไคโตซานมีกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจึงทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำแป้งมีค่าน้อยกว่าค่าไอโซอิเล็กทริกของโปรตีนกลูเทลินเช่นเดียวกัน แต่การที่มีไคโตซานเป็นตัวทำละลายในเส้นก๊วยเดียนั้นจะเห็นโครงข่ายร่างแหได้ชัดเจนกว่าเมื่อใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายเล็กน้อย ดังภาพที่ 21ค อาจเนื่องมาจากไคโตซานสามารถติดสีเขียวและสีแดงได้ จึงเห็นบางส่วนของสว้างชัดเจนขึ้น นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาสถานะที่ใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลาย ดังภาพที่ 22ก จะเห็นโปรตีนกระจายตัวอยู่ในเส้นก๊วยเดียวและมีบางส่วนรวมกลุ่มกับสตาร์ช เนื่องจากเมื่อน้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลายในของผสมน้ำแป้งจะมีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 5.90 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าไอโซอิเล็กทริกของโปรตีนกลูเทลิน โปรตีนจึงมีลักษณะเกาะกลุ่มกันมากกว่าในโปรตีนในสถานะที่ใช้กรดอะซิติกและไคโตซานเป็นตัวทำละลาย และเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นก๊วยเดียวที่เตรียมจากสตาร์ช พบว่า เส้นก๊วยเดียวที่เตรียมจากสตาร์ชจะไม่มีโครงข่ายร่างแหของโปรตีนกับสตาร์ช และในสถานะที่ใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายในเส้นก๊วยเดียวที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวเจ้าจะทำให้เกิดการรวมกลุ่มกันของสตาร์ช ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันระหว่างเส้นก๊วยเดียวที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้า

จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเส้นก๊วยเดียวที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าสามารถสรุปได้ว่า การใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายในเส้นก๊วยเดียวที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าจะทำให้เส้นก๊วยเดียวที่ได้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น และเกิดโครงข่ายร่างแหภายในเส้นก๊วยเดียวมากขึ้นกว่าในสถานะอื่น แตกต่างจากการใช้ไคโตซานในเส้นก๊วยเดียวที่เตรียมจากสตาร์ชข้าว ซึ่งจะเห็นการแทรกตัวของไคโตซานในเส้นก๊วยเดียว การรวมตัวกันของสตาร์ชหรือสตาร์ชกับไคโตซาน แต่จะไม่พบการเกิดโครงข่ายร่างแหภายในเส้นก๊วยเดียว นอกจากนี้การใช้ไคโตซานในเส้นก๊วยเดียวที่เตรียม

จากสตา์จะทำให้เส้นก๊วยเตี๋ยมีความสม่ำเสมอของตัวอย่างน้อยกว่าในสภาวะที่มีกรดอะซิดิกเป็นตัวทำละลาย



ภาพที่ 22 โครงสร้างภายในของเส้นก๊วยเตี๋ยที่ทำจากแป้งข้าว ที่กำลังขยาย 40X

(ก) น้ำดีไอออน (ข) สารละลายกรดอะซิดิก (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

2.2.5 เนื้อสัมผัสของเจลที่ทำจากแป้งข้าว

ค่าความแข็ง(Hardness) ค่าความยืดหยุ่น(Springiness) ค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) และค่าความเหนียวติดยืด(Gumminess) ของเจลแป้งข้าวที่ใช้ น้ำดีไอออไนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% สารละลายไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0.33% หรือ สารละลายไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่า โปรตีนมีบทบาทสำคัญในโครงสร้างของเจลแป้ง โดยการมีอยู่ของโปรตีนทำให้ถึงแม้ว่าจะมีไคโตซานอยู่ในระบบก็ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเนื้อสัมผัสของเจลที่ทำจากแป้งข้าวเช่นในกรณีของเจลสตาร์ช

ตารางที่ 11 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเจลที่ทำจากแป้งข้าว

สภาวะในการทดลอง	พารามิเตอร์			
	Hardness (N) ^{NS}	Springiness ^{NS}	Cohesiveness ^{NS}	Gumminess(N) ^{NS}
น้ำดีไอออไนซ์	10.21±0.43	0.73±0.04	0.90±0.01	9.20±0.45
กรดอะซิติก	10.70±0.96	0.71±0.05	0.89±0.03	9.46±0.63
ไคโตซาน (0.33%)	10.74±0.38	0.75±0.03	0.90±0.01	9.78±0.25
ไคโตซาน (0.50%)	10.68±0.18	0.74±0.03	0.90±0.01	9.62±0.17

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

NS คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเนื้อสัมผัสของเจลแป้งข้าวและสตาร์ชข้าวที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% สารละลายไคโตซานที่ระดับความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% พบว่า เจลแป้งข้าวและสตาร์ชข้าวที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์และกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะมีค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) และค่าความเหนียวติดยืด (Gumminess) ไม่แตกต่างกัน แสดงว่า เมื่อใช้กรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% จะไม่ส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชและแป้งข้าว แต่ในกรณีของสารละลายไคโตซาน พบว่าค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียวติดยืด (Gumminess) ของเจลสตาร์ชข้าวมีค่าน้อยกว่าเจลแป้ง แสดงว่าโปรตีนอาจมีผลต่อค่าความแข็งของเจลในสภาวะที่ใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลาย ใน

กรณีเจลสตาร์ช ไคโตซานซึ่งมีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่อาจไปขัดขวางการเกิดโครงข่ายร่างแหของ แอมิโลส ทำให้เจลที่ได้มีค่าความแข็งแรงลดลง แต่ในกรณีแป้งข้าว การเกิดโครงข่ายร่างแหของโปรตีน ในเส้นก๋วยเตี๋ยวจะช่วยยึดโครงสร้างของเจลแป้งไว้ (ภาพที่ 20ค) ทำให้ถึงแม้จะมีไคโตซานแทรกอยู่ใน โครงสร้างก็ไม่ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลที่เตรียมจากแป้งข้าวมีค่าลดลง นอกจากนี้ พบว่า การใช้ ไคโตซานจะทำให้เจลที่เตรียมจากแป้งข้าวมีค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) น้อยกว่าเส้น ก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชข้าว ส่วนค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ของสตาร์ชข้าวและแป้งข้าว พบว่า ไม่แตกต่างกัน

ดังนั้นจากการทดลองในส่วนนี้สามารถสรุปได้ว่า การใช้ไคโตซานในสตาร์ชข้าว โดยใช้ความเข้มข้นในระดับที่ศึกษานี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีความนุ่มและยืดเกาะกัน มากกว่าในสภาวะอื่น แต่เมื่อใช้ไคโตซานในแป้งข้าวจะทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่แตกต่างจากเมื่อใช้ กรดอะซิติกและน้ำดีไอออกไซด์เป็นตัวแทนทำลาย

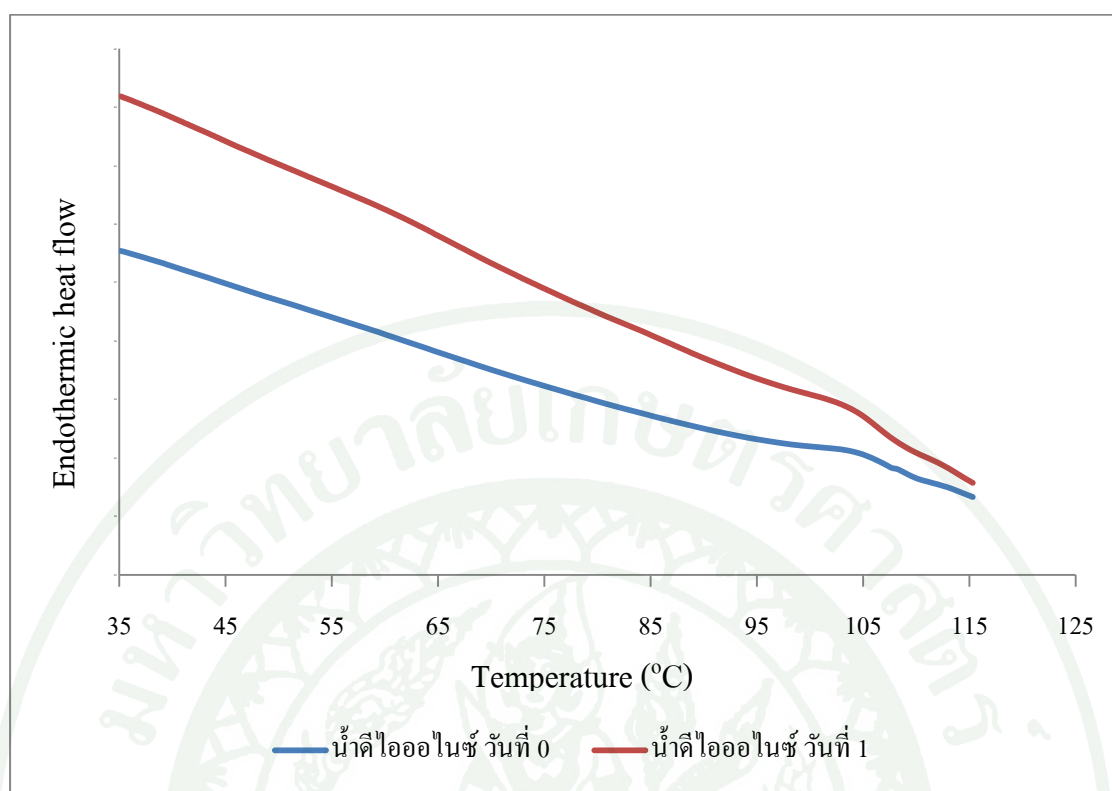
3. ผลของไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษา

3.1 ผลของไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

3.1.1 ผลของไคโตซานต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว

เมื่อทำการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% เป็นตัวทำละลาย ทำการวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 0, 1, 3 และ 5 วัน ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ พบว่า ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลายจะพบเพียงพีกของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมัน โดยจะมีช่วงของการสลายโครงสร้างผลึกดังกล่าวประมาณ 100-115 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 23 (Miles *et al.*, 1985; Gudmundsson, 1994; Goodfellow and Wilson, 1990; Karim *et al.*, 2000; Jeong and Lim, 2003) และในสภาวะที่ใช้กรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา จะพบเพียงพีกของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมันเช่นเดียวกัน และเมื่อทำการเก็บรักษาเส้นก๋วยเตี๋ยวเป็นเวลา 1 วัน จะพบพีกที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของแอมิโลเพกทินเมื่อเกิดการรีโทรเกรเดชัน ซึ่งมีอุณหภูมิ 50-73 องศาเซลเซียส (Kim *et al.*, 1997) และพบพีกของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมัน ซึ่งมีอุณหภูมิ 98-115 องศาเซลเซียส (amylose-lipid complex) (Miles *et al.*, 1985; Gudmundsson, 1994; Goodfellow and Wilson, 1990; Karim *et al.*, 2000; Jeong and Lim, 2003) โดยมีลักษณะของพีกที่เกิดดังภาพที่ 23 และเมื่อใช้กรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลาย จะพบพีกที่เกิดขึ้นมี 2 พีกเช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพผนวกที่ ง9 และ ง10

ตารางที่ 12 แสดงค่าอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิที่จุดสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์ สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% เป็นตัวทำละลาย เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1, 3 และ 5 วัน พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาและสภาวะการทดลองไม่มีผลร่วมกันต่อค่าอุณหภูมิ-



ภาพที่ 23 สมบัติทางความร้อนของเส้นก๊วยเตี๋ยวที่ใช้น้ำดีไอออนซ์ตัวทำละลาย เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 และ 1 วัน

เริ่มต้น อุณหภูมิที่จุดสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานในการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๊วยเตี๋ยว

เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของค่าอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิที่จุดสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกจากเส้นก๊วยเตี๋ยวในทุกสภาวะการทดลองมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้น เกิดการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบของโมเลกุลแอมิโลส แอมิโลเพกทินในเส้นก๊วยเตี๋ยวเพิ่มมากขึ้น (Miles, 1985; Karim *et al.*, 2000) และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า สภาวะการทดลองที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิที่จุดสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานในการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๊วยเตี๋ยว ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 T_o , T_p , T_c และ ΔH ของการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของเอมิโลเพกทิน
ในเส้นก๊วยเดียวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1, 3 และ 5 วัน

พารามิเตอร์	วัน	สภาวะการทดลอง			ค่าเฉลี่ยของทุก สภาวะในแต่ละวัน
		กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)	
T_o ($^{\circ}\text{C}$)	1	48.95 $\pm$ 0.58	50.56 $\pm$ 0.78	49.57 $\pm$ 0.29	49.69A
	3	52.23 $\pm$ 3.65	52.17 $\pm$ 2.64	51.48 $\pm$ 2.34	51.96AB
	5	53.13 $\pm$ 2.96	53.00 $\pm$ 3.30	52.55 $\pm$ 3.72	52.94B
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	51.43	51.95	51.20	
T_p ($^{\circ}\text{C}$)	1	62.27 $\pm$ 2.85	62.94 $\pm$ 4.03	62.70 $\pm$ 3.24	62.64A
	3	63.74 $\pm$ 3.09	63.74 $\pm$ 3.20	63.42 $\pm$ 2.64	63.64B
	5	64.28 $\pm$ 2.04	64.11 $\pm$ 3.17	63.91 $\pm$ 2.78	64.16B
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	63.43	63.66	63.35	
T_c ($^{\circ}\text{C}$)	1	72.62 $\pm$ 1.93	72.07 $\pm$ 2.38	73.26 $\pm$ 2.09	72.65A
	3	73.59 $\pm$ 3.22	73.00 $\pm$ 3.50	72.46 $\pm$ 1.74	73.02AB
	5	74.12 $\pm$ 1.79	73.60 $\pm$ 2.76	73.49 $\pm$ 0.97	73.91B
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	73.45	73.07	73.07	
ΔH (จูลต่อกรัม)	1	1.13 $\pm$ 0.14	1.38 $\pm$ 0.48	1.85 $\pm$ 0.10	1.46A
	3	2.49 $\pm$ 0.23	2.32 $\pm$ 0.98	2.49 $\pm$ 0.70	2.43B
	5	3.69 $\pm$ 0.34	3.23 $\pm$ 0.69	3.85 $\pm$ 0.31	3.73C
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	2.44	2.46	2.72	

หมายเหตุ T_o , T_p , T_c และ ΔH คือ อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิที่จุดสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่า
พลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของเอมิโลเพกทิน
ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
NS คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3.1.2 ค่าความชื้นของเจลแป้ง

ตารางที่ 13 แสดงค่าความชื้นของเจลแป้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาและสภาวะการทดลองไม่มีผลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นของเจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออลไนซ์ กรดอะซิติก สารละลายไคโตซาน 0.33% หรือสารละลายไคโตซาน 0.50% เป็นตัวทำละลาย จากการทดลองพบว่า เมื่อเก็บรักษาเจลแป้งเป็นเวลา 1 วัน ค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นของเจลแป้งในทุกสภาวะการทดลองจะไม่มี การเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นของเจลแป้งในแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เป็นเช่นเดียวกันกับผลการทดลองในตารางที่ 9

หลังจากทำการเก็บรักษาเจลแป้ง 1 วัน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออลไนซ์เป็นตัวทำละลายเกิดการเสื่อมเสีย ดังแสดงในภาคผนวกที่ 7 ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบเฉพาะค่าความชื้นของเจลแป้งที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซาน 0.33% หรือสารละลายไคโตซาน 0.50% เป็นตัวทำละลาย เทียบกับเจลแป้งที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายเท่านั้น พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาและสภาวะการทดลองไม่มีผลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้น นอกจากนี้ พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นของเจลแป้งในทุกสภาวะการทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) อาจเนื่องมาจากน้ำที่บริเวณผิวหนังของเจลแป้งมีการระเหยออก โดยผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าที่บริเวณผิวหนังของเจลแป้งจะมีลักษณะแห้งและแข็งขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นและมีไอน้ำเกิดขึ้นภายในถุงที่เก็บ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า ค่าความชื้นของเจลแป้งที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย อาจเนื่องมาจากไคโตซานมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (Li and Xia, 2010)

ตารางที่ 13 ค่าความชื้นของเจลแป็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0 และ 1 วัน

วัน	สภาวะการทดลอง				ค่าเฉลี่ยของทุก สภาวะในแต่ละวัน ^{NS}
	น้ำดีไอออนไนซ์	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)	
0	60.79±1.30	59.90±1.78	60.97±0.45	60.83±0.40	60.62
1	59.32±0.23	59.39±1.13	60.37±0.38	60.49±0.56	59.89
ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	60.05	59.65	60.67	60.66	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

NS คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 14 ค่าความชื้นของเจลแป็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 3 และ 5 วัน

วัน	สภาวะการทดลอง			ค่าเฉลี่ยของทุก สภาวะในแต่ละวัน
	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)	
0	59.90±1.78	60.97±0.45	60.83±0.40	60.57B
1	59.39±1.13	60.37±0.38	60.49±0.56	60.08AB
3	59.11±0.78	60.23±0.17	60.08±0.35	59.81A
5	59.12±0.85	59.81±0.35	60.03±0.39	59.65A
ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	59.38a	60.35b	60.36b	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

3.1.3 ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ตารางที่ 15 แสดงค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน พบว่า สภาพการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลร่วมกันต่อค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ สารละลายกรดอะซิติก สารละลายไคโตซาน 0.33% หรือ สารละลายไคโตซาน 0.50% เป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังภาพที่ 24 เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายมีค่าเพิ่มสูงกว่าในสถานะอื่นๆอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวในวันที่ 0 และ 1 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทุกๆตัวอย่าง นอกจากนี้ พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายจะมีค่าความเป็นกรดต่างสูงสุด รองลงมา คือ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% และ 0.33% และเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะมีค่าความเป็นกรดต่างน้อยที่สุด เนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมไคโตซานจะมีการใช้ด่างในขั้นตอนการแยกโปรตีนออก และใช้ด่างในการทำปฏิกิริยาลดหมู่อะซิติกเพื่อให้ได้ไคโตซาน ซึ่ง 2 ขั้นตอนนี้อาจมีด่างหลงเหลืออยู่ในไคโตซานหลังจากการล้างน้ำแล้ว (Mathur and Narang, 1990; Abdou *et al.*, 2008) ทำให้สารละลายไคโตซานที่เตรียมได้มีค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่าสารละลายกรดอะซิติก

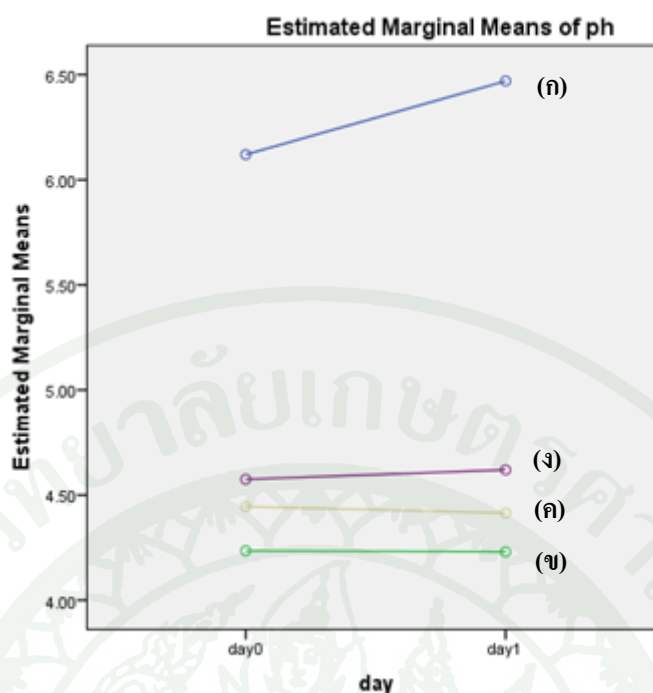
ตารางที่ 15 ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0 และ 1 วัน

สภาวะการทดลอง	วันที่เก็บรักษา	
	0	1
น้ำดีไอออนซ์	6.12±0.06aD	6.47±0.11aD
กรดอะซิติก	4.24±0.02aA	4.23±0.01aA
ไคโตซาน (0.33%)	4.45±0.04aB	4.42±0.01aB
ไคโตซาน (0.50%)	4.58±0.01aC	4.62±0.00aC

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรดต่างระหว่างวันที่เก็บรักษาและสภาวะในการทดลองของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส — (ก) น้ำดีไอออน — (ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% — (ง) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

หลังจากวันที่ 1 ของการเก็บรักษา พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนเป็นตัวย่อยสลายจะเกิดการเสื่อมเสีย ดังนั้น จึงพิจารณาเฉพาะเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติก สารละลายไคโตซาน 0.33% หรือสารละลายไคโตซาน 0.50% เป็นตัวย่อยสลาย ดังตารางที่ 16 พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาและสภาวะการทดลองไม่มีผลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยว เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรดต่างจากเส้นก๋วยเตี๋ยวในทุกสภาวะการทดลอง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% เป็นตัวย่อยสลายจะมีค่าสูงกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวในสภาวะที่ใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวย่อยสลาย เช่นเดียวกันกับเส้นก๋วยเตี๋ยวในวันที่ 0 ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 16 ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก้วยเดี่ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 3 และ 5 วัน

วัน	สภาวะการทดลอง			ค่าเฉลี่ยของทุก สภาวะในแต่ละวัน ^{NS}
	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)	
0	4.24±0.02	4.45±0.04	4.58±0.01	4.42
1	4.23±0.01	4.42±0.01	4.62±0.00	4.42
3	4.30±0.06	4.47±0.04	4.59±0.07	4.45
5	4.23±0.08	4.47±0.08	4.61±0.13	4.44
ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	4.25a	4.45b	4.60c	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3.1.4 ค่าสีของเส้นก้วยเดี่ยว

ตารางที่ 17 แสดงค่าความขาว (whiteness) ของเส้นก้วยเดี่ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0 และ 1 วัน พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาและสภาวะการทดลองไม่มีผลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขาวของเส้นก้วยเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ สารละลายกรดอะซิติก สารละลายไคโตซาน 0.33% หรือสารละลายไคโตซาน 0.50% เป็นตัวทำละลาย เมื่อเก็บรักษาเส้นก้วยเดี่ยวเป็นระยะเวลา 1 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความขาวจากเส้นก้วยเดี่ยวในทุกสภาวะการทดลองจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการเกิดรีโทรเกรเดชันที่เพิ่มขึ้น ทำให้เส้นก้วยเดี่ยวมีลักษณะสีขาวขุ่นเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าสีของแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า เส้นก้วยเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายมีค่าความขาวสูงที่สุด รองลงมา คือ เส้นก้วยเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำ

ละลาย และเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้สารละลายไคโตซาน 0.33% และ 0.50% ตามลำดับ เป็นเช่นเดียวกับผลการทดลองในตารางที่ 10 เนื่องจาก สีของแผ่นไคโตซานมีสีเหลือง

ตารางที่ 17 ค่าความขาว (whiteness) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0 และ 1 วัน

วัน	สภาวะการทดลอง				ค่าเฉลี่ยของทุกสภาวะในแต่ละวัน
	น้ำดีไอออนไนซ์	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)	
0	87.57±0.10	88.39±0.17	86.78±0.09	84.81±0.03	86.89A
1	88.19±0.15	88.87±0.09	87.19±0.21	85.63±0.03	87.47B
ค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะในช่วงการเก็บรักษา	87.88c	88.63d	86.98b	85.22a	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

หลังจากวันที่ 1 ของการเก็บรักษา พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลายจะเกิดการเสื่อมเสีย ดังนั้น จึงพิจารณาเฉพาะเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติก สารละลายไคโตซาน 0.33% หรือสารละลายไคโตซาน 0.50% เป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 18 พบว่า ระยะเวลาในการเก็บรักษาและสภาวะการทดลองไม่มีผลร่วมกันต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขาวของเส้นก๋วยเตี๋ยว จากการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความขาวจากเส้นก๋วยเตี๋ยวในทุกสภาวะการทดลองที่ทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 และ 5 วัน จะมีค่าไม่แตกต่างกับค่าเฉลี่ยของค่าความขาวในวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่จะมีค่าลดลงจากวันที่ 1 ของการเก็บรักษา อาจเนื่องมาจากเส้นก๋วยเตี๋ยวเริ่มอาจมีการเสื่อมเสียจึงเป็นไปได้ที่ค่าความขาวจะมีค่าลดลง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายมีค่าความขาวสูงที่สุด รองลงมา คือ

เส้นก๊วยเดียวที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซาน 0.33% และ 0.50% ตามลำดับเช่นเดียวกับผลการทดลองในตารางที่ 10

ตารางที่ 18 ค่าความขาว (whiteness) ของเส้นก๊วยเดียวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 3 และ 5 วัน

วัน	สถานะการทดลอง			ค่าเฉลี่ยของทุกสถานะในแต่ละวัน
	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)	
0	88.39±0.17	86.78±0.09	84.81±0.03	86.66A
1	88.87±0.09	87.19±0.21	85.63±0.03	87.23B
3	88.16±1.03	86.94±0.18	84.27±0.23	86.46A
5	88.75±0.09	86.53±0.30	84.85±0.11	86.71A
ค่าเฉลี่ยของแต่ละสถานะในช่วงการเก็บรักษา	88.54c	86.86b	84.89a	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.1.5 เนื้อสัมผัสของเจลแป็ง

ตารางที่ 19 แสดงค่าความแข็ง (Hardness) ของเจลแป็งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน พบว่า สถานะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลร่วมกันต่อค่าความแข็งของเจลแป็งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออน กรดอะซิติก สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% เป็นตัวทำละลาย ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา พบว่า เจลแป็งในทุกสถานะการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน พบว่า เจลแป็งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนเป็นตัวทำละลายจะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากที่สุด ($p \leq 0.05$) ดังภาพที่ 25 ในขณะที่เจลแป็งที่เตรียมโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกและ

สารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะมีค่าความแข็งไม่แตกต่างจากในวันที่ 0 แสดงให้เห็นว่า การใช้กรดอะซิติกและไคโตซานเป็นตัวทำละลายในเส้นก๋วยเตี๋ยวสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งที่เกิดขึ้นในเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดสุดท้ายและค่าเซตแบคของแป้งข้าวที่มีกรดอะซิติกและไคโตซานอยู่ในระบบจะมีค่าน้อยกว่าค่าความหนืดสุดท้ายและค่าเซตแบคของแป้งข้าวที่ใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลาย (ตารางที่ 3)

เมื่อพิจารณาค่าความเหนียวติดยึด (Gumminess) ของเจลแป้ง พบว่า เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน พบว่า สภาพการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลร่วมกันต่อค่าความเหนียวติดยึดของเจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์ กรดอะซิติก สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% เป็นตัวทำละลาย ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา พบว่า เจลแป้งในทุกสภาวะการทดลองจะมีค่าความเหนียวติดยึดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 19 และเมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน พบว่า เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลายจะมีค่าความเหนียวติดยึดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากที่สุด ($p\leq 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 26 ส่วนเจลแป้งที่เตรียมกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะมีค่าความเหนียวติดยึดเพิ่มขึ้นจากในวันที่ 0 เล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ในขณะที่เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความเหนียวติดยึดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน

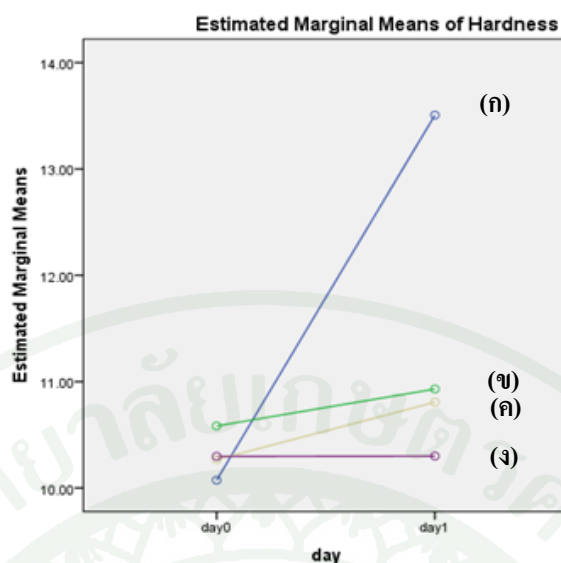
ตารางที่ 19 ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียวติดยืด (Gumminess) ของเจลแป้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0 และ 1 วัน

พารามิเตอร์	สภาวะการทดลอง	วันที่เก็บรักษา	
		0	1
Hardness(N)	น้ำดีไอออนซ์	10.07±0.33aA	13.51±0.60bB
	กรดอะซิติก	10.58±0.21aA	10.93±0.63aA
	ไคโตซาน (0.33%)	10.27±0.21aA	10.81±0.27aA
	ไคโตซาน (0.50%)	10.30±0.17aA	10.30±0.52aA
Gumminess(N)	น้ำดีไอออนซ์	9.20±0.12aAB	11.67±0.44bC
	กรดอะซิติก	9.07±0.26aA	9.79±0.29bB
	ไคโตซาน (0.33%)	9.56±0.11aB	9.43±0.25aAB
	ไคโตซาน (0.50%)	8.97±0.27aA	9.34±0.13aA

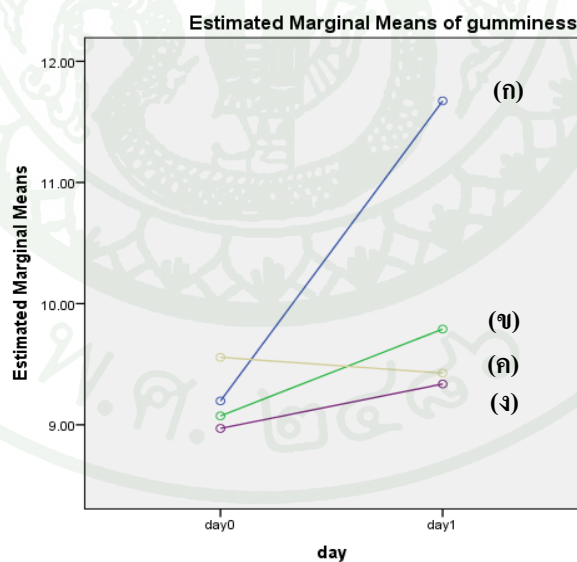
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความแข็ง (Hardness) ระหว่างวันที่เก็บรักษาและสถานะในการทดลองของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส — (ก) น้ำดีไอออน — (ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% — (ง) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%



ภาพที่ 26 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความเหนียวติดชืด (Gumminess) ระหว่างวันที่เก็บรักษาและสถานะในการทดลองของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส — (ก) น้ำดีไอออน — (ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% — (ง) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

เมื่อพิจารณาค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ของเจลแข็ง พบว่า สภาวะการทดลอง และระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าความยืดหยุ่นของเจลแข็งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ กรดอะซิติก สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% เป็นตัวทำละลาย เมื่อทำการเก็บรักษาเจลแข็งเป็นระยะเวลา 1 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความยืดหยุ่นจากเจลแข็งในทุกสภาวะการทดลองมีค่าลดลงจากวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ดังตารางที่ 20 เนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า ค่าความยืดหยุ่นของเจลแข็งในทุกสภาวะการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ของเจลแข็ง พบว่า สภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าความเกาะติดกันของเจลแข็งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ กรดอะซิติก สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% หรือ 0.50% เป็นตัวทำละลาย เมื่อทำการเก็บรักษาเจลแข็งเป็นระยะเวลา 1 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความเกาะติดกันของเจลแข็งในทุกสภาวะการทดลองมีค่าลดลงจากวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ดังตารางที่ 20 เนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า ค่าความเกาะติดกันของเจลแข็งที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะมีค่ามากกว่าเจลแข็งที่ใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลาย ($p\leq 0.05$) แต่การใช้กรดอะซิติกและไคโตซานความเข้มข้น 0.33% เป็นตัวทำละลายจะทำให้ค่าความเกาะติดกันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และการใช้น้ำดีไอออนซ์และไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลายจะทำให้ค่าความเกาะติดกันมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 20 ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ของเจลแป้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0 และ 1 วัน

พารามิเตอร์	วัน	สภาวะการทดลอง				ค่าเฉลี่ยของทุกสภาวะในแต่ละวัน
		น้ำดีไอออไนซ์	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)	
Springiness	0	0.71±0.02	0.74±0.01	0.75±0.01	0.76±0.02	0.74B
	1	0.66±0.03	0.67±0.04	0.68±0.02	0.69±0.03	0.68A
	ค่าเฉลี่ยของ แต่ละสภาวะ ในช่วงการ เก็บรักษา ^{NS}	0.69	0.71	0.72	0.72	
Cohesiveness	0	0.89±0.01	0.90±0.01	0.89±0.01	0.90±0.01	0.90B
	1	0.87±0.01	0.88±0.01	0.87±0.01	0.88±0.01	0.87A
	ค่าเฉลี่ยของ แต่ละสภาวะ ในช่วงการ เก็บรักษา	0.88a	0.89b	0.88ab	0.89b	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

หลังจากวันที่ 1 ของการเก็บรักษา พบว่า เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายจะเกิดการเสื่อมเสีย ดังนั้น จึงพิจารณาเฉพาะเส้นก๊วยเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติก สารละลายไคโตซาน 0.33% หรือสารละลายไคโตซาน 0.50% เป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 21 พบว่า สภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลร่วมกันต่อค่าความแข็งของเจลแป้ง ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา ค่าความแข็งของเจลแป้งในทุกๆสภาวะจะมีค่าไม่แตกต่างกันกับวันที่ 0 หลังจากนั้นเจลแป้งจะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 27 เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะมีการเพิ่มค่าความแข็งที่สูงกว่าเมื่อใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลาย และค่าความแข็งของเจลแป้งในทุกสภาวะการทดลองจะ

เพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา โดยในวันที่ 5 พบว่า เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะมีการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งที่สูงกว่าเมื่อใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลาย แสดงให้เห็นว่า วันที่เก็บรักษามีผลต่อค่าความแข็งของเจลแป้ง โดยเจลแป้งที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะมีค่าความแข็งมากกว่าเจลแป้งที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลาย ค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานั้นอาจจะมาจากค่าความชื้นที่ลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (ตารางที่ 14) ร่วมกับการเกิดรีโทรเกรเดชันของเอมิโลเพกทิน (Yu *et al.*, 2009) เนื่องจากจากการสังเกตของผู้วิจัย พบว่า ที่บริเวณผิวหน้าของเจลแป้งจะมีลักษณะแห้งขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ดังนั้น จากการทดลองดังกล่าวแสดงว่า การใช้ไคโตซานสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของเจลแป้งได้

เมื่อพิจารณาค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ของเจลแป้ง พบว่า สภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลร่วมกันต่อค่าความเกาะติดกันของเจลแป้ง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เจลแป้งในทุกสภาวะจะมีค่าความเกาะติดกันลดลง ดังแสดงในตารางที่ 21 และภาพที่ 28 จากภาพที่ 28 พบว่า ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา เจลแป้งในทุกสภาวะจะมีค่าไม่แตกต่างกัน หลังจากนั้นเจลแป้งจะมีค่าความเกาะติดกันลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา โดยพบว่า เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะมีค่าความเกาะติดกันลดลงมากกว่าเจลแป้งที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย ซึ่งในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะมีค่าความเกาะติดกันไม่แตกต่างจากในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา แสดงว่า ไคโตซานจะมีผลทำให้ค่าความเกาะติดกันมีค่าลดลงในช่วงแรกของการเก็บรักษามากกว่าการใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย แต่หลังจากนั้นค่าความเกาะติดกันจะมีค่าคงที่ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ไคโตซานสามารถช่วยชะลอการลดลงของค่าความเกาะติดกันได้ในวันท้ายๆของการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาค่าความเหนียวติดยืด (Gumminess) ของเจลแป้ง พบว่า สภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลร่วมกันต่อค่าความเหนียวติดยืดของเจลแป้ง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น เจลแป้งในทุกสภาวะจะมีค่าความเหนียวติดยืดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 21 และภาพที่ 29 จากภาพที่ 29 พบว่า ในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา เจลแป้งในทุกสภาวะจะมีค่าความเหนียวติดยืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) หลังจากนั้นเจลแป้งจะมีค่าความเหนียวติดยืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวันที่ 3 ของการเก็บรักษา โดยพบว่า เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลายจะมีค่าความเหนียวติดยืดเพิ่มขึ้นมากกว่าเจลแป้งที่ใช้กรดอะซิติกและไคโตซานความเข้มข้น 0.33% เป็นตัวทำละลาย แต่ในวันที่ 5 ของการเก็บรักษา เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลายจะมีความเหนียว -

ติดขัดลดลงมากกว่าเมื่อใช้กรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% เป็นตัวทำละลาย แสดงให้เห็นว่า การใช้ไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลายจะมีผลทำให้ค่าความเหนียวติดขัดมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและมีค่าลดลงกว่าในสภาวะอื่นในช่วงท้ายของการเก็บรักษา

เมื่อพิจารณาค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ของเจลแข็ง ดังตารางที่ 22 พบว่า สภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าความยืดหยุ่นของเจลแข็ง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า ในวันที่ 1 และ 3 ของการเก็บรักษา ค่าเฉลี่ยของค่าความยืดหยุ่นจากเจลแข็งในทุกสภาวะการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันแต่จะมีค่าความยืดหยุ่นลดลงจากในวันที่ 0 และเมื่อเก็บรักษาเจลแข็งเป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่า เจลแข็งมีค่าเฉลี่ยของค่าความยืดหยุ่นจากในทุกสภาวะการทดลองน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันในเส้นก๊วยเดียมมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า เจลแข็งที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% มีค่าความยืดหยุ่นมากที่สุด รองลงมา คือ เจลแข็งที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% และกรดอะซิติกตามลำดับ แสดงว่า ไคโตซานช่วยให้ค่าความยืดหยุ่นของเจลแข็งมีค่าสูงกว่าเมื่อใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย

ดังนั้น การใช้ไคโตซานสามารถช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งและค่าความเหนียวติดขัด รวมถึงช่วยชะลอการลดลงของค่าความเกาะติดกันและค่าความยืดหยุ่นของเจลแข็งเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในช่วงการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 วันได้

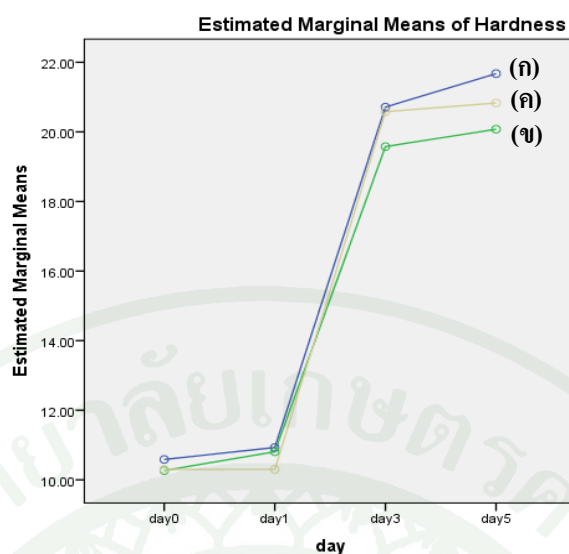
ตารางที่ 21 ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) และค่าความเหนียวติดยืด (Gumminess) ของเจลแป้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 3 และ 5 วัน

พารามิเตอร์	สภาวะการทดลอง	วันที่เก็บรักษา			
		0	1	3	5
Hardness(N)	กรดอะซิติก	10.58±0.21aA	10.93±0.63aA	20.71±0.37bB	21.67±0.65cB
	ไคโตซาน (0.33%)	10.27±0.21aA	10.81±0.27aA	19.85±1.15bA	20.08±0.32bA
	ไคโตซาน (0.50%)	10.30±0.17aA	10.30±0.52aA	20.58±0.28bB	20.83±0.30bA
Cohesiveness	กรดอะซิติก	0.90±0.01cA	0.88±0.01cA	0.77±0.04bB	0.68±0.02aA
	ไคโตซาน (0.33%)	0.89±0.01bA	0.87±0.01bA	0.72±0.02aA	0.73±0.01aB
	ไคโตซาน (0.50%)	0.90±0.01bA	0.88±0.01bA	0.70±0.01aA	0.72±0.04aB
Gumminess(N)	กรดอะซิติก	9.07±0.26aA	9.79±0.29aA	13.62±1.29bB	15.00±1.16cB
	ไคโตซาน (0.33%)	9.56±0.11aA	9.43±0.25aA	12.33±0.60bA	14.30±0.40cAB
	ไคโตซาน (0.50%)	8.97±0.27aA	9.34±0.13aA	14.66±0.68cC	13.43±0.62bA

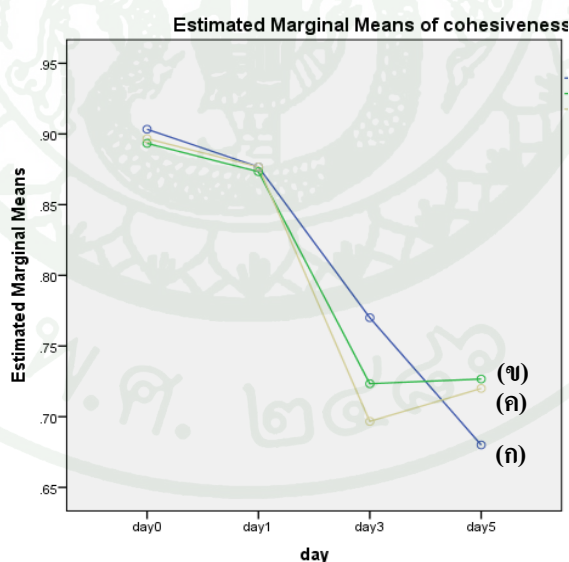
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

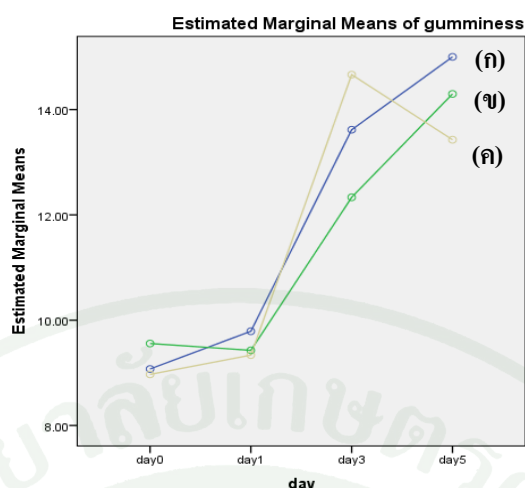
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 27 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความแข็ง (Hardness) ระหว่างวันที่เก็บรักษา (5 วัน) และสถานะในการทดลองของเส้นกัวยเดี่ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส — (ก) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ข) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%



ภาพที่ 28 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ระหว่างวันที่เก็บรักษา (5 วัน) และสถานะในการทดลองของเส้นกัวยเดี่ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส — (ก) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ข) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%



ภาพที่ 29 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความเหนียวติดยึด (Gumminess) ระหว่างวันที่เก็บรักษา (5 วัน) และสภาวะในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส — (ก) สารละลายกรดอะซิดิกความเข้มข้น 0.33% — (ข) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

ตารางที่ 22 ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ของเจลแบ่งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 1, 3 และ 5 วัน

พารามิเตอร์	วัน	สภาวะการทดลอง			ค่าเฉลี่ยของทุกสภาวะในแต่ละวัน
		กรดอะซิดิก	ไคโตซาน (0.33%)	ไคโตซาน (0.50%)	
Springiness	0	0.74±0.01	0.75±0.01	0.76±0.02	0.75C
	1	0.67±0.04	0.68±0.02	0.69±0.03	0.68B
	3	0.65±0.01	0.67±0.02	0.72±0.03	0.68B
	5	0.59±0.01	0.61±0.01	0.64±0.02	0.61A
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะในช่วงการเก็บรักษา	0.67a	0.68b	0.70c	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

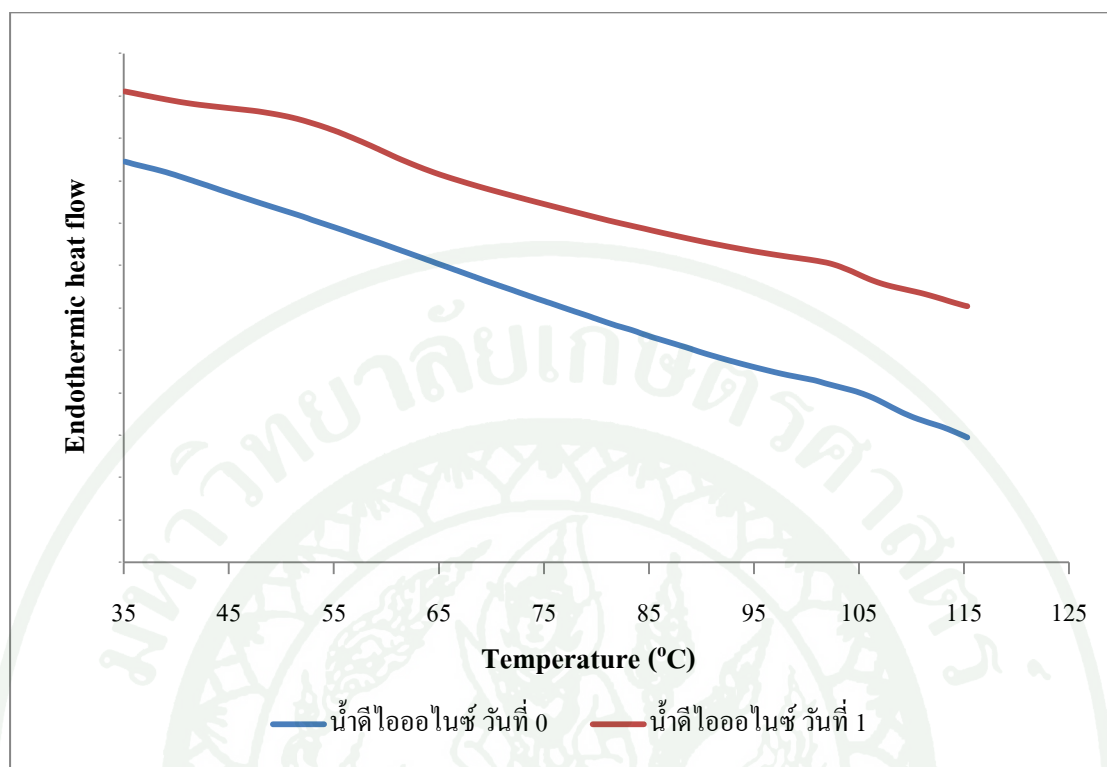
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.2 ผลของไคโตซานต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.2.1 ผลของไคโตซานต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ทำการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 1, 3, 5, 7 และ 14 วัน ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ พบว่า ในวันที่ 0 ตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์จะพบเพียงพีคของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมัน (amylose-lipid complex) ดังภาพที่ 30 และพบลักษณะพีคเป็นเช่นเดียวกันในทุกสภาวะการทดลองดังแสดงในภาพผนวกที่ ง11 และ ง12 แต่เมื่อทำการเก็บรักษาเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวอย่างจะพบพีคที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของแอมิโลเพกทินเมื่อเกิดการรีโทรเกรเดชันและพีคของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมัน (amylose-lipid complex) และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นเป็น 3, 5 และ 7 วัน จะพบ 2 พีคเช่นเดียวกันโดยปรากฏพีคทั้ง 2 พีคในทุกวันของการเก็บรักษา แต่พีคที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของแอมิโลเพกทินเมื่อเกิดการรีโทรเกรเดชันจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ในขณะที่พีคของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมันจะมีขนาดคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

ตารางที่ 23 แสดงค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ กรดอะซิติก หรือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวอย่างเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินขึ้นกับทั้งสภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษา โดยทั้งสองปัจจัยมีผลต่อค่าดังกล่าวร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในสภาวะที่ใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวอย่าง พบว่า ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทิน จะมีค่าลดลง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น และในสภาวะที่ใช้กรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานเป็นตัวอย่าง เส้นก๋วยเตี๋ยวจะมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึกลดลงในวันที่ 3 และเพิ่มขึ้นในวันที่ 5 และคงที่ในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 31 อย่างไรก็ตามในวันที่ 5 และ 7 ของการเก็บรักษา พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้กรดอะซิติกหรือสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวอย่างจะมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึกไม่แตกต่างจากวันที่ 1 ของการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังตารางที่ 23



ภาพที่ 30 สมบัติทางความร้อนของเส้นก๊วยเดี้ยวที่ใช้ น้ำดีไอออนไนซ์ตัวทำละลาย เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 และ 1 วัน

เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่จุดสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๊วยเดี้ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกหรือสารละลายไคโตซาน 0.50% เป็นตัวทำละลายเทียบกับเส้นก๊วยเดี้ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน ดังตารางที่ 24 พบว่าสภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าอุณหภูมิที่จุดสูงสุดในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๊วยเดี้ยว เมื่อเก็บรักษาเส้นก๊วยเดี้ยวนานขึ้น เส้นก๊วยเดี้ยวที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3, 5 และ 7 วัน จะมีค่าเฉลี่ยของค่าอุณหภูมิที่จุดสูงสุดในการสลายโครงสร้างผลึกจากเส้นก๊วยเดี้ยวในทุกสภาวะการทดลองต่ำกว่าเส้นก๊วยเดี้ยวที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 1 วันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่าเส้นก๊วยเดี้ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกหรือสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลายมีอุณหภูมิที่จุดสูงสุดในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินสูงกว่า

เส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกและสารละลายโคโคซานเป็นตัวทำละลายจะมีค่าอุณหภูมิที่จุดสูงสุดในการสลายโครงสร้างผลึกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าอุณหภูมิสุดท้ายในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๊วยเตี๋ยว พบว่า สภาพการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าอุณหภูมิสุดท้ายในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๊วยเตี๋ยว เมื่อเก็บรักษาเส้นก๊วยเตี๋ยวนานขึ้น ค่าเฉลี่ยของค่าอุณหภูมิสุดท้ายในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินจากเส้นก๊วยเตี๋ยวในทุกสภาพการทดลองจะมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาพการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า ค่าอุณหภูมิสุดท้ายในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินของเส้นก๊วยเตี๋ยวในทุกสภาพการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๊วยเตี๋ยว พบว่า สภาพการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๊วยเตี๋ยว เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างจากเส้นก๊วยเตี๋ยวในทุกสภาพการทดลองจะมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีการเกิดรีโทรเกรเดชันที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาพการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้สารละลายโคโคซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลายจะมีค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินสูงกว่าเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์และกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย แสดงว่า ในช่วง 7 วันของการเก็บรักษา จะทำให้เส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้โคโคซานเป็นตัวทำละลายอาจเกิดการรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าในสถานะอื่นๆ

หลังจากทำการเก็บรักษาเส้นก๊วยเตี๋ยวสดเป็นเวลา 7 วันที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายเกิดการเสื่อมเสีย ดังแสดงในภาพผนวกที่ 7 ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบเฉพาะเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้สารละลายโคโคซานความเข้มข้น 0.50% กับเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายเท่านั้น ดังตารางที่ 25 พบว่า สภาพการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิที่จุดสูงสุด และอุณหภูมิสุดท้ายในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโล-

เพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยว เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานาน 14 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าอุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิที่จุดสูงสุด และอุณหภูมิสุดท้ายในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของ แอมิโลเพกทินจากเส้นก๋วยเตี๋ยวในทุกสภาวะการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันกับวันที่ 1 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลอง พบว่า ค่าอุณหภูมิที่จุดสูงสุด และอุณหภูมิสุดท้ายในการสลายโครงสร้างผลึกดังกล่าวของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกและ สารละลายไคโตซานมีค่าไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของ แอมิโลเพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยว (ตารางที่ 25) พบว่า สภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยว ค่าเฉลี่ยของค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของ แอมิโลเพกทินจากเส้นก๋วยเตี๋ยวในทุกสภาวะการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 0-1 วัน แต่หลังจากการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วันจะมีค่าคงที่ และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า ค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมจากกรดอะซิติกหรือสารละลายไคโตซานมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายอาจเกิดการรีโทรเกรเดชันได้มากในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษา แต่หลังจากนั้นอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันจะค่อยๆ ช้าลง จึงทำให้ค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยวไม่แตกต่างจากเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย เมื่อพิจารณาในช่วงการเก็บรักษา 14 วัน

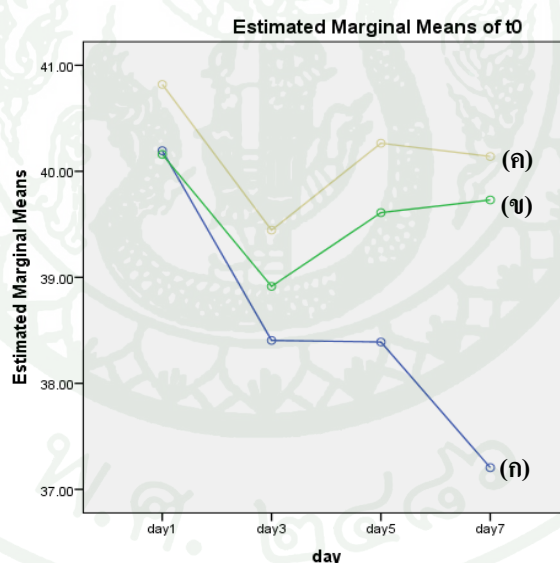
ตารางที่ 23 To ของการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน

สภาวะการทดลอง	วันที่เก็บรักษา			
	1	3	5	7
น้ำดีไอออนไนซ์	40.20±0.25cA	38.41±0.42bA	38.39±0.63bB	37.21±0.50aA
กรดอะซิติก	40.16±0.33bA	38.91±0.11aA	39.61±0.91bC	39.73±0.57bC
ไคโตซาน (0.50%)	40.82±0.34bB	39.45±0.09aA	40.27±0.32abC	40.14±0.41abC

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 31 กราฟความสัมพันธ์ของค่า To ของการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินระหว่างวันที่เก็บรักษา (7 วัน) และสภาวะในการทดลองของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส — (ก) น้ำดีไอออนไนซ์ — (ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

ตารางที่ 24 T_p , T_c และ ΔH ของการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของเอมิโลเพกทินในเส้นก๊วยเดียวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน

พารามิเตอร์	วัน	สภาวะการทดลอง			ค่าเฉลี่ยของทุกสภาวะในแต่ละวัน
		น้ำดีไอออนซ์	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.50%)	
T_p ($^{\circ}\text{C}$)	1	52.17 $\pm$ 0.05	52.47 $\pm$ 0.39	52.72 $\pm$ 0.06	52.45B
	3	51.13 $\pm$ 0.28	51.93 $\pm$ 0.74	51.85 $\pm$ 0.06	51.64A
	5	51.08 $\pm$ 0.40	51.72 $\pm$ 0.16	52.28 $\pm$ 0.05	51.70A
	7	50.80 $\pm$ 0.06	52.04 $\pm$ 0.79	52.15 $\pm$ 0.28	51.66A
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะในช่วงการเก็บรักษา	51.30a	52.04b	52.25b	
T_c ($^{\circ}\text{C}$)	1	64.35 $\pm$ 0.41	64.06 $\pm$ 0.61	64.10 $\pm$ 0.13	64.17A
	3	63.70 $\pm$ 0.30	65.77 $\pm$ 1.85	64.89 $\pm$ 0.15	64.79AB
	5	65.24 $\pm$ 0.28	64.65 $\pm$ 1.33	65.50 $\pm$ 0.45	65.13AB
	7	65.27 $\pm$ 0.08	66.74 $\pm$ 0.37	63.97 $\pm$ 0.51	65.33B
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะในช่วงการเก็บรักษา	64.64a	65.31a	64.62a	
ΔH (จูลต่อกรัม)	1	4.74 $\pm$ 0.25	4.69 $\pm$ 0.61	5.20 $\pm$ 0.17	4.88A
	3	5.89 $\pm$ 0.51	6.27 $\pm$ 0.55	6.57 $\pm$ 0.10	6.24B
	5	6.49 $\pm$ 0.39	6.58 $\pm$ 0.85	6.84 $\pm$ 0.22	6.64B
	7	7.19 $\pm$ 0.12	6.50 $\pm$ 0.34	6.60 $\pm$ 0.13	6.76B
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะในช่วงการเก็บรักษา	6.08a	6.01a	6.30b	

หมายเหตุ T_p , T_c และ ΔH คือ อุณหภูมิที่จุดสูงสุด อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกเกิดจากการรีโทรเกรเดชันของเอมิโลเพกทิน
ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 25 T_o , T_p , T_c และ ΔH ของการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทิน
ในเส้นก๊วยเดียวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 3, 5, 7 และ 14 วัน

พารามิเตอร์	วัน	สภาวะการทดลอง		ค่าเฉลี่ยของทุก สภาวะในแต่ละวัน
		กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.50%)	
T_o ($^{\circ}\text{C}$)	1	40.16 $\pm$ 0.33	40.82 $\pm$ 0.34	40.49AB
	3	38.91 $\pm$ 0.11	39.45 $\pm$ 0.09	39.18A
	5	39.61 $\pm$ 0.91	40.27 $\pm$ 0.32	39.94A
	7	39.73 $\pm$ 0.57	40.14 $\pm$ 0.41	39.94A
	14	42.00 $\pm$ 2.38	41.84 $\pm$ 2.06	41.92B
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะ ^{NS} ในช่วงการเก็บรักษา	40.08	40.50	
T_p ($^{\circ}\text{C}$)	1	52.47 $\pm$ 0.39	52.72 $\pm$ 0.06	52.60A
	3	51.93 $\pm$ 0.74	51.85 $\pm$ 0.06	51.89A
	5	51.72 $\pm$ 0.16	52.28 $\pm$ 0.05	52.00A
	7	52.04 $\pm$ 0.79	52.15 $\pm$ 0.28	52.09A
	14	53.97 $\pm$ 2.74	53.77 $\pm$ 2.46	53.87A
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะ ^{NS} ในช่วงการเก็บรักษา	52.43	52.55	
T_c ($^{\circ}\text{C}$)	1	64.06 $\pm$ 0.61	64.10 $\pm$ 0.13	64.08A
	3	65.77 $\pm$ 1.85	64.89 $\pm$ 0.15	65.33A
	5	64.65 $\pm$ 1.33	65.50 $\pm$ 0.45	65.08A
	7	66.74 $\pm$ 0.37	63.97 $\pm$ 0.51	65.36A
	14	66.21 $\pm$ 3.65	66.39 $\pm$ 3.99	66.30A
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะ ^{NS} ในช่วงการเก็บรักษา	65.49	64.97	

ตารางที่ 25 To, Tp, Tc และ ΔH ของการสลายผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการรีโทรเกรดชันของแอมิโลเพกทิน
ในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 3, 5, 7 และ 14 วัน
(ต่อ)

พารามิเตอร์	วัน	สภาวะการทดลอง		ค่าเฉลี่ยของทุก สภาวะในแต่ละวัน
		กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.50%)	
ΔH (จุลต่อกรัม)	1	4.69±0.61	5.20±0.17	4.95A
	3	6.27±0.55	6.57±0.10	6.42B
	5	6.58±0.85	6.84±0.22	6.71B
	7	6.50±0.34	6.60±0.13	6.55B
	14	6.56±0.35	6.47±0.46	6.52B
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะ ^{NS} ในช่วงการเก็บรักษา	6.12	6.34	

หมายเหตุ To, Tp, Tc และ ΔH คือ อุณหภูมิเริ่มต้น, อุณหภูมิที่จุดสูงสุด, อุณหภูมิสุดท้าย และค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการรีโทรเกรดชันของแอมิโลเพกทิน
ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
NS คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

3.2.2 ค่าความชื้นของเจลแป้ง

ตารางที่ 26 แสดงค่าความชื้นของเจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออไนซ์ กรดอะซิติก หรือ สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน พบว่า สภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าความชื้นของเจลแป้ง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเป็น 7 วัน ค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นจากเจลแป้งในทุกสภาวะการทดลองจะมีค่าลดต่ำกว่าในวันที่ 0 เล็กน้อย ($p \leq 0.05$) และค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นในแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นจากเจลแป้งในทุกสภาวะการทดลองที่เก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ดังตารางที่ 27 กลับพบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นจากเจลแป้งในทุกสภาวะการทดลองจะไม่

เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และเมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บรักษาเจลแปงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า ในช่วง 7 วันแรก ที่ความชื้นมีค่าลดลง น่าจะมาจากการลดลงของค่าความชื้นของเจลแปงที่เตรียมจากน้ำดีไอออไนซ์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาสถานะของการทดลอง พบว่า เจลแปงที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออไนซ์ กรดอะซิติกและไคโตซานเป็นตัวทำละลายมีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน และเมื่อเก็บรักษาเจลแปงเป็นเวลา 14 วัน พบว่า เจลแปงที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกและไคโตซานเป็นตัวทำละลายมีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นกัน

ตารางที่ 26 ค่าความชื้นของเจลแปงที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1 และ 7 วัน

วัน	สถานะการทดลอง			ค่าเฉลี่ยของทุกสถานะในแต่ละวัน
	น้ำดีไอออไนซ์	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.50%)	
0	59.35±0.30	59.60±0.74	60.42±0.93	59.79B
1	58.92±0.24	59.21±0.72	59.87±0.72	59.33AB
7	58.07±1.09	59.29±0.44	60.51±0.72	59.09A
ค่าเฉลี่ยของแต่ละวัน ^{NS}				
สถานะในช่วงการเก็บรักษา	58.78	59.37	60.06	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

NS คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 27 ค่าความชื้นของเจลแป้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 7 และ 14 วัน

วัน	สภาวะการทดลอง		ค่าเฉลี่ยของทุก ^{NS} สภาวะในแต่ละวัน
	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.50%)	
0	59.60±0.74	60.42±0.93	60.01
1	59.21±0.72	59.87±0.72	59.54
7	59.29±0.44	60.51±0.72	59.90
14	58.93±0.12	59.89±0.55	59.41
ค่าเฉลี่ยของแต่ละ ^{NS} สภาวะในช่วงการเก็บรักษา	59.26	60.17	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

NS คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

3.2.3 ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๊วยเตี๋ยว

ตารางที่ 28 แสดงค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 1 และ 7 วัน เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ กรดอะซิติก และสารละลายไคโตซาน 0.50% เป็นตัวทำละลาย ณ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน พบว่า สภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าความความเป็นกรดต่างของเจลแป้ง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรดต่างจากเส้นก๊วยเตี๋ยวในทุกสภาวะการทดลองจะมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายจะมีค่าความเป็นกรดต่างสูงสุด รองลงมา คือ เส้นก๊วยเตี๋ยวที่ใช้กรดอะซิติก และไคโตซานเป็นตัวทำละลาย ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บรักษาเส้นก๊วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พบว่า มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน

หลังจากวันที่ 7 ของการเก็บรักษาเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายจะมีการเสื่อมเสีย ดังนั้น จึงพิจารณาเฉพาะเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ กรดอะซิติกและสารละลายโคโคซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 29 พบว่า สภาพการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าความความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยว เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของค่าความความเป็นกรดต่างจากเส้นก๋วยเตี๋ยวในทุกสภาพการทดลองจะไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาพการทดลองในช่วงการเก็บรักษา พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายมีความเป็นกรดต่างไม่แตกต่างกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลาย

ตารางที่ 28 ค่าความความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1 และ 7 วัน

วัน	สภาพการทดลอง			ค่าเฉลี่ยของทุก ^{NS} สภาวะในแต่ละวัน
	น้ำดีไอออนซ์	กรดอะซิติก	โคโคซาน (0.50%)	
0	6.17±0.07	4.26±0.01	4.53±0.01	4.99
1	6.10±0.03	4.23±0.01	4.53±0.01	4.95
7	6.19±0.05	4.23±0.04	4.55±0.03	4.99
ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	6.15c	4.24a	4.54b	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 29 ค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 7 และ 14 วัน

วัน	สภาวะการทดลอง		ค่าเฉลี่ยของทุก ^{NS} สภาวะในแต่ละวัน
	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.50%)	
0	4.26±0.01	4.53±0.01	4.40
1	4.23±0.01	4.53±0.01	4.38
7	4.23±0.04	4.55±0.03	4.39
14	4.22±0.01	4.56±0.01	4.39
ค่าเฉลี่ยของแต่ละ ^{NS} สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	4.23	4.54	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

NS คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

3.2.4 ค่าสีของเส้นก๊วยเตี๋ยว

ตารางที่ 30 แสดงค่าความขาว (whiteness) ของเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1 และ 7 พบว่า สภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลร่วมกันต่อค่าสีของเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์ สารละลายกรดอะซิติก หรือ สารละลายไคโตซาน 0.50% เป็นตัวทำละลาย เส้นก๊วยเตี๋ยวที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะมีความขาวสูงสุด รองลงมา คือ เส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลาย และเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้สารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะมีความขาวน้อยที่สุดในทุกวันของการเก็บรักษา เช่นเดียวกับผลการทดลองในตารางที่ 10 และการทดลองที่เก็บรักษาเส้นก๊วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น พบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์และกรดอะซิติกมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง แต่การใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะทำให้ค่าความขาวเพิ่มขึ้นในวันที่ 1 และ 7 ดังแสดงในภาพที่ 32 การที่ค่าความขาวมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการเกิดรีโทรเกรเดชันในเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมจากไคโตซานมีมากกว่าในสภาวะอื่นๆ

สอดคล้องกับค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานของการสลายผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโล-เพกทินในเส้นก๋วยเตี๋ยว ดังตารางที่ 24 ซึ่งจะทำให้เส้นก๋วยเต๋ยมีสีขาวขึ้นเพิ่มขึ้น

หลังจากวันที่ 7 ของการเก็บรักษาเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายจะมีการเสื่อมเสีย ดังนั้น จึงพิจารณาเฉพาะเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 31 พบว่า สภาวะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลร่วมกันต่อค่าสีของเส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะมีค่าความขาวมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยเจลแป็งที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความขาว คือ มีค่าความขาวเพิ่มขึ้นในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา และความขาวจะมีค่าลดลงหลังวันที่ 7 ของการเก็บรักษา ดังภาพที่ 33

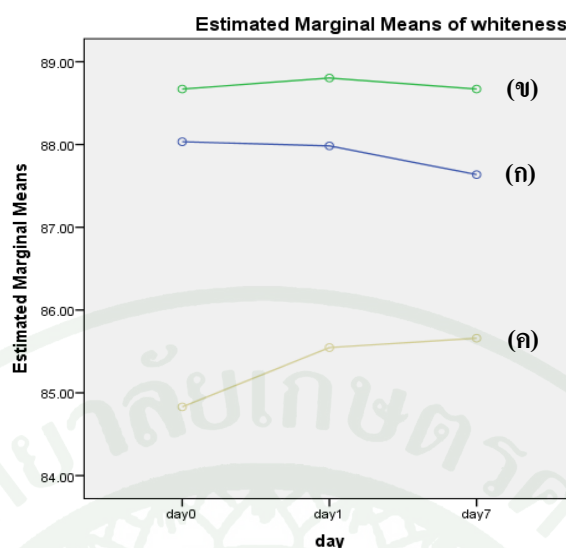
ตารางที่ 30 ค่าความขาว (whiteness) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1 และ 7 วัน

สภาวะการทดลอง	วันที่เก็บรักษา		
	0	1	7
น้ำดีไอออไนซ์	88.03±0.34aB	87.98±0.17aB	87.64±0.65aB
กรดอะซิติก	88.67±0.11aC	88.80±0.20aC	88.67±0.32aC
ไคโตซาน (0.50%)	84.83±0.15aA	85.55±0.23bA	85.66±0.03bA

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 32 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความขาว (whiteness) ระหว่างวันที่เก็บรักษา (7 วัน) และสภาวะในการทดลองของเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส — (ก) น้ำดีไอออนซ์ — (ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

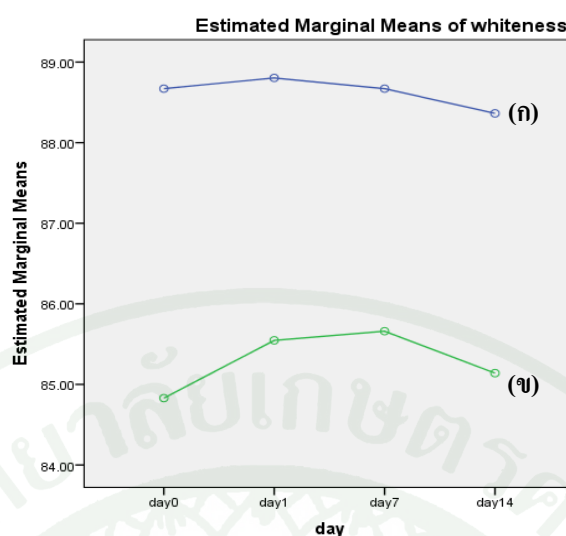
ตารางที่ 31 ค่าความขาว (whiteness) ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 7 และ 14 วัน

สภาวะการทดลอง	วันที่เก็บรักษา			
	0	1	7	14
กรดอะซิติก	88.67±0.11abB	88.80±0.20bB	88.67±0.32abB	88.36±0.28aB
ไคโตซาน (0.50%)	84.83±0.15aA	85.55±0.23bA	85.66±0.03bA	85.14±0.31aA

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 33 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความขาว (whiteness) ระหว่างวันที่เก็บรักษา (14 วัน) และสถานะในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส
 — (ก) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ข) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

3.1.5 เนื้อสัมผัสของเจลแป้ง

ตารางที่ 32 แสดงค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1 และ 7 วัน ซึ่งค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหัก (Maximum force) แสดงถึงค่าความแข็งของเจลแป้ง (Charoenrein and Preechathammawong, 2012) พบว่า สถานะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลร่วมกันต่อค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์ สารละลายกรดอะซิติก หรือสารละลายไคโตซาน 0.50% เป็นตัวทำละลาย เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน พบว่า หลังจากวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ลักษณะกราฟที่ได้จากการวัดคุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสจะมีฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นเด่นชัด 2 ฟิสิกส์ในทุกลักษณะ ดังแสดงในภาพผนวกที่ 13-16 แสดงให้เห็นว่ามีการแตกหักของตัวอย่างระหว่างให้แรง แสดงว่าตัวอย่างไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลายมีค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากกว่าสถานะอื่นดังแสดงในภาพที่ 34 ซึ่งค่าแรงที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้ง โดยในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป้งที่ใช้สารละลายกรดอะซิติกและสารละลายไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะไม่

แตกต่างกับเจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 32) แต่การใช้โคโตซานจะทำให้ค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป้งมีค่าสูงกว่าการใช้กรดอะซิติกเล็กน้อย ดังตารางที่ 32 และภาพที่ 34 นอกจากนี้ เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 วัน พบว่า เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลายมีค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป้งสูงที่สุด ในขณะที่เจลแป้งที่ใช้กรดอะซิติกและโคโตซานเป็นตัวทำละลายมีค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป้งไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลาย เจลแป้งจะมีความแข็งแรงมากกว่าเจลแป้งในสถานะอื่นๆ และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน พบว่า เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลายมีค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป้งสูงที่สุด รองลงมา คือ เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้สารละลายโคโตซานเป็นตัวทำละลาย และเจลแป้งที่ใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายมีค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป้งน้อยที่สุด แสดงว่ากรดอะซิติกช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสด้านความแข็ง โดยมีรายงานว่า ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส การเติมกรดจะทำให้การเกิด ไรโทเกรเดชันเกิดช้าลง (Wu *et al.*, 2010)

ตารางที่ 33 แสดงค่าระยะทาง (Distance) ของเจลแป้ง ณ ตำแหน่งที่เกิดแรงสูงสุด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1 และ 7 วัน พบว่า สภาพการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าระยะทางของเจลแป้งที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์ สารละลายกรดอะซิติก หรือสารละลายโคโตซาน 0.50% เป็นตัวทำละลาย เมื่อเก็บรักษาเจลแป้งเป็นเวลา 1 วัน พบว่า ระยะทางของเจลแป้งที่เกิดการแตกหักสูงที่สุดจะลดลงจากวันที่ 0 ของการเก็บรักษาและมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 7 วัน แสดงว่า เจลแป้งมีความยืดหยุ่นลดลงจากวันที่ 0 ของการเก็บรักษา นอกจากนี้ พบว่า ระยะทางของเจลแป้งที่เกิดการแตกหักสูงที่สุดไม่แตกต่างกันในทุกสภาพการทดลอง

หลังจากวันที่ 7 ของการเก็บรักษาเส้นก๊วยเตี๋ย พบว่า เส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนไนซ์เป็นตัวทำละลายจะมีการเสื่อมเสีย ดังนั้น จึงพิจารณาเฉพาะเส้นก๊วยเตี๋ยที่เตรียมโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกและสารละลายโคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย ดังตารางที่ 34 พบว่า สภาพการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลร่วมกันต่อค่าความแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป้ง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จะต้องใช้แรงในการทำให้เจลแป้งเสียรูปร่างเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 35 ซึ่งค่าแรงที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเกิด ไรโทเกรเดชันของเจลแป้ง เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกและสารละลายโคโตซานเป็นตัวทำละลายจะใช้แรงในการทำให้เจลแป้งเสียรูปร่างไม่แตกต่างกันเมื่อเก็บรักษาในวันที่ 0 ถึง 7 แต่ในวันที่ 14 ของการเก็บรักษา (ตารางที่ 34) เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะใช้แรงในการทำให้เจลแป้งเสียรูปร่างน้อยกว่า

เจลแป้งที่ใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่า ในช่วง 7 วันแรกของการเก็บรักษา เจลแป้งที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะมีค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักมีค่าลดลง อาจเป็นผลร่วมกันระหว่างกรดอะซิติกและไคโตซาน อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานาน 14 วัน การมีไคโตซานทำให้ค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของตัวอย่างมีค่าเพิ่มมากขึ้นกว่าเส้นกัวยเดี่ยวที่ใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย แสดงให้เห็นว่า หลังจาก 7 วันของการเก็บรักษา การใช้ไคโตซานไม่สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงได้ดีเท่ากับกรดอะซิติก แต่เนื่องจากผลการทดลองการเกิดรีโทรเกรเดชันจากเครื่องดีเอสซีในตารางที่ 24 พบว่าค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินในเส้นกัวยเดี่ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกและไคโตซานเป็นตัวทำละลายเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วันมีค่าไม่แตกต่างกัน แสดงว่า ค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักที่แตกต่างกันนั้น อาจมาจากสาเหตุอื่นๆ นอกเหนือจากการเกิดรีโทรเกรเดชัน เช่น อาจมาจากการจัดเรียงตัวของสตาร์ชและไคโตซานที่แตกต่างกัน ซึ่งต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม

ตารางที่ 35 แสดงค่าระยะทาง (Distance) ของเจลแป้ง ณ ตำแหน่งที่เกิดแรงสูงสุดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 7 และ 14 วัน พบว่า สถานะการทดลองและระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลร่วมกันต่อค่าระยะทางของเจลแป้ง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นระยะทางของเจลแป้งที่เกิดการแตกหักสูงสุดมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้นเจลแป้งจะมีความยืดหยุ่นลดลง นอกจากนี้พบว่า ระยะทางของเจลแป้งที่เกิดการแตกหักสูงสุดไม่แตกต่างกันในทุกสถานะการทดลอง

จากการทดลองดังกล่าวจึงพบว่า เมื่อเก็บรักษาเจลแป้งเป็นระยะเวลานานขึ้นเจลแป้งจะมีลักษณะแข็งขึ้นและมีความยืดหยุ่นลดลง

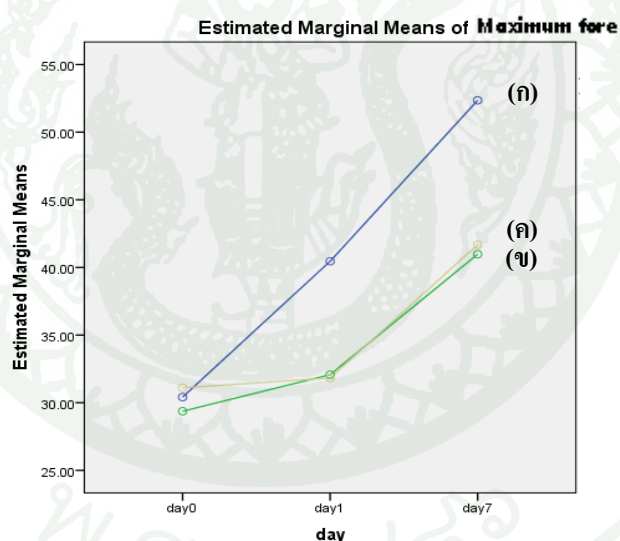
ตารางที่ 32 ค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1 และ 7 วัน

สภาวะการทดลอง	วันที่เก็บรักษา		
	0	1	7
น้ำดีไอออนไนซ์	30.41±0.26aAB	40.46±0.61bB	52.35±0.74cC
กรดอะซิติก	29.37±0.10aA	32.08±0.34bA	40.98±0.36cA
ไคโตซาน (0.50%)	31.10±0.65aB	31.83±1.03aA	41.69±0.78bB

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 34 กราฟความสัมพันธ์ของค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักระหว่างวันที่เก็บรักษา (7 วัน) และ

สภาวะในการทดลองของเส้นก๊วยเตี๋ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

— (ก) น้ำดีไอออนไนซ์ — (ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33%
 — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

ตารางที่ 33 ค่าระยะทาง (Distance) ของเจลแป็ง ณ ตำแหน่งที่เกิดแรงสูงสุดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1 และ 7 วัน

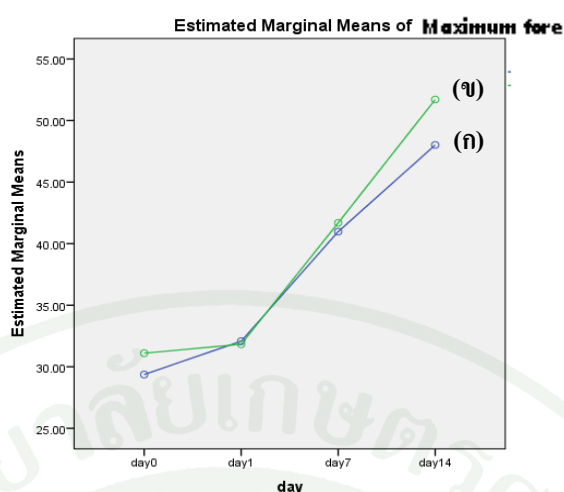
วัน	สภาวะการทดลอง			ค่าเฉลี่ยของทุกสภาวะ ในแต่ละวัน
	น้ำดีไอออนไนซ์	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.50%)	
0	8.14±0.33	8.25±0.17	9.03±0.04	8.473B
1	5.92±0.75	5.65±0.39	6.68±0.18	6.08A
7	5.87±1.07	6.04±1.06	6.04±0.60	5.98A
ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	6.64	6.65	7.25	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
NS คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 34 ค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักของเจลแป็งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 7 และ 14 วัน

สภาวะการทดลอง	วันที่เก็บรักษา			
	0	1	7	14
กรดอะซิติก	29.37±0.10aA	32.08±0.34bA	40.98±0.36cA	48.02±0.34dA
ไคโตซาน (0.50%)	31.10±0.65aA	31.83±1.03bA	41.69±0.78cA	51.71±0.87dB

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 35 กราฟความสัมพันธ์ของค่าแรงสูงสุด ณ จุดแตกหักระหว่างวันที่เก็บรักษา (14 วัน) และสถานะในการทดลองของเส้นก๊วยเดี่ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส — (ก) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ข) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

ตารางที่ 35 ค่าระยะทาง (Distance) ของเจลแบ่ง ณ ตำแหน่งที่เกิดแรงสูงสุดเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1, 7 และ 14 วัน

วัน	สถานะการทดลอง		ค่าเฉลี่ยของทุกสถานะในแต่ละวัน
	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.50%)	
0	8.25±0.17	9.03±0.04	8.64C
1	5.65±0.39	6.68±0.18	6.30B
7	6.04±1.06	6.04±0.60	5.96B
14	3.95±0.20	4.03±0.67	3.99A
ค่าเฉลี่ยของแต่ละสถานะ ^{NS}	6.00	6.45	
ในช่วงการเก็บรักษา			

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

NS คือ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การใช้สารละลายไคโตซานส่งผลต่อคุณสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชข้าวและแป้งข้าว โดยจะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชข้าวและแป้งข้าวมีค่าสูงที่สุด และค่าความหนืดต่ำสุดของสตาร์ชข้าวมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้น้ำดีไอออไนซ์และกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย แต่การเติมไคโตซานในแป้งข้าวจะทำให้ค่าความหนืดต่ำสุดมีค่าน้อยกว่าการใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย แต่สูงกว่าการใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย นอกจากนี้การใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายในสตาร์ชและแป้งข้าวจะทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายและค่าเซตแบคมีย่าน้อยกว่าการใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลาย แต่สูงกว่าการใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย ในด้านการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางความร้อน พบว่า การเติมไคโตซานในสตาร์ชและแป้งข้าวจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดการเจลลิตีในเซชัน อุณหภูมิที่ทำให้สตาร์ชเกิดการเจลลิตีในเซชันสูงสุด อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลิตีในเซชัน และค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชและแป้งข้าว

การใช้ไคโตซานจะส่งผลให้ค่าความแข็งของเจลแป้งมีค่าลดลงแต่ค่าความเกาะติดกันของ เจลแป้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเจลแป้งที่เตรียมจากน้ำดีไอออไนซ์และกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย ซึ่งอาจจะอธิบายได้จากภาพจากกล้องฟลูออเรสเซนซ์ที่พบว่า มีการแทรกตัวของไคโตซานในเส้นก้วยเดี่ยว ซึ่งไคโตซานอาจไปขัดขวางการเกิดโครงข่ายของแอมิโลส ทำให้เจลสตาร์ชที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายมีความนุ่มมากกว่าในสถานะอื่นๆ แต่การใช้ไคโตซานในเจลแป้งข้าวจะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลแป้ง ซึ่งอาจจะอธิบายได้จากภาพจากกล้องฟลูออเรสเซนซ์และภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสงเลเซอร์แบบส่องกราดที่พบว่า การเกิดโครงข่ายร่างแหของโปรตีนในเส้นก้วยเดี่ยวจะช่วยยึดโครงสร้างของเจลแป้งไว้ และการใช้ไคโตซานจะไม่ส่งผลต่อค่าความชื้นของเส้นก้วยเดี่ยว แต่จะมีผลต่อค่าสี คือ จะทำให้เส้นก้วยเดี่ยวมีสีเหลืองขึ้นและมีค่าความเป็นกรดต่ำลง ส่วนสเปกตรัมอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันที่พบในเส้นก้วยเดี่ยวที่ทำจากแป้งข้าวและสตาร์ชข้าวในสถานะที่มีการใช้ไคโตซานจะมีจำนวนพีคและตำแหน่งเลขคลื่นของแต่ละพีคใกล้เคียงกันกับในสถานะอื่นๆ

เมื่อทำการศึกษาผลของไคโตซานต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันและคุณภาพของเส้นก้วยเดี่ยว ที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 4 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าพลังงาน

ในการสลายผลึกแอมิโลเพกทินเพิ่มขึ้นตลอดช่วงเวลาที่เก็บรักษา 5 วัน แต่การเก็บรักษาเส้นก๋วยเตี๋ยวที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ค่าพลังงานในการสลายผลึกแอมิโลเพกทินจะมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 1 และคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 14 วัน การใช้ไคโตซานสามารถช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงทางด้านเนื้อสัมผัสของเจลแป้งเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 5 วัน แต่ไม่สามารถช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งของเจลแป้งเมื่อทำการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 14 วัน เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นของเจลแป้งในทุกสภาวะการทดลองจะมีค่าลดลง โดยที่ค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นของเจลแป้งในสภาวะที่มีไคโตซานจะมีค่าสูงกว่าในสภาวะที่ไม่มีกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย แต่เมื่อเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นของเจลแป้งในทุกสภาวะการทดลองในแต่ละวันและค่าเฉลี่ยของค่าความชื้นของเจลแป้งแต่ละสภาวะการทดลองในช่วงการเก็บรักษามีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรดต่าง พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่าเฉลี่ยของค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยวในทุกสภาวะการทดลองที่ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน และที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายมีค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานและกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความขาว พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความขาวของเส้นก๋วยเตี๋ยวในทุกสภาวะการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่หลังจากนั้นค่าความขาวจะลดลงเท่ากับในวันแรก ส่วนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความขาวของเส้นก๋วยเตี๋ยวมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 7 ของการเก็บรักษา และหลังจากนั้นค่าความขาวของเส้นก๋วยเตี๋ยวในวันที่ 14 จะมีค่าลดลงเท่ากับในวันแรก โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้ไคโตซานเป็นตัวทำละลายจะมีค่าความขาวต่ำสุดในทั้งสองอุณหภูมิตลอดช่วงการเก็บรักษา

ข้อเสนอแนะ

1. การนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการยอมรับทางด้าน
 วัสดุและคุณลักษณะด้านต่างๆของผู้บริโภคเมื่อมีการใช้โคโตนานในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว
2. ควรมีการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้ตัวทำละลายแตกต่างกันใน
 ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และ 4 องศาเซลเซียส เพื่อสามารถนำมาใช้ในการ
 อภิปรายผลการทดลองได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3.

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กัลยาณี ดีประเสริฐวงศ์. 2541. เทคโนโลยีสะอาดกับการส่งเสริมมาตรฐานและวิธีการที่ดีในการผลิต กว๊วยเตี้ยและขนมจีน, น.79-107. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรมเรื่อง การพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมกว๊วยเตี้ยและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด. สถาบัน ค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี. 2541. ข้าวที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปกว๊วยเตี้ยและการตรวจสอบคุณภาพ, น. 14-32. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรมเรื่อง การพัฒนาและยกระดับ อุตสาหกรรมกว๊วยเตี้ยและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด. สถาบันค้นคว้าและพัฒนา ผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ ลีสุวรรณ. 2553. ภูมิปัญญาอาหารจากข้าว. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ.

นิรนาม. 2550. กว๊วยเตี้ยเส้นเล็กเสี่ยงดับไฟฟ้ เดิมสารกันบูดเกินมาตรฐานอื้อ. แหล่งที่มา: <http://www.oknation.net/blog/print.php?id=104125>, 5 พฤษภาคม 2557.

นิธิยา รัตนานนท์. 2549. เหมื่ออาหาร. พิมพ์ครั้งที่2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

น้ำฝน ลำดับวงศ์ และ สงวนศรี เจริญเหรียญ. 2548. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ของแป้งข้าวที่มีผลต่อคุณภาพกว๊วยเตี้ย, น.2/7-2/59. ใน อรอนงค์ นัยวิกุล, บรรณาธิการ. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ชุดโครงการวิจัย การปรับปรุงคุณภาพอาหาร เส้นประเภทกว๊วยเตี้ย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

น้ำฝน ลำดับวงศ์. 2548. อิทธิพลของพันธุ์ข้าวและกระบวนการให้ความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของก๊วยเตี๋ยเส้นใหญ่ในบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว. ใน อรอนงค์ นัยวิกุล, บรรณาธิการ.

รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ชุดโครงการวิจัย การปรับปรุงคุณภาพอาหารเส้นประเภทก๊วยเตี๋ย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประชาชาติธุรกิจ. 2554. แกะรอยโลจิสติกส์ผลิตก๊วยเตี๋ย ธุรกิจหมื่นล้านกับปัญหาที่ถูกมองข้าม.

แหล่งที่มา: http://www.logisticsdigest.com/index.php?option=com_content&task=view&id=2341, 5 พฤษภาคม 2557.

ปิติพร ฤทธิเรืองเดช. 2546. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งทำยายม่อมและการนำไปใช้ประโยชน์ในขนมชั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรพิศ โพธิสุข. 2548. การพัฒนากรรมวิธีการผลิตก๊วยเตี๋ยข้าวกล้องอบแห้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พอพงศ์ เอียดละออง. 2526. การศึกษาความเป็นไปได้ในการตั้งโรงงานผลิตก๊วยเตี๋ยเส้นเล็กแห้ง. อุตสาหกรรม 2(7): 3-22.

พิมพ์เพ็ญ ธีรพร. 2533. ผลของการใช้แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งข้าวเจ้าต่อคุณภาพเส้นก๊วยเตี๋ย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุทธนา พิมพ์. 2545. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๊วยเตี๋ยอบแห้งจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งมันเทศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณิณี เกตุคง. 2555. ผลของระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวและการคั้นรูปจากเยือกแข็งต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของข้าวขาวดอกมะลิ 105 หุงสุก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิภา สุโรจนะเมธากุล. 2541. คุณสมบัติของข้าวและการเปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่, น.33-51. ใน เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรมเรื่อง การพัฒนาและยกระดับอุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและขนมจีนโดยใช้เทคโนโลยีสะอาด. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศศิภา เกิดศรีเล็ก. 2533. ผลของการเติมไข่ขาวจากไข่เป็ดต่อสมบัติเชิงเคมีฟิสิกส์ของแป้งข้าวและเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คันสนีย์ อุดมระติ. 2548. การเกิดเจลลาทีนในเซชันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าว 4 พันธุ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวรรณมนต์ เหล็กเพชร. 2546. การเจริญและยารอดของสแตฟฟีโลคอคคัส ออเรียส และบาซิลลัส ซีเรียส เซลล์และสปอร์ในก๋วยเตี๋ยวแช่เย็นและแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิริลักษณ์ พวงประยงค์. 2548. การศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาว , สตาร์ชและอายุการเก็บของเอกซ์ทราคตจากข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โสภิตา สืบวงษา. 2550. การพัฒนาเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อการสเทอร์ไลเซชันและการประยุกต์ในก๋วยเตี๋ยวคั่วไก่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า. มอก. 638-2529.

_____. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว. มอก. 959-2533.

อนุกุล วัฒนสุข, อรอนงค์ นัยวิกุล, วราภา มหากาญจนกุล และสุพัฒน์ วรกิตติพิธินาถ. 2548. การปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารเส้นพร้อมบริโภคบรรจุในภาชนะอ่อนตัวและแช่เยือกแข็ง, น.4/7-4/54. ใน อรอนงค์ นัยวิกุล, บรรณาธิการ. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ชุดโครงการวิจัย การปรับปรุงคุณภาพอาหารเส้นประเภทก๋วยเตี๋ยว. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรพรรณ กัลปนาอุท. 2547. การปรับปรุงคุณภาพก๋วยเตี๋ยวพร้อมบริโภคในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิทผ่านกระบวนการพาสเจอไรเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรพิน ภูมิภมร. 2533. เทคโนโลยีของแป้ง: เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AACC. 2000. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th ed., American Association of Cereal Chemists, St.Paul, MN.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 32th ed. The Association: Washington, DC.

Abdou, E.S., K.S.A. Nagy and M.Z. Elsabee. 2008. Extraction and characterization of chitin and chitosan from local sources. **Bioresource Technology**. 99: 1359-1367.

Atkin, N.J., R.M. Abeysekera and A.W. Robards. 1998. The events leading to the formation of ghost remnants from the starch granule surface and the contribution of the granule surface to the gelatinization endotherm. **Carbohydrate Polymers**. 36: 193-204.

Baldwin, P.M. 2001. Starch granule-associated proteins and polypeptides: a review. **Starch-Stärke**. 53: 475-503.

- Baek, M.H., D.S. Cha and S.T. Lim. 2001. Effect of chitosan addition on textural properties of sweet potato starch noodle. **Food Science and Biotechnology**.10:161-165.
- Bao, J. and C.J. Bergman. 2004. The functionality of rice starch, pp. 258-294. *In* A.C. Eliasson., eds. **Starch in food**. CRC Press, USA.
- Beta, T. and H. Corke. 2001. Noodle quality as relate to sorghum starch properties. **Cereal Chemistry**. 78(4):417-420.
- Bhattacharya, M., S.Y. Zee and H. Corke. 1999. Physicochemical properties related to quality of rice noodles. **Cereal Chemistry**. 76(6): 861-867.
- Bourtoom, T. and M.S. Chinnan. 2008. Preparation and properties of rice starch-chitosan blend biodegradable film. **LWT – Food Science and Technology**. 41:1633-1641.
- Brugnerotto, J., J. Desbrières, L. Heux, K. Mazeau and M. Rinaudo. 2001. Overview on structural characterization of chitosan molecules in relation with their behavior in solution. **Macromolecular Symposia**. 168: 1-20.
- Cham, S. and P. Suwannaporn. 2010. Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality. **Journal of Cereal Science**. 51:284-291.
- Charoenrein, S. and N. Preechathamwong. 2012. Effect of waxy rice flour and cassava starch on freeze-thaw stability of rice starch gels. **Carbohydrate Polymers**. 90: 1032-1037.
- Cho, J., M.C. Heuzey, A. Bégin and P.J. Carreau. 2005. Physical gelation of chitosan in the presence of β -Glycerophosphate: The effect of temperature. **Biomacromolecules**. 6: 3267-3275.
- Chrastil, J. 1990. Protein-starch interaction in rice grains. Influence of storage on oryzenin and starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 38: 1804-1809.

- Debet, M.R. and M.J. Gidley. 2006. Three classes of starch granule swelling: influence of surface proteins and lipids. **Carbohydrate Polymers**. 64: 452-465.
- Eliasson, A.C. and M. Wahlgren. 2004. **Starch-lipid interactions and their relevance in food products**, pp. 441-460. *In* A.C. Eliasson. Starch in food: structure, function and applications. Abington, England.
- Galat, A. 1980. Study of the raman scattering and infrared absorbtion spectra of branched polysaccharides. **Biochimica polonica**. 27(2): 135-142.
- Gallant, D.J., B. Bouchet and P.M. Baldwin. 1997. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. **Carbohydrate Polymers**. 32: 177-191.
- Ghasemi, E., M.T.H. Mosavian and M. H.H. Khodaparast. 2008. The Effect of Acetic and Lactic Acid on the Oil Uptake, Texture and Color of Rice(Sang Tarom) During Cooking. **World Applied Sciences Journal**. 4(2):183-187.
- Goodfellow, B.J. and R.H. Wilson. 1990. A Fourier Transform IR study of the gelation of amylose and amylopectin. **Biopolymers**. 30: 1183-1189.
- Goy, R.C., D.D. Britt and O.B.G. Assis. 2009. A Review of the Antimicrobial Activity of Chitosan. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. 19(3): 241-247.
- Gudmundsson, M. 1994. Retrogradation of starch and the role of its components. **Thermochimica acta**. 246: 329-341.
- Gunaratne, A. and H. Corke. 2007. Influence of prior acid treatment on acetylation of wheat, potato and maize starches. **Food Chemistry**. 105: 917-925.

- Hagenimana, A., P. Pu and X. Ding. 2005. Study on thermal and rheological properties of native rice starches and their corresponding mixtures. **Food research international**. 38: 257-266.
- Han, X.Z. and B.R. Hamaker. 2002. Partial leaching of granule-associated proteins from rice starch during alkaline extraction and subsequent gelatinization. **Starch/Stärke**. 54: 454-460.
- Hamaker, B.R. 1994. The influence of rice protein on rice quality, pp. 177-193. In W.E. Maeshall and J.I. Wadsworth, ed. **Rice science and technology**. Marcel Dekker, Inc., New York, U.S.A..
- _____ and V.K. Griffin. 1990. Changing the viscoelastic properties of cooked rice through protein disruption. **Cereal Chemistry**. 67: 261-264.
- _____ and _____. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. **Cereal Chemistry**. 70(4): 377-380.
- Hirashima, M., R. Takahashi and K. Nishinari. 2005. Effects of adding acids before and after gelatinization on the viscoelasticity of cornstarch pastes. **Food Hydrocolloids**. 19: 909-914.
- _____, _____ and _____. 2012. The gelatinization and retrogradation of cornstarch gels in the presence of citric acid. **Food Hydrocolloids**. 27:390-393.
- Jeong, H.Y. and S.T. Lim. 2003. Crystallinity and pasting properties of freeze-thawed high amylose maize starch. **Starch/Stärke**. 511-517.
- Ju, Z.Y., N.S. Hettiarachcy and N. Rath. 2001. Extraction, denaturation and hydrophobic properties of rice flour proteins. **Food and Chemical Toxicology**. 66(2): 229-232.
- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. **Cereal Science Today**. 16: 334-338.

- Kasai, M., S. Tanihata, K. Ohishi, A. Shimada and K. Hatae. 2001. Effect of Acetic acid on the Palatability and Physicochemical Properties of Cooked Rice. **Journal of home economics of Japan**. 52(11): 1091-1097.
- Karim, A.A., M.H. Norziah and C.C. Seow. 2000. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chemistry**. 71: 9-36.
- Kerch, G., F. Rustichelli, P. Ausili, J. Zicans, R. M. Meri and A. Glonin. 2008. Effect of chitosan on physical and chemical process during bread baking and staling. **European Food Research and Technology**. 226: 1459-1464.
- Kerch, G., J. Zicans and R. M. Meri. 2010. The effect of chitosan oligosaccharides on bread staling. **Journal of Cereal Science**. 52: 491-495.
- Kerch, G., A. Glonin, J. Zicans and R.M. Meri. 2012. A DSC study of the effect of ascorbic acid on bound water content and distribution in chitosan-enriched bread rolls during storage. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**. 108: 73-78.
- Kim, J.O., W.S. Kim and M.S. Shin. 1997. A Comparative study on retrogradation of rice starch gels by DSC, X-Ray and α -Amylase Methods. **Starch/Stärke**. 49(2): 71-75.
- Lu, Z.H., L.T. Li, W.H. Min, F. Wang and E. Tatsumi. 2005. The effects of natural fermentation on the physical properties of rice flour and the rheological characteristics of rice noodle. **International Journal of Food Science and Technology**. 40: 985-992.
- Lee, J.W., H.H. Lee and J.W. Rhim. 2000. Shelf life extension of white rice cake and wet noodle by the treatment with chitosan. **Korean Society of Food Science and Technology**. 32(4): 828-833.
- Li, J. and H. Corke. 1999. Physicochemical Properties of Normal and Waxy Job's Tears (*Coix lachrymal-jobi* L.) Starch. **Cereal Chemistry**. 76(3): 413-416.

- Li, X. and W. Xia. 2010. Effects of chitosan on the gel properties of salt-soluble meat proteins from silver carp. **Carbohydrate Polymers**. 82: 958-964.
- Lumdubwong, N. and P.A. Seib. 2000. Rice starch isolation by alkaline protease digestion of wet-milled rice flour. **Journal of Cereal Science**. 31: 63-74.
- Ma, O., M. Lavertu, J. Sun, S. Nguyen, M.D. Buschmann, F.M. Winnik and C.D. Hoemann. 2008. Precise derivatization of structurally distinct chitosans with rhodamine B isothiocyanate. **Carbohydrate Polymers**. 72: 616-624.
- Mahoney, C., M.B. McCullough, J. Sankar and N. Bhattarai. 2012. Nanofibrous structure of chitosan for biomedical applications. **Journal of Nanomedicine and Biotherapeutic Discovery**. 2(1): 1-9
- Majeti, N.V. and R. Kumer. 2000. A review of chitin and chitosan applications. **Reactive and Functional Polymers**. 46: 1-27
- Mathew, S., M. Brahmakumar and T.E. Abraham. 2006. Microstructural imaging and characterization of the mechanical, chemical, thermal and swelling properties of starch-chitosan blend films. **Biopolymers**. 82: 176-187.
- Mathur, N.K. and C.K. Narang. 1990. Chitin and chitosan, versatile polysaccharides from marine animals. **Journal of Chemical Education**. 67(11): 938-942.
- Miles, M.J., V.J. M. Orford, P.D. Orford and S.G. Sim. 1985. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. **Carbohydrate Research**. 135: 257-269.
- Na Phatthalung, K., P. Penroj and S. Samuhasaneetoo. 2008. Shelf life extension of Thai noodles. **Asian Journal of Food and Agro-Industry**. 1(03): 167-173.

- Ngamnikorn, P. and S. Songsermpong. 2011. The effects of freeze,dry,and wet grinding processes on rice flour properties and their energy consumption. **Journal of Food Engineering**. 104: 632-638.
- Nobile, M.A.D., N.D. Benedetto, N. Suriani, A. Conte, M.R. Corbo and M. Sinigaglia. 2009. Combined effects of chitosan and MAP to improve the microbial quality of amaranth homemade fresh pasta. **Food Microbiology**. 26:587-591.
- No, H.K., N.Y. Park, S.H. Lee and S.P. Meyers. 2002. Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. **International Journal of Food Microbiology**. 74: 65-72.
- _____, Meyers SP. 2004. Preparation of tofu using chitosan as a coagulant for improved shelf-life. **International Journal of Food Science and Technology**. 39:133-141.
- Ohishi, K., M. Kasai, A. Shimada and K. Hatae. 2003. Effects of acetic acid added to cooking water on the dissolution of proteins and activation of protease in rice. **Journal of Agricultural and Food chemistry**. 51: 4054-4059.
- _____, _____, _____ and _____. 2007. Effects of acetic acid on the rice gelatinization and pasting properties of rice starch during cooking. **Food Research International**. 40: 224-231.
- Olkku, J. and C.Rha. 1978. Gelatinization of starch and wheat flour starch-a review. **Food Chemistry**. 3: 293-317
- Padhye, V.W. and D.K. Salunkhe. 1979. Extraction and characterization of rice proteins. **Cereal Chemistry**. 56(5): 389-393.

- Pawlak, A. and M. Mucha. 2003. Thermogravimetric and FTIR studies of chitosan blends. **Thermochimica Acta**. 396: 153-166.
- Perera, C. and R. Hoover. 1997. The effect of hydroxypropylation on the structure and physicochemical properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starches. **Food Research International**. 30: 235-243.
- Pomeranz, Y. 1991. **Functional properties of food components**. Academic Press, California.
- Prasert, W. and P. Suwannaporn. 2009. Optimization of Instant Jasmine Rice Process and its Physicochemical Properties. **Journal of Food Engineering**. 95: 54-61.
- Rachtanapun, P. and T. Tangnonthaphat. 2011. Effects of packaging types and storage temperatures on the shelf life of fresh rice noodle under vacuum conditions, **Chiang Mai Journal of Science**. 38(4): 579-589.
- Rao, K.S.V.K., Y.I. Lee and C. Kim. 2011. Thermodynamic and physicochemical properties of chitosan in water+formic acid mixtures at different temperatures. **Asian Chitin Journal**. 7(1): 43-50.
- Rueda, D.R., T. Secall, T. and R.K. Bayer. 1999. Differences in the interaction of water with starch and chitosan films as revealed by infrared spectroscopy and differential scanning calorimetry, **Carbohydrate Polymers**. 40: 49-56.
- Simpson, B.K., N. Gagne and M.V. Simpson. 1994. Bioprocessing of chitin and chitosan. **Fisheries Processing**. 155-173.
- Suwansri, S. and J.-F. Meullenet. 2004. Physicochemical characterization and consumer acceptance by Asian consumers of aromatic Jasmine rice. **Journal of Food Science**. 69(1): 30-37

- Tromp, R.H., Y. Nicolas, F. van de Velde and M. Paques. 2003. Confocal scanning laser microscopy (CLSM) for monitoring food composition, pp. 306-323. In I.E. Tothill, ed. **Rapid and On-Line Instrumentation for Food Quality Assurance**. CRC Press, New York.
- Van Soest, J. and J. Vliegenthart. 1997. Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. **Trends Biotechnol.** 15(6): 208-213.
- Velde, F.V., F. Weinbreck, M.W. Edelman. 2003. Visualisation of biopolymer mixtures using confocal scanning laser microscopy (CLSM) and covalent labelling techniques. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. 31: 159-168.
- Wen, T.N. and D.S. Luthe. 1985. Biochemical characterization of rice glutelin. **Journal of Plant Physiology**. 78: 172-177.
- Wu, W.S., Y.H. Tsai, C.I. Wei, B. Sun Pan and T.C. Huang. 2010. Effect of organic acids on the pasting properties of rice flour from waxy and nonwaxy varieties. **Journal of Food Quality**. 33: 137-154.
- Xu, Y.X., K.M. Kim, M.A. Hanna and D. Nag. 2005. Chitosan-starch composite film: preparation and characterization. **Industrial Crops and Products**. 21: 185-192.
- Xie, L., N. Chen, B. Duan, Z. Zhu and X. Liao. 2008. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. **Journal of Cereal Science**. 47:372-379.
- Yang, Y. and W.Y. Tao. 2008. Effects of lactic acid fermentation on FT-IR and pasting properties of rice flour. **Food Research International**. 41: 937-940.

- Yamaguchi, I., S. Itoh, M. Suzuki, M. Sakane, A. Osaka and J. Tanaka. 2003. The chitosan prepared from crab tendon I: the characterization and the mechanical properties. **Biomaterials**. 24:2031-2036.
- Yen, M.T., J.H. Yang and J.L. Mau. 2009. Physicochemical characterization of chitin and chitosan from crab shells. **Carbohydrate Polymers**. 75: 15-21.
- Yin, J., K. Luo, X. Chen and V.V. Khutoryanskiy. 2006. Miscibility studies of the blends of chitosan with some cellulose ethers. **Carbohydrate polymers**. 63: 238-244.
- Yoenyongbuddhagal, S. and A. Noomhorm. 2002. Effect of physicochemical properties of high-amylose thai rice flours on vermicelli quality. **Cereal Chemistry**. 79(4): 481-485.
- Yu, S., Y. Ma and D.W. Sun. 2009. Impact of amylose content on starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. **Journal of Cereal Science**. 50: 139-144.
- Zhou, Z., K. Robards, S. Helliwell and C. Blanchard. 2002. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**. 37:849-868.
- Zhou, X., B.K. Baik, R. Wang and S.T. Lim. 2010. Retrogradation of waxy and normal corn starch gels by temperature cycling. **Journal of Cereal Science**. 51: 57-65.





ภาคผนวก ก
วิธีการตรวจคุณภาพทางเคมี

1. การหาปริมาณความชื้นในสตาร์ชข้าว, แป้งข้าวและเส้นก๋วยเตี๋ยว (AOAC, 2000 วิธีการที่ 925.10)

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 กระจ่างพร้อมฝาอะลูมิเนียม

1.1.2 ตู้อบลมร้อน

1.1.3 เชตริกเคเตอร์

1.2 วิธีการวิเคราะห์

นำกระจ่างพร้อมฝาอะลูมิเนียมอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในแชตริกเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งจนมีค่าที่แน่นอน จากนั้นใส่ตัวอย่างประมาณ 2-3 กรัม นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสพร้อมฝาในตู้อบ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยเปิดฝาไว้ เมื่อครบกำหนดเวลา ทำการปิดฝาแล้วมาทิ้งไว้ให้เย็นในแชตริกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักกระจ่างพร้อมฝาอะลูมิเนียมพร้อมฝา นำไปอบซ้ำอีกครั้งละ 30 นาที จนได้น้ำหนักคงที่ เมื่อผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้ 2 ครั้งติดต่อกันต่างกันไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม ถือเป็นน้ำหนักสุดท้ายที่ได้ คำนวณหาร้อยละความชื้นในตัวอย่าง

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในสตาร์ชข้าวและแป้งข้าว (AOAC, 2000 วิธีการที่ 979.09)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่องย่อยสลาย Buchi

2.1.2 หลอด kjeldahl สำหรับย่อย

2.1.3 อุปกรณ์สำหรับย่อย

2.1.4 เครื่องกลั่นอัตโนมัติ Buchi

2.2 สารเคมี

2.2.1 กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้นร้อยละ 95

2.2.2 โพแทสเซียมซัลเฟต

2.2.3 คอปเปอร์ซัลเฟต

2.2.4 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 40

2.2.5 สารละลายกรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4

2.2.6 อินดิเคเตอร์ (ผสมเมทิลเรด 0.02 กรัม และโบรโมคริสซอลกรีน 0.1 กรัม ในเอทานอล 100 มิลลิลิตร)

2.2.7 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์แมล

2.3 วิธีการวิเคราะห์

2.3.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในหลอดย่อย โดยระวังไม่ให้ติดข้างหลอด

2.3.2 ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา ประกอบด้วย โพแทสเซียมซัลเฟต 10 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 กรัม

2.3.3 ใส่ลูกแก้วกันเดือด (glass bead) 2 เม็ด และเติมกรดซัลฟิวริก 20 มิลลิลิตร

2.3.4 ปิดหลอดย่อยให้แน่น แล้วนำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องย่อยทันที ระวังไม่ควรรีให้อากาศระเหยออกจากหลอดย่อย

2.3.5 ปรับให้ความร้อนที่เครื่องย่อย ย่อยจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียวใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติมน้ำดีไอออนไนซ์ 60 มิลลิลิตร (หรือเติมเป็น 3 เท่าของกรด)

2.3.6 นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องกลั่น และเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 40 ประมาณ 100 มิลลิลิตร จนสารละลายในหลอดย่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

2.3.7 รองรับสิ่งกลั่นด้วยขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 25 มิลลิลิตร ทำการกลั่นประมาณ 5 นาที

2.3.8 หยดอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ลงในสิ่งกลั่น จากนั้นนำไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์แมล จนสารละลายเปลี่ยนสีจากสีชมพูไปเป็นสีเทาอ่อน จึงถือว่าถึงจุดยุติ บันทึกปริมาณกรดที่ใช้ไป แล้วนำมาคำนวณหาร้อยละของปริมาณไนโตรเจน ทำแบบลงค์ควบคู่ไปด้วยพร้อมกับตัวอย่างโดยไม่มีตัวอย่างในหลอด

2.4 วิธีการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละของปริมาณไนโตรเจน} &= \frac{(S - B) \times N \times 1.401}{W} \\ \text{ร้อยละของโปรตีน} &= \text{ร้อยละของปริมาณไนโตรเจน} \times 5.95 \end{aligned}$$

เมื่อ S หมายถึง ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับสิ่งกลั่น (มิลลิลิตร)

B หมายถึง ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบลнк (มิลลิลิตร)

N หมายถึง ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน (นอร์แมล)

W หมายถึง น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมันในสตร้าข้าวและแป้งข้าว (AOAC, 2000 วิธีการที่ 920.39)

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 เครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec System HT2, 1045 Extraction unit)

3.1.2 เครื่องทำความเย็น

3.1.3 ทิมเบิล (thimble)

3.1.4 ถ้วยสกัด (extraction cup)

3.1.5 เดซิเคเตอร์ (desiccator)

3.1.6 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

3.2 สารเคมี

ปิโตรเลียมอีเทอร์

3.3 วิธีการวิเคราะห์

3.3.1 อบถ้วยสกัด (extraction cup) และทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

(W1)

3.3.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม (W2) ลงบนกระดาษกรอง ห่อให้มิดชิดและมีขนาดพอดีที่สามารถใส่ลงในทิมเบิล (thimble) จากนั้นจึงใส่ตัวอย่างที่ห่อด้วยกระดาษกรองลงในทิมเบิล

3.3.3 นำทิมเบิลใส่ลงในถ้วยสกัด และเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ปริมาตร 45 มิลลิลิตร ลงในถ้วยสกัด

3.3.4 นำถ้วยสกัดเข้าเครื่องวิเคราะห์ไขมัน ทำการสกัดเป็นเวลา 15 นาที และทำการชะล้างเป็นเวลา 45 นาที แล้วนำทิมเบิลออกจากถ้วยสกัด

3.3.5 นำถ้วยสกัดที่มีไขมันของตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป จากนั้นทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W3)

3.4 วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละปริมาณไขมัน} = \frac{(W3 - W1) \times 100}{W2}$$

เมื่อ	W1	หมายถึง น้ำหนักถ้วยสกัด (กรัม)
	W2	หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างที่วิเคราะห์ (กรัม)
	W3	หมายถึง น้ำหนักถ้วยสกัดและไขมันที่สกัดได้ (กรัม)

4. การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสในสตาร์ชข้าวและแป้งข้าว (วรรณิณี, 2555)

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.1.1 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

4.1.2 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

4.2 สารเคมี

4.2.1 เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95

4.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์แมล (เตรียมโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม ละลายในน้ำดีไอออนซ์ 800 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำดีไอออนซ์จนมีปริมาตรเป็น 1 ลิตร)

4.2.3 กรดอะซิติกความเข้มข้น 1 โมลาร์ (เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเข้มข้นปริมาตร 60 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำดีไอออนซ์ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำดีไอออนซ์จนมีปริมาตรเป็น 1 ลิตร)

4.2.4 แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง

4.2.5 สารละลายไอโอดีน (เตรียมโดยชั่งไอโอดีน 0.2 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม ผสมกัน ละลายสารทั้งสองด้วยน้ำดีไอออนซ์แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำดีไอออนซ์ให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเก็บไว้ในขวดสีชา)

4.3 วิธีการวิเคราะห์

4.3.1 ชั่งตัวอย่างแป้งข้าวและสตาร์ชข้าวบดละเอียดผ่าน 100 เมช น้ำหนัก 0.1000 กรัม ลงในขวดรูปชมพูนขนาด 50 มิลลิลิตร

4.3.2 เติมน้ำ 1 มิลลิลิตร ละลายตัวอย่างให้กระจายออก ระวังอย่าให้ตัวอย่างเกาะบริเวณข้างขวด

4.3.3 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ ปริมาณ 9 มิลลิลิตร

4.3.4 ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เกิดเจลาตินไนซ์

4.3.5 เทตัวอย่างลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วใช้น้ำดีไอออนซ์ล้าง 2-3 ครั้ง จากนั้นเติมน้ำดีไอออนซ์เพื่อปรับปริมาตรให้ได้เป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากันดี

4.3.6 ปิเปตสารละลายน้ำแป้งปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร (ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร มีแป้งข้าว 100 มิลลิกรัม เมื่อปิเปตมาสำหรับวิเคราะห์แอมิโลส 5 มิลลิลิตร จะมีแป้งข้าวในสารละลายนั้น 5 มิลลิกรัม)

4.3.7 เติมกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 1 มิลลิลิตรและสารละลายไอโอดีนจำนวน 2 มิลลิลิตร

4.3.8 เติมน้ำดีไอออนซ์เพื่อปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที

4.3.9 ทำเช่นเดียวกันอีก แต่ไม่ใส่สารตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแบลนด์

4.3.10 วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยปรับค่าแบลนด์ให้เป็นศูนย์

4.3.11 นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละของปริมาณแอมิโลส โดยเปรียบเทียบจากกราฟมาตรฐานของสารละลายแอมิโลสบริสุทธิ์

4.4 การสร้างกราฟมาตรฐาน

4.4.1 ชั่งแอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง 0.0400 กรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และทำตามขั้นตอนที่ 4.3.2-4.3.5

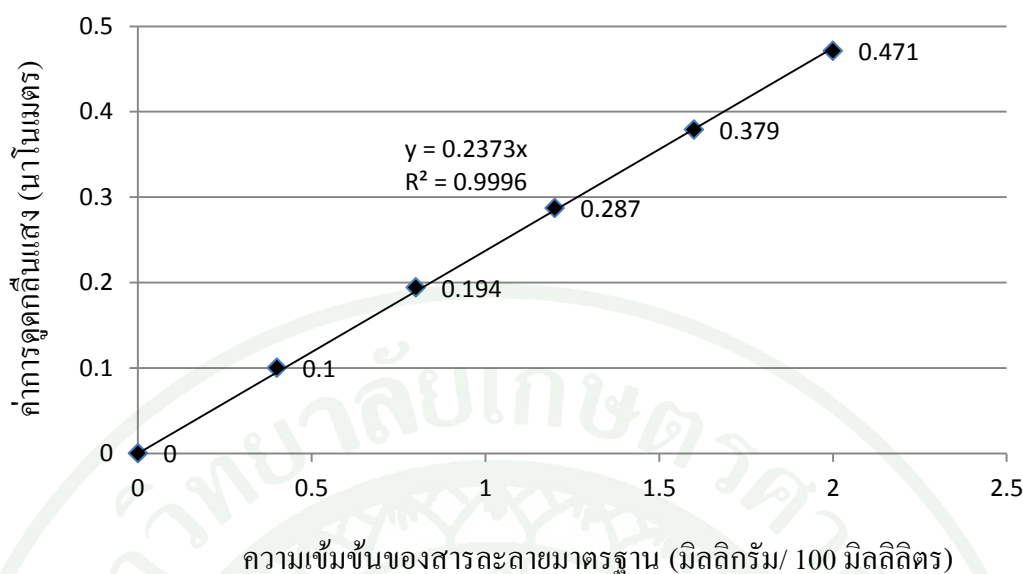
4.4.2 ปิเปตสารละลายมาตรฐานแอมิโลสที่เตรียมไว้ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำดีไอออนในช่องประมาณ 70 มิลลิลิตร

4.4.3 เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำดีไอออนในช่อง เขย่าให้สารละลายเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 20 นาที

4.4.4 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร และเขียนกราฟระหว่างปริมาณแอมิโลส (ในสารละลาย 100 มิลลิลิตร มีปริมาณแอมิโลส 40 มิลลิกรัม ดังนั้นเมื่อปิเปตมา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตรจะมีปริมาณแอมิโลส 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 2 มิลลิกรัม) และนำมาคำนวณร้อยละของปริมาณแอมิโลส

4.5 วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณแอมิโลส} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่อ่านได้จากกราฟแอมิโลสมาตรฐาน (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)} \times 10}{5 \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง (น้ำหนักแห้ง) (กรัม)}}$$



ภาพผนวกที่ ก1 ปริมาณแอมิโลสและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานแอมิโลสที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

5. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในสตราซ์ข้าวและแป้งข้าว (AOAC, 2000 วิธีการที่ 923.03)

5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

5.1.1 เตาเผาอุณหภูมิสูง (muffle furnace)

5.1.2 เตาไฟฟ้าให้ความร้อนแบบแผ่นราบ

5.1.3 เป้า (crucible)

5.1.4 เชชเคเตอร์

5.2 วิธีการวิเคราะห์

5.2.1 เผลถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาอุณหภูมิสูง ทิ้งไว้ให้เย็นในแชชเคเตอร์ และชั่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน

5.2.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบแล้วนำไปเผาด้วยไฟอ่อน จนหมดควัน

5.2.3 นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าเป็นสีขาวหรือสีเทา

5.2.4 นำด้วยกระเบื้องเคลือบออกมาใส่ในเครื่องเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

5.3 วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณเก่า (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{(W2 - W0) \times 100}{(W1 - W0)}$$

เมื่อ W0 หมายถึง น้ำหนักของเบ้า หน่วยเป็นกรัม

W1 หมายถึง น้ำหนักของเบ้าและตัวอย่างก่อนเผา หน่วยเป็นกรัม

W2 หมายถึง น้ำหนักของเบ้าและตัวอย่างหลังเผา หน่วยเป็นกรัม

6. การหาค่าความเป็นกรดต่างในเส้นก๋วยเตี๋ยว (AOAC, 2000 วิธีการที่ 925.10)

6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่อง pH meter

6.2 วิธีการวิเคราะห์

6.2.1 นำตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวสดหนัก 10 กรัม นำมาบีบให้ละเอียด หลังจากนั้นเติมน้ำดีไอออนซ์ 100 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟรอยด์

6.2.2 ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที โดยคนทุกๆ 10 นาที และตั้งทิ้งไว้อีก 10 นาทีให้ตกตะกอน

6.2.3 นำส่วนใสไปวัดค่าความเป็นกรดด้วยเครื่อง pH meter



1. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด (Li and Corke, 1999)

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid visco analyzer, RVA4, Newport Scientific Instrument & Engineering, Australia)

1.2 วิธีการวิเคราะห์

1.2.1 นำตัวอย่างแป้งข้าวและสตาร์ชข้าวที่ผ่านการวิเคราะห์หาความชื้นตามวิธี AOAC (2000) ก่อนการวิเคราะห์ มาชั่งน้ำหนักแป้งข้าว (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) และน้ำหนักน้ำใส่ลงในถ้วยทรงกระบอก โดยดูปริมาณแป้งข้าวที่ใช้กับน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของแป้งข้าว ตามตารางที่ 1 ในวิธี AACC 2000, วิธีการที่ 61-02

1.2.2 ใช้ใบพายผสมตัวอย่างในถ้วยทรงกระบอกด้วยการยกขึ้นลง 10 ครั้งอย่าง

1.2.3 สวมใบพายที่อยู่ในถ้วยทรงกระบอกเข้ากับที่ยึด โดยให้ใบพายอยู่กึ่งกลางถ้วย แล้วเริ่มต้นการวิเคราะห์โดยกดมอเตอร์ของเครื่องลง โดยตั้งสภาวะการตรวจสอบสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าและสตาร์ชข้าวเจ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (นาที่: วินาที)
50.0 (อุณหภูมิเริ่มต้น)	0:00
50.0	2: 00
95.0	9: 50
95.0	14: 50
50.0	22: 00
สิ้นสุดการทดสอบ	27: 00

หมายเหตุ ความเร็วรอบเริ่มต้นที่ใช้คือ 960 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นใช้ความเร็วรอบเท่ากับ 160 รอบต่อนาทีจนถึงที่ตลอดการทดสอบ

1.2.4 บันทึกอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุดขณะให้ความร้อน (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความหนืดลดลง (breakdown) เป็นความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและต่ำสุด และค่าเซตแบค (setback) เป็นความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายและความหนืดต่ำสุด

เมื่อ	pasting temperature	คือ อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนเป็นลักษณะหนืดข้น (paste)
	peak viscosity	คือ ความหนืดสูงสุดของการเปลี่ยนเป็นลักษณะหนืดข้นในช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส (อาร์วียู)
	time to peak	คือ ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงความหนืดสูงสุด (นาที)
	temperature at peak	คือ อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด (องศาเซลเซียส)
	break down	คือ ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (อาร์วียู)
	set back	คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (อาร์วียู)
	final viscosity	คือ ความหนืดสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ (อาร์วียู)



ตารางผนวกที่ ค1 ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ, สี, กลิ่น, รสชาติ และ ความชอบรวมของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0%, 0.2%, 0.3%, 0.4% และ 0.5% (v/v) แทนการใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายโดยให้คะแนนเป็นความเข้มข้นระดับ 1-9 (Hedonic test) และใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

สถานะการทดลอง	ลักษณะ					
	ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
กรดอะซิติก 0%	6.57±1.59 ^a	6.60±1.33 ^a	5.70±1.97 ^a	5.80±1.71 ^b	5.90±1.58 ^a	5.87±1.20 ^a
กรดอะซิติก 0.2%	6.27±1.51 ^a	6.33±1.49 ^a	5.30±1.88 ^a	5.40±1.87 ^{ab}	4.93±1.48 ^a	5.70±1.06 ^a
กรดอะซิติก 0.3%	6.20±1.56 ^a	6.40±1.30 ^a	5.20±1.79 ^a	5.00±1.68 ^{ab}	5.27±1.70 ^a	5.43±1.50 ^a
กรดอะซิติก 0.4%	6.37±1.73 ^a	6.47±1.46 ^a	5.27±1.60 ^a	5.07±1.68 ^{ab}	5.23±1.89 ^a	5.33±1.71 ^a
กรดอะซิติก 0.5%	6.37±1.56 ^a	6.37±1.33 ^a	5.13±1.72 ^a	4.50±2.06 ^a	5.40±1.85 ^a	5.43±1.70 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ค2 ทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยการหาความแตกต่างแบบ Triangle test ระหว่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0% กับ 0.3% (v/v) และ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0% กับ 0.4% (v/v) แทนการใช้น้ำดีไอออนซ์เป็นตัวทำละลายและใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

สถานะการทดลอง	จำนวนคนที่ตอบถูก	จำนวนคนที่ตอบผิด	ผลการทดสอบ
น้ำดีไอออนซ์และกรดอะซิติก 0.3%	14	16	ไม่แตกต่าง
น้ำดีไอออนซ์และกรดอะซิติก 0.4%	19	11	แตกต่าง

แบบประเมินทางประสาทสัมผัส

ชุดที่ _____

ชื่อ _____ วันที่ _____ 5 ก.ค. 2555 _____

ผลิตภัณฑ์ _____ เส้นก๋วยเตี๋ยวสด _____

ข้อแนะนำ: กรุณาชิมตัวอย่างและให้คะแนนความชอบของแต่ละตัวอย่างในแต่ละปัจจัยที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดให้

1=ไม่ชอบมากที่สุด

2=ไม่ชอบมาก

3=ไม่ชอบปานกลาง

4=ไม่ชอบเล็กน้อย

5=เฉยๆ

6=ชอบเล็กน้อย

7=ชอบปานกลาง

8=ชอบมาก

9=ชอบมากที่สุด

คะแนนความชอบของตัวอย่าง

หมายเลขตัวอย่าง _____

ลักษณะปรากฏ _____

สี _____

กลิ่น _____

รสชาติ _____

เนื้อสัมผัส _____

ความชอบโดยรวม _____

ข้อเสนอแนะ _____

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

แบบประเมินทางประสาทสัมผัส

ชุดที่ _____

ชื่อ _____ วันที่ _____ 25 ก.ค. 2555 _____

ผลิตภัณฑ์ _____ เส้นก๊วยเตี๋ยสด _____

ข้อแนะนำ: ท่านจะได้รับตัวอย่างผลิตภัณฑ์ 3 ตัวอย่าง โดยมี 2 ตัวอย่างที่เหมือนกัน และ 1 ตัวอย่างที่แตกต่างกันออกไป กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวา แล้วเลือกว่าตัวอย่างไหนแตกต่างจากอีก 2 ตัวอย่าง โดยการทำเครื่องหมาย ✓ ให้รหัสตัวอย่างนั้น กรุณาบ้วนปากระหว่างชิมตัวอย่าง

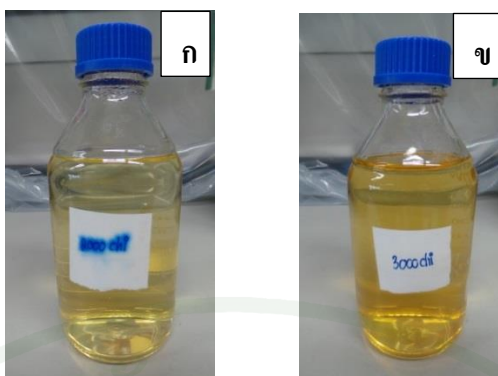
รหัส _____

ข้อเสนอแนะ _____

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ



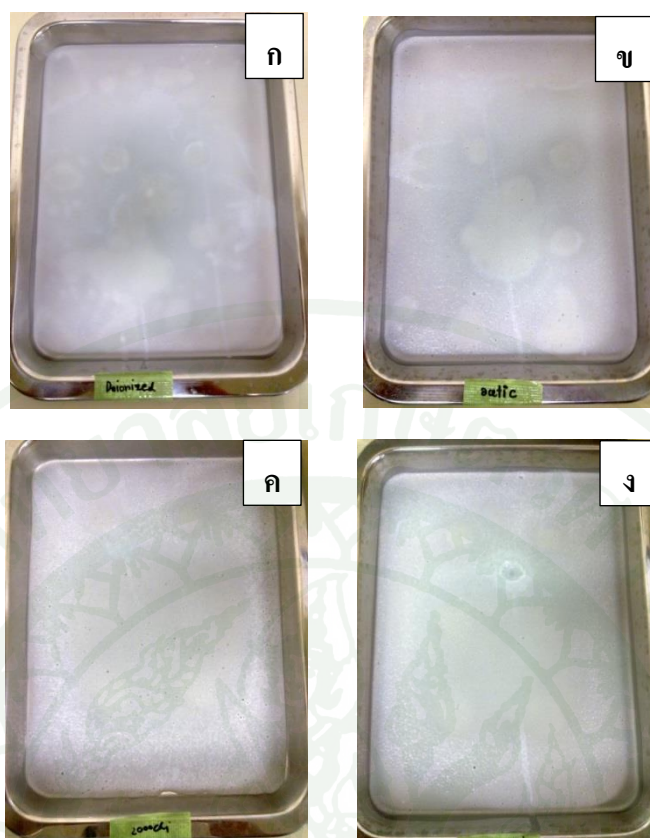
ภาคผนวก ง
ข้อมูลประกอบผลการทดลอง



ภาพผนวกที่ ๑1 สีของสารละลายไคโตซาน ก) ความเข้มข้น 0.33% และ ข) ความเข้มข้น 0.50%



ภาพผนวกที่ ๑2 ลักษณะเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมจากแป้งข้าวโดยใช้ ก) น้ำดีไอออนซ์ ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% ง) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย



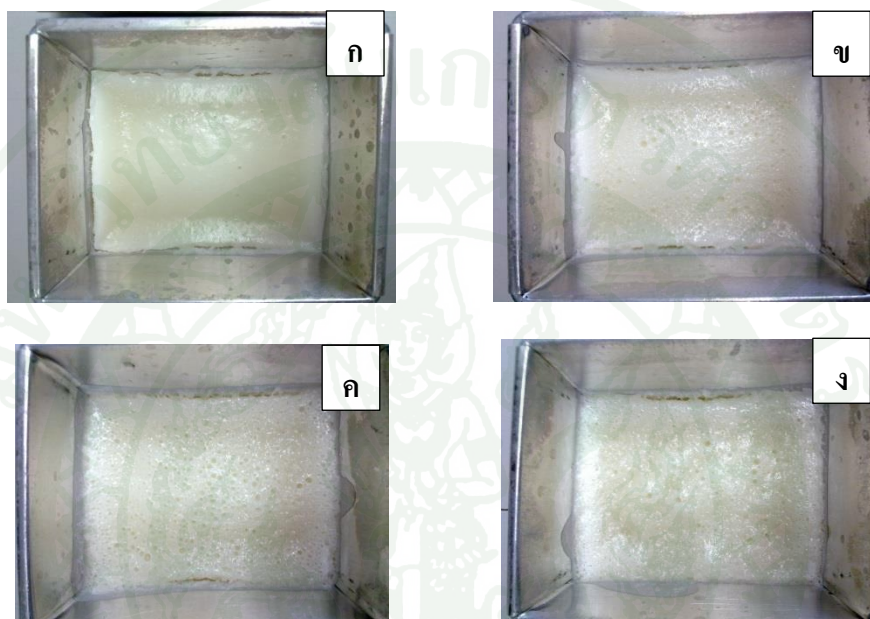
ภาพผนวกที่ 33 ลักษณะเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวโดยใช้ ก) น้ำดีไอออนไนซ์
ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น
0.33% ง) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย



ภาพผนวกที่ 34 ลักษณะการบรรจุตัวอย่างเพื่อใช้ในการวัดสีเส้นก๊วยเตี๋ยวสด

ตารางผนวกที่ ง1 ค่าสีของถุงพลาสติกโพลิเอทิลีนและกระดาษสีขาวที่ใช้บรรจุตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยว

พารามิเตอร์	L*	a*	b*	ค่าความขาว
	89.19±0.87	1.95±0.05	-10.23±0.63	84.98±0.93



ภาพผนวกที่ ง5 ลักษณะเจลแข็งที่เตรียมจากแป้งข้าวโดยใช้ ก) น้ำดีไอออนไนซ์ ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% ง) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เป็นตัวทำละลาย



ภาพผนวกที่ ง6 ลักษณะเจลแข็งที่ใช้ในการวัดเนื้อสัมผัส



ภาพผนวกที่ ๗ ลักษณะของเชื้อที่พบบนเส้นก๊วยเตี๋ยวเมื่อมีการเสื่อมเสีย



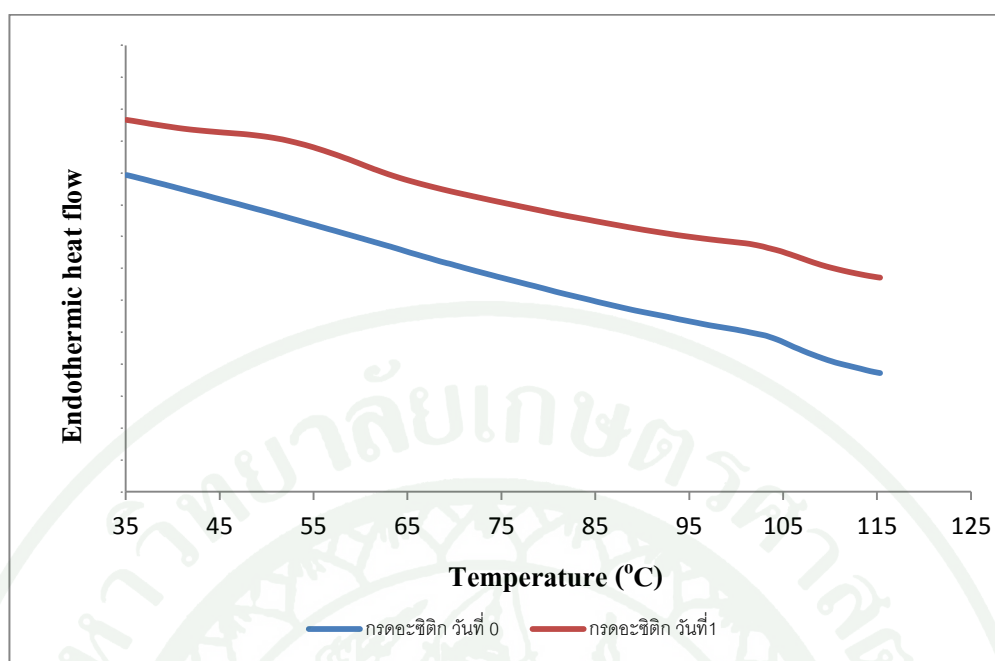
ภาพผนวกที่ ๘ ลักษณะการบรรจุตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันในเส้นก๊วยเตี๋ยวสด โดยจะทำการเก็บรักษาที่ตู้บ่มอุณหภูมิ 30°C และตู้แช่อุณหภูมิ 4°C

ตารางผนวกที่ ๒ อุณหภูมิใจกลางของเจลแป็งก่อนวัดเนื้อสัมผัสเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C

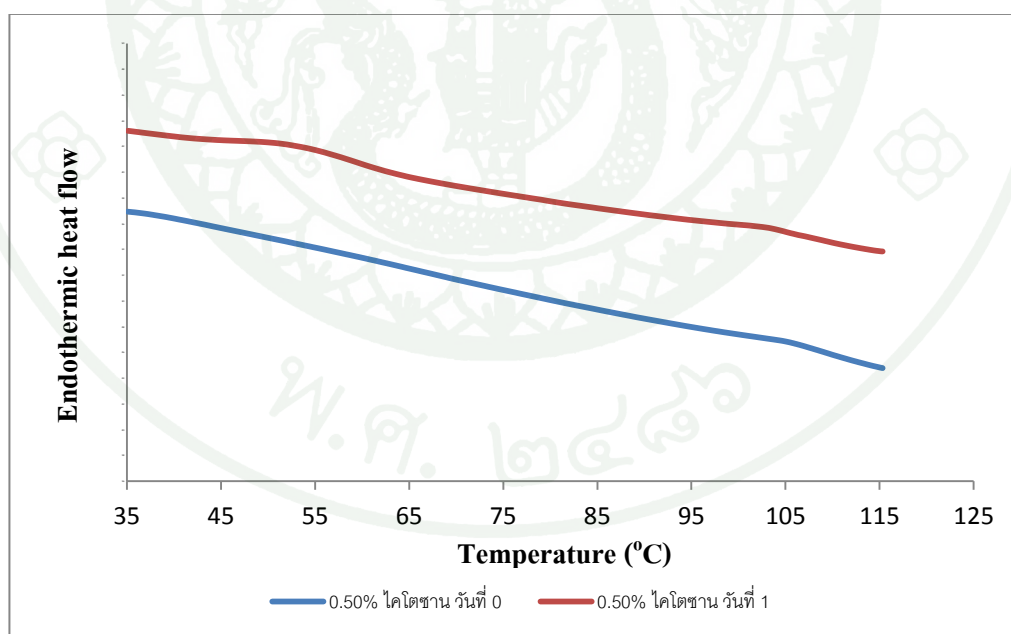
วันที่	น้ำดีไอออนไนซ์	กรดอะซิติก	สารละลายไคโตซาน (0.33%)	สารละลายไคโตซาน (0.50%)
0	27.44±0.16	27.17±0.07	27.24±0.06	27.20±0.08
1	27.36±0.54	27.05±0.53	26.87±0.47	26.53±0.10
3		27.23±0.41	27.54±0.71	27.61±0.94
5		27.44±0.77	26.91±1.17	27.02±0.40

ตารางผนวกที่ ๓ อุณหภูมิใจกลางของเจลแป็งก่อนวัดเนื้อสัมผัสเมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C
โดยนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

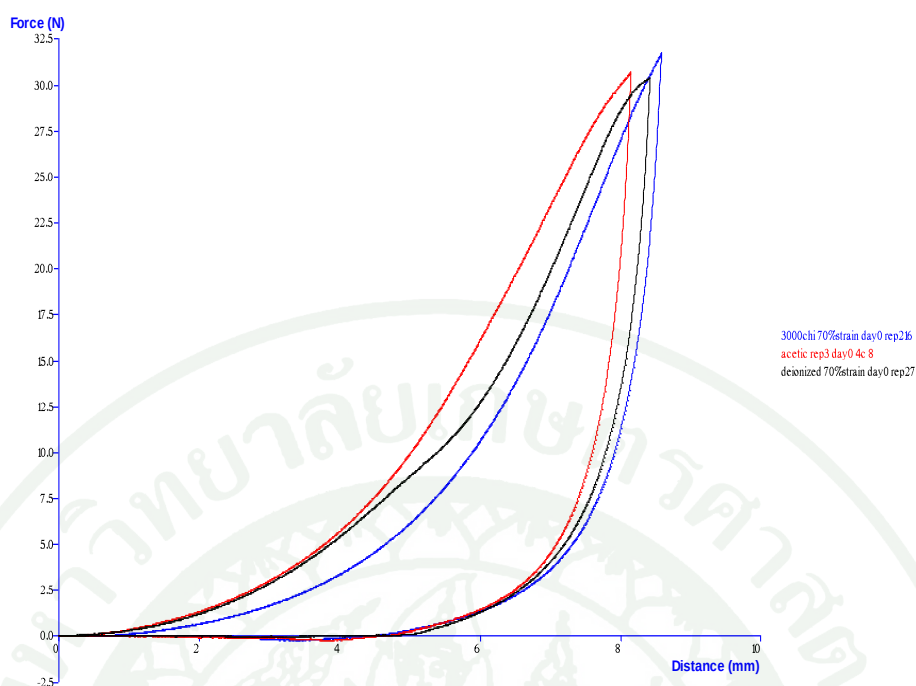
	น้ำดีไอออนไนซ์	กรดอะซิติก	สารละลายไคโตซาน (0.50%)
วันที่ 0	26.24±1.08	26.20±1.04	26.14±1.03
วันที่ 1	26.13±0.85	26.12±0.83	26.05±0.93
วันที่ 7	26.38±0.73	26.29±0.64	26.11±0.42
วันที่ 14		25.60±0.71	25.52±0.58



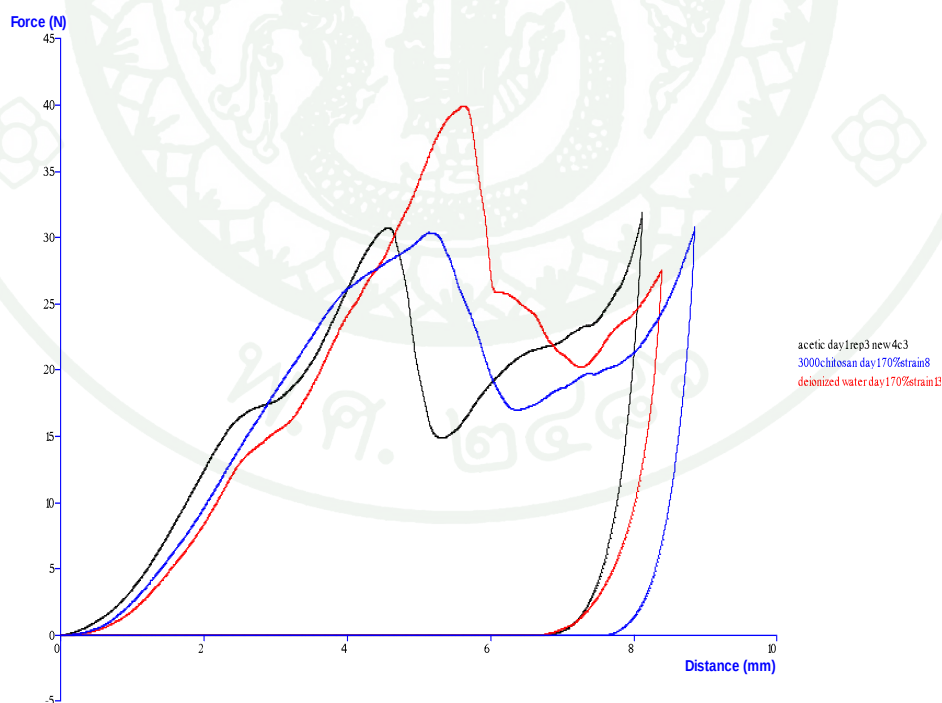
ภาพผนวกที่ 11 สมบัติทางความร้อนของเส้นกัวยืดที่ใช้กรดอะซิติกตัวทำละลาย เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 และ 1 วัน



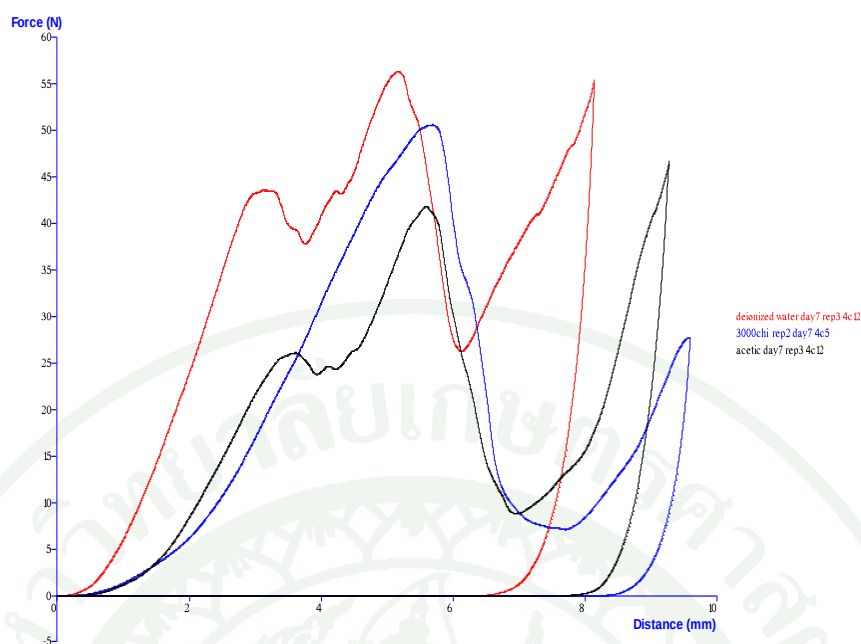
ภาพผนวกที่ 12 สมบัติทางความร้อนของเส้นกัวยืดที่ใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50% เมื่อทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 และ 1 วัน



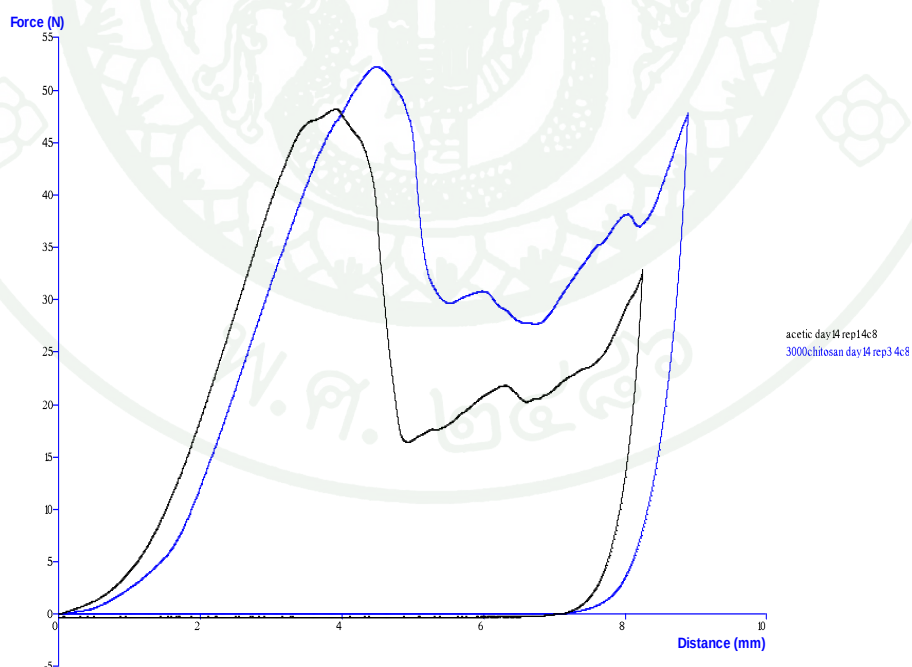
ภาพผนวกที่ 13 กราฟการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเจลแป้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0 วัน



ภาพผนวกที่ 14 กราฟการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเจลแป้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน



ภาพผนวกที่ 15 กราฟการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเจลแป้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน



ภาพผนวกที่ 16 กราฟการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเจลแป้งเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน



ตารางผนวกที่ ๑1 ค่า L^* , a^* และ b^* ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็น เวลา 0 และ 1 วัน

พารามิเตอร์	สภาวะการทดลอง	วันที่เก็บรักษา	
		0	1
L^*	น้ำดีไอออนไนซ์	88.30±0.16aC	88.98±0.17bC
	กรดอะซิติก	88.68±0.17aD	89.20±0.05bD
	ไคโตซาน (0.33%)	87.64±0.06aB	88.79±0.17bB
	ไคโตซาน (0.50%)	86.76±0.13aA	88.26±0.07bA
a^*	น้ำดีไอออนไนซ์	-1.43±0.03aC	-1.39±0.10aB
	กรดอะซิติก	-1.25±0.03aA	-1.21±0.01aA
	ไคโตซาน (0.33%)	-1.35±0.03aB	-1.51±0.03bC
	ไคโตซาน (0.50%)	-1.47±0.04aC	-1.54±0.04bC
b^*	น้ำดีไอออนไนซ์	3.95±0.17aB	3.99±0.57aB
	กรดอะซิติก	2.23±0.13aA	2.40±0.20aA
	ไคโตซาน (0.33%)	4.49±0.16aC	6.02±0.12bC
	ไคโตซาน (0.50%)	7.29±0.19aD	8.13±0.14bD

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

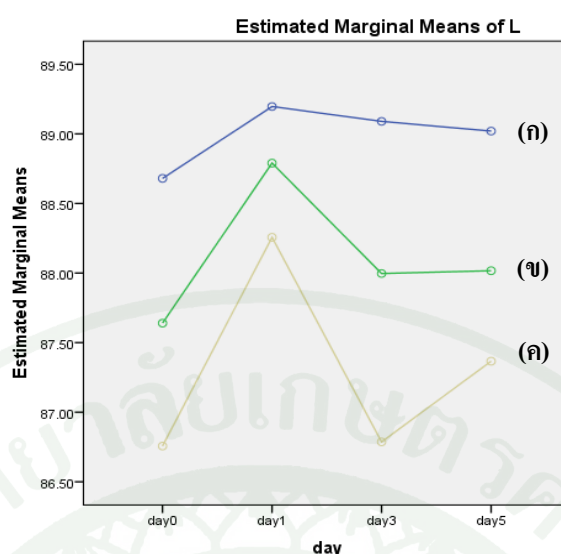
ตารางผนวกที่ ๑2 ค่า L^* , a^* และ b^* ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็น เวลา 0, 1, 3 และ 5 วัน

พารามิเตอร์	สภาวะการทดลอง	วันที่เก็บรักษา			
		0	1	3	5
L^*	กรดอะซิติก	88.68±0.17aC	89.20±0.05bC	89.09±0.29bC	89.02±0.08bC
	ไคโตซาน (0.33%)	87.64±0.06aB	88.79±0.17cB	88.00±0.11bB	88.02±0.23bB
	ไคโตซาน (0.50%)	86.76±0.13aA	88.26±0.07cA	86.79±0.28aA	87.37±0.19bA
a^*	กรดอะซิติก	-1.25±0.03aA	-1.21±0.01aA	-1.26±0.09aA	-1.26±0.04aA
	ไคโตซาน (0.33%)	-1.35±0.03aB	-1.51±0.03cB	-1.35±0.01aB	-1.46±0.03bB
	ไคโตซาน (0.50%)	-1.47±0.04aC	-1.54±0.04bB	-1.49±0.03aC	-1.47±0.01aB
b^*	กรดอะซิติก	2.23±0.13aA	2.40±0.20aA	2.04±0.18aA	2.10±0.05aA
	ไคโตซาน (0.33%)	4.49±0.16aB	6.02±0.12dB	4.96±0.20bB	5.94±0.22bC
	ไคโตซาน (0.50%)	7.29±0.19aC	8.13±0.14bC	8.40±0.13bC	8.23±0.41bC

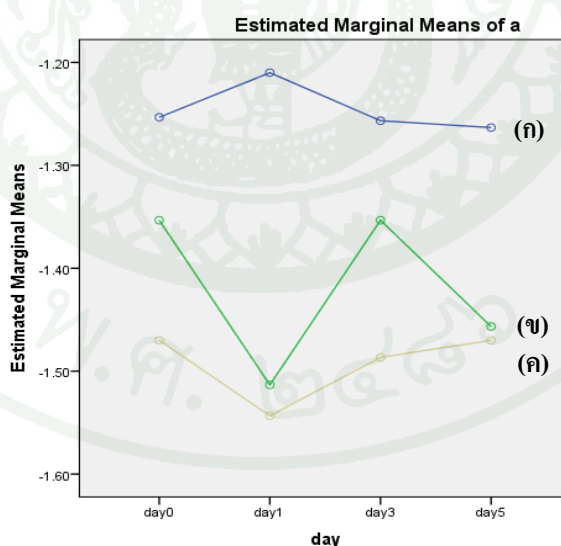
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

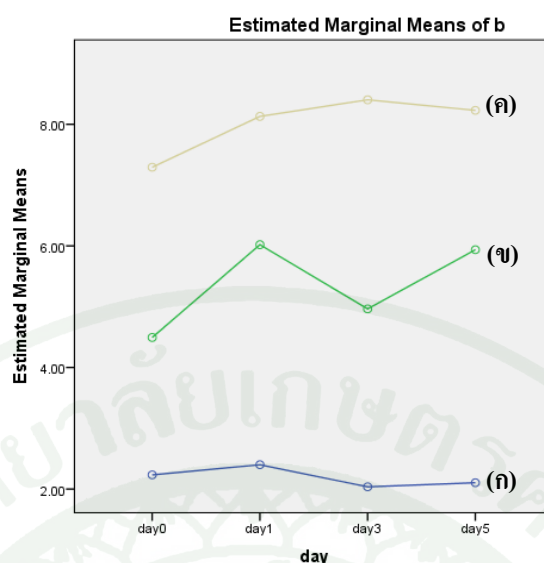
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพผนวกที่ จ1 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความสว่าง (L^*) ระหว่างวันที่เก็บรักษา (5 วัน) และสถานะในการทดลองของเส้นกล้วยเดี่ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส — (ก) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ข) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%



ภาพผนวกที่ จ2 กราฟความสัมพันธ์ของค่า a^* ระหว่างวันที่เก็บรักษา (5 วัน) และสถานะในการทดลองของเส้นกล้วยเดี่ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส — (ก) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ข) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%



ภาพผนวกที่ จ3 กราฟความสัมพันธ์ของค่า b* ระหว่างวันที่เก็บรักษา (5 วัน) และสถานะในการทดลองของเส้นก้วยเตี่ยวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส — (ก) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33% — (ข) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.33% — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

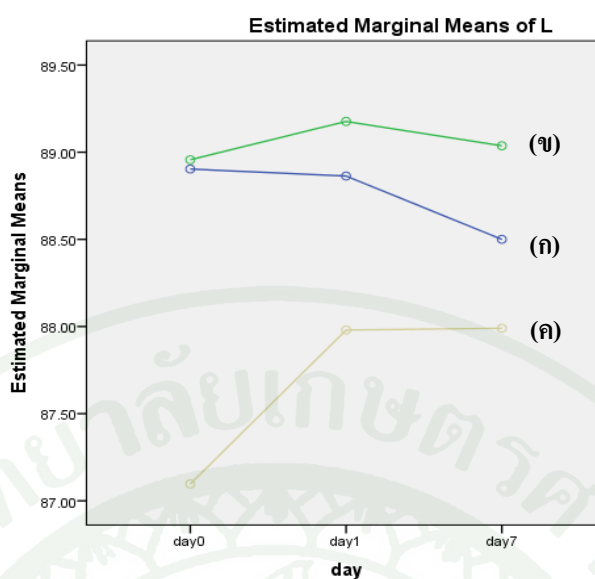
ตารางผนวกที่ จ3 ค่า L* ของเส้นก้วยเตี่ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1 และ 7 วัน

สถานะการทดลอง	วันที่เก็บรักษา		
	0	1	7
น้ำดีไอออไนซ์	88.90±0.30aB	88.86±0.20aB	88.50±0.70aB
กรดอะซิติก	88.96±0.15aB	89.18±0.14aB	89.04±0.33aC
ไคโตซาน (0.50%)	87.10±0.19aA	87.98±0.26bA	87.99±0.06bA

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพผนวกที่ ๔4 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความสว่าง (L^*) ระหว่างวันที่เก็บรักษา (7 วัน) และสถานะในการทดลองของเส้นกัญเขียวเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

— (ก) น้ำดีไอออนไนซ์ — (ข) สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 0.33%
 — (ค) สารละลายไคโตซานความเข้มข้น 0.50%

ตารางผนวกที่ ๑4 ค่า a^* และ b^* ของเส้นก๊วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0, 1 และ 7 วัน

พารามิเตอร์	วัน	สภาวะการทดลอง			ค่าเฉลี่ยของทุกสภาวะในแต่ละวัน
		น้ำดีไอออไนซ์	กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.50%)	
a^*	0	-1.51±0.06	-1.21±0.03	-1.56±0.02	-1.43B
	1	-1.40±0.04	-1.20±0.06	-1.54±0.02	-1.38A
	7	-1.44±0.03	-1.20±0.02	-1.54±0.03	-1.39A
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะในช่วงการเก็บรักษา	-1.45b	-1.21a	-1.55c	
b^*	0	1.51±0.06	1.21±0.03	1.56±0.02	1.43B
	1	1.40±0.04	1.20±0.06	1.54±0.02	1.38A
	7	1.44±0.03	1.20±0.02	1.54±0.03	1.39A
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละสภาวะในช่วงการเก็บรักษา	1.45b	1.21a	1.55c	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑5 ค่า L^* , a^* และ b^* ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็น เวลา 0, 1, 7 และ 14 วัน

พารามิเตอร์	วัน	วันที่เก็บรักษา		ค่าเฉลี่ยของทุกสภาวะ ในแต่ละวัน
		กรดอะซิติก	ไคโตซาน (0.50%)	
L^*	0	88.96±0.15	87.10±0.19	88.03A
	1	89.18±0.14	87.98±0.26	88.58B
	7	89.04±0.33	87.99±0.06	88.51B
	14	88.63±0.33	87.34±0.39	87.99A
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	88.95b	87.60a	
a^*	0	-1.21±0.03	-1.56±0.02	-1.39B
	1	-1.20±0.06	-1.54±0.02	-1.37B
	7	-1.20±0.02	-1.54±0.03	-1.37B
	14	-1.10±0.07	-1.51±0.03	-1.31A
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	-1.18a	-1.54b	
b^*	0	2.23±0.20	7.82±0.13	5.02A
	1	2.60±0.24	8.06±0.21	5.33B
	7	2.57±0.10	7.68±0.14	5.13AB
	14	2.20±0.23	7.63±0.08	4.95A
	ค่าเฉลี่ยของแต่ละ สภาวะในช่วง การเก็บรักษา	2.40a	7.81b	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อักษรตัวพิมพ์เล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

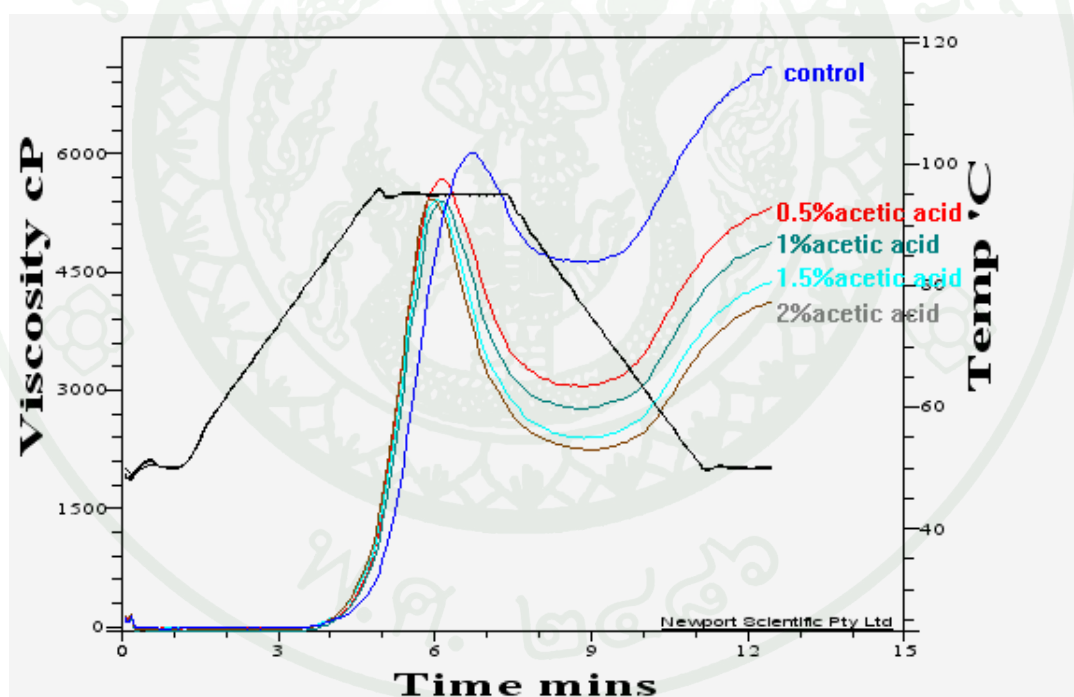
อักษรตัวพิมพ์ใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาคผนวก จ
ผลของกรดอะซิติกต่อสมบัติทางด้านความเหนียวของแป้งข้าวเจ้า
และคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวสด

สมบัติทางด้านการหนืดของแป้งข้าวเจ้าและคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวสด

จากผลการทดลองพบว่าการเติมสารละลายกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 0%, 0.5%, 1.0% และ 2% ในแป้งข้าวเจ้าจะมีลักษณะของกราฟดังภาพผนวกที่ ๑๑ โดยพบว่า ในช่วงแรกของการให้ความร้อนกับตัวอย่างจะไม่มี ความหนืดเกิดขึ้นเนื่องจากเป็นช่วงที่เม็ดแป้งเริ่มดูดน้ำ และเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของตัวอย่างทั้ง 5 สภาวะ พบว่า การเติมสารละลายกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้น 0.5% และ 1% ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดอยู่ในช่วง 88.38-90.52 องศาเซลเซียส แต่เมื่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นเป็น 1.5% และ 2% พบว่า อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดจะมีค่าลดลงเท่ากับ 87.30-88.10 องศาเซลเซียส เนื่องจากการเติมสารละลายกรดอะซิติกจะส่งผลให้เม็ดแป้งพองตัวได้ง่ายขึ้น



ภาพผนวกที่ ๑๑ กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเจ้าที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์และสารละลายกรดอะซิติกที่มีความเข้มข้นต่างกันเป็นตัวทำละลาย

จากตารางผนวกที่ ๑๑ พบว่า การใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะส่งผลให้ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของแป้งข้าวเจ้ามีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p\leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาค่าความหนืดต่ำสุด (Trough viscosity) พบว่า การใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำ

ละลายในแป้งข้าวจะส่งผลให้มีค่าความหนืดต่ำสุดต่ำกว่าแป้งข้าวที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากในสภาวะที่มีสารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวได้ง่าย และเกิดเจลาทีโนเซชันได้ดี โมเลกุลในเม็ดแป้งสามารถกระจายตัวได้ดี ดังนั้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของกรดมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนืดต่ำสุดมีค่าลดลง (Ohishi *et al.*, 2007)

เมื่อพิจารณาค่าความหนืดลดลง (break down) พบว่า การใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายจะทำให้แป้งข้าวมีค่าความหนืดลดลงสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย เม็ดแป้งจะมีความแข็งแรงลดลงและเกิดการพองตัวได้ง่าย สอดคล้องกับการทดลองของ Ohishi *et al.* (2007) เมื่อปริมาณความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าความหนืดลดลงมีค่าสูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้การเพิ่มความเข้มข้นของกรดอะซิติกจะส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าลดลง

จากตารางผนวกที่ ๑2 พบว่า ค่าความชื้นของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออไนซ์และสารละลายกรดอะซิติกมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) น้ำแป้งที่ใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายมีค่าความเป็นกรดค่าสูงที่สุดแตกต่างจากสารละลาย น้ำแป้งที่ใช้สารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดอะซิติกเพิ่มมากขึ้น ค่าความเป็นกรดของน้ำแป้งจะลดลง นอกจากนี้พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้น้ำดีไอออไนซ์เป็นตัวทำละลายจะมีค่าความเป็นกรดค่าสูงกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เตรียมโดยใช้กรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดอะซิติก 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2.0% จะไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดของเส้นก๋วยเตี๋ยว เนื่องจากในการทำเส้นก๋วยเตี๋ยวมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง 100 องศาเซลเซียส ดังนั้นสารละลายกรดอะซิติกซึ่งเป็นกรดที่ระเหยง่ายอาจจะระเหยไปในขั้นตอนนี้ เมื่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรดของเส้นก๋วยเตี๋ยวจึงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑1 ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย ค่าเซตแบคและอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของแป้งข้าว

ตัวอย่าง	ความหนืด (อาร์วียู)					อุณหภูมิเริ่มเกิด ความหนืด (องศาเซลเซียส)
	ความหนืดสูงสุด	ความหนืด ต่ำสุด	ความหนืด ลดลง	ความหนืด สุดท้าย	เซตแบค	
น้ำดีไอออนไนซ์	305.92±4.54 ^a	279.39±2.90 ^c	26.53±1.64 ^a	394.28±2.50 ^c	114.89±0.67 ^a	90.52±2.43 ^a
กรดอะซิติก 0.5%	316.97±1.47 ^b	205.61±2.81 ^d	111.36±2.21 ^b	345.56±2.86 ^d	139.94±1.05 ^d	88.98±0.98 ^a
กรดอะซิติก 1.0%	319.19±3.92 ^b	190.19±2.06 ^c	129.00±4.68 ^c	325.50±1.16 ^c	135.31±2.30 ^c	88.38±0.55 ^a
กรดอะซิติก 1.5%	318.25±2.48 ^b	169.36±3.71 ^b	148.89±5.20 ^d	303.58±1.18 ^b	134.22±3.34 ^{bc}	88.10±0.48 ^b
กรดอะซิติก 2.0%	321.75±4.76 ^b	156.47±5.98 ^a	165.28±5.40 ^c	287.14±5.76 ^a	130.67±2.98 ^b	87.30±0.52 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ต่างกันในแต่ละแถว หมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางผนวกที่ ๑๒ ค่าความชื้นและค่าความเป็นกรดต่างของเส้นก๋วยเตี๋ยว

พารามิเตอร์	สภาวะการทดลอง				
	น้ำดีไอออไนซ์	กรดอะซิติก 0.5%	กรดอะซิติก 1.0%	กรดอะซิติก 1.5%	กรดอะซิติก 2.0%
ค่าความชื้น	56.15±0.89 ^a	56.69±0.61 ^a	56.73±0.07 ^a	57.18±0.85 ^a	57.34±1.87 ^a
ค่าความเป็นกรดต่าง (rice flour slurry)	5.78±0.03 ^c	3.88±0.04 ^d	3.73±0.05 ^c	3.58±0.03 ^b	3.49±0.01 ^a
ค่าความเป็นกรดต่าง เส้นก๋วยเตี๋ยว	6.25±0.13 ^b	4.09±0.36 ^a	4.04±0.20 ^a	3.81±0.32 ^a	3.72±0.33 ^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

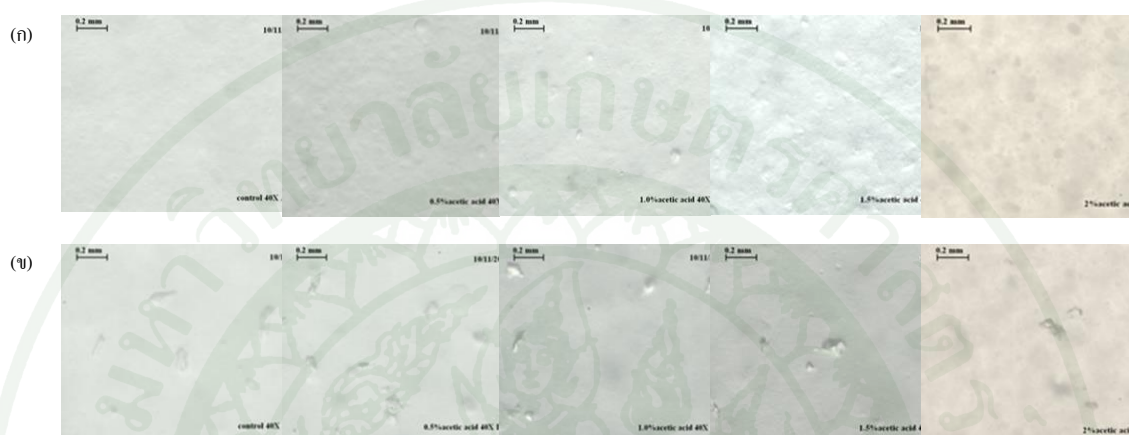
จากตารางผนวกที่ ๑๓ พบว่าค่าต้านทานแรงขาดสูงสุด (Tensile strength) ของเส้นก๋วยเตี๋ยว จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อใช้สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นมากกว่าหรือเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์เป็นตัวทำละลาย นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด (Elongation) จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกรดอะซิติกมากกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนืดสุดท้าย โดยจะพบว่าค่าความหนืดสุดท้ายซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเกิดรีโอเกรเดชันจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกรดอะซิติกมีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางผนวกที่ ๑๓ ค่าเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว

พารามิเตอร์	สภาวะการทดลอง				
	น้ำดีไอออไนซ์	กรดอะซิติก 0.5%	กรดอะซิติก 1.0%	กรดอะซิติก 1.5%	กรดอะซิติก 2.0%
Tensile strength (kPa)	48.15±3.92 ^a	48.15±2.67 ^a	63.46±4.34 ^b	56.79±0.85 ^b	63.46±5.66 ^b
Elongation at break (%)	40.39±0.44 ^a	38.90±0.69 ^a	40.30±1.51 ^a	47.36±2.54 ^b	57.87±1.13 ^c

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายความว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากภาพผนวกที่ ๑๒ พบว่าจำนวนรูบนพื้นผิวของเส้นกล้วยเดี๋ยมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้กรดอะซิติกความเข้มข้นมากกว่า 1% เป็นตัวทำละลาย อาจเนื่องมาจากที่ความเข้มข้นกรดดังกล่าวจะเหนียวน้ำทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสของสตาร์ช ทำให้โครงสร้างของเส้นกล้วยเดี๋ยอ่อนแอ ดังนั้นน้ำสามารถระเหยออกมาจากพื้นผิวของเส้นกล้วยเดี๋ยได้ง่าย จึงทำให้เกิดรูขึ้นบนเส้นกล้วยเดี๋ย



น้ำดีไอออไนซ์ กรดอะซิติก 0.5% กรดอะซิติก 1.0% กรดอะซิติก 1.5% กรดอะซิติก 2.0%

ภาพผนวกที่ ๑๒ ลักษณะพื้นผิวของเส้นกล้วยเดี๋ยที่ใช้ น้ำดีไอออไนซ์และสารละลายกรดอะซิติกเป็นตัวทำละลาย กำลังขยาย 40X (ก) ลักษณะพื้นผิวด้านขรุขระ (ข) ลักษณะพื้นผิวด้านเรียบ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวภัทรานิษฐ์ กลิ่นมัลย์
เกิดวันที่	21 ธันวาคม 2531
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร) เกียรตินิยมอันดับสอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	1. Klinmalai, P., Ratanasumawong, S., Sakiyama, T. and Hagiwara, T. 2013. Effect of chitosan on the physico-chemical properties of rice noodle. Japan Society for Food Engineering 14, Kyoto-terrsa, Kyoto, Japan. 9-10 August. 2013 (Oral presentation) 2. Klinmalai, P. and Ratanasumawong, S. 2013. Effect of acetic acid on the physicochemical properties of rice flour and the quality of rice noodle. The 51st of Kasetsart University Annual Conference, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. 5-7 February 2013 (Poster presentation) 3. Klinmalai, P. and Ratanasumawong, S. 2012. Effect of chitosan on eating quality of cooked rice. Food Innovation Asia Conference 2012. BITEC, Bangkok, Thailand. 14-15 June 2012 (Poster presentation)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	1. ทุนการศึกษาจากภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2. ทุนโครงการเสริมสร้างศักยภาพนิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์สู่สากล ประจำปีงบประมาณ 2556 โดยไปทำวิจัยแลกเปลี่ยนที่ Tokyo University of Marine Science and Technology ณ ประเทศญี่ปุ่นเป็นระยะเวลา 6 เดือน