บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1.การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 แป้งถั่วลิสง

ถั่วลิสง 1 กิโลกรัม เมื่อนำมาบีบด้วยเครื่องhydraulic press ที่ 220 kg/cm^2 จะสามารถกำจัดน้ำมันออกได้ 280.0 กรัม คิดเป็น 28 % และเป็นกากถั่ว 641.3 กรัม คิดเป็น 64.13 % ปริมาณน้ำมันที่กำจัดออกได้คิดเป็น 57-62 % ของปริมาณน้ำมันที่มีอยู่ในเมล็ดถั่วลิสง (ปริมาณน้ำมัน 45-49 %) กากถั่วลิสงหลังการบดด้วยเครื่อง stone mill จะมีสีขาวครีม มีกลิ่นถั่ว มีลักษณะฟูเบา และมีไขมันเหลืออยู่ 22.09 % ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของแป้งถั่วลิสงที่ได้จะเกิดออกซิเดชันของไขมันกับอากาศในการเก็บที่อุณหภูมิห้องจึงควรมีการเก็บในระบบสุญญากาศ

1.2 แป้งถั่วเขียวซีก

หลังการบดถั่วเขียวซีกด้วย stone mill จะได้แป้งถั่วเขียวซีกมีสีเหลือง เนื้อละเอียด มีกลิ่นถั่วเฉพาะตัว

2.องค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของแป้งถั่วที่เตรียมได้

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย แป้งสาลีชนิดอเนกประสงค์ แป้งถั่วลิสง และแป้งถั่วเขียวซีก จากการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพได้แก่ ความชื้น ปริมาณไขมัน ปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า ปริมาณเส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ผลดังในตารางที่ 4.1 พบว่าแป้งที่ได้จากถั่วลิสงจะมีปริมาณโปรตีนที่สูง ถึง 43.40 % รองลงมาคือ แป้งถั่วเขียวซีก 25.35 % และแป้งสาลี 10.57 % แป้งถั่วลิสงที่ได้จะมีไขมันเหลืออยู่คิดเป็น 22.09 % ปริมาณของเถ้าในแป้งถั่วลิสงและแป้งถั่วเขียวซีกมีปริมาณ 4.04 และ 3.74 % ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณที่สูงกว่าของแป้งสาลีซึ่งมีปริมาณ 0.52 % องค์ประกอบของแป้งทั้ง 3 ชนิดจะเป็นคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่โดยในแป้งสาลีมีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตสูงสุด 74.65 % รองลงมาคือแป้งถั่วเขียวซีก 59.87 % และแป้งถั่วลิสง ซึ่งมีอยู่เพียง 22.32 % เนื่องจากถั่วลิสงจัดเป็นพืชที่ให้น้ำมันมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เกือบ 50 % เป็นไขมันนั่นเอง

คุณสมบัติทางกายภาพด้านสีของแป้งสาลีจะมีความสว่างมากกว่าแป้งถั่วลิสงและแป้งถั่วเขียวซีก สมบัติด้านสีแดง (a) ของแป้งสาลีจะมีค่าเป็นบวก แต่ในแป้งถั่วเขียวซีกและแป้งถั่วลิสงจะมีค่าของ a เป็นลบ ซึ่งจะให้สีออกโทนสีเขียว ส่วนสมบัติด้านสีเหลือง (b) นั้น แป้งถั่วเขียวซีกและแป้งถั่วลิสงจะมีสีเหลืองมากกว่าแป้งสาลี โดยแป้งถั่วเขียวซีกจะมีสีเหลืองเข้มกว่าแป้งถั่วลิสง

ซึ่งมีสีอ่อนกว่า สมบัติทางการดูดซับน้ำของแป้งถั่วเขียวซีกและแป้งถั่วลิสงจะมีค่าสูงกว่าการดูดซับน้ำของแป้งสาลี ซึ่งแสดงว่าแป้งถั่วเขียวซีกและแป้งถั่วลิสงจะมีความสามารถในการเก็บกักน้ำ

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบของแป้งสาลี แป้งถั่วเขียวซีก และแป้งถั่วลิสง

องค์ประกอบ	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% โดยน้ำหนัก)		
	แป้งสาลี	แป้งถั่วเขียวซีก	แป้งถั่วลิสง
ความชื้น	13.08 ± 0.08	9.41 ± 0.06	7.60 ± 0.04
ไขมัน	1.06 ± 0.35	1.10 ± 0.08	22.09 ± 0.17
โปรตีน	10.57 ± 0.28 [a]	25.35 ± 0.10 [b]	43.40 ± 0.30 [b]
เถ้า	0.52 ± 0.03	3.74 ± 0.03	4.04 ± 0.02
เส้นใย	0.17 ± 0.20	0.53 ± 0.02	0.55 ± 0.03
คาร์โบไฮเดรต *	74.60	59.87	22.32
ค่าสี			
L	94.80 ± 0.08	92.71 ± 0.14	91.56 ± 0.26
a	0.20 ± 0.03	-2.21 ± 0.05	-0.07 ± 0.02
b	6.00 ± 0.11	17.34 ± 0.51	10.82 ± 0.09
การดูดซับน้ำ (%)	66.80 ± 3.22	81.75 ± 7.43	142.60 ± 16.40

หมายเหตุ * ได้จากการคำนวณ

[a] ปริมาณโปรตีน= % ไนโตรเจน x 5.27

[b] ปริมาณโปรตีน= % ไนโตรเจน x 6.25

3.การทดแทนส่วนของแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วลิสงและแป้งถั่วเขียวซีก

3.1 ศึกษาคุณสมบัติของแป้งสาลีซึ่งทดแทนด้วยแป้งจากถั่วลิสงและแป้งถั่วเขียวซีก

แป้งสาลีชนิดอเนกประสงค์ถูกทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงหรือแป้งถั่วเขียวซีกในปริมาณการทดแทน 10 , 20 และ 30 % ตามลำดับ หลังการผสมให้เข้ากันนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งสาลีผสมแป้งถั่วผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งสาลีผสมแป้งถั่ว

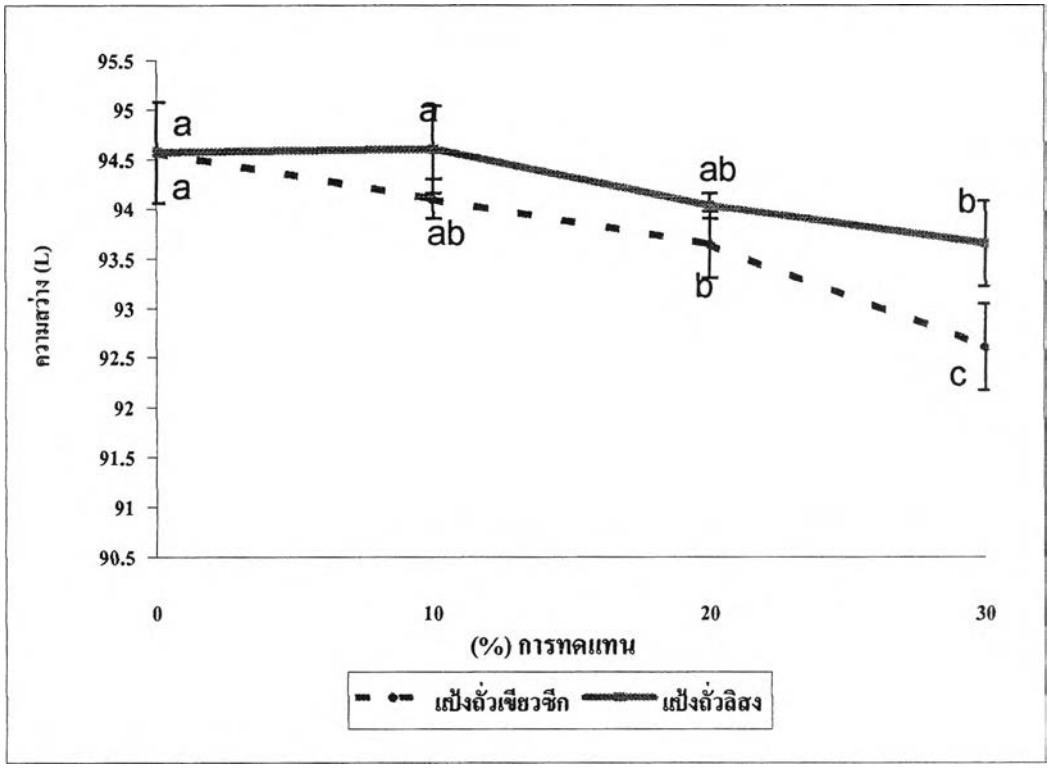
ปริมาณการทดแทน	ค่าสี			การดูดซับน้ำ	ปริมาณโปรตีน
(%)	L	a	b	(%)	(%)
แป้งถั่วลิสง				ns	
0	94.57 ± 0.51 a	0.20 ± 0.01 a	+6.00 ± 0.10 d	66.88 ± 3.22	10.51 ± 0.13 d
10	94.60 ± 0.44 a	0.20 ± 0.02 a	+6.46± 0.09 c	63.51 ± 1.03	13.77 ± 0.13 c
20	94.03 ± 0.13 ab	0.22 ± 0.01 a	+6.92 ± 0.12 b	64.56 ± 1.24	17.16 ± 0.01 b
30	93.65 ± 0.43 b	0.16 ± 0.02 b	+7.81 ± 0.07 a	62.89 ± 1.31	20.44 ± 0.10 a
แป้งถั่วเขียวซีก					
0	94.57 ± 0.51 a	0.20 ± 0.01 a	+6.00 ± 0.10 d	66.88 ± 3.22 c	10.51 ± 0.13 d
10	94.10 ± 0.20 ab	-0.34 ± 0.01 b	+8.69 ± 0.15 c	72.48 ± 2.10 b	12.05 ± 0.05 c
20	93.64 ± 0.33 b	-0.69 ± 0.01 c	+10.75 ± 0.11 b	74.69 ± 3.12 b	13.47 ± 0.14 b
30	92.61 ± 0.44 c	-0.91 ± 0.02 d	+11.70 ± 0.08 a	78.84 ± 1.30 a	15.04 ± 0.06 a

a,b,c.ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

แป้งสาลีชนิดอเนกประสงค์ถูกทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงจะมีสีคล้ำขึ้นตามปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้นโดยจะมีค่า L ลดลงจาก 94.78 เป็น 94.64 , 94.21 และ 93.75 ในการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง 10,20 และ 30 % ตามลำดับ ส่วนแป้งสาลีซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกจะมีความสว่างลดลงเช่นกัน ตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของการทดแทนที่ 10,20,30 % เป็น 94.15 , 93.56 , 92.61 ตามลำดับ

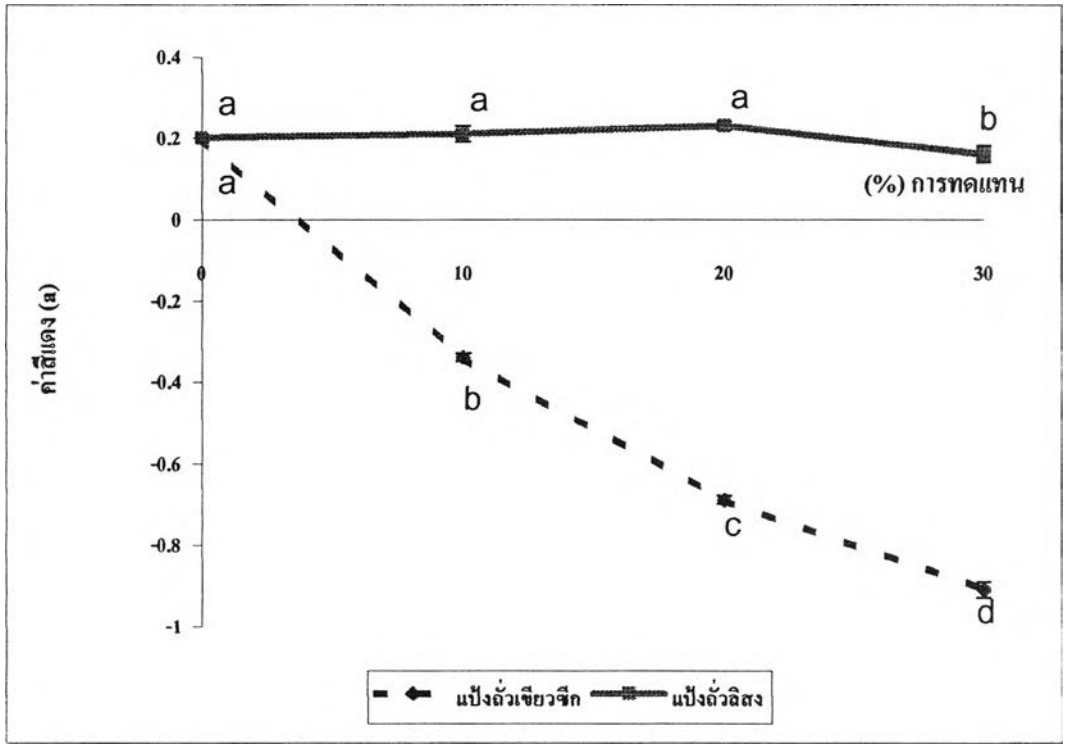
จากภาพที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบค่า L ของแป้งผสมจากแป้งถั่วทั้ง 2 ชนิด แป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงจะมีการเปลี่ยนแปลงของความสว่างอย่างชัดเจนที่ระดับการทดแทนที่ 20 %

และจะเห็นได้ชัดเจนที่ระดับการทดแทนที่ 30 % ซึ่งความสว่างของแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณการทดแทนเพิ่มขึ้นโดยจะมีการลดลงของความสว่างมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง



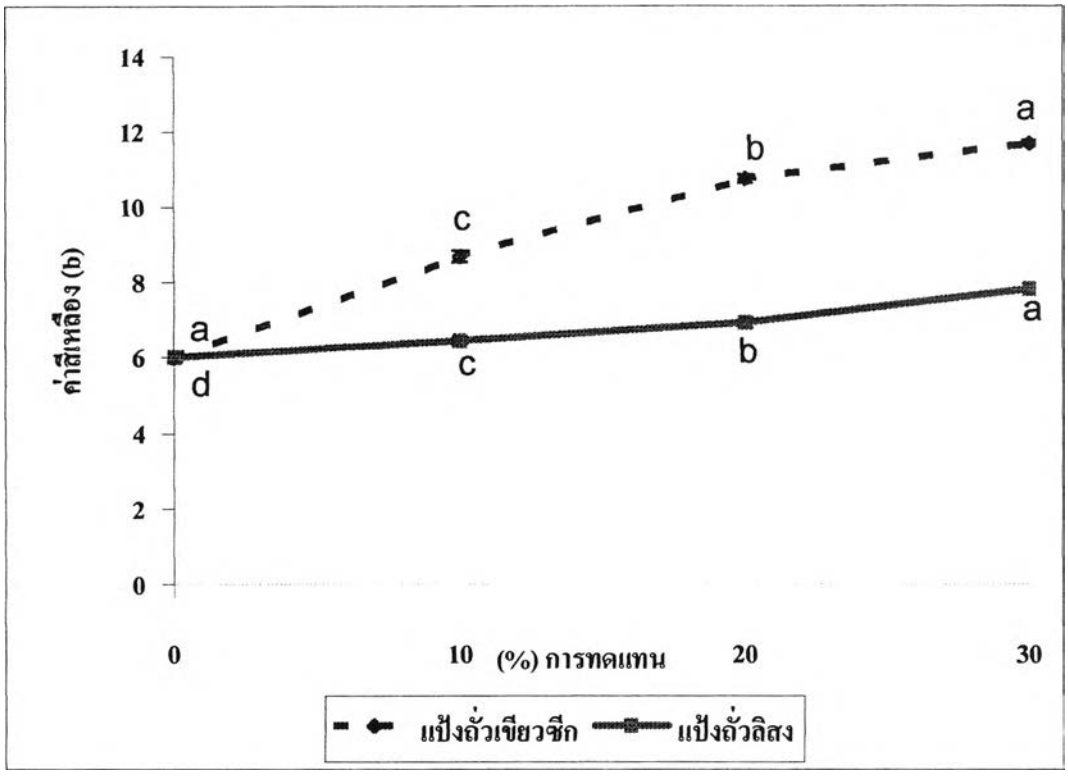
ภาพที่ 4.1 ค่าความสว่าง (L) ของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วปริมาณ 10 , 20 และ 30 %

ค่า a ของแป้งผสมจากถั่วลิสงจะมีค่าลดลงเมื่อมีการทดแทนเพิ่มขึ้นถึง 30 % ในขณะที่ค่า a ของจะลดลงอย่างมากในการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก และค่า a จะมีค่าที่ติดลบซึ่งจะเป็นสีเขียว เนื่องจากตัวแป้งถั่วเขียวซีกเองก็มีค่า a ที่ติดลบเช่นกัน เมื่อมีการทดแทนในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า a มีความเข้มขึ้นนั่นเอง (ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2 ค่าสีแดง (a) ของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วปริมาณ 10 , 20 และ 30 %

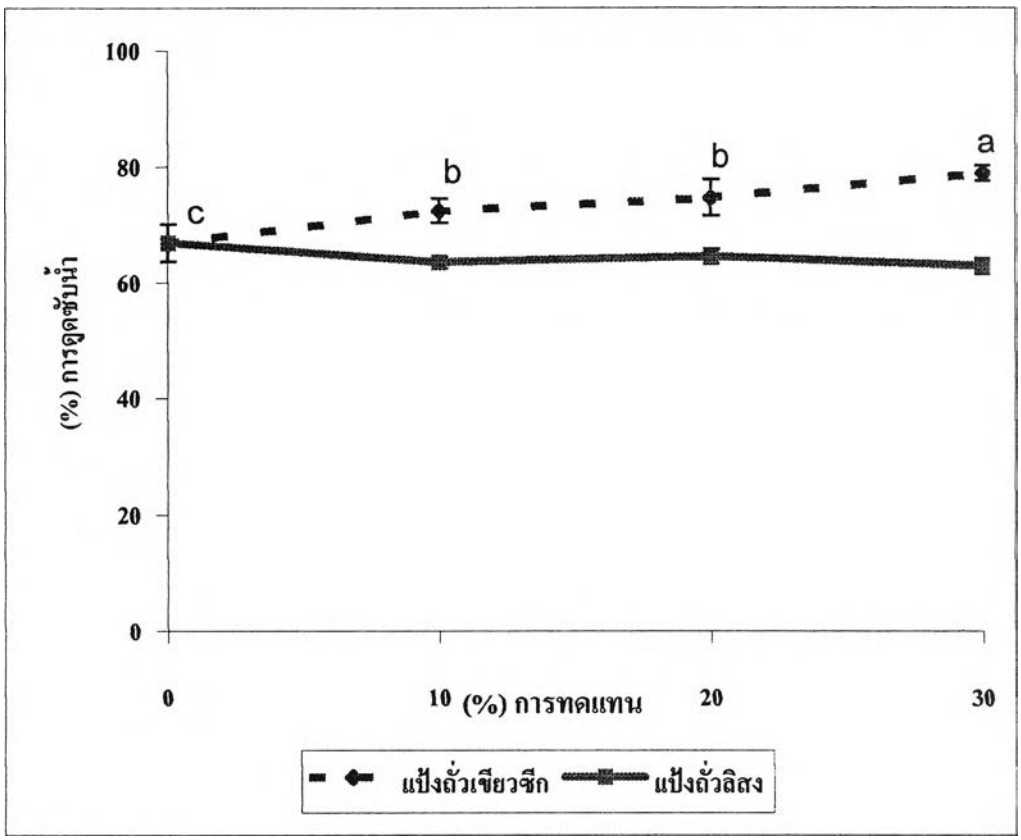
จากภาพที่ 4.3 ค่า b ของแป้งผสมจากการทดแทนด้วยแป้งถั่วทั้ง 2 ชนิด จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้นของแป้งถั่วทั้งสอง โดยการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวจะให้ค่า b สูงกว่าการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง เกิดจากแป้งถั่วเขียวมีค่า b ที่สูงกว่าและแป้งที่ได้ก็มีสีเหลืองเข้มกว่าแป้งถั่วลิสงซึ่งมีสีขาวครีม



ภาพที่ 4.3 ค่าสีเหลือง (b) ของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วปริมาณ 10 ,20 และ 30 %

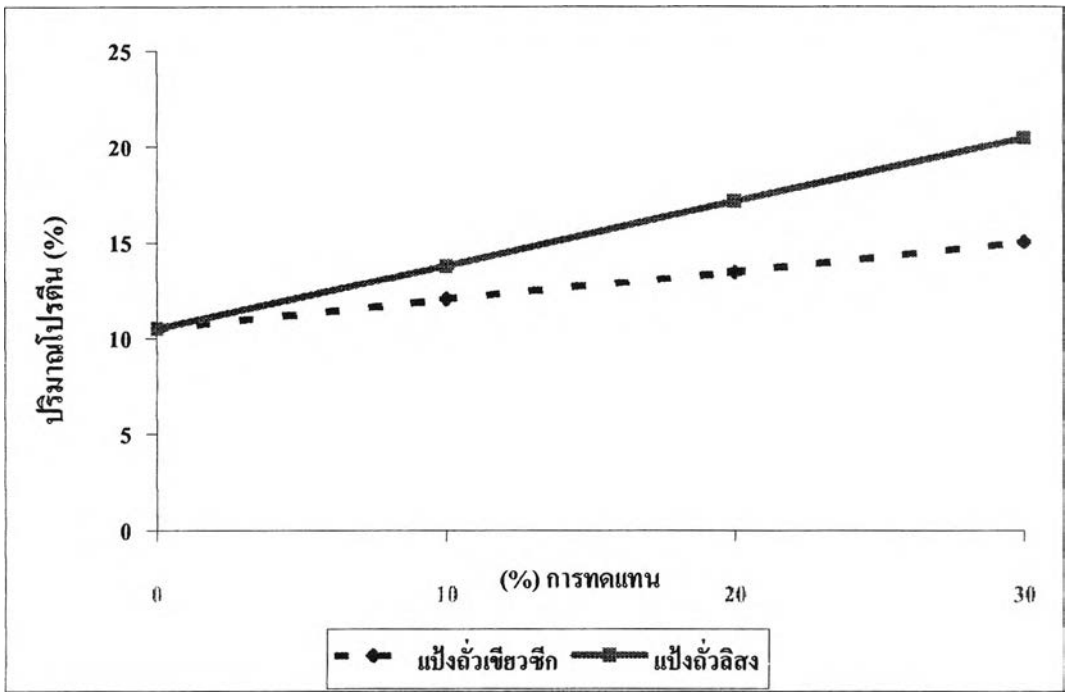
เมื่อเปรียบเทียบการดูดซับน้ำของแป้งผสมของการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงและแป้งถั่วเขียวซีกนั้น จะให้ค่าการดูดซับน้ำที่แตกต่างกัน โดยการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงจะมีค่าการดูดซับน้ำที่ไม่แตกต่างเมื่อมีการทดแทนที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.4) ในขณะที่การทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกจะมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการทดแทนเพิ่มขึ้น และการดูดซับน้ำจะมีค่าที่สูงกว่าแป้งผสมจากการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง

จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าโปรตีนส่วนใหญ่ในแป้งถั่วเขียวซีกจะเป็นพวกชอบน้ำ (hydrophillic) และแป้งถั่วเขียวซีกเองก็มีคาร์โบไฮเดรต (สตาร์ช) อยู่เป็นจำนวนมากซึ่งดูดซับน้ำไว้ได้ดีจึงทำให้แป้งถั่วเขียวซีกมีค่าการดูดซับน้ำมากกว่าแป้งถั่วลิสง ปริมาณของไขมันที่เหลืออยู่ในแป้งถั่วลิสงที่สูงไปขัดขวางการดูดซับน้ำของโปรตีนและสตาร์ชที่มีอยู่ในแป้งสาลีเองและตัวแป้งถั่วลิสงเองด้วย รวมทั้งปริมาณของคาร์โบไฮเดรตในแป้งถั่วลิสงมีน้อย (21.15 %) จึงทำให้เก็บกักน้ำได้น้อยกว่าการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นคาร์โบไฮเดรต



ภาพที่ 4.4 ค่าดูดซับน้ำของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วปริมาณ 10 , 20 และ 30 %

โปรตีนในพืชตระกูลถั่วส่วนใหญ่จะเป็น globulin ซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ไม่มี gliadin และ glutenin เมื่อทดแทนในแป้งสาลีทำให้คุณสมบัติทางด้านการดูดซับน้ำลดลง ซึ่งเมื่อแป้งสาลีเกิดโดนั้น ส่วนของกลูเต็นจะสามารถเก็บน้ำไว้ได้ถึง 2 เท่า ซึ่งน้ำจะถูกเก็บไว้ในตัวโปรตีนด้วยพันธะไฮโดรเจน ปริมาณน้ำที่จะเกิดพันธะกับโปรตีนได้นั้นขึ้นกับองค์ประกอบของกรดอะมิโนและรูปร่างของโปรตีน จำนวนของอิออนบวก อิออนลบ หรือพวกไม่มีประจุ รวมถึง pH ถ้าหากโปรตีนมี pH อยู่ที่ isoelectric point จะทำให้โปรตีนไม่มีประจุ ทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำจะลดลง ซึ่งพวกคาร์บอกซิลและกรดอะมิโนก็จะเป็นพวกหลักในการเกิดพันธะกับน้ำ กรดอะมิโน glutamic acid และ aspartic จะมีการอุ้มน้ำไว้ได้สูง ซึ่งกรดอะมิโนดังกล่าวจะเป็นโครงสร้างหลักของกลูเตนในแป้งสาลี ในการทดแทนส่วนของแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วในปริมาณ 10, 20 และ 30 % การทดแทนดังกล่าวทำให้ปริมาณของแป้งสาลีลดลง (dilution effect) ทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำจึงลดลงตามการลดลงของแป้งสาลีนั้นเอง



ภาพที่ 4.5 ปริมาณโปรตีนของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วปริมาณ 10 , 20 และ 30 %

ปริมาณของโปรตีนของแป้งผสมของการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงหรือแป้งถั่วเขียวซีก จะพบว่าแป้งผสมของการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกในปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 45) ซึ่งปริมาณของโปรตีนดังกล่าวที่มากขึ้นเกิดจากส่วนของปริมาณโปรตีนในแป้งถั่วทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณสูงกว่าในแป้งสาลีอยู่มาก เมื่อมีการทดแทนเพิ่มขึ้นจึงเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนให้กับแป้งผสมด้วย

แป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติด้วยเครื่องฟาริโนกราฟ (Farinograph) ซึ่งวิเคราะห์โดยบริษัทบางกอกฟลาวมิลล์ จำกัด โดยวิเคราะห์ค่าการดูดซับน้ำ (water absorption) เวลาในการเกิดโด (dough development time : DDT) ความคงตัวต่อการผสม (stability) ดัชนีค่าความคงตัวต่อการผสม (mechanical tolerance index ; MTI) ปริมาณกลูเตน (wet gluten) ผลดังแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สมบัติของแป้งผสมจากเครื่องฟาริโนกราฟ (Farinograph)

ชนิดแป้ง	การดูดซับน้ำ (%)	DDT [a] (min)	stability (min)	MTI [b] (BU)	wet gluten (%)
แป้งสาลี	63.4	5.5	9.0	65	28.26
แป้งสาลี : แป้งถั่วลิสง					
90 : 10	63.3	4.7	5.0	120	27.06
80 : 20	63.5	4.5	3.5	180	23.63
70 : 30	62.5	4.3	2.3	200	16.93
แป้งสาลี : แป้งถั่วเขียวซีก					
90 : 10	62.8	7.0	9.7	70	25.93
80 : 20	62.2	7.0	6.5	90	19.53
70 : 30	61.0	8.5	4.0	80	12.66

[a] DDT = dough development time

[b] MTI = mechanical tolerance index

จากฟาริโนแกรม (ภาคผนวก ง.) ผลดังตารางที่ 4.3 แป้งผสมจากแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วที่ปริมาณ 10,20,30 % ค่าการดูดซับน้ำ มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้น โดยการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกมีแนวโน้มลดลงมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง ผลดังกล่าวไม่สอดคล้องกับค่าการดูดซับน้ำจากตารางที่ 4.2 ซึ่งหาโดยใช้วิธีของ Sathe และคณะ (1981) ซึ่งแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกจะมีการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกที่เพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ดังกล่าวจะใช้วิธีการที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์ซึ่งก็อาจทำให้ข้อมูลที่ได้มีความแตกต่างกัน ในวิธีการของ Sathe และคณะ (1981) นั้นหลังการปั่นเหวี่ยงแล้วอาจจะกำจัดน้ำออกไปไม่หมดจึงทำให้มีน้ำเหลืออยู่ในแป้งผสมมากเกินปริมาณจริงที่ดูดซับเอาไว้ จึงทำให้น้ำหนักเพิ่มมากทำให้เกิดการประมวลผลที่ผิดพลาดได้

ค่า DDT ของแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงที่ปริมาณ 10 , 20 , 30 % มีค่าลดลงจาก 5.5 นาที ในแป้งสาลี เป็น 4.7 , 4.5 และ 4.3 นาที ในขณะที่แป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกที่ปริมาณเดียวกัน มีค่าDDT เพิ่มมากขึ้น

ค่า MTI ของแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงที่ปริมาณ 10 , 20 , 30 % มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 65 BU ในแป้งสาลีล้วน เป็น 120 , 180 และ 200 BU ส่วนแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกที่ปริมาณเดียวกันมีค่าเพิ่มขึ้น เป็น 70 , 90 , 80 BU ตามลำดับ โดยแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงมีค่า MTI เพิ่มขึ้นมากกว่าแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก

ค่า stability ของแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงที่ปริมาณ 10 , 20 , 30 % มีค่าลดลงจาก 9.0 นาที ในแป้งสาลีล้วน เป็น 5.0 , 3.5 , 2.3 นาที ส่วนแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกที่ปริมาณเดียวกัน เป็น 9.7 , 6.5 , 4.0 นาที ตามลำดับ โดยแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงจะมีการลดลงของค่า stability สูงกว่าแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก

จากผลการวิเคราะห์สมบัติของแป้งด้วยเครื่องฟาริโนกราฟ แป้งผสมจากแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วทั้งแป้งถั่วลิสงและแป้งถั่วเขียวซีกที่ปริมาณ 10 , 20 , 30 % โดที่เกิดขึ้นจะมีความคงตัวต่ำ โดมีโครงสร้างอ่อน ไม่แข็งแรง ไม่ทนต่อการผสม แป้งผสมจากแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงจะมีความคงตัวต่ำกว่าการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณกลูเตนที่ลดลงตามปริมาณการทดแทนด้วยแป้งถั่วที่เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณกลูเตนในแป้งสาลีล้วน เป็น 28.26 % ในแป้งสาสีทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงที่ปริมาณ 10 ,2 0, 30 % จะมีกลูเตนลดลงเป็น 27.06 , 23.63 , 16.93 % ส่วนแป้งสาลีซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกที่ปริมาณเดียวกันจะมีกลูเตนลดลงเป็น 25.93 , 19.53 , 12.66 % กลูเตนที่ลดลงเป็นผลมาจากการนำแป้งถั่วซึ่งโปรตีนหลักไม่มีพวกกลูเตนอยู่มาทดแทนในส่วนของแป้งสาลี ยิ่งการทดแทนเพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นแต่ก็ทำให้มีปริมาณกลูเตนลดลงอีกด้วย การลดลงที่แตกต่างกันของแป้งสาลีซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงและแป้งถั่วเขียวซีกนั้น เนื่องจากองค์ประกอบโปรตีนส่วนใหญ่ในแป้งถั่วมีความแตกต่างกัน โปรตีนส่วนใหญ่ในแป้งถั่วเขียวซีกจะเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ พวก globulin ในการล้างแป้งด้วยน้ำเพื่อหาปริมาณกลูเตนจึงมีการสูญเสียน้ำหนักโปรตีนในส่วนนี้ไปด้วยในระหว่างการล้างน้ำ จึงทำให้มีน้ำหนักหลังล้างน้ำที่ต่ำ ส่วนในแป้งถั่วลิสงไขมันซึ่งยังคงมีอยู่จะไปแทรกภายในกลูเตนทำให้โครงร่างตาข่ายอ่อนตัว น้ำเข้าไปแทรกได้ดี ทำให้มีน้ำหนักเหลือหลังล้างอยู่มากกว่า หรืออาจเกิดจากการผสมแป้งที่ไม่ทั่วถึงจึงทำให้เกิดการผิดพลาดในการวิเคราะห์เนื่องจากการวิเคราะห์สมบัติดังกล่าวทำในช่วงเวลาจำกัด จึงไม่มีเวลาในการทำผลซ้ำ ผลดังกล่าวเป็นแนวโน้มที่น่าจะเป็นไปได้ของแป้ง

เมื่อทำการผสมแป้งสาลีซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่ว กับน้ำ เกลือ และด่าง จนเกิดเป็นโด หลังพักโดไว้นาน 20 นาที นำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านสี L , a และ b โดยนำแผ่นโดที่รีดจนเนียนเรียบ ตัดเป็นชิ้นสีเหลี่ยมขนาด 2x 2 นิ้ว^2 จากบริเวณส่วนหัว กลาง และท้ายของแผ่นโด ซึ่งผลทางด้านสีแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมบัติด้านสีของโดจากแป้งสาลีผสมแป้ง

ปริมาณการทดแทน	ค่าสี		
(%)	L	a	b
แป้งสาลี	**75.39 ± 0.70 a**	**-1.63 ± 0.13 d**	**14.08 ± 0.34 f**
แป้งถั่วเขียวซีก			
10	**72.38 ± 0.53 b**	**-1.68 ± 0.18 d**	**21.46 ± 0.41 c**
20	**72.06 ± 0.38 b**	**-1.89 ± 0.20 e**	**26.05 ± 0.76 b**
30	**69.62 ± 0.60 c**	**-1.97 ± 0.33 e**	**29.89 ± 0.69 a**
แป้งถั่วลิสง			
10	**70.05 ± 0.53 c**	**-0.83 ± 0.14 c**	**17.18 ± 0.48 d**
20	**66.70 ± 0.45 d**	**-0.60 ± 0.06 b**	**15.62 ± 0.31 e**
30	**63.54 ± 0.47 e**	**-0.29 ± 0.08 a**	**14.23 ± 0.33 f**

a,b,c....ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

โดของแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วจะมีค่า L ลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของการทดแทนด้วยแป้งถั่ว (Lee และคณะ, 1998 .; Chompreeda และคณะ, 1987;1988) ที่ 10,20 และ 30 % มีค่า L ลดลงจาก 75.39 เป็น 72.38 , 72.06 และ 69.62 ในการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก และ 70.05 , 66.70 , 63.54 ในการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง ค่า a จะมีค่าติดลบ โดยมีค่า a ติดลบมากขึ้นตามปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกมีค่า a ลดลงจาก –1.63 เป็น –1.68 , -1.89 , -1.97 ส่วนค่า a ของการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงเป็น –0.83 , -0.60 , -0.29 ซึ่งมีค่าติดลบน้อยกว่าค่า a ของการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกเพิ่มขึ้น โดที่ได้จะมีสีเขียวเหลือง โดยค่า a ที่ติดลบจะเป็นโทนสีออกเขียว และค่า b มีค่าเพิ่มขึ้นในปริมาณการทดแทน

ด้วยแป้งถั่วเขียวซีกที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่า b จาก 14.08 เป็น 21.46 , 26.05 , 29.89 ส่วนการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงจะให้ค่า b ที่ลดลง ซึ่งค่าของ b จะเพิ่มขึ้นในปริมาณการทดแทนในปริมาณน้อย 10 และ 20 % และจะมีค่าลดลงในการทดแทนที่ปริมาณ 30 % ซึ่งโดของแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกนั้นจะมีสีเหลืองกว่าการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง เนื่องมาจากรงควัตถุที่มีอยู่แป้งถัวเขียวซีกนั้นเอง ซึ่งถั่วลิสงไม่มีรงควัตถุเช่นเดียวกันกับถั่วเขียวซีก และรงควัตถุที่มีอยู่ในแป้งสาลีนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองก็ต่อเมื่อมีสภาพเป็นเบสในขั้นตอนการผสมและนวดให้เป็นโด ซึ่งการนำแป้งถั่วลิสงมาทดแทนในส่วนของแป้งสาลีจึงเป็นการลดรงควัตถุที่จะทำให้เกิดสีเหลืองในโดลงด้วย โดที่ได้จะมีกลิ่นถั่วที่แรงขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของการทดแทน โดที่ได้จากแป้งสาลีผสมจะมีสีเหลืองคล้ำขึ้นกว่าโดจากแป้งสาลีล้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโดจากแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน (ไม่ได้รายงานผล) ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันของรงควัตถุที่มีอยู่ในองค์ประกอบของถั่ว (Lee และคณะ, 1998)

3.2 ทดสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพของบะหมี่อบแห้งจากแป้งสาลีซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงและถั่วเขียวซีก

บะหมี่ซึ่งได้จากแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงและแป้งถั่วเขียวซีกที่ปริมาณ 10,20 และ 30 % หลังการอบแห้งที่ 70 ^{0}C นาน 6 ชั่วโมง บรรจุใส่ถุงพลาสติกชนิด Polyetheylene (PE) นำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ผลดังตารางที่ 4.5

ปริมาณโปรตีนและเถ้าของบะหมี่อบแห้งที่มีการทดแทนด้วยแป้งถั่วจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการทดแทนด้วยแป้งถั่วมากขึ้น โดยแป้งสาลีที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงจะมีปริมาณโปรตีนเพิ่มเป็น 14.25 , 17.40 และ 21.75 % ในขณะที่การทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกจะให้ปริมาณโปรตีน 12.31,13.94 และ 14.68 % ที่ระดับการทดแทน 10 , 20 และ 30% โดยที่การทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกที่ปริมาณ 30 %จะให้ปริมาณโปรตีนที่ใกล้เคียงกันกับการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งถั่วลิสงที่ปริมาณ 10 % สำหรับบะหมี่อบแห้งจากแป้งสาลีอย่างเดียวนั้นจะมีปริมาณโปรตีน 10.15 % ดังรายงานของ Siegel และคณะ,1975 ; Bahnassey,1986 ; Chompreeda และคณะ,1987,1988 ; Bergman และคณะ,1994 ; Lee และคณะ, 1998

ปริมาณเถ้าในบะหมี่อบแห้งที่ได้ก็เป็นไปเช่นเดียวกันกับการเพิ่มของปริมาณโปรตีน เมื่อทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงมากขึ้น ปริมาณเถ้าก็จะเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นในกรณีนี้จะมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก นั่นก็คือเมื่อทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกที่ระดับ 10 , 20 และ 30 % มีปริมาณแร่ธาตุเป็น 1.06 , 1.34 และ 1.45 % ตามลำดับ และเป็น 1.14 , 1.51 และ 1.77 % เมื่อทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงในปริมาณ 10 , 20 และ 30 % ตามลำดับ ทำให้ผู้บริโภคได้แร่ธาตุที่จำ

เป็นบางชนิดมากขึ้นเมื่อบริโภคบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่ว การเพิ่มขึ้นของปริมาณเถ้านี้เนื่องจากถั่วที่นำมาใช้จัดเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์หลายชนิด เช่น ฟอสฟอรัส โปตัสเซียม เมื่อนำมาทำเป็นแป้งเพื่อทดแทนในแป้งสาลีจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณแร่ธาตุที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบทางเคมีของบะหมี่อบแห้ง

ปริมาณการทดแทน	องค์ประกอบ (%) ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
(%)	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
แป้งสาลี	6.54 ± 0.25 b	10.15 ± 0.01 f	0.23 ± 0.01 d	0.99 ± 0.01 g
แป้งสาลี : แป้งถั่วเขียวซีก				
90:10	5.73 ± 0.14 d	12.31 ± 0.27 e	0.30 ± 0.02 d	1.06 ± 0.04 f
80:20	6.23 ± 0.14 c	13.94 ± 0.25 d	0.28 ± 0.02 d	1.34 ± 0.02 d
70:30	6.89 ± 0.16 a	14.68 ± 0.27 c	0.28 ± 0.07 d	1.46 ± 0.01 c
แป้งสาลี : แป้งถั่วลิสง				
90:10	5.07 ± 0.04 e	14.25 ± 0.01 cd	1.11 ± 0.14 c	1.14 ± 0.01 e
80:20	5.27 ± 0.06 e	17.40 ± 0.22 b	2.05 ± 0.44 b	1.51 ± 0.02 b
70:30	5.18 ± 0.03 e	21.75 ± 0.64 a	2.86 ± 0.16 a	1.77 ± 0.01 a

a,b,c....ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณของไขมันที่วิเคราะห์ได้จากบะหมี่อบแห้งนั้นพบว่าปริมาณไขมันจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงที่เพิ่มขึ้น ส่วนการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกจะให้ปริมาณไขมันไม่แตกต่างจากบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีล้วน ที่เป็นเช่นเนื่องจากแป้งถั่วลิสงที่นำมาใช้ยังมีไขมันเหลืออยู่ในปริมาณมากถึง 22.09 % ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณไขมันสูง

จากผลดังกล่าวแสดงว่าการทดแทนด้วยแป้งจากถั่วเขียวซีกและถั่วลิสง จะช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน และเถ้า ทำให้ร่างกายสามารถได้รับสารอาหารที่มีประโยชน์เพิ่มขึ้น โดยใช้แหล่งอาหารโปรตีนที่มีราคาไม่แพง

บะหมี่หลังต้มนำมาทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพพบว่ามีการสูญเสียน้ำหนักหลังต้มและเมื่อวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยวัดแรงดึง (Tension) เพื่อวัดค่าความเหนียวของบะหมี่ โดยดูจากแรงสูงสุดที่ใช้ดึงให้เส้นบะหมี่ขาดออกจากกัน ซึ่งผลแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมบัติของบะหมี่อบแห้งหลังต้มสุก

ปริมาณการทดแทน (%)	Cooking weight (%)	Cooking loss (%)	ความเหนียว * (g-force)
แป้งสาลี	**253.07 ± 1.50 bc**	**1.49 ± 0.19 c**	**27.63 ± 1.42 a**
แป้งสาลี : แป้งถั่วเขียวซีก			
90:10	**285.29 ± 15.60 a**	**1.40 ± 0.3 c**	**22.82 ± 2.45 b**
80:20	**300.50 ± 12.46 a**	**2.32 ± 0.07 b**	**18.26 ± 2.13 c**
70:30	**294.07 ± 5.22 a**	**2.54 ± 0.06 b**	**15.05 ± 1.13 d**
แป้งสาลี : แป้งถั่วลิสง			
90:10	**273.90 ± 9.24 ab**	**2.47 ± 0.09 b**	**19.68 ± 1.34 c**
80:20	**251.96 ± 19.68 bc**	**2.55 ± 0.08 b**	**14.18 ± 1.65 d**
70:30	**238.86 ± 28.00 c**	**4.42 ± 0.93 a**	**9.88 ± 0.95 e**

* ทดสอบด้วยเครื่องTexturometer

a,b,c....ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตาราง 4.6 พบว่าค่าความเหนียวของเส้นบะหมี่หลังต้มสุกนั้นมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนด้วยแป้งถั่วทั้งสองชนิด โดยค่าความเหนียวของเส้นบะหมี่นี้จะลดลงอย่างมากเมื่อทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง เส้นบะหมี่หลังต้มสุกจะมีลักษณะขาดและหักง่าย การทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกนั้นจะให้ค่าความต้านทานการดึงมากกว่าการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงที่ระดับการทดแทนที่เท่ากัน แต่ยังน้อยกว่าความต้านทานการดึงของบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีล้วน เนื่องจากมีการลดลงของปริมาณแป้งสาลี (dilution effect) ทำให้มีปริมาณของกลูเตนลดลง โดยของแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งถั่วจะมีความอ่อนตัว ไม่แข็งแรง (จากเครื่อง farinograph) และมีการแข่งขันกันในการจับกับน้ำของโปรตีนจากแป้งสาลีและแป้งถั่ว ซึ่งแป้งจากถั่วจะมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบอยู่มาก สตาร์ชนี้จะเป็นตัวแย่งโปรตีนจับกับน้ำ (Olatunji และ Akinrele , 1978) ทำ

ให้กลูเตนเกิดเป็นโครงร่างที่ไม่สมบูรณ์จึงแข็งแรงไม่พอ หรือเกิดจากเอนไซม์พวก proteolytic ของแป้งจากถั่ว (D'Appolonia , 1978 ; Deshpande และคณะ ,1983) ซึ่งโครงสร้างหลักของบะหมี่เกิดจากกลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนส่วนใหญ่ในแป้งสาลีนั้นเอง ส่วนค่าความเหนียวในเส้นบะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกที่มีการลดลงน้อยกว่าบะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงนั้น เป็นผลมาจากไขมันที่เหลืออยู่ในแป้งถั่วลิสงจะแข่งขันกับน้ำในการเกาะกับแป้งในระหว่างการผสมให้เกิดเป็นโด เกิดการขัดขวางหรือยับยั้งการเกิดโครงร่างต่างข่ายของกลูเตนได้ถ้าหากไขมันไปเคลือบที่แป้งก่อนที่จะเกิดการดูดน้ำของแป้ง (Fu และคณะ , 1997) ในการศึกษาการเพิ่มปริมาณไขมันในแป้ง 50 % เกินกว่าที่พบในภาวะปกติ (Rho และคณะ , 1989) จะทำให้บะหมี่มีโครงสร้างที่อ่อนตัว ถึงแม้ว่าการเติมไขมันในปริมาณ 1-5 % ในขนมปังจะช่วยปรับปรุงให้มีปริมาตรการพองตัวให้ดีขึ้น ซึ่งไขมันจะทำให้เกิด plasticization ของกลูเตน (Slade และคณะ, 1989)

นอกจากจะมีแรงต้านทานการดึงลดลงแล้วยังทำให้เกิดของแข็งเหลืออยู่ในภาชนะหลังต้มสุก (Cooking loss) ที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย (Bahnassey และ Khan ,1986) โดยเฉพาะในการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงที่ปริมาณ 30 % โดยเส้นบะหมี่จะมีการแตก หักง่ายในขณะต้มและมีของแข็งหลงเหลืออยู่ในน้ำที่ใช้ต้ม ซึ่งผลดังกล่าวนี้เกิดจากโดไม่คงตัว เนื่องจากมีปริมาณของแป้งสาลีลดลงส่งผลถึงทำให้โปรตีนกลูเตนซึ่งเป็นโครงร่างหลักลดลง และโครงร่างที่เกิดขึ้นไม่แข็งแรงพอที่จะเก็บองค์ประกอบส่วนอื่นเอาไว้ได้ จึงทำให้เกิดการสูญหายของของแข็งในขณะต้มที่สูงกว่าบะหมี่ซึ่งใช้แป้งสาลีเพียงอย่างเดียว

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังต้มสุก (Cooking weight) ของบะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วจะเพิ่มขึ้นมากกว่าบะหมี่ที่ทำจากแป้งสาลีเพียงอย่างเดียว บะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกจะดูดซับน้ำเอาไว้ทำให้มีน้ำหนักมากขึ้นซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากคุณสมบัติแป้งถั่วเขียวซีกซึ่งมีการดูดซับน้ำได้สูงนั้นเอง (ดังตารางที่ 4.6) ซึ่งจากการดูดซับน้ำที่เพิ่มมากขึ้นทำให้บะหมี่หลังต้มสุกคงความชื้นไว้ได้นานขึ้นด้วย

บะหมี่ที่ได้หลังการอบแห้ง นำมาต้มให้สุกในน้ำเดือดเป็นเวลา 5-6 นาที แช่น้ำเย็นสะเด็ดน้ำ คลุกด้วยน้ำมัน ราดด้วยน้ำซุปก่อนทำการทดสอบ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านสี ความเหนียว ความนุ่ม กลิ่น และการยอมรับรวม ซึ่งผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.7

การทดสอบโดยผู้ทดสอบจำนวน 30 ท่าน พบว่าบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกจะมีคะแนนในทุกด้านสูงกว่าบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง ผู้ทดสอบจะชอบสีของบะหมี่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกมากกว่าบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง โดยจะให้เป็นสีเหลืองเข้มกว่าและผู้ทดสอบไม่สามารถบอกความแตกต่างในเรื่องสีของบะหมี่ เมื่อมีการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกที่

สูงขึ้น บะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงจะมีออกขาวคล้ำ คะแนนด้านความเหนียวของบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วจะมีคะแนนลดลงตามปริมาณการทดแทนที่เพิ่มขึ้น โดยในการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกผู้ทดสอบจะให้คะแนนที่สูงกว่าความเหนียวของบะหมี่ซึ่งได้จากการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง และความนุ่มของบะหมี่ผู้ทดสอบให้คะแนนเป็นในลักษณะเดียวกันกับคุณภาพด้านความเหนียว โดยจะมีคะแนนลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนด้วยแป้งถั่ว ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับค่าคุณสมบัติด้านความเหนียวซึ่งวัดด้วยเครื่อง texture analyzer คะแนนในด้านกลิ่นมีความแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยในการทดแทนด้วยแป้งถั่วที่เพิ่มขึ้น โดยผู้ทดสอบจะได้กลิ่นถั่วในบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงมากกว่าบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก โดยเฉพาะอย่าง

ตารางที่ 4.7 สมบัติทางประสาทสัมผัสของบะหมี่อบแห้งหลังต้มสุก

ปริมาณการทดแทน (%)	คุณภาพ				
	สี (10)	ความเหนียว (10)	ความนุ่ม (10)	กลิ่นถั่ว (10)	การยอมรับรวม (10)
แป้งสาลี : แป้งถั่วเขียวซีก					
90:10	6.77 ± 1.51 a	7.00 ± 1.11 a	7.45 ± 1.14 a	3.18 ± 1.92 bc	6.86 ± 1.55 a
80:20	6.77 ± 1.48 a	6.23 ± 1.45 ab	6.95 ± 1.43 ab	3.05 ± 1.62 c	6.68 ± 1.39 a
70:30	6.86 ± 1.61 a	5.59 ± 1.59 bc	6.23 ± 1.48 bc	3.18 ± 1.74 bc	6.45 ± 1.57 a
แป้งสาลี : แป้งถั่วลิสง					
90:10	4.32 ± 1.91 b	5.68 ± 2.01 bc	5.95 ± 1.79 c	3.68 ± 1.78 bc	5.50 ± 1.63 b
80:20	3.86 ± 1.58 b	5.09 ± 2.20 c	4.59 ± 1.89 d	4.14 ± 2.36 b	4.86 + 1.61 b
70:30	3.86 ± 1.42 b	3.09 ± 1.72 d	3.27 ± 1.89 e	5.09 ± 2.39 a	3.32 ± 1.55 c

a,b,c....ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ยิ่งในการทดแทนที่ปริมาณ 30 % แต่โดยส่วนใหญ่จะไม่สามารถบอกความแตกต่างของกลิ่นในบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วที่เพิ่มขึ้นได้ คะแนนด้านการยอมรับรวมจะมีคะแนนน้อยที่สุดในบะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงปริมาณ 30 % แต่จะไม่แตกต่างกันที่การทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง

ในปริมาณ 10 และ 20 % และในการทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกจะมีคะแนนการยอมรับรวมที่สูงกว่าการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงในปริมาณการทดแทนที่เท่ากัน ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนด้านสี ความเหนียว ความนุ่ม และกลิ่นถั่ว ที่มีคะแนนสูงในบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก และมีคะแนนต่ำกว่าในบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง

บะหมี่ซึ่งมีคะแนนทางประสาทสัมผัสโดยรวมสูงและมีปริมาณโปรตีนสูง คือ บะหมี่ซึ่งทำจากแป้งสาลีทดแทนแป้งถั่วเขียวซีกที่ระดับ 30 % และบะหมี่ซึ่งทำจากแป้งสาลีทดแทนแป้งถั่วลิสงที่ระดับ 20 % ซึ่งจะให้ปริมาณโปรตีนเป็น 14.68 และ 17.40 % ตามลำดับ ซึ่งบะหมี่ที่ได้หลังต้มสุกจะมีเส้นที่ขาดยุ่ยบ้าง ซึ่งเกิดจากมีปริมาณของแป้งสาลีลดลงส่งผลทำให้กลูเตนลดลงด้วย

4.การปรับปรุงความเหนียวของบะหมี่อบแห้ง

การปรับปรุงคุณภาพนั้นจากผลการวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer โดยวัดแรงดึงเพื่อทดสอบความเหนียวของเส้นบะหมี่หลังต้มสุก ซึ่งพบว่าเส้นบะหมี่ทดแทนด้วยแป้งถั่วนั้นจะมีแรงดึงที่ลดต่ำลง ในขณะที่มีปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในการทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง จึงต้องมีการปรับปรุงความเหนียวของเส้นเพื่อไม่ให้เส้นบะหมี่หลังต้มสุกหักและขาดง่าย ซึ่งจะมีผลต่อการยอมรับในผลิตภัณฑ์ ในการปรับปรุงได้ทดลองปรับปรุงในบะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสงที่ปริมาณ 20 % และ บะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีกที่ปริมาณ 30 % เพราะที่ระดับการทดแทนดังกล่าวทำให้บะหมี่มีปริมาณของโปรตีนที่สูง และมีคะแนนการยอมรับที่ดี มีกลิ่นของถั่วในบะหมี่หลังต้มสุกน้อย ในการปรับปรุงได้ใช้วิธีการ 2 วิธีการ คือ แป้งมันสำปะหลังทดแทนแป้งสาลีในปริมาณ 0 , 5 ,10 และ 15 % ซึ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่ให้ความหนืดสูง ราคาไม่แพง หาได้ทั่วไปในท้องตลาด และการใช้เอนไซม์ Transglutaminase (TGase) ในปริมาณ 0,05 , 0.10 , 0.20 และ 0.30 % (ของปริมาณแป้งในสูตร) ซึ่งจะทำให้เกิดการ crosslink ของกรดอะมิโนกลูตามีนและไลซีนได้ (Seguro และคณะ , 1996) โดยผลการทดสอบจะตรวจสอบโดยใช้การวัดค่าความต้านทานแรงดึงด้วยเครื่องTexture Analyzer ผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลของแป้งมันสำปะหลังต่อความเหนียวของบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่ว

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (%)	ความเหนียวของเส้นบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่ว* (g-force)	
	แป้งถั่วเขียวซีก	แป้งถั่วลิสง
0	15.56 ± 0.84 a	14.77 ± 0.86 a
5	14.13 ± 1.36 a	12.04 ± 1.71 b
10	10.87 ± 1.74 b	10.16 ± 1.98 bc
15	9.27 ± 1.0 b	8.24 ± 1.77 c

* ทดสอบด้วย Texturometer

a,b,c....ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.8 การเสริมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้บะหมี่หลังต้มสุกที่ได้มีความเหนียวที่ลดลง เส้นที่ได้จะยุ่ยและขาดง่าย การเสริมด้วยแป้งมันส่งผลทำให้เกิดการเจือจางของแป้งสาลี ซึ่งมีผลทำให้มีปริมาณของกลูเตนลดลง จากรายงานของ Huang (1996) เพื่อให้ได้บะหมี่ที่มีคุณภาพที่ดี แป้งที่ใช้ควรจะมีส่วนของกลูเตนไม่น้อยกว่า 26-28 % ถึงแม้ว่าแป้งมันสำปะหลังที่เสริมลงไปจะช่วยทำให้เกิดโครงร่างของบะหมี่ได้แต่ก็ไม่แข็งแรงเท่ากับโครงร่างของกลูเตน การเสริมด้วยแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นเกิดการเจือจางลงของกลูเตนมากขึ้น บะหมี่ที่ได้จึงมีโครงร่างไม่แข็งแรง (Rho และคณะ , 1989) ปริมาณการเสริมแป้งมันสำปะหลังไม่ควรเกิน 10 % และยังพบว่าการเสริมแป้งมันสำปะหลังเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเส้นบะหมี่นั้นส่งผลทำให้มีปริมาณโปรตีนลดลง ซึ่งก็เป็นจากการเจือจางของปริมาณแป้งสาลีลงจากสูตรนั่นเอง

ในการปรับปรุงคุณภาพโดยการใช้เอนไซม์ TGase นั้น บะหมี่หลังต้มสุกจะมีความเหนียวเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มการใช้เอนไซม์มากขึ้น ซึ่งเป็นจากการเกิด crosslink ของกรดอะมิโนกลูตามีนและไลซีน ซึ่งมีจำนวนมากในพืชตระกูลถั่ว เส้นบะหมี่จะคงรูปร่างดี ไม่และหรือหักง่าย ซึ่งในการใช้ครั้งนี้จะละลายร่วมไปกับเกลือและด่างในน้ำก่อนทำการผสมเพื่อให้เกิดโด เส้นบะหมี่ที่ได้จากการใช้เอนไซม์ไม่ทำให้ปริมาณของโปรตีนลดลง

ตารางที่ 4.9 ผลของเอนไซม์ Transglutaminase ต่อความเหนียวของบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่ว

ปริมาณเอนไซม์ TGase (%)	ความเหนียวของเส้นบะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่ว (g-force)	
	แป้งถั่วเขียวซีก	แป้งถั่วลิสง
0	**15.93 ± 0.74 e**	**15.64 ± 0.36 e**
0.05	**18.70 ± 1.0 d**	**18.70 ± 1.54 d**
0.1	**21.85 ± 0.82 c**	**21.51 ± 0.72 c**
0.2	**24.00 ± 1.55 b**	**24.40 ± 1.61 b**
0.3	**28.30 ± 1.57 a**	28.54 ± 0.75 a

a,b,c....ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของบะหมี่และปริมาณของโปรตีนที่จะได้รับ จึงได้ใช้การปรับปรุงโดยการใช้เอนไซม์ Transglutaminase เนื่องมีปริมาณการใช้ที่ต่ำและไม่ส่งผลทำให้ปริมาณของโปรตีนลดต่ำลง ในขณะเดียวกันก็ส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพด้านความเหนียวของบะหมี่ให้ค่าที่สูง

บะหมี่ที่ได้ปรับปรุงคุณภาพด้วยการใช้เอนไซม์ในปริมาณต่าง ๆ นำมาทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบจำนวน 15 ท่าน ซึ่งผลเป็นดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลทางประสาทสัมผัสของการใช้เอนไซม์ Transglutaminase (TGase) ปริมาณต่าง ๆ ในบะหมี่ทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง 20 %

ปริมาณเอนไซม์	บะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง 20%				
TGase	สี (ns)	ความเหนียว	ความนุ่ม	กลิ่นถั่ว (ns)	การยอมรับรวม
(%)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
0	5.67 ± 0.49	4.87 ± 0.64 c	4.87 ± 0.64 b	6.40 ± 0.91	4.93 ± 0.46 c
0.05	5.47 ± 0.99	5.33 ± 0.49 b	5.27 ± 0.70 b	6.40 ± 0.91	5.93 ± 0.46 b
0.1	5.40 ± 0.68	7.33 ± 0.49 a	7.20 ± 0.68 a	6.41 ± 0.63	7.53 ± 0.64 a
0.2	5.53 ± 0.64	7.67 ± 0.49 a	7.53 ± 0.52 a	6.20 ± 0.56	7.33 ± 0.72 a
0.3	5.60 ± 0.91	2.27 ± 0.70 d	2.53 ± 0.64 c	6.43 ± 0.59	6.20 ± 0.86 b

a,b,c....ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ผลจากตารางที่ 4.10 คะแนนทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น ของบะหมี่ที่ได้นั้นไม่มีความแตกต่างกันเมื่อมีระดับการใช้เอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มระดับการใช้เอนไซม์มีผลต่อคุณภาพด้านความเหนียว ความนุ่ม และการยอมรับรวมของบะหมี่ ซึ่งทำให้บะหมี่มีความเหนียวเพิ่มขึ้นและเพิ่มความแข็งให้กับบะหมี่ บะหมี่ที่ใช้เอนไซม์ที่ระดับ 0.2 และ 0.3 % นั้น จะทำให้เส้นบะหมี่เหนียวเกินไป และเส้นที่ได้แข็ง ส่งผลต่อคะแนนการยอมรับรวมซึ่งมีคะแนนลดลงไม่แตกต่างจากการยอมรับรวมของบะหมี่ที่ใช้ระดับเอนไซม์ 0.05 และ 0.1 % ซึ่งจะให้เส้นที่เหนียวน้อยกว่า และเส้นที่นิ่มเป็นที่ยอมรับ

จากผลทดสอบทางประสาทสัมผัสดังกล่าว ในการปรับปรุงคุณภาพบะหมี่ทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง 20 % จะใช้ระดับเอนไซม์ 0.1 % ในการปรับปรุงคุณภาพ เนื่องจากเป็นปริมาณที่ไม่สูงเกินไป และยังทำให้บะหมี่มีความเหนียว มีคุณภาพโดยรวมยอมรับได้ การใช้ปริมาณมากไปก็จะทำให้เส้นบะหมี่เหนียวเกินไปได้

ส่วนผลทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก 30 % ร่วมกับการใช้เอนไซม์ TGase ให้ผลดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลทางประสาทสัมผัสของการใช้เอนไซม์ Transglutaminase (TGase) ปริมาณต่าง ๆ ในบะหมี่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก 30 %

ปริมาณเอนไซม์	บะหมี่ซึ่งทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก 30%				
TGase	สี (ns)	ความเหนียว	ความนุ่ม	กลิ่นถั่ว (ns)	การยอมรับรวม
(%)	(10)	(10)	(10)	(10)	(10)
0	7.17 ± 0.94	5.42 ± 0.79 b	4.92 ± 0.67 b	6.75 ± 0.62	4.75 ± 0.45 c
0.05	6.83 ± 1.34	5.00 ± 1.13 b	5.00 ± 0.85 b	6.42 ± 0.51	5.58 ± 1.00 b
0.1	7.42 ± 0.67	7.42 ± 0.67 a	7.67 ± 0.65 a	7.00 ± 0.74	6.83 ± 0.83 a
0.2	6.92 ± 0.67	6.75 ± 2.05 a	7.58 ± 1.51 a	6.75 ± 0.75	6.58 ± 1.08 a
0.3	7.08 ± 0.90	2.42 ± 0.79 c	2.75 ± 0.45 c	6.67 ± 0.65	5.67 ± 1.07 b

a,b,c....ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสนั้น คะแนนทางด้านสีและกลิ่นของบะหมี่ที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อมีระดับการใช้เอนไซม์เพิ่มขึ้น ส่วนคุณภาพด้านความเหนียว ความนุ่ม และการยอมรับรวมจะมีความแตกต่างกันเมื่อมีระดับการใช้เอนไซม์เพิ่มขึ้น การใช้เอนไซม์ที่ระดับ 0.3 % จะทำให้เส้นบะหมี่เหนียวเกินไปและเส้นที่ได้ก็จะแข็ง ทำให้มีคะแนนทางด้านการยอมรับรวมลดลง การใช้เอนไซม์ที่ระดับ 0.1 และ 0.2 % ทำให้มีคะแนนด้านความเหนียวและความนุ่ม อยู่ในระดับที่เหมาะสมและมีคะแนนการยอมรับสูง ซึ่งระดับเอนไซม์ที่เหมาสมในการใช้ในบะหมี่ทดแทนด้วยแป้งถั่วเขียวซีก 30 % คือ ที่ระดับ 0.1 % ซึ่งก็เป็นระดับเดียวกันกับระดับการใช้ในบะหมี่ที่ทดแทนด้วยแป้งถั่วลิสง 20 %

ในการใช้เอนไซม์ในการปรับปรุงคุณภาพบะหมี่ทดแทนด้วยแป้งถั่วนั้น ระดับการใช้เอนไซม์ที่สูงเกินไปจะทำให้เส้นบะหมี่ที่ได้มีลักษณะเส้นเหนียว ไม่นุ่ม ทำให้มีการยอมรับลดลง เนื่องจากเกิดการ crosslink ที่แน่นขึ้นของโปรตีนในบะหมี่นั้นเอง