

บทที่ 4

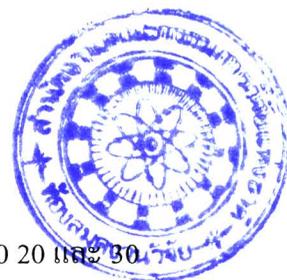
ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 การเตรียมแป้งถั่วหรั่ง

แป้งถั่วหรั่งที่เตรียมได้ตามขั้นตอนในรูปที่ 3.1 เป็นดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเห็นว่าแป้งที่ได้จะเป็นสีครีม มีเนื้อละเอียด และที่เวลาการต้มต่างๆ กัน สีของแป้งถั่วหรั่งจะใกล้เคียงกันจากการมองเห็นด้วยตาเปล่า



รูปที่ 4.1 แป้งถั่วหรั่งที่ผลิตโดยการต้มที่เวลาต่างๆ กัน



4.2 การศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ และหน้าที่ของแป้งถั่วหรั่ง

ทำการผลิตแป้งถั่วหรั่งตามขั้นตอนในรูปที่ 3.1 โดยแปรเวลาในการให้ความร้อนเป็น 0 10 20 และ 30 นาที และนำแป้งถั่วหรั่งที่ได้มาทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ดังนี้

4.2.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วหรั่งให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่า การให้ความร้อนโดยการต้มถั่วหรั่งนั้นจะไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ไขมัน โปรตีน เส้นใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต ($p>0.05$) แต่จะมีผลต่อปริมาณเถ้า ($p<0.05$) โดยที่การต้มจะทำให้ปริมาณเถ้าในแป้งถั่วหรั่งลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้ม (0 นาที) ทั้งนี้เนื่องจากการต้มอาจทำให้สารประกอบอินทรีย์เกิดการละลายน้ำออกมา ส่งผลให้ปริมาณเถ้าลดต่ำลง และเมื่อต้มเป็นเวลานานขึ้น ปริมาณเถ้าจะมีแนวโน้มลดต่ำลงด้วย ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ กล่าวคือ แป้งถั่วหรั่งมีปริมาณโปรตีน 18.3 – 22.1% เถ้า 0.6 – 4.4% เส้นใยอาหาร 0.8 – 5.2% ไขมัน 1.2 – 6.6% และคาร์โบไฮเดรต 55.6 – 67.1% (Amarteifio and Moholo, 1998; Adebawale *et al.*, 2002; Fasoyiro *et al.*, 2006) ปริมาณสารต่างๆ อาจแตกต่างกันไปบ้างขึ้นกับสายพันธุ์ของถั่วหรั่ง รวมถึงปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันของแป้งถั่วหรั่ง นอกจากนี้การที่ถั่วหรั่งมีปริมาณโปรตีนค่อนข้างสูง คือประมาณ 19% ถือเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีสำหรับการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์สุขภาพที่มีปริมาณโปรตีนค่อนข้างต่ำ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างกัน

องค์ประกอบทางเคมี	เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง (นาที)			
	0	10	20	30
ความชื้น (%)	11.13 ^a ±0.06	11.67 ^a ±0.15	11.70 ^a ±0.10	11.77 ^a ±0.21
เถ้า (%)	5.13 ^a ±0.07	2.90 ^b ±0.22	2.66 ^b ±0.20	2.28 ^c ±0.08
ไขมัน (%)	9.81 ^a ±0.08	10.85 ^a ±0.62	10.54 ^a ±0.82	10.75 ^a ±0.21
โปรตีน (%)	19.20 ^a ±0.10	19.26 ^a ±0.18	19.26 ^a ±0.18	19.26 ^a ±0.18
เส้นใยอาหาร (%)	0.69 ^a ±0.32	1.28 ^a ±0.11	1.06 ^a ±0.06	0.56 ^a ±0.04
คาร์โบไฮเดรต (%)	55.03 ^a ±0.16	54.58 ^a ±0.31	54.55 ^a ±1.06	55.11 ^a ±0.22

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

4.2.2 การศึกษาปริมาณสารต่อต้านโภชนาการ (Antinutritional factors)

จากการศึกษาปริมาณสารต่อต้านโภชนาการ 2 ชนิด ได้แก่ สารยับยั้งทริปซิน (Trypsin inhibition activity : TIA) และปริมาณแทนนิน (Tannin) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารยับยั้งทริปซิน และแทนนินในแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการต้มในเวลาต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วเหลือง (นาที)	TIA		Tannin	
	ปริมาณ (mg/g sample)	%Loss	ปริมาณ (mg/g sample)	%Loss
0	13.20 ^a ±0.28	–	2.19 ^a ±0.01	–
10	1.05 ^b ±0.07	92.05	0.52 ^b ±0.01	76.26
20	1.08 ^b ±0.16	91.81	0.49 ^b ±0.01	77.63
30	0.97 ^b ±0.01	92.65	0.50 ^b ±0.01	77.17

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

จากตารางที่ 4.2 พบว่าเวลาในการต้มถั่วเหลืองมีผลต่อปริมาณสารยับยั้งทริปซิน และปริมาณแทนนิน ($p < 0.05$) โดยที่การต้มจะทำให้ปริมาณสารยับยั้งทริปซิน และปริมาณแทนนินลดต่ำลง และที่เวลาการต้ม 10 20 และ 30 นาทีให้ผลที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้การต้มทำให้ปริมาณสารยับยั้งทริปซินลดต่ำลงถึงร้อยละ 91.81-92.65 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของหลายๆ คนที่ผ่านมาที่พบว่า การให้ความร้อนกับถั่วเหลืองจะช่วยลดปริมาณสารยับยั้งทริปซินได้ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การลดลงจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับกรรมวิธีและเวลาในการให้ความร้อน (Barimalaa and Anoghalu, 1997; Ijarotimi and Esho, 2009; Omoikhoje *et al.*, 2009) นอกจากนี้ยังพบว่า การต้มจะทำให้ปริมาณแทนนินลดลงร้อยละ 76.26-77.63 ขึ้นกับเวลาในการต้ม ซึ่งจากการทดลองของ Nti (2009) พบว่าการต้มถั่วเหลืองเป็นเวลา 25 นาทีส่งผลให้ปริมาณแทนนินลดต่ำลงจากเดิม 1.14-1.79 mg/g เป็น 0.09-1.10 mg/g ขึ้นกับสายพันธุ์ของถั่วเหลือง และจากผลการทดลองตารางที่ 4.2 ทำให้พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการต้มถั่วเหลืองคือ 10 นาที เพราะเป็นเวลาน้อยที่สุดที่ทำให้ปริมาณสารต้านคุณค่าทางโภชนาการลดต่ำลงไม่แตกต่างจากที่ใช้เวลานานกว่านี้

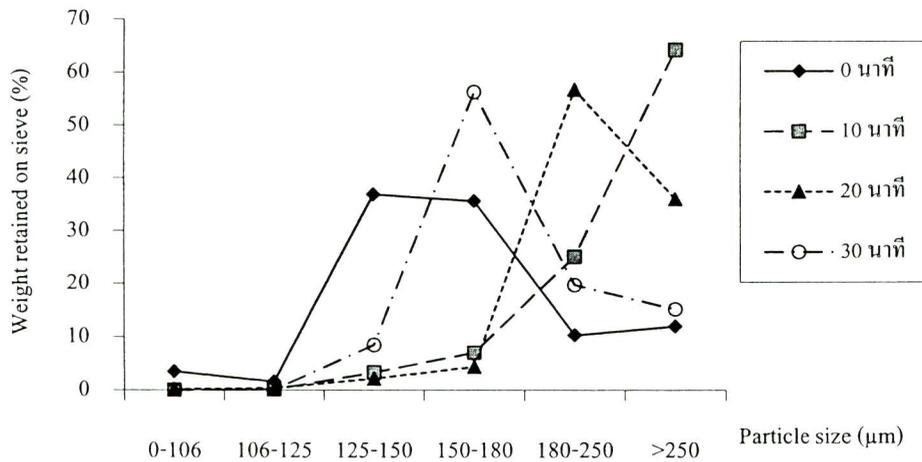
4.2.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งถั่วหรั่งได้ผลดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.3-4.4 ซึ่งจากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 จะพบว่า การกระจายตัวและขนาดเฉลี่ยของอนุภาคแป้งถั่วหรั่งจะแตกต่างกันเมื่อใช้เวลาในการต้มถั่วหรั่งต่างกัน ($p < 0.05$) โดยที่ แป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้มจะมีการกระจายตัวของอนุภาคสูงสุดที่ 125-150 μm ในขณะที่แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มที่ 10 20 และ 30 นาที จะมีการกระจายตัวของอนุภาคสูงสุดที่ >250 180-250 และ 150-180 μm ตามลำดับ และเมื่อนำค่าการกระจายตัวของอนุภาคมาคำนวณหาขนาดเฉลี่ยของอนุภาค พบว่า แป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้ม (0 นาที) จะมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด รองลงมาคือแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้ม 30 20 และ 10 นาที ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้เนื่องจากการต้มถั่วหรั่งก่อนอบแห้งส่งผลให้เมล็ดถั่วหรั่งมีลักษณะโครงสร้างที่แข็งแรงมากขึ้น และเกิดการรวมตัวกันระหว่างสตาร์ชกับโปรตีน (starch-protein aggregates) (Kim *et al.*, 2004) ทำให้บดได้ยากขนาดอนุภาคจึงใหญ่กว่าแป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้ม รวมถึงการต้มยังทำให้สตาร์ชในถั่วหรั่งเกิดการเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) ทำให้มีลักษณะที่เหนียวขึ้นจึงบดได้ยากขึ้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Kim *et al.* (2004) ที่พบว่า การให้ความร้อนกับแป้งสาธิตที่อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้แป้งสาธิตมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น นอกจากนี้ในการทดลองนี้ยังพบว่า เมื่อใช้เวลาในการต้มนานขึ้น ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคของแป้งถั่วหรั่งจะเล็กลง ซึ่งอาจเนื่องจากสตาร์ชเกรนูลในแป้งถั่วหรั่งเกิดการแตกตัวและแยกตัวออกจากโปรตีนทำให้มีความเหนียวลดลงจึงบดได้ง่ายขึ้น ขนาดอนุภาคจึงลดต่ำลงตามเวลาที่ต้มมากขึ้น

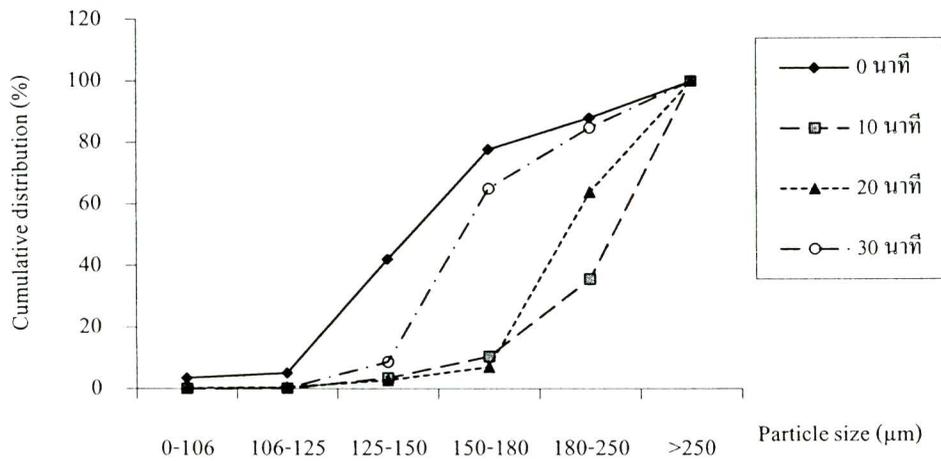
ตารางที่ 4.3 ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค และความหนาแน่นของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง (นาที)	ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (μm)	Bulk density (g/ml)	Pack density (g/ml)
0	144.54 ^d ±1.12	0.67 ^a ±0.002	0.83 ^a ±0.001
10	218.78 ^a ±1.35	0.67 ^a ±0.005	0.78 ^b ±0.001
20	199.53 ^b ±2.01	0.67 ^a ±0.004	0.78 ^b ±0.001
30	165.96 ^c ±1.66	0.68 ^a ±0.002	0.76 ^b ±0.001

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT



A



B

รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างๆ กัน

A = Weight retained on sieve

B = Cumulative distribution

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่า การต้มถั่วหรั่งจะไม่มีผลต่อค่า bulk density ของแป้งถั่วหรั่งที่ได้ ($p > 0.05$) แต่จะมีผลต่อค่า pack density ($p < 0.05$) โดยที่แป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้มจะมีค่า pack density สูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากมีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเล็กที่สุดนั่นเอง จึงทำให้สามารถเรียงตัวกันได้แน่น ค่าความหนาแน่นจึงสูงตามไปด้วย และจะพบว่า pack density จะมีค่าสูงกว่า bulk density เนื่องจากในการวิเคราะห์ pack density จะมีการใช้แรงดันร่วมด้วยทำให้สามารถบรรจุถั่วหรั่งได้มากขึ้น ค่าความหนาแน่นจึงสูงขึ้น

การต้มถั่วหรั่งจะส่งผลให้แป้งถั่วหรั่งที่ได้มีค่าสี L^* ลดต่ำลง ในขณะที่ a^* และ b^* เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้ม (ตารางที่ 4.4) เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ระหว่างคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในถั่วหรั่ง ทำให้แป้งถั่วหรั่งมีสีคล้ำลง และเมื่อต้มเป็นเวลานานถึง 30 นาที พบว่าแป้งถั่วหรั่งกลับมีสีสว่างขึ้นเล็กน้อย (L^* เพิ่มขึ้น และ a^* ลดลง) เมื่อเปรียบเทียบกับการต้มที่ 10 และ 20 นาที ทั้งนี้ น่าจะเนื่องจากการต้มเป็นเวลานานอาจทำให้สารให้สีที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction products) เกิดการละลายน้ำ ทำให้แป้งถั่วหรั่งที่ได้จึงมีสีสว่างขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 4.4 ค่าสีของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง (นาที)	L^*	a^*	b^*
0	85.40 ^a ±0.34	-0.12 ^c ±0.15	13.60 ^c ±0.20
10	80.48 ^c ±0.35	0.46 ^a ±0.14	15.79 ^a ±0.15
20	80.95 ^c ±0.19	0.56 ^a ±0.13	15.37 ^b ±0.05
30	81.63 ^b ±0.27	0.12 ^b ±0.21	15.66 ^{ab} ±0.21

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

4.2.4 การศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่

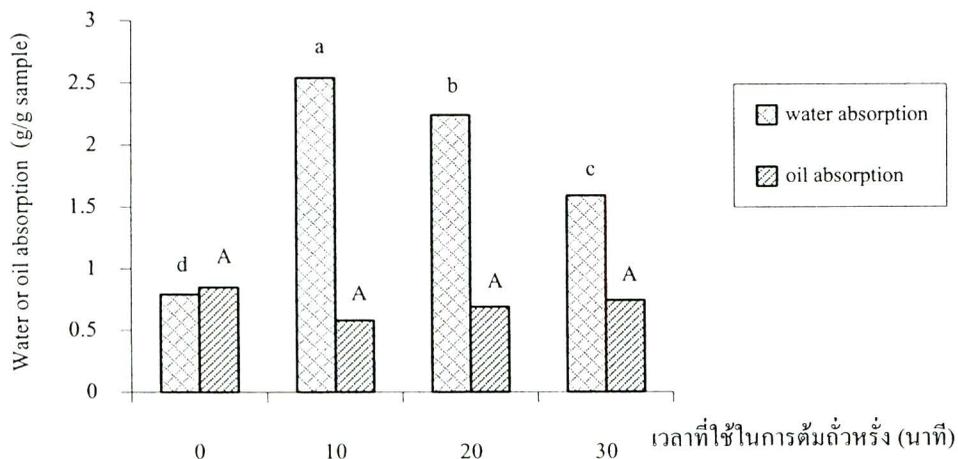
จากการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วหรั่งในด้านต่างๆ ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3-4.5 และตารางที่ 4.5-4.8

■ Water & Oil absorption

จากการศึกษาค่าการดูดซับน้ำ (Water absorption) และการดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ของแป้งถั่วหรั่งได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งพบว่า การต้มถั่วหรั่งจะไม่มีผลต่อการดูดซับน้ำมันของแป้งถั่วหรั่ง ($p>0.05$) กล่าวคือ แป้งถั่วหรั่งจะมีค่าการดูดซับน้ำมันประมาณ 0.58-0.85 g oil/g sample ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของ Adebowale *et al.* (2002) ที่พบว่าแป้งถั่วหรั่งมีค่าการดูดซับน้ำมันเท่ากับ 1.96 g oil/g sample ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวน่าจะมาจากสายพันธุ์ที่แตกต่างกันของถั่วหรั่ง รวมถึงความแตกต่างของปริมาณสารอาหารต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบ นอกจากนี้ยังพบว่าการต้มถั่วหรั่งจะมีผลต่อค่าการดูดซับน้ำของแป้งถั่วหรั่ง ($p<0.05$) โดยแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มจะมีค่าการดูดซับน้ำสูงกว่าแป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้ม และเมื่อเวลาที่ใช้ในการต้มมากขึ้น แป้งถั่วหรั่งจะมีการดูดซับน้ำลดลง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Odoemelam (2005) ที่พบว่า การให้ความร้อนจะทำให้แป้งเมล็ดขนุนมีค่าการ



ดูดซับน้ำมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน เนื่องจากการให้ความร้อนทำให้โครงสร้างที่เป็นหน่วยย่อย (subunit structure) เกิดการแตกตัวเป็นประจุ (dissociation) ทำให้มีด้านที่สามารถรวมกับน้ำ (water binding site) มากขึ้น รวมถึงการให้ความร้อนทำให้สตาโรสเกิดการเจลาติไนเซชัน และเส้นใยอาหารต่างๆ เกิดการบวมพอง ดังนั้นจึงส่งผลให้แป้งมีการดูดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเวลาที่ใช้ให้ความร้อนเพิ่มขึ้นแป้งถั่วหรั่งจะมีการอุ้มน้ำลดต่ำลง เพราะโปรตีนเกิดการเสียสภาพ (denaturation) ทำให้เกิดการคลายตัวของโครงสร้าง (unfold) ด้านที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic site) ที่อยู่ด้านในเป็นอิสระ สมบัติการดูดซับน้ำจึงลดต่ำลงตามเวลาการให้ความร้อนที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.3 Water และ oil absorption ของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มที่เวลาต่างๆ กัน

■ Swelling power & Solubility

จากการศึกษากำล้างการพองตัว (Swelling power) และการละลายน้ำ (Solubility) ของแป้งถั่วหรั่ง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5 ซึ่งพบว่า การต้มถั่วหรั่งจะไม่มีผลต่อค่าการละลายน้ำของแป้งถั่วหรั่ง ($p > 0.05$) โดยที่แป้งถั่วหรั่งจะมีการละลายน้ำอยู่ในช่วง 0.11-0.32 g/g dry sample ในขณะที่การต้มจะมีผลต่อค่ากำล้างการพองตัวของแป้งถั่วหรั่ง กล่าวคือ การต้มจะทำให้แป้งถั่วหรั่งมีค่ากำล้างการพองตัวมากขึ้น โดยการต้ม 10 นาที จะทำให้แป้งถั่วหรั่งมีค่ากำล้างการพองตัวสูงสุด คือ 10.21 g/g sample และจะลดต่ำลงเมื่อต้มเป็นเวลา 20 และ 30 นาที ตามลำดับ ซึ่งค่าการพองตัวของแป้งถั่วหรั่งจะสัมพันธ์กับค่าการดูดซับน้ำ (รูปที่ 4.3) กล่าวคือหากแป้งถั่วหรั่งมีค่าการดูดซับน้ำสูง ก็จะมีค่ากำล้างการพองตัวสูงเช่นกัน

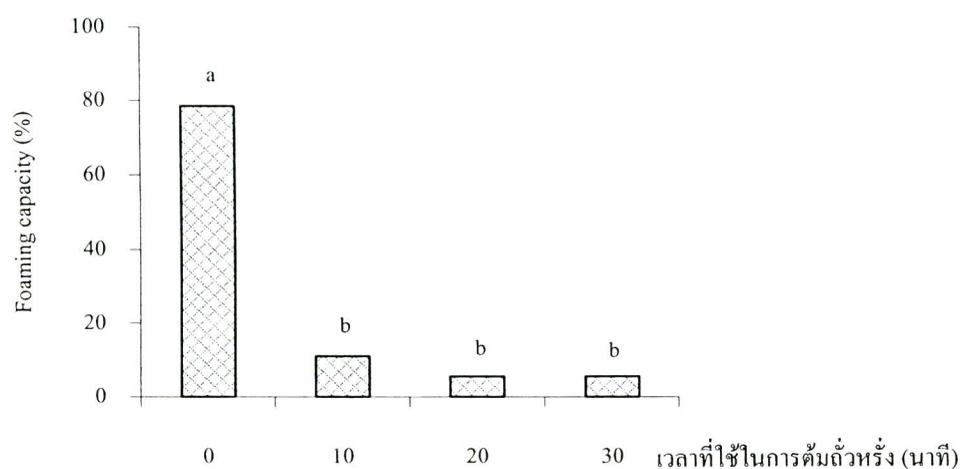
ตารางที่ 4.5 Swelling power และ Solubility ของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง (นาที)	Swelling power (g/g dry sample)	Solubility (g/g dry sample)
0	3.32 ^c ±0.19	0.29 ^a ±0.02
10	10.21 ^a ±2.94	0.32 ^a ±0.20
20	6.88 ^b ±0.40	0.11 ^a ±0.04
30	6.84 ^b ±0.07	0.11 ^a ±0.01

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

■ *Foaming capacity and stability*

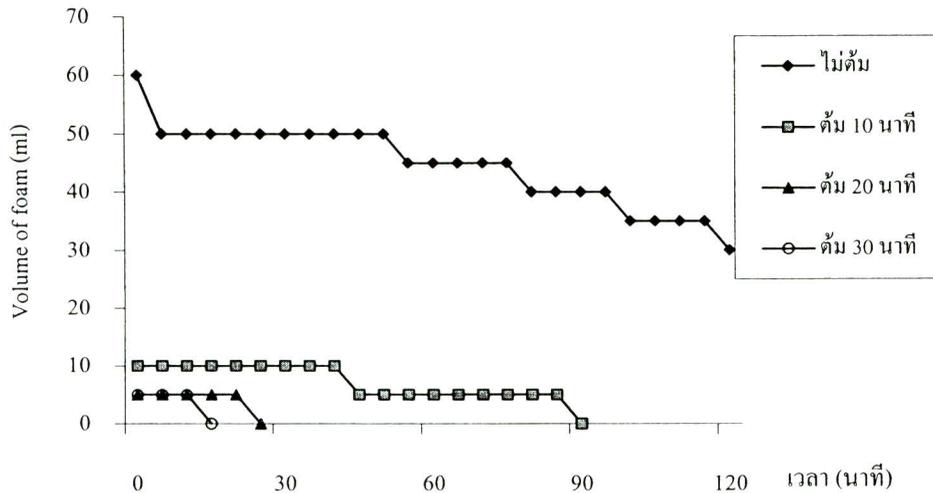
จากการศึกษาสมบัติการเกิดฟอง (Foaming capacity) และความเสถียรของฟอง (Foaming stability) แสดงดังรูปที่ 4.4-4.5



รูปที่ 4.4 สมบัติการเกิดฟองของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างๆ กัน

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มจะมีสมบัติการเกิดฟองที่ลดต่ำลง ($p < 0.05$) และการต้มที่เวลาต่างกันจะไม่ส่งผลต่อสมบัติการเกิดฟองของแป้งถั่วหรั่ง ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติการเกิดฟองของแป้งจะขึ้นกับปริมาณโปรตีนธรรมชาติ (native protein) ดังนั้นการต้มจะส่งผลให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ สมบัติการเกิดฟองจึงลดต่ำลง และเมื่อต้มนานขึ้น สมบัติการเกิดฟองมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Odoemelam (2005) ที่พบว่าทำให้ความร้อนจะทำให้แป้งเมล็ดขนุนมีสมบัติการเกิดฟองลดต่ำลงจาก 7.1 เป็น 6.0 g/ml และเมื่อพิจารณาค่าความคงตัวของฟอง (foaming stability) ในรูปที่ 4.5 พบว่า แป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้มจะมีปริมาตรของ

ฟองลดต่ำลงอย่างรวดเร็วในช่วง 5 นาทีแรก และคงที่ไปจนถึง 50 นาที จากนั้นจึงค่อยๆ ลดต่ำลง ในขณะที่แป้งที่ผ่านการต้ม 10 20 และ 30 นาที จะมีปริมาตรฟองที่คงที่จนถึง 40 20 และ 10 นาที ตามลำดับ จากนั้นจึงลดต่ำลงเป็น 0 แสดงว่าแป้งที่ผ่านการต้ม 10 นาที จะมีความคงตัวของฟองดีที่สุด โดยที่ฟองที่เกิดขึ้นจะมีความคงตัวในช่วง 40 นาทีแรก



รูปที่ 4.5 ความคงตัวของฟองที่เกิดของแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการต้มในเวลาต่างๆ

■ *Emulsifying activity and stability*

ผลการศึกษาสมบัติการเกิดอิมัลชัน (Emulsifying activity) และความเสถียรของอิมัลชัน (Emulsifying stability) ของแป้งถั่วเหลืองแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมบัติการเกิดอิมัลชันของแป้งถั่วเหลืองที่ผ่านการต้มในเวลาต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วเหลือง (นาที)	Emulsifying activity (%)	Emulsifying stability (%)
0	64.44±3.85	62.22±3.85
10	ND	ND
20	ND	ND
30	ND	ND

หมายเหตุ ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้ (non detect)

จากตารางที่ 4.6 พบว่าแป้งถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านการต้มจะมีค่า Emulsifying activity และ Emulsifying stability เท่ากับ 64.44 และ 62.22 ตามลำดับ ซึ่งการต้มถั่วเหลืองจะทำให้แป้งถั่วเหลืองสูญเสียสมบัติด้าน Emulsifying activity และ Emulsifying stability จนไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากโปรตีนเป็นตัวที่

ทำให้แป้งเกิดสมบัติอิมัลชัน และเมื่อให้ความร้อนโดยการต้มโปรตีนจะเกิดการเสียสภาพทำให้แป้งถั่วหรั่งสูญเสียสมบัติด้านนี้ไป ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Odoemelam (2005) ที่พบว่า การให้ความร้อนทำให้แป้งเมล็ดขนุนมีสมบัติการเกิดอิมัลชันลดลง เช่นเดียวกับการทดลองของ Abbey and Ibeh (1988) ที่พบว่า การให้ความร้อนส่งผลให้แป้งเมล็ดถั่วฝักยาวมีสมบัติการเกิดอิมัลชันลดต่ำลงเช่นกัน

■ Gelation

ผลการศึกษาการเกิดเจล (Gelation) ของแป้งถั่วหรั่ง โดยการหาความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้แป้งถั่วหรั่งเกิดเจล ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความสามารถในการเกิดเจลของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างๆ กัน

ความเข้มข้น (% w/v)	เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง							
	0		10		20		30	
	เจล	ลักษณะปรากฏ	เจล	ลักษณะปรากฏ	เจล	ลักษณะปรากฏ	เจล	ลักษณะปรากฏ
7	-	เหลว	-	เหลว	-	เหลว	-	เหลว
8	-	หนืด	-	เหลว	-	เหลว	-	เหลว
9	+	เจล	-	เหลว	-	เหลว	-	เหลว
10	+	เจล	-	เหลว	-	เหลว	-	เหลว
11	+	เจล	-	เหลว	-	เหลว	-	เหลว
12	+	เจล	-	หนืด	-	หนืด	-	หนืด
13	+	เจล	-	หนืด	-	หนืด	-	หนืด
14	+	เจล	+	เจล	+	เจล	+	เจล
15	+	เจล	+	เจล	+	เจล	+	เจล

หมายเหตุ- หมายถึง ไม่เกิดเจล

+ หมายถึง เกิดเจล

จากตารางที่ 4.7 พบว่า แป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้มจะมีความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดเจลเท่ากับ 9% ในขณะที่แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มทั้ง 3 ช่วงเวลา ต้องใช้ความเข้มข้นถึง 14% จึงจะเกิดเจลได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Odoemelam (2005) ที่พบว่า การให้ความร้อนทำให้แป้งเมล็ดขนุนมีความเข้มข้นต่ำสุดในการเกิดเจลเพิ่มจาก 16% เป็น 18% (w/v) เนื่องจากการให้ความร้อนทำให้เกรนูลสตาร์ชเกิดการเจลาติไนซ์ไปบ้างแล้ว ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลลดต่ำลง ต้องใช้ความเข้มข้นมากขึ้นจึงจะเกิดเจลได้

■ *Freez thaw stability*

ผลการศึกษาความเสถียรต่อกระบวนการแช่แข็งและละลาย (Freeze thaw stability) แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 %Syneresis ของเจลแข็งตัวหรั่งเมื่อผ่านการแช่แข็งและการละลาย

เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง (นาที)	ความเข้มข้น (%)	% Syneresis of cycle		
		1	2	3
0	9	81.54 ^{ab} ±1.79	98.21 ^{aA} ±1.40	99.30 ^{aA} ±0.32
0	14	80.90 ^{ab} ±1.18	96.92 ^{aA} ±2.24	98.24 ^{aA} ±1.31
10	14	59.35 ^{bb} ±0.28	98.21 ^{aA} ±0.60	99.01 ^{aA} ±0.72
20	14	61.63 ^{bb} ±2.50	98.65 ^{aA} ±0.71	99.46 ^{aA} ±0.46
30	14	53.62 ^{cb} ±1.90	98.48 ^{aA} ±0.70	99.87 ^{aA} ±0.53

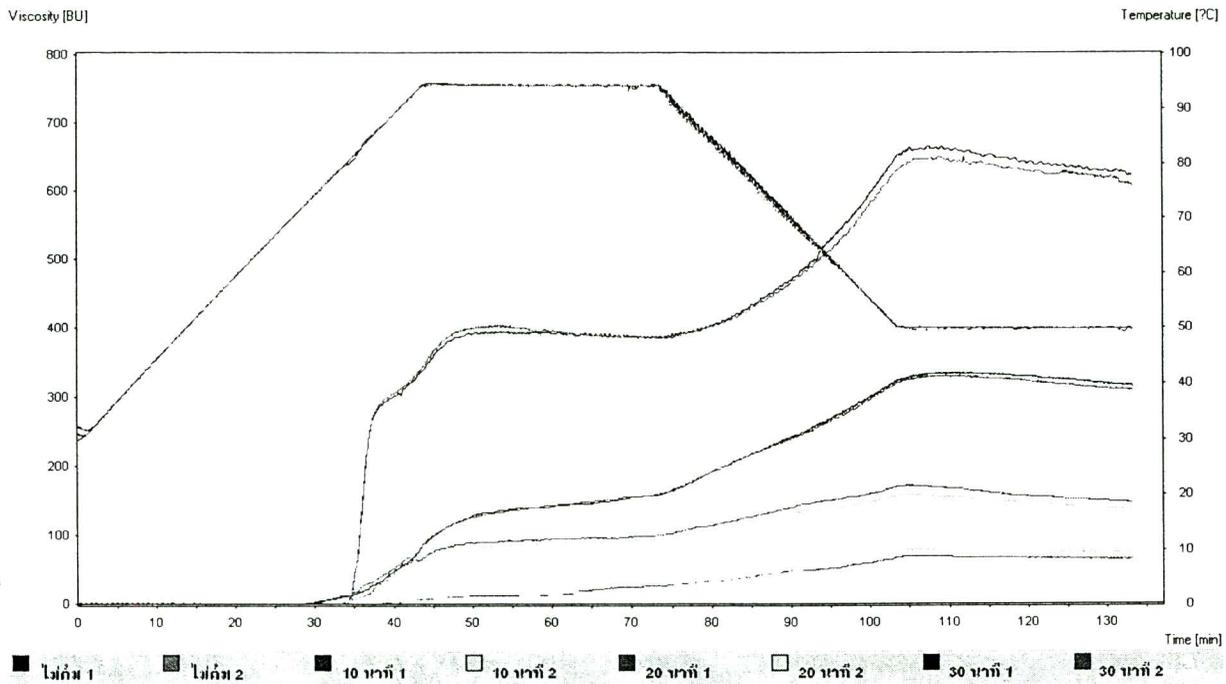
หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตัวอักษร A, B ที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

จากตารางที่ 4.8 พบว่า การแช่แข็งและการละลายรอบที่ 1 นั้นแข็งตัวหรั่งที่ไม่ผ่านการต้มจะมี % syneresis สูงกว่าแข็งตัวหรั่งที่ผ่านการต้ม ($p < 0.05$) แสดงว่าการต้มทำให้เจลของแข็งตัวหรั่งมีความคงตัวต่อการแช่แข็งและการละลายมากขึ้น ทั้งนี้ น่าจะมาจากการที่การต้มทำให้แข็งตัวหรั่งมีสมบัติการดูดซับน้ำที่ดีขึ้น (รูปที่ 4.3) ส่งผลให้เจลมีความคงตัวดีขึ้นด้วย และที่เวลาในการต้ม 30 นาที เจลแข็งตัวหรั่งจะมี % syneresis ต่ำที่สุด ($p < 0.05$) แต่เมื่อผ่านการแช่แข็งและการละลายเป็นรอบที่ 2 และ 3 จะพบว่า เจลแข็งตัวหรั่งจะมี % syneresis ที่สูงมากและไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) แสดงว่าเจลแข็งตัวหรั่งทั้งที่ผ่านการต้มและไม่ต้มจะไม่มี ความคงตัวเมื่อผ่านการแช่แข็งและละลาย 2 ครั้งขึ้นไป

■ *Brabender Viscoamylograph*

ผลของการศึกษาสมบัติทางการไหลของแข็งตัวหรั่งโดยใช้ Brabender Viscoamylograph ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.6 Brabender Viscoamylograph ของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างๆ กัน

ตารางที่ 4.9 สมบัติทางการไหลของแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มในเวลาต่างๆ กัน

พารามิเตอร์	เวลาที่ใช้ในการต้มถั่วหรั่ง (นาที)			
	0	10	20	30
A. Gelatinization temperature(C°)	79.9 ^c ±0.11	94.5 ^a ±0.11	81.9 ^b ±0.07	77.8 ^d ±0.28
B. Peak viscosity (BU)	399.0 ^a ±5.66	23.5 ^d ±3.54	96.0 ^c ±4.24	158.0 ^b ±1.41
C. Hot paste viscosity (BU)	385.0 ^a ±1.41	23.0 ^d ±2.83	96.0 ^c ±4.24	158.0 ^b ±1.41
D. Cold paste viscosity (BU)	615.0 ^a ±9.90	69.0 ^d ±7.07	140.5 ^c ±7.78	312.5 ^b ±3.54
Breakdown (BU) (B-C)	14.0 ^a ±4.42	0.05 ^b ±0.71	0.0 ^b ±0.00	0.0 ^b ±0.00
Setback (BU) (D-B)	216.0 ^a ±15.56	45.5 ^c ±10.61	44.5 ^c ±3.54	154.5 ^b ±4.95

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับ DMRT

จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.9 พบว่าเวลาในการต้มมีผลต่อสมบัติทางการไหลของแป้งถั่วหรั่งในทุกๆ ค่า โดยที่แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มเป็นเวลา 10 นาทีจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจล (Gelatinization temperature) สูงที่สุด รองลงมาได้แก่แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มเป็นเวลา 20 และ 30 นาทีตามลำดับ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจาก

การให้ความร้อนส่งผลกระทบโดยตรงต่อองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของแป้งถั่วหรั่งจึงทำให้แป้งถั่วหรั่งที่ได้มีสมบัติเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจากการทดลองของ Adebowale *et al.* (2002) พบว่าสตาร์ชของถั่วหรั่งธรรมชาติ (Bambara native starch) มีอุณหภูมิในการเกิดเจลเท่ากับ 84 องศาเซลเซียส ในขณะที่ในการทดลองนี้แป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้มมีอุณหภูมิในการเกิดเจลเท่ากับ 79.9 องศาเซลเซียส ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวอาจมาจากสายพันธุ์ที่แตกต่างกัน รวมถึงความแตกต่างทางองค์ประกอบทางเคมีระหว่างแป้งถั่วหรั่งกับสตาร์ชของถั่วหรั่ง เมื่อพิจารณาถึงค่าความหนืดต่างๆ จะพบว่า ลักษณะของกราฟที่ได้เป็นแบบ c (รูปที่ 4.6) กล่าวคือเป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวจำกัด (Restricted-swelling starch) ซึ่งเป็นลักษณะของแป้งถั่วต่างๆ ไป เม็ดแป้งที่พองตัวมีเสถียรภาพ ดังนั้นลักษณะกราฟของความหนืดจึงไม่ปรากฏยอดสูงสุด ซึ่งค่าความหนืดอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นในระหว่างการต้มสุก และนอกจากนี้ยังพบว่าแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มจะมีความหนืดในทุกๆ ช่วงต่ำกว่าแป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้ม ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเป็นผลมาจากปริมาณอะไมโลส (Amylose content) และการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะไมโลสกับไขมัน (Amylose-lipid complex formation) รวมถึงการเกิดรีโทรกราเดชัน (Retrogradation) ของอะไมโลสที่ละลายน้ำได้ (Bhattacharya *et al.*, 1999) ซึ่งการให้ความร้อนทำให้องค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปจึงส่งผลกระทบต่อความหนืดของแป้ง และเมื่อดูค่า Breakdown หรือความทนทานของเม็ดแป้งต่อการเคี้ยวพบว่า แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มจะมีความทนทานต่อการเคี้ยว กล่าวคือ ค่าความหนืดจะคงที่แม้เคี้ยวแป้งที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และถ้าพิจารณาค่า Setback หรือค่าการแข็งตัวของแป้งสุกที่เย็นลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดสูงสุด พบว่า แป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มจะมีค่า Setback ต่ำกว่าแป้งถั่วหรั่งที่ไม่ผ่านการต้ม ($p < 0.05$)

4.3 การประยุกต์ใช้แป้งถั่วหรั่งทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์อาหาร

นำแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มเป็นเวลา 10 นาที มาทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์อาหาร 2 ชนิด ได้แก่ ขนมปังและบะหมี่ รวมถึงทำการศึกษาศักยภาพของแป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วน 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 โดยน้ำหนัก ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.3.1 การศึกษาศักยภาพของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีกับแป้งถั่วหรั่ง

ผลการศึกษาศักยภาพของแป้งผสมที่อัตราส่วนของแป้งสาลีต่อแป้งถั่วหรั่งเป็น 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 โดยน้ำหนัก ได้ผลดังตารางที่ 4.10-4.12 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.10 ค่าสีของของแป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วน 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 โดยน้ำหนัก

แป้งสาลี:แป้งถั่วหรั่ง	L*	a*	b*
100:0	92.77 ^a ±0.36	-1.86 ^d ±0.08	3.39 ^d ±0.99
90:10	90.41 ^b ±0.29	-1.54 ^c ±0.01	4.46 ^c ±0.13
80:20	88.85 ^c ±0.36	-1.39 ^b ±0.04	5.44 ^b ±0.30
70:30	87.98 ^c ±0.54	-1.13 ^a ±0.04	6.77 ^a ±0.06

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

จากตารางที่ 4.10 พบว่า อัตราส่วนของแป้งสาลีต่อแป้งถั่วหรั่งมีผลต่อค่าสีของแป้งผสม โดยที่เมื่อปริมาณแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้นแป้งผสมที่ได้จะมีค่าสี L* ลดต่ำลง แต่ค่าสี a* และ b* เพิ่มขึ้น (p<0.05) แสดงว่าแป้งผสมมีความสว่างลดลงแต่มีสีแดงและเหลืองเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งมีสีคล้ำกว่าแป้งสาลีรวมถึงมีสีออกเหลืองมากกว่านั่นเองจึงส่งผลกระทบต่อค่าสีของแป้งผสม

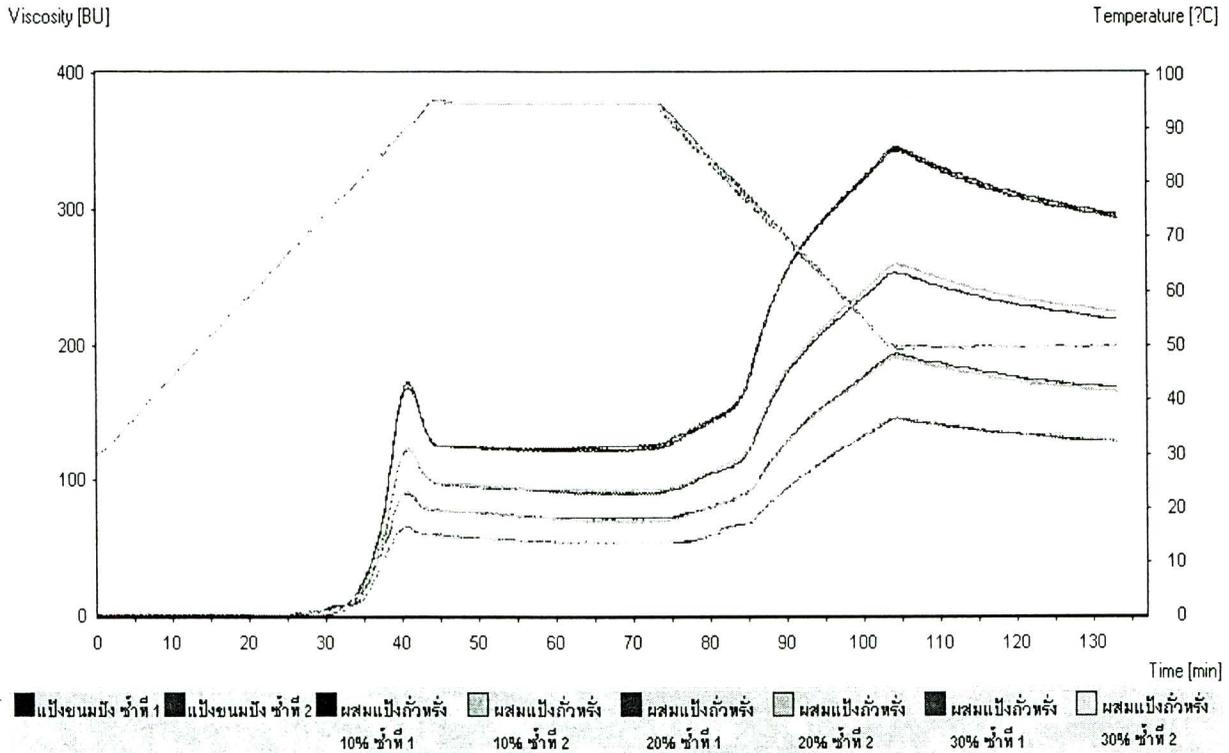
ตารางที่ 4.11 ค่าการดูดซับน้ำ และกำลังการพองตัวของแป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งสาลี:แป้งถั่วหรั่ง	Water absorption (g/g sample)	Swelling power (g/g sample)
100:0	1.20 ^c ±0.03	5.46 ^a ±0.09
90:10	1.40 ^b ±0.04	5.50 ^a ±0.11
80:20	1.62 ^a ±0.04	5.46 ^a ±0.15
70:30	1.73 ^a ±0.07	5.52 ^a ±0.08

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการศึกษาค่าการดูดซับน้ำ (Water absorption) และกำลังการพองตัว (Swelling power) ของแป้งผสมที่อัตราส่วนของแป้งสาลีต่อแป้งถั่วหรั่งเป็น 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะพบว่า อัตราส่วนของของแป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งไม่มีผลต่อกำลังการพองตัวของแป้งผสม (p>0.05) แต่จะมีผลต่อค่าการดูดซับน้ำ (p<0.05) เมื่ออัตราส่วนของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณ โปรตีนประมาณ 19% ซึ่งสูงกว่าแป้งสาลีที่มีโปรตีนประมาณ 10-11% ดังนั้นจึงสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่า ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Akpapunam and Darbe (1994) ที่พบว่าเมื่ออัตราของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้นส่งผลให้การดูดซับน้ำ

ของแป้งข้าวโพดผสมแป้งถั่วหรั่งสูงขึ้นด้วย เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณ โปรตีนและเส้นใยอาหาร
นั่นเอง



รูปที่ 4.7 Brabender Viscoamylgraph ของแป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

ตารางที่ 4.12 สมบัติทางการไหลของแป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

พารามิเตอร์	แป้งสาลี : แป้งถั่วหรั่ง			
	100:0	90:10	80:20	70:30
A. Gelatinization temperature(C°)	78.7 ^a ±0.42	78.0 ^a ±0.57	79.9 ^a ±0.21	80.0 ^a ±0.78
B. Peak viscosity (BU)	171.0 ^a ±2.83	124.5 ^b ±0.71	91.5 ^c ±0.71	65.0 ^d ±1.41
C. Hot paste viscosity (BU)	125.0 ^a ±1.41	92.5 ^b ±2.12	71.0 ^c ±1.41	54.5 ^d ±0.71
D. Cold paste viscosity (BU)	296.0 ^a ±1.41	222.0 ^b ±4.24	167.5 ^c ±2.12	129.5 ^d ±2.12
Breakdown (BU) (B-C)	46.0 ^a ±4.24	32.0 ^b ±1.41	20.5 ^c ±2.12	10.5 ^d ±2.12
Setback (BU) (D-B)	125.0 ^a ±4.24	97.5 ^b ±3.54	76.0 ^c ±2.83	64.5 ^d ±3.54

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

รูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.12 แสดงผลการศึกษาศักยภาพการไหลของแป้งผสมที่อัตราส่วนของแป้งสาลีต่อแป้งถั่วหรั่งเป็น 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph (Brabender, Germany) ที่ความเข้มข้น 8.0% ซึ่งพบว่า อัตราส่วนของแป้งสาลีต่อแป้งถั่วหรั่งไม่มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลของแป้งผสม ($p>0.05$) แต่จะมีผลต่อความหนืดของแป้งผสม ($p<0.05$) โดยที่แป้งสาลี 100% จะมีค่าความหนืดในทุกๆ ช่วงสูงกว่าแป้งสาลีที่มีการผสมด้วยแป้งถั่วหรั่ง และเมื่อปริมาณแป้งถั่วหรั่งเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนืดจะลดต่ำลงมากขึ้น ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งสาลีมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าแป้งถั่วหรั่ง ดังนั้นการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งเท่ากับเป็นการลดปริมาณคาร์โบไฮเดรตลงรวมทั้งแป้งถั่วหรั่งที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการต้มเป็นเวลา 10 นาที ทำให้ความหนืดของแป้งลดต่ำลง เพราะสตาร์ชในถั่วหรั่งเกิดการเจลาติไนเซชัน (gelatinization) ไปบางส่วนแล้ว (รูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.9) ดังนั้นการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งจึงมีผลทำให้ความหนืดต่างๆ ลดต่ำลง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Mcwatters *et al.*, (2004) ที่พบว่าการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งเมล็ดถั่วฝักยาวที่ผ่านการให้ความร้อน ที่อัตราส่วนของแป้งเมล็ดถั่วฝักยาว 15 และ 30% ของแป้งสาลี จะส่งผลให้แป้งที่ได้มีความหนืดในทุกๆ ช่วงของ Brabender Viscoamylograph ลดต่ำลง และเมื่อพิจารณาค่า Breakdown หรือความทนทานต่อการเคี้ยว จะพบว่าแป้งสาลีที่มีการผสมแป้งถั่วหรั่งจะมีความทนทานต่อการเคี้ยวที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มากกว่าแป้งสาลี 100% นั่นเป็นเพราะแป้งถั่วหรั่งมีความทนทานต่อการเคี้ยวค่อนข้างดี (ตารางที่ 4.9) และเมื่อพิจารณาค่า Setback หรือค่าการแข็งตัวของแป้งสุกที่เย็นลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดสูงสุด พบว่า แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งมีค่า Setback ต่ำกว่าแป้งสาลี 100% เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งมีค่า Setback ที่ค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 4.9)

4.3.2 การศึกษาผลของการใช้แป้งถั่วหรั่งทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในขนมปัง

ผลการศึกษาศักยภาพของการใช้แป้งถั่วหรั่งทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในขนมปัง โดยแปรอัตราส่วนของแป้งสาลีต่อแป้งถั่วหรั่งเป็น 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบคุณภาพของขนมปังทั้งทางกายภาพ การทดสอบทางประสาทสัมผัส และการทดสอบทางเคมี ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.13-4.18

ตารางที่ 4.13 Dough consistency ของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งสาลี : แป้งถั่วหรั่ง	Dough consistency (Peak force : N)
100:0	0.170 ^a ±0.01
90:10	0.178 ^a ±0.03
80:20	0.190 ^a ±0.03
70:30	0.190 ^a ±0.01

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

จากตารางที่ 4.13 พบว่า การผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วน 0-30% โดยน้ำหนัก จะไม่มีผลต่อค่า Dough consistency ของขนมปัง ($p>0.05$) แต่อย่างไรก็ตามเมื่ออัตราส่วนของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มมากขึ้น ค่า Dough consistency มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากแป้งถั่วหรั่งจะเพิ่มความแน่นเนื้อของโด ทำให้โดมีความคงตัวเพิ่มขึ้น เพราะแป้งถั่วหรั่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างจากแป้งสาลี (แป้งถั่วหรั่งมีปริมาณโปรตีน 19.26% เถ้า 2.28% ไขมัน 10.85% เส้นใยอาหาร 1.28% และคาร์โบไฮเดรต 54.58% ในขณะที่แป้งสาลีมีปริมาณโปรตีน 11.90 – 13.80% เถ้า 0.34 – 1.55% ไขมัน 0.87 – 2.52% เส้นใยอาหาร 0.10 – 1.17% และคาร์โบไฮเดรต 63.70 – 72.10%) รวมทั้งการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่ง ทำให้ปริมาณกลูเตนลดน้อยลง ส่งผลให้โดที่ได้มีเนื้อแน่นขึ้น ขาดความยืดหยุ่น ค่า Dough consistency จึงเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Lee and Brennan (2005) ที่พบว่าการผสมแป้งสาลีด้วยโปรตีนถั่วเหลืองสกัด (Soy protein isolate) จะส่งผลให้โดที่ได้มีค่า Dough consistency เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) เนื่องจากปริมาณกลูเตนที่ลดลงและปริมาณโปรตีนที่เพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 4.14 ค่าสีของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งสาลี:แป้งถั่วหรั่ง	L*	a*	b*	Hue Angle(°)	Chroma
100:0	78.36 ^a ±0.08	0.07 ^c ±0.28	24.77 ^d ±0.99	89.82 ^a ±0.06	24.77 ^d ±0.21
90:10	75.54 ^b ±0.53	0.35 ^c ±0.20	25.80 ^c ±0.51	89.21 ^a ±0.44	25.80 ^c ±0.51
80:20	75.39 ^b ±0.61	0.90 ^b ±0.40	26.85 ^b ±0.15	88.08 ^b ±0.84	26.86 ^b ±0.16
70:30	73.30 ^c ±0.54	1.96 ^a ±0.21	27.57 ^a ±0.14	85.92 ^c ±0.46	27.63 ^a ±0.20

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าสีของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่าเมื่อมีการผสมแป้งถั่วหรั่งในขนมปังมากขึ้น ค่า L^* จะลดต่ำลง ในขณะที่ค่า a^* และ b^* เพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ขนมปังที่ได้มีสีที่คล้ำขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) เพราะแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งสาลี ดังนั้นจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากกว่า รวมทั้งแป้งถั่วหรั่งเองก็มีสีที่คล้ำกว่าแป้งสาลี จึงอาจส่งผลต่อสีของขนมปังได้ นอกจากนี้ยังพบว่าขนมปังที่ผสมแป้งถั่วหรั่งจะมีค่า Hue Angle ลดลงในขณะที่ค่า Chroma เพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$) ซึ่งค่า Hue Angle เป็นค่ามุมที่แสดงถึงเฉดสีของขนมปัง โดยที่ถ้าค่านี้มีค่าเข้าใกล้ 90 องศา แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีเหลือง และถ้าเข้าใกล้ 0 องศา แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีสีแดง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ขนมปังในสูตรควบคุม (แป้งสาลี 100%) มีค่า Hue Angle เข้าใกล้ 90 องศา แสดงว่าขนมปังที่ได้มีสีเหลือง แต่เมื่อผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งมากขึ้น ค่า Hue Angle จะลดลง แสดงว่าขนมปังที่ได้มีสีเหลืองลดลงและแดงมากขึ้น สำหรับค่า Chroma นั้นแสดงค่าความเข้มสีของผลิตภัณฑ์ จากการทดลองพบว่า การผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งในอัตราที่มากขึ้น ทำให้ขนมปังที่ได้มีค่า Chroma มากขึ้น แสดงว่าขนมปังมีสีเข้มขึ้นนั่นเอง ซึ่งการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Ryan *et al.* (2002) ที่พบว่าเมื่อผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วเหลืองจะทำให้ขนมปังมีสีคล้ำขึ้น เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่สูงขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 4.15 ค่า Percentage of loaf, Bulk density และ Specific volume ของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งสาลี:แป้งถั่วหรั่ง	Percentage of loaf (%)	Bulk density (g/cm ³)	Specific volume (cm ³ /g)
100:0	23.54 ^a ±0.93	0.31 ^c ±0.01	3.20 ^a ±0.07
90:10	20.57 ^c ±0.27	0.34 ^c ±0.01	2.90 ^b ±0.11
80:20	22.08 ^b ±0.98	0.52 ^b ±0.01	1.89 ^c ±0.01
70:30	21.34 ^{bc} ±0.14	0.67 ^a ±0.03	1.45 ^d ±0.07

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

จากตารางที่ 4.15 พบว่า ขนมปังที่มีการผสมแป้งถั่วหรั่งในอัตราที่สูงมากขึ้น ทำให้ค่า Percentage of loaf และค่า Specific volume ลดต่ำลง แต่ค่า Bulk density เพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าขนมปังที่มีการผสมแป้งถั่วหรั่ง ทำให้เนื้อของขนมปังมีความแน่นมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกลูเตนที่ลดลงทำให้ขนมปังมีความยืดหยุ่นลดต่ำลงและเก็บอากาศได้ไม่ดีทำให้ขนมปังไม่ขึ้นฟู ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Mcwatters *et al.* (2004) ที่พบว่าเมื่อผสมแป้งสาลีด้วยแป้งเมล็ดถั่วฝักยาวใน

ปริมาณ 15 และ 30% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ขนมปังที่ได้มีค่า Loaf volume ลดต่ำลง และเมื่อปริมาณแป้ง เมล็ดถั่วฝักยาวมากขึ้น ค่า Loaf volume จะยิ่งลดต่ำลงมากขึ้นเนื่องจากปริมาณกลูเตนที่ลดลงนั่นเอง

ตารางที่ 4.16 Texture Profile Analysis ของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งสาลี:แป้งถั่วหรั่ง	Hardness (N)	Cohesiveness	Spinginess (mm.)	Gumminess (N)	Chewiness (N.mm)
100:0	1.24 ^b ±0.12	0.55 ^a ±0.06	6.26 ^a ±0.11	0.67 ^c ±0.08	4.46 ^c ±0.04
90:10	1.38 ^b ±0.15	0.51 ^a ±0.01	6.35 ^a ±0.09	0.69 ^c ±0.06	4.51 ^c ±0.08
80:20	1.61 ^b ±0.06	0.51 ^a ±0.02	6.54 ^a ±0.06	0.89 ^b ±0.09	6.01 ^b ±0.09
70:30	3.26 ^a ±0.23	0.49 ^a ±0.02	5.36 ^b ±0.21	1.58 ^a ±0.04	8.63 ^a ±0.09

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตารางที่ 4.16 แสดง Texture Profile Analysis ของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่า การผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งจะไม่ส่งผลต่อค่า Cohesiveness ของขนมปัง ($p>0.05$) แต่จะทำให้ค่า Hardness Gumminess และ Chewiness มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และขนมปังที่มีการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วน 70:30 จะมีค่า Hardness Gumminess และ Chewiness สูงที่สุดในขณะที่ค่า Spinginess ต่ำที่สุด ($p<0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเติมแป้งถั่วหรั่งในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ขนมปังนั้นแข็งและเหนียวมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกลูเตนที่ลดลง รวมทั้งปริมาณโปรตีนและเส้นใยอาหารที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ขนมปังมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แน่นและเหนียว นอกจากนี้ยังพบว่าขนมปังที่มีการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วน 90:10 จะมีค่าทาง Texture Profile ทุกค่าไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (แป้งสาลี 100%) ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Ryan *et al.* (2002) ที่รายงานว่า การผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วเหลืองปริมาณ 12% โดยน้ำหนัก จะได้ขนมปังที่มีค่า Gumminess Chewiness และ Hardness สูงกว่าสูตรควบคุม (แป้งสาลี 100%)

ตารางที่ 4.17 องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งในอัตราส่วนต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี (%)	แป้งสาลี:แป้งถั่วหรั่ง			
	100:0	90:10	80:20	70:30
Moisture content	32.87 ^b ±0.53	31.41 ^c ±0.21	33.93 ^a ±0.38	32.60 ^b ±0.24
Ash content	4.65 ^b ±0.16	5.06 ^b ±0.26	5.58 ^b ±0.69	9.43 ^a ±8.60
Crude protein	7.96 ^b ±0.15	8.18 ^{ab} ±0.25	8.28 ^a ±0.11	8.39 ^a ±0.21
Crude Fat	7.78 ^c ±0.11	7.69 ^c ±0.28	12.86 ^b ±0.42	14.24 ^a ±0.26
Crude fiber	0.16 ^c ±0.07	0.24 ^{bc} ±0.04	0.30 ^{ab} ±0.02	0.38 ^a ±0.01
Available carbohydrate	46.28 ^b ±0.01	47.38 ^a ±0.54	43.50 ^c ±0.42	29.35 ^d ±0.02

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตารางที่ 4.17 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งในอัตราส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่า อัตราส่วนของของแป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของขนมปัง ($p < 0.05$) โดยที่ขนมปังที่ผลิตจากการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วน 80:20 จะมีปริมาณความชื้นสูงสุด ($p < 0.05$) และเมื่อปริมาณแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้นขนมปังที่ได้จะมีปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน และเส้นใยอาหารเพิ่มสูงขึ้น ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณสารดังกล่าวสูงกว่าแป้งสาลีนั้นเอง และจากการที่องค์ประกอบทางเคมีของขนมปังสูตรต่างๆ มีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นจึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของขนมปังในด้านต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 4.18 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งสาลี:แป้งถั่วหรั่ง	ลักษณะปรากฏ	สี	เนื้อสัมผัส	กลิ่นรส	ความชอบโดยรวม
100:0	7.53 ^a ±0.90	7.38 ^a ±1.29	7.45 ^a ±1.56	7.13 ^a ±1.70	7.75 ^a ±1.02
90:10	7.00 ^b ±1.37	7.30 ^a ±1.11	6.48 ^b ±1.50	6.43 ^b ±1.61	6.73 ^b ±1.28
80:20	5.88 ^c ±1.28	6.03 ^b ±1.14	4.88 ^c ±1.53	4.88 ^c ±1.77	5.33 ^c ±1.43
70:30	4.25 ^d ±1.35	4.65 ^c ±1.25	3.60 ^d ±1.46	4.05 ^d ±1.72	4.03 ^d ±1.56

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวดิ่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วนต่างๆ โดยทำการทดสอบด้วยผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 40 คน และใช้แบบสอบถามชนิด 9-point hedonic scale ทำการทดสอบในด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ซึ่งจะพบว่า ขนมปังที่มีการใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วเหลืองในอัตราที่มากขึ้นจะได้คะแนนทางประสาทสัมผัสลดต่ำลงในทุกๆ ด้าน ($p < 0.05$) เนื่องจากขนมปังที่มีการผสมแป้งถั่วเหลืองจะมีเนื้อแน่นขึ้น (ตารางที่ 4.15 และ 4.16) ทำให้ขนมปังไม่ขึ้นฟู ลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสจึงไม่ดี รวมทั้งแป้งถั่วเหลืองทำให้ขนมปังมีสีคล้ำขึ้น (ตารางที่ 4.14) นอกจากนี้แป้งถั่วเหลืองยังมีกลิ่นถั่วค่อนข้างแรง จึงส่งผลกระทบต่อทดสอบทางด้านกลิ่นรสและความชอบโดยรวม แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า ขนมปังสูตรที่มีการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วน 90:10 มีค่าการทดสอบต่างๆ ที่ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม (แป้งสาลี 100%) มากที่สุด

4.3.3 การศึกษาผลของการใช้แป้งถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในขนมปัง

การศึกษาผลของการใช้แป้งถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในขนมปัง โดยแปรอัตราส่วนของแป้งสาลีต่อแป้งถั่วเหลืองเป็น 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 โดยน้ำหนัก และทำการทดสอบคุณภาพของขนมปังทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 4.19-4.22

ตารางที่ 4.19 ค่าสีของขนมปังที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งสาลี : แป้งถั่วเหลือง	ก่อนลวก			หลังลวก		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
100:0	64.81 ^a ±0.34	2.22 ^a ±0.20	23.21 ^a ±0.19	60.74 ^a ±0.16	0.03 ^b ±0.13	21.64 ^a ±0.16
90:10	64.36 ^b ±0.08	0.61 ^b ±0.11	22.26 ^b ±0.20	61.02 ^a ±0.23	0.41 ^a ±0.66	20.86 ^b ±0.23
80:20	64.39 ^b ±0.07	0.76 ^b ±0.07	22.15 ^b ±0.11	61.78 ^a ±0.11	0.49 ^a ±0.66	20.34 ^c ±0.11
70:30	62.91 ^c ±0.14	0.85 ^b ±0.18	21.44 ^c ±0.18	59.28 ^a ±0.17	0.55 ^a ±0.34	19.66 ^d ±0.17

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าสีของขนมปังทั้งก่อนลวกและหลังลวกที่วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Hunter Lab รุ่น Color Flex ซึ่งพบว่า การผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วเหลืองทำให้ขนมปังก่อนลวกมีค่าสีทั้ง L* a* และ b* ต่ำกว่าสูตรควบคุม (แป้งสาลี 100%) และขนมปังหลังลวกจะมีค่าสี L* ที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ในขณะที่ a* เพิ่มขึ้น และ b* ลดลง ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการผสมแป้งถั่วเหลืองทำให้ขนมปังหลังลวกมีสีแดงมากขึ้น และมีสีเหลืองลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากกว่าสูตรควบคุม เพราะถั่วเหลืองมีปริมาณ โปรตีน

สูงกว่าแป้งสาลี ซึ่งจากผลการทดลองของ Bejosano and Corke (1998) พบว่าการผสมโปรตีนเข้มข้นใน
 ะหมี่จีนปริมาณ 2% ทำให้กะหมี่ที่ได้มีสีเข้มขึ้น เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง

ตารางที่ 4.20 ค่า Cooking weight Cooking loss และ Cutting force ของกะหมี่ที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่ง
 ที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งสาลี : แป้งถั่วหรั่ง	Cooking weight (%)	Cooking loss (%)	Cutting force (N)
100:0	84.40 ^d ±2.69	8.64 ^b ±0.08	0.86 ^b ±0.05
90:10	128.35 ^c ±1.20	8.84 ^b ±0.12	0.89 ^b ±0.05
80:20	167.26 ^b ±1.84	8.25 ^b ±0.38	0.87 ^b ±0.08
70:30	184.87 ^a ±3.35	9.84 ^a ±0.38	1.15 ^a ±0.09

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง
 สถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

จากตารางที่ 4.20 พบว่า การผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งทำให้กะหมี่มีค่า Cooking weight เพิ่ม
 สูงขึ้น และเมื่ออัตราส่วนของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้นค่า Cooking weight จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย ($p<0.01$) ทั้งนี้
 เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณ โปรตีนและเส้นใยอาหารสูงกว่าแป้งสาลี จึงส่งผลให้มีค่าการอุ้มน้ำที่สูง
 (ตารางที่ 4.11) ดังนั้นกะหมี่ที่มีการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งจึงมีค่า Cooking weight เพิ่มสูงขึ้นจากการ
 อุ้มน้ำที่มากขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้ยังพบว่ากะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วน 90:10 และ
 80:20 จะมีค่า Cooking loss และ Cutting force ที่ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม (แป้งสาลี 100%) ในขณะที่
 อัตราส่วน 70:30 จะมีค่า Cooking loss และ Cutting force สูงกว่าสูตรควบคุม ($p<0.05$) แสดงว่าเมื่อมีแป้ง
 ถั่วหรั่งในแป้งผสมมากขึ้น กะหมี่ที่ได้จะบวมน้ำและมีบางส่วนละลายน้ำไปมากขึ้น รวมถึงเส้นกะหมี่ที่ได้ก็
 เหนียวขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.21 องค์ประกอบทางเคมีของบะหมี่ที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งสาลี : แป้งถั่วหรั่ง			
	100:0	90:10	80:20	70:30
ความชื้น (%)	34.72 ^c ±0.02	35.70 ^{bc} ±0.08	36.63 ^b ±0.07	39.53 ^a ±0.06
เถ้า (% dry basis)	4.97 ^d ±0.04	5.63 ^c ±0.07	6.38 ^b ±0.07	7.71 ^a ±0.06
ไขมัน (% dry basis)	0.74 ^d ±0.02	1.69 ^c ±0.03	2.33 ^b ±0.04	2.81 ^a ±0.05
โปรตีน (% dry basis)	11.27 ^d ±0.13	12.32 ^c ±0.10	13.23 ^b ±0.06	14.17 ^a ±0.10
คาร์โบไฮเดรต (% dry basis)	83.02 ^a ±0.08	80.36 ^b ±0.03	78.06 ^c ±0.07	75.31 ^d ±0.06

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตารางที่ 4.21 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของบะหมี่ที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งจะพบว่า บะหมี่ที่ผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีนสูงกว่าสูตรควบคุม (แป้งสาลี 100%) แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่า ($p < 0.05$) และเมื่ออัตราส่วนของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้น ปริมาณความชื้น เถ้า ไขมัน และโปรตีนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณสารดังกล่าวสูงกว่าแป้งสาลีนั่นเอง รวมทั้งแป้งถั่วหรั่งยังสามารถอุ้มน้ำได้มากกว่าแป้งสาลี (ตารางที่ 4.11) จึงทำให้ปริมาณความชื้นในบะหมี่สูตรที่มีการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณความชื้นสูงกว่าสูตรควบคุม และจากการที่องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันจึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพของบะหมี่ในด้านต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ตารางที่ 4.22 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งสาลี : แป้งถั่วหรั่ง	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
100:0	6.24±0.07 ^b	6.36±0.10 ^a	6.64±0.70 ^a	6.60±0.10 ^b
90:10	7.16±0.05 ^a	6.84±0.05 ^a	7.16±0.09 ^a	7.20±0.09 ^a
80:20	5.00±0.02 ^c	4.88±0.13 ^b	4.68±0.10 ^b	4.60±0.03 ^c
70:30	4.04±0.03 ^d	4.04±0.04 ^c	3.68±0.008 ^c	3.60±0.08 ^d

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตารางที่ 4.22 แสดงการทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ที่ใช้แป้งสาลีผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยการนำบะหมี่มาผ่านการลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 1.30 นาที ล้างน้ำอุณหภูมิปกติ และ

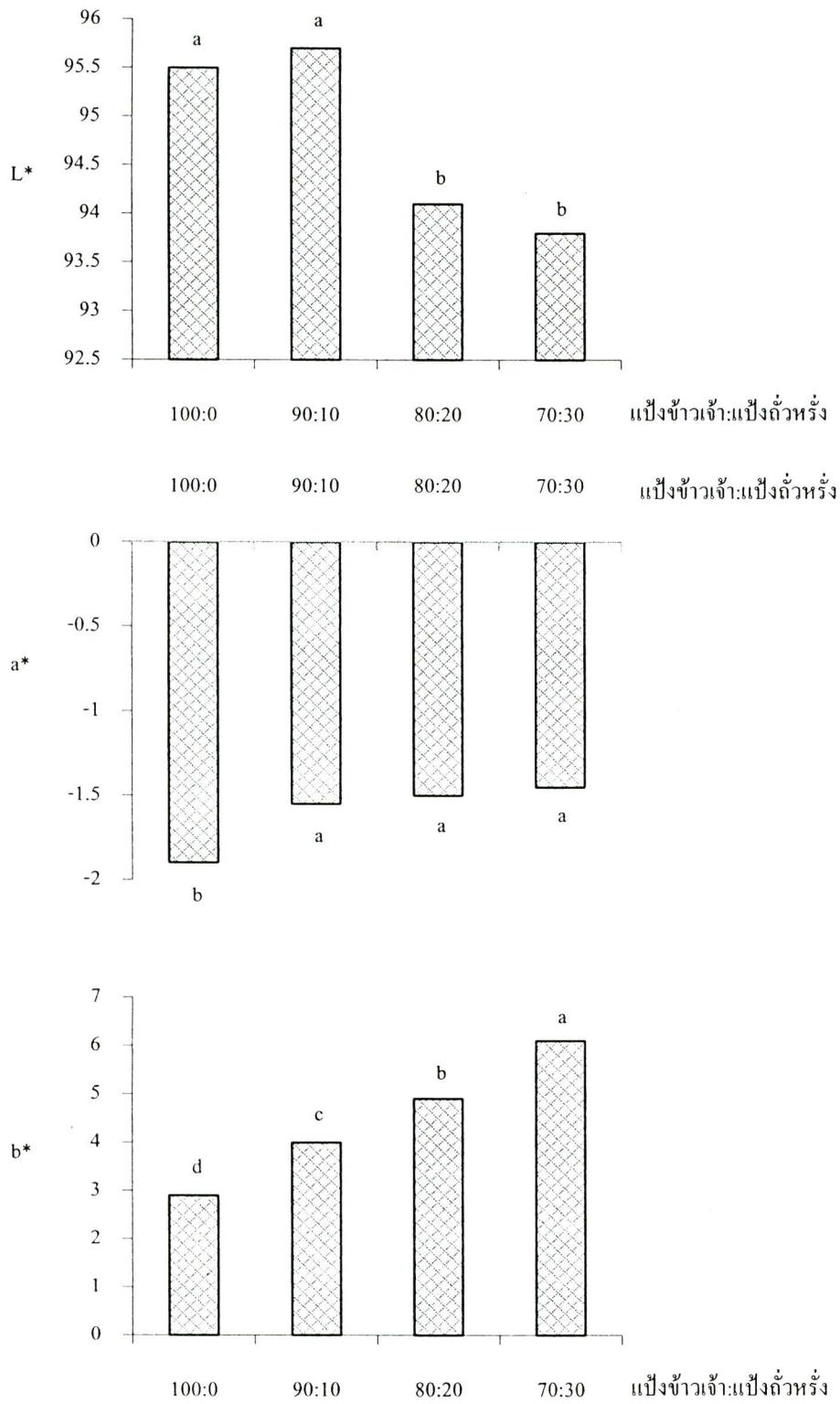
เลิฟพร้อมน้ำซุพทันที ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 40 คน และใช้แบบสอบถามชนิด 9-point hedonic scale ทำการทดสอบในด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส กลิ่นรส และความชอบโดยรวม ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่าการผสมแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วน 90:10 จะมีค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p>0.05$) และให้ค่าด้านสี และความชอบโดยรวมสูงกว่าสูตรควบคุม ($p<0.05$) แต่ถ้าปริมาณการผสมแป้งถั่วหรั่งเพิ่มสูงขึ้น (80:20 และ 70:30) ค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสจะลดลงในทุกๆ ด้าน ทั้งนี้เนื่องจากสีของปะหมี่จะมีความเป็นสีเหลืองและความสว่างลดลง รวมถึงเนื้อสัมผัสของปะหมี่ที่ได้จะค่อนข้างแข็งกระด้างและขาดง่าย ขาดความยืดหยุ่นจึงส่งผลต่อความชอบของผู้บริโภค

4.4 การประยุกต์ใช้แป้งถั่วหรั่งทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนในผลิตภัณฑ์อาหาร

นำแป้งถั่วหรั่งที่ผ่านการต้มเป็นเวลา 10 นาที มาทดแทนข้าวเจ้าบางส่วนในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ เส้นก๋วยเตี๋ยว รวมถึงทำการศึกษาศสมบัติของแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วน 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 โดยนำหนัก ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.4.1 การศึกษาศสมบัติของแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้ากับแป้งถั่วหรั่ง

ผลการศึกษาศสมบัติของแป้งผสมที่อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งถั่วหรั่งเป็น 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 โดยนำหนัก ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.23-4.24 และรูปที่ 4.8-4.9



รูปที่ 4.8 ค่าสี L* a* และ b* ของแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วนต่างๆ

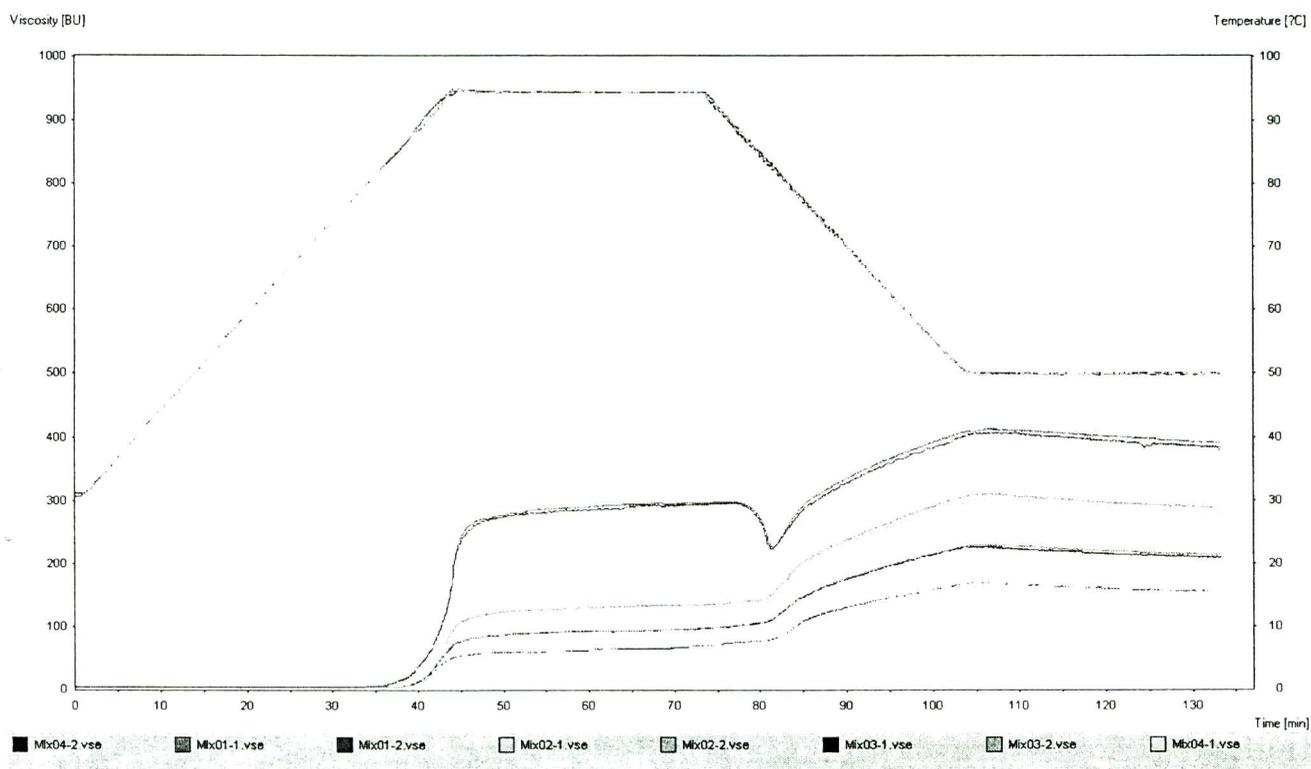
รูปที่ 4.8 แสดงค่าสีของแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งจะพบว่า อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งถั่วหรั่งมีผลต่อค่าสีของแป้งผสม ($p < 0.05$) โดยที่การผสมแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้นจะทำให้แป้งผสมมีค่าสี L^* ลดต่ำลง ในขณะที่มีค่าสี a^* และ b^* เพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งถั่วหรั่งจะทำให้สีของแป้งผสมคล้ำขึ้น มีสีเหลืองเพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งจะมีสีเหลือง ในขณะที่แป้งข้าวเจ้ามีสีขาว จึงส่งผลต่อค่าสีของแป้งผสมดังกล่าว

ตารางที่ 4.23 ค่าการดูดซับน้ำ และกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งข้าวเจ้า : แป้งถั่วหรั่ง	Water absorption (g/g sample)	Swelling power (g/g sample)
100:0	0.96 ^c ±0.02	5.45 ^a ±0.04
90:10	1.03 ^b ±0.03	5.44 ^a ±0.09
80:20	1.09 ^b ±0.03	5.32 ^a ±0.04
70:30	1.19 ^a ±0.05	5.44 ^a ±0.04

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตารางที่ 4.23 แสดงค่าการดูดซับน้ำ และกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งถั่วหรั่งจะไม่มีผลต่อกำลังการพองตัว ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อการดูดซับน้ำของแป้งผสม ($p < 0.05$) โดยที่แป้งที่มีการผสมแป้งถั่วหรั่งจะมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งข้าวเจ้า 100% ($p < 0.05$) และเมื่อปริมาณแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้นค่าการดูดซับน้ำก็จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วย เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า ดังนั้นเมื่อปริมาณแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้นด้วย



รูปที่ 4.9 Brabender Viscoamylograph ของแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วนต่างๆ

ตารางที่ 4.24 สมบัติทางการไหลของแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วเหลืองที่อัตราส่วนต่างๆ

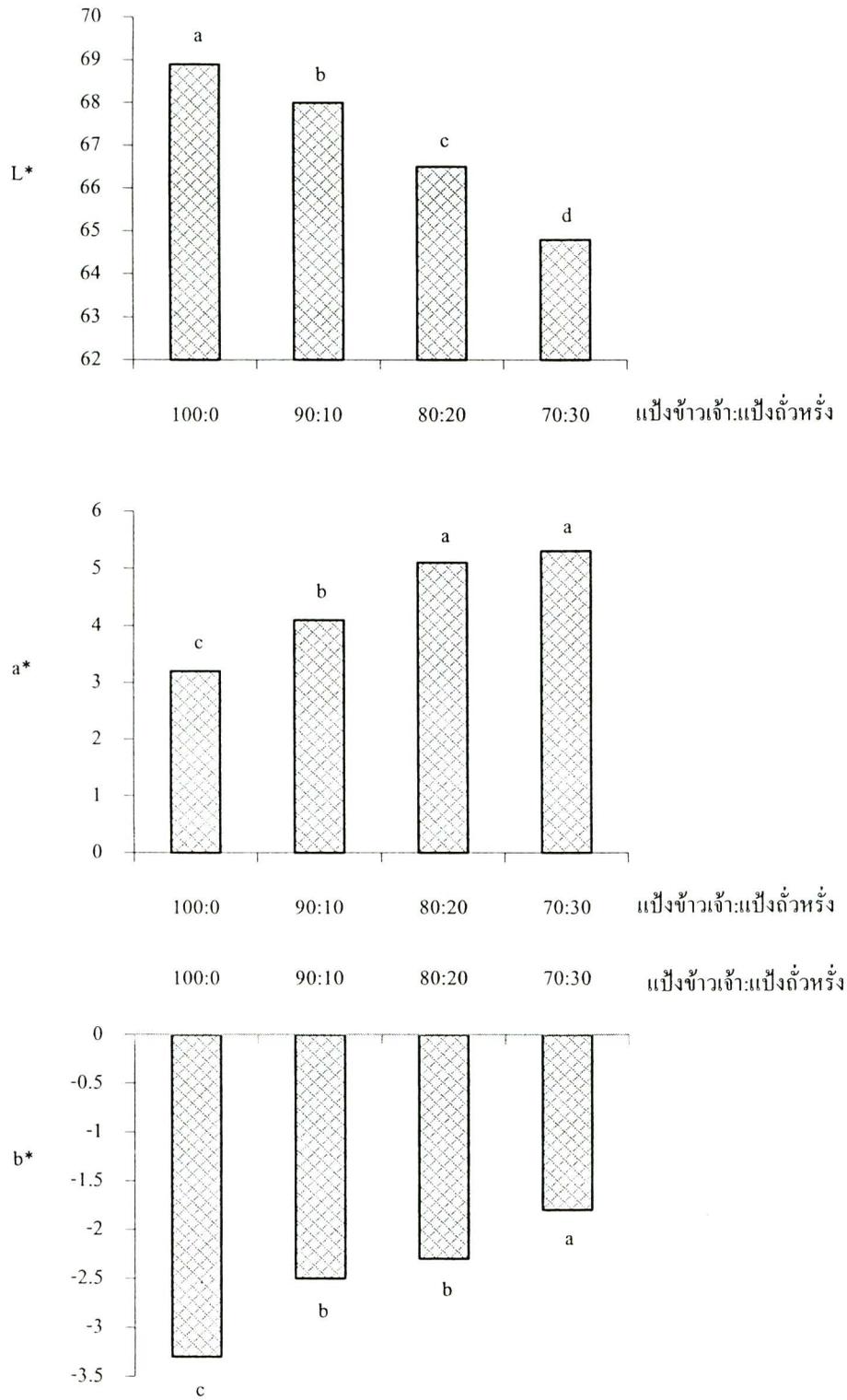
พารามิเตอร์	แป้งข้าวเจ้า : แป้งถั่วเหลือง			
	100:0	90:10	80:20	70:30
A. Gelatinization temperature(C°)	84.7 ^c ±0.14	89.3 ^a ±0.07	88.7 ^b ±0.07	88.6 ^b ±0.14
B. Peak viscosity (BU)	295.5 ^a ±2.12	135.5 ^b ±0.71	98.0 ^c ±0.00	70.0 ^d ±0.00
C. Hot paste viscosity (BU)	295.0 ^a ±2.83	135.5 ^b ±0.71	97.0 ^c ±0.00	69.0 ^d ±0.00
D. Cold paste viscosity (BU)	386.0 ^a ±4.24	284.5 ^b ±4.95	211.0 ^c ±4.24	156.0 ^d ±0.00
Breakdown (BU) (B-C)	0.5 ^a ±0.71	0.0 ^a ±0.00	1.0 ^a ±0.00	1.0 ^a ±0.00
Setback (BU) (D-B)	90.5 ^c ±2.12	149.0 ^a ±5.66	113.0 ^b ±4.24	86.0 ^c ±0.00

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.9 แสดงสมบัติทางการไหลของแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brabender รุ่น TP 100 ที่ความเข้มข้น 8% ซึ่งพบว่า เมื่อผสมแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งถั่วหรั่งทำให้แป้งมีอุณหภูมิในการเกิดเจล (gelatinization temperature) เพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งมีอุณหภูมิในการเกิดเจลค่อนข้างสูง คือประมาณ 94 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.9) ในขณะที่แป้งข้าวเจ้า 100% มีอุณหภูมิในการเกิดเจล 84.7 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.24) ซึ่งการที่แป้งถั่วหรั่งมีอุณหภูมิในการเกิดเจลสูงกว่า เพราะแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า และเมื่อพิจารณาค่าความหนืดในช่วงต่างๆ จะพบว่า ที่อัตราส่วนของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้นค่าความหนืดจะลดต่ำลงในทุกๆ ช่วง ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติทางการไหลของแป้งเป็นผลมาจากปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก (Bhattacharya *et al.*, 1999) การผสมแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งถั่วหรั่งทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดต่ำลง ดังนั้นจึงทำให้แป้งผสมมีความหนืดลดต่ำลง รวมถึงการให้ความร้อนแก่ถั่วหรั่งโดยการต้มในขั้นตอนการเตรียมแป้งถั่วหรั่ง จะส่งผลให้มีเม็ดแกรนูลของสตาร์ชเกิดการแตกตัว และเกิดการเจลาติไนเซชันและรีโทรเกรเดชันไปแล้ว จึงทำให้สมบัติทางการไหลของแป้งเปลี่ยนแปลงและค่าความหนืดลดต่ำลง (รูปที่ 2.6 และตารางที่ 4.9) และเมื่อพิจารณาค่า Breakdown หรือความทนทานต่อการเคี้ยว จะพบว่าแป้งข้าวเจ้า 100% และแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งมีความทนทานต่อการเคี้ยวค่อนข้างมาก เพราะความหนืดของแป้งค่อนข้างคงที่แม้จะผ่านการเคี้ยวที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และเมื่อพิจารณาค่า Setback หรือค่าการแข็งตัวของแป้งสุกที่เย็นลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดสูงสุด พบว่า ข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วน 90:10 จะมีค่า Setback สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ 80:20 และที่อัตราส่วน 70:30 จะมีค่า Setback ที่ไม่แตกต่างจากแป้งข้าวเจ้า 100% ซึ่งโดยปกติแล้วแป้งถั่วหรั่ง 100% จะมีค่า Setback ค่อนข้างต่ำ (ตารางที่ 4.9) แต่พอมาผสมกับแป้งข้าวเจ้าที่อัตราส่วนที่พอเหมาะคือ 90:10 กลับทำให้ค่านี้เพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าอาจเกิดการรวมตัวกันขององค์ประกอบทางเคมีทำให้แป้งผสมนั้นมีความแข็งตัวของแป้งสุกเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนไม่เหมาะสม (80:20 และ 70:30) กลับทำให้ความคงตัวของแป้งสุกลดน้อยลงเมื่อเทียบกับความหนืดสูงสุด

4.4.2 การศึกษาผลของการใช้แป้งถั่วหรั่งทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนในเส้นก๋วยเตี๋ยว

ทำการศึกษาผลของการใช้แป้งถั่วหรั่งทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนในเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยแปรอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งถั่วหรั่งเป็น 100:0 90:10 80:20 และ 70:30 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวทั้งทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัส ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.10 ค่าสี L* a* และ b* ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

รูปที่ 4.10 แสดงค่าสีของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่า เมื่ออัตราส่วนของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้น เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีค่าสี L^* ลดต่ำลง มีค่าสี a^* และ b^* เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ($p < 0.05$) เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งจะมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากกว่า รวมทั้งสีของตัวแป้งผสมเองก็คล้ำและเหลืองกว่าแป้งข้าวเจ้า 100% (รูปที่ 4.8) ดังนั้นเมื่อนำผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวจึงทำให้มีความสว่างลดลง และมีสีเหลืองเข้มขึ้น

ตารางที่ 4.25 ค่า Cooking weight Cooking loss และ Cutting force ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งข้าวเจ้า : แป้งถั่วหรั่ง	Cooking weight (%)	Cooking loss (%)	Cutting force (N)
100:0	235.63 ^a ±4.05	0.99 ^c ±0.12	9.06 ^a ±0.21
90:10	213.88 ^{ab} ±8.09	0.95 ^c ±0.02	9.39 ^a ±0.25
80:20	211.64 ^{ab} ±6.61	1.62 ^b ±0.31	8.52 ^b ±0.33
70:30	199.97 ^b ±10.73	2.59 ^a ±0.25	8.08 ^c ±0.28

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบตาม DMRT

ตารางที่ 4.25 แสดงค่า Cooking weight Cooking loss และ Cutting force ของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่า เมื่ออัตราส่วนของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้นเส้นก๋วยเตี๋ยวจะมีค่า Cooking loss เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า Cooking weight และ Cutting force มีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อเทียบกับสูตรควบคุม ($p < 0.05$) เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า จึงทำให้เกิดความเหนียวของแป้งลดลง (ตารางที่ 4.24) ความสามารถในการเกาะตัวกันของแป้งจึงลดน้อยลง แป้งสามารถละลายน้ำได้มากขึ้น เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตได้จึงมีค่า Cooking loss เพิ่มขึ้นและ Cooking weight ลดลง รวมถึงมีค่า Cutting force ลดต่ำลงด้วย เพราะเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและตัดขาดได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 4.26 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งข้าวเจ้า : แป้งถั่วหรั่ง			
	100:0	100:0	100:0	100:0
ความชื้น(%)	11.02 ^a ±0.11	10.79 ^b ±0.05	9.17 ^c ±0.03	9.11 ^c ±0.03
เถ้า (%dry basis)	1.04 ^c ±0.30	1.02 ^c ±0.60	1.31 ^b ±0.20	1.56 ^a ±1.20
ไขมัน (%dry basis)	0.26 ^c ±0.12	1.07 ^b ±0.46	2.06 ^a ±0.10	2.47 ^a ±0.32
โปรตีน(%dry basis)	5.84 ^d ±0.09	6.70 ^c ±0.29	7.97 ^b ±0.17	9.01 ^a ±0.24
คาร์โบไฮเดรต(%dry basis)	81.90 ^a ±0.10	80.38 ^b ±0.80	79.52 ^b ±0.08	77.93 ^c ±0.36

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวนอนหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับ DMRT

ตารางที่ 4.26 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งจะมีปริมาณความชื้นและคาร์โบไฮเดรตลดต่ำลง แต่มีปริมาณเถ้า ไขมัน และ โปรตีนเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรควบคุม (p<0.05) และเมื่ออัตราส่วนของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณเถ้า ไขมัน และ โปรตีนเพิ่มสูงขึ้นด้วย (p<0.05) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งถั่วหรั่งมีปริมาณสารดังกล่าวสูงกว่าแป้งข้าวเจ้านั่นเอง และจากองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันนี้ จึงส่งผลต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ตารางที่ 4.26 ค่าการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ

แป้งข้าวเจ้า:แป้งถั่วหรั่ง	สี	กลิ่นรส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
100:0	7.29 ^a ±1.49	6.71 ^a ±2.33	6.29 ^a ±2.03	6.96 ^a ±1.55
90:10	7.29 ^a ±1.43	6.75 ^a ±1.90	6.04 ^a ±2.14	6.54 ^a ±1.79
80:20	6.29 ^b ±1.33	5.67 ^b ±2.00	6.33 ^a ±1.74	6.38 ^a ±1.86
70:30	5.71 ^b ±1.12	4.75 ^b ±1.80	4.58 ^b ±2.06	4.67 ^b ±1.76

หมายเหตุ ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันตามแนวดิ่งหมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับ DMRT

ตารางที่ 4.26 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งถั่วหรั่งที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่า เส้นก๋วยเตี๋ยวที่อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าต่อแป้งถั่วหรั่ง 90:10 จะมี

ค่าการทดสอบทางประสาธสัมพันธ์ที่ไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมในทุกๆ ด้าน ($p>0.05$) แต่ถ้าอัตราส่วนของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าสีและกลิ่นรสลดต่ำลง ($p<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากการทดแทนที่มากขึ้นทำให้สีของเส้นก๋วยเตี๋ยวมีความสว่างลดลง มีสีเหลืองเพิ่มขึ้นรวมถึงมีกลิ่นแปลกปลอมของแป้งถั่วหรั่งเพิ่มขึ้นด้วย อีกทั้งการผสมแป้งถั่วหรั่งยังทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและ หนากว่า และขาดการยึดเกาะกัน (ตารางที่ 4.25) จึงส่งผลกระทบต่อความชอบของผู้บริโภค