

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 การศึกษาสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งผสม

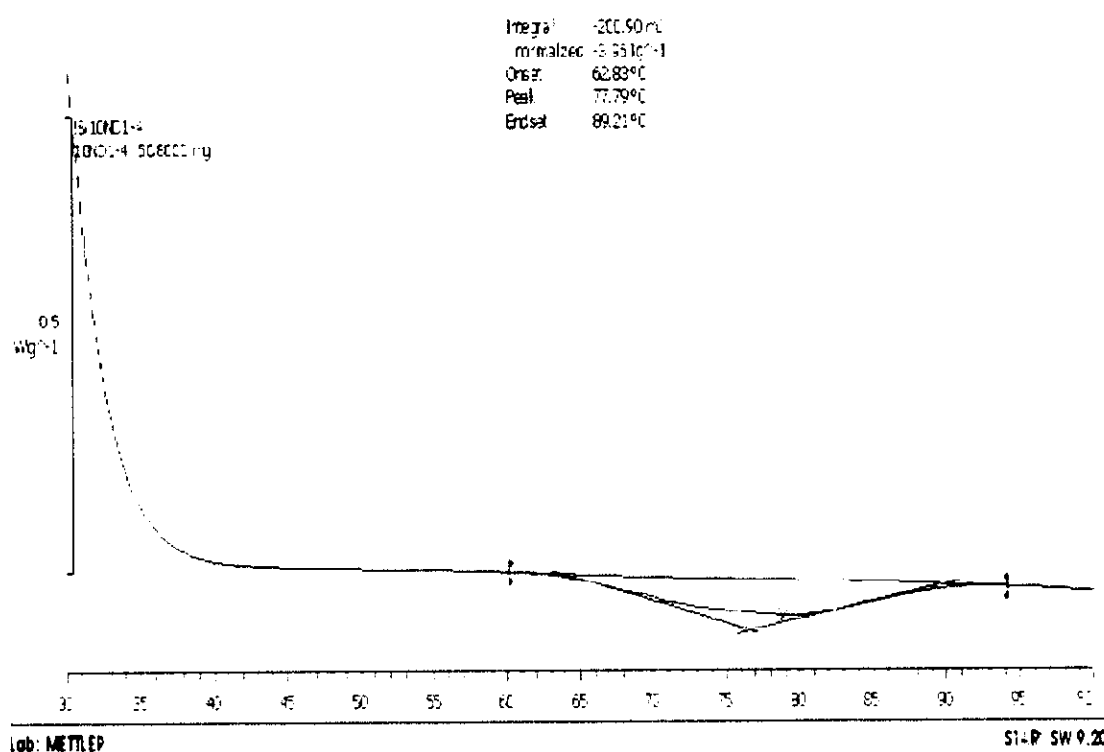
##### 4.1.1 การทดสอบหาปริมาณแอมิโลส

เมื่อนำแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังมาผสมเพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีฟิสิกส์เพื่อทดสอบหาปริมาณแอมิโลสในแป้งผสม ผลการทดสอบปริมาณแอมิโลสในตัวอย่างแป้งผสมสูตรควบคุมมีปริมาณแอมิโลสเฉลี่ยร้อยละ 31.63 และเมื่อทำการทดสอบหาปริมาณแอมิโลสในแป้งแอมิโลสสูง พบว่าแป้งแอมิโลสสูงมีปริมาณแอมิโลสเฉลี่ยร้อยละ 88.26 โดยทั่วไปแล้วแป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณแอมิโลสสูงประมาณร้อยละ 22-30 ส่วนแป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคุจะมีปริมาณแอมิโลสที่ต่ำกว่า คืออยู่ในช่วงร้อยละ 18-24 ซึ่งแอมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไปเนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมี DP ของแอมิโลส แตกต่างกัน (Hizukuri, 1988) นิธิยา รัตนานนท์ และพิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ (2553) อธิบายไว้ว่าข้าวที่ใช้ในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวต้องมีปริมาณแอมิโลสสูงเพื่อให้เกิดเจลที่ดี จึงจะทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวเหนียวและ ไม่ขาดง่าย ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในประเทศไทยจะใช้ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสมากกว่าร้อยละ 27 ควรเป็นข้าวเก่า 3-4 เดือน จึงจะนำมาใช้ในการผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว ซึ่งจะทำให้ได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีคุณภาพดี (งามชื่น คงเสรี, 2541 ; Tungtrakul, 1998) สอดคล้องกับ Kohlway, Kendall & Mohindra (1995) ที่ได้รายงานไว้ว่า โดยทั่วไปแล้วเส้นก๋วยเตี๋ยวทำมาจากข้าวเก่าที่มีปริมาณแอมิโลสสูงเกินกว่าร้อยละ 22 ซึ่งทำให้ผลึกของแอมิโลสในสตาร์ชเกิดมิติร่างแหในเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยที่สตาร์ชสายสั้นจะเชื่อมต่อกันอย่างแข็งแรง ณ บริเวณที่เกิดการเชื่อมต่อ (Mestres et al., 1988) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Juliano (2005) ที่ได้ทำการหาปริมาณแอมิโลสของข้าวโดยใช้วิธีทำให้เกิดสีกับไอโอดีน โดยสามารถแบ่งข้าวจากปริมาณแอมิโลสได้เป็นข้าวเหนียวมีปริมาณแอมิโลสประมาณร้อยละ 0-2 ส่วนข้าวเจ้าแบ่งตามปริมาณแอมิโลสได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ต่ำ ร้อยละ 12-20, กลาง ร้อยละ 20-25 และสูง ร้อยละ 25-33 และ Han, Cho & Koh (2011) ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติการแปรรูปของข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ ของเกาหลีที่มีความสัมพันธ์ต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยทำการศึกษาจากสายพันธุ์อินดิกา (Hanareumbyeon และ Chenmaai) กับสายพันธุ์จาปอนิกา (Jinsumi,

Goamibyeo, Manmibyeo, Milyang 261, Seolgaeng, Suweon 517 และ YR 24088 Acp9) ที่มีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 10.1-32.1 พบว่าข้าวสายพันธุ์ญี่ปุ่นิกากที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ได้แก่ Goamibyeo และ อินดิกา ได้แก่ Chenmaai มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว

#### 4.1.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อน

เมื่อนำตัวอย่างแป้งผสมของเส้นก๋วยเตี๋ยวสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ มาทำการวิเคราะห์หาอุณหภูมิและระดับการเกิดเจลลาตินไนซ์ด้วยเครื่อง DSC ซึ่งก่อนการวิเคราะห์จะทำการผสมแป้งผสมสูตรควบคุมกับสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ กับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 2 จากนั้นทำการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างตั้งแต่อุณหภูมิ 30 ถึง 100 องศาเซลเซียส จะได้ DSC Thermogram ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพ 4.1 พลังงานที่พบเป็นแบบดูดพลังงานในทุกๆ สูตรที่ทำการทดสอบ และได้ผลดังแสดงในตาราง 4.1



ภาพ 4.1 ตัวอย่าง DSC Thermogram ของแป้งก๋วยเตี๋ยวสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อนของแป้งผสมสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ

Samples	$T_o^{ns}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_p^{ns}$ ( $^{\circ}C$ )	$T_c$ ( $^{\circ}C$ )	$\Delta H$ (J/g)
สูตรควบคุม	64.12±1.49	77.76±0.29	86.54±0.21 <sup>b</sup>	2.65±0.01 <sup>a</sup>
สูตรที่เติมแป้ง				
แอมิโลสสูงร้อยละ 5	64.60±0.15	77.84±0.51	88.75±0.98 <sup>a</sup>	2.70±0.03 <sup>a</sup>
สูตรที่เติมแป้ง				
แอมิโลสสูงร้อยละ 10	64.25±1.33	77.81±0.27	88.00±0.28 <sup>ab</sup>	2.74±0.17 <sup>a</sup>
สูตรที่เติมแป้ง				
แอมิโลสสูงร้อยละ 15	65.30±0.85	77.81±0.59	86.61±0.56 <sup>b</sup>	2.39±0.06 <sup>b</sup>
สูตรที่เติมแป้ง				
แอมิโลสสูงร้อยละ 20	64.86±0.23	77.93±0.44	86.61±0.56 <sup>b</sup>	2.40±0.04 <sup>b</sup>
สูตรที่เติมแป้ง				
แอมิโลสสูงร้อยละ 25	64.92±1.55	77.88±0.17	86.49±0.59 <sup>b</sup>	2.32±0.15 <sup>b</sup>

ตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± S.D. (n=2)

<sup>a-b</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ )

$T_o$  หมายถึง อุณหภูมิเริ่มต้นในการเปลี่ยนแปลงความร้อน (Onset Temperature)

$T_p$  หมายถึง อุณหภูมิสูงสุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความร้อน (Peak Temperature)

$T_c$  หมายถึง อุณหภูมิสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลงความร้อน (Conclusion Temperature)

จากตาราง 4.1 ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเปลี่ยนแปลงความร้อน ( $T_o$ ) อยู่ในช่วง 64-65 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิสูงสุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความร้อน ( $T_p$ ) อยู่ในช่วง 77 องศาเซลเซียส ทั้งสองค่านี้คือช่วงอุณหภูมิของการเจลลิตีไนซ์ โดยพบว่าแป้งสูตรควบคุมและแป้งสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ดังนั้นการเติมแป้งแอมิโลสสูงลงไปจึงไม่มีผลต่อค่า  $T_o$  และ  $T_p$  ในขณะที่ค่า Enthalpy ( $\Delta H$ ) ของตัวอย่างจะเห็นได้ว่าการเพิ่มปริมาณแป้งแอมิโลสสูงลงไปมีผลทำให้ค่า Enthalpy มีแนวโน้มที่ลดลง ซึ่งค่า Enthalpy ที่ลดลงเป็นผลมาจากสัดส่วนของปริมาณแป้งแอมิโลสสูงในตัวอย่างที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยที่แป้งแอมิโลสสูงนั้นไม่มีทั้งช่วงอุณหภูมิของการเจลลิตีไนซ์และค่า Enthalpy ที่ใช้

แสดงให้เห็นว่าแป้งแอมิโลสสูงไม่ได้ส่งผลต่ออุณหภูมิในการสุกของแป้งในแต่ละสูตร ผลจากการวิจัยนี้สอดคล้องกับบางงานวิจัย ที่พบว่าค่า Enthalpy ของการเจลาตีไนซ์ลดลงเมื่อปริมาณแป้งแอมิโลสสูงในส่วนผสมเพิ่มขึ้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่พบในแป้งแอมิโลสสูง การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่พบในตัวอย่างผสมส่วนใหญ่มาจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง ไม่ได้มาจากแป้งแอมิโลสสูงที่เพิ่มลงไป และมีบางการศึกษาได้อธิบายไว้ว่าการเพิ่มเส้นใยหรือ RS แสดงความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงเชิงบวกกับอุณหภูมิในการเกิดเจลาตีไนซ์ ดังนั้นเมื่อปริมาณแอมิโลสและอุณหภูมิในการเกิดเจลาตีไนซ์เพิ่มขึ้น ค่า Enthalpy นั้นกลับมีค่าที่ลดลง (Chung, Cho & Lim, 2012) ดังนั้นในการศึกษานี้ช่วงอุณหภูมิของการเจลาตีไนซ์ชั้นและค่า Enthalpy ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจาก แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังที่เป็นส่วนผสมหลัก โดยที่แป้งมีการพองตัวและการสุกในช่วงอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน ส่วนค่าอุณหภูมิต่ำสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลงความร้อนมีความแตกต่างกันโดยที่ตัวอย่างที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 5 มีอุณหภูมิสูงกว่าตัวอย่างอื่นเล็กน้อย ทั้งนี้อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจะเปลี่ยนไปตามชนิดและปริมาณของแป้งเนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วน Crystallite ที่แตกต่างกัน ทั้งระดับการจับกันและความสม่ำเสมอของการเกิดเจลาตีไนซ์ไม่พร้อมกันทุกเม็ด จึงทำให้มีอัตราการคืนตัวไม่เท่ากัน Noisuwan, Bronlund, Wilkinson & Hemar (2008) ทำการศึกษาผลของผลิตภัณฑ์จากโปรตีนนมต่อ Rheological และคุณสมบัติเชิงความร้อน (DSC) ของสตาร์ชข้าวธรรมดาและสตาร์ชข้าวเหนียวโดยการเติม Milk Protein Concentrate (MPC) Way Protein Isolate (WPI) และ Sodium Cascinate (NaCN) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 10 ลงไปในสตาร์ชข้าวธรรมดาและสตาร์ชข้าวเหนียวร้อยละ 10 พบว่า ไม่ได้มีผลต่อ  $T_0$  ของสตาร์ชทั้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียว และไม่ได้ส่งผลต่อ  $T_p$  ของสตาร์ชข้าวเจ้าแต่ส่งผลต่อ  $T_p$  ของสตาร์ชข้าวเหนียว ซึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส

#### 4.1.3 ความหนืดของแป้ง

สำหรับผลการวิเคราะห์สมบัติต้านความหนืดของแป้งทั้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่าง ๆ ด้วยเครื่อง RVA ได้ผลแสดงดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 RVA Parameters ของแป้งสุตควาคุมและสุตวที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ

Samples	RVA Parameters							
	Peak Viscosity (Cp)	Trough Viscosity (Cp)	Breakdown Viscosity (Cp)	Final Viscosity (Cp)	Setback Viscosity (Cp)	Peak Time (min)	Pasting Temperature (°C)	
สุตควาคุม	2,789±30 <sup>a</sup>	2,254±53 <sup>a</sup>	534.3±32.8 <sup>a</sup>	3,325±58 <sup>a</sup>	1,070±63 <sup>a</sup>	6.25±0.04 <sup>ab</sup>	77.50±0.05 <sup>b</sup>	
สุตวที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 5	2,629±40 <sup>b</sup>	2,084±32 <sup>b</sup>	545.3±59.9 <sup>a</sup>	3,123±55 <sup>b</sup>	1,039±72 <sup>a</sup>	6.23±0.14 <sup>b</sup>	77.45±0.05 <sup>b</sup>	
สุตวที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 10	2,457±6.8 <sup>c</sup>	2,019±12 <sup>bc</sup>	438.7±17.5 <sup>b</sup>	2,938±4.5 <sup>c</sup>	919.6±7.5 <sup>b</sup>	6.35±0.04 <sup>ab</sup>	78.10±0.52 <sup>ab</sup>	
สุตวที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 15	2,351±23 <sup>d</sup>	1,960±47 <sup>cd</sup>	391.3±41.6 <sup>bc</sup>	2,866±31 <sup>d</sup>	905.3±78 <sup>b</sup>	6.42±0.10 <sup>ab</sup>	77.77±0.55 <sup>ab</sup>	
สุตวที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 20	2,338±73 <sup>d</sup>	1,941±51 <sup>d</sup>	397.3±29.8 <sup>bc</sup>	2,778±32 <sup>e</sup>	837.3±80 <sup>b</sup>	6.47±0.18 <sup>a</sup>	78.37±0.03 <sup>a</sup>	
สุตวที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 25	2,112±4.2 <sup>e</sup>	1,768±21 <sup>e</sup>	344.3±24.0 <sup>d</sup>	2,629±20 <sup>f</sup>	861.0±39 <sup>b</sup>	6.40±0.13 <sup>ab</sup>	78.12±0.49 <sup>ab</sup>	

ตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± S.D. (n=2)

<sup>a-c</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

Peak Viscosity หมายถึง ความหนืดสูงสุด

Final Viscosity หมายถึง ความหนืดสุดท้าย

Pasting Temperature หมายถึง อุณหภูมิที่ความหนืดเริ่มเพิ่มขึ้น

Breakdown หมายถึง ความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและต่ำสุด

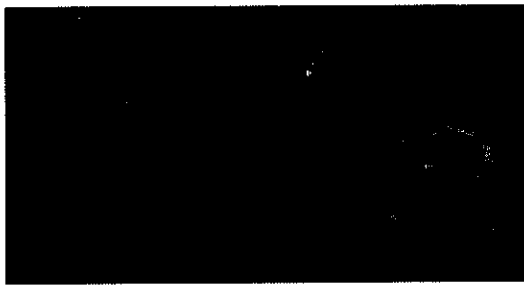
Setback หมายถึง ค่าการคืนตัว

ค่าความหนืดของแป้งที่วัดด้วยเครื่อง RVA นั้นสามารถบ่งบอกถึงความหนืดของตัวอย่างที่เปลี่ยนไปอันเป็นผลมาจากความร้อนและแรงเฉือนที่ได้จากการกวน ผลที่ได้พบว่า อุณหภูมิที่แป้งเริ่มเกิดการพองตัวเพิ่มขึ้นจากสูตรควบคุมเมื่อมีปริมาณแอมิโลสในส่วนผสมเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 77-78 องศาเซลเซียส ซึ่งสัมพันธ์กันกับค่า  $T_p$  ที่วัดได้โดย DSC ที่มีค่าอยู่ในช่วง 77 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นตัวอย่างน้ำแป้งกลับมีค่าความหนืดสูงสุดลดลงจากสูตรควบคุมเมื่อมีปริมาณแป้งแอมิโลสสูงในส่วนผสมเพิ่มขึ้น เมื่อให้ความร้อนไปเรื่อยๆ จะทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวมากขึ้นจนเกิดการพองตัวสูงสุด และจะทำให้เม็ดแป้งของตัวอย่างแตกออกและทำให้โมเลกุลของแป้งเล็กลงจึงทำให้ความหนืดของแป้งลดลงเรื่อยๆ จนได้ความต่างของความหนืดสูงสุดหรือต่ำสุด ที่จะแสดงถึงความสามารถในการทนความร้อนของเม็ดแป้ง หมายความว่า ถ้าค่าความหนืดต่ำสุดมีค่าสูงแสดงว่าตัวอย่างแป้งมีความทนต่อความร้อนได้ดี จากผลการวัดค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งทั้ง 6 สูตร พบว่าค่าความหนืดต่ำสุดของแป้งลดลงเมื่อปริมาณแป้งแอมิโลสสูงในส่วนผสมเพิ่มขึ้น แสดงว่ามีความทนต่อความร้อนได้น้อยลง และเมื่อปล่อยให้แป้งเย็นตัวลงความหนืดของแป้งจะเพิ่มขึ้นจนมีความหนืดสุดท้าย ในที่นี้ตัวอย่างแป้งมีความหนืดสุดท้ายลดลงโดยมีความสัมพันธ์กันกับค่าอื่นๆ นอกจากนี้ โมเลกุลของเม็ดแป้งยังมีการจัดเรียงตัวกันใหม่ที่แน่นขึ้นซึ่งเรียกว่าเป็นช่วงของการคืนตัว และจากการวัดค่าการคืนตัวพบว่าตัวอย่างแป้งมีการคืนตัวลดลงไปจากสูตรควบคุมเมื่อปริมาณแป้งแอมิโลสสูงในส่วนผสมเพิ่มมากขึ้น ลักษณะของเจลแป้งที่ได้จากการวัดมีลักษณะที่ไม่แตกต่างกันดังแสดงในภาพ 4.2 ในขณะที่แป้งแอมิโลสสูง เมื่อทำการวัดด้วย RVA ไม่พบการเปลี่ยนแปลงความหนืด ผลจะสัมพันธ์กับ DSC ที่ตรวจสอบไม่พบการเปลี่ยนแปลงพลังงานด้วยเช่นกัน

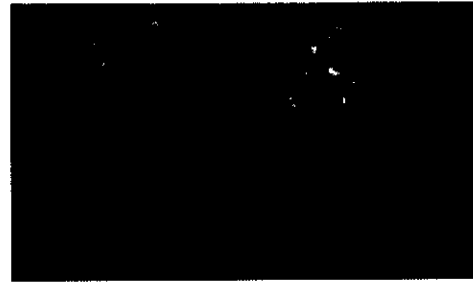
ดังนั้นแป้งแอมิโลสสูงจึงมีผลทำให้ความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดสุดท้าย และการคืนตัวของแป้งลดลง เมื่อมีปริมาณแป้งแอมิโลสสูงในส่วนผสมเพิ่มขึ้น (ภาพ 4.3) Varavinit et al. (2003) ทำการศึกษาผลของปริมาณแอมิโลสต่อสมบัติของแป้งจากข้าวไทยพันธุ์ต่างๆ พบว่า ปริมาณแอมิโลสที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนซ์เพิ่มขึ้น เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA พบว่า ค่าความหนืดลดลงและค่าความหนืดสูงสุดมีค่าต่ำลง แต่ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นอีกครั้งและอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณแอมิโลสของข้าวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Cameron & Wang (2005) ยังพบว่า ปริมาณแอมิโลส ยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความแข็งของเจล แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเหนียวของเจล เมื่อทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนของแป้งโดยใช้เครื่อง DSC พบว่าแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงมีค่าอุณหภูมิสูงสุด และ Enthalpy ของการเกิดเจลลาติไนเซชันลดลง

ค่าความหนืดสูงสุด, ค่าความหนืดต่ำสุด และ ความหนืดสุดท้าย ที่ได้จากงานวิจัยนี้ สัมพันธ์กับงานวิจัยของ Blazek & Copeland (2008) ที่ศึกษาคุณสมบัติทางด้านความหนืดและ

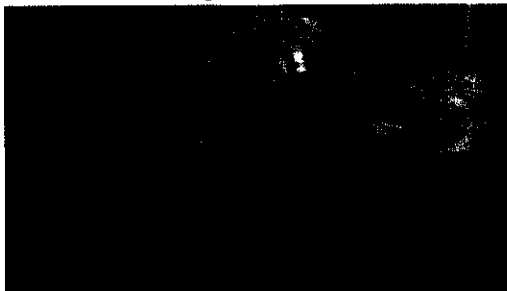
กำลังการพองตัวของแป้งและสตาร์ชจากแป้งสาลีที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมิโลส สตาร์ช และแป้งที่วัดโดย RVA มีค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชอยู่ในช่วง 172-259 RVUs ส่วนแป้งมีความหนืดอยู่ในช่วง 159-272 RVU และตัวอย่างที่มีปริมาณแอมิโลสระหว่างร้อยละ 35 และ 43 ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดต่ำสุด และ ค่าความหนืดสุดท้ายลดลงเมื่อปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้น สตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสดังกล่าวร้อยละ 30 โดยทั่วไปแสดงความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด มีค่าลดลงเมื่อปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้น แต่ผันแปรกับ Final Viscosity ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้น (Zeng, Morris, Batey & Wrigley, 1997; Yamamori & Quynh., 2000; Yanagisawa, Kiribuchi-Otobe & Fujita, 2004; Yanagisawa et al., 2006)



สูตรควบคุม



สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 5



สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 10



สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 15

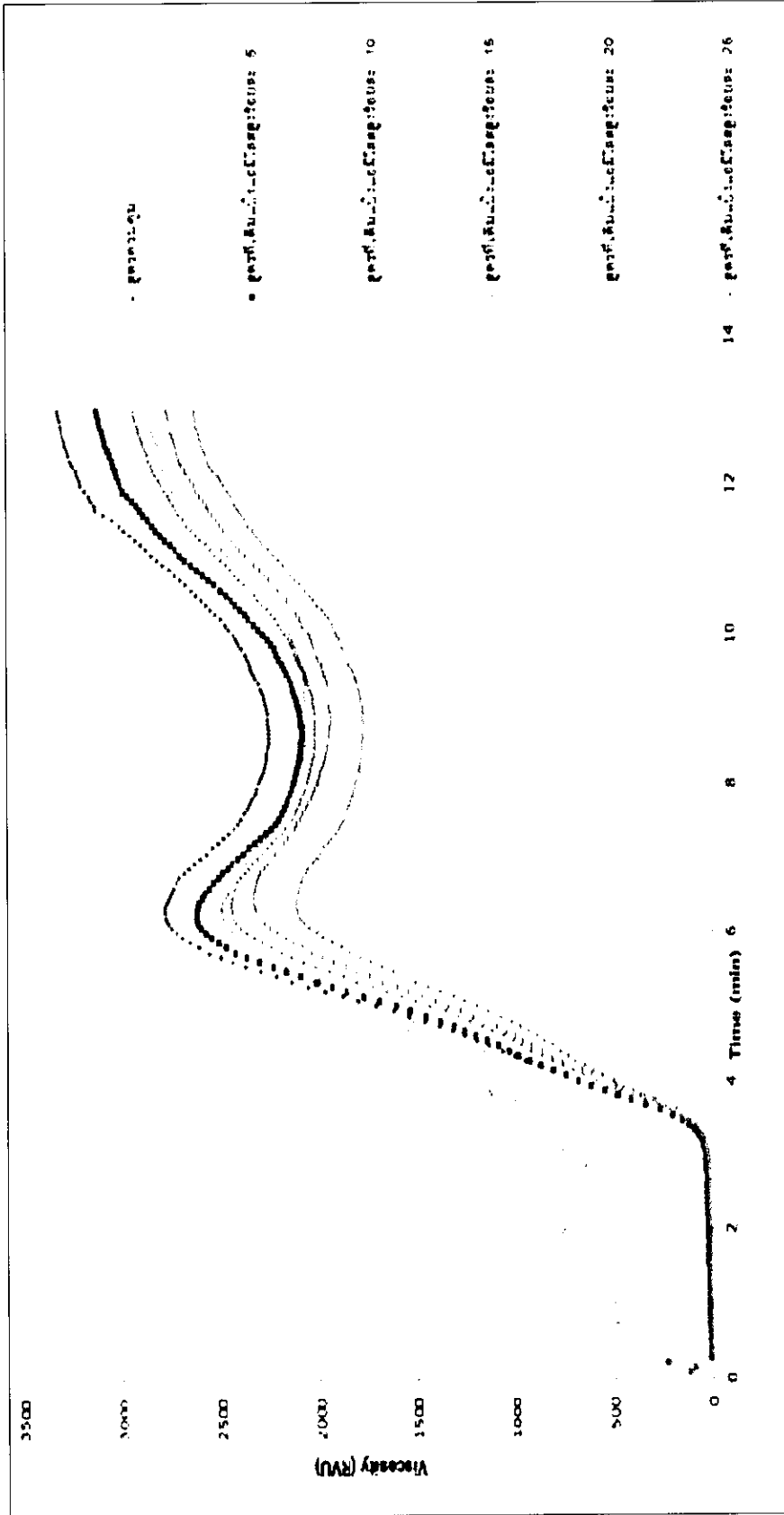


สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 20



สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 25

ภาพ 4.2 ลักษณะของเจลแป้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ ภายหลังจากการวัดด้วย RVA



ภาพ 4.3 ลักษณะกราฟความหนืดของแป้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ ที่วัดด้วย RVA



Lai (2001) รายงานไว้ว่าการให้ความร้อนกับข้าวที่มีแอมิโลสสูง (ร้อยละ 28.8) มีความชื้นร้อยละ 22.2 และ 29.8 ที่อุณหภูมิ 75-95 องศาเซลเซียส นาน 20-60 นาที มีความแตกต่างกันทั้งค่า ความหนืดสุดท้ายและค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นอีกครั้งซึ่งมีค่าสูงกว่าข้าวดั้งเดิม การเร่งการเจียวตัวของ Non-Waxy Rice และ Amylase-Lipid Complex ทำให้เกิดการสร้างผลึกที่มีความสม่ำเสมอแตกต่างกันไป (Takahashi et al., 2005) Chung, Cho & Lim (2012) ทำการศึกษาผลของความร้อนขึ้นต่อการ Utilization ของข้าวกล้องงอกในเส้นก๋วยเตี๋ยว จากแป้งสาลี พบว่าค่าความหนืดของแป้งผสมลดลงเมื่อปริมาณข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นจะช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวและค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงระหว่างที่เป็นแป้งเปียกสามารถนำมาใช้ในการทำนายคุณภาพของก๋วยเตี๋ยว (Normdok & Noomhorm., 2007) Inglett, Peterson, Carriere & Maneepun (2005) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางด้าน Rheological เนื้อสัมผัส ประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว อาเซียนที่มี Oat Cereal Hydrocolloid เป็นองค์ประกอบที่เรียกว่า Nutrim-5 คุณสมบัติทางด้าน ความหนืดของแป้งและแป้งผสมพบว่าแป้งข้าวมีความหนืดสูงที่สุดกับความหนืดสุดท้ายสูงที่สุด และแสดงความหนืดสูงสุดทั้งในความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้าย ที่เพิ่มขึ้นจากแป้งข้าวผสม เมื่อเปรียบเทียบด้วย RVA Pasting Curve ของแป้งข้าว แป้งสาลี และแป้งผสมทั้ง 3 ชนิด แป้งข้าวแสดงความหนืดอย่างเด่นชัด และมีความหนืดเพิ่มขึ้น แป้งข้าวและแป้งสาลีที่ผสมกับ Nutrim-5 มีความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อแป้งข้าวเจ้าที่เป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ Jane & Chen (1992) สรุปไว้ว่าโมเลกุลของแอมิโลสที่มีการทำงานร่วมกัน มีผลต่อความหนืดของแป้งเปียกในสตาร์ช แป้งเปียกที่เย็นลงของสตาร์ชมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างเหมาะสมในการยึดจับของเจลไว้ด้วยกันโดยปฏิกิริยาภายในโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพคติน ในเจลที่มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 25 โมเลกุลของสตาร์ชสร้างร่างแหที่ให้ผลในด้านความแน่นเนื้อของเจล แตกต่างจากเจลของสตาร์ชข้าวเหนียวที่นุ่มและมีการรวมตัวกันแต่ไม่เกิดร่างแห (Tang & Copeland, 2007a) Copeland, Blazek, Salman & Tang (2009) ทำการศึกษาการสร้างโครงสร้างและหน้าที่ของสตาร์ช ได้อธิบายไว้ว่าความหนืดเพิ่มขึ้นสูงสุดและลดลงไปจนถึงค่าต่ำสุดเมื่อแกรนูลแตกออก เมื่ออุณหภูมิลดลงความหนืดเพิ่มขึ้นอีกครั้ง จากต่ำสุดไปจนถึงค่าสุดท้าย ในที่นี้คือ ความหนืดที่เพิ่มขึ้นอีกครั้ง, เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด และ ความหนืดสูงสุด ที่จะบ่งบอกความสามารถในการจับกับน้ำของสตาร์ช และง่ายต่อการแตกของแกรนูลของสตาร์ช อย่างไรก็ตาม ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นอีกครั้งสูงสุด มีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมิโลสของสตาร์ช นอกจากนี้ RVA ยังมีความง่ายต่อการศึกษาผลของการเพิ่มสารปรุงแต่งต่อ Rheology ของสตาร์ช และ RVA Parameters สัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (Deffenbaugh & Walker, 1989; Ravi, Sai Manohar & Haridas Rao, 1999; Tang & Copeland., 2007b) Varavinit et al. (2003) ทำการศึกษาผลของปริมาณแอมิโลสต่อสมบัติของแป้งจากข้าวไทยพันธุ์ต่างๆ พบว่าปริมาณแอมิโลสที่

เพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนซ์เพิ่มขึ้น เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA พบว่า ค่าความหนืดลดลงและค่าความหนืดสูงสุดมีค่าต่ำลงแต่ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นอีกครั้ง และอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอมิโลสของข้าวเพิ่มขึ้น

#### 4.1.4 เนื้อสัมผัสของเจลแป้ง

เมื่อทำการศึกษาเนื้อสัมผัสของเจลแป้งผสมสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ ด้วยวิธีวัดเนื้อสัมผัสแบบ TPA ผลแสดงดังตาราง 4.3

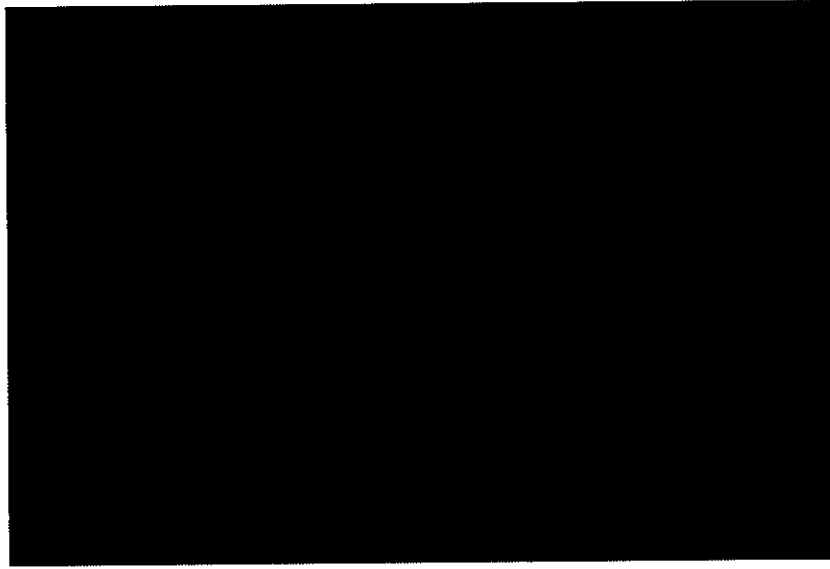
ตาราง 4.3 เนื้อสัมผัสของเจลแบ่งผสมสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Texture Profile Analyzer

Samples	Hardness (g)	Cohesiveness	Adhesiveness (g.sec)	Springiness	Gumminess (g)	Chewiness (g)
สูตรควบคุม	78.78±5.93 <sup>b</sup>	1	nd	0.89±0.11 <sup>b</sup>	78.76±5.93 <sup>b</sup>	70.15±10.55 <sup>c</sup>
สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 5	100.18±22.07 <sup>b</sup>	1	nd	0.95±0.01 <sup>a</sup>	100.14±22.07 <sup>b</sup>	95.18±21.91 <sup>b</sup>
สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 10	122.95±9.26 <sup>a</sup>	1	nd	0.96±0.01 <sup>a</sup>	122.92±9.26 <sup>a</sup>	118.28±8.71 <sup>a</sup>
สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 15	141.59±8.14 <sup>a</sup>	1	nd	0.95±0.11 <sup>a</sup>	141.54±8.14 <sup>a</sup>	135.05±8.29 <sup>a</sup>
สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 20	126.36±27.31 <sup>a</sup>	1	nd	0.96±0.01 <sup>a</sup>	126.33±27.31 <sup>a</sup>	121.22±25.97 <sup>a</sup>
สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 25	145.02±18.21 <sup>a</sup>	1	nd	0.97±0.01 <sup>a</sup>	144.99±18.20 <sup>a</sup>	140.48±17.14 <sup>a</sup>

ตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± S.D. (n=10)

<sup>a-c</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

จากตาราง 4.3 จะเห็นได้ว่าค่า Hardness (ค่าความแข็ง) Springiness (ค่าการคืนตัวหรือความยืดหยุ่น) Gumminess (ความเหนียว) และ Chewiness (การทนต่อการเคี้ยว) มีค่าเพิ่มขึ้นไปจากสูตรควบคุมเมื่อปริมาณแอมิโลสในตัวอย่างเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นจาก 78.78-145.02 g, 0.89-0.97, 78.76-144.99 และ 70.15-140.48 ตามลำดับ โดยที่มีค่า Cohesiveness (การเกาะกัน) ที่จะบ่งบอกถึงการทนต่อการเสีรูปของเจลหรือความสามารถในการรวมกันได้ของเจล (Bourne, 1978) ในทุกสูตรมีค่าเท่ากับ 1 แสดงให้เห็นว่าเจลของแป้งมีการเกาะตัวกันได้ดีเท่ากันในทุกๆ สูตร และค่าความแข็งที่ได้เป็นผลมาจากการเกิดรีโทรเกรเดชัน โดยที่ปริมาณแอมิโลสเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง (Stephen, 1995) แต่ในขณะที่เดียวกันกลับไม่พบค่า Adhesiveness (การเกาะติดของอาหารกับผิวสัมผัสอื่น) จากเจลของแป้งในทุกๆ สูตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งแอมิโลสสูงไม่ได้มีผลต่อการเกาะติดกับวัตถุอื่นหรือการเกาะติดในปาก สัดส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพคตินมีผลต่อค่าความแข็งของเจล (Hibi, 1998) โดยทั่วไปแล้วข้าวที่มีแอมิโลสสูงจะให้ค่าความแข็ง, ค่าความต้านทานต่อแรงดึง และมีความเหนียวสูง (Lu et al., 2009) ซึ่งค่าความแข็งของเจลจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับสถานะตัว (Hager et al., 2012) นอกจากนี้ค่าการคืนตัวของเจลแป้งนั้นพบว่า สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงสามารถทนต่อการเสีรูปและมีการคืนตัวหรือมีความยืดหยุ่นได้ดีกว่าสูตรควบคุม ในขณะที่การทนต่อการเคี้ยวหรือแรงที่ต้องใช้ในการทำให้ตัวอย่างที่เป็นกึ่งของแข็งแตกออกเป็นชิ้นจนสามารถกลืนได้ (Civile & Szczesiak, 1973) มีความสัมพันธ์กันกับค่าความแข็งคือ เมื่อค่าความแข็งเพิ่มขึ้นการทำให้ตัวอย่างแตกออกเป็นชิ้นหรือค่าความต้านทานต่อการเคี้ยวมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย สูตรที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะให้ค่าความแข็งมากจึงต้องออกแรงในการเคี้ยวมาก ดังนั้นปริมาณแอมิโลสจึงมีผลต่อค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความเหนียวของเจล โดยทำให้มีค่าสูงขึ้นแต่ไม่ได้มีผลต่อการเกาะกันหรือการทนต่อการเสีรูปของเจล (ภาพ 4.4)



ภาพ 4.4 ลักษณะของเจลแป้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ

บุญทิวา นิลจันทร์ (2548) อธิบายไว้ว่า แป้งที่ผ่านการเจลาดีไนซ์แล้วมาทำให้เป็นแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะเกิดการคืนตัวหรือเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี โดยพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะเหมาะกับการนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปและให้เนื้อสัมผัสที่แข็ง สัมพันธ์กับงานวิจัยของ Bao, Sun, Zhu & Corke (2004) ที่ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของปริมาณโครโมโซมจากสตาร์ชข้าวบางพันธุ์ (*Oryza Sativa L.*): คุณสมบัติทางความร้อน, เนื้อสัมผัสของเจลและปริมาตรของการพองตัว พบว่าปริมาณแอมิโลสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความแข็งของเจล แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าการเกาะกันและปริมาตรการพองตัวของแป้ง นอกจากนี้ปริมาณแอมิโลส, ค่าความแข็งของเจล, ค่าการเกาะกัน และปริมาตรการพองตัวของแป้ง ไม่มีความสัมพันธ์กับ  $T_0$ ,  $T_p$  และ  $T_c$  ซึ่งความแตกต่างทางพันธุกรรมเป็นปัจจัยที่ควบคุมคุณสมบัติทางความร้อน, เนื้อสัมผัสของเจล และปริมาตรการพองตัว

ในขณะที่เดียวกัน Thao & Noomhorm (2011) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชมันเทศและสตาร์ชถั่วเขียวกับการนำไปผสมเพื่อผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า เนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชถั่วเขียวมีค่าความแข็งประมาณ 1.2 kg สูงกว่าสตาร์ชมันเทศซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.13-0.26 kg ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการผสม แต่มีค่า Stickiness (ความเหนอะเมื่ออยู่ในปาก) ของเจลต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้คุณสมบัติของเจลสตาร์ชขึ้นอยู่กับปริมาณโครงสร้างของแอมิโลสและแอมิโลเพคติน สตาร์ชจะแสดงความแน่นเนื้อของเจลสูงกว่าเมื่อมีปริมาณแอมิโลสสูงและมีแอมิโลเพคตินสายยาวกว่า (Pons & Fizman, 1996 ; Mua & Jackson, 1998) แอมิโลสที่ละลายได้เป็นวัตถุดิบหลักในการยึดและจับกันเป็นร่างแห อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับร่างแห (Ott & Hester, 1965) และมีความสัมพันธ์ที่ติดต่อเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว (Bhattacharya, Zee & Corke, 1999)

ในขณะที่เดียวกัน Lau, Tang & Paulson (2000) ศึกษาผลของ Gellan/Gelatin กับความเข้มข้นของประจุแคลเซียมต่อลักษณะเนื้อสัมผัสเจลของ Gellan/Gelatin ผสม โดยใช้วิธีการวัดแบบ TPA และ Spectrophotometry พบว่าค่าความแข็งสัมพันธ์กับความแข็งแรงของโครงสร้างเจลภายใต้การกด ค่าความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมี Gellan ในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ค่าการเกาะกันลดลงเมื่อเจลผสมมีประจุของแคลเซียมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะความเข้มข้นของแคลเซียมจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ Gellan ต่อ Gelatin ในเจลและค่าการคืนตัวมีค่าลดลงเมื่อมีแคลเซียมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Cameron & Wang (2005) ยังพบว่า ปริมาณแอมิโลสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความแข็งแรงของเจล และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเหนียวของเจล Ong & Blanchard (1995) ศึกษาผลของปริมาณและขนาดโมเลกุลแอมิโลสและแอมิโลเพคตินในสตาร์ชต่อเนื้อสัมผัสของข้าวในกลุ่มของข้าวอินดิกาจำนวน 11 พันธุ์ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพคตินของข้าวแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน และมีความสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกคือ ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะมีเนื้อสัมผัสของข้าวแข็งกว่าข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ นอกจากนี้พบว่าสายโมเลกุลชนิด B ที่มีความยาว DP เท่ากับ 92-98 มีผลทำให้เนื้อสัมผัสของข้าวแข็ง เนื่องจากโมเลกุลที่มีสายยาวมีโอกาสในการเกิดปฏิกิริยากับ ไชมัน โปรตีน และ โพลีแซคคาไรด์อื่นๆ ได้ง่าย ข้าวที่สุกจึงมีเนื้อสัมผัสที่แข็ง Piyachomkwan et al. (2005) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสตาร์ชข้าวต่อคุณภาพของข้าวสุก พบว่าข้าวแอมิโลสสูงมีเม็ดสตาร์ชที่มีความคงทนต่อการพองและมี แนวโน้มที่จะเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าข้าวแอมิโลสต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวที่มีแอมิโลสสูงมีสมบัติในการเกิดเจลได้ดีและพบว่าปริมาณแอมิโลส มีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสุก โดยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความแข็งแรงของเมล็ดข้าวสุกและสัมพันธ์เชิงลบกับค่าการเกาะติดพื้นผิว

#### 4.2 การศึกษาคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว

เมื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของแป้งผสมในด้านต่างๆ แล้ว จากนั้นจึงนำแป้งผสมสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ มาทำการผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อนำมาศึกษาถึงคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวในด้านต่างๆ ได้ผลแสดงดังต่อไปนี้ .

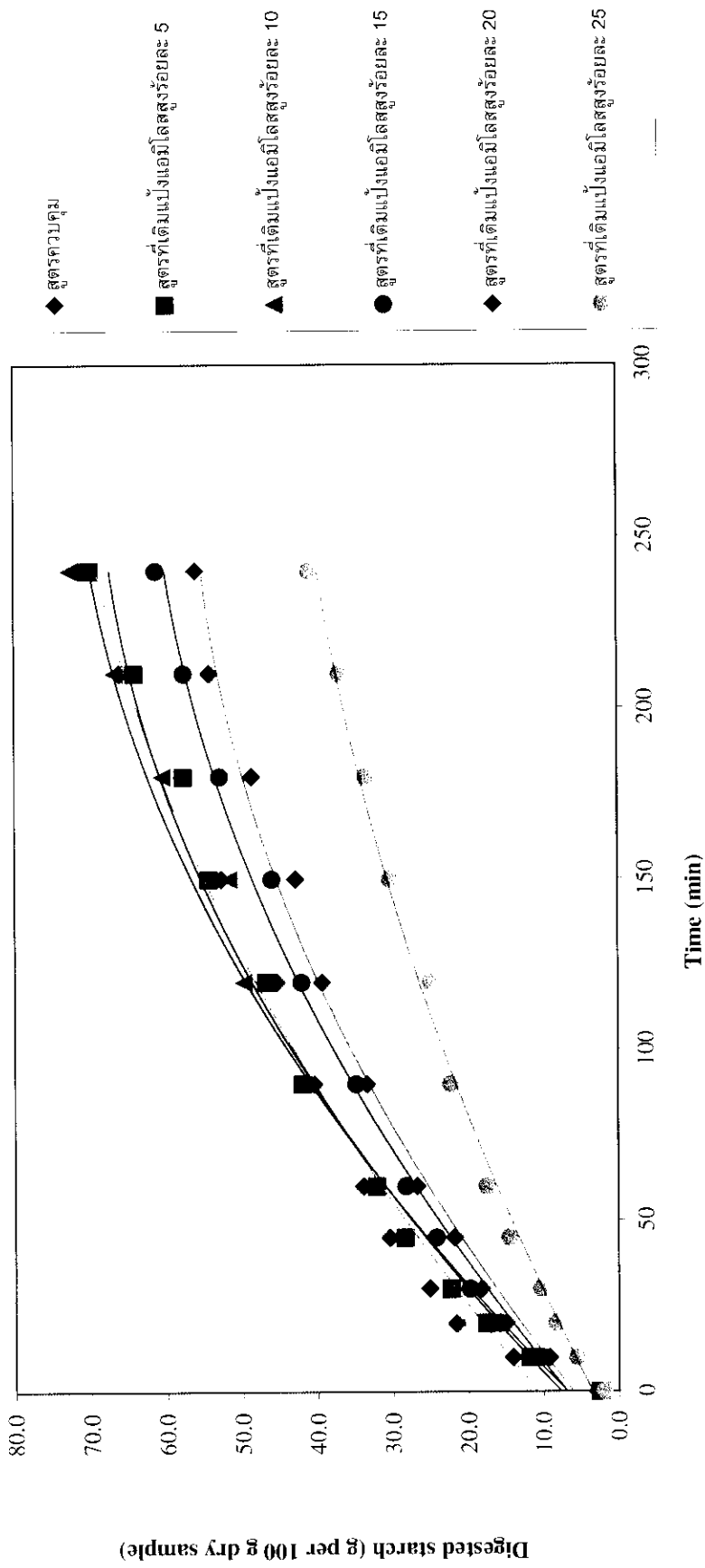
##### 4.2.1 ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด

การวิเคราะห์หาปริมาณสตาร์ชทั้งหมดมีผลต่อการนำไปวิเคราะห์หาอัตราการย่อยของก๋วยเตี๋ยว ซึ่งจากผลการทดลองหาปริมาณสตาร์ชทั้งหมดของแป้งผสมสูตรควบคุมและแป้งสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงลงไปให้เพิ่มขึ้นจากเต็มร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 มีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดที่ได้จากการคำนวณจากสูตรควบคุมคือ ร้อยละ 88.01 มาที่ 89.02, 90.00, 90.77,

91.43 และ 92.00 ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณแอมิโลสในส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สัมพันธ์กับรายงานวิจัยของ Chen et al. (2010) ได้รายงานปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยในเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งชนิดต่างๆ ในจีน สตาร์ชจากข้าวโพด มันฝรั่ง มันเทศ และมันสำปะหลัง มีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 96.80, 98.90, 92.60 และ 88.80 ตามลำดับ แต่เมื่อนำเส้นก๋วยเตี๋ยวดังกล่าวไปทำให้สุก พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวจากสตาร์ชมันเทศและสตาร์ชจากมันสำปะหลัง มีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดเพิ่มขึ้นมาอยู่ที่ 96.80 และ 98.20 ตามลำดับ มีบางงานวิจัยที่ทำการศึกษาค่าผลของปริมาณแอมิโลสและแป้งที่ต้านทานต่อการย่อยต่อค่าดัชนีน้ำตาลในเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยการเพิ่มปริมาณแป้งแอมิโลสสูงเพิ่มลงไปในส่วนผสมจากสูตรควบคุม พบว่ามีปริมาณของสตาร์ชทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 73-87 Guo, Jackson, Graybosch & Parkhurst (2003) ได้ทำการศึกษาค่าคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวผสมเกลือแบบเอเชียโดยดูจากอิทธิพลของการปรับปริมาณแอมิโลสในแป้งสาลีสายพันธุ์ 'Nuplains' และ 'Centum' เปรียบเทียบกับแป้งของเส้นก๋วยเตี๋ยวทางการค้าในเกาหลี พบว่ามีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดอยู่ที่ ร้อยละ 75.80, 77.00 และ 79.60 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกัน Frei, Siddhuraju & Becker (2003) ทำการศึกษาปริมาณสตาร์ชในข้าวกล้อง 6 สายพันธุ์ พบว่ามีปริมาณสตาร์ชอยู่ระหว่างร้อยละ 7-82 ด้วยเช่นกัน ในส่วนของ Vatanasuchart, Niyomwit & Wongkrajang (2009) ได้ทำการศึกษปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในอาหารไทยที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบจากอาหารจำนวน 29 ชนิด พบว่าค่าน้อยสุดของปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในเส้นก๋วยเตี๋ยว 6 ชนิด ที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 41.30-73.70 1

#### 4.2.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการย่อยสตาร์ช

เมื่อทำการตรวจสอบความสามารถในการย่อยสตาร์ชโดยวิธี In-vitro Digestibility Assay (Sopade & Gidley, 2009) ได้กราฟอัตราการย่อยของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ แสดงดังภาพ 4.5 และค่าพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ของอัตราการย่อยและค่าดัชนีน้ำตาลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตาราง 4.4 เมื่อคำนวณจลนพลศาสตร์โดยการใช้ Modified First Order Kinetic Model (Sopade & Gidley, 2009; Mahasukhonthachat, Sopade & Gidley, 2010) พบว่าค่าที่ได้มีความเหมาะสมดี ( $r^2 = 0.97-0.99$ , MRDM = ร้อยละ 14-26, SUMSQ = 31-117)



ภาพแสดงแนวโน้มอัตราการย่อยสลายในผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นกรอบแห้งสุทธิตามและสูตรที่เติมแป้งอะไมโลสสูงที่ระดับต่างๆ



จากภาพ 4.2 จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณแป้งแอมิโลสสูงในส่วนผสมเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลของก๋วยเตี๋ยวมีค่าลดลง โดยสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสร้อยละ 25 มีค่าดัชนีน้ำตาลลดลงจากสูตรควบคุมอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากแป้งข้าวและแป้งมันสำปะหลังที่จัดเป็นอาหารที่มีอัตราการย่อยเร็วหรือมีค่าดัชนีน้ำตาลสูง พารามิเตอร์จลนพลศาสตร์การย่อยและค่าดัชนีน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงแสดงในตาราง 4.2

**ตาราง 4.4** ค่าพารามิเตอร์จลนพลศาสตร์ของอัตราการย่อยและค่าดัชนีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่าง ๆ

Samples	Total Starch	D <sub>0</sub> (g/100 g dry starch)	D <sub>∞</sub> (g/100 g dry starch)	K×10 <sup>-3</sup> (min <sup>-1</sup> )	H <sub>90</sub>	GI <sub>H90</sub>	HI	GI <sub>HI</sub>	AVG,GI
สูตรควบคุม	88.01	10.30±0.10 <sup>a</sup>	100.0±0.00 <sup>a</sup>	4.55±0.01 <sup>b</sup>	40.41±0.00 <sup>b</sup>	71.66±0.01 <sup>b</sup>	82.25±0.01 <sup>a</sup>	86.39±0.01 <sup>a</sup>	79.03±0.01 <sup>a</sup>
สูตรที่เติมแป้ง									
แอมิโลสสูงร้อยละ 5	89.02	8.04±0.25 <sup>ab</sup>	100.0±0.00 <sup>a</sup>	4.68±0.02 <sup>b</sup>	39.65±0.25 <sup>b</sup>	71.05±0.20 <sup>b</sup>	62.99±0.34 <sup>b</sup>	75.41±0.19 <sup>b</sup>	73.23±0.20 <sup>c</sup>
สูตรที่เติมแป้ง									
แอมิโลสสูงร้อยละ 10	90.00	5.20±0.12 <sup>bc</sup>	85.23±1.18 <sup>b</sup>	6.84±0.16 <sup>a</sup>	41.96±0.12 <sup>a</sup>	72.90±0.10 <sup>a</sup>	64.59±0.00 <sup>b</sup>	76.33±0.00 <sup>b</sup>	74.62±0.05 <sup>b</sup>
สูตรที่เติมแป้ง									
แอมิโลสสูงร้อยละ 15	90.77	5.75±0.08 <sup>b</sup>	75.54±4.94 <sup>c</sup>	6.32±0.50 <sup>a</sup>	35.94±0.42 <sup>c</sup>	68.07±0.34 <sup>c</sup>	55.64±1.15 <sup>c</sup>	71.22±0.65 <sup>c</sup>	69.65±0.49 <sup>d</sup>
สูตรที่เติมแป้ง									
แอมิโลสสูงร้อยละ 20	91.43	7.39±0.81 <sup>ab</sup>	100.0±0.00 <sup>a</sup>	3.36±0.05 <sup>c</sup>	31.52±0.28 <sup>d</sup>	64.52±0.22 <sup>d</sup>	51.22±0.30 <sup>d</sup>	68.70±0.17 <sup>d</sup>	66.61±0.20 <sup>e</sup>
สูตรที่เติมแป้ง									
แอมิโลสสูงร้อยละ 25	92.00	2.25±3.18 <sup>c</sup>	99.61±0.55 <sup>a</sup>	2.22±0.20 <sup>d</sup>	19.95±1.18 <sup>e</sup>	55.23±0.95 <sup>e</sup>	34.08±1.17 <sup>e</sup>	58.94±0.67 <sup>e</sup>	57.09±0.81 <sup>f</sup>

ตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± S.D. (n=2)

<sup>a-f</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

- D<sub>0</sub> หมายถึง ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยที่ t = 0
- D<sub>∞</sub> หมายถึง ปริมาณสตาร์ชที่ถูกย่อยที่เวลาสุดท้าย
- K หมายถึง ค่าคงที่ (min<sup>-1</sup>)
- H<sub>90</sub> หมายถึง สัดส่วนพื้นที่ที่ได้กราฟที่เวลา 90 นาที
- HI หมายถึง Hydrolysis Index

จากการวิเคราะห์กัวยเตี่ยวเส้นเล็กอบแห้งทั้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงทั้ง 5 ระดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มแป้งแอมิโลสสูงค่าดัชนีน้ำตาลมีแนวโน้มลดลงจากสูตรควบคุมซึ่งมีค่าลดลงจาก 79.03 มาที่ 57.09 โดยพบว่าปริมาณแอมิโลสมีผลต่อความสามารถในการย่อยสลายเมื่อเปรียบเทียบกับกัวยเตี่ยวเส้นเล็กอบแห้งสูตรควบคุม ซึ่งเส้นกัวยเตี่ยวที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 25 มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าตัวอย่างอื่นที่ทำการวิเคราะห์ คือ 57.09 มีรายงานวิจัยไว้ว่าปริมาณแอมิโลสมีผลต่ออัตราการย่อย โดยอาหารจากแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะย่อยได้ช้าลง (Frei, Siddhuraju & Becker, 2003; Hu, Zhao, Duan, Linlin & Wu, 2004) สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Strikeao, Mingyai & Sopade (2011) ที่ได้อธิบายไว้ว่าค่าดัชนีน้ำตาลที่ได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณ RS ที่ตรวจพบ โดยสตาร์ชข้าวโพด ซึ่งมี RS สูงจะให้ค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ และข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะมีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวที่มีแอมิโลสต่ำ (Hu, Zhao, Duan, Linlin & Wu, 2004; Denardin et al., 2007)

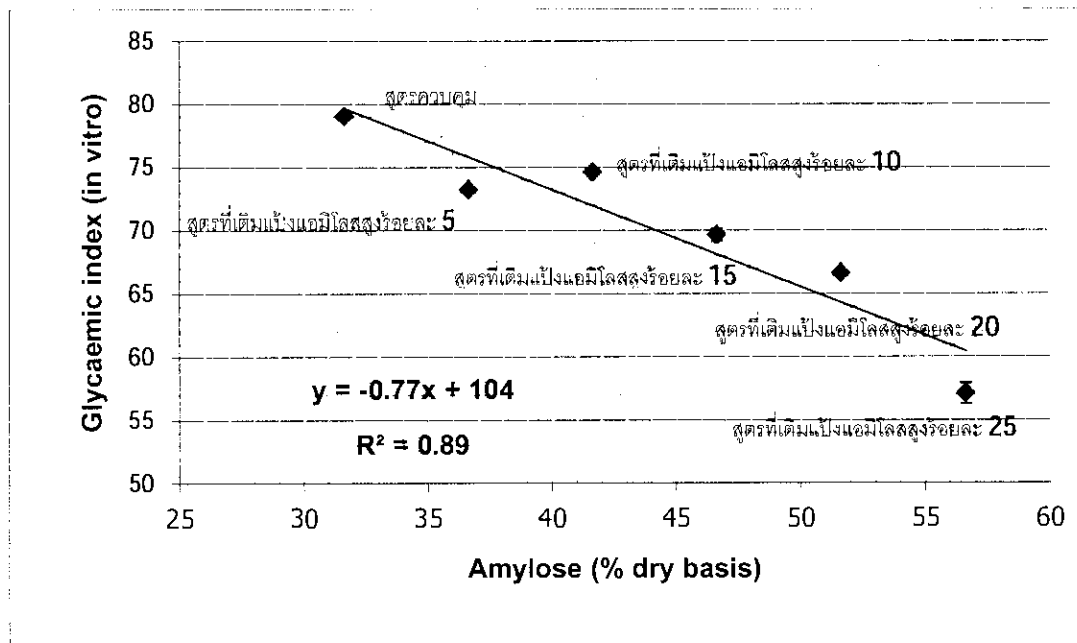
นอกจากนี้เส้นกัวยเตี่ยวยังมีอิทธิพลต่อค่าดัชนีน้ำตาลสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Chung, Cho & Lim, 2012) แต่โดยภาพรวมตัวอย่างเส้นกัวยเตี่ยวทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังจัดเป็นกลุ่มอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในระดับปานกลาง (มีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในช่วง 55-69) ซึ่งแป้งแอมิโลสสูงสามารถช่วยลดค่าดัชนีน้ำตาลได้ในระดับหนึ่งแต่อาจยังไม่ถึงระดับต่ำที่เหมาะสมต่อผู้ป่วยโรคเบาหวานเท่าใดนัก แต่สามารถเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกในการควบคุมระดับน้ำตาลหรือน้ำหนักได้

Miller, Pang & Bramall (1992) อธิบายไว้ว่าจากที่ได้ทำการศึกษาคั่วมีช่วงของดัชนีน้ำตาลกว้าง โดยพบว่าค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวขาวอยู่ในช่วงต่ำสุดคือ 54 ไปจนสูงสุดคือ 121 โดยใช้ขนมปังขาวเป็นอาหารอ้างอิงซึ่งมีค่าดัชนีน้ำตาลเท่ากับ 100 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวขึ้นอยู่กับสัดส่วนในสตาร์ชนั่นก็คือแอมิโลส โดยในรายงานวิจัยทำการศึกษาคั่ว 12 ชนิด ที่มีปฏิกิริยาตอบสนองต่อดัชนีน้ำตาลและอินนูลิน ด้วยการใช้ข้าวขาวและข้าวกล้องที่มีปริมาณแอมิโลสอยู่ร้อยละ 20 และ 28 ข้าวต้ม เค้กข้าว พาสต้าจากข้าว รำข้าว และข้าวเหนียวมาทำการวิเคราะห์ พบว่าไม่ว่าจะเป็นข้าวขาวหรือข้าวกล้องอาจจัดเป็นกลุ่มอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลสูง โดยมีแอมิโลสที่สูงกว่าเป็นตัวควบคุม (Doongara) ที่อาจจะใช้เป็นประโยชน์ต่ออาหารดัชนีน้ำตาลต่ำ ซึ่งค่าดัชนีน้ำตาลของข้าวที่มีแอมิโลสร้อยละ 20 มีค่าสูงมากคือ  $93.00 \pm 11.00$  แต่การเพิ่มขึ้นของแอมิโลสที่ทำการศึกษาโดย Juliano & Goddard (1986) จากข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 35 อาจจะนำมาทำนายได้ว่ามีค่าดัชนีน้ำตาลที่ต่ำกว่า Doongara ซึ่งมีปริมาณแอมิโลสอยู่ร้อยละ 28

โดยทั่วไปแล้วผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากแป้งที่สตาร์ชผ่านกระบวนการเจลาติไนซ์จะมีอัตราการย่อยสลายเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่สตาร์ชยังอยู่ในรูปธรรมชาติ ไม่ผ่านกระบวนการ

เจลาตินไนซ์ ยกเว้นภายหลังจากเจลาตินไนซ์แล้วสตาร์ชเกิดการรีโทรเกรเดชัน หรือเกิดการเรียงตัวของสตาร์ชใหม่ ซึ่งการเรียงตัวของสตาร์ชใหม่จะทำให้สตาร์ชมีอัตราการย่อยช้าลงหรือสตาร์ชมีการเปลี่ยนสมบัติไปเป็น RS (Mahasukhonthachat, Sopade & Gidley, 2010) นอกจากนี้กระบวนการแปรรูปอาหาร และการเก็บรักษา เช่น สตาร์ชที่ทำให้เกิดเจลาตินไนซ์จะมีค่าดัชนีน้ำตาลสูงขึ้น แต่การเพิ่มแอมิโลสสูงลงไปมีผลทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลต่ำลง เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผ่านการนึ่งจะทำให้สตาร์ชเกิดเจลาตินไนซ์ ดังนั้นจึงมีอัตราการย่อยสตาร์ชเร็วกว่าแป้งหรือสตาร์ชก่อนที่จะนำมาเติมลงในผลิตภัณฑ์ แต่อย่างไรก็ตามได้มีรายงานไว้ว่าการรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชมีผลในการลดค่าดัชนีน้ำตาลหรือทนต่อเอนไซม์ในการย่อยเพิ่มขึ้น (Earlingen et al., 1994; Fredriksson et al., 2000; Frei et al., 2003) ซึ่งในทางการค้าผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อการย่อยของเอนไซม์จะผลิตจากข้าวโพด โดยที่สตาร์ชที่มีแอมิโลสสูงประมาณร้อยละ 70 นั้นเกิดจากการรีโทรเกรเดชันซ้ำหลายๆ ครั้ง ในขณะที่ Colonna et al. (1992) และ Fredriksson et al. (2000) ได้อธิบายไว้ว่าการย่อยของสตาร์ชที่ลดลงโดยการเกิดรีโทรเกรเดชันในงานวิจัยอื่นๆ พบว่า การรีโทรเกรเดชันของแอมิโลสนั้นเป็นที่น่าสนใจในการนำมาผลิตเป็น RS นอกจากนี้สัดส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพคติน รูปร่างของเม็ดสตาร์ช ขนาดอนุภาค และองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่สตาร์ชในตัวอย่าง มีผลกระทบต่ออัตราการย่อยและค่าดัชนีน้ำตาลได้เช่นเดียวกัน (Tester, Qi & Karkalas, 2006; Noda et al., 2008) ดังนั้นปริมาณแอมิโลสจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลทำให้ค่าดัชนีน้ำตาลในเส้นก๋วยเตี๋ยวมีค่าลดลง โดยเมื่อมีปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้นค่าดัชนีน้ำตาลจะยิ่งลดลง

นอกจากนี้ปริมาณแอมิโลสในวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าดัชนีน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวลดลงค่าดัชนีน้ำตาลมีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผกผันกับปริมาณแอมิโลส สามารถนำปริมาณแอมิโลสมาสร้างความสัมพันธ์กับค่าดัชนีน้ำตาล (ภาพ 4.6 และตาราง 4.5) ได้ดังนี้



ภาพ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมิโลสกับค่าดัชนีน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยว สูตรควบคุมและสูตรที่เติมแอมิโลสที่ระดับต่าง ๆ

ตาราง 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอมิโลสกับค่าดัชนีน้ำตาลของเส้นก๋วยเตี๋ยวสูตร ควบคุมและสูตรที่เติมแอมิโลสที่ระดับต่าง ๆ

ร้อยละของปริมาณแอมิโลสที่เติม	ปริมาณแอมิโลส (ร้อยละ)	ค่าดัชนี น้ำตาล
สูตรควบคุม	31.63	79.03
สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 5	36.63	73.23
สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 10	41.63	74.62
สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 15	46.63	69.65
สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 20	51.63	66.61
สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 25	56.63	57.09

จากสมการความสัมพันธ์  $y = -0.77x + 104$  อธิบายได้ว่า หากต้องการเส้นก๋วยเตี๋ยว ที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ (ค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ  $\leq 55$ , ปานกลาง 56-69 และสูง  $\geq 70$ ) วัตถุประสงค์ต้องมี ปริมาณแอมิโลสอย่างน้อยร้อยละ 63.6 หมายความว่าต้องเพิ่มปริมาณแป้งแอมิโลสสูงให้เพิ่มขึ้น จากเดิมไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 ซึ่งจะทำให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าดัชนี น้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้

#### 4.2.3 ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นก้วยเดี่ยว

ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของก้วยเดี่ยวเส้นเล็กอบแห้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ ในภาพรวมเห็นได้ว่าแนวโน้มค่าความต้านทานต่อแรงดึงของก้วยเดี่ยวลดลงเมื่อปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้น โดยที่ก้วยเดี่ยวสูตรควบคุมมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงอยู่ที่ 17.09 g ตามด้วยสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 5, 10, 15, 20 และ 25 มีค่าอยู่ที่ 15.37, 16.81, 14.97, 11.06 และ 10.42 g (ตาราง 4.6) ตามลำดับ ซึ่งค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นก้วยเดี่ยวสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 5, 10 และ 15 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่มีค่าแตกต่างจากสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 20 และ 25 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

ตาราง 4.6 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของก้วยเดี่ยวเส้นเล็กอบแห้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ

Samples	Tensile Strength(g)
Control	17.09±2.42 <sup>a</sup>
5	15.37±2.12 <sup>a</sup>
10	16.81±1.01 <sup>a</sup>
15	14.97±1.00 <sup>a</sup>
20	11.06±1.63 <sup>b</sup>
25	10.42±2.97 <sup>b</sup>

ตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± S.D. (n=10)

<sup>a-b</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ )

แม้ว่าผลอาจจะไม่สม่ำเสมอมากนัก แต่มีบางตัวอย่าง เช่น ตัวอย่างที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 10 มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นปริมาณแอมิโลสที่เพิ่มขึ้นย่อมส่งผลต่อคุณภาพความเหนียวของเส้นก้วยเดี่ยว โดยที่ปริมาณแอมิโลสไปมีผลทำให้เส้นก้วยเดี่ยวมีความเหนียวที่ลดลง มีความกระด้างเพิ่มขึ้น ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจึงให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูง แต่มีความตรงกันข้ามกับงานวิจัยนี้ (Lu et al., 2009)

ซึ่ง Bhattacharya, Zee & Corke (1999) อธิบายไว้ว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง มีความสัมพันธ์ต่อคุณภาพในการรับประทานเส้นก๋วยเตี๋ยว เนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว ที่ปรุงสุกแล้วเป็นลักษณะสำคัญต่อการกำหนดการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ การทดสอบค่าแรงดึงจากการยืดและทำให้แตกหักเป็นการชี้บอกได้ว่าจะวางตัวอย่างระหว่างการปรุงอย่างไรถึงจะเห็นความทนทานและคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ปรุงสุก (Han, Cho & Koh, 2011)

ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นก๋วยเตี๋ยวในงานวิจัยนี้ สัมพันธ์กับงานวิจัยของ Chung, Cho & Lim (2012) ที่ได้ทำการศึกษาผลของการให้ความร้อนขึ้นต่อการใช้ประโยชน์ของข้าวกล้องงอกในเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งสาลีโดยการผสมแป้งข้าวกล้องงอกลงไปในช่วงระหว่าง 30-70 g ลงไปในแป้งสาลี ได้อัตราส่วนที่ใช้คือ 3:7, 4:6, 5:5, 6:4 และ 7:3 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีผลต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว ซึ่งค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงเมื่อมีแป้งข้าวกล้องเป็นในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ในขณะที่ Kasemsuwan, Jane & Bailey (1998) อธิบายไว้ว่าการผสมสตาร์ชในระดับที่แตกต่างกันนั้นไม่มีผลต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเส้นก๋วยเตี๋ยวแห้ง และค่าความต้านทานต่อแรงดึงไม่ได้มีความสัมพันธ์ต่อการรับประทานเส้นก๋วยเตี๋ยวที่สุกแล้ว Reungmaneeapitoon, Sikkhamondhol & Tiangpook (2006) ทำการศึกษาการปรับปรุงสารอาหารของเส้นก๋วยเตี๋ยวทอดพร้อมรับประทานให้เพิ่มขึ้นด้วยรำข้าวโอ๊ตเข้มข้น จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ OBC XF (Oat Bran Concentrate Extruded Flour), OBC XEF (Oat Bran Concentrate Extruded Fine Flour) และ OBC Native (Oat Bran Concentrate Native Flour) เข้าไปแทนที่แป้งสาลีร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่าเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่แทนที่ด้วย OBC ร้อยละ 5 ให้ผลไม่แตกต่างกันกับเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งสาลี โดยที่มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงอยู่ในช่วง 17.10-17.96 g.

#### 4.2.4 ผลการทดสอบทางลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว

เมื่อนำก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งสูตรต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ Texture Profile Analyzer (TPA) ค่าความต้านทานต่อแรงดึงจากที่วัดได้มีความผันแปรกับค่าความแข็ง โดยเมื่อเติมแป้งแอมิโลสสูงลงไปมีผลทำให้ก๋วยเตี๋ยวมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น (ตาราง 4.6) และปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อค่าความแข็งหรือแรงเฉือนของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ปรุงสุกด้วย (Oh, Seib, Finny & Pomeranz, 1986)

ในขณะที่ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งสูตรต่าง ๆ มีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นแล้วยังมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการเกาะผิววัสดุที่มีค่าลดลง (ตาราง 4.7) นอกจากนั้นยังพบว่ายิ่งเติมแป้งแอมิโลสสูงลงไปทำให้ค่าความยืดหยุ่นและการเกาะกันมีแนวโน้มที่ลดลงไปจากเส้นก๋วยเตี๋ยวสูตรควบคุมด้วย ในขณะที่ค่าความเหนียวกลับพบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 20 มีค่าความเหนียวสูงกว่าตัวอย่างอื่น ซึ่งอาจมีความเป็นไปได้ว่าแอมิโลสไปจัดเรียงโมเลกุลใหม่จึงทำให้มีความเหนียวและความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับการ

ทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ด้านความเหนียว ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เติมแป้งแอมิโลสสูง ร้อยละ 25 มีผลทำให้ค่าการทนต่อการเคี้ยวลดลงจากสูตรควบคุมอีกด้วย ในส่วนของ ค่าการคินตัว, ความเหนียว และการทนต่อการเคี้ยวของเส้นก๋วยเตี๋ยวกลับพบว่าไม่สัมพันธ์กับ ค่าในเจลของแป้งซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นก๋วยเตี๋ยวและเจลของแป้งมีอัตราการคินตัว ไม่เท่ากันจึงทำให้มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นการเพิ่มปริมาณแอมิโลสให้สูงขึ้นย่อมส่งผลต่อลักษณะ เนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว ทั้งในแง่ของความเหนียวที่ลดลง ความแข็งที่เพิ่มขึ้น รวมไปถึง มีการเกาะกันลดลงตามปริมาณแอมิโลสที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย แต่ทั้งนี้เมื่อนำไปสัมพันธ์กับการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าไม่ค่อยมีความแตกต่างจากกันเท่าใดนัก



ตาราง 4.7 ค่าการวิเคราะห์ทางลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวสุตรควบคุมและสุตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ

Samples	Hardness (g)	Cohesiveness	Adhesiveness (g.sec)	Springiness	Gumminess (g)	Chewiness (g)
สุตรควบคุม	4,972±576 <sup>b</sup>	0.94±0.01 <sup>a</sup>	92.0±28 <sup>a</sup>	0.84±0.08 <sup>a</sup>	4,664±540 <sup>b</sup>	3,914±495 <sup>ab</sup>
สุตรที่เติมแป้ง						
แอมิโลสสูงร้อยละ 5	5,175±395 <sup>b</sup>	0.89±0.02 <sup>ab</sup>	110±32 <sup>ab</sup>	0.83±0.03 <sup>a</sup>	4,597±362 <sup>b</sup>	3,833±310 <sup>ab</sup>
สุตรที่เติมแป้ง						
แอมิโลสสูงร้อยละ 10	5,375±561 <sup>b</sup>	0.90±0.02 <sup>b</sup>	120±40 <sup>ab</sup>	0.88±0.09 <sup>a</sup>	4,858±561 <sup>b</sup>	4,295±734 <sup>a</sup>
สุตรที่เติมแป้ง						
แอมิโลสสูงร้อยละ 15	5,433±123 <sup>b</sup>	0.87±0.02 <sup>b</sup>	127±21 <sup>ab</sup>	0.83±0.06 <sup>a</sup>	4,715±180 <sup>b</sup>	3,903±355 <sup>ab</sup>
สุตรที่เติมแป้ง						
แอมิโลสสูงร้อยละ 20	6,290±66 <sup>a</sup>	0.87±0.02 <sup>b</sup>	143±10 <sup>bc</sup>	0.77±0.08 <sup>ab</sup>	5,463±150 <sup>a</sup>	4,235±483 <sup>a</sup>
สุตรที่เติมแป้ง						
แอมิโลสสูงร้อยละ 25	6,148±239 <sup>a</sup>	0.75±0.10 <sup>c</sup>	181±52 <sup>c</sup>	0.71±0.14 <sup>b</sup>	4,616±591 <sup>b</sup>	3,315±997 <sup>b</sup>

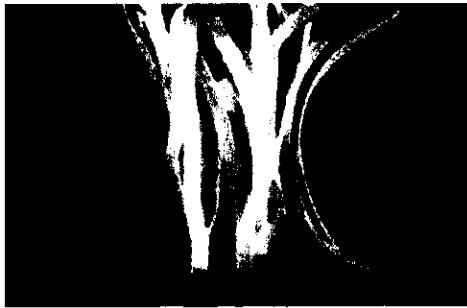
ตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± S.D. (n=10)

<sup>a-c</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p≤0.05)

Mir, Srikaeo & Garcia (2013) ทำการศึกษาผลของปริมาณแอมิโลสและ RS ต่ออัตราการย่อยสลายของแป้งและสตาร์ชจากข้าว โดยเพิ่มแป้งแอมิโลสสูงลงไปในส่วนผสมร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 พบว่าสตาร์ชข้าวผสมมีค่าความแข็งสูงกว่าแป้งข้าวผสม โดยที่สตาร์ชข้าวผสมมีปริมาณแอมิโลสเฉลี่ยร้อยละ 33.8 ในขณะที่แป้งข้าวผสมมีปริมาณแอมิโลสเฉลี่ยร้อยละ 29.7 เท่านั้น และเมื่อปริมาณแป้งแอมิโลสสูงในส่วนผสมเพิ่มขึ้น ค่าการเกาะติดพื้นผิวมีค่าลดลง สัมพันธ์กับงานวิจัยของ Lu et al. (2009; 2011) ที่ได้ทำการเพิ่มปริมาณแอมิโลสลงไปในตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวทำให้ตัวอย่างนั้นมีค่าความแข็งสูงขึ้น และค่าที่ได้จากตัวอย่างนั้นแปรผกผันกับค่าการเกาะติดพื้นผิวที่มีค่าลดลงซึ่งค่าความแข็งนั้นเป็นปัจจัยสำคัญที่มีบทบาทต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ปรุงสุก (Yunt, Quail & Moss, 1996) นอกจากนี้ Han, Cho & Koh, (2011) ได้อธิบายไว้ว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะมีค่าการเกาะติดพื้นผิวต่ำกว่าสูตรควบคุม แสดงค่าความเหนอะที่ผิวหน้าของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่สูงแล้วน้อยกว่า โดยจะให้ความนุ่มลิ้น ซึ่งเป็นคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ต้องการ Chung, Cho & Lim (2012) ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์จากข้าวกล้องงอกในเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งสาลี โดยมีเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากข้าวกล้องงอกและข้าวสาลีในอัตราส่วน 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, และ 7:3 เมื่อนำไปทดสอบเนื้อสัมผัสและคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวพบว่า ค่าความแข็งลดลงเมื่อปริมาณข้าวกล้องงอกเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน Yoenyongbuddhagal & Noomhorm (2002) รายงานไว้ว่าข้าวเจ้าแต่ละพันธุ์มีผล ต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว กล่าวคือข้าวแต่ละพันธุ์ให้ความเหนียวแก่เส้นก๋วยเตี๋ยวต่างกัน เนื่องจากข้าวเป็นธัญชาติที่ไม่มีโปรตีนกลูเตนอย่างในข้าวสาลี ดังนั้นคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวจึงขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชข้าวโดยตรง ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดโครงสร้างร่างแหในเส้นก๋วยเตี๋ยว และพบว่าค่าความแข็งแรงของเจล มีความสัมพันธ์อย่างมากกับคุณภาพของเส้น

#### 4.2.5 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ลักษณะปรากฏของก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ แสดงดังภาพ 4.7 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว โดยใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ ด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ 9-Point Hedonic Scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 5 = เฉยๆ หรือบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ และ 9 = ชอบมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน แสดงในตาราง 4.7



สูตรควบคุม



สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 5



สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 10



สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 15



สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 20



สูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 25

ภาพ 4.7 กว้างเดี่ยวเส้นเล็กอบแห้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่างๆ

ตาราง 4.8 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของก้วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่าง ๆ

Samples	Appearance	Color	Odor <sup>ns</sup>	Stickiness <sup>ns</sup>	Overall Acceptance <sup>ns</sup>
สูตรควบคุม	6.97±1.10 <sup>a</sup>	7.30±0.95 <sup>a</sup>	6.77±1.10	6.33±1.35	7.03±1.25
สูตรที่เติมแป้ง					
แอมิโลสสูงร้อยละ 5	6.20±1.49 <sup>ab</sup>	6.63±1.10 <sup>b</sup>	6.33±1.21	6.03±1.52	6.47±1.33
สูตรที่เติมแป้ง					
แอมิโลสสูงร้อยละ 10	6.10±1.65 <sup>ab</sup>	6.23±1.41 <sup>b</sup>	6.33±1.27	5.60±1.85	6.37±1.22
สูตรที่เติมแป้ง					
แอมิโลสสูงร้อยละ 15	6.30±1.34 <sup>ab</sup>	6.47±1.10 <sup>b</sup>	6.73±0.94	6.47±1.28	6.93±0.78
สูตรที่เติมแป้ง					
แอมิโลสสูงร้อยละ 20	6.00±1.55 <sup>b</sup>	6.57±1.35 <sup>b</sup>	6.87±1.01	6.30±1.51	6.70±1.14
สูตรที่เติมแป้ง					
แอมิโลสสูงร้อยละ 25	5.93±1.41 <sup>b</sup>	6.30±1.33 <sup>b</sup>	6.37±1.27	6.27±1.53	6.50±1.25

ตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± S.D. (n=30)

<sup>a-b</sup> ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากตารางพบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนลักษณะปรากฏ และสี ของผลิตภัณฑ์ก้วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่าง ๆ ไม่ค่อยแตกต่างจากสูตรควบคุม โดยลักษณะปรากฏ มีคะแนนอยู่ในช่วงขอบเล็กน้อย ในขณะที่ค่าสี ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนผลิตภัณฑ์สูตรควบคุมอยู่ในช่วงขอบปานกลาง ส่วนคุณลักษณะทางด้านกลิ่นรส ความเหนียว และคะแนนความชอบรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ซึ่งผู้ทดสอบชิมได้ให้คะแนนความชอบรวมของผลิตภัณฑ์เส้นก้วยเตี๋ยวที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่โดยภาพรวมแล้วผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบรวมหรือการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ก้วยเตี๋ยวเส้นเล็กอบแห้งทั้งสูตรควบคุมและสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ระดับต่าง ๆ ไม่แตกต่างกัน คือมีความชอบเล็กน้อย ดังนั้นการเติมแป้งแอมิโลสสูงลงไปที่ระดับต่าง ๆ จึงไม่มีผลต่อการความชอบของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์

ผลจากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kasemsuwan, Jane & Bailey (1998) ที่ได้ทำการศึกษาเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งแอมิโลสสูงโดยนำมาเปรียบเทียบกับแป้งจากถั่วเขียว พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งแอมิโลสสูง ได้รับการยอมรับและความชอบโดยรวมจากผู้บริโภคทั่วไปมากกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำมาจากแป้งถั่วเขียว แม้ว่าแป้งแอมิโลสสูงมีผลทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวดูคล้ำขึ้นก็ตาม แต่ในขณะเดียวกัน Reungmaneepeaton, Sikkhamondhol & Tiangpook (2006) ทำการศึกษากาการเพิ่มสารอาหารในเส้นก๋วยเตี๋ยวทอดพร้อมรับประทานด้วยการใช้รำข้าวโอ๊ตเข้มข้น จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ OBC XF, OBC XEF และ OBC Native เข้าไปแทนที่แป้งสาลี ร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่าการยอมรับโดยรวมของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่แทนที่ด้วย OBC ร้อยละ 5 และ 10 ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันกับเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งสาลี ( $p>0.05$ ) ส่วนเส้นก๋วยเตี๋ยวที่แทนที่ด้วย OBC-XEF ร้อยละ 10 กลับพบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนเนื้อสัมผัส ความยืดหยุ่นและการยอมรับโดยรวมสูงกว่าตัวอย่างอื่น

Yousif, Gadallah & Sorour (2011) ทำการศึกษาคูณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์และ Rheological ของสตาร์ชข้าวโพดดัดแปรที่มีผลต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวโดยมีเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งสาลีเป็นสูตรควบคุม และสูตรที่แทนที่ด้วยสตาร์ชข้าวโพด Native, Pregelatinized, Acid-thinned และ Dextrinize ร้อยละ 5, 10 และ 15 พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีสตาร์ชข้าวโพด Native และ Pregelatinized ร้อยละ 5, 10 และ 15 ไม่แตกต่างกันทั้งในด้านของลักษณะปรากฏ, สี, กลิ่นรส, เนื้อสัมผัส, ความรู้สึกในปาก และการยอมรับโดยรวม ในขณะที่เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีสตาร์ชข้าวโพด Dextrin ร้อยละ 10 และ 15 มีค่าต่ำกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีสตาร์ชข้าวโพด Native และ Pregelatinized แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมมีการยอมรับโดยรวมมากกว่าและตัวอย่างที่มีสตาร์ชข้าวโพด Dextrin มีคะแนนทางด้านคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสต่ำกว่าอีกด้วย ซึ่งลักษณะทางประสาทสัมผัสนั้นเป็นดัชนีสำคัญที่สามารถบ่งบอกถึงความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์ได้อีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้เมื่อดูในภาพรวมแล้ว สูตรที่เหมาะสมในการนำมาผลิตมากที่สุด คือ สูตรที่มีการเติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 15 เนื่องจากมีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในช่วงระดับปานกลาง โดยมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 69.65 และมีค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความเหนียว แรงที่ใช้ในการเคี้ยวรวมไปถึงการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างไปจากสูตรควบคุม แม้ว่าสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงที่ร้อยละ 20 และ 25 จะมีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในช่วงระดับปานกลางเช่นเดียวกันกับสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 15 แต่เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้กลับมีความแข็งกระด้าง เปราะขาดง่ายกว่า และมีความเหนียวลดลงเมื่อเทียบกับสูตรที่เติมแป้งแอมิโลสสูงร้อยละ 15