บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบของสตาร์ชที่ใช้เตรียมไฮโดรไลเสต

4.1.1 ความชื้น โปรตีน และ ไขมันในสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูง

เนื่องจากโปรตีนและไขมันมีผลต่อการเกิดเจลและรีโทรเกรเดชันของแป้ง (Hibi, Kitamura และ Kuge, 1990; Chang และ Liu, 1991; Ottenhof และ Farhat, 2004) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ปริมาณขององค์ประกอบทั้งสองชนิดเพื่อพิจารณาถึงผลที่อาจเกิดขึ้นต่อการเกิดเจลและรีโทรเกรเดชันของแป้งข้าวเจ้า ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า สตาร์ชที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณของไขมันและโปรตีนที่ต่ำมาก (ต่ำกว่า 0.5%) (Luallen, 1988) จึงสามารถกล่าวได้ว่าโปรตีนและไขมันในสตาร์ชที่ใช้เตรียมไฮโดรไลเสตมีปริมาณต่ำมากและไม่ส่งผลต่อการเกิดเจลและรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งข้าวเจ้า

ปริมาณของความชื้น โปรตีน และไขมันเป็นตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : ความชื้น โปรตีน และไขมันของสตาร์ชที่ใช้เตรียมไฮโดรไลเสต

องค์ประกอบ	สตาร์ช มันสำปะหลัง	สตาร์ชข้าวเหนียว	สตาร์ชข้าวโพด อะไมโลสสูง
ความชื้น (%)	8.42 ± 0.10	12.04 ± 0.09	12.21 ± 0.13
ไขมัน (%)	0.13 ± 0.06	0.21 ± 0.01	0.17 ± 0.03
โปรตีน (%)	0.14 ± 0.01	0.44 ± 0.03	0.33 ± 0.07
องค์ประกอบอื่นๆ (%)	91.31 ± 0.17	87.31 ± 0.22	87.29 ± 0.20

4.1.2 ศึกษาปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชที่จะนำมาเตรียมไฮโดรไลเสต

งานวิจัยนี้เลือกศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งข้าวเจ้าเนื่องจากข้าวเจ้าที่นิยมนำมาผลิตแป้งข้าวเจ้ามักมาจากพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสค่อนข้างสูงจึงทำให้แป้งข้าวเจ้าเป็นแป้งที่เกิดรีโทรเกรเดชันสูง (Perdon และคณะ 1999; กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ส่วนสตาร์ชที่นำมาเตรียมไฮโดรไลเสตมาจากสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียวและสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงเนื่องจากปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพ็กตินส่งผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Fan และ Marks, 1998) และสตาร์ชทั้งสามชนิดมีปริมาณของอะไมโลสและอะไมโลเพ็กติกที่แตกต่างอย่างมาก โดยในสตาร์ชข้าวเหนียวจะเป็นตัวแทนของสตาร์ชที่มีปริมาณของอะไมโลสต่ำและปริมาณอะไมโลเพ็กทินที่สูงในขณะที่สตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงจะเป็นตัวแทนของสตาร์ชที่มีปริมาณของอะไมโลสที่สูงและปริมาณอะไมโลเพ็กทินที่ต่ำ ส่วนสตาร์ชมันสำปะหลังจะมีปริมาณของอะไมโลสที่อยู่ระหว่างสตาร์ชทั้งสอง

ปริมาณของอะไมโลสของแป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียวและสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงมีค่าเท่ากับ 30.29 ± 0.52%, 22.92 ± 0.36%, 8.40 ± 0.12%, และ 51.21 ± 0.35% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับที่เคยถูกอ้างไว้ในบางงานวิจัย (Fan และ Marks, 1998; สุพัตรา งามอุรุเลิศ, 2545) ส่วนปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับเอกสารอ้างอิงที่แนบมากับผลิตภัณฑ์ซึ่งกล่าวไว้ว่ามีปริมาณอะไมโลสอยู่เท่ากับ 50% ของปริมาณสตาร์ชทั้งหมด

ปริมาณของอะไมโลสของแป้งข้าวเจ้า สตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียวและสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงแสดงในตารางที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 : ปริมาณอะไมโลสของแป้งและสตาร์ชชนิดต่างๆ

ชนิดแป้ง	ปริมาณอะไมโลส* (%)
แป้งข้าวเจ้า	$30.29^{b} \pm 0.52$
สตาร์ชมันสำปะหลัง	$22.92^{c} \pm 0.36$
สตาร์ชข้าวเหนียว	$8.40^{d} \pm 0.12$
สตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูง	$51.21^{a} \pm 0.35$

* ตัวอักษร a b c และ d แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

4.2 ศึกษาสมบัติทางด้านเคมีของไฮโดรไลเสตจากแป้งชนิดต่างๆ

4.2.1 วิเคราะห์ค่า Dextrose Equivalent ของสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่เตรียมได้

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดโมเลกุลที่ได้จากการย่อยแป้งคือระยะเวลาในการย่อย ซึ่งค่า dextrose equivalent (DE) สามารถใช้บ่งบอกระดับการย่อยของแป้งได้ ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาในการทดลองนี้คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลส์แป้งที่ 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์ค่า DE ของไฮโดรไลเสต (ตารางที่ 4) จากสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส BAN 240L® (รายละเอียดดังแสดงไว้ในภาคผนวก ง) เป็นเวลา 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง พบว่าค่า DE มีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการย่อยนานมากขึ้น โดยในสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่า DE สูงกว่าของสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชข้าวเหนียวตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากสตาร์ชข้าวโพดที่ใช้ในการทดลองนี้มีอะไมโลสซึ่งเป็นโมเลกุลแป้งสายตรงอยู่เป็นปริมาณมาก ซึ่งอะไมโลสสามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสได้ง่าย (Chronakis, 1998) โมเลกุลแป้งของสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงจึงถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซิ่งได้มาก ในขณะที่กรณีสตาร์ชข้าวเหนียวซึ่งมีโครงสร้างของอะไมโลเพ็กทินที่เป็นกิ่งก้านอยู่สูง เอนไซม์จึงอาจจะไม่

สามารถเข้าไปย่อยได้โดยง่าย (Chronakis, 1998) น้ำตาลรีดิวซิ่งจึงถูกย่อยออกมาน้อย และค่า DE ที่ได้จึงต่ำกว่าแป้งชนิดอื่น

เมื่อพิจารณาค่า DE ที่เวลาการย่อยต่างๆกันของสตาร์ชไฮโดรไลเสตชนิดต่างๆ พบว่าค่า DE ที่เวลา 0.5 และ 1 ชั่วโมงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ แต่เมื่อระยะเวลาการย่อยเพิ่มขึ้นเป็น 4 และ 7 ชั่วโมง ค่า DE จะเพิ่มขึ้นและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการที่ค่า DE แปรผันตามระยะเวลาการย่อยสอดคล้องกับการทดลองของ จิรารัตน์ ทัตติยกุล (2537)

ค่า DE ของสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากการย่อยสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูง แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 : Dextrose Equivalence (DE) ของสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (0.24 KNU/ g สตาร์ช) ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง pH 6.0 อุณหภูมิ 60°C *, **

เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)	สตาร์ชมันสำปะหลัง	สตาร์ชข้าวเหนียว	สตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูง
0.5	$4.14^{cB} \pm 0.26$	$4.02^{cB} \pm 1.22$	$6.32^{cA} \pm 0.86$
1	$4.33^{cB} \pm 0.22$	$4.11^{cB} \pm 1.06$	$6.94^{cA} \pm 1.07$
4	$18.94^{bB} \pm 0.55$	$12.03^{bA} \pm 1.32$	$21.58^{bC} \pm 1.54$
7	$29.52^{aB} \pm 0.43$	$14.59^{aA} \pm 1.25$	$35.62^{aC} \pm 0.97$

* ตัวอักษร a b และ c แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในสดมภ์เดียวกันที่ $p \leq 0.05$

** ตัวอักษร A B และ C แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในแถวเดียวกัน ที่ $p \leq 0.05$

4.2.2 วิเคราะห์การกระจายตัวของโมเลกุลแป้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆด้วยเครื่อง GPC

ถึงแม้ค่า DE สามารถใช้บอกถึงระดับของการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตได้ แต่ค่า DE ไม่ใช่ค่าที่ใช้บ่งบอกสมบัติของมอลโตเด็กซ์ทริน เนื่องจากมอลโตเด็กซ์ทรินหรือสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่มีค่า DE เท่ากันก็อาจจะมีสมบัติที่แตกต่างกันก็ได้ อันเนื่องมาจากองค์ประกอบที่ได้

จากการย่อยแป้งไม่เหมือนกัน (Chronakis 1998) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการกระจายตัวของโมเลกุลแป้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกันควบคู่ไปด้วย

จากผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของโมเลกุลแป้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างๆกันของสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลส สูงด้วยเครื่อง Gel Permeable Chromatography (GPC) พบว่าโมเลกุลของสตาร์จะถูกย่อยและแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ กล่าวคือกลุ่มแรกจะมีขนาดโมเลกุลปานกลาง (DP 10~190) และอีกกลุ่มหนึ่งที่มีขนาดโมเลกุลเล็กมาก (DP ประมาณ 5) ดังแสดงไว้ในตางรางที่ 5 ถึง 7

ตารางที่ 5 : การกระจายตัวของโอลิโกแซกคาร์ไรด์ขนาดกลางและขนาดเล็กของไฮโดรไลเสต จากสตาร์ชมันสำปะหลังที่ย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (0.24 KNU/ g สตาร์ช) ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง pH 6.0 อุณหภูมิ 60°C

	DP1[a]	DP2[b]	DP1 : DP2
0.5 hours	33	5	41.51 : 58.49
1 hour	57	5	32.84 : 67.16
4 hours	10	5	26.78 : 73.22
7 hours	—	4	0 :100.00

เมื่อ — : ตรวจวิเคราะห์ไม่พบ

a : DP1 คือกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดกลางที่มีค่า DP เท่ากับ 10 ถึง 190

b : DP2 คือกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดเล็กที่มีค่า DP เท่ากับ 4 ถึง 5

ตารางที่ 6 : การกระจายตัวของโอลิโกแซกคาร์ไรด์ขนาดกลางและขนาดเล็กของไฮโดรไลเสต จากสตาร์ชข้าวเหนียวที่ย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (0.24 KNU/ g สตาร์ช) ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง pH 6.0 อุณหภูมิ 60°C

	DP1[a]	DP2[b]	DP1 : DP2
0.5 hours	190	5	63.56 : 36.44
1 hour	155	5	47.27 : 52.73
4 hours	160	5	43.74 : 56.26
7 hours	153	5	41.31 : 58.69

เมื่อ a : DP1 คือกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดกลางที่มีค่า DP เท่ากับ 10 ถึง 190

b : DP2 คือกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดเล็กที่มีค่า DP เท่ากับ 4 ถึง 5

ตารางที่ 7 : การกระจายตัวของโอลิโกแซกคาร์ไรด์ขนาดกลางและขนาดเล็กของไฮโดรไลเสต จากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงที่ย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส (0.24 KNU/ g สตาร์ช) ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง pH 6.0 อุณหภูมิ 60°C

	DP1[a]	DP2[b]	DP1 : DP2
0.5 hours	18	5	22.42 : 77.58
1 hour	13	5	17.88 : 82.12
4 hours	10	4	16.77 : 83.23
7 hours	10	4	14.62 : 85.38

เมื่อ a : DP1 คือกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดกลางที่มีค่า DP เท่ากับ 10 ถึง 190

b : DP2 คือกลุ่มโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดเล็กที่มีค่า DP เท่ากับ 4 ถึง 5

เมื่อระยะเวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น โอลิโกแซกคาร์ไรด์ที่มีขนาดปานกลางจะมีปริมาณที่ลดลงและโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดเล็กจะมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่า DE ของไฮโดรไลเสตที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการย่อยนานขึ้น โดยพบว่า กลุ่มโอลิโกแซกคาร์ไรด์ขนาดกลางของสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงมีค่า DP ต่ำที่สุดในขณะที่ของสตาร์ชข้าวเหนียวมีค่า DP สูงที่สุด ซึ่งเป็นไปตามที่คาดหมายไว้ กล่าวคือเนื่องจากสตาร์ชข้าวโพดมีโมเลกุลแป้งสายตรงอยู่เป็นปริมาณมาก ซึ่งเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจะย่อยเฉพาะโมเลกุลแป้งสายตรง โมเลกุลแป้งของสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงจึงถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็กได้มาก ในขณะที่สตาร์ชข้าวเหนียวซึ่งมีโครงสร้างของอะไมโลเพ็กทินที่เป็นกิ่งก้านอยู่สูง เอนไซม์จึงอาจจะเข้าไปย่อยได้ไม่ทั่วถึง โครงสร้างขนาดใหญ่ (DP ประมาณ 150) จึงยังเหลืออยู่เป็นปริมาณมาก ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของค่า DE ของสตาร์ชไฮโดรไลเสตในหัวข้อที่ 4.2.1 (ตารางที่ 3-5)

เมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟของ chromatogram ที่ได้กับ chromatogram ของสารละลายมาตรฐาน dextran ความเข้มข้นเท่ากัน (ภาคผนวก จ) พบว่าพื้นที่ใต้กราฟมีค่าที่ใกล้เคียงกันกับกราฟของสารละลายมาตรฐาน ยกเว้น chromatogram ของไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียว เนื่องจากต้องใช้ความเข้มข้นที่สูงกว่าในการทดลอง แต่เมื่อเทียบกลับแล้วพบว่าหากความเข้มข้นเท่ากัน พื้นที่ใต้กราฟก็จะเท่ากัน

4.3 ผลของสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่เตรียมได้ต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งข้าวเจ้า

4.3.1 ผลของสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่เตรียมได้ต่อสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสของเจลแป้งข้าวเจ้า

4.3.1.1 ผลของสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่เตรียมได้ต่อค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้า

- ผลของสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง ต่อค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้า

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ภาคผนวก ฌ) พบว่า ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสต ปริมาณของไฮโดรไลเสต และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย มีผลต่อค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูง

ค่า tensile strength ในวันแรก (วันที่ 0) ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง จะมีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญจากค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต (ตารางที่ 8) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตลงไปในเจลแป้งข้าวเจ้า โอลิโกแซคคาไรด์สายสั้นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น และโอลิโกแซคคาไรด์ดังกล่าวจะมีความสามารถในการจับตัวกัน (binding property) ต่ำกว่าโมเลกุลแป้งสายยาว (Luallen, 1988) อีกทั้งยังสามารถขัดขวางการจับตัวกันเป็นโครงข่ายร่างแหได้อีกด้วย (Rojas และคณะ, 2001) ดังนั้นค่า tensile strength ในวันที่ 0 ของเจลแป้งข้าวเจ้าจึงมีค่าลดต่ำลง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานทดลองของ Santos และคณะ (2004) ที่ศึกษาผลของ additive และ สารไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติต่างๆของฟิล์มที่เตรียมจากแป้ง ซึ่งจากผลการทดลองผู้วิจัยพบว่า การเติมสารที่รบกวนการเกิดโครงสร้างเครือข่าย ซึ่งในกรณีนี้คือแป้งที่มีขนาดโมเลกุลเล็กจะทำให้ค่า tensile strength ในวันที่ 0 ของตัวอย่างลดลงได้

จากรูปที่ 5 จะพบว่า ค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บนานมากขึ้น โดยมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้งเสมือนเข้าสู่ค่าคงที่ แสดงถึงลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลแป้งข้าวเจ้าจากที่มีเนื้อสัมผัสนิ่ม (ใช้แรงเพียงเล็กน้อย เจลแป้งก็สามารถเปลี่ยนรูปร่างได้มาก) เป็นแข็งกระด้าง (ต้องใช้แรงมากในการเปลี่ยนรูปร่าง) และเมื่อเติมสตาร์ชไฮโดรไลเสต ค่า tensile strength จะมีค่าที่ลดลงดังแสดงในรูปที่ 5

เมื่อเก็บเจลแป้งข้าวเจ้าไว้ที่ 4°C เป็นเวลา 10 วัน พบว่าค่า tensile strength ในวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจะลดลงเมื่อเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตโดยในเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง ที่ระยะเวลาการย่อย 0.5 และ 1 ชั่วโมงจะมีค่า tensile strength ที่สูงกว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังที่มีระยะเวลาการย่อย 4 และ 7 ชั่วโมง และเจลแป้งที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่ผ่านการย่อยเป็นเวลา 4 ชั่วโมงจะมีค่า tensile streng ในวันที่ 10 ที่ต่ำที่สุด และค่า tensile strength จะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการย่อยเพิ่มเป็น 7 ชั่วโมง (ตารางที่ 8) ปริมาณของไฮโดรไลเสต ส่งผลต่อค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าเช่นกัน โดยค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่ระยะเวลาการย่อยเท่ากันจะลดลงเมื่อปริมาณสตาร์ชไฮโดรไลเสตในเจลแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น

เมื่อปริมาณของไฮโดรไลเสตที่เท่ากัน ค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่ระยะเวลาการย่อย 0.5 ชั่วโมงและ 1 ชั่วโมงจะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากนั้นเมื่อพิจารณาเจลแป้งที่ผสมไฮโดรไลเสตที่ย่อยเป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าค่า tensile strength ในวันที่ 10 จะลดลง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาผลของ GPC ควบคู่ไปด้วย (ตารางที่ 5) พบว่าเป็นไปได้ว่าเนื่องจากที่เวลาการย่อย 4 ชั่วโมงจะมีปริมาณของโอลิโกแซคคาไรด์อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่ง โอลิโกแซคคาไรด์เหล่านี้สามารถขัดขวางการจับตัวกันใหม่ของโมเลกุลแป้งสายยาวได้ ค่า tensile strength จึงมีค่าต่ำลง ส่วนที่เวลาการย่อย 7 ชั่วโมงจะมีค่า tensile strength ที่สูงกว่าที่ 4 ชั่วโมง อาจเนื่องจากที่ 7 ชั่วโมงมีปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์อยู่มาก ซึ่งสังเกตได้จากพื้นที่ใต้กราฟช่วงตั้งแต่นาทีที่ 32 ขึ้นไปมีพื้นที่ใหญ่ขึ้นเนื่องจากสารละลายมาตรฐานกลูโคสมี elution time ที่ 32 นาที (รูปที่ 18) จึงกล่าวได้ว่า ที่เวลาการย่อย 7 ชั่วโมงมีปริมาณของโอลิโก แซคคาไรด์อยู่สูง ซึ่งน้ำตาลโมเลกุลเล็กเหล่านี้สามารถช่วยให้การเกิดรีโทรเกรเดชันเกิดได้ดีขึ้น (Smits และคณะ, 2003.; Chang และ Liu, 1991.; Rojas และคณะ, 2001) ค่า tensile strength จึงมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับที่เวลาการย่อย 4 ชั่วโมง

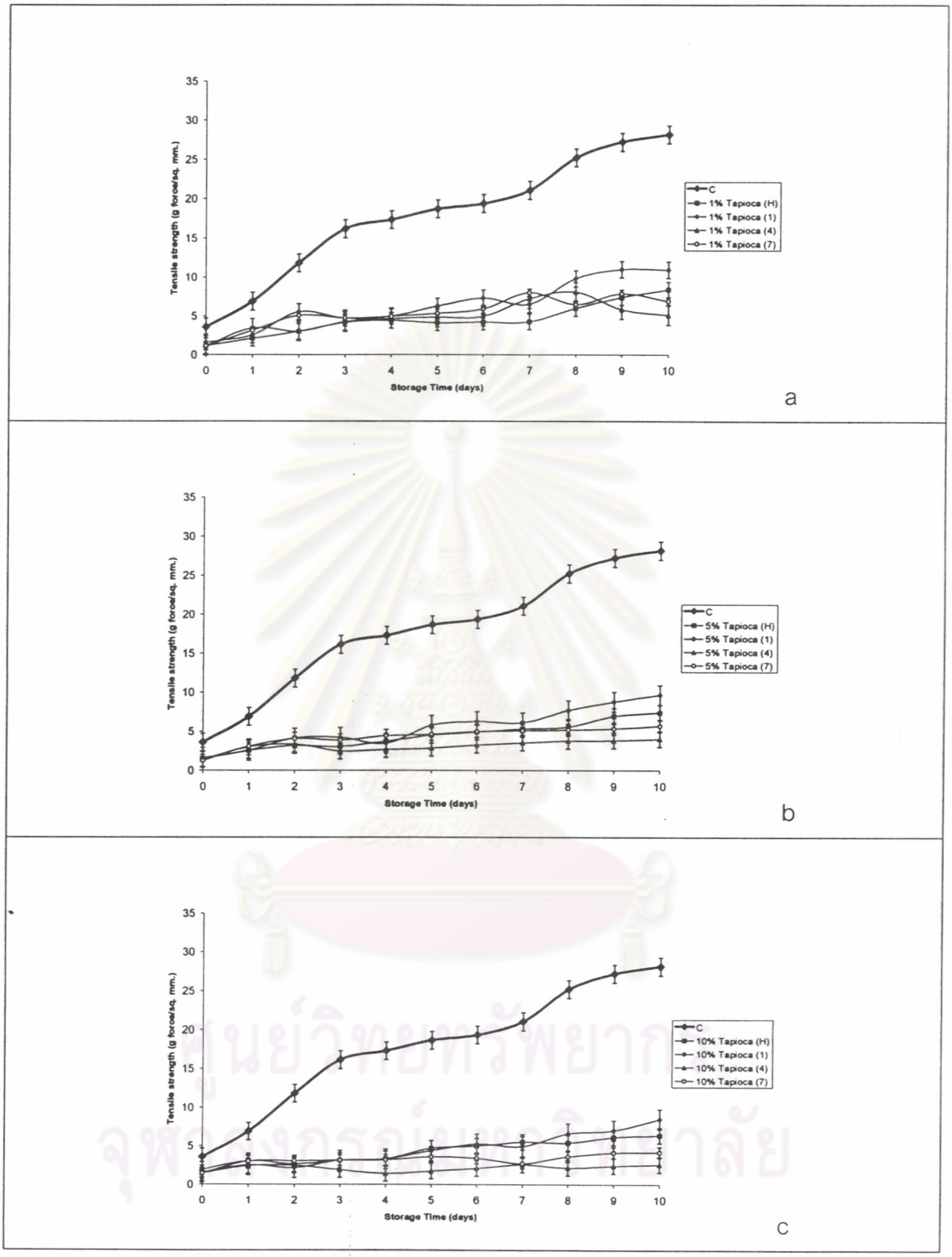
เมื่อปริมาณของไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังเพิ่มมากขึ้น ค่า tensile strength ในวันที่ 10 ก็จะต่ำลง (ตารางที่ 8) อาจเนื่องจากการเพิ่มปริมาณไฮโดรไลเสตเป็นการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งตัวมันเองมีความสามารถในการเกิดโครงข่ายร่างแหที่ต่ำ และสามารถที่จะขัดขวางการจับกันเป็นโครงข่ายของโมเลกุลแป้งขนาดใหญ่ได้นั่นเอง

ตารางที่ 8 : ค่า tensile strength ที่วันที่ 0 และวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังปริมาณ 1% 5% และ 10% ของของแข็ง ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตเท่ากับ 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.24 KNU / g สตาร์ชเก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต

		ระดับทดแทน (% solid)											
		1%				5%				10%			
		เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)			
Days	Control	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7	0.5	1	4	
0	$3.57^{cB} \pm 0.56$	$1.14^{aB} \pm 0.43$	$1.62^{bB} \pm 0.62$	$1.18^{aB} \pm 0.41$	$1.16^{aB} \pm 0.47$	$1.48^{bB} \pm 0.43$	$1.61^{bB} \pm 0.52$	$1.36^{abB} \pm 0.36$	$1.22^{abB} \pm 0.48$	$1.94^{bB} \pm 0.65$	$1.59^{bB} \pm 0.42$	$1.45^{bB} \pm 0.44$	$1.45^{bB} \pm 0$
10	$28.17^{cA} \pm 0.90$	$8.34^{bA} \pm 1.26$	$10.87^{bA} \pm 0.72$	$5.03^{aA} \pm 1.21$	$6.86^{abA} \pm 0.48$	$7.38^{bA} \pm 0.79$	$9.64^{bA} \pm 0.84$	$3.99^{aA} \pm 0.61$	$5.67^{abA} \pm 0.80$	$6.35^{abA} \pm 0.75$	$8.46^{abA} \pm 0.83$	$2.56^{aA} \pm 0.61$	$4.16^{aA} \pm 0$

* ตัวอักษร a b และ c แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในแถวเดียวกันที่ $p \leq 0.05$

** ตัวอักษร A และ B แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในสดมภ์เดียวกัน ที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 4 : ค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้า ที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังตลอดอายุการเก็บ 10 วัน ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต (C) ปริมาณ 1%(a) 5%(b) และ 10%(c) ของของแข็ง

- ผลของสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียว ต่อค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้า

ค่า tensile strength ในวันที่ 0 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียว จะมีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จากค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต ทั้งนี้อาจเนื่องจากเหตุผลเดียวกับการผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังลงในเจลแป้งข้าวเจ้า แต่ค่า tensile strength จะสูงกว่าเล็กน้อยโดยอาจเกิดจากลักษณะของไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีโครงข่ายของโอลิโกแซคคาไรด์ขนาดกลางที่ใหญ่กว่าไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง

จากรูปที่ 6 จะพบว่า ค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวจะมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของค่า tensile strength เมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้นเช่นเดียวกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตและเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง

จากตารางที่ 9 เมื่อเติมสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวเหนียวลงไปในเจลแป้งข้าวเจ้าแล้ว พบว่าค่า tensile strength ในวันที่ 10 จะต่ำกว่าค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวแล้วพบว่า ค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าในวันที่ 10 จะไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยกเว้นที่ระดับการย่อย 1 และ 7 ชั่วโมง

เมื่อปริมาณของสตาร์ชไฮโดรไลเสตในเจลแป้งข้าวเจ้าสูงมากขึ้น ค่า tensile strength ในวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวที่ระยะเวลาการย่อย 7 ชั่วโมงจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ (ตารางที่ 9) แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวจะส่งผลต่อ tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าชัดเจนที่สุดที่ระยะเวลาการย่อยและระดับปริมาณการทดแทนสูงๆเท่านั้น อาจเนื่องจากที่ระยะเวลาการย่อยต่ำกว่า 7 ชั่วโมง โครงข่ายร่างแหของโมเลกุลแป้งที่ยังคงไม่ถูกย่อยยังคงมีปริมาณอยู่สูง ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวอาจช่วยให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีลักษณะโครงสร้างที่สามารถทนต่อแรงดึงได้ดี (Krogars, 2002) แต่เมื่อระยะเวลาการย่อยเป็น 7 ชั่วโมง โอลิโกแซคคาไรด์ซึ่งมีความสามารถในการจับเป็น

โครงข่ายไม่ดีถูกย่อยออกมามากขึ้น จึงทำให้โครงข่ายของโมเลกุลแป้งข้าวเจ้าที่เกิดขึ้นไม่แข็งแรง ค่า tensile strength จึงลดลง (Lourdin, Valle และ Colonna, 1995; Lawton, 1996)

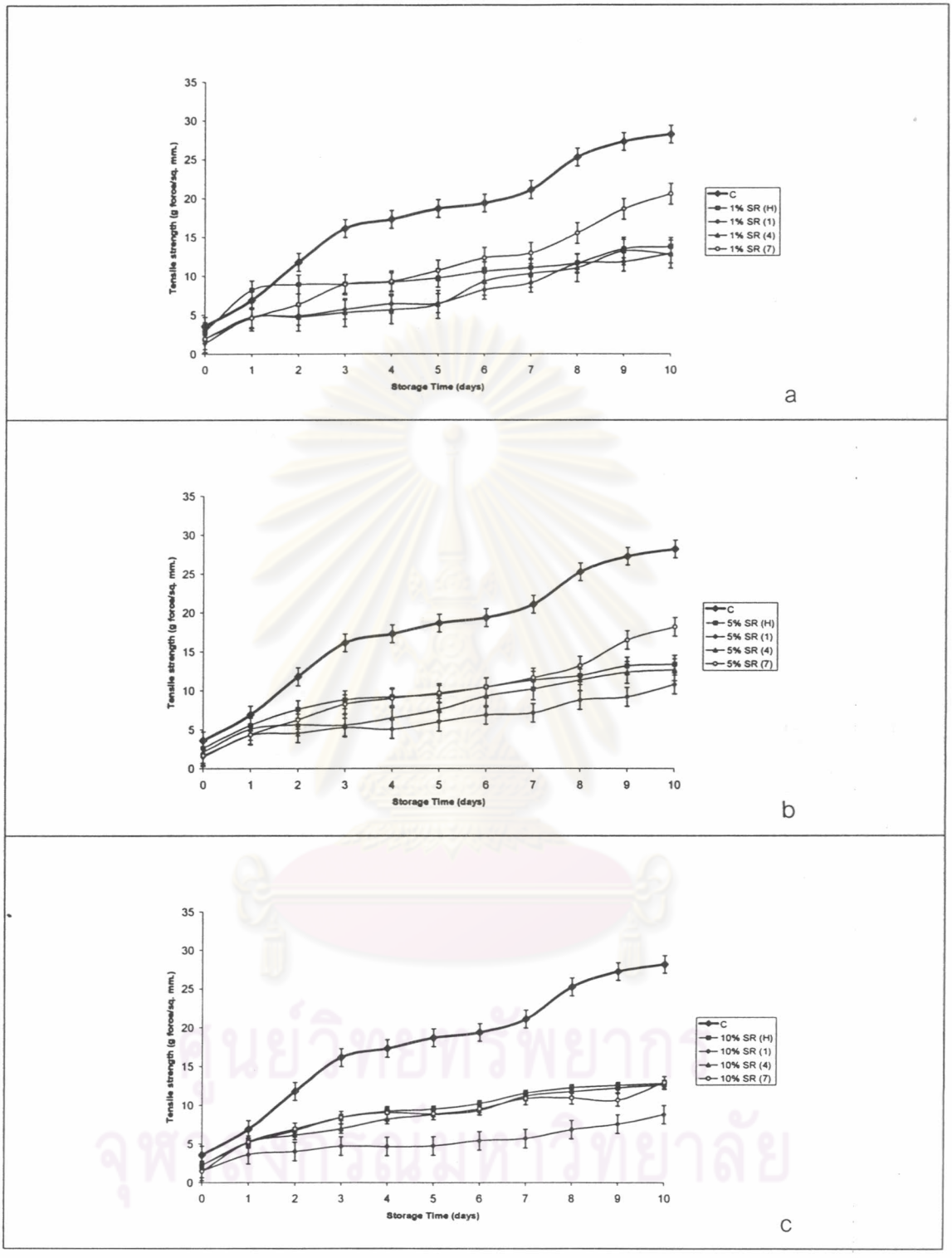
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 : ค่า tensile strength ที่วันที่ 0 และวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวปริมาณ 1% 5% และ 10% ของของแข็ง ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตเท่ากับ 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.24 KNU / g สตาร์ชเก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต

	ระดับทดแทน (% solid)											
	1%				5%				10%			
	เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)			
Control	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7
$3.57^{bB} \pm 0.56$	$2.89^{abB} \pm 0.42$	$1.38^{aB} \pm 0.34$	$1.99^{aB} \pm 0.38$	$1.96^{aB} \pm 0.33$	$2.63^{abB} \pm 0.41$	$1.48^{aB} \pm 0.37$	$2.10^{aB} \pm 0.33$	$1.65^{aB} \pm 0.21$	$2.24^{abB} \pm 0.32$	$1.47^{aB} \pm 0.36$	$2.22^{abB} \pm 0.23$	$1.43^{aB} \pm 0.28$
$28.17^{cA} \pm 0.90$	$13.75^{aA} \pm 0.44$	$12.85^{aA} \pm 0.57$	$12.78^{aA} \pm 0.67$	$20.54^{bA} \pm 0.60$	$13.39^{aA} \pm 0.42$	$10.79^{aA} \pm 0.47$	$12.69^{aA} \pm 0.41$	$18.18^{abA} \pm 0.43$	$12.83^{aA} \pm 0.34$	$8.81^{aA} \pm 0.45$	$12.64^{aA} \pm 0.28$	$12.94^{aA} \pm 0.33$

* ตัวอักษร a b และ c แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในแถวเดียวกันที่ $p \leq 0.05$

** ตัวอักษร A และ B แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในสดมภ์เดียวกัน ที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 5 : ค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้า ที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียว ตลอดอายุการเก็บ 10 วัน ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต (C) ปริมาณ 1%(a) 5%(b) และ 10%(c) ของของแข็ง

I22035588

-ผลของสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง ต่อค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้า

จากรูปที่ 7 พบว่าแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงเหมือนกับของเจลแป้งที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตชนิดอื่นๆเช่นกัน อีกทั้งยังเหมือนกับการเพิ่มขึ้นของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตอีกด้วย

จากตารางที่ 10 ค่า tensile strength ในวันที่ 0 ของเจลแป้งข้าวเจ้าจะต่ำกว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณของไฮโดรไลเสตที่เท่ากัน พบว่าสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่ระยะเวลาการย่อย 0.5 ชั่วโมงจะมีค่า tensile strength ที่สูงกว่าระยะเวลาการย่อยอื่น ($p \leq 0.05$) และมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเวลาการย่อยเพิ่มขึ้น ซึ่งน่าจะเกิดจากที่เวลาการย่อยต่ำ โมเลกุลแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลสสูงยังคงถูกย่อยได้น้อย และยังคงมีปริมาณของโครงสร้างขนาดใหญ่ ซึ่งรวมถึงอะไมโลสที่สามารถทำให้เจลแป้งเกิดโครงสร้างที่แข็งแรงได้ดีอยู่เป็นจำนวนมาก (Lawton ,1996; Lourdin และคณะ, 1995) จึงทำให้ค่า tensile strength สูงกว่าที่ระยะเวลาการย่อยอื่นๆ

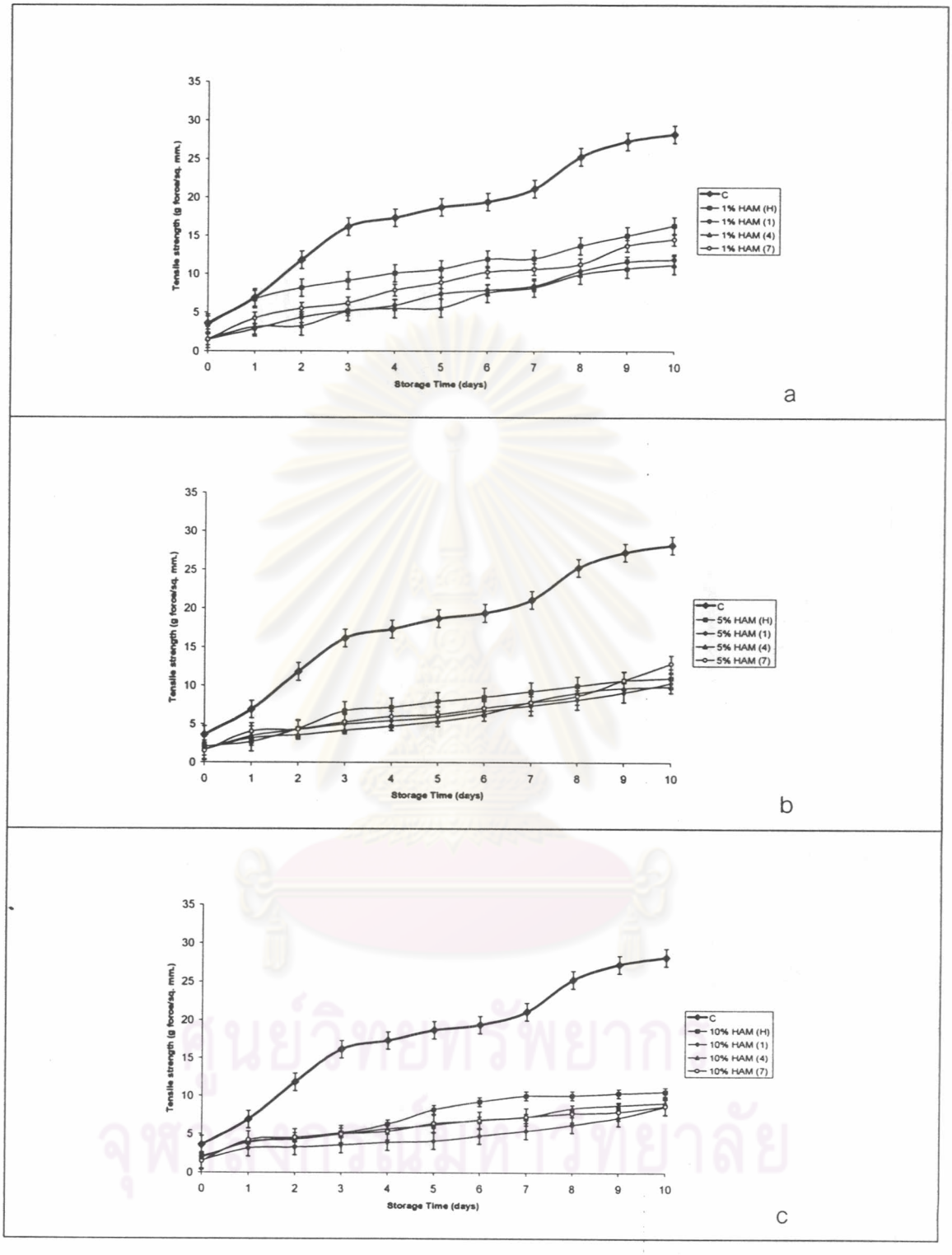
ค่า tensile strength ในวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงจะต่ำกว่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ ดังเช่นที่แสดงไว้ในตารางที่ 10 เนื่องจากเมื่อผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตลงไป โอลิโกแซคคาไรด์ที่เกิดจากการย่อยสตาร์ชด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจะทำให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีโครงสร้างที่แข็งแรงน้อยลง เนื่องจากความสามารถในการจับกันเอง (binding property) ของโอลิโกแซคคาไรด์ต่ำกว่าโมเลกุลของแป้งที่มีขนาดใหญ่กว่า (Laullen, 1988) อีกทั้งยังสามารถขัดขวางการจับกันของโมเลกุลแป้งขนาดใหญ่ได้ด้วย (Chang และ Liu 1991; Aee, Hie และ Nishinari, 1998; Rojas และคณะ, 2001; Smits และคณะ, 2003; Miyazaki, Maeda และ Morita, 2004; Hagenimana, Pu และ Ding, 2005) และเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่เท่ากัน จะพบว่าเมื่อปริมาณของสตาร์ชไฮโดรไลเสตเพิ่มขึ้น ค่า tensile strength ในวันที่ 10 จะมีค่าที่ลดลง ซึ่งเกิดจากการที่ปริมาณของโอลิโกแซคคาไรด์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถขัดขวางการเกิดโครงข่ายของโมเลกุลแป้งได้มากขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 10 : ค่า tensile strength ที่วันที่ 0 และวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงปริมาณ 1% 5% และ 10% ของของแข็ง ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตเท่ากับ 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.24 KNU / g สตาร์ชเก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต

		ระดับทดแทน (% solid)											
		1%				5%				10%			
		เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)			
Days	Control	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7	0.5	1	4	
0	$3.57^{bA} \pm 0.56$	$3.34^{bA} \pm 0.32$	$1.45^{aA} \pm 0.44$	$1.57^{aA} \pm 0.31$	$1.51^{aA} \pm 0.33$	$2.07^{aA} \pm 0.44$	$1.55^{aA} \pm 0.37$	$1.65^{aA} \pm 0.21$	$1.50^{aA} \pm 0.34$	$2.06^{aA} \pm 0.31$	$1.53^{aA} \pm 0.23$	$1.84^{aA} \pm 0.38$	$1.44^{aA} \pm 0.$
10	$28.17^{dB} \pm 0.90$	$16.26^{cB} \pm 0.41$	$13.86^{cB} \pm 0.37$	$11.16^{bB} \pm 0.48$	$14.48^{cB} \pm 0.48$	$10.97^{abB} \pm 0.46$	$10.34^{abB} \pm 0.41$	$9.85^{abB} \pm 0.43$	$12.87^{bB} \pm 0.37$	$10.54^{abB} \pm 0.62$	$8.60^{aB} \pm 0.53$	$9.08^{aB} \pm 0.37$	$8.69^{aB} \pm 0.$

* ตัวอักษร a b c และ d แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในแถวเดียวกันที่ $p \leq 0.05$

** ตัวอักษร A และ B แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในสดมภ์เดียวกัน ที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 6 : ค่า tensile strength ของเจลแป้งข้าวเจ้า ที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงตลอดอายุการเก็บ 10 วัน ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต (C) ปริมาณ 1%(a) 5%(b) และ 10%(c) ของของแข็ง

จากผลการทดลองสามารถกล่าวได้ว่า สตาร์ชไฮโดรไลเสตจะส่งผลให้เจลแป้งข้าวที่ได้มีค่า tensile strength ที่ลดลงในวันแรก (วันที่ 0) ของการเก็บรักษา และเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 10 วันพบว่าค่า tensile strength ก็ยังคงต่ำกว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต ทั้งนี้น่าจะเนื่องจากโอลิโกแซคคาไรด์จากไฮโดรไลเสตต่างๆไปขัดขวางการจับตัวกันของโมเลกุลแป้งข้าวเจ้า อีกทั้งตัวโอลิโกแซคคาไรด์เองก็มีความสามารถในการเกิดเป็นโครงข่ายที่ต่ำอีกด้วย ส่วนปริมาณของสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่ผสมลงไปมีผลทำให้ค่า tensile strength ต่ำลง ปริมาณที่มากขึ้นของสตาร์ชไฮโดรไลเสตทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลแป้งข้าวเจ้ามีค่า tensile strength ที่ลดต่ำลง

เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยด้านชนิดของสตาร์ชไฮโดรไลเสตพบว่า เจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังจะมีค่า tensile strength ในวันที่ 0 ที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตชนิดอื่นๆ แต่เมื่อปริมาณเพิ่มมากขึ้น ค่าของ tensile strength ที่วันที่ 0 จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 8, 9 และ 10)

ที่วันที่ 10 ของการเก็บรักษาพบว่า สตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังจะมีค่า tensile strength ที่ต่ำที่สุดทุกสภาวะที่ทดสอบ โดยเฉพาะที่เวลาการย่อยสูง (7 ชั่วโมง) จะมีค่า tensile strength ในวันที่ 10 ที่ต่ำที่สุด ทั้งนี้น่าจะเนื่องจากในสตาร์ชข้าวเหนียวยังมีปริมาณของโมเลกุลแป้งขนาดกลางอยู่สูง ซึ่งอาจส่งผลให้เจลแป้งมีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากแป้งชนิดอื่นๆ และในสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลสสูงที่เวลาการย่อยต่ำอาจยังคงมีปริมาณอะไมโลสอยู่สูงซึ่งอาจทำให้เกิดโครงสร้างเจลที่แข็งแรง แต่ที่ระยะเวลาการย่อยสูง น้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ที่สามารถส่งเสริมการจับกันเป็นโครงข่ายของโมเลกุลแป้งได้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น อาจเป็นเหตุผลที่ทำให้เจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงมีค่า tensile strength ที่สูงกว่าเจล แป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง

4.3.1.2 ผลของสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่เตรียมได้ต่อค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้า

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ภาคผนวก ญ) พบว่า ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสต ปริมาณของไฮโดรไลเสต และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัย มีผลต่อค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูง

- ผลของสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง ต่อค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้า

จากผลการทดลองพบว่า ค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าจะมีการลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไปเพียง 1 วัน (รูปที่ 8) จากนั้นค่า extensibility จะค่อยๆลดลงหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการเก็บที่เหลือ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 8 ที่แสดงอยู่ข้างล่าง ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า เจลแป้งจะสูญเสียความสามารถในการยืดตัวไปเมื่อเก็บไว้ที่ 4°C เป็นเวลา 1 วัน Gujral และคณะ. (2004) ได้รายงานเช่นกันว่า เมื่อเก็บชาพาตี (shapati) ซึ่งเป็นแผ่นแป้งผลิตจากแป้งข้าวเจ้าไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ค่า extensibility ที่วัดได้จะลดลงจากประมาณ 7.40 mm เป็นประมาณ 2.50 mm

จากตารางที่ 11 เจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่เตรียมจากแป้งมันสำปะหลังจะมีค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าสด (วันที่ 0) ต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต โดยเฉพาะในเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังที่ผ่านการย่อยเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมงขึ้นไปจะมีค่าextensibility ที่ต่ำอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้น่าจะเนื่องจากที่เวลาการย่อยสูง ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์สายสั้นจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแป้งโมเลกุลสายสั้นนี้จะมีความสามารถในการ binding ที่ลดลง ค่า extensibility วันที่ 0 ของเจลแป้งข้าวเจ้าดังกล่าวจึงมีค่าลดลงปริมาณของสตาร์ชไฮโดรไลเสต จะทำให้ค่า extensibility ของ เจลแป้งข้าวเจ้าในวันที่ 0 ลดลงโดยปริมาณสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่มากขึ้นจะส่งผลให้ค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าลดต่ำลง เนื่องจากปริมาณของสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ปริมาณของโอลิโกแซคคาไรด์เพิ่มขึ้น จึงทำให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีโครงสร้างที่ยืดหยุ่นน้อยลง

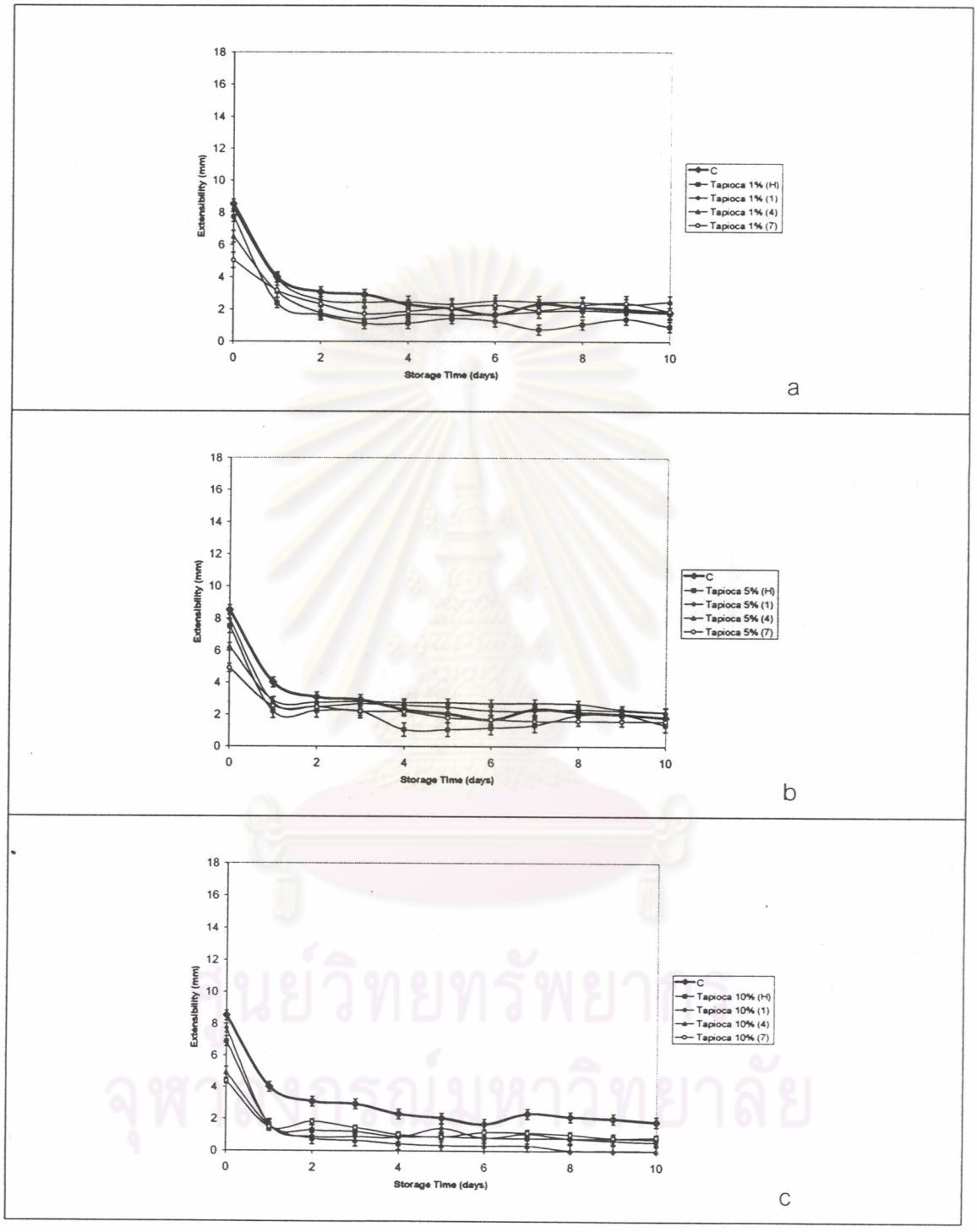
ค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าในวันที่ 10 เมื่อปริมาณของสตาร์ชไฮโดรไลเสตเท่ากับ 1% และ 5% ของของแข็งส่วนใหญ่จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง แต่เมื่อปริมาณของไฮโดรไลเสตเพิ่มเป็น 10% ของของแข็งพบว่า ค่า extensibility จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้น่าจะเนื่องจาก โอลิโกแซคคาไรด์จะทำให้โครงสร้างเจลแป้งข้าวเจ้าจับกันได้ไม่ดี (Lawton, 1996) แต่ที่ปริมาณต่ำ (1% และ 5%) ไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังยังคงไม่สามารถส่งผลให้เห็นอย่างชัดเจน แต่เมื่อปริมาณของไฮโดรไลเสตในเจลแป้งข้าวเจ้าเพิ่มมากขึ้น โอลิโกแซคคาไรด์ที่มีขนาดเล็กก็จะมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นและส่งผลต่อโครงสร้างเจลแป้งข้าวเจ้าชัดเจนมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 11 : ค่า extensibility ที่วันที่ 0 และวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังปริมาณ 1% 5% และ 10% ของของแข็ง ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตเท่ากับ 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.24 KNU / g สตาร์ชเก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต

		ระดับทดแทน (% solid)											
		1%				5%				10%			
		เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)			
Days	Control	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7
0	8.52^{cB}±0.31	7.73^{cB}±0.34	8.20^{cB}± 0.12	6.50^{bB}± 0.24	5.05^{aB}± 0.21	7.52^{cB} ± 0.26	7.95^{bcB}±0.33	6.24^{bB}± 0.31	4.91^{aB}± 0.22	6.89^{bcB}±0.34	7.72^{cB}± 0.28	4.92^{aB} ± 0.34	4.38^{aB}±0.37
10	1.80^{cA}±0.32	0.92^{abA}±0.41	2.47^{cA}± 0.39	1.75^{cA}± 0.38	1.89^{cA}± 0.33	1.35^{bA} ± 0.27	2.12^{cA}± 0.41	2.15^{cA}± 0.38	1.56^{bcA}±0.33	0.72^{aA}± 0.26	0.54^{aA}± 0.31	0.02^{aA} ± 0.14	0.85^{aA}±0.27

* ตัวอักษร a b และ c แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในแถวเดียวกันที่ $p \leq 0.05$

** ตัวอักษร A และ B แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในสดมภ์เดียวกัน ที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 7 : ค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้า ที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง ตลอดอายุการเก็บ 10 วัน ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ที่ 4^{o}C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต (C) ปริมาณ 1%(a) 5%(b) และ 10%(c) ของของแข็ง

- ผลของสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียว ต่อค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้า

ค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีแนวโน้มของการลดลงเหมือนกับค่า extensibility ของเจลแป้งที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต กล่าวคือค่า extensibility จะลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 ของการเก็บรักษา จากนั้นค่า extensibility จะไม่เปลี่ยนแปลง หรือเปลี่ยนแปลงแต่น้อยมาก (รูปที่ 9)

สตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวจะทำให้ค่า extensibility ในวันที่ 0 ของ เจลแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้นสูงกว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ (ตารางที่ 12) ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อสตาร์ชข้าวเหนียวถูกย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสแล้ว โมเลกุลของแป้งยังคงมีขนาดใหญ่ (ตารางที่ 6) ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวน่าจะยังคงอยู่ในสภาพที่เป็นร่างแห เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณของอะไมโลเพ็กทินสูง ซึ่งโครงสร้างร่างแหอาจจะมีส่วนช่วยให้โครงสร้างของเจลแป้งข้าวเจ้ามีความสามารถในการยืดตัวมากขึ้นและทำให้มีค่า extensibility ในวันที่ 0 ที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต ดังเช่นผลการทดลองของ Gujral และคณะ (2004) ที่รายงานว่า เมื่อผสมชาพาตีที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์แล้ว extensibility ของ shapeti จะเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ผสมสารเหล่านั้น

ค่า extensibility ในวันสุดท้ายของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวจะส่งผลให้เจลแป้งข้าวเจ้ามีค่า extensibility ที่สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบจับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต แต่ไม่มีผลต่อการรักษาค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าไว้แต่อย่างใด

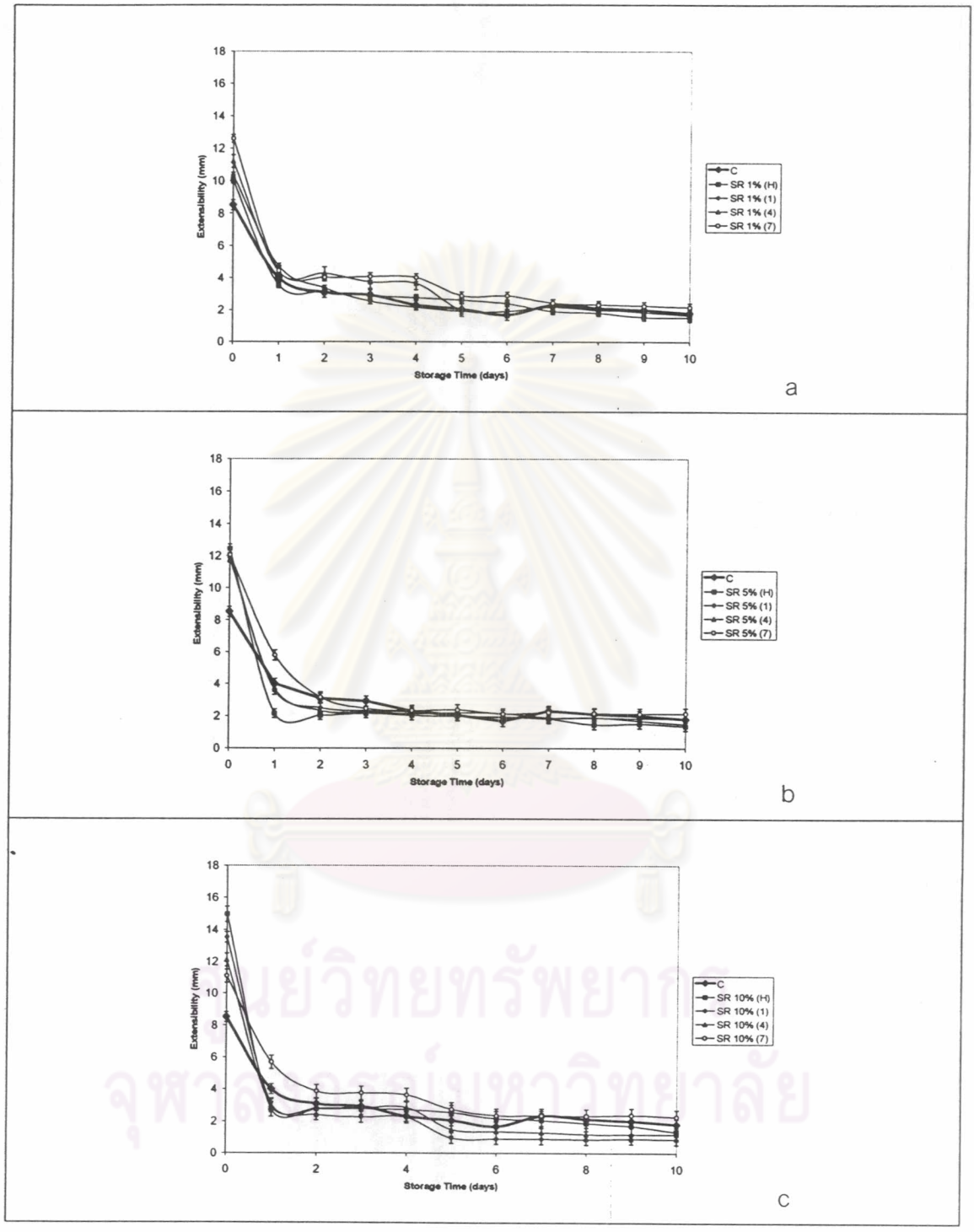
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 : ค่า extensibility ที่วันที่ 0 และวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวปริมาณ 1% 5% และ 10% ของของแข็ง ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตเท่ากับ 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.24 KNU / g สตาร์ชเก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต

		ระดับทดแทน (% solid)											
		1%				5%				10%			
		เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)			
Days	Control	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7
0	8.52^{cB}±0.31	10.03^{aB}±0.27	10.34^{aB}±0.23	11.20^{abB}±0.31	12.59^{bB}±0.26	12.45^{bB}±0.31	11.88^{bB}±0.36	11.79^{bB}±0.33	12.04^{bB}±0.28	14.96^{aB}±0.35	13.53^{bB}±0.33	12.10^{bB}±0.27	11.09^{aB}±0.36
10	1.80^{bA}±0.32	1.52^{bA} ± 0.27	1.83^{bA} ± 0.23	1.65^{bA} ± 0.34	2.17^{bA}±0.37	1.35^{bA} ± 0.29	1.84^{bA} ± 0.33	1.47^{bA} ± 0.24	2.15^{bA}± 0.36	1.33^{bA} ± 0.27	0.85^{aA}± 0.38	1.17^{bA} ± 0.36	2.27^{bA}± 0.32

* ตัวอักษร a b และ c แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในแถวเดียวกันที่ $p \leq 0.05$

** ตัวอักษร A และ B แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในสดมภ์เดียวกัน ที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 8 : ค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้า ที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียว ตลอดอายุการเก็บ 10 วัน ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต (C) ปริมาณ 1%(a) 5%(b) และ 10%(c) ของของแข็ง

-ผลของของสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงต่อค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้า

เมื่อพิจารณาค่า extensibility ในวันที่ 0 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงที่เวลาการย่อยตั้งแต่ 4 ชั่วโมงขึ้นไป (ตารางที่ 12) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงที่เวลาการย่อย 0.5 และ 1 ชั่วโมงจะทำให้ค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ปริมาณของไฮโดรไลเสต 1% ของของแข็งและที่เวลาการย่อย 0.5 ชั่วโมงที่ระดับปริมาณ 5% และ 10% ของของแข็ง ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าเนื่องจากที่เวลาการย่อยต่ำ โมเลกุลของแป้งสายตรงที่มีขนาดกลางจะช่วยให้โครงสร้างของเจลแป้งข้าวเจ้ามีความสามารถในการยืดตัวมากขึ้น แต่เมื่อเวลาการย่อยสูงขึ้น โอลิโกแซคคาไรด์ขนาดเล็กมีปริมาณมากขึ้น ความสามารถในการจับตัวกันจึงลดลง (Krogars และคณะ, 2002)

เมื่อเก็บเจลแป้งข้าวเจ้าไว้เป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมและไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงมีค่า extensibility ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $p \leq 0.05$ (ตารางที่ 13) ยกเว้นที่เจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจาก สตาร์ชข้าวโพดที่ย่อยเป็นเวลา 4 และ 7 ชั่วโมงที่ปริมาณของปริมาณไฮโดรไลเสต 5% และ 10%ของของแข็งซึ่งมีค่า extensibility ในวันที่ 10 ที่ต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต ทั้งนี้น่าจะเนื่องจากที่ระยะเวลาการย่อย 4 และ 7 ชั่วโมง ไฮโดรไลเสตจะมีปริมาณของโอลิโกแซคคาไรด์ที่เพิ่มสูงขึ้นกว่าที่ระดับ 0.5 ชั่วโมงและ 1 ชั่วโมง และโอลิโกแซคคาไรด์ดังกล่าวจะทำให้โครงสร้างของเจลแป้งข้าวเจ้ายืดหยุ่นได้น้อยลง เนื่องจากโอลิโกแซคคาไรด์จะมีความสามารถในการ bind ต่ำ และยังสามารถขัดขวางการจับกันของโมเลกุลแป้งได้อีกด้วย (Laullen, 1988; Rojas และคณะ, 2001; Chang และ Liu, 1991)

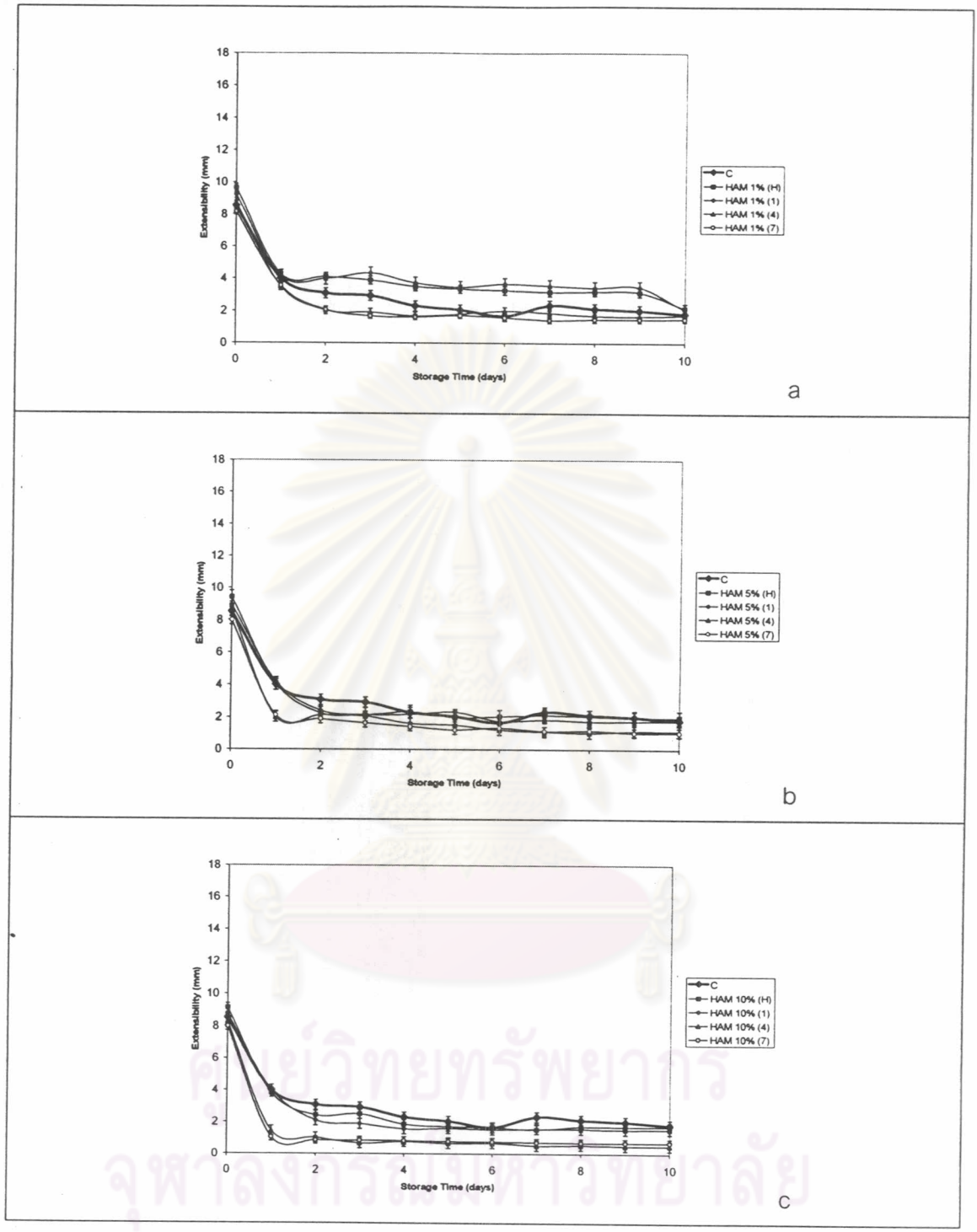
แนวโน้มของการลดลงของค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดะไมโลสสูง แสดงไว้ในรูปที่ 10

ตารางที่ 13 : ค่า extensibility ที่วันที่ 0 และวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงปริมาณ 1% 5% และ 10% ของของแข็ง ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตเท่ากับ 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.24 KNU / g สตาร์ชเก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต

		ระดับทดแทน (% solid)											
		1%				5%				10%			
		เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)			
Days	Control	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7
0	8.52^{bB}±0.31	9.65^{aB}± 0.41	9.21^{aB}± 0.37	8.75^{bB}±0.29	8.14^{bB}±0.34	9.42^{aB}± 0.26	8.95^{bB}± 0.33	8.57^{bB}± 0.21	7.98^{bB}± 0.24	9.12^{abB}±0.34	8.74^{bB}± 0.28	8.28^{bB}± 0.24	7.98^{bB}± 0.26
10	1.80^{aB}±0.32	2.16^{aB}± 0.22	2.06^{aB}± 0.28	1.69^{aB}± 0.31	1.48^{aB}± 0.26	1.98^{aB}± 0.23	1.76^{aB}± 0.20	1.13^{bB}± 0.21	1.05^{bB}± 0.27	1.69^{aB}± 0.27	1.53^{aB}± 0.26	0.49^{bB}± 0.31	0.69^{bB}± 0.22

* ตัวอักษร a และ b แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในแถวเดียวกันที่ $p \leq 0.05$

** ตัวอักษร A และ B แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในสดมภ์เดียวกัน ที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 9 : ค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้า ที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงตลอดอายุการเก็บ 10 วัน ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต (C) ปริมาณ 1%(a) 5%(b) และ 10%(c) ของของแข็ง

เมื่อเปรียบเทียบค่า extensibility ในวันแรก (วันที่ 0) ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตต่างชนิดกัน จะพบว่าที่ทุกความเข้มข้นของสตาร์ชไฮโดรไลเสต ค่า extensibility ในวันที่ 0 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวจะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูง ส่วนเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังจะมีค่าที่ต่ำที่สุด (ตารางที่ 10 ถึง 12) เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีโครงสร้างที่เป็นร่างแหอยู่สูง โครงสร้างร่างแหเหล่านั้นอาจส่งผลทำให้โครงสร้างเจล แป้งข้าวเจ้ามีความสามารถในการยืดตัวที่ดีขึ้นในขณะที่สตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงอาจช่วยให้โครงสร้างมีความยืดหยุ่นจากโครงสร้างของอะไมโลสสายตรง ซึ่งมีความสามารถในการเกิดพันธะสูงกว่าโมเลกุลของสตาร์ชมันสำปะหลัง แต่ไม่ดีเท่าสตาร์ชข้าวเหนียว

สตาร์ชไฮโดรไลเสตทุกชนิดจะมีค่า extensibility ในวันสุดท้ายที่ใกล้เคียงหรือต่ำกว่าค่า exetensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่า สตาร์ชไฮโดรไลเสตมีผลต่อค่า extensibility ของเจลแป้งข้าวเจ้าสดแต่ไม่มีผลต่อการรักษา extensbility ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่เก็บรักษาไว้ที่ $4^{o}C$

4.4 ผลของสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่เตรียมได้ต่อสมบัติทางด้านความร้อนของเจลแป้งข้าวเจ้า

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ภาคผนวก ฎ) พบว่าปัจจัยด้านระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสต ปริมาณของสตาร์ชไฮโดรไลเสต และอิทธิพลร่วมของทั้งสองปัจจัยส่งผลต่อค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตชนิดต่างๆ

ค่า onset temperature peak temperature และ final temperature เฉลี่ยของเจลแป้งข้าวเจ้าถูกแสดงไว้ในตารางที่ 14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

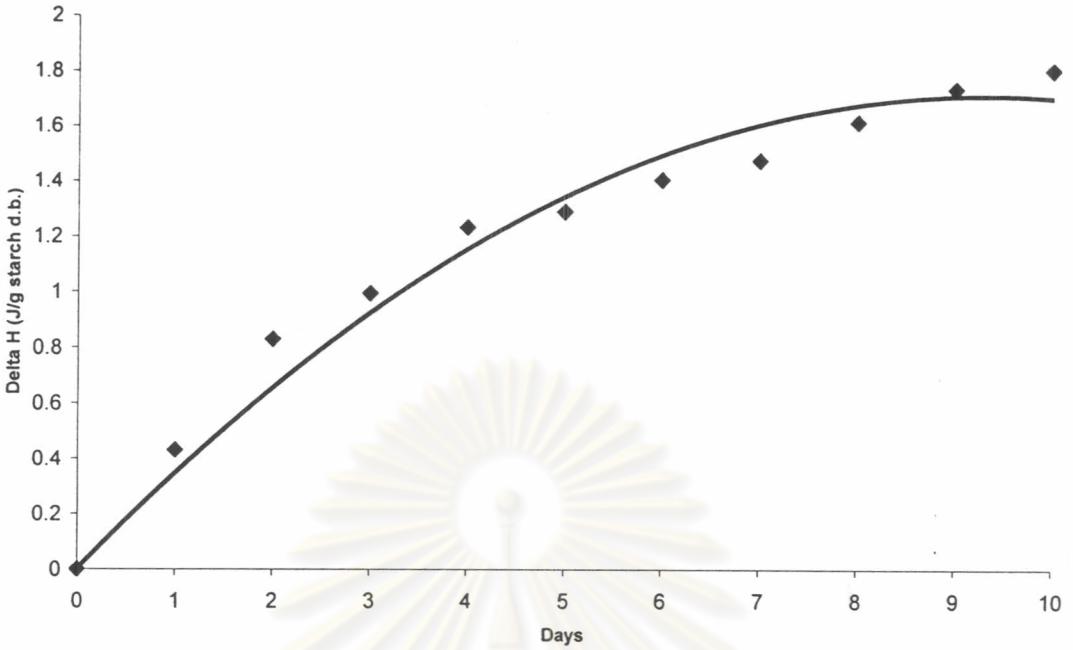
ตารางที่ 14 : ค่า onset temperature peak temperature และ final temperature เฉลี่ยของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวโพด อะไมโลสสูง

ตัวอย่าง	Onset Temperature[a]	Peak Temperature[b]	Final Temperature[c]
Control	48.33 ± 2.47	75.89 ± 2.25	95.31 ± 1.68
Tapioca	46.19 ± 1.62	75.39 ± 1.59	94.43 ± 1.46
SR	45.24 ± 1.56	75.55 ± 1.38	94.56 ± 1.24
HAM	45.25 ± 1.81	75.23 ± 1.55	94.57 ± 1.52

* a,b และ c ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$

เมื่อพิจารณา endotherm ของค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งข้าวเจ้าทุกสภาวะการทดลอง พบว่าไม่มียอดกราฟ (peak) เกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC แต่อย่างใด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีการเกิดรีโทรเกรเดชันขึ้นในเจลแป้งข้าวเจ้าสด (ในวันที่ 0) ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ Rojas และคณะ (2001) ซึ่งไม่พบ endotherm ของการเกิดรีโทรเกรเดชันในเจลแป้งอายุการเก็บ 0 วันเช่นเดียวกัน โดยในงานวิจัยดังกล่าวยังพบว่าลักษณะการเพิ่มขึ้นของค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันมีลักษณะเป็นกราฟโพลิโนเมียลกำลังสอง ($R^2 \geq 0.9$) และมีแนวโน้มเข้าใกล้ค่าคงที่เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ (รูปที่ 11)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 10 : แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งข้าวเจ้าเมื่อเก็บไว้ที่ 4°C เป็นเวลา 10 วัน

- ผลของสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากต่อสมบัติทางด้านความร้อนของเจลแป้งข้าวเจ้า

การเพิ่มขึ้นของค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงตลอดระยะเวลาการเก็บ 10 วัน เป็นไปดังรูปที่ 12 13 และ 14 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันในวันที่ 10 (ตารางที่ 14 ถึง 16) พบว่าเมื่อเติมสตาร์ชไฮโดรไลเสตลงในแป้งข้าวเจ้า เจลแป้งข้าวเจ้าจะมีค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันในวันที่ 10 ที่ต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญที่ $p \leq 0.05$ เมื่อเปรียบเทียบกับเจลแป้งที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต ซึ่งอาจตีความได้ว่า เมื่อผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตลงไปในเจลแป้งข้าวเจ้าแล้ว โมเลกุลของเจลแป้งข้าวเจ้ามีการจับตัวกันเป็นโครงสร้างร่างแหน้อยลงกว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต หรือกล่าวได้ว่าแป้งเกิดรีโทรเกรเดชันที่ลดน้อยลง ซึ่งผลการทดลองเป็นไปตามงานวิจัยบางชิ้น (Chang และ Liu, 1991; Aee และคณะม 1998; Rojas และคณะ, 2001; Smits และคณะ, 2003; Miyazaki และคณะ, 2004; Hagenimana และคณะ, 2005) ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้รายงานเช่นเดียวกันว่า การเติมโอลิโกแซคคาไรด์ลงในเจลแป้งจะพบว่า เจลแป้งที่ได้จะเกิดรีโทรเกรเดชันที่ช้าลงเมื่อเทียบกับเจลแป้งที่ไม่ได้ผสมอะไรเลย โดยสังเกตได้จากค่าเอน

ทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นช้าลงที่ระยะเวลาเท่ากัน จากนั้นเมื่อพิจารณาระยะเวลาการย่อยพบว่า สามารถแบ่งกลุ่มค่าเอนทาลปีของเจลแป้งข้าวเจ้าได้ออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มเจลแป้งที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่มีระยะเวลาการย่อย 0.5 และ 1 ชั่วโมง กับกลุ่มเจลแป้งที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตที่มีระยะเวลาการย่อยสูงกว่า 4 ชั่วโมงขึ้นไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 14 ถึง 16 โดยเมื่อระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตนานมากขึ้น ค่าเอนทาลปีก็จะต่ำลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดใน เจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูง ซึ่งผลการทดลองข้างต้นเป็นไปตามที่ Rojas และคณะ (2001) และ Smits และคณะ (2003)ซึ่งได้รายงานไว้ว่า โอลิโก แซคคาไรด์ขนาดเล็ก (DP ประมาณ 5) สามารถชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันในเจลแป้งได้

เจลแป้งข้าวเจ้าจะมีค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันในวันที่ 10 ที่ต่ำลงเมื่อมีการผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตลงไปในเจลแป้งข้าวเจ้า (ตารางที่ 14 15 และ 16)โดยที่ระยะเวลาการย่อย 0.5 และ 1 ชั่วโมง เจลแป้งข้าวเจ้าไม่มีความแตกต่างของค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาการย่อยเพิ่มขึ้นเป็น 4 ชั่วโมงหรือสูงกว่าค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันก็จะต่ำลง อาจเพราะเนื่องจากที่เวลาการย่อยมากขึ้น ปริมาณของโอลิโกแซคคาไรด์ที่สามารถลดการเกิดรีโทรเกรเดชันโดยการขัดขวางการจับตัวกันของโมเลกุลแป้งสายยาว มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณของไฮโดรไลเสตลงในเจลแป้งข้าวเจ้า ปริมาณของแป้งโมเลกุลสายสั้นเหล่านี้ก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น ทำให้สามารถชะลอการเกิดโครงสร้างร่างแหอันเกิดจากรีโทรเกรเดชันได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันที่วันสุดท้ายหรือวันที่ 10 มีค่าต่ำลงจากที่ปริมาณไฮโดรไลเสตต่ำ

ในเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวและสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงมีแนวโน้มคล้ายกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง กล่าวคือเมื่อเวลาการย่อยเพิ่มมากขึ้น ค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันในวันที่ 10 ก็จะยิ่งลดลง แต่ในเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงจะมีค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่เวลาการย่อย 4 และ 7 ชั่วโมง (ตารางที่ 16) เนื่องจากสตาร์ชข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลสที่สูง และอะไมโลสสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีแต่เมื่อเวลาการย่อยเพิ่มขึ้นโอลิโกแซคคาไรด์ที่สามารถยับยั้งการเกิดรีโทรเกรเดชันได้มีปริมาณที่มากขึ้น ค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันจึงลดลง

เมื่อปริมาณของไฮโดรไลเสตเท่ากับ 1% และ 5% ที่เวลาการย่อย 0.5 และ 1 ชั่วโมง แป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงจะมีค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันที่สูงที่สุด อาจเนื่องจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงมีปริมาณโมเลกุลแป้งสายตรง หรืออะไมโลสที่สูง และอะไมโลสสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี (Fan และ Marks, 1998)จึงทำให้มีค่าเอนทาลปีสูงที่สุด แต่ที่ปริมาณไฮโดรไลเสต 10% ของของแข็งพบว่าค่าเอนทาลปีของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวจะมีค่าเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันที่สูงกว่าเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูง ซึ่งอาจเนื่องจากที่ปริมาณสูง (10% ของของแข็ง) อะไมโลสอาจเกิดการจับเป็นเกลียวคู่กันเองมากขึ้น เนื่องจากพันธะระหว่างอะไมโลสกับอะไมโลสสามารถเกิดได้ง่ายกว่าพันธะอะไมโลสกับอะไมโลเพ็กทินและอะไมโลเพ็กทินกับอะไมโลเพ็กทิน (Gidley และคณะ. 1987) ซึ่งการวัดการจับตัวกันเป็นเกลียวคู่ดังกล่าวต้องใช้ช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าช่วงที่ใช้ในการทดลองนี้ (Chronakis, 1998) จึงทำให้ค่าเอนทาลปีที่อ่านได้จากเครื่อง DSC มีค่าที่ต่ำลง

ตารางที่ 15 16 และ 17 แสดงเอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวเหนียว และสตาร์ชข้าวโพดะไมโลสสูงตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 15 : เอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันที่วันที่ 0 และวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชมันสำปะหลังปริมาณ 1% 5% และ 10% ของของแข็ง ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตเท่ากับ 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.24 KNU / g สตาร์ชเก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต

		ระดับทดแทน (% solid)											
		1%				5%				10%			
		เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)			
Days	Control	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1.80^{d} ±0.10	1.42^{c}± 0.12	1.24^{b}± 0.23	0.64^{a}± 0.17	0.59^{a} ± 0.22	0.94^{b}± 0.08	0.88^{b}± 0.07	0.64^{a}± 0.09	0.60^{a}± 0.12	0.71^{a}± 0.06	0.68^{a}± 0.05	0.58^{a}± 0.04	0.54^{a}± 0.06

* ตัวอักษร a b c และ d แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในแถวเดียวกันที่ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 16 : เอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันที่วันที่ 0 และวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวเหนียวปริมาณ 1% 5% และ 10% ของของแข็ง ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตเท่ากับ 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.24 KNU / g สตาร์ชเก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต

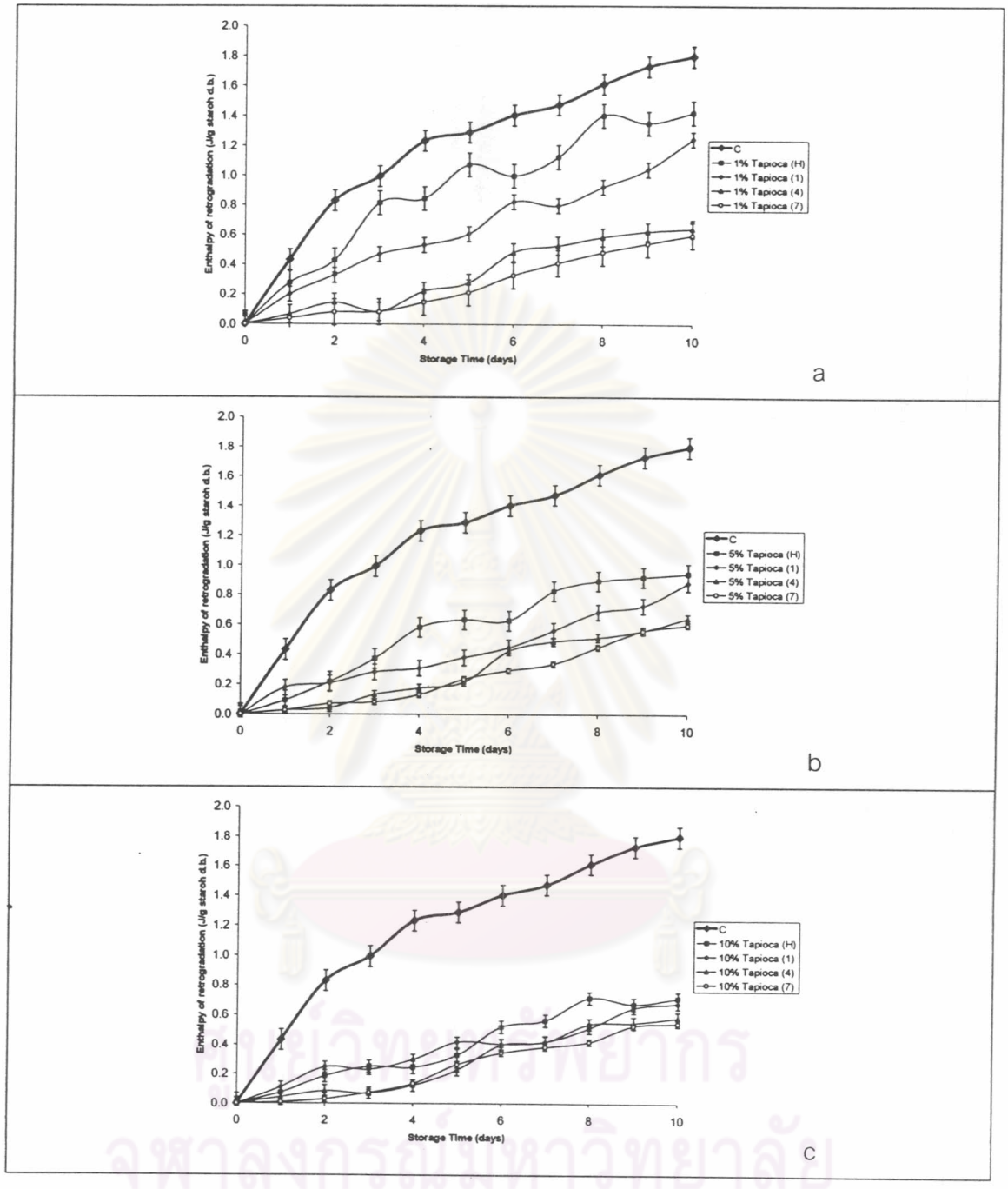
		ระดับทดแทน (% solid)											
		1%				5%				10%			
		เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)			
Days	Control	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1.80^{d}± 0.10	1.61^{b}± 0.07	1.56^{b}± 0.12	1.26^{a}± 0.11	1.23^{a}± 0.13	1.35^{a}± 0.06	1.24^{a}± 0.05	1.01^{c}± 0.10	0.87^{c}± 0.05	1.15^{ac}±0.03	1.00^{c}± 0.04	0.91^{c}± 0.04	0.89^{c}± 0.03

* ตัวอักษร a b c และ d แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในแถวเดียวกันที่ $p \leq 0.05$

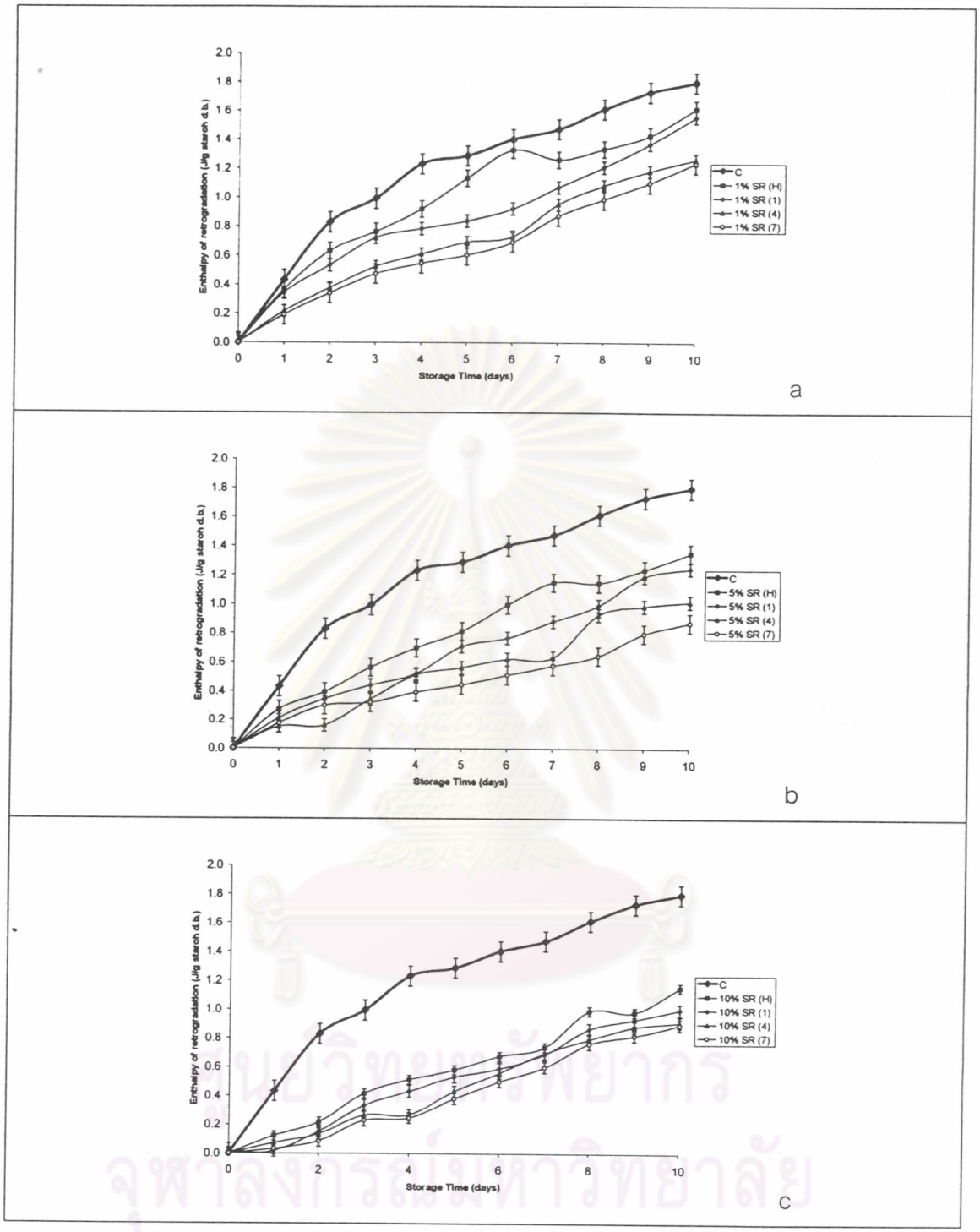
ตารางที่ 17 : เอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันที่วันที่ 0 และวันที่ 10 ของเจลแป้งข้าวเจ้าที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสตจากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงปริมาณ 1% 5% และ 10% ของของแข็ง ระยะเวลาการย่อยของสตาร์ชไฮโดรไลเสตเท่ากับ 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.24 KNU / g สตาร์ชเก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต

		ระดับทดแทน (% solid)											
		1%				5%				10%			
		เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)				เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)			
Days	Control	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7	0.5	1	4	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	$1.80^{d}\pm 0.10$	$1.76^{d}\pm 0.08$	$1.71^{d}\pm 0.15$	$1.19^{c}\pm 0.10$	$0.93^{b}\pm 0.14$	$1.38^{c}\pm 0.08$	$1.27^{c}\pm 1.12$	$0.65^{a}\pm 0.06$	$0.57^{a}\pm 0.11$	$1.23^{c}\pm 0.12$	$1.14^{c}\pm 0.08$	$0.64^{a}\pm 0.07$	$0.53^{a}\pm 0.11$

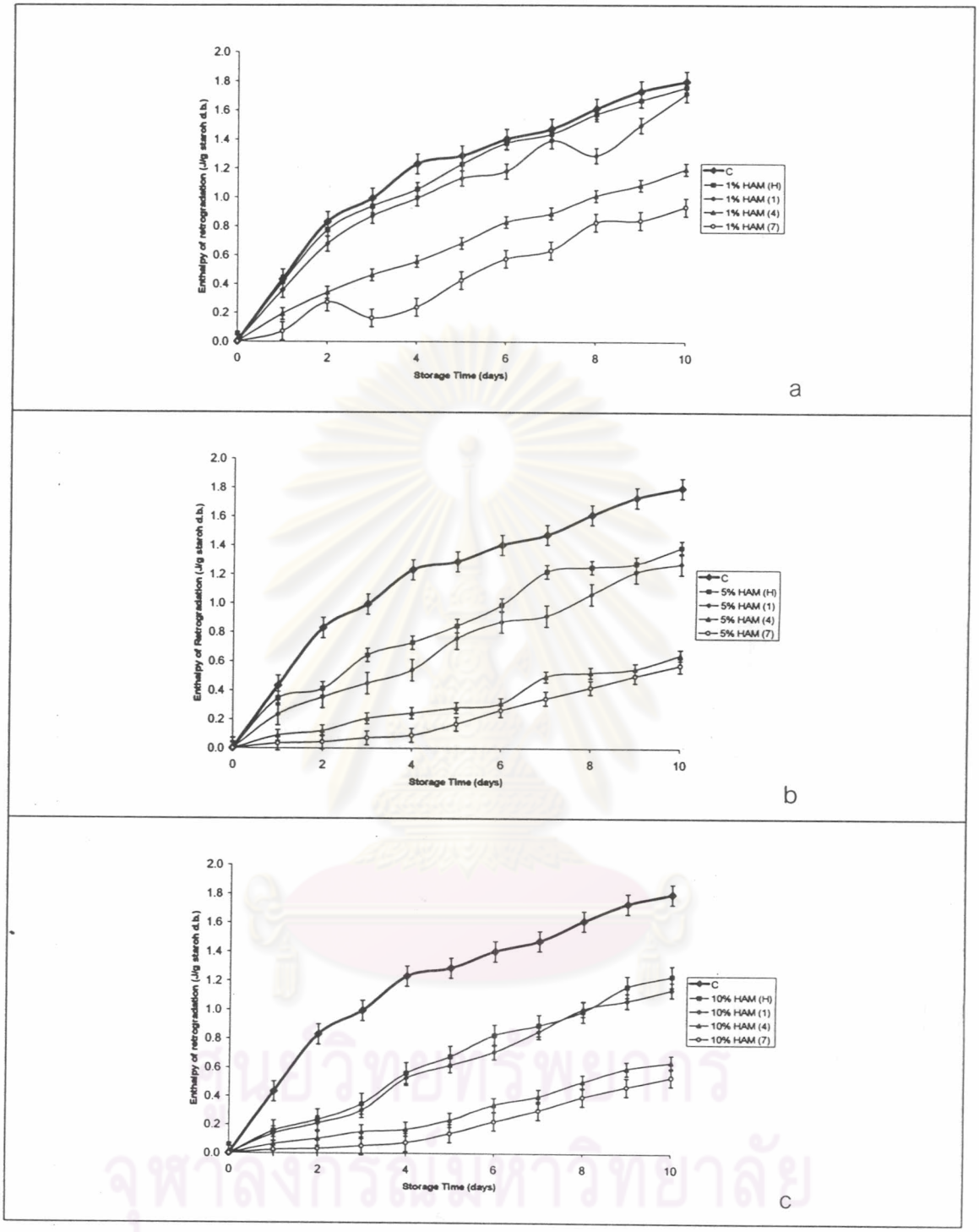
* ตัวอักษร a และ b แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าในแถวเดียวกันที่ $p \leq 0.05$



รูปที่ 11 : เอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งข้าวเจ้า ที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต จากสตาร์ชมันสำปะหลังตลอดอายุการเก็บ 10 วัน ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ที่ 4^{o}C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต (C) ปริมาณ 1%(a) 5%(b) และ 10%(c) ของของแข็ง



รูปที่ 12 : เอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งข้าวเจ้า ที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต จากสตาร์ชข้าวเหนียวตลอดอายุการเก็บ 10 วัน ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ที่ 4^{o}C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต (C) ปริมาณ 1% (รูปที่13a) 5% (รูปที่ 13b) และ 10%(รูปที่ 13c) ของของแข็ง



รูปที่ 13 : เอนทาลปีของการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งข้าวเจ้า ที่ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต จากสตาร์ชข้าวโพดอะไมโลสสูงตลอดอายุการเก็บ 10 วัน ที่เวลาการย่อย 0.5 1 4 และ 7 ชั่วโมง เก็บรักษาไว้ที่ 4°C เปรียบเทียบกับเจลแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ได้ผสมสตาร์ชไฮโดรไลเสต (C) ปริมาณ 1% (รูปที่ 14a) 5%(รูปที่ 14b) และ 10%(รูปที่ 14c) ของของแข็ง