บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. สูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

1.1. แป้งผสมที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

การทดลองใช้แป้งผสมที่ประกอบด้วยแป้ง 3 ชนิด ในปริมาณที่แตกต่างกัน นำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่มีโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ พบว่า โด และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

1.1.1. ลักษณะเนื้อสัมผัสของโด

ผลจากการวิเคราะห์ความยืดหยุ่นของโดด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส แล้วหาค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดของกราฟ ระยะทางที่ตัวอย่างถูกยืดออกได้มากที่สุด และพื้นที่ของกราฟในด้านที่มีค่าเป็นบวก ซึ่งจะสัมพันธ์กับความยืดหยุ่น (stickiness) การยึดเกาะ/ความแข็งแรง (cohesion/dough strength) และการยึดติด (adhesion) ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 3.1 พบว่าทุกสูตรการทดลองมีความยืดหยุ่น การยึดเกาะ/ความแข็งแรง และการยึดติดแตกต่างกัน (p<0.05) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดของกราฟอยู่ในช่วง 25.78-56.36 กรัม ระยะทางที่ตัวอย่างถูกยืดออกได้มากที่สุด 0.093-3.462 มิลลิเมตร และพื้นที่ของกราฟ 0.574-1.992 กรัม.มิลลิเมตร สูตรการ-ทดลอง M7 มีค่าเฉลี่ยของแรงสูงสุดของกราฟสูงกว่าทุกชุดการทดลอง โดยมีค่าเท่ากับ 56.36 กรัม และสูตรการทดลอง M1 M3 M4 และ M7 มีระยะทางที่ตัวอย่างถูกยืดออกได้มากที่สุดสูงกว่า ชุดการทดลองอื่นๆ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3.227-3.462 มิลลิเมตร สำหรับสูตรการทดลอง M2 M5 และ M6 มีการยึดเกาะ/ความแข็งแรงและการยึดติดต่ำ ทั้งนี้มีค่าระยะทางที่ตัวอย่างถูกยืดออกได้ มากที่สุดอยู่ในช่วง 0.093-1.118 มิลลิเมตร และพื้นที่ของกราฟ 0.574-0.595 กรัม.มิลลิเมตร ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับองค์ประกอบที่สำคัญของแป้งผสม คือ ปริมาณโปรตีน อัตราส่วนอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน และปริมาณไขมัน ส่วนของกลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนในแป้งมีโครงสร้างเป็นร่างแหที่ยืดหยุ่นได้ แป้งที่มีโปรตีนสูงจะให้โครงข่ายของโดที่หนาแน่น (จิตธนา แจ่มเมฆ และคณะ, 2543; พรรณี วงศ์ไกรศรีทอง และณรงค์ นิยมวิทย์, 2530; Friedman, 1995; Seibel, 1996) แป้ง

ที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะให้โดที่มีลักษณะแน่นแข็ง ค่าความแข็งแรงของโดสูง ส่วนแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูงให้ลักษณะโดที่เหนียวและยืดหยุ่นได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วย α-1,4-glycosidic linkage ส่วนโมเลกุลของอะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสสายตรงเชื่อมต่อกันด้วย α-1,4-glycosidic linkage และเชื่อมต่อกันเป็นกิ่งก้านด้วย α-1,6-glycosidic linkage เมื่อแรงเค้นมากระทำต่อโด การจัดเรียงตัวของโมเลกุล อะไมโลสจะมีความหนาแน่นกว่าโมเลกุลอะไมโลเพคติน โดที่มีอะไมโลเพคตินสูงจึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าโดที่มีอะไมโลสสูง (David and Lloyd, 2001) นอกจากนี้ไขมันในแป้งยังมีผลต่อคุณภาพของโดที่เกิดขึ้นอีกด้วย ไขมันจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ในโมเลกุลของแป้ง มีผลให้พันธะต่างๆ ที่เชื่อมต่อโครงข่ายของโดอ่อนตัว (Friedman, 1995) โดของแป้งที่ผ่านการสกัดไขมันจะมีความยืดหยุ่นสูงกว่าโดของแป้งที่ไม่ผ่านการสกัดไขมัน (Huang and Hoseney, 1999)

ตารางที่ 3.1 ลักษณะเนื้อสัมผัสของโดของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดร-ไลเสตเป็นส่วนประกอบที่มีสัดส่วนผสมของแป้งต่างกัน

Texture analysis of the dough containing fish protein hydrolysate with different composite flours.

Treatment	Force (g)	Distance (mm)	Area (g*mm)
M1	38.16±0.55e	3.462±0.21a	1.992±0.11a
M2	25.78±0.58g	0.118±0.05e	0.595±0.07e
M3	54.84±1.09b	3.240±0.15b	1.229±0.12c
M4	54.10±1.00b	3.307±0.18ab	1.301±0.10c
M5	27.64±0.75f	0.109±0.02e	0.580±0.03e
M6	28.38±0.81f	0.093±0.01e	0.574±0.05e
M7	56.36±0.68a	3.227±0.17b	1.550±0.16b
M8	38.10±0.42e	1.664±0.18d	0.635±0.13e
M9	52.66±0.61c	2.665±0.21c	0.836±0.14d
M10	40.10±0.68d	1.665±0.21d	0.700±0.17de

Values are means ± standard deviations from ten determinations.

The same letters under the same column indicate non significant differences (p>0.05).

1.1.2. คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

(1) ความหนาแน่น

ผลิตภัณฑ์จากทุกสูตรการทดลองมีค่าความหนาแน่นที่วัดได้ใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 22.61-30.03 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (ตารางที่ 3.2) ค่าที่วัดได้ค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมไขมันในส่วนผสม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างที่แน่น เพราะน้ำมันเป็นตัวช่วยในเรื่องของการพองตัว สามารถแทรกตัวอยู่ระหว่างอณูของแป้งและโปรตีนแล้วทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมกรอบที่ทำจากแป้งไม่แข็งกระด้าง มีฟองอากาศขนาดเล็กๆ กระจายตัวทั่วตลอดชิ้นกรอบแน่น และไม่เหนียวติดฟันขณะเคี้ยว ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ขนมกรอบควรมีน้ำมันในส่วนผสมไม่เกินร้อยละ 3 หรือใช้วัตถุดิบที่มีน้ำมันเป็นองค์ประกอบบ้าง (ประชา บุญญสิริกูล และจุฬาลักษณ์ จารุนุช, 2540; ประชา บุญญสิริกูล และจุฬาลักษณ์ จารุนุช, 2542; Guy, 1994) มีเพียง 2 สูตรการทดลองที่มีความแตกต่างจากสูตรการทดลองอื่น (p<0.05) คือ สูตรการทดลอง M2 และ M10 ซึ่งมีสัดส่วนของแป้ง A ต่อแป้ง B ต่อแป้ง C (ร้อยละโดยน้ำหนัก) เท่ากับ 30.00:65.00:5.00 และ 36.67:51.67:11.67 ตามลำดับ มีค่าความหนาแน่น (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) 29.66 และ 30.03 ตามลำดับ ทั้ง 2 สูตรการทดลอง เป็นสูตรแป้งผสมที่มีปริมาณอะไมโลสสูง แต่ปริมาณอะไมโลเพคตินต่ำ มีผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความหนาแน่นสูง ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรง แต่โมเลกุลของอะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง การจัดเรียงตัวของโมเลกุลอะไมโลสจึงมีความหนาแน่นกว่าโมเลกุลอะไมโลเพคติน โดที่มีอะไมโลเพคตินสูงจึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าโดที่มีอะไมโลสสูง (David and Lloyd, 2001) แป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูงจึงให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นต่ำ การพองตัวสูง แต่แป้งที่มีอะไมโลสสูง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะแน่นแข็ง (เพลินใจ ตังคณะกุล, 2546; David and Lloyd, 2001; Seibel, 1996) อีกทั้งโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ขนมอบเกิดจากโปรตีนในแป้งจับตัวกันเป็นร่างแห แป้งที่มีโปรตีนสูงจะให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่หนาแน่น (จิตธนา แจ่มเมฆ และคณะ, 2543)

(2) ความสามารถในการดูดซับน้ำ

ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน (p<0.05) ในทุกสูตรการทดลอง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.53-6.04 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง (ตารางที่ 3.2) สูตรการทดลอง M6 และ M8 เป็นสูตรของผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแป้งผสมซึ่งมีโปรตีนสูง จึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงกว่าสูตรการทดลองอื่นๆ โดยมีค่าเท่ากับ 5.86 และ 6.04 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง แต่ในทางตรงกันข้าม สูตรการทดลอง M2 M3 และ M10 เป็นสูตรของผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากแป้งผสมซึ่งมีปริมาณโปรตีนต่ำ จึงมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อย ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 4.53-4.71 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิต

ภัณฑ์จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนของแป้งแต่ละชนิด ผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ทำจากแป้งที่มีโปรตีนสูงจะดูดซับน้ำจากภายนอกได้เร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งที่มีโปรตีนน้อย เพราะโครงข่ายของโปรตีนจะเป็นตัวยึดจับโมเลกุลของน้ำไว้ภายใน นอกจากนี้การดัดแปลงโปรตีนในแป้งโดยการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ทำให้เกิดการสูญเสียโครงสร้างของโปรตีน โครงข่ายกลูเตนถูกทำลาย ผลิตภัณฑ์จะดูดซับน้ำหรือความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้น้อยลง จึงยังคงความกรอบไว้ได้นาน (Martin *et al*., 2006) อย่างไรก็ตามความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์เอ๊กซ์ทรูชันจากแป้งข้าวโพดเสริมโปรตีนนมที่มีค่าความสามารถใน การดูดซับน้ำในช่วง 2.7-3.6 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง (Peri *et al*., 1983) และผลิตภัณฑ์เอ๊กซ์ทรูชันที่ใช้ส่วนผสมของแป้งจากเมล็ดฝ้ายกับกากข้าวโพดเป็นส่วนประกอบ 3.26-6.10 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง (Camire *et al*., 1991)

(3) ความแข็ง

จากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดยการวัดค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหัก (ตารางที่ 3.2) พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าแรงกดแตกอยู่ในช่วง 249.72-523.68 กรัม สูตรการทดลอง M2 และ M10 มีค่าแรงกดแตกสูงกว่าสูตรการทดลองอื่น (p<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 523.68 และ 472.95 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ถ้าผลิตภัณฑ์มีค่าแรงกดแตกสูง แสดงว่าผลิตภัณฑ์อบกรอบมีความแข็งมาก สูตรแป้งผสมทั้งสองสูตร มีแป้ง B ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสสูงผสมอยู่ในสัดส่วนที่มาก ต้องใช้แรงกดมากในการที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหัก จึงมีความแข็งมาก เนื่องจากแป้งสุกที่มีอะไมโลสสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะแข็ง ส่วนแป้งที่มีปริมาณอะไมโลเพคตินสูงจะให้ลักษณะที่เหนียวและยืดหยุ่นสูง (Feldberg, 1969) ปรากฏการณ์ดังกล่าวเกิดจากส่วนของอะไมโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์สายตรงจะยึดจับกันอยู่อย่างหนาแน่น ในขณะที่อะไมโลเพคตินมีลักษณะเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งที่มีสาขามากมายจึงให้ลักษณะที่เหนียวและยืดหยุ่นได้ดี (David and Lloyd, 2001; Friedman, 1995; Seibel, 1996)

(4) ความกรอบ

เมื่อวิเคราะห์ความกรอบของผลิตภัณฑ์โดยการนับจำนวนพีคที่มีค่าแรงกดแตกมากกว่า 10 กรัม (ตารางที่ 3.2) พบว่า ผลิตภัณฑ์มีจำนวนพีคที่มีค่าแรงกดแตกมากกว่า 10 กรัม ในช่วง 5.40-7.90 พีค ผลิตภัณฑ์ซึ่งมีจำนวนพีคที่มีค่าแรงกดแตกมากกว่า 10 กรัม เป็นจำนวนมาก แสดงว่าผลิตภัณฑ์มีความกรอบสูง สูตรการทดลอง M7 เป็นสูตรที่มีจำนวนพีคซึ่งมีค่าแรงกดแตกมากกว่า 10 กรัม สูงที่สุด (7.90$\pm$1.10 พีค) จึงมีความกรอบสูงที่สุด ทั้งนี้ค่าความกรอบของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน (p<0.05) ซึ่งความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบมีผลจากปัจจัยหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นชนิดของแป้ง ปริมาณน้ำที่เติม ความหนาของชิ้นตัวอย่าง และระยะเวลา

ในการอบ แต่ความกรอบของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากการทดลองนี้มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์จากการทดลองนี้ใช้แป้งชนิดเดียวกัน มีความหนาใกล้เคียงกัน (1±0.2 มิลลิเมตร) มีการเติมน้ำและใช้ระยะเวลาในการอบเท่ากันในทุกสูตรการทดลอง

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบที่มีสัดส่วนผสมของแป้งต่างกัน

Physical properties of the crispy snack containing fish protein hydrolysate with different composite flours.

Treatment	Bulk density (g/100 ml)	Water absorption index (g/g sample dry basis)	Compression force (g)	Numbers of peak (major peak>10 g)
M1	23.50±0.16b	5.31±0.02e	361.69±85.41b	6.60±0.84ab
M2	29.66±0.23a	4.69±0.01h	523.68±48.05a	7.10±1.29ab
M3	22.61±0.19b	4.98±0.04g	318.38±44.83bc	7.00±0.82ab
M4	22.79±0.75b	5.52±0.03c	300.29±89.03bc	6.80±1.03ab
M5	23.09±0.90b	4.53±0.02i	320.98±65.74bc	7.00±1.18ab
M6	23.84±0.89b	5.86±0.04b	349.86±15.46b	6.50±1.27ab
M7	22.99±0.89b	5.07±0.01f	249.72±27.95c	7.90±1.10a
M8	23.42±0.76b	6.04±0.04a	333.30±89.58bc	5.40±1.25b
M9	23.53±0.88b	5.44±0.01d	363.54±77.90b	5.70±1.25b
M10	30.03±0.80a	4.71±0.01h	472.95±20.77a	7.00±1.25ab

Values of bulk density and water absorption index are means ± standard deviations from triplicate determinations and values of compression force and numbers of peak are means ± standard deviations from ten determinations.

The same letters under the same column indicate non significant differences ($p>0.05$).

1.1.3. คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบและมีการใช้แป้งผสมที่ต่างกัน โดยวิธี hedonic scale (9 คะแนน) ประเมินคุณภาพในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม เห็นได้ว่าปัจจัยด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ ไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วง

ชอบเล็กน้อย (คะแนน 6.00) ส่วนปัจจัยด้านอื่นๆ มีคะแนนความชอบที่แตกต่างกัน (p<0.05) กล่าวคือ ด้านสีและความกรอบของผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยจนถึง ชอบปานกลาง (คะแนน 6.00-7.00) ด้านรสชาติมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงไม่ชอบเล็กน้อยจนถึงชอบเล็กน้อย (คะแนน 4.00-6.00) และคะแนนความชอบด้านความชอบรวมอยู่ในช่วงเฉยๆ จนถึงชอบเล็กน้อย (คะแนน 5.00-6.00)

เมื่อใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert version 6.0 สร้างสมการจำลองและกราฟ contour plots ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของสัดส่วนผสมของแป้ง A แป้ง B และแป้ง C ที่มีผลต่อปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ จนได้สมการจำลองดังตารางที่ 3.3 และกราฟ contour plots ในแต่ละปัจจัยคุณภาพดังภาพที่ 3.1 ซึ่งจะเห็นว่าสมการจำลองทั้ง 5 ปัจจัย เป็นสมการยกกำลังสาม ซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ (Adj. R^2) สูง โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.8893-0.9654 มีระดับความเชื่อมั่นสูง (p<0.05) และสมการไม่มีความบกพร่อง (lack of fit, p>0.05) ยกเว้นในปัจจัยด้านความกรอบที่สมการมีความบกพร่อง (lack of fit, p<0.05) ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากความไม่แตกต่างกันของตัวอย่างที่ทำการทดสอบหรือผู้ทดสอบอาจประเมินเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันในด้านความกรอบและความแข็ง ดังนั้น จึงสามารถใช้สมการจำลองเฉพาะในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวมเท่านั้น ในการคำนวณค่าตอบสนองซึ่งเป็นคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ภายในช่วงของตัวแปร (สัดส่วนของแป้ง A แป้ง B และแป้ง C) ที่ศึกษาได้

จากการพิจารณาสมการจำลองในปัจจัยด้านสี พบว่า ปริมาณแป้ง B (B) มีความสำคัญต่อค่าตอบสนองมากที่สุด (ค่าสัมประสิทธิ์สูงที่สุด) ทั้งนี้ปริมาณแป้ง A (A) แป้ง C (C) อิทธิพลร่วมของแป้ง A กับแป้ง B (AB) และอิทธิพลร่วมของแป้ง B กับแป้ง C (BC) มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ ส่งผลต่อค่าตอบสนองในทางตรงกันข้ามกับแป้ง B (B) อิทธิพลร่วมของแป้ง A กับแป้ง C (AC) และอิทธิพลร่วมของแป้งผสมทั้งสาม (ABC) ดังภาพที่ 3.1 (a) สำหรับสมการจำลองในปัจจัยด้านกลิ่นและรสชาติ ดังภาพที่ 3.1 (b) และ (c) ปริมาณแป้ง C (C) อิทธิพลร่วมของแป้ง A กับแป้ง B (AB) และอิทธิพลร่วมของแป้ง B กับแป้ง C (BC) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบนั้น จะส่งผลต่อค่าตอบสนองในทางตรงกันข้ามกับอิทธิพลของแป้ง A (A)แป้ง B (B) อิทธิพลร่วมของแป้ง A กับแป้ง B (AB) อิทธิพลร่วมของแป้ง A กับแป้ง C (AC) และอิทธิพลร่วมของแป้งผสมทั้งสาม (ABC) ทั้งนี้ปริมาณแป้ง B (B) มีความสำคัญต่อค่าตอบสนองมากที่สุดสำหรับสมการจำลองด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สูงที่สุด แต่สมการจำลองด้านรสชาติ พบว่า ปริมาณแป้ง C (C) มีความสำคัญต่อค่าตอบสนองมากที่สุด ส่วนสมการจำลองในปัจจัยความชอบรวม พบว่า ปริมาณแป้ง C (C) มีความสำคัญต่อค่าตอบสนองมากที่สุด ปริมาณแป้ง

B (B) อิทธิพลร่วมของแป้ง A กับแป้ง C (AC) และอิทธิพลร่วมของแป้งผสมทั้งสาม (ABC) มีค่าสัมประสิทธิ์เป็นลบ จึงส่งผลต่อค่าตอบสนองในทางตรงกันข้ามกับอิทธิพลของแป้ง A (A) แป้ง C (C) อิทธิพลร่วมของแป้ง A กับแป้ง B (AB) และอิทธิพลร่วมของแป้ง B กับแป้ง C (BC) ดังภาพที่ 3.1 (e) ส่วนภาพที่ 3.1 (d) แสดงแนวโน้มของค่าตอบสนองซึ่งเป็นคะแนนความชอบด้านความกรอบที่มีผลจากปริมาณแป้ง A (A) แป้ง B (B) และแป้ง C (C)

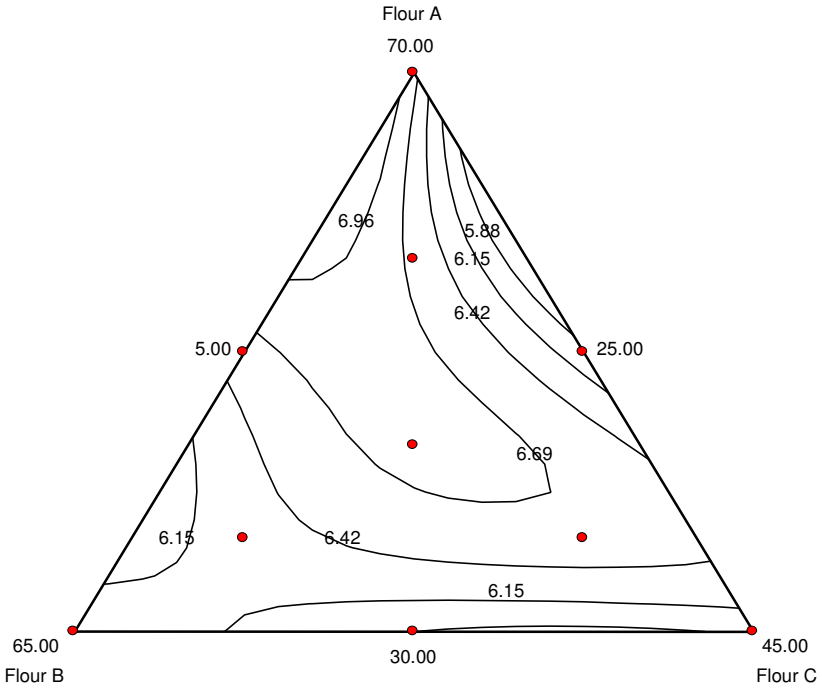
ตารางที่ 3.3 สมการจำลองและค่าสหสัมพันธ์ซึ่งแสดงผลของสัดส่วนผสมของแป้งที่มีต่อปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดร-ไลเสตเป็นส่วนประกอบ

The predictive regression models and goodness-of-fit for sensory properties of the crispy snack containing fish protein hydrolysate with various flour ratios.

Factor	Regression model	Adj.R^2	p	Lack of fit
Color	$Y = -0.016A + 0.32B - 0.082C - 3.536x10^{-3}AB + 1.915x10^{-3}AC - 9.182x10^{-3}BC + 2.983x10^{-4}ABC + 8.839x10^{-5}A^2B - 8.839x10^{-5}AB^2 - 1.088x10^{-4}A^2C + 1.088x10^{-4}AC^2$	0.9072	0.0090	0.4071
Odor	$Y = 0.013A + 0.22B - 0.19C - 2.5x10^{-3}AB + 5.483x10^{-3}AC - 2.358x10^{-3}BC + 1.106x10^{-4}ABC + 5.339x10^{-5}A^2B - 5.339x10^{-5}AB^2 - 8.594x10^{-5}A^2C + 8.594x10^{-5}AC^2$	0.8893	0.0126	0.2576
Taste	$Y = 0.067A + 0.24B - 0.43C - 4.203x10^{-3}AB + 7.695x10^{-3}AC - 6.509x10^{-3}BC + 3.532x10^{-4}ABC + 4.901x10^{-5}A^2B - 4.901x10^{-5}AB^2 - 1.864x10^{-4}A^2C + 1.864x10^{-4}AC^2$	0.8671	0.0179	0.0780
Crispness	$1/Y = 3.015x10^{-3}A - 3.56x10^{-3}B + 0.011C + 7.634x10^{-5}AB - 2.011x10^{-4}AC + 5.899x10^{-5}BC - 3.184x10^{-6}ABC - 1.774x10^{-6}A^2B + 1.774x10^{-6}AB^2 + 2.993x10^{-6}A^2C - 2.993x10^{-6}AC^2$	0.9379	0.0041	0.0267
Overall liking	$1/Y = 2.656x10^{-3}A - 4.992x10^{-3}B + 0.018C + 1.208x10^{-4}AB - 2.98x10^{-4}AC + 1.367x10^{-4}BC - 7.773x10^{-6}ABC - 2.109x10^{-6}A^2B + 2.109x10^{-6}AB^2 + 5.356x10^{-6}A^2C - 5.356x10^{-6}AC^2$	0.9654	0.0013	0.0531

Y; sensory score, A; % flour A by wet basis, B; % flour B by wet basis and C; % flour C by wet basis, Adj.R^2; The adjusted R^2, p; probability level

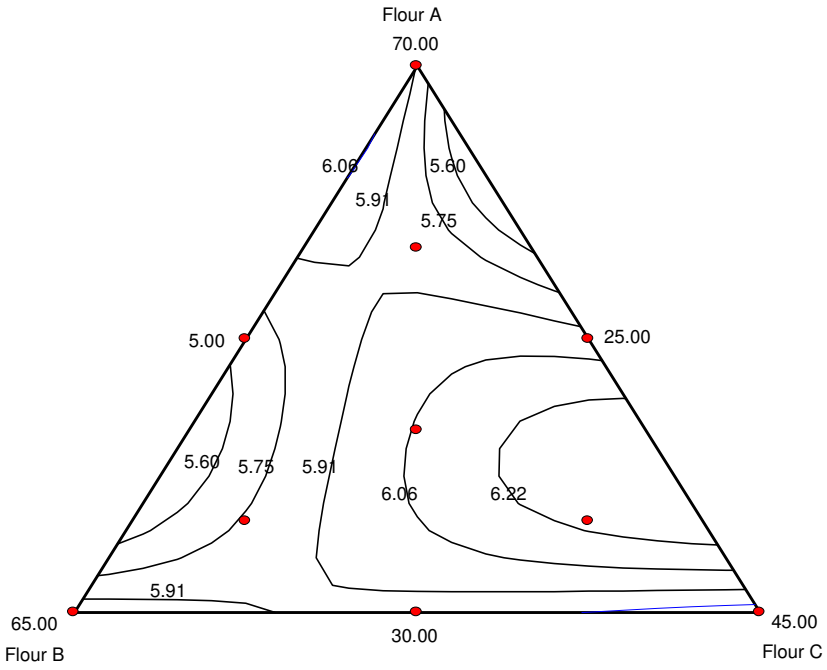
(a)



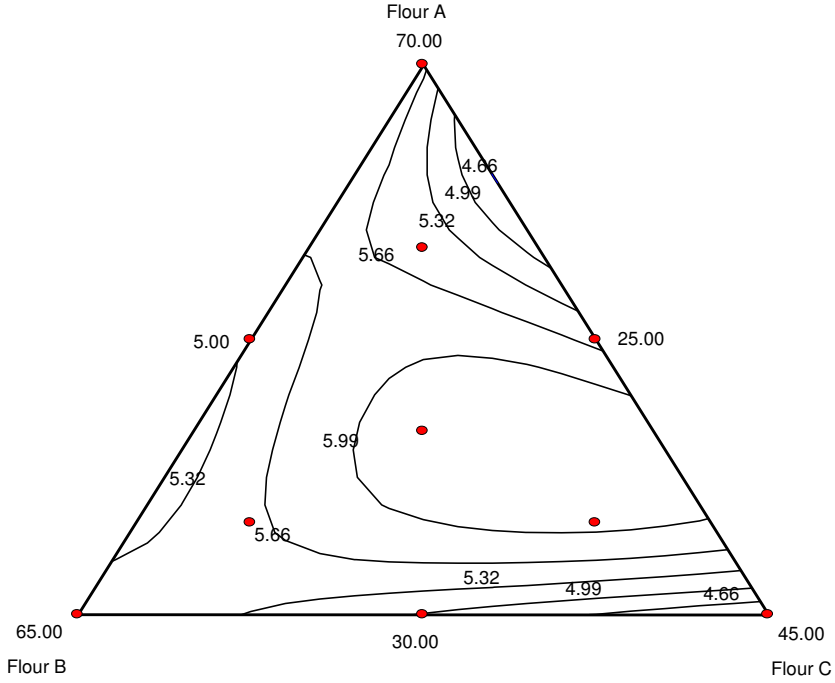
ภาพที่ 3.1 กราฟ contour plot ของคะแนนความชอบในด้านสี (a) กลิ่น (b) รสชาติ (c) ความ-กรอบ (d) และความชอบรวม (e) ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบซึ่งมีสัดส่วนผสมของแป้งต่างกัน

Contour plot graph of hedonic rating of color (a), odor (b), taste (c), crispness (d), and overall liking (e) of the crispy snack containing fish protein hydrolysate with different composite flours.

(b)

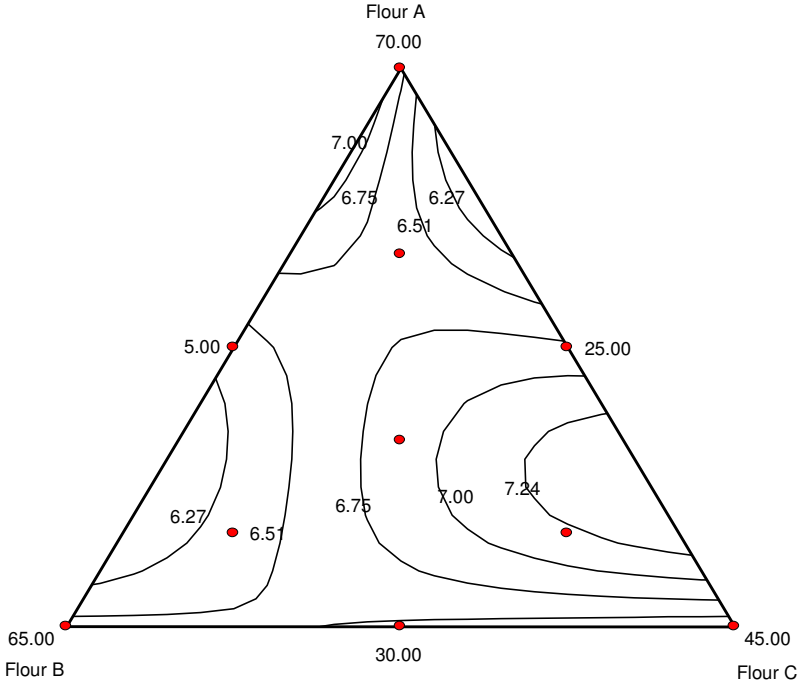

Flour A
70.00
6.06
5.91
5.60
5.75
5.00
25.00
5.60
5.75
5.91
6.06
6.22
5.91
65.00
Flour B
30.00
45.00
Flour C

(c)

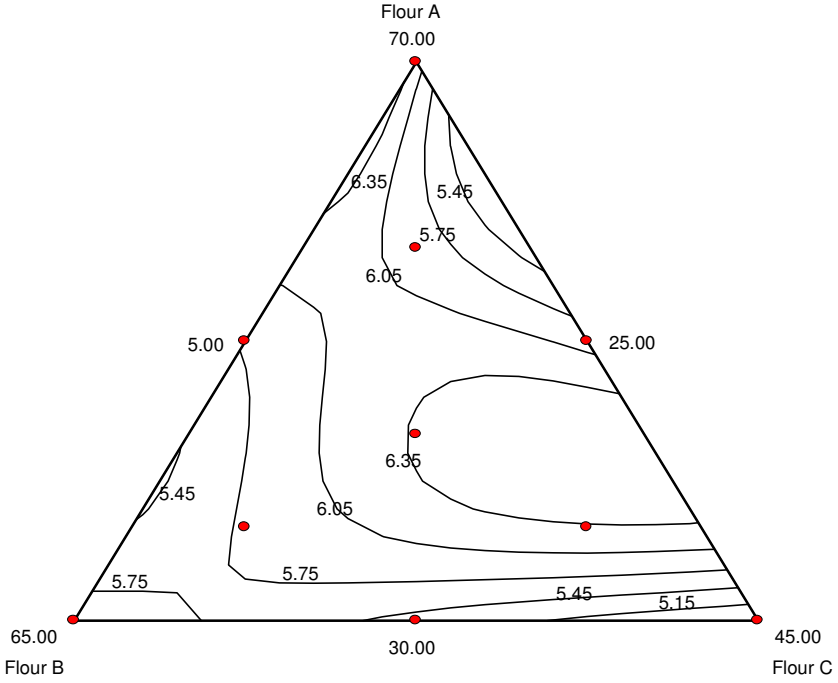

Flour A
70.00
4.66
4.99
5.32
5.66
5.00
25.00
5.99
5.32
5.66
5.32
4.99
4.66
65.00
Flour B
30.00
45.00
Flour C

ภาพที่ 3.1 (ต่อ)

(d)


Flour A
70.00
7.00
6.75
6.27
6.51
5.00
25.00
6.27
6.51
6.75
7.00
7.24
65.00
Flour B
30.00
45.00
Flour C

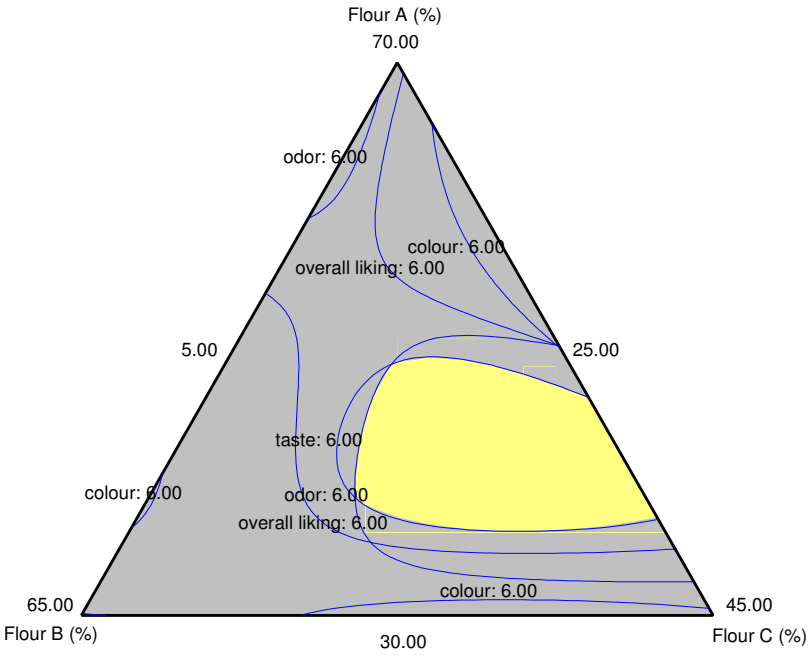
(e)


Flour A
70.00
6.35
5.45
5.75
6.05
5.00
25.00
6.35
5.45
6.05
5.75
5.75
5.45
5.15
65.00
Flour B
30.00
45.00
Flour C

ภาพที่ 3.1 (ต่อ)

เมื่อพิจารณาจากทุกสมการ จะเห็นว่า อิทธิพลของแป้ง C จะมีแนวโน้มส่งผลให้ได้รับคะแนนความชอบด้านต่างๆ สูง เนื่องจากในการผลิตแครกเกอร์หรือขนมอบกรอบต้องใช้แป้งที่มีโครงสร้างของกลูเตนแข็งแรง ยืดหยุ่น หรือรีดเป็นแผ่นได้ง่าย (Faridi *et al*., 1996; Morris and Rose, 1996) ซึ่งแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะให้โดที่แน่นแข็ง ส่วนแป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูงจะให้โดที่เหนียวและยืดหยุ่นได้ดี เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วย α-1,4-glycosidic linkage ส่วนโมเลกุลของอะไมโลเพคตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสสายตรงเชื่อมต่อกันด้วย α-1,4-glycosidic linkage และเชื่อมต่อกันเป็นกิ่งก้านด้วย α-1,6-glycosidic linkage เมื่อมีแรงเค้นกระทำต่อโด การจัดเรียงตัวของโมเลกุลอะไมโลสจะมีความหนาแน่นกว่าโมเลกุลอะไมโลเพคติน โดที่มีอะไมโลเพคตินสูงจึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าโดที่มีอะไมโลสสูง (David and Lloyd, 2001)

การคัดเลือกสูตรแป้งผสมที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ โดยเลือกสูตรการทดลองที่มีคุณภาพทางกายภาพอยู่ในช่วงเดียวกันกับผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่วางจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป ซึ่งได้มีการสุ่มตัวอย่างมาจากท้องตลาดจำนวน 4 ตัวอย่าง (ตารางภาคผนวกที่ 3) คือ มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่วางจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป กล่าวคือ ความหนาแน่น ความสามารถในการดูดซับน้ำ ค่าแรงกดแตก และจำนวนพีคที่มีค่าแรงกดแตกมากกว่า 10 กรัม อยู่ในช่วง 21.39-40.65 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร 2.20-7.14 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง 132.35-604.11 กรัม และ 3.00-15.60 พีค ตามลำดับ และมีคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยจนถึงชอบมากที่สุด (คะแนน 6.00-9.00) โดยทำการซ้อนทับกราฟ contour plot ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสทั้ง 4 ปัจจัย ได้ช่วงการทดลองที่มีสัดส่วนผสมของแป้งที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ ดังภาพที่ 3.2 โดยมีปริมาณแป้ง A แป้ง B และแป้ง C อยู่ในช่วงร้อยละ 35-48 30-45 และ 15-38 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ



ภาพที่ 3.2 คะแนนความชอบในทุกปัจจัยที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบซึ่งมีสัดส่วนผสมของแป้งต่างกัน

พื้นที่สีเหลือง หมายถึง ช่วงการทดลองที่มีคะแนนความชอบในทุกปัจจัยอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยจนถึงชอบมากที่สุด (คะแนน 6.00-9.00)

Contour graph of hedonic rating of the crispy snack containing fish protein hydrolysate with different composite flours.

Yellow area is hedonic rating of all terms with in the range of 'like slightly' to 'like extremely' (score 6.00-9.00).

จากนั้นทำการยืนยันสูตรการทดลองที่เหมาะสม โดยสุ่มสูตรการทดลองในพื้นที่ที่เหมาะสมซึ่งได้จากการซ้อนทับกราฟ contour plot จำนวน 5 สูตรการทดลอง และสูตรการทดลองที่โปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert version 6.0 แนะนำว่าเหมาะสมที่สุดจำนวน 1 สูตรการทดลอง วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกันกับข้างต้น และคัดเลือกสูตรการทดลองโดยพิจารณาคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 3.4) ได้แก่ ความหนาแน่น ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความแข็ง และความกรอบ ซึ่งต้องมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่วางจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 3 และมีคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในปัจจัยด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม (ตารางที่ 3.5) อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยจนถึงชอบมากที่สุด (คะแนน 6.00-9.00) จากการทดลอง พบ

ว่า ทั้ง 6 สูตรการทดลอง มีความหนาแน่น ความสามารถในการดูดซับน้ำ ค่าแรงกดแตก และจำนวนพีคที่มีค่าแรงกดแตกมากกว่า 10 กรัม อยู่ในช่วง 22.38-28.14 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร 4.94-6.31 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง 254.98-543.83 กรัม และ 4.70-7.20 พีค ตามลำดับ คะแนนความชอบด้านสี กลิ่น และรสชาติไม่มีความแตกต่างกัน (p>0.05) ส่วนคะแนนความชอบด้าน ความกรอบและความชอบรวมมีความแตกต่างกัน (p<0.05) โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง ชอบเล็กน้อยจนถึงชอบปานกลาง (คะแนน 6.00-7.00) ได้สูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ มีค่าคะแนน-เฉลี่ยในด้านความชอบรวมสูงที่สุด นั่นคือ สูตรการทดลอง m2 (แป้ง A ต่อแป้ง B ต่อแป้ง C เท่ากับ 45:25:30) ซึ่งมีความหนาแน่น 23.66 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ความสามารถในการดูดซับน้ำ 5.62 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ค่าแรงกดแตก 398.63 กรัม และจำนวนพีคที่มีค่าแรงกดมากกว่า 10 กรัม จำนวน 6.40 พีค คะแนนความชอบเฉลี่ยด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม เท่ากับ 6.84 6.36 6.32 7.00 และ 6.56 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบที่มีสัดส่วนผสมของแป้งต่างกัน

Physical properties of the crispy snack containing fish protein hydrolysate with different composite flours.

Treatment	Bulk density (g/100 ml)	Water absorption index (g/g sample dry basis)	Compression force (g)	Numbers of peak (major peak>10 g)
m1	28.33±0.30a	4.94±0.07d	543.83±86.45a	6.40±1.00ab
m2	23.66±0.50c	5.62±0.05b	398.63±98.70c	6.40±1.40ab
m3	22.38±0.13d	6.31±0.10a	254.98±35.61b	6.40±1.00ab
m4	28.14±0.25a	5.25±0.05c	425.25±95.23b	4.70±0.80c
m5	23.53±0.31c	5.47±0.05b	372.93±93.17b	6.00±1.40b
m6	27.33±0.36b	5.27±0.06c	422.90±54.43b	7.20±1.10a

m1-m6; flour A: flour B: flour C ratios (48:36:16, 45:25:30, 37.5:25:37.5, 38.5:43:18.5, 42:33:25 and 43.33:36.8:19.87, respectively).

Values of bulk density and water absorption index are means ± standard deviations from triplicate determinations and values of compression force and numbers of peak are means ± standard deviations from ten determinations.

The same letters under the same column indicate non significant differences (p>0.05).

ตารางที่ 3.5 คะแนนเฉลี่ยความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี hedonic scale ที่ได้จากการทดลองเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบที่มีสัดส่วนผสมของแป้งต่างกัน

Actual and predicted hedonic rating of the crispy snack containing fish protein hydrolysate with different composite flours.

Treatment	Attribute														
	Color			Odor			Taste			Crispness			Overall liking		
	Actual	Predicted	residual	Actual	Predicted	residual	Actual	Predicted	residual	Actual	Predicted	residual	Actual	Predicted	residual
m1	6.92±0.95a	6.76	-0.16	6.16±1.11a	6.00	-0.16	6.04±0.89a	6.00	-0.04	6.60±1.19a	6.80	0.20	6.04±0.84b	6.26	0.22
m2	6.84±1.11a	6.26	-0.58	6.36±1.04a	6.23	-0.13	6.32±0.90a	6.03	-0.29	7.00±1.12ab	7.23	0.23	6.56±1.04a	6.43	-0.13
m3	6.56±1.12a	6.51	-0.05	6.00±1.08a	6.34	0.34	6.04±1.02a	6.04	0.00	6.88±1.01ab	7.44	0.56	6.12±0.73b	6.41	0.29
m4	6.40±1.15a	6.58	0.18	6.28±1.02a	6.01	-0.27	6.00±1.08a	6.02	0.02	6.84±1.07ab	6.74	-0.10	6.12±0.73b	6.17	0.05
m5	6.88±1.09a	6.73	-0.15	6.16±1.14a	6.24	0.08	5.92±1.08a	6.31	0.39	7.04±1.17a	7.17	0.13	6.36±0.95ab	6.59	0.23
m6	6.80±1.04a	6.76	-0.04	6.32±1.11a	6.12	-0.20	6.20±0.76a	6.22	0.02	7.04±0.98a	6.96	-0.08	6.40±0.87ab	6.44	0.04

m1-m6; flour A: flour B: flour C ratios (48:36:16, 45:25:30, 37.5:25:37.5, 38.5:43:18.5, 42:33:25 and 43.33:36.8:19.87, respectively).

Values are means ± standard deviations of duplicate determinations.

The same letters under the same column indicate non significant differences (p>0.05).

1.2. ปริมาณน้ำที่เติมและระยะเวลาในการนวดผสมที่เหมาะสมต่อการทำผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของโด ทั้งในด้านความยืดหยุ่น การยืดเกาะ/ความแข็งแรง และการยืดติดของโด พบว่า ปริมาณน้ำที่เติมและระยะเวลาในการนวดผสมที่แตกต่างกันทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของโดมีความแตกต่างกัน (p<0.05) กล่าวคือ เมื่อเติมน้ำที่ระดับต่างๆ กัน โดจะมีความยืดหยุ่นและการยืดเกาะ/ความแข็งแรงที่แตกต่างกัน (p <0.05) โดยเมื่อเติมน้ำในปริมาณที่มากขึ้น ค่าความยืดหยุ่นและความสามารถในการยืดเกาะ/ ความแข็งแรงของโดมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ปริมาณน้ำที่ต่างกันไม่มีผลต่อความแตกต่างของ การยืดติดของโด (p>0.05) สำหรับระยะเวลาในการนวดผสมนานขึ้น มีผลทำให้ค่าความยืดหยุ่นและการยืดติดของโดมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ระยะเวลาในการนวดผสมไม่มีผลต่อ ค่าความสามารถในการยืดเกาะ/ความแข็งแรงของโด (p>0.05)

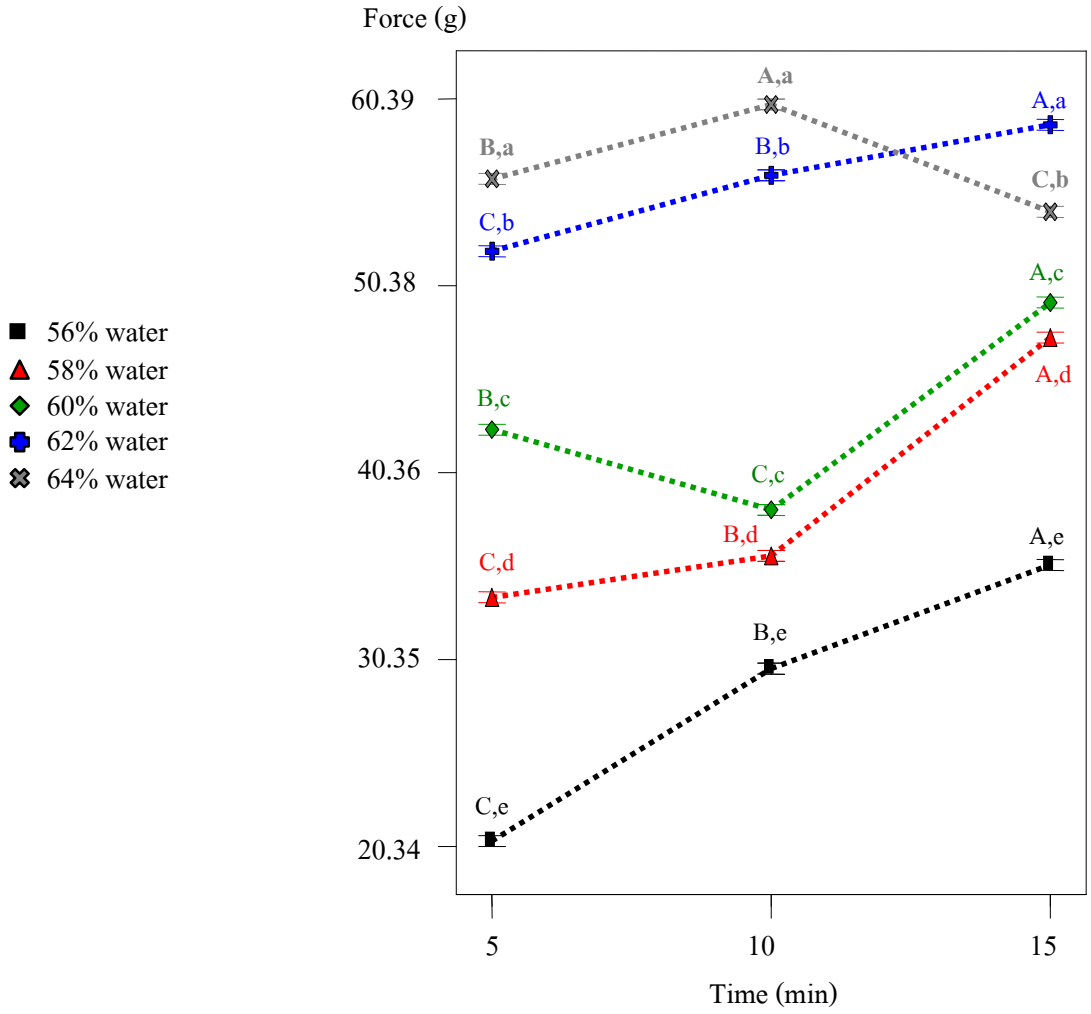
ความยืดหยุ่นของโดซึ่งวัดจากค่าแรงสูงสุดที่กระทำต่อโด (ภาพที่ 3.3) ที่ระยะเวลาในการนวดผสมนาน 5 และ 10 นาที พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้น โดมีความยืดหยุ่นเพิ่มสูงขึ้น (p<0.05) แต่ที่ระยะเวลาในการนวดผสมนาน 15 นาที เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำจากร้อยละ 56 ไปจนถึงร้อยละ 62 โดมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณน้ำมากถึงร้อยละ 64 โดกลับมีความยืดหยุ่นลดลง (p<0.05) ในทิศทางเดียวกันนี้ที่ระดับการเติมน้ำร้อยละ 56 58 60 และ 62 เมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาในการนวดผสมนานขึ้น โดมีความยืดหยุ่นเพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อเติมน้ำร้อยละ 64 พบว่าโดมีความยืดหยุ่นลดลงที่ระยะเวลาในการนวดผสมนาน 15 นาที (p<0.05) สำหรับค่าความ-สามารถในการยืดเกาะ/ความแข็งแรงของโด ซึ่งวัดจากระยะทางสูงสุดที่สามารถยืดโดออกได้ ดังภาพที่ 3.4 ปรากฏผลเช่นเดียวกัน กล่าวคือ ที่ระยะเวลาในการนวดผสมนาน 5 และ 10 นาที พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้น โดมีความสามารถในการยืดเกาะมากขึ้น (p<0.05) แต่ที่ระยะเวลาในการนวดผสมนาน 15 นาที เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากจนถึงร้อยละ 64 โดกลับมีความยืดหยุ่นลดลง (p <0.05) เมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาในการนวดผสม ที่ทุกๆ ระดับการเติมน้ำ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการนวดผสม โดมีความสามารถในการยืดเกาะเพิ่มสูงขึ้น จนเมื่อระยะเวลาในการนวดนาน 15 นาที โดกลับมีความสามารถในการยืดเกาะลดลง ส่วนค่าการยืดติดของโด ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ที่ระยะเวลาในการนวดผสมนาน 5 นาที เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้น โดมีค่าการยืดติดลดลง (p<0.05) แต่ที่ระยะเวลาในการนวดผสมนาน 10 และ 15 นาที เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำ โดมีค่าการยืดติดลดลงถึงจุดหนึ่งค่าการยืดติดกลับเพิ่มขึ้นอีก (p<0.05) พิจารณาในด้านของระยะเวลาในการนวดผสมที่ระดับการเติมน้ำร้อยละ 58 60 62 และ 64 เมื่อระยะเวลาในการนวดผสมเพิ่มขึ้น โดมีการยืดติด

มากขึ้น (p<0.05) แต่ที่ระดับการเติมน้ำร้อยละ 56 มีทิศทางตรงกันข้าม คือระยะเวลาในการนวดผสมที่เพิ่มขึ้น โดกลับมีค่าการยืดติดลดลง (p<0.05)

การเพิ่มปริมาณน้ำมีผลให้โดมีความยืดหยุ่นและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่ความเหนียวลดลง ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่นวดผสมต้องมีอัตราส่วนที่พอเหมาะ เพราะถ้าใช้น้ำมากเกินไป โดที่ได้จะเหลว หรือหากใช้น้ำน้อยเกินไป โดก็จะแน่นแข็งจนเกินไป (ทนง ภัครัชพันธุ์ และคณะ, 2546) เนื่องจากน้ำที่เติมลงไปในระหว่างการนวดผสมจะแทรกตัวเข้าไปในอนุภาคของแป้งอย่างช้าๆ และเชื่อมต่อกับโมเลกุลของแป้งและโปรตีนด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างหนาแน่น แต่เมื่อเติมน้ำมากจนเกินไป โมเลกุลของน้ำซึ่งมีขั้วสูงจะแย่งเข้าจับพันธะที่เชื่อมต่อกันของโมเลกุลแป้งกับโปรตีน และแทรกตัวอยู่ในโครงข่ายของโด ทำให้โดมีลักษณะแฉะและเหลว

การใช้เวลาในการนวดผสมนานๆ ทำให้เกิดพลังงานในการผสมที่มากขึ้น ส่งผลต่อพลังงานที่กระทำต่อโดเพิ่มสูงขึ้น โมเลกุลของโปรตีนในแป้งมีขนาดเล็กลง ทำให้ช่องว่างภายในโดมีขนาดเล็ก โดมีเนื้อเนียน ยืดหยุ่นได้ดี โครงข่ายของแป้งและโปรตีนจับกันอย่างแข็งแรงมากขึ้น ไม่เหนียวหนืด แต่เมื่อใช้เวลาในการผสมนานจนเกินไป โครงสร้างของโดจะสูญเสียความยืดหยุ่น เนื่องจากพันธะต่างๆ ที่เชื่อมโครงข่ายของแป้งและโปรตีน เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะ โควาเลนท์ เป็นต้น ถูกแรงเค้นที่กระทำในการนวดผสมทำลายไป โดจึงอ่อนตัวลง เกิดโดที่มีลักษณะเหนียว (Contamine *et al*., 1995; Dominquez *et al*., 2004; Haglund *et al*., 1998; Peighambardoust *et al*., 2006)

สำหรับอิทธิพลร่วมของปริมาณน้ำที่เติมและระยะเวลาในการนวดผสมมีผลต่อความแตกต่างของลักษณะเนื้อสัมผัสของโด (p<0.05) ทั้งในด้านความยืดหยุ่น การยืดเกาะ/ความแข็งแรง และการยืดติดของโด เมื่อเพิ่มน้ำลงในส่วนผสมและใช้เวลาในการนวดผสมนานขึ้น โดจะมีความยืดหยุ่นเพิ่มสูงขึ้น สามารถถูกยืดออกได้ยาวขึ้น นั่นคือ ความสามารถในการยืดเกาะ/ความแข็งแรงของโดเพิ่มขึ้น และการยืดติดลดลง เนื่องจากการเติมน้ำและใช้เวลาในการนวดผสมอย่างพอเหมาะ พลังงานจะถูกดูดซับไประหว่างกระบวนการผสม เกิดการพัฒนาของโครงข่ายกลูเตน ค่า torque ของโดจะลดลง เป็นดัชนีบ่งชี้ว่าโดมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น (Contamine *et al*., 1995) แต่เมื่อนวดผสมเป็นเวลานานประกอบกับมีการเติมน้ำในปริมาณมากเกินพอ โดกลับจะมีความยืดหยุ่นและการยืดเกาะ/ความแข็งแรงของลดลง แต่ค่าการยืดติดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการนวดผสมนานเกินไปหรือมีการเติมน้ำมากจนเกินพอ พันธะต่างๆ ที่เชื่อมโครงข่ายของแป้งและโปรตีนจะถูกทำลายจนอ่อนตัวลง โดยโมเลกุลของน้ำที่เข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างอนุภาคของโปรตีนและแป้งหรือแรงเค้นที่กระทำต่อโดในกระบวนการนวดผสม มีผลให้เกิดโดที่มีลักษณะเหนียว และขาดได้ง่ายเมื่อมีการยืดหรือขยายออก (Huang and Hoseney, 1999)



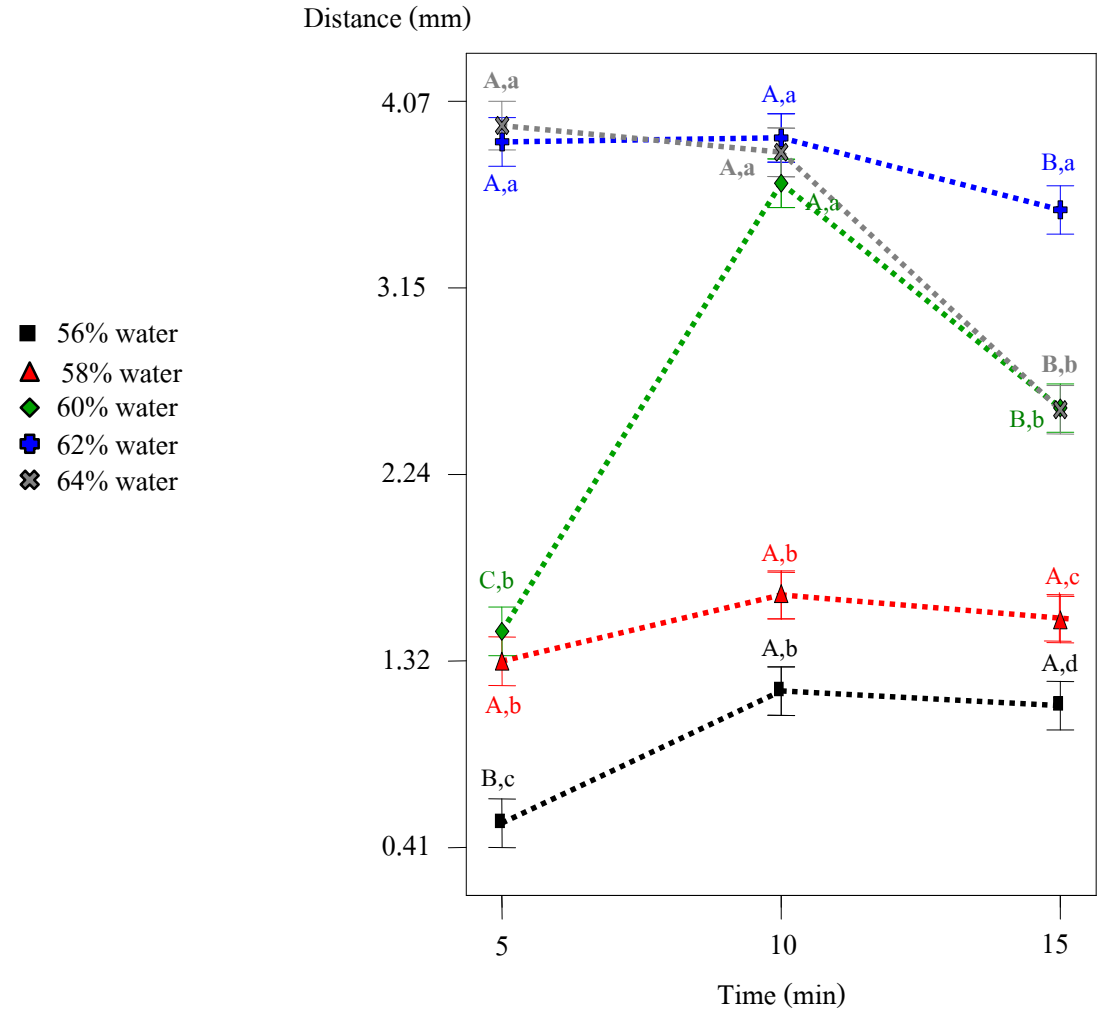
ภาพที่ 3.3 กราฟแสดงค่าความยืดหยุ่นของโดของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดร ไลเสตเป็นส่วนประกอบซึ่งมีการเติมน้ำและใช้ระยะเวลาในการนวดผสมต่างกัน

Contour plot graph of dough stickiness containing fish protein hydrolysate with different water levels and mixing times.

Points represent the standard deviation of ten determinations.

The same small letters in the same mixing time indicate non significant differences (p>0.05).

The same capital letters in the same water level indicate non significant differences (p>0.05).



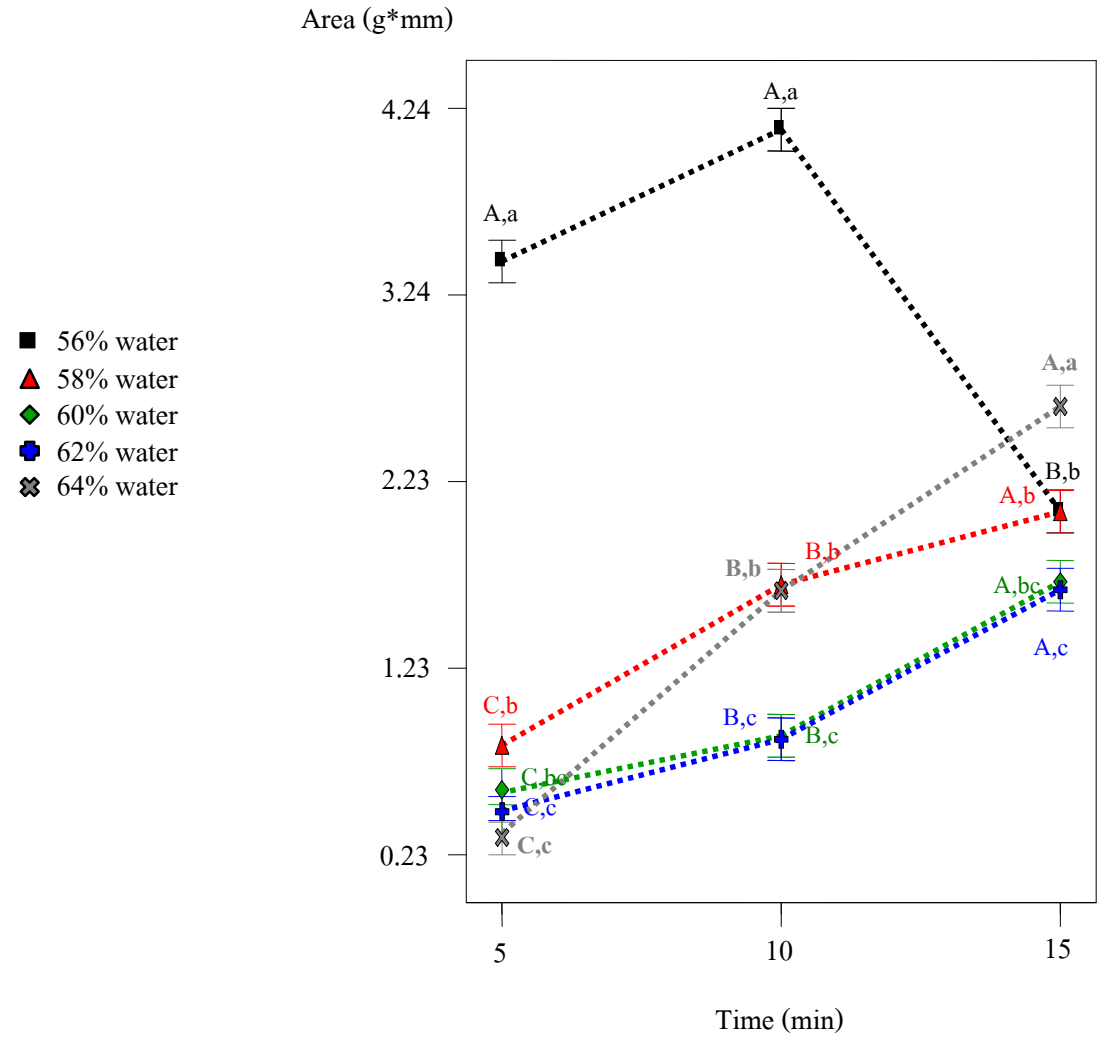
ภาพที่ 3.4 กราฟแสดงค่าการยืดเกาะ/ความแข็งแรงของโดของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบซึ่งมีการเติมน้ำและใช้ระยะเวลาในการนวดผสมต่างกัน

Contour plot graph of dough cohesion/dough strength containing fish protein hydrolysate with different water levels and mixing times.

Points represent the standard deviation of ten determinations.

The same small letters in the same mixing time indicate non significant differences (p>0.05).

The same capital letters in the same water level indicate non significant differences (p>0.05).



ภาพที่ 3.5 กราฟแสดงค่าการยึดติดของโดของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดร-ไลเสตเป็นส่วนประกอบซึ่งมีการเติมน้ำและใช้ระยะเวลาในการนวดผสมต่างกัน

Contour plot graph of dough adhesive containing fish protein hydrolysate with different water levels and mixing times.

Points represent the standard deviation of ten determinations.

The same small letters in the same mixing time indicate non significant differences (p>0.05).

The same capital letters in the same water level indicate non significant differences (p>0.05).

จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert version 6.0 สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่เติมและระยะเวลาในการนวดผสมที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโดของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ (ภาพที่ 3.3 – 3.5) และคัดเลือกหาปริมาณน้ำที่เติมและระยะเวลาในการนวดผสมที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ โดยคัดเลือก สูตรการทดลองที่มีความยืดหยุ่นและการยึดเกาะ/ความแข็งแรงสูง แต่มีค่าการยึดติดต่ำ ได้สูตรการทดลองที่เหมาะสมจำนวน 3 สูตร ทั้งนี้สูตรการทดลองที่เหมาะสมที่สุดซึ่งคัดเลือกไปใช้ในขั้นตอนต่อไป คือ สูตรการทดลอง N9 ซึ่งมีการเติมน้ำร้อยละ 62.0 โดยน้ำหนักของแป้งผสม และใช้เวลาในการนวดผสมนาน 10 นาที แม้ว่าสูตรดังกล่าวจะมีค่าความเหมาะสมน้อยกว่าสูตร การทดลอง N4 ซึ่งเติมน้ำร้อยละ 64 และใช้เวลาในการนวดผสมนาน 5 นาที แต่เนื่องจากการใช้เวลาในการนวดผสมนาน 10 นาที ให้โดมีลักษณะเนียนละเอียด เป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าโดที่ใช้เวลาในการนวดผสม 5 นาที

2. พัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

2.1. สัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

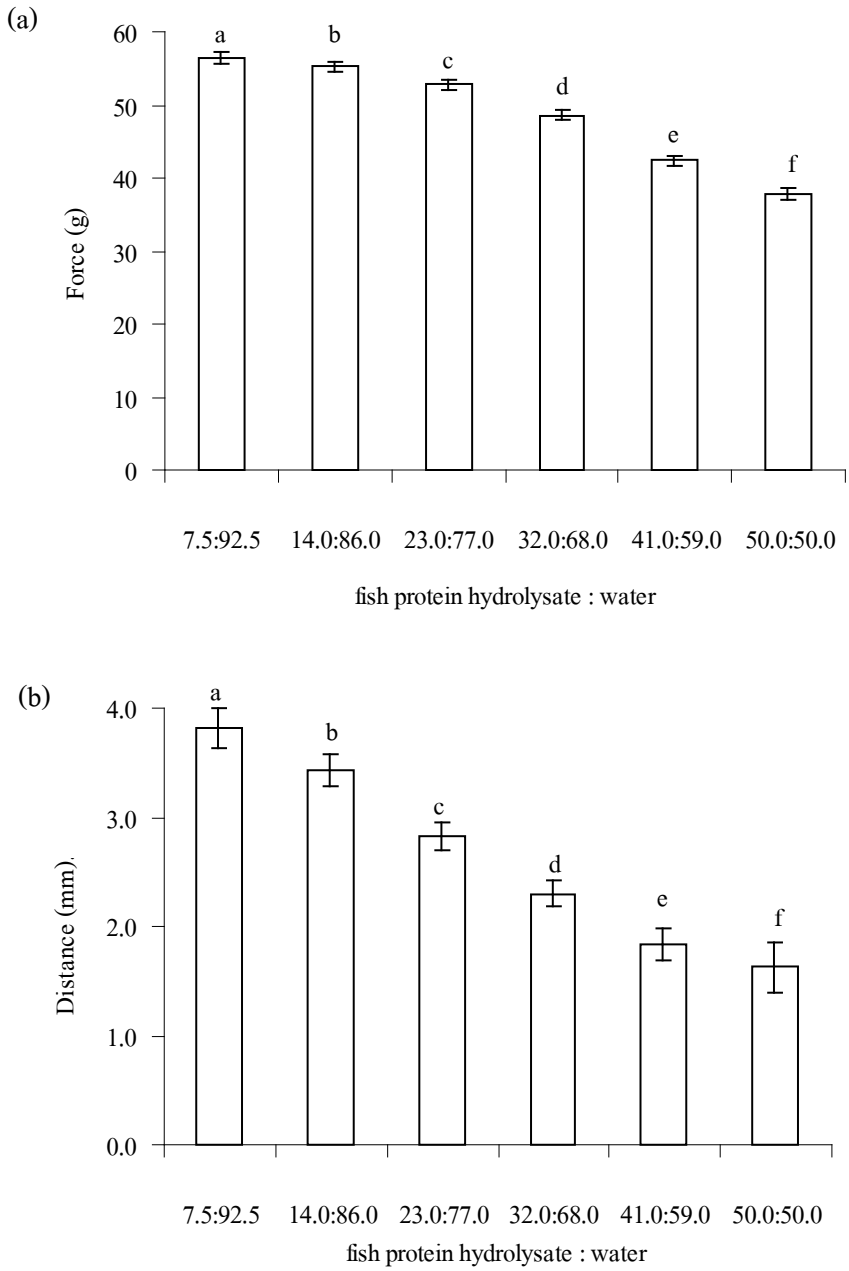
ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของโดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้สัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำต่างๆ กัน พบว่า

2.1.1. ลักษณะเนื้อสัมผัสของโด

สัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่แตกต่างกันมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของโดอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ทั้งในด้านความยืดหยุ่น การยึดเกาะ/ความแข็งแรง และการยึดติดของโด เมื่อความเข้มข้นโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น โดมีความยืดหยุ่นและการยึดเกาะ/ความแข็งแรงลดลง แต่การยึดติดเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงผลในภาพที่ 3.6

Pomeranz (1991) กล่าวว่า โครงสร้างของโดจับกันเป็นโครงข่ายของโปรตีนที่เรียกว่า กลูเตน โดยมีโมเลกุลของสตาร์ชเม็ดเล็กๆ เชื่อมต่อกันกับกลูเตนในแป้งสาลี โดยทั่วไปเมื่อ

มีการเพิ่มปริมาณโปรตีนกล้ามเนื้อ ความสามารถในการดูดน้ำของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นร่างแหของโปรตีนกล้ามเนื้อที่จับอยู่กับโมเลกุลของสตาร์ชจะห่อหุ้มโมเลกุลของน้ำไว้ภายในระหว่างขั้นตอนการนวดผสม จนเกิดเป็นโครงสร้างของเจลที่ยืดหยุ่นได้ดี นอกจากนี้ Kyaw และคณะ (2001) ยังรายงานว่า โมเลกุลของน้ำจะเชื่อมต่อกับโครงข่ายโปรตีนด้วยพันธะไฮโดรเจนและปฏิกิริยาที่อาศัยคุณสมบัติของความแตกต่างทางด้านประจุไฟฟ้า ในระหว่างการนวดผสมจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของโปรตีนและหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ ทำให้เกิดโครงข่ายที่หนาแน่น โครงสร้างของโดจะแข็งแรงขึ้น แต่เมื่อเกิดการจับตัวกันของโมเลกุลโปรตีนกับโปรตีนที่มากเกินไป โดจะมีความแข็งแรงลดลง สำหรับโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตทำหน้าที่เหมือนเป็นสารเติมเต็ม โดยจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ช่องว่างของโด โดจึงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ไม่ยืดหยุ่น แห้งกระด้าง และเปราะง่าย การเติมปริมาณโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตจึงมีผลต่อโดในทางตรงข้าม กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนปลาไฮโดรไลเสต โดจะมีความยืดหยุ่นและการยึดเกาะ/ ความแข็งแรงลดลง เนื่องจากโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำสูง จึงไปขัดขวาง การจับตัวกันของโมเลกุลน้ำกับโครงข่ายของโปรตีนและสตาร์ช และการที่โปรตีนปลาไฮโดร- ไลเสตเข้าไปแทรกตัวอยู่ช่องว่างของโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ทำให้ช่องว่างภายในโครงข่ายมีขนาดเล็กลง (Camire *et al*., 1991; Noguchi *et al*., 1981) อีกทั้งการเตรียมส่วนผสมของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตและน้ำให้เข้ากันก่อนที่จะเติมลงในแป้งผสม อาจมีผลให้โดที่ได้ไม่สมบูรณ์ เพราะการพัฒนาของโดเกิดจากการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในอนุภาคแป้งอย่างช้า การนวดผสมช่วยให้เกิดโดได้ง่ายขึ้น (จิตธนา แจ่มเมฆ และคณะ, 2543) แต่การผสมโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตและน้ำจนเป็นสารละลายก่อนนั้น อาจมีผลให้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตที่มีขนาดเล็กถูกล้อมรอบด้วยน้ำได้ง่าย (Nielsen, 1997) อีกทั้งพันธะที่เชื่อมต่อโมเลกุลของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตกับน้ำมีความแข็งแรงกว่าพันธะที่เชื่อมต่อโมเลกุลของแป้งกับน้ำ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนปลาไฮโดร- ไลเสตมากขึ้น ปริมาณน้ำจึงอาจไม่เพียงพอต่อการเกิดโดที่ดี เช่นเดียวกับที่ Noguchi และคณะ (1981) ศึกษาถึงการเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองลงในผลิตภัณฑ์จากเอ๊กซ์ทรูชันที่ทำจากแป้งข้าว พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง เกิดโดที่มีโครงข่ายหนาแน่นและช่องว่างภายใน มีขนาดเล็กลง

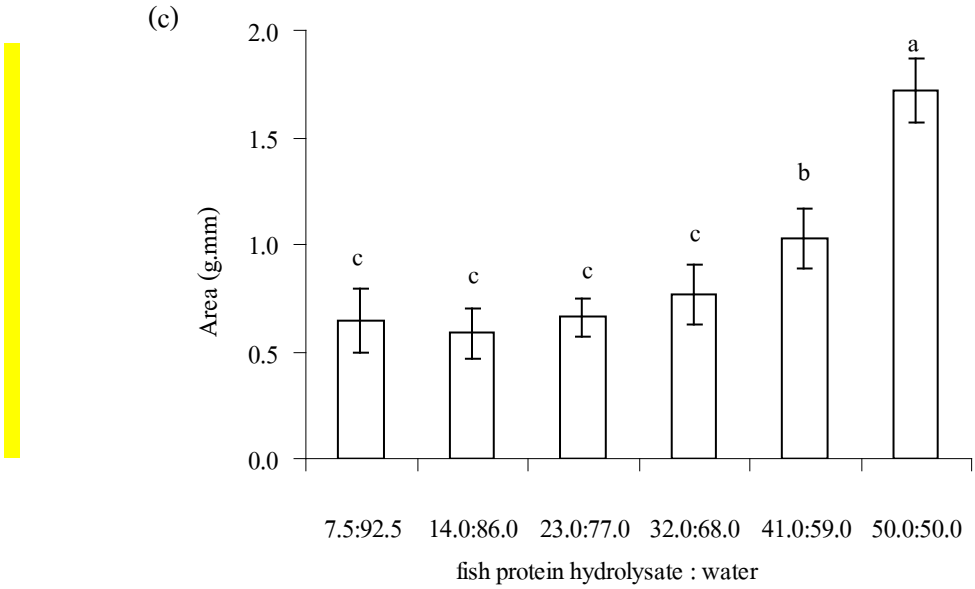


ภาพที่ 3.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของโดของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบที่มีสัดส่วนโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่เติมในระดับต่างกัน (a) ความยืดหยุ่น (b) การยืดเกาะ/ความแข็งแรง (c) การยืดติด

Texture analysis of the dough containing fish protein hydrolysate with various of fish protein hydrolysate to water ratios. (a) stickiness, (b) cohesion/dough strength, (c) adhesion

Different letters on the bars indicate the significant differences (p<0.05).

Bars represent the standard deviation of ten determinations.



ภาพที่ 3.6 (ต่อ)

2.1.2. คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความแข็ง และความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบซึ่งมีสัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่แตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 3.7

(1) ความหนาแน่น

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบซึ่งมีสัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำแตกต่างกัน พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) ความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นมากขึ้นด้วย เพราะโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตซึ่งทำหน้าที่เหมือนสารเติมเต็มในอาหารจะเข้าไปแทรกตัวอยู่ช่องว่างของโครงสร้าง ทำให้ช่องว่างภายในผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กลง ผลิตภัณฑ์จึงมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น การเติมโปรตีน

ลงในระบบของแป้งจะขัดขวางการพองตัวของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์แน่นและแข็งขึ้น เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟองอากาศภายในผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กลง มีจำนวนและการกระจายตัวในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์น้อยลง (Camire *et al*., 1991) ดังที่ Noguchi และคณะ (1981) ศึกษาถึงการเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองลงในผลิตภัณฑ์เอ๊กซ์ทรูชันที่ทำจากแป้งข้าว พบว่า ผลิตภัณฑ์จะแน่นและแข็งขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Gogoi และคณะ (1996) ที่ทำการเติมเนื้อปลาแซลมอนลงในผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวที่ใช้กระบวนการเอ๊กซ์ทรูชัน พบว่า ปริมาณปลาแซลมอนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาแน่นสูงขึ้น

(2) ความสามารถในการดูดซับน้ำ

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ พบว่า สัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้น ค่าความสามารถในการดูดซับ-น้ำของผลิตภัณฑ์กลับลดน้อยลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตมีคุณสมบัติที่ไม่ชอบน้ำสูง จึงไปขัดขวางการจับตัวของโมเลกุลของน้ำกับโครงข่ายของโปรตีนและสตาร์ช อีกทั้งการที่โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้าไปแทรกตัวอยู่ช่องว่างของโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ทำให้ช่องว่างภายในผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กลง ขัดขวางการแทรกตัวและกระจายตัวของโมเลกุลน้ำ ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตจึงสามารถดูดซับน้ำได้น้อย เช่นเดียวกับการเติมโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองในผลิตภัณฑ์จากเอ๊กซ์ทรูชันที่ทำจากแป้งข้าว ความสามารถในการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์จะลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองมากขึ้น (Noguchi *et al*., 1981)

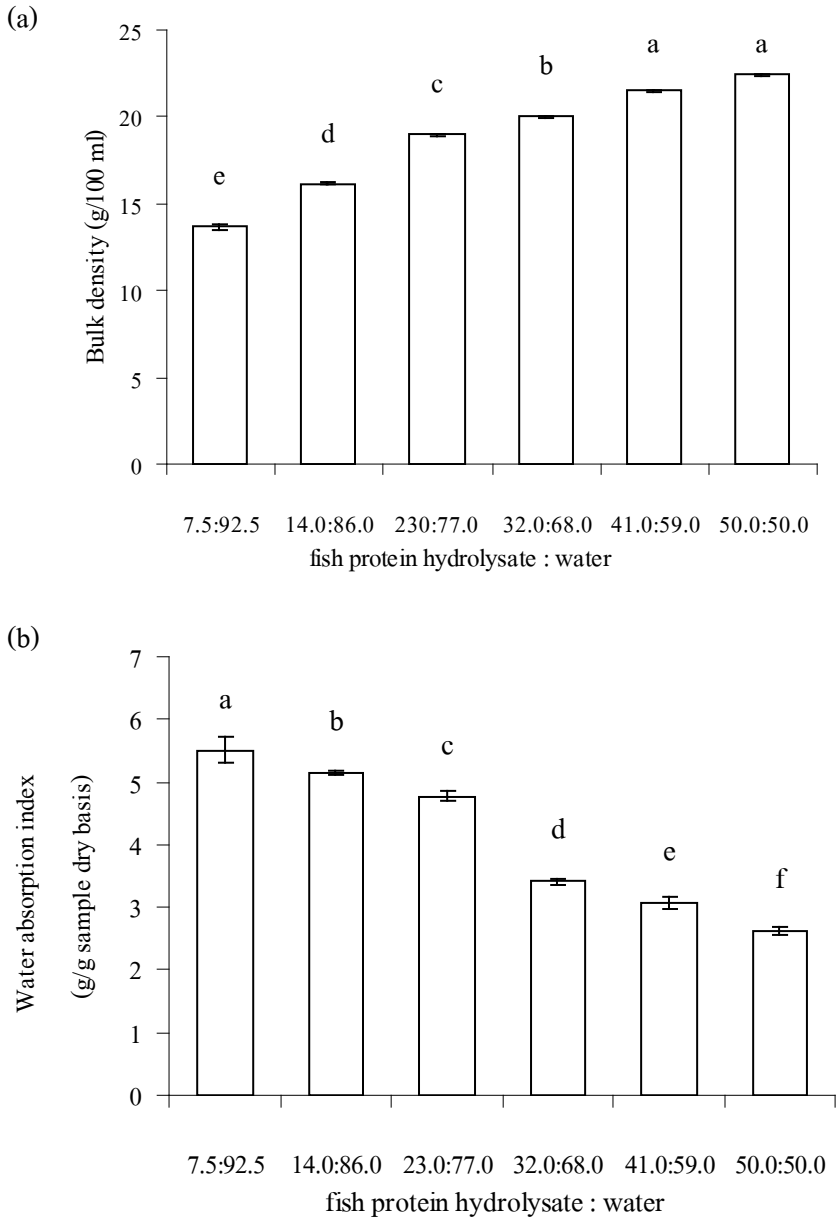
(3) ความแข็ง

จากผลการวิเคราะห์ค่าแรงกดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบเกิดการแตกหักซึ่งสัมพันธ์กับความแข็งของผลิตภัณฑ์ พบว่า สัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่แตกต่างกันมีผลต่อความแข็งของผลิตภัณฑ์ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงกดที่ทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหักมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนปลาไฮโดรไลเสต ทั้งนี้เป็นผลมาจากความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้น จึงต้องใช้แรงในการกดมากขึ้น

(4) ความกรอบ

ผลวิเคราะห์ความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดร-ไลเสตเป็นส่วนประกอบโดยการวัดจำนวนพีคที่มีค่าแรงกดแตกมากกว่า 10 กรัม พบว่า สัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความกรอบของผลิตภัณฑ์

อย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) โดยความกรอบของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นเมื่อเติมโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นเพิ่มจากร้อยละ 7.5 เป็นร้อยละ 14.0 แต่หลังจากนั้นความกรอบของผลิตภัณฑ์กลับลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสต ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแน่นและแข็งขึ้น

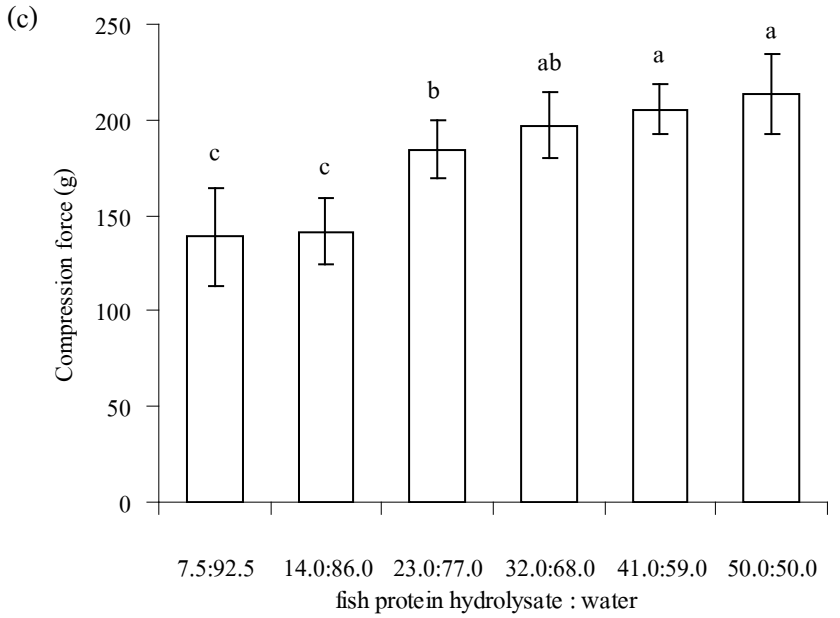


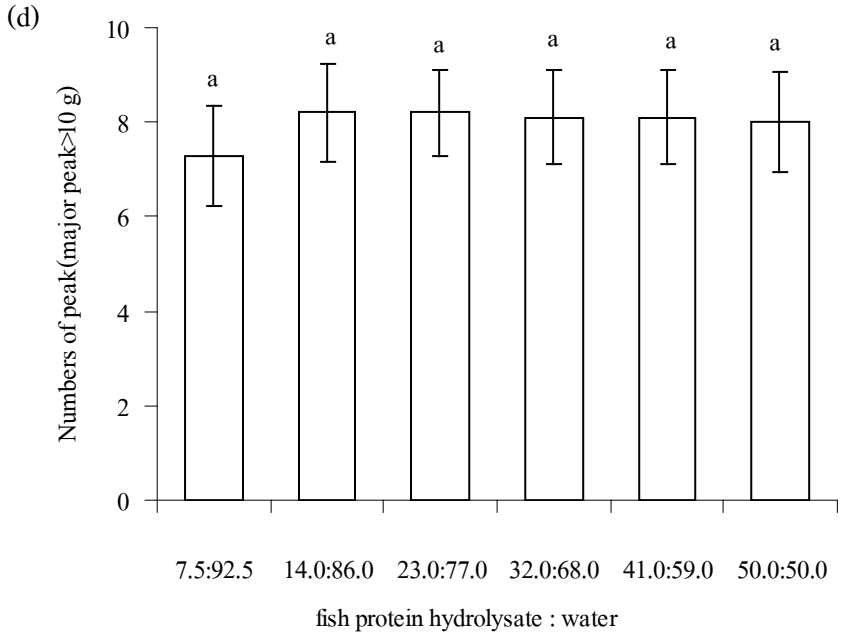
ภาพที่ 3.7 คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบที่มีสัดส่วนโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่เติมในระดับต่างกัน (a) ความหนาแน่น, (b) ความสามารถในการดูดซับน้ำ, (c) ค่าแรงกดแตก, (d) จำนวนพีคที่มีค่าแรงกดแตกมากกว่า 10 กรัม

Physical properties of the crispy snack containing fish protein hydrolysate with various fish protein hydrolysate to water ratios. (a) bulk density, (b) water absorption index, (c) compression force, (d) numbers of peak > 10 g

Bars represent the standard deviation of ten determinations.

Different letters on the bars indicate the significant differences (p<0.05).





ภาพที่ 3.7 (ต่อ)

2.1.3. คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากตารางที่ 3.6 ซึ่งแสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบซึ่งมีการเติมโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน พบว่า สัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่แตกต่างกันมีผลต่อคะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านสีและกลิ่นเพียงเล็กน้อย (p<0.05) ซึ่งมีคะแนนความชอบอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (คะแนน 6.00-7.00) สำหรับคะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านรสชาติมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนปลาไฮโดร-ไลเสต ซึ่งมีผลให้คะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านความชอบโดยรวมลดลง (p<0.05) เช่นเดียวกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเกิดรสขมของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตที่ได้จากการย่อยโปรตีนด้วยเอนไซม์ซึ่งมักจะมีรสขมมาจากสายเปปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีค่าไฮโดรโฟบิกสูง ได้แก่ อะจีนีน ไกลซีน โพรลีน ฟีนิลอะลานีน วาลีน ไอโซลิวซีน และลิวซีน (Adler-Nissen, 1986; Noguchi *et al*., 1975; Saha and Hayashi, 2001) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตในส่วนผสมผลิตภัณฑ์ ความเข้มของรสขมของผลิตภัณฑ์สุดท้ายจึงเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนคะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านความกรอบอยู่ในช่วงชอบปานกลางจนถึงชอบมากที่สุด (คะแนน 7.00-8.00) และความเข้มข้นของสารละลายโปรตีนปลาไฮโดรไลเสต เข้มข้นไม่มีผลต่อคะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านความกรอบอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05)

ตารางที่ 3.6 คะแนนเฉลี่ยความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี hedonic scale ของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบและมีสัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำในระดับต่างกัน

Hedonic rating of the crispy snack containing fish protein hydrolysate with various fish protein hydrolysate to water ratios.

Treatment	Attribute				
	Color	**Odor**	**Taste**	**Crispness**	**Overall liking**
P0	6.84±1.09a	6.50±0.89abc	6.38±0.83a	7.68±0.74a	6.64±0.94a
P1	6.75±1.01a	6.42±1.05bc	6.36±1.04a	7.82±0.78a	6.68±0.97a
P2	6.80±0.96a	6.53±1.14abc	6.04±1.00a	7.82±0.74a	6.35±1.10b
P3	6.91±1.03a	6.65±1.14ab	5.06±1.34b	7.75±0.77a	5.53±0.95c
P4	6.75±1.05a	6.78±1.02a	4.40±1.41c	7.73±0.72a	4.61±0.97d

P5	6.01±1.51b	6.26±1.33c	3.32±1.21d	7.70±0.65a	4.14±1.27e

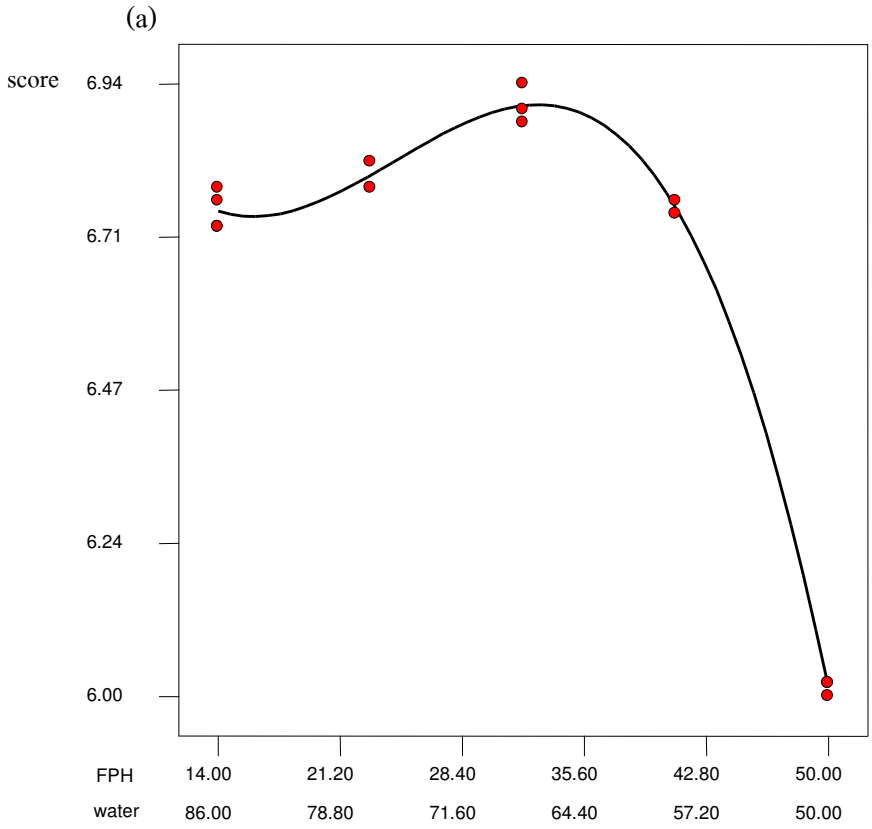
Values are means ± standard deviations of duplicate determinations.

The same letters under the same column indicate non significant differences (p>0.05).

จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert version 6.0 สร้างสมการจำลองและกราฟ contour plots เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำกับปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลา ไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ (ภาพที่ 3.8 และตารางที่ 3.7) ได้สมการจำลอง 5 สมการ ซึ่ง ทุกสมการจำลองมีระดับความน่าเชื่อถือสูง (p<0.05) และไม่มีความบกพร่อง (lack of fit, p>0.05) แต่มีเพียง 4 สมการ ที่มีค่าสหสัมพันธ์สูง (Adj. R^2 > 0.9000) คือ สมการจำลองในปัจจัยด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม ซึ่งมีลักษณะเป็นสมการยกกำลังสาม ดังนั้น จึงสามารถใช้สมการดังกล่าวในการทำนายค่าตอบสนองซึ่งเป็นคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายในช่วงของตัวแปร (สัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำ) ที่ศึกษาได้ สำหรับ สมการจำลองของปัจจัยด้านความกรอบซึ่งมีค่าสหสัมพันธ์ต่ำ (Adj. R^2 = 0.3912) อาจเนื่องจากไม่มีความแตกต่างกันของความกรอบของตัวอย่างที่ทดสอบ จึงไม่สามารถนำมาใช้ในการทำนาย ค่าตอบสนองได้

เมื่อพิจารณาสมการจำลองในปัจจัยด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบรวม พบว่าปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสต (A) มีความสำคัญกว่าปริมาณน้ำที่เติม (B) เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สูงที่สุด อย่างไรก็ตามในปัจจัยด้านสีและกลิ่น พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตส่งผลต่อค่าตอบสนองในทางตรงกันข้ามกับปริมาณน้ำ เช่นเดียวกันกับปัจจัยในด้านรสชาติและความชอบรวม อิทธิพลร่วมของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตและน้ำ (AB) จะมีผลต่อค่าตอบสนองในทางตรงกันข้าม ทั้งนี้เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าเป็นลบ

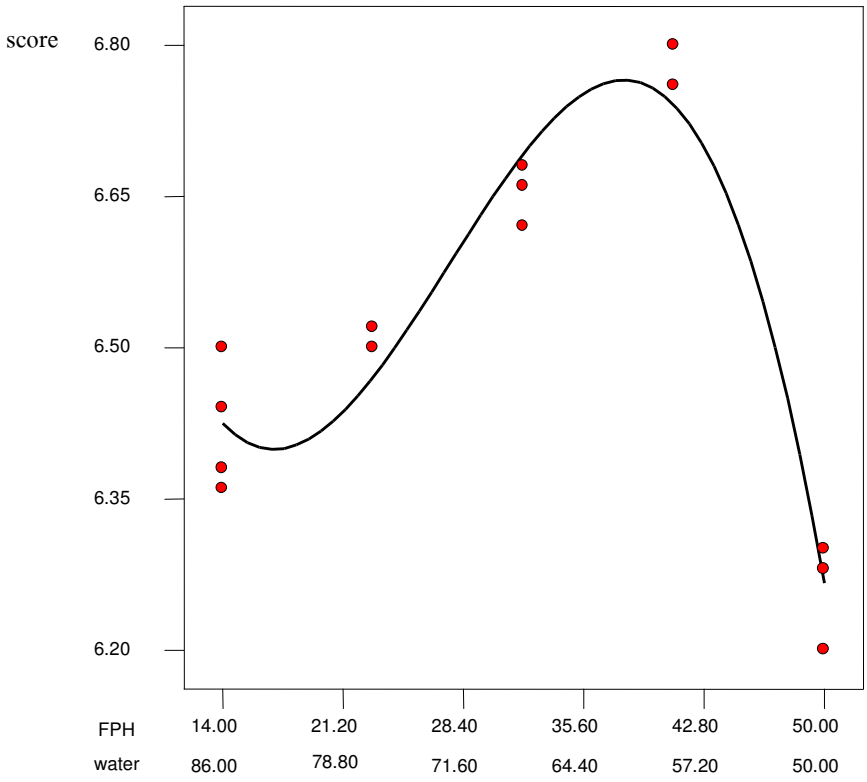
จากการคัดเลือกหาสัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ โดยคัดเลือกสูตรการทดลองที่มีคะแนนความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในปัจจัยด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยจนถึงชอบมากที่สุด (คะแนน 6.00-9.00) และเลือกสูตรการทดลองที่มีคะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านความชอบรวมสูงที่สุด ซึ่งสูตรการทดลองที่เหมาะสมที่สุด คือ สูตรการทดลอง P1 ซึ่งมีการเติมโปรตีนปลาไฮโดร- ไลเสตเข้มข้นและน้ำ ร้อยละ 14.0 และ 86.0 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ



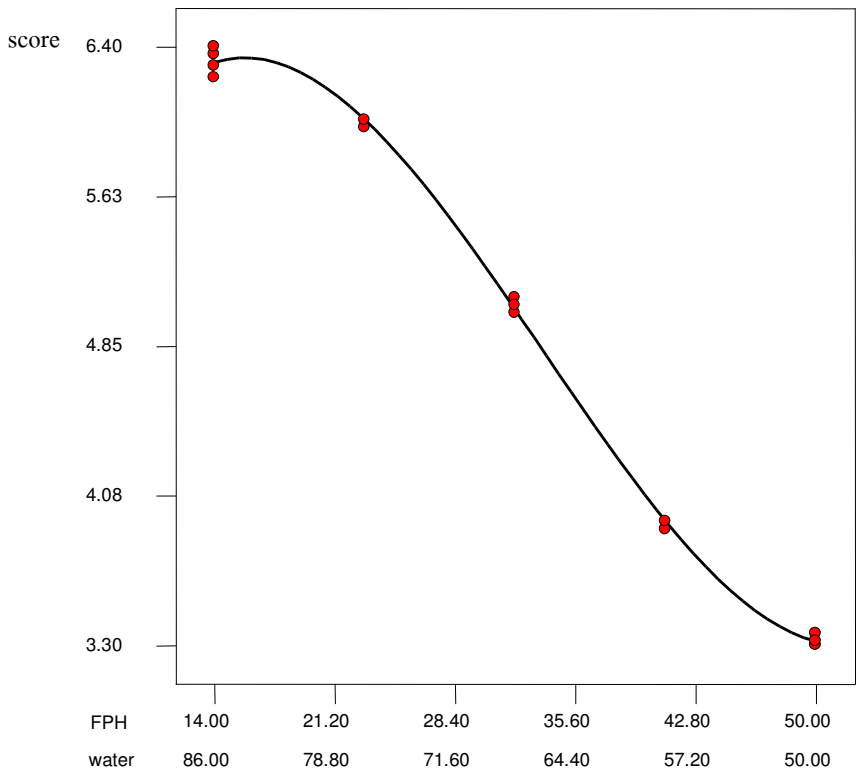
ภาพที่ 3.8 กราฟ contour plot ของคะแนนความชอบในด้านสี (a), กลิ่น (b), รสชาติ (c), ความกรอบ (d), และความชอบรวม (e) ที่ได้จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบและมีสัดส่วนโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่เติมในระดับต่างกัน

Contour plot graph of hedonic rating in term of color (a), odor (b), taste (c), crispness (d), and overall liking (e) of the crispy snack containing fish protein hydrolysate with various fish protein hydrolysate to water ratios.

(b)

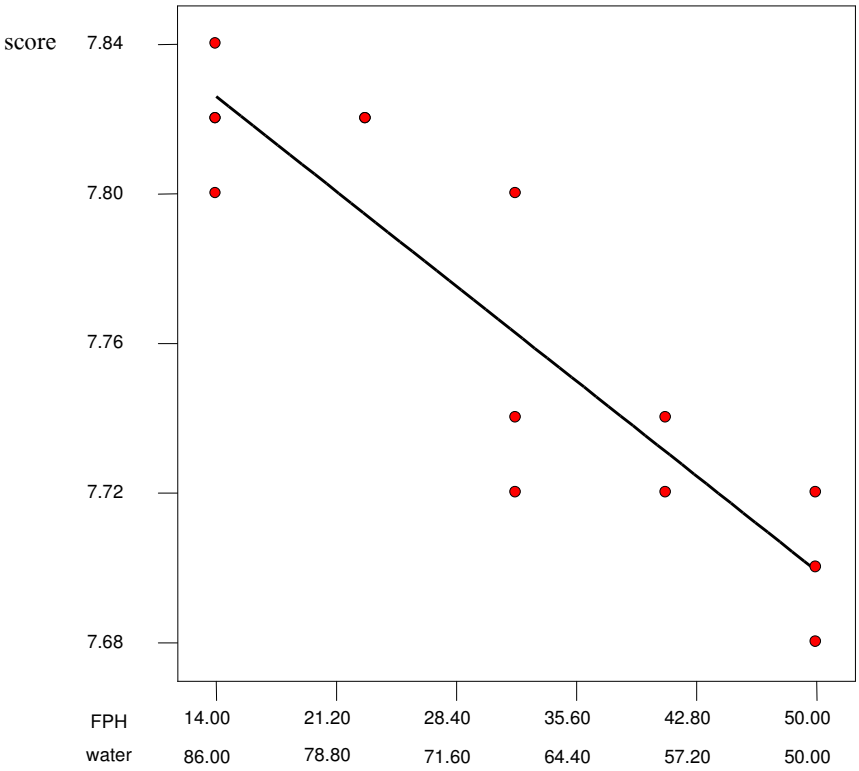

score
6.80
6.65
6.50
6.35
6.20
FPH
14.00
21.20
28.40
35.60
42.80
50.00
water
86.00
78.80
71.60
64.40
57.20
50.00

(c)

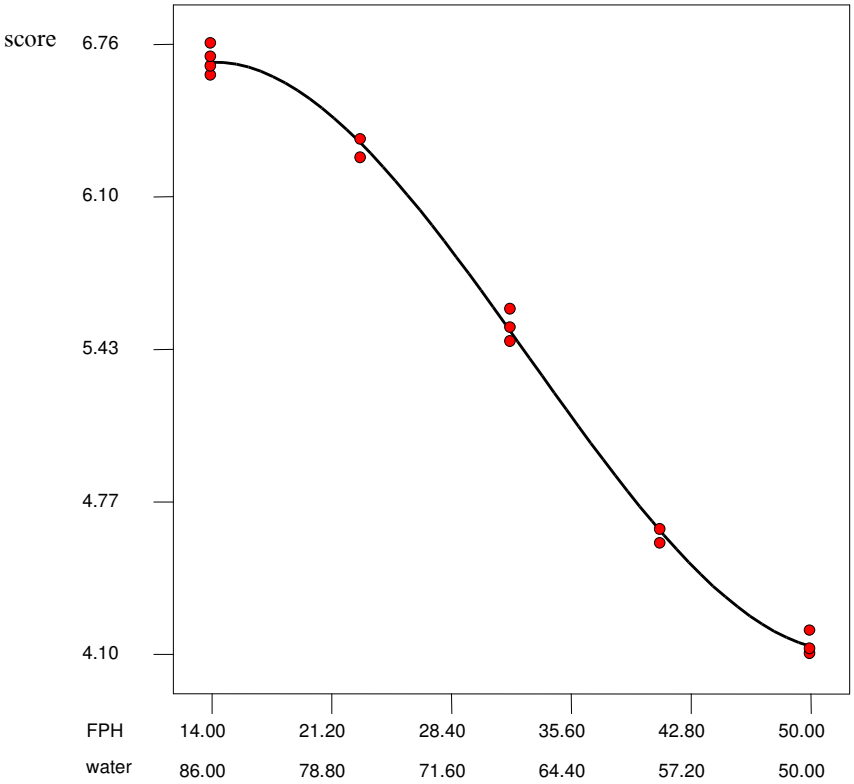

score
6.40
5.63
4.85
4.08
3.30
FPH
14.00
21.20
28.40
35.60
42.80
50.00
water
86.00
78.80
71.60
64.40
57.20
50.00

ภาพที่ 3.8 (ต่อ)

(d)


score
7.84
7.80
7.76
7.72
7.68
FPH
14.00
21.20
28.40
35.60
42.80
50.00
water
86.00
78.80
71.60
64.40
57.20
50.00

(e)


score
6.76
6.10
5.43
4.77
4.10
FPH
14.00
21.20
28.40
35.60
42.80
50.00
water
86.00
78.80
71.60
64.40
57.20
50.00

ภาพที่ 3.8 (ต่อ)

ตารางที่ 3.7 สมการจำลองและค่าสหสัมพันธ์ซึ่งแสดงถึงผลของสัดส่วนของโปรตีนปลาไฮโดร-ไลเสตเข้มข้นต่อน้ำที่เติมที่มีต่อปัจจัยคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

The predictive regression models and goodness-of-fit for sensory properties of the crispy snack containing fish protein hydrolysate with various fish protein hydrolysate to water ratios.

Factor	Regression model	Adj.R^2	*p*	Lack of fit
Color	$Y = -0.23A + 0.075B + 5.53x10^{-3}AB + 3.61x10^{-5}A^2B - 3.61x10^{-5}AB^2$	0.9950	< 0.0001	0.9905
Odor	$Y = -0.22A + 0.075B + 5.38x10^{-3}AB + 3.99x10^{-5}A^2B - 3.99x10^{-5}AB^2$	0.9084	< 0.0001	0.0557
Taste	$Y = 0.35A + 0.041B - 6.50x10^{-3}AB - 6.63x10^{-5}A^2B + 6.63x10^{-5}AB^2$	0.9983	< 0.0001	0.2348
Crispness	$Y = 0.075A + 0.079B$	0.3912	< 0.0001	0.4430
Overall liking	$Y = 0.27A + 0.053B - 4.86x10^{-3}AB - 4.77x10^{-5}A^2B + 4.77x10^{-5}AB^2$	0.9967	< 0.0001	0.3013

Y; sensory score, A; % concentrated fish protein hydrolysate, B; % water, Adj.R^2; The adjusted R^2, *p*; probability level

2.2. ปรับปรุงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ โดยการเติมเครื่องปรุงรสปาปริก้าในปริมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์หลังการอบ เปรียบเทียบกับสูตรการทดลองที่ไม่มีการเติมเครื่องปรุงรสปาปริก้า โดยการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม ปรากฏผลดังตารางที่ 3.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่า การเติมเครื่องปรุงรสปาปริก้ามีผลต่อความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบรวมของผลิตภัณฑ์ (p<0.05) สูตรการทดลองที่มี

การเติมเครื่องปรุงรสปาปริก้ามีคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบรวมเพิ่มขึ้นจากชอบเล็กน้อยเป็นชอบปานกลางเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรการทดลองที่ไม่มีการเติมเครื่องปรุงรสปาปริก้า การเติมเครื่องปรุงรสเป็นการเพิ่มความน่าบริโภคให้แก่ผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งต้องเลือกตามความเหมาะสมหรือชนิดของอาหารขบเคี้ยวเป็นสำคัญ เครื่องปรุงรสที่มีรสเผ็ดจะช่วยดับกลิ่นคาวหรือเพิ่มรสชาติของอาหารได้ดี เพราะรสชาติที่เผ็ดร้อนและกลิ่นที่หอมจะไปกระตุ้นการหลั่งน้ำย่อยและน้ำลาย ทำให้รู้สึกว่าอาหารอร่อยขึ้น (วันดี กฤษพันธ์, 2539; Suderman, 1996) ส่วนคะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านสีและความกรอบ พบว่า การเติมเครื่องปรุงรสปาปริก้าไม่มีผลต่อความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความชอบทั้งสองด้านของผลิตภัณฑ์ (p>0.05)

ตารางที่ 3.8 คะแนนเฉลี่ยความชอบจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี hedonic scale ของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบซึ่งมีการเติมและไม่เติมเครื่องปรุงรสปาปริก้า

Hedonic rating of the crispy snack containing fish protein hydrolysate which added and non added paprika seasoning.

Attribute	Treatment	
	Non added paprika	Added paprika
Color	6.84±0.84a	6.98±0.91a
Odor	6.38±1.00b	7.18+0.96a
Taste	6.40±1.16b	7.20±0.86a
Crispness	7.72±0.81a	7.68±0.71a
Overall liking	6.70±1.07b	7.28±0.95a

Values are the means of 50 panelists.

The same letters under the same row indicate non significant differences (p>0.05).

3. คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะปรากฏแสดงดังภาพที่ 3.9 ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางจุลินทรีย์ ดังตารางที่ 3.9 และ 3.10 กล่าวคือ

3.1. องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบแสดงในตารางที่ 3.9 พบว่า ผลิตภัณฑ์มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ร้อยละ 1.36 10.96 2.16 และ 3.89 โดยน้ำหนักตัวอย่าง ตามลำดับ ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วงของผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่อบเสร็จใหม่ๆ คือ ประมาณร้อยละ 1-5 (Robertson, 1993) และไม่เกินร้อยละ 4 ตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนมอบกรอบ (มอก.1534-2541) เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่ทำจากแป้งเป็นหลักและเติมโปรตีนจากแหล่งต่างๆ เช่น อาหารเช้าจากปลายข้าว ข้าวเกรียบผสมกากถั่วเหลือง ข้าวเกรียบกุ้ง ข้าวเกรียบปลา อาหารขบเคี้ยวเสริมโปรตีนปลาสกัด ขนมอบกรอบรสไก่ ปลาอบกรอบ และปลา-เส้น ซึ่งมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 3.63 3.49 6.60 7.42 8.58 5.76 21.55 และ 24.47 ของน้ำหนัก-แห้ง ตามลำดับ (ดวงใจ ทิระบาล และนงนุช รักสกุลไทย, 2533; ศิราพร วิเศษสุรการ และคณะ, 2534; ปราณิศา เชื้อโพธิ์หัก และคณะ, 2541; อัจฉรา ชนะสิทธิ์, 2541; สุภางค์ เรืองฉาย, 2546) จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีโปรตีนสูงกว่าอาหารขบเคี้ยวรสต่างๆ และใกล้เคียงกับข้าว-เกรียบปลา แต่น้อยกว่าปลาอบกรอบและปลาเส้น นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณโปรตีนสูงกว่าผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวอบกรอบที่มีส่วนผสมหรือกลิ่นรสของปลา กุ้ง และปลาหมึก (จากการสำรวจข้อมูลฉลากโภชนาการของผลิตภัณฑ์จำนวน 5 ยี่ห้อ มีโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 3-7) ซึ่งวางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด ส่วนปริมาณไขมันและเถ้าของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนมอบกรอบกำหนด คือ ไม่เกินร้อยละ 30 และ 4 (มอก.1534-2541) ตามลำดับ

ภาพที่ 3.9 ผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

The crispy snack containing fish protein hydrolysate.

3.2. คุณภาพทางกายภาพ

ผลิตภัณฑ์เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมบาง ความหนาประมาณ 1 มิลลิเมตร มีสีเหลืองอม-น้ำตาล เมื่อวิเคราะห์ค่าสี (ค่า L* ค่า a* และค่า b*) ของผลิตภัณฑ์ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่า L* ค่า a* และค่า b* เท่ากับ 50.77 13.79 และ 29.95 ตามลำดับ ความหนาแน่น ความสามารถในการดูดซับน้ำ และ a_w ของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 28.50 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร 6.24 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง และ 0.3033 ตามลำดับ a_w ที่ทดลองได้อยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับ สำหรับผลิตภัณฑ์คุกกี้และ แครกเกอร์ที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 3-5 ควรมี a_w ประมาณ 0.3 (รัตนันท์ พรรณารุโณทัย, ม.ป.ป) ตามรายงานของ Katz และ Labuza (1981) กล่าวว่า ในสภาวะปกติของการเก็บรักษาอาหารขบเคี้ยว a_w ของผลิตภัณฑ์ควรอยู่ในช่วง 0.3-0.5 ถ้า a_w เกินจาก 0.5 ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเกิด การเปลี่ยนแปลงและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ส่วนค่าความหนาแน่นและความสามารถใน การดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์ยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอนกำหนดไว้ อาจเนื่องจากผู้บริโภคที่ต่างเพศ ต่างวัยชอบเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน อีกทั้งอาหารอบกรอบมีรูปร่างที่หลากหลายต่างกันไป อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ยังมีความหนาแน่นและความสามารถในการดูดซับน้ำอยู่ในช่วงเดียวกันกับผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่วางจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไป ซึ่งได้มีการสุ่มตัวอย่างมาจากท้องตลาด (ตารางภาคผนวกที่ 3) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 21.39-40.65 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร 2.20-7.14 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ยังมีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากเอ๊กซ์ทรูชันที่ทำจากแป้งข้าวผสมเนื้อปลาซึ่งผ่านการย่อยสลายตัวเองปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 20.969-32.846 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (Choudhury and Gautam, 2003) และผลิตภัณฑ์จากเอ๊กซ์ทรูชันที่ทำจากแป้งข้าวผสมเนื้อปลาซึ่งมีความหนาแน่นระหว่าง 15-36 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (Gogoi *et al*., 2003)

3.3. วิตามินและแร่ธาตุ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุ ได้แก่ วิตามินเอ บี1 บี2 แคลเซียม โซเดียม และเหล็ก แสดงผลในตารางที่ 3.9 พบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบไม่มีวิตามินเอในองค์ประกอบ มีวิตามินบี1 บี2 แคลเซียม และเหล็กในปริมาณน้อย (0.38 0.05 35.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเสริมวัสดุเศษเหลือจากสัตว์ปริมาณร้อยละ 4.8 ซึ่งมีวิตามินเอ 0.20 ไมโครกรัมต่อกรัมตัวอย่าง แคลเซียม และเหล็ก เท่ากับ 1.52 และ 0.05 มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ (Subba, 2002) ทั้งนี้เพราะส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้นี้มีแป้งเป็นส่วนผสมหลักและมีการเติมโปรตีนปลาไฮโดรไลเสตในปริมาณน้อย สำหรับปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์สูงถึง 1,328 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง อาจเนื่องจากการเติมสาร

ปรุงแต่งรสชาติ ซึ่งมีส่วนของผงชูรสและเกลือโซเดียมอยู่ อย่างไรก็ตามปริมาณโซเดียมยังอยู่ในระดับที่แนะนำให้บริโภคต่อวัน คือ 2,400 มิลลิกรัม (ปฏิมา พรพจมาน, 2547)

3.4. ชนิดและปริมาณกรดอะมิโน

จากตารางที่ 3.10 แสดงชนิดและปริมาณกรดอะมิโนในผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ พบว่า ปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย คือ ไอโซลิวซีนและฟีนิลอะลานีนรวมกับไทโรซีน สูงกว่าข้อกำหนดมาตรฐานของ FAO/WHO (1973) ซึ่งกำหนดปริมาณไอโซลิวซีน ลิวซีน ไลซีน เมทไธโอนีนรวมซีสติน ฟีนิลอะลานีนรวมไธโรซีน ทรีโอนีน ทริปโตเฟน และวาลีน เท่ากับ 40 77 55 35 60 40 10 และ 50 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับอาหารขบเคี้ยวเสริมโปรตีนปลาสกัดของ อัจฉรา ชนะสิทธิ์ (2541) ซึ่งมีปริมาณไอโซลิวซีน ลิวซีน ไลซีน เมทไธโอนีนรวมซีสตีน ฟีนิลอะลานีนรวมไธโรซีน ทรีโอนีน วาลีน กรดแอสพาติก ซีรีน กรดกลูตามิก โพรลีน ไกลซีน อะลานีน ฮีสทีดีน และอะจีนีน เท่ากับ 38 107 35 33 66 37 49 67 44 18 68 38 65 26 และ 43 มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน ตามลำดับ พบว่า ผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบมีปริมาณกรดแอสพาติก ซีรีน ไกลซีน กรดกลูตามิก โพรลีน ไลซีน ไอโซลิวซีน และอะจีนีนฟีนิลอะลานีนรวมไธโรซีน สูงกว่า อาจเป็นเพราะความแตกต่างของส่วนผสมในแต่ละผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ปริมาณกรดอะมิโนดังกล่าวอาจมีผลต่อการเกิดรสขมของผลิตภัณฑ์ได้ ตามที่ Noguchi และคณะ (1975) รายงานว่า สายเปปไทด์ที่ประกอบด้วย ไกลซีน ไอโซลิวซีน ลิวซีน ฟีนิลอะลานีน โพรลีน และวาลีน มีรสขม เพราะมีองค์ประกอบเป็นกรดอะมิโนที่มีหมู่ไม่ชอบน้ำจำนวนมาก นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ยังมีกรดกลูตามิกสูงถึง 5.03 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ทั้งนี้สอดคล้อง กับปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์ที่สูงถึง 1,328 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (ตารางที่ 3.9) เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อกรดอะมิโนรวมทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 0.27

3.5. คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ แสดงผลดังตารางที่ 3.9 พบว่า ผลิตภัณฑ์มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อ 1 กรัมตัวอย่าง และปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อ 1 กรัมตัวอย่าง ปริมาณจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์-อุตสาหกรรมขนมอบกรอบซึ่งกำหนดให้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ไม่เกิน 100 โคโลนีต่อ 1 กรัมตัวอย่าง และปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 10 โคโลนีต่อ 1 กรัมตัวอย่าง (มอก.1534-2541) ผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบจึงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค

ตารางที่ 3.9 องค์ประกอบทางโภชนาการ คุณสมบัติทางจุลินทรีย์ และกายภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลา ไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

Nutrient composition, microbial and physical properties of the crispy snack containing fish protein hydrolysate.

Nutrient composition/microbial/physical properties	Content/score
Moisture[(a)]	1.36±0.03 % wet basis
Protein[(a)]	10.96±0.08 % wet basis
Fat[(a)]	2.16±0.16 % wet basis
Ash[(a)]	3.89±0.06 % wet basis
Vitamin A[(b)]	Not detected
Vitamin B1[(b)]	0.38 mg/100 g sample
Vitamin B2[(b)]	0.05 mg/100 g sample
Calcium[(b)]	35.00 mg/100 g sample
Sodium[(b)]	1,328.00 mg/100 g sample
Iron[(b)]	2.00 mg/100 g sample
Water activity (a_w)[(a)]	0.3033±0.0016
Total Viable Count	< 100 CFU/g
Yeast and mold	< 10 CFU/g
L*[(a)]	50.77±0.11
a*[(a)]	13.79±0.10
b*[(a)]	29.95±0.24
Bulk density[(a)]	28.50±1.15 g/100 ml
Water adsorption index[(a)]	6.24±0.10 g/g sample dry basis

[(a)]Values are means ± standard deviations of 6 determinations (3 determinations on each of 2 lots of crispy snack containing fish protein hydrolysate).

[(b)]Values are determined by Agro-Industry Development Center for Export, Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University.

ตารางที่ 3.10 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ (กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง)

Amino acid composition of the crispy snack containing fish protein hydrolysate (g/100 g sample).

Amino acid composition	Content
Non-essential amino acid	
Aspartic acid	0.84
Serine	0.60
Glutamic acid	5.03
Glycine	0.77
Tyrosine	0.25
Arginine	0.58
Cystine	0.12
Alanine	0.57
Proline	1.01
Essential amino acid	
Histidine	0.20
Threonine	0.36
Valine	0.45
Methionine	0.21
Lysine	0.51
Isoleucine	0.51
Leucine	0.78
Phenylalanine	0.55
Total	13.33
Essential : total amino acid ratio	0.27

All values are determined by Kasetsart University Research and Development Institute, Kasetsart University.

4. การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

นำผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบมาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคในจังหวัดสงขลา จำนวน 200 คน โดยทำการสอบถามเพื่อหาข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภค พฤติกรรมการซื้อและบริโภคอาหารขบเคี้ยว ความชอบที่ผู้บริโภคมีต่อผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบในปัจจัยคุณภาพต่าง ๆ ได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม และการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งใช้แบบสอบถามในภาคผนวก จ3 ปรากฏผลดังตารางที่ 3.11 3.12 3.13 3.14 และ 3.15

4.1. ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภค

ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของผู้บริโภคในจังหวัดสงขลาที่ทดสอบผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 3.11) จำนวน 200 คน เป็นเพศชาย ร้อยละ 33.50 เพศหญิง ร้อยละ 66.50 ซึ่งเป็นผู้ที่มีอายุต่ำกว่า 15 ปี 15-20 ปี และ 21-25 ปี ร้อยละ 19.00 31.00 และ 19.00 ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่เป็นนักเรียน/นักศึกษา ร้อยละ 60.00 ระดับการศึกษาของผู้บริโภคส่วนใหญ่อยู่ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นหรือต่ำกว่า และปริญญาตรี ร้อยละ 33.00 และ 37.00 ตามลำดับ และมีรายได้น้อยกว่า 5,000 บาท/เดือน ร้อยละ 53.00

4.2. พฤติกรรมการซื้อและบริโภคอาหารขบเคี้ยว

จากการทดสอบผู้บริโภค ดังแสดงในตารางที่ 3.12 พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบรับประทานอาหารขบเคี้ยว ร้อยละ 67.50 มีเพียงร้อยละ 9.50 ที่ไม่ชอบรับประทานอาหารขบเคี้ยว พบว่า เพศ อายุ และการศึกษาของผู้บริโภคมีผลต่อความชอบอาหารขบเคี้ยว เพศหญิงชอบทานอาหารขบเคี้ยวมากถึงร้อยละ 75.90 แต่เพศชายชอบทานอาหารขบเคี้ยวเพียงแค่ร้อยละ 50.70 เมื่อพิจารณาความแตกต่างของอายุ พบว่า ผู้บริโภคที่มีอายุ 36 ปีขึ้นไป ชอบทานอาหารขบเคี้ยวเพียงร้อยละ 46.20 แต่ผู้บริโภคในช่วงอายุที่ต่ำกว่า 36 ปี มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 60 ที่ชอบรับประทานอาหารขบเคี้ยว ในด้านของการศึกษา พบว่า ผู้บริโภคที่มีการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายหรืออนุปริญญาหรือต่ำกว่าที่ไม่ชอบทานอาหารขบเคี้ยวมีไม่เกินร้อยละ 5 แต่ผู้บริโภคที่

มีการศึกษาในระดับปริญญาตรีและสูงกว่าที่ไม่ชอบทานอาหารขบเคี้ยวมีถึงร้อยละ 18.90 และ 13.30 ตามลำดับ

จากการทดสอบความถี่ในการบริโภคอาหารขบเคี้ยว พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่จะบริโภคอยู่ในช่วง 2-4 ครั้ง/สัปดาห์ และน้อยกว่า 2 ครั้ง/สัปดาห์ ร้อยละ 36.50 และ 28.70 ตามลำดับ พบว่า เพศ อาชีพ และรายได้มีผลต่อความถี่ในการบริโภคอาหารขบเคี้ยว (p<0.05) โดยเพศหญิงนิยมบริโภคอาหารขบเคี้ยว 2-4 ครั้ง/สัปดาห์ ร้อยละ 42.30 ซึ่งบ่อยกว่าเพศชายที่นิยมบริโภคน้อยกว่า 2 ครั้ง/สัปดาห์ ร้อยละ 46.60 ในกลุ่มนักเรียน/นักศึกษา พนักงานบริษัท และลูกจ้าง ร้อยละ 33.60 50.00 และ 62.50 ตามลำดับ นิยมบริโภคอาหารขบเคี้ยว 2-4 ครั้ง/สัปดาห์ แต่ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจและผู้ที่ค้าขายหรือทำธุรกิจส่วนตัวนิยมบริโภคอาหารขบเคี้ยวน้อยกว่า 2 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นร้อยละ 64.30 และ 50.00 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มแม่บ้านส่วนใหญ่ร้อยละ 80.00 บริโภคอาหารขบเคี้ยว 5-6 ครั้ง/สัปดาห์ ในเรื่องของรายได้ พบว่า ผู้ที่มีรายได้น้อยกว่า 5,000 บาท/เดือน และ 5,000-10,000 บาท/เดือน ส่วนใหญ่นิยมบริโภคอาหารขบเคี้ยว 2-4 ครั้ง/สัปดาห์ ร้อยละ 33.30 และ 42.60 ตามลำดับ ทั้งนี้ถี่กว่าผู้ที่มีรายได้สูงกว่า คือ 10,001-30,000 บาท/เดือน และสูงกว่า 30,000 บาท/เดือน ซึ่งนิยมบริโภคน้อยกว่า 2 ครั้ง/สัปดาห์ เป็นร้อยละ 47.80 และ 66.70 ตามลำดับ

นอกจากนี้ผู้บริโภคที่รับประทานอาหารขบเคี้ยวเป็นผู้ที่เคยรับประทานอาหารขบเคี้ยวที่มีส่วนผสมของปลาหรือกลิ่นรสปลา ร้อยละ 94.50 ส่วนใหญ่ชอบรับประทานอาหารขบเคี้ยวที่มีส่วนผสมของปลาหรือกลิ่นรสปลา ร้อยละ 60.50 ไม่ชอบรับประทานอาหารขบเคี้ยวที่มีส่วนผสมของปลาหรือกลิ่นรสปลาเพียงร้อยละ 4.70 และพบว่า รายได้ของผู้บริโภคมีผลต่อความชอบที่ผู้บริโภคมีต่ออาหารขบเคี้ยวที่มีส่วนผสมของปลาหรือกลิ่นรสปลา (p<0.05) กล่าวคือ ผู้ที่มีรายได้สูงกว่า 30,000 บาท/เดือน ชอบรับประทานอาหารขบเคี้ยวเพียงร้อยละ 37.50 แต่ผู้ที่มีรายได้ต่ำกว่า 30,000 บาท/เดือน ชอบทานอาหารขบเคี้ยวมากกว่าร้อยละ 50 ผู้ที่มีรายได้มากกว่า 10,000 บาท/เดือน ไม่ชอบทานอาหารขบเคี้ยวมากกว่าร้อยละ 12 ส่วนผู้ที่มีรายได้น้อยกว่า 10,000 บาท/เดือน ที่ไม่ชอบทานอาหารขบเคี้ยวมีน้อยกว่าร้อยละ 5 ซึ่งสถานที่ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ ซื้อผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีส่วนผสมของปลาหรือกลิ่นรสปลา คือ ร้านสะดวกซื้อ อย่างเช่น 7-Eleven ร้อยละ 78.50 ร้านขายของชำ ร้อยละ 61.60 และห้างสรรพสินค้า ร้อยละ 59.30

ตารางที่ 3.11 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้บริโภคที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

Demographic data of consumer evaluated acceptability of crispy snack containing fish protein hydrolysate.

Demographics	Consumer frequency (%),		
	Male (N = 67)	Female (N = 133)	Total (N = 200)
Age			
Under 15 years old	7.0	12.0	19.0
15-20 years old	9.0	22.0	31.0
21-25 years old	3.5	15.5	19.0
26-30 years old	2.0	8.0	10.0
31-35 years old	4.0	4.0	8.0
Over 36 years old	8.0	5.0	13.0
Occupation			
Student	17.5	42.5	60.0
Government officer	4.0	4.0	8.0
Officer	8.0	13.0	21.0
Housewife	1.0	2.0	3.0
Seller/Business owner	2.0	2.0	4.0
Employee	1.0	3.0	4.0
Education			
Junior high school	11.0	22.0	33.0
High school	2.5	7.5	10.0
Diploma	3.5	9.0	12.5
Bachelor's degree	12.0	25.0	37.0
Master degree or higher	4.5	3.0	7.5
Income			
Under 5,000 bahts	16.5	36.5	53.0
5,000-10,000 bahts	4.5	23.5	28.0
10,001-30,000 bahts	7.5	5.5	13.0
30,000 bahts and over	5.0	1.0	6.0

ตารางที่ 3.12 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการซื้อและบริโภค

Data of consumer buying and consuming behavior.

Question	Frequency (%)		
	Gender		Total
	Male	Female	
1. Do you like the crispy snacks?			
like	17.0	50.0	67.5
Dislike	4.5	5.0	9.5
Neither like nor dislike	12.0	11.0	23.0
2. How often do you eat the crispy snacks?[(a)]			
< 2 times/week	14.9	13.8	28.7
2-4 times/week	7.7	28.7	36.5
5-6 times/week	5.0	12.7	17.7
everyday	4.4	12.7	17.1
3. Have you ever eaten the fish snacks? [(a)]			
Yes	28.7	65.7	94.5
No	3.3	2.2	5.5
4. Do you like the fish snacks?[(b)]			
like	15.7	44.8	60.5
Dislike	2.9	1.7	4.7
Neither like nor dislike	11.6	23.3	34.9
5. Where did you buy the fish snacks?[(b)]			
Grocery	18.6	43.0	61.6
Convenient store	22.7	55.8	78.5
Department store	16.3	43.0	59.3
Fresh market	1.2	9.9	11.0

[(a)]Only the consumer who answer “Like” and “Neither like nor dislike” in the question 1

[(b)]Only the consumer who answer “Yes” in the question 3

นอกจากนี้ในการเลือกซื้ออาหารขบเคี้ยวแต่ละครั้งผู้บริโภคจะพิจารณาความสำคัญของเหตุผลในการเลือกซื้อจากที่มีความสำคัญมากที่สุดจนถึงน้อยที่สุด ดังนี้ รสชาติ คุณค่าทางอาหาร ราคา ภาชนะบรรจุ และโฆษณาจูงใจ ตามลำดับ ซึ่งเพศหญิงจะให้ความสำคัญกับทุกปัจจัยแตกต่างกัน (p<0.05) แต่เพศชายจะให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านราคาและภาชนะบรรจุ ไม่แตกต่างกัน (p>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ลำดับความสำคัญของเหตุผลในการเลือกซื้ออาหารขบเคี้ยว

The importance ranking for buying reasons of the crispy snacks.

Reason	Rank score		
	Gender		Total
	Male (N=67)	Female (N=133)	(N=200)
Taste	1.40d	1.57e	1.64e
Nutrition	2.07c	2.09d	2.25d
Package	3.19b	3.36c	3.57c
Price	3.12b	3.07b	3.34b
Advertising	3.64a	4.01a	4.20a

Only the consumer who answer “like” and “Neither like nor dislike” in the question 1(table 3.12).

The same letters under the column values indicate non significant differences (p>0.05).

1 = the most important and 5 = the least important

4.3. การยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

เมื่อผู้บริโภคทำการทดสอบผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดร-ไลเสตเป็นส่วนประกอบ โดยวิธี hedonic scale (7 คะแนน) ซึ่งให้ 1 เป็นคะแนนที่ไม่ชอบมากที่สุด และ 7 เป็นคะแนนที่ชอบมากที่สุด พบว่า ผู้บริโภคมีความชอบต่อผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ (พิจารณาโดยรวมทั้งสี ขนาด และรูปร่าง) กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง โดยมีคะแนนเฉลี่ย 5.01 5.43 5.03 5.98 และ 5.35 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความถี่ของช่วงคะแนนต่อปัจจัยคุณภาพทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ พบว่า ปัจจัยด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น และความชอบรวม ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง เป็นร้อยละ 50.5 54.5 และ 51.5 ตามลำดับ ในปัจจัยด้านรสชาติ ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยและชอบปานกลาง เป็นร้อยละ 22.0 และ 36.5 ตามลำดับ ส่วนปัจจัยด้านความกรอบ ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานปานกลางและชอบมากที่สุด เป็นร้อยละ 48.5 และ 32.0 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.14

ทั้งนี้จากการทดสอบ พบว่า อายุ การศึกษา และความถี่ในการบริโภคอาหารขบเคี้ยวมีผลต่อความชอบรวมของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ (p<0.05) ผู้บริโภคที่มีอายุต่ำกว่า 15 ปี ร้อยละ 76.30 ให้คะแนนความชอบรวมในระดับปานกลาง ผู้ที่มีอายุในช่วง 15-20 21-25 26-30 และ 31-35 ปี ให้คะแนนความชอบรวมในระดับชอบปานกลาง ร้อยละ 46.80 44.70 50.00 และ 43.8 และชอบเล็กน้อย ร้อยละ 19.40 18.40 20.00 และ 25.00 ตามลำดับ และผู้ที่มีอายุ 36 ปีขึ้นไป ให้คะแนนความชอบรวมในระดับปานกลางร้อยละ 42.30 ชอบเล็กน้อยร้อยละ 19.20 และไม่ชอบปานกลางร้อยละ 15.40 ดังนั้นจะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบจะได้รับความชอบในกลุ่มผู้บริโภคที่มีอายุน้อยกว่า 15 ปี ส่วนผู้บริโภคที่มีอายุ 36 ปีขึ้นไป ได้รับความชอบน้อย ในด้านการศึกษา พบว่า ผู้บริโภคที่ศึกษา ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายหรืออนุปริญญาหรือต่ำกว่า ส่วนใหญ่ให้คะแนน 6 ถึง 7 สูงกว่า ร้อยละ 72 ส่วนผู้ที่มีการศึกษาในระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่า ให้คะแนนความชอบในระดับ ชอบปานกลางร้อยละ 43.20 และ 26.70 และชอบเล็กน้อยร้อยละ 23.00 และ 26.70 ตามลำดับ สำหรับผู้ที่ทานอาหารขบเคี้ยวเป็นประจำทุกวันให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลางและชอบมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 45.20 และ 29.00 ตามลำดับ ส่วนผู้บริโภคในกลุ่มความถี่ของ การบริโภคที่ต่ำกว่านั้น ส่วนใหญ่จะให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานปานกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าผู้

บริโภคที่ทานอาหารขบเคี้ยวน้อยกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ประมาณร้อยละ 23 และ 40 ให้คะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อยและชอบปานกลาง

นอกจากนี้ยังพบว่า การศึกษามีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ในทุกๆ ด้าน (p <0.05) กล่าวคือ ผู้บริโภคที่มีการศึกษาสูงกว่าปริญญาตรีให้คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และความชอบรวม ที่ระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 53.40 60.00 53.30 66.70 และ 60.10 ตามลำดับ ในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ ผู้ที่มีการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรีประมาณร้อยละ 90 ให้คะแนนตั้งแต่ชอบเล็กน้อยถึงชอบมากที่สุด ส่วนผู้ที่มีการศึกษาในระดับปริญญาตรีที่ให้คะแนนในช่วงนี้มีร้อยละ 70 สำหรับด้านรสชาติ พบว่าผู้ที่มีการศึกษาในระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่าที่ให้คะแนนความชอบในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบมากที่สุด มีร้อยละ 64.90 และ 63.30 ตามลำดับ แต่ผู้ที่มีการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรีมีประมาณร้อยละ 75 ที่ให้คะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบมากที่สุด ผู้ที่มีการศึกษาในระดับปริญญาตรีหรือต่ำกว่าให้คะแนนความชอบด้านความกรอบอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงชอบมากที่สุดสูงกว่าร้อยละ 85

ตารางที่ 3.14 คะแนนเฉลี่ยความชอบผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

Liking score on the crispy snack containing fish protein hydrolysate.

Attribute	Liking level (%)							Mean score*
	Like very much	Like moderately	Like slightly	Neither like nor dislike	Dislike slightly	Dislike moderately	Dislike very much	
Appearance	3.5	50.5	13.5	19.0	6.0	4.5	3.0	5.010
Odor	13.5	54.5	12.5	8.0	6.0	3.5	2.0	5.430
Taste	11.5	36.5	22.0	14.0	7.5	6.0	2.5	5.025
Crispness	32.0	48.5	9.0	8.5	0.5	1.0	0.5	5.980
Overall liking	9.5	51.5	17.5	13.5	3.0	3.5	1.5	5.345

*Values are the means of 200 consumers.

1 = dislike very much and 7 = like very much

อย่างไรก็ตามหากมีผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบจำหน่ายในท้องตลาด โดยบรรจุขนาดและราคาเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวในท้องตลาด คือ 5 บาทต่อถุง (30 กรัม) พบว่า ผู้บริโภคร้อยละ 82.50 คิดว่าจะซื้อผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยที่ผู้บริโภคที่ทานอาหารขบเคี้ยวน้อยกว่า 2 ครั้ง/สัปดาห์ ตัดสินใจจะไม่ซื้อมากกว่าร้อยละ 28 และมีผู้บริโภคที่อายุมากกว่า 36 ปี เพียงร้อยละ 61.50 ที่คิดจะซื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งน้อยกว่าผู้ที่มีอายุต่ำกว่า 36 ปี ซึ่งมีแนวโน้มจะซื้อสูงกว่าร้อยละ 75 สำหรับผู้บริโภคที่มีการศึกษาสูงกว่าปริญญาตรีมีเพียงร้อยละ 46.70 ที่มีแนวโน้มจะซื้อผลิตภัณฑ์ น้อยกว่าผู้บริโภคที่มีการศึกษาต่ำกว่าซึ่งมีความคิดจะซื้อสูงกว่าร้อยละ 70 และหากมีข้อมูลบ่งชี้เพิ่มเติมให้ผู้บริโภคทราบว่า “อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบมีโปรตีนร้อยละ 10 ซึ่งมากกว่าอาหารขบเคี้ยวทั่วไปในท้องตลาดที่มีโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 3-7 และโปรตีนองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตที่วางจำหน่ายนี้เป็นโปรตีนที่ผ่านการย่อยสลายให้มีขนาดเล็กแล้ว ร่างกายจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลย” มีผู้บริโภคคิดว่าจะตัดสินใจซื้อเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 88.00 ทั้งนี้ผู้บริโภคที่มีอายุมากกว่า 36 ปี คิดว่าจะซื้อผลิตภัณฑ์เพียงร้อยละ 65.40 น้อยกว่าผู้บริโภคกลุ่มที่มีอายุต่ำกว่า 36 ปี ซึ่งมีแนวโน้มจะซื้อสูงกว่าร้อยละ 80 เช่นเดียวกันนี้ผู้บริโภคที่มีระดับการศึกษาสูงกว่าปริญญาตรีเพียงร้อยละ 53.30 ที่มีแนวโน้มจะซื้อผลิตภัณฑ์ แต่กลุ่มผู้บริโภคที่มีการศึกษาในระดับปริญญาตรีและต่ำกว่านั้น คิดจะซื้อผลิตภัณฑ์นี้มากกว่า ร้อยละ 75 ดังแสดงในตารางที่ 3.15

การให้ข้อมูลด้านคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์มีอิทธิพลทำให้ผู้บริโภคที่ตัดสินใจซื้อมีปริมาณเพิ่มขึ้น (p<0.05) และจากการทดสอบ McNemar’s พบว่า ผู้บริโภคมีโอกาสซื้อผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ร้อยละ 5.45-5.55 เมื่อทราบข้อมูลดังกล่าว (ตารางภาคผนวกที่ 4)

ตารางที่ 3.15 การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบ

Buying decision of consumer on the crispy snack containing fish protein hydrolysate.

Parameter	Consumer (%)	Crispy snack[(a)] (%)		Crispy snack[(b)] (%)	
		buy	not	buy	not
Total consumer (%)	100	82.5	17.5	88.0	12.0
Sex					
Male	33.5	79.1	20.9	85.1	14.9
Female	66.5	84.2	15.8	89.5	10.5
Age					
Under 15 years old	19.0	94.7	5.3	97.4	2.6
15-20 years old	31.0	82.3	17.7	90.3	9.7
21-25 years old	19.0	89.5	10.5	94.7	5.3
26-30 years old	10.0	75.0	25.0	85.0	15.0
31-35 years old	8.0	81.3	18.8	81.3	18.8
Over 36 years old	13.0	61.5	38.5	65.4	34.6
Education					
Junior high school	33.0	90.9	9.1	93.9	6.1
High school	10.0	90.0	10.0	100.0	0.0
Diploma	12.5	72.0	28.0	76.0	24.0
Bachelor's degree	37.0	83.8	16.2	90.5	9.5
Master degree or higher	7.5	46.7	53.3	53.3	46.7
Consuming frequency					
< 2 times/week	28.7	71.2	28.8	80.8	19.2
2-4 times/week	36.5	89.4	10.6	93.9	6.1
5-6 times/week	17.7	93.8	6.3	96.9	3.1
everyday	17.1	83.9	16.1	87.1	12.9

(a) The product at the price of 5 bahts per package (30 grams), (b) The product is detailed that "product is good protein source" and the price of 5 bahts per package (30 grams)

5. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบในระหว่างการเก็บรักษา

นำผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบมาบรรจุในถุง OPP/MPET/LLDPE น้ำหนักถุงละ 30 กรัม และเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (30±5 องศาเซลเซียส) เป็นเวลานาน 2 เดือน โดยทำการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในวันที่ 0 15 30 40 50 และ 60 พบว่า

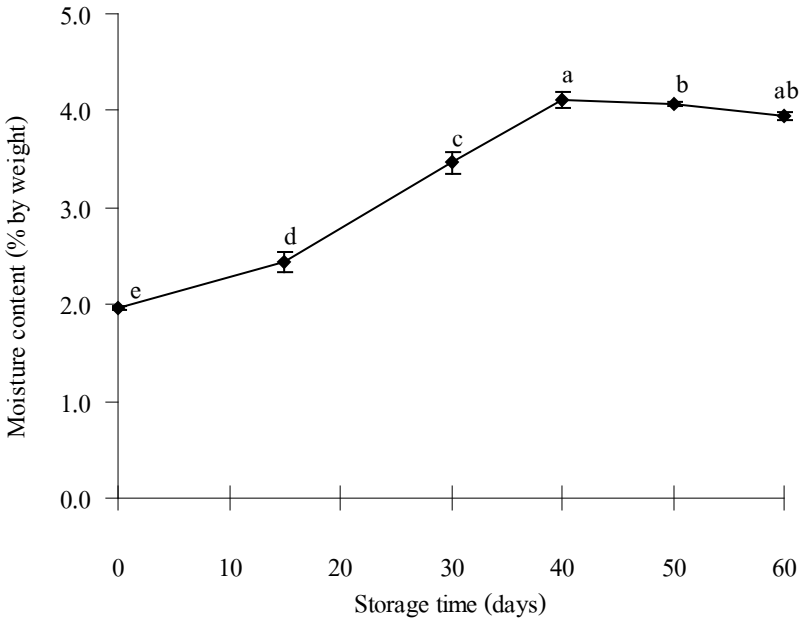
5.1. คุณภาพทางเคมี

5.1.1. ความชื้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลานาน 2 เดือน (ภาพที่ 3.10) พบว่า ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงและมีค่าเพิ่มขึ้น (p<0.05) โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 1.96-4.11 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่อบเสร็จใหม่ๆ และมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1-5 สามารถดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ง่าย (Robertson, 1993) เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานานจึงมีปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ใช้มีคุณสมบัติป้องกันความชื้นได้ดี (อัญชลี กมลรัตนกุล, 2537) ปริมาณความชื้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

5.1.2. วอเตอร์แอคติวิตี้

ผลการวิเคราะห์วอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยบรรจุในถุง OPP/MPET/LLDPE น้ำหนักถุงละ 30 กรัม แสดงดังภาพที่ 3.11 a_w มีค่าเพิ่มขึ้น (p<0.05) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลานาน 2 เดือน โดยมีค่าเพิ่มจาก 0.31 ถึง 0.40 ผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่อบเสร็จใหม่ๆ และมี a_w ประมาณ 0.1 จะสามารถดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ง่าย (Robertson, 1993) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวข้างต้น นอกจากนี้ค่า a_w ที่ สูงกว่า 0.3 ของอาหารอบแห้งที่มีความชื้นต่ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ได้ง่าย (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก, 2532) แต่อย่างไรก็ตาม a_w ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เนื่องจากในสภาวะปกติของการเก็บรักษาอาหารขบเคี้ยว a_w ควรอยู่ในช่วง 0.3-0.5 ถ้า a_w เกินจาก 0.5 ผลิตภัณฑ์จะมีความกรอบลดลง ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงและไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Katz and Labuza, 1981)

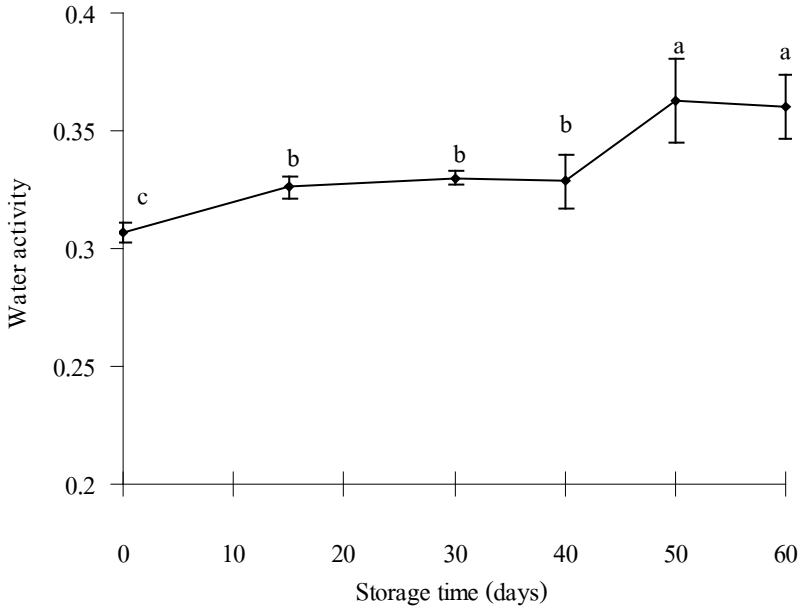


ภาพที่ 3.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบเก็บรักษาในถุง OPP/MPET/LLDPE ที่อุณหภูมิห้อง

Changes of moisture content of the crispy snack containing fish protein hydrolysate packed OPP/MPET/LLDPE bag during storage at room temperature.

Different letters indicate the significant differences (p<0.05).

Bars represent the standard deviation of triplicates determinations.



ภาพที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงวอเตอร์แอคติวิตี้ของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบเก็บรักษาในถุง OPP/MPET/LLDPE ที่อุณหภูมิห้อง

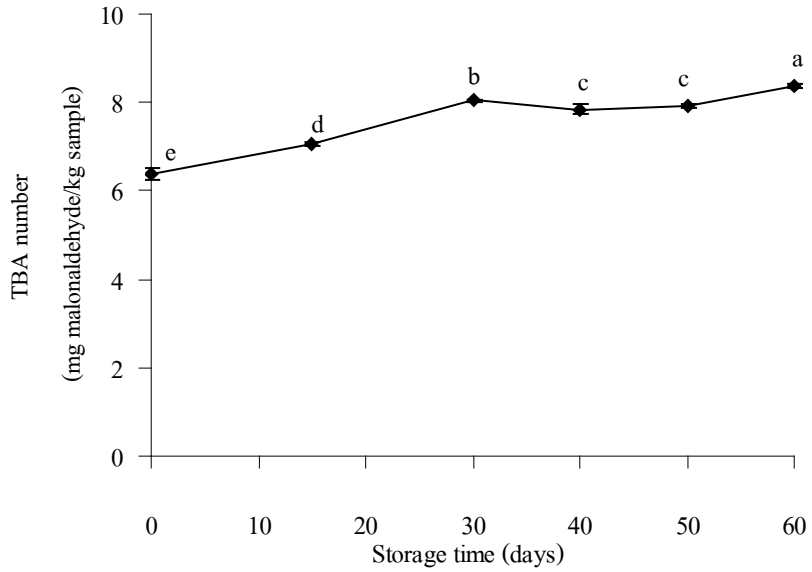
Changes of water activity of the crispy snack containing fish protein hydrolysate packed OPP/MPET/LLDPE bag during storage at RT.

Different letters indicate the significant differences (p<0.05).

Bars represent the standard deviation of duplicates determinations.

5.1.3. TBA number

ภาพที่ 3.12 แสดงผลการวิเคราะห์ TBA number ของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 2 เดือน พบว่า TBA number ของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น (p<0.05) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยมีค่าอยู่ในช่วง 6.38-8.37 มิลลิกรัมมาโลนอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง จะเห็นว่า TBA number มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันที่ 30 หลังจากนั้นจึงเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่ง TBA number เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงการเกิดกลิ่นเหม็นหืนของผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบอันเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน สำหรับกระบวนการเกิดกลิ่นเหม็นหืนในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสและออกซิเดชันของไขมันองค์ประกอบในอาหารขบเคี้ยว แม้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบจะไม่มีการเติมไขมันในส่วนผสม แต่มีการใช้ไขมันทาบนแผ่นพลาสติกในขั้นตอนการรีดแผ่น ซึ่งอาจเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระได้ เมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในระหว่างการนึ่งให้สุก จึงอาจเกิดกลิ่นหืนได้ เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวเสริมโปรตีนปลาสกัดซึ่งมีปริมาณ TBA ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 8 สัปดาห์ อยู่ในช่วง 5.07-6.36 มิลลิกรัมมาโลนอลดีไฮด์ต่อกิโลกรัม-ตัวอย่าง จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบมี TBA number ค่อนข้างสูง อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน อีกทั้งผลิตภัณฑ์ มี a_w ประมาณ 0.3-0.4 ซึ่งอาหารอบแห้งที่มีปริมาณความชื้นต่ำ การสูญเสียคุณภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อ a_w สูงกว่า 0.3 โดยเฉพาะการเกิดออกซิเดชันของไขมันจะเกิดได้อย่างรวดเร็วกว่าปฏิกิริยาอื่นๆ (Labuza, 1984) แต่ทั้งนี้การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในถุง OPP/MPET/LLDPE ช่วยให้ TBA number มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เพราะบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวสามารถป้องกันความชื้นได้ดี ออกซิเจนซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดกลิ่นเหม็นหืนจากไขมันของผลิตภัณฑ์จึงมีน้อย อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ ยังไม่ปรากฏพบกลิ่นหืนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส



ภาพที่ 3.12 การเปลี่ยนแปลง TBA number ของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบเก็บรักษาในถุง OPP/MPET/LLDPE ที่อุณหภูมิห้อง

Changes of TBA number of the crispy snack containing fish protein hydrolysate packed OPP/MPET/LLDPE bag during storage at RT.

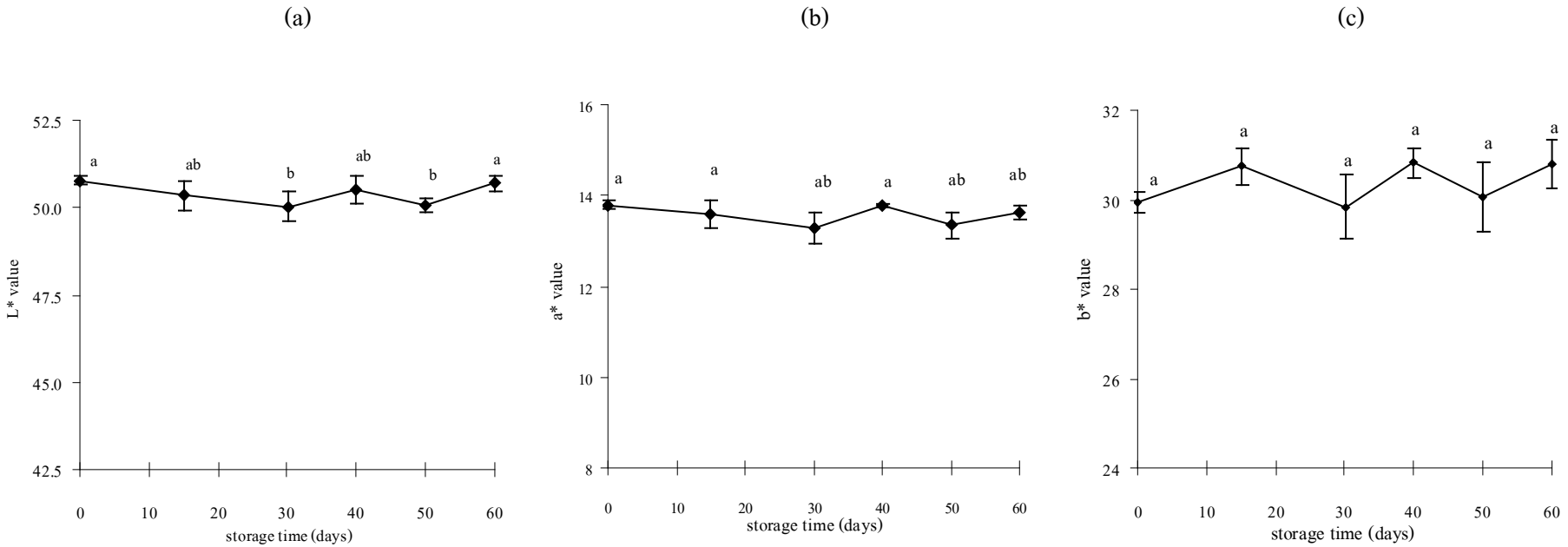
Different letters indicate the significant differences (p<0.05).

Bars represent the standard deviation of triplicates determinations.

5.2. คุณภาพทางกายภาพ

5.2.1. ค่าสี

จากการวิเคราะห์ค่าสี (ค่า L* ค่า a* และค่า b*) ของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบซึ่งเก็บรักษาเป็นเวลานาน 2 เดือน แสดงผลดังภาพที่ 3.13 พบว่า ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเพียงเล็กน้อย โดยมีค่า L* ค่า a* และค่า b* อยู่ในช่วง 50.03-50.77 13.27-13.79 และ 29.73-30.82 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ยังคงมีสีเหลืองอมน้ำตาล จากผลการทดลองนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีจากสารตัวกลางของการเกิดออกซิเดชัน เพราะ เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบค่อนข้างน้อย ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบสามารถเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากลิปิดมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด นอกจากนี้ภาชนะบรรจุยังมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์อีกด้วย เพราะปฏิกิริยาการเกิด สีน้ำตาลสามารถเกิดได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนและแสง ในการทดลองนี้ใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติป้องกันแสงและออกซิเจนได้ดี ทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงน้อย



ภาพที่ 3.13 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบเก็บรักษาในถุง OPP/MPET/LLDPE ที่อุณหภูมิห้อง (a) ค่า L* (b) ค่า a* และ (c) ค่า b*

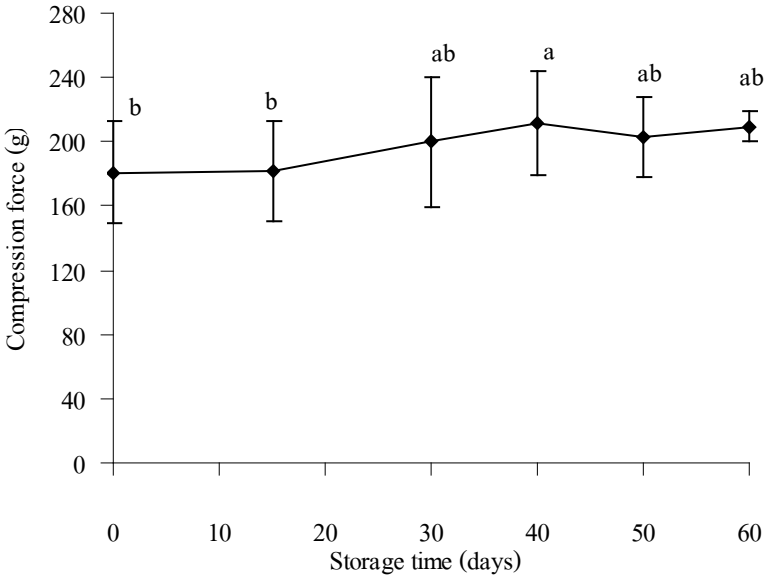
Changes of color values of the crispy snack containing fish protein hydrolysate packed OPP/MPET/LLDPE bag during storage at RT. (a) L* values, (b) a* values and (c) b* values

Different letters indicate the significant differences (p<0.05).

Bars represent the standard deviation of triplicates determinations.

5.2.2. ความแข็ง

จากภาพที่ 3.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตรงกันข้ามกันกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ค่าแรงกดแตกของผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (p<0.05) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 449.72-723.68 กรัม ค่าแรงกดแตกที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวเนื่องมาจากการที่ผลิตภัณฑ์มีการดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อม มีผลต่อปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นและทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์มีลักษณะนิ่ม จึงต้องใช้แรงในการที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์แตกหักเพิ่มมากขึ้น (ประชา บุญญศิริกูล และคณะ, 2539; สุภางค์ เรืองฉาย, 2543) ผลิตภัณฑ์มีความแข็งลดลงแต่มีความเหนียวมากขึ้น แสดงถึงความกรอบที่ลดลง



ภาพที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงความแข็งของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดร-ไลเสตเป็นส่วนประกอบเก็บรักษาในถุง OPP/MPET/LLDPE ที่อุณหภูมิห้อง

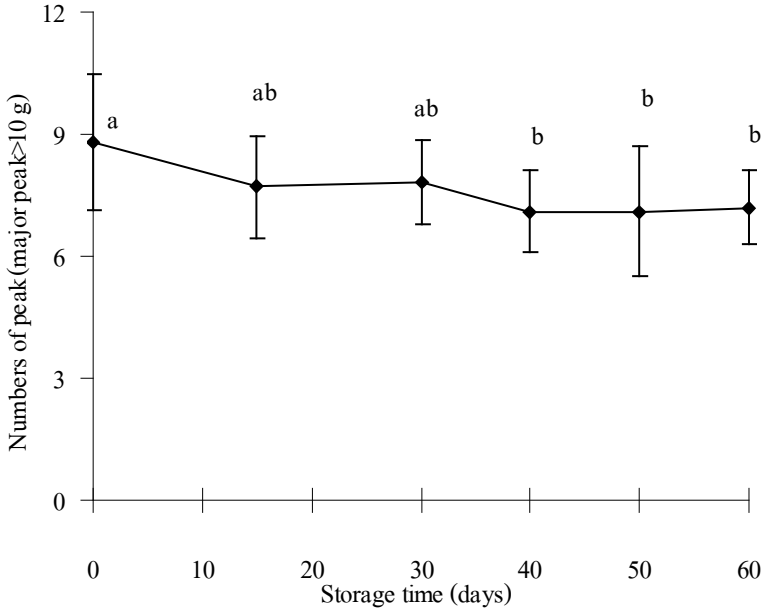
Changes of hardness of the crispy snack containing fish protein hydrolysate packed OPP/MPET/LLDPE bag during storage at RT.

Different letters indicate the significant differences (p<0.05).

Bars represent the standard deviation of ten determinations.

5.2.3. ความกรอบ

จากภาพที่ 3.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของจำนวนพีคที่มีค่าแรงกดแตกมากกว่า 10 กรัม ของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทางกลับกันกับค่าแรงกดแตก กล่าวคือ จำนวนพีคที่มีค่าแรงกดแตกมากกว่า 10 กรัม มีจำนวนลดลงเล็กน้อย (p<0.05) อยู่ระหว่าง 7.10-8.80 พีค ทั้งนี้จำนวนพีคที่ลดลงแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารที่มีโครงสร้างแข็งจะให้ความกรอบที่มากกว่าเมื่อความชื้นในอาหารเพิ่มขึ้น โครงสร้างบางส่วนที่สามารถละลายน้ำได้เริ่มเกิดการละลาย แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นโมเลกุลใหญ่ที่เกาะกันเป็นตาข่ายด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงเวนเดอร์วาลถูกทำลาย ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลใหญ่ดังกล่าวลดลง ส่งผลให้ความกรอบลดลง (Schiffmann, 1996)



ภาพที่ 3.15 การเปลี่ยนแปลงความกรอบของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดร-ไลเสตเป็นส่วนประกอบเก็บรักษาในถุง OPP/MPET/LLDPE ที่อุณหภูมิห้อง

Changes of crispness of the crispy snack containing fish protein hydrolysate packed OPP/MPET/LLDPE bag during storage at RT.

Different letters indicate the significant differences (p<0.05).

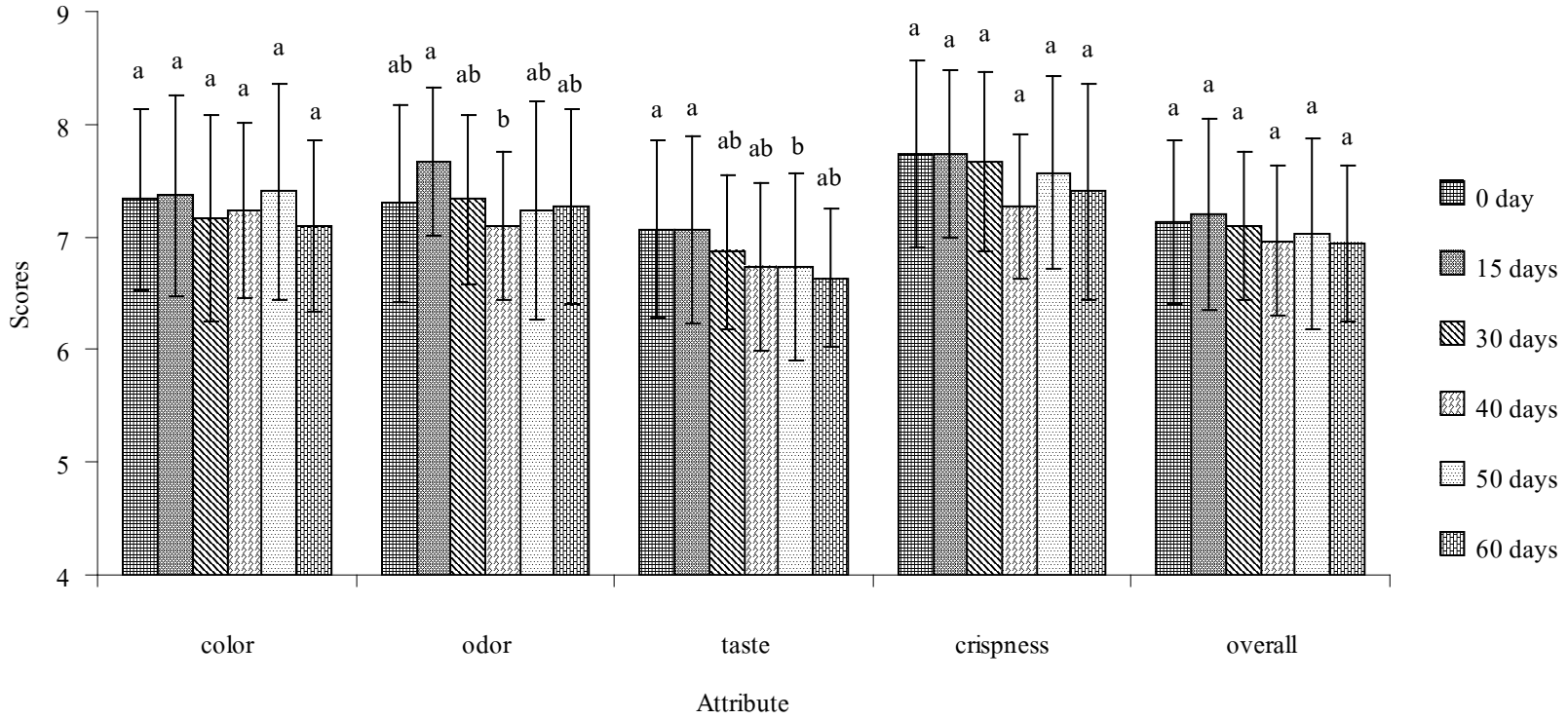
Bars represent the standard deviation of ten determinations.

5.3. คุณภาพทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบที่เก็บรักษาในถุง OPP/MPET/LLDPE ที่อุณหภูมิห้อง มาทดสอบการยอมรับในด้านของสี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และการยอมรับรวม (ภาพที่ 3.16) พบว่า คะแนนเฉลี่ยของการยอมรับในปัจจัยด้านสี ความกรอบ และการยอมรับรวมไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ขณะที่คะแนนเฉลี่ยของการยอมรับในด้านกลิ่นและรสชาติมีความแตกต่างกัน (p <0.05) ทั้งนี้พบว่า ในทุกปัจจัยมีแนวโน้มของการยอมรับที่ลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา เนื่องจากการที่ผลิตภัณฑ์มีความชื้นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความกรอบลดลง การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันในอาหารมีผลให้กลิ่นและรสชาติคาวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้คะแนนเฉลี่ยการยอมรับรวมลดลงเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามคะแนนเฉลี่ยของการยอมรับในทุกปัจจัยยังอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูง (ประมาณ 7.00) ใกล้เคียงกับวันที่ 0 และผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้

5.4. คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากการวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราในผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีน-ปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบที่เก็บรักษาในถุง OPP/MPET/LLDPE ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 2 เดือน พบว่า ปริมาณยีสต์และราที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์ตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันที่ 60 มีน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อ 1 กรัมตัวอย่าง ทั้งนี้ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ปริมาณยีสต์และราที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมขนมอบกรอบ ซึ่งกำหนดให้ขนมอบกรอบมีปริมาณยีสต์และราได้ไม่เกิน 10 โคโลนีต่อ 1 กรัมตัวอย่าง (มอก.1534-2541) ผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบที่ใช้โปรตีนปลาไฮโดรไลเสตเป็นส่วนประกอบจึงอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสำหรับการบริโภคและสามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานานในสภาวะดังกล่าวข้างต้น



ภาพที่ 3.16 การเปลี่ยนแปลงคะแนนการยอมรับด้านสี กลิน รสชาติ ความกรอบ และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์อาหารอบกรอบทีใช้โปรตีนปลาไฮโดร-ไลเสตเป็นส่วนประกอบเก็บรักษาในถุง OPP/MPET/LLDPE ที่อุณหภูมิห้อง

Changes of acceptability scores of color, odor, taste, crispness and overall of the crispy snack containing fish protein hydrolysate packed OPP/MPET/LLDPE bag during storage at RT.

Different letters indicate the significant differences (p<0.05).

Bars represent the standard deviation of duplicates determinations.