บทที่ 4
ผลการทดลอง และอภิปรายผล

4.1 การศึกษาผลของโซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ มันแข็ง และอินูลิน ต่อคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปของลูกชิ้นหมู

จากการศึกษาผลของ NaCl KCl มันแข็ง และอินูลิน ต่อคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปลูกชิ้นหมู วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 4 ปัจจัย ดังนี้ NaCl KCl มันแข็ง และอินูลิน โดยผันแปรปัจจัยละ 2 ระดับ และทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง 4 ซ้ำ ได้สิ่งทดลองที่ผันแปรทั้งหมด 20 สิ่งทดลอง นำมาวิเคราะห์ผลทางด้านกายภาพ หาเค้าโครงทางเนื้อสัมผัส ทางด้านเคมี วิเคราะห์ปริมาณไขมัน และโซเดียม และทางด้านประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนการยอมรับแบบ 9 – point hedonic scale

จากการนำสิ่งทดลองที่ผันแปร วิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis: TPA) ได้ผลการวิเคราะห์ของลูกชิ้นหมูทั้ง 20 สิ่งทดลอง ได้ผลการวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัสดังนี้ค่า hardness 3,531 - 7339 กรัมแรง springiness 0.428 – 0.565 cohesiveness 0.503 – 0.685 และ gumminess 1822 – 4799 ดังผลการทดลองในตารางที่ 4.1

เมื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าปัจจัยที่ใช้ผันแปรในการทดลอง คือNaCl KCl มันแข็ง และอินูลิน ส่งผลต่อเค้าโครงเนื้อสัมผัส ของลูกชิ้นหมูลดไขมัน และโซเดียม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งเค้าโครงเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันในแต่ละสิ่งทดลองมีผลมาจากปริมาณเกลือและไขมันในระบบที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลต่อการเกิดอิมัลชันในลูกชิ้น เนื่องจากเกลือ จะช่วยสกัดโปรตีนไมโอซิน และแอกตินในเนื้อหมู (สุภเวทและพัชรีย์, 2550) ซึ่งโปรตีนไมโอซิน ทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ในระบบอิมัลชัน ทำให้คุณภาพทางเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียมแตกต่างกัน ในแต่ละสิ่งทดลอง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Hsu and Chung (1998) ที่พบว่าการใช้เกลือที่ระดับสูง ส่งผลให้มีสารละลายเกลือที่ใช้สกัดโปรตีนจากกล้ามเนื้อมากขึ้น และทำให้อิมัลชันของเนื้อคงตัวมากขึ้น

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ย* และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียมในแต่ละสิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง	Hardness(g force)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess
1	4243.98 ± 627.67	0.47 ± 0.03	0.50 ± 0.03	2126.50 ± 271.88
2	5353.31 ± 634.91	0.53 ± 0.04	0.56 ± 0.05	3606.98 ± 602.56
3	5819.91 ± 717.21	0.51 ± 0.06	0.52 ± 0.10	3285.32 ± 525.26
4	5438.32 ± 1128.81	0.56 ± 0.06	0.56 ± 0.05	3478.96 ± 667.27
5	5317.86 ± 934.58	0.49 ± 0.05	0.61 ± 0.07	2775.0 ± 402.81
6	4221.27 ± 575.50	0.51 ± 0.05	0.52 ± 0.03	1822.32 ± 202.59
7	5469.02 ± 1880.79	0.53 ± 0.01	0.56 ± 0.06	3335.23 ± 383.05
8	5275.82 ± 407.22	0.56 ± 0.07	0.52 ± 0.02	3070.66 ± 374.37
9	6407.77 ± 721.54	0.52 ± 0.09	0.52 ± 0.05	3794.59 ± 320.06
10	5941.25 ± 654.29	0.48 ± 0.07	0.52 ± 0.04	3664.04 ± 429.43
11	5454.27 ± 428.37	0.54 ± 0.04	0.55 ± 0.03	3613.51 ± 474.17
12	7339.16 ± 1250.34	0.56 ± 0.03	0.55 ± 0.04	4799.35 ± 719.92
13	5396.57 ± 620.84	0.49± 0.02	0.66 ± 0.05	3182.22 ± 460.29
14	3985.41 ± 411.23	0.44 ± 0.05	0.66 ± 0.04	2193.25 ± 205.27
15	6094.13 ± 780.82	0.50 ± 0.03	0.60 ± 0.04	2734.78 ± 208.81
16	5211.24 ± 771.08	0.50 ± 0.04	0.61 ± 0.05	3424.04 ± 570.82
17	5198.17 ± 1283.08	0.47 ± 0.05	0.68 ± 0.07	2887.28 ± 890.80
18	4477.12 ± 654.37	0.52 ± 0.04	0.69 ± 0.06	2881.17 ± 399.04
19	6306.00 ± 721.51	0.52 ± 0.09	0.60 ± 0.09	3151.80 ± 526.97
20	3531.27 ± 372.59	0.43 ± 0.03	0.64 ± 0.08	2438.54 ± 327.73

*ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จากการวัดค่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Texture analyzer 10 ซ้ำ

เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความถดถอย ได้สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญ และมีค่า Adjust R^2 ที่มากกว่า 0.8000 ทั้งหมด 4 สมการดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณโซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ มันแข็ง และอินูลิน ที่มีต่อคุณลักษณะทางกายภาพของลูกชิ้นในแต่ละสิ่งทดลอง

Parameters	Regression equation (Actual factor)	P-value	Adj R^2
Hardness (g force)	= - 1390.11 + 868.50×NaCl + 3091.31×KCl + 421.44×fat + 258.84×inulin – 392.62×NaCl×KCl + 49.02×NaCl×fat – 305.22×KCl×fat – 138.17×KCl×inulin – 6.76×fat×inulin + 26.35×NaCl×KCl×inulin	0.0001	0.9329
Springiness	= 0.19 + 0.10×NaCl + 0.11×KCl + 0.02×fat + 2.35×10^{-3}×inulin - 0.04×NaCl×KCl - 8.74×10^{-3}×NaCl×fat - 7.98×10^{-3}×KCl×fat + 4.59×10^{-3}×NaCl×KCl×fat	0.0003	0.8354
Cohesiveness	= 0.60 + 0.14×NaCl + 0.11×KCl – 0.05×fat + 0.04×inulin - 0.08×NaCl×KCl + 0.01×NaCl×fat - 0.02×NaCl×inulin + 0.02×KCl×fat - 0.03×KCl×inulin – 8.09×10^{-3}×NaCl×KCl×fat + 0.01×NaCl×KCl×inulin	0.0001	0.9682
Gumminess	= - 101.02 + 1515.18×NaCl + 1457.70×KCl + 212.31×fat + 234.38×inulin – 188.40×NaCl×KCl - 125.77×NaCl×fat -142.90×NaCl×inulin – 113.88×KCl×fat – 95.34×KCl×inulin - 35.92×fat×inulin + 18.72×NaCl×fat×inulin + 14.94×KCl×fat×inulin	0.0002	0.9574

จากตารางที่ 4.2 พบว่าสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ ต่อค่าสังเกตที่ทดสอบ มีความสัมพันธ์กันดังนี้ hardness springiness และgumminess มีค่ามากขึ้นเมื่อใช้ NaCl KCl ไขมัน และอินูลินที่ระดับสูง ส่วนค่าการยึดติดจะมีค่ามากขึ้นเมื่อใช้ NaCl KCl และอินูลินที่ระดับสูง และไขมันที่ระดับต่ำ แต่เมื่อสังเกตในแต่ละคุณลักษณะแล้วจะพบว่าการที่ค่าสังเกตมีค่ามากขึ้นหรือน้อยลง ยังมีผลมาจากการใช้ปัจจัยต่างๆ ร่วมกัน คือหากต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะด้าน hardness springiness cohesiveness และgumminess มีค่ามากขึ้น ในการใช้ NaCl และ KCl ร่วมกัน ควรใช้ควรเลือกใช้เกลือทั้งสองชนิดที่ระดับต่างกัน คือหากใช้ NaCl ที่ระดับสูง ควรใช้ KCl ที่ระดับต่ำ หรือใช้ NaCl ที่ระดับต่ำ ควรใช้ KCl ที่ระดับสูง เนื่องจากการศึกษาของ Munasinghe and Sakai (2004) พบว่าที่ pH 7.0 NaCl สามารถสกัดโปรตีนได้มากกว่า KCl ซึ่งปริมาณโปรตีนที่สกัด

ได้ส่งผลต่อคุณภาพทางเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้เกลือทั้งสองชนิดร่วมกันเพื่อใช้ในการสกัดโปรตีน ควรเลือกใช้ NaCl ที่ระดับสูง และ KCl ที่ระดับต่ำ เพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้มากขึ้น และคุณภาพทางเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นไม่แตกต่างจากสูตรปกติ

นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลของการใช้ NaCl และไขมัน ร่วมกัน พบว่าหากใช้ที่ระดับเดียวกันจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความเข็ง และค่าการยึดติดมากขึ้น แต่ถ้าใช้ที่ระดับต่างกันจะทำให้ได้ค่า springiness และ gumminess มากขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Totosaus and Perez-chabelar (2009) พบว่าโครงสร้างของเนื้อสัมผัสใน meat batters มีค่าแตกต่างกัน มีผลมาจากปริมาณไขมันและโซเดียม ที่แตกต่างกัน และการทดลองของ Hsu และ Yu (1999) ที่ทดลองหาผลของฟอสเฟส น้ำ ไขมันและเกลือ ต่อคุณภาพของลูกชิ้นไขมันต่ำ พบว่าสิ่งทดลองที่มีส่วนผสมของน้ำปริมาณน้อย ไขมัน เกลือ และฟอสเฟส ปริมาณมาก จะทำให้ได้คุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า เมื่อสังเกตการณ์ใช้ KCl ร่วมกับไขมัน พบว่าการใช้ที่ระดับต่างกัน จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่า hardness springiness และgumminess มากขึ้น แต่ถ้าใช้ที่ระดับเดียวกันก็จะทำให้ได้ค่า cohesiveness มากขึ้น และการเลือกใช้ KCl และอินูลินที่ระดับต่างกัน จะทำให้ได้ค่า hardness cohesiveness และ gumminess มากขึ้น และการใช้ไขมันร่วมกับอินูลินที่ระดับต่างกันจะทำให้ได้ hardness และ cohesiveness มากขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Mendoza *et al.* (2001) ที่ทดลองการทดแทนไขมันด้วยอินูลินในไส้กรอกหมักแบบแห้งไขมันต่ำ พบว่าไส้กรอกไขมันสูงจะมีค่า hardness และ gumminess น้อยกว่าไส้กรอกที่มีไขมันปานกลาง และไขมันต่ำ ส่วนค่า cohesiveness และค่า adhesiveness มีค่าลดลงตามสัดส่วนของการลดไขมัน และการทดลองของ Saricoban *et al.* (2009) พบว่าการใช้รำข้าวสาลีเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่าความแน่นเนื้อ และค่าความแข็งมากขึ้น

จากนั้นนำตัวอย่างที่ผันแปรได้ในแต่ละสิ่งทดลองมาวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน โดยใช้เครื่อง Soxtec และปริมาณโซเดียมโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrometers (AAS) พบว่าในแต่ละสิ่งทดลองมีปริมาณไขมัน ร้อยละ 4.49 – 10.29 กรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และปริมาณโซเดียมร้อยละ 323 – 834 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า การผันแปร NaCl KCl มันแข็ง และอินูลิน ส่งผลต่อปริมาณไขมันและโซเดียม ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ย* และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของคุณภาพทางด้านเคมีในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียมในแต่ละสิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง	Crude fat (g/100g)	Sodium (mg/100g)
1	9.67 ± 0.55	323.02 ± 8.86
2	8.67 ± 0.41	572.59 ± 17.24
3	6.31 ± 0.73	392.69 ± 5.53
4	8.53 ± 0.62	577.44 ± 43.45
5	6.68 ± 0.49	752.53 ± 102.44
6	10.29 ± 0.51	271.39 ± 41.24
7	8.36 ± 0.41	578.20 ± 11.59
8	9.88 ± 0.59	741.69 ± 51.78
9	9.31 ± 0.84	345.89 ± 14.58
10	9.43 ± 0.52	741.29 ± 26.61
11	7.57 ± 0.37	592.21 ± 53.99
12	9.08 ± 0.46	753.96 ± 52.67
13	6.61 ± 0.37	460.13 ± 19.35
14	6.72 ± 0.64	376.69 ± 8.06
15	9.31 ± 0.36	770.89 ± 0.35
16	4.65 ± 0.36	834.91 ± 23.34
17	6.12 ± 0.64	788.39 ± 67.80
18	9.16 ± 0.78	371.86 ± 13.83
19	4.49 ± 0.16	826.49 ± 42.52
20	6.09 ± 0.10	341.74 ± 9.97

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน โดยใช้เครื่อง Soxtec และปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่อง AAS จำนวน 3 ซ้ำ

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าสิ่งทดลองที่ใช้ไขมันที่ระดับต่ำ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณไขมันแล้วจะได้ปริมาณไขมันที่น้อยกว่า สิ่งทดลองที่ใช้ไขมันที่ระดับสูง เมื่อวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมในแต่ละสิ่งทดลอง ก็พบว่าปริมาณโซเดียมมีน้อยในสิ่งทดลองที่ใช้ NaCl ที่ระดับต่ำ และ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ในสิ่งทดลองที่ใช้โซเดียมที่ระดับสูง ก็จะมีปริมาณโซเดียมมาก จึงนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์สมการความถดถอย หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ผันแปรต่อคุณลักษณะทางเคมีที่วิเคราะห์ ได้สมการความถดถอยแสดงความสัมพันธ์ ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณโซเดียมคลอไรด์ โพแทสเซียมคลอไรด์ มันแข็ง และอินูลิน ที่มีต่อคุณลักษณะทางด้านเคมีของลูกชิ้นในแต่ละสิ่งทดลอง

Parameters	Regression equation (Actual factor)	P-value	Adj R^2
Crude fat	= - 0.69 + 2.17×NaCl + 2.34×KCl + 0.89×fat + 0.02×inulin – 1.76×NaCl×KCl - 0.22×NaCl×fat - 0.24×KCl×fat + 0.16×NaCl×KCl×fat	0.0001	0.9496
Sodium	= 196.89 + 244.61×NaCl + 26.59×KCl – 9.45×fat–3.58×inulin -13.30×NaCl×KCl	0.0001	0.9871

จากตารางที่ 4.4 พบว่าสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ ต่อค่าสังเกตที่ทดสอบ มีความสัมพันธ์กันดังนี้ ปริมาณไขมันจะมีมากขึ้นเมื่อใช้ NaCl KCl ไขมัน และอินูลินที่ระดับสูง อีกทั้งยังมีปัจจัยร่วมที่ส่งผลให้ปริมาณไขมันมีมากขึ้นเมื่อใช้ร่วมกันที่ระดับต่างกันคือ NaCl และ KCl NaCl และไขมัน รวมทั้ง KCl และไขมัน นอกจากปัจจัยร่วมดังข้างต้น จะส่งผลต่อปริมาณไขมันแล้วยังมีผลมาจากการใช้ NaCl KCl และไขมันที่ยังส่งผลต่อปริมาณไขมันในแต่ละสิ่งทดลองด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Hammer (1981) (อ้างอิงโดย Ruusunen and puolanne, 2005); Matulis *et al.* (1994) ที่พบว่า เมื่อระดับของ NaCl เพิ่มมากขึ้น ก็จะพบปริมาณไขมันในไส้กรอกมากกว่าเนื้อไม่ติดมัน และการวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมจะมีมากขึ้นในสิ่งทดลองที่ใช้ NaCl และ KCl ที่ระดับสูง ส่วนไขมันและอินูลินที่ระดับต่ำ และการใช้ NaCl และ KCl ที่ระดับต่างกัน ทำให้มีปริมาณโซเดียมมากขึ้น

เมื่อนำสิ่งทดลองทั้ง 20 สิ่งทดลองมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสทางด้านความชอบโดยรวม รสเค็ม รสชาติโดยรวม และเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมูในแต่ละสิ่งทดลอง ที่ทำการประเมินทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ 9 – point hedonic scale โดยใช้เลขสุ่ม 3 ตัว และเสิร์ฟที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล และแบ่งการทดสอบชิมออกเป็น 4 รอบ โดยนำเสนอ

ตัวอย่างรอบละ 5 สิ่งทดลอง พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนในแต่ละคุณลักษณะของทั้ง 20 สิ่งทดลอง ดังตารางที่ 4.5 ได้คะแนนการยอมรับอยู่ในช่วง 3 - 7 คะแนน (ไม่ชอบปานกลาง – ชอบปานกลาง)

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ย* และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูในแต่ละสิ่งทดลอง (n = 100)

สิ่งทดลอง	ความชอบโดยรวม	รสเค็ม	รสชาติโดยรวม	เนื้อสัมผัส
1	3.2 ± 1.8	3.8 ± 1.9	3.6 ± 2.0	2.5 ± 1.5
2	6.2 ± 1.5	5.6 ± 1.6	5.8 ± 1.6	6.6 ± 1.6
3	4.8 ± 1.5	4.3 ± 1.5	4.4 ± 1.6	5.4 ± 1.8
4	6.1 ± 1.6	5.8 ± 1.7	5.9 ± 1.7	6.3 ± 1.6
5	6.3 ± 1.4	6.0 ± 1.5	6.2 ± 1.4	6.5 ± 1.5
6	3.1 ± 1.6	3.7 ± 1.7	3.4 ± 1.6	2.5 ± 1.5
7	5.8 ± 1.5	5.6 ± 1.5	5.8 ± 1.5	5.7 ± 1.6
8	5.8 ± 1.5	5.7 ± 1.7	5.9 ± 1.4	5.7 ± 1.6
9	4.9 ± 1.6	4.6 ± 1.6	4.7 ± 1.6	4.9 ± 1.7
10	6.6 ± 1.3	6.2 ± 1.4	6.6 ± 1.3	6.6 ± 1.3
11	6.4 ± 1.5	6.1 ± 1.6	6.3 ± 1.5	6.7 ± 1.5
12	6.5 ± 1.6	6.0 ± 1.7	6.4 ± 1.5	6.7 ± 1.5
13	5.3 ± 1.6	4.7 ± 1.8	4.9 ± 1.7	6.0 ± 1.8
14	3.4 ± 1.6	4.0 ± 1.9	3.9 ± 1.8	2.6 ± 1.5
15	7.1 ± 1.3	6.8 ± 1.3	7.1 ± 1.2	7.3 ± 1.2
16	6.6 ± 1.3	6.2 ± 1.5	6.5 ± 1.4	6.7 ± 1.3
17	6.5 ± 1.3	6.2 ± 1.5	6.4 ± 1.3	6.6 ± 1.4
18	5.0 ± 1.6	4.5 ± 1.7	4.8 ± 1.6	5.6 ± 1.4
19	6.2 ± 1.4	5.8 ± 1.7	6.2 ± 1.5	6.9 ± 1.3
20	4.0 ± 1.7	3.9 ± 1.7	3.9 ± 1.7	3.3 ± 1.7

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จากการให้คะแนนความชอบระดับ 9 คะแนน (9 - point hedonic scale) จากผู้ทดสอบจำนวน 100 คน

เมื่อสังเกตคะแนนที่ได้พบว่าในสิ่งทดลองที่มีปริมาณเกลือที่ระดับสูงจะได้รับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสมากกว่าสิ่งทดลองที่มีปริมาณแกลือที่ระดับต่ำ เมื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ปัจจัย NaCl และ KCl ส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านความชอบโดยรวม รสเค็ม และเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และปัจจัย NaCl KCl และไขมัน ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคทางด้านรสชาติโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความถดถอยหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ผันแปรต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ดังสมการในตารางที่ 4.6

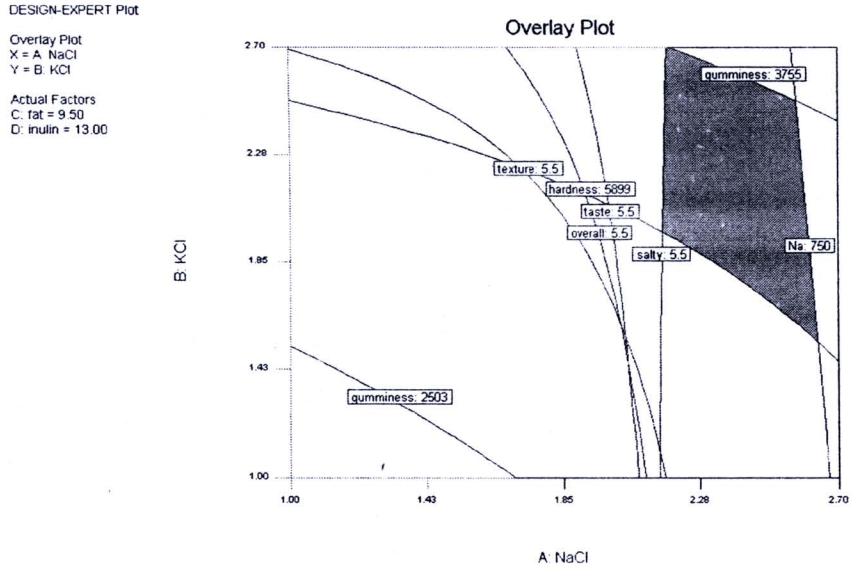
ตารางที่ 4.6 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณ NaCl KCl ไขมัน และอินูลินที่มีต่อคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อลูกชิ้นในแต่ละสิ่งทดลอง

Parameters	Regression equation (Actual factor)	P-value	Adj R^2
Overall liking	= - 0.10+2.57×NaCl + 1.61×KCl - 0.67×NaCl×KCl	0.0001	0.9325
Overall taste	= 3.83 +0.49×NaCl - 0.19×KCl - 0.29×fat + 0.26×NaCl×KCl + 0.16×NaCl×fat + 0.12×KCl× fat - 0.07×NaCl×KCl× fat	0.0001	0.9548
Saltiness	= 1.64 +1.80×NaCl + 0.77×KCl - 0.36×NaCl×KCl	0.0001	0.9422
Texture	= - 2.35 + 3.44×NaCl + 2.70×KCl - 1.06×NaCl×KCl	0.0001	0.9165

จากตารางที่ 4.6 พบว่าสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ ต่อค่าสังเกตที่ทดสอบ มีความสัมพันธ์กันดังนี้ คุณลักษณะทางด้านความชอบโดยรวม รสเค็ม และเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมู ผู้บริโภคจะให้คะแนนความชอบมากขึ้นเมื่อใช้ NaCl หรือ KCl ที่ระดับสูง และหากจะใช้เกลือทั้งสองชนิดร่วมกันควรใช้เกลือทั้งสองชนิดที่ระดับต่างกันคือ NaCl ที่ระดับสูง และ KCl ที่ระดับต่ำ หรือ NaCl ที่ระดับต่ำ และ KCl ที่ระดับสูง ส่วนทางด้านรสชาติโดยรวมนั้น มีปัจจัยของไขมันมาร่วมด้วยคือ หากต้องการให้มีความชอบในด้านรสชาติโดยรวมมากขึ้นควรใช้ NaCl ที่ระดับสูง KCl และไขมันที่ระดับต่ำและยังมีผลจากปัจจัยร่วมที่จะมีผลต่อคะแนนความชอบด้านรสชาติโดยรวมของลูกชิ้นหมูที่มากขึ้นคือ การใช้ NaCl ร่วมกับ KCl การใช้ NaCl ร่วมกับไขมัน และการใช้ KCl ร่วมกับไขมัน ควรใช้ที่ระดับเดียวกัน จะทำให้ได้คะแนนความชอบด้านรสชาติโดยรวมเพิ่มมากขึ้น จากสมการข้างต้นจะสังเกตได้ว่าปริมาณเกลือทั้งสองชนิดที่ผันแปรในแต่ละสิ่งทดลองมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสมากกว่าไขมัน และอินูลิน

การหาสูตรที่เหมาะสม

จากผลการทดลองข้างต้น นำมาวิเคราะห์หาสูตรที่เหมาะสม โดยคัดเลือกเฉพาะค่าตอบสนองที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P< 0.05$) สำหรับการผลิตลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม โดยวิธีพื้นที่ตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) ค่าที่ใช้กำหนดระดับในการหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดได้แก่ ปริมาณ NaCl KCl ไขมัน และอินูลิน ให้อยู่ในช่วงที่ผันแปรค่าทางกายภาพ โดยใช้ค่าจากการวิเคราะห์ลูกชิ้นหมูยี่ห้อหมูทิพย์ และหมูดี เป็นค่าอ้างอิง โดยกำหนดค่าความแข็งอยู่ในช่วง 5899 ถึง 8849 กรัมแรง ค่า springiness ให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.43 cohesiveness ให้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.69 gumminess อยู่ในช่วง 2503 ถึง 3755 ปริมาณไขมัน และโซเดียม (กำหนดปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 25 ของสูตรปกติ) กำหนดให้ปริมาณไขมันมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 8 g/100g ตัวอย่าง และปริมาณโซเดียมมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 750 mg/100g ตัวอย่าง และค่าทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวม รสเค็ม รสชาติโดยรวม และเนื้อสัมผัสให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5.5 คะแนน ผลการหาสูตรที่เหมาะสมโดยวิธีการสร้างพื้นที่ตอบสนองแสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 พื้นที่ตอบสนองของสูตรที่เหมาะสม (พื้นที่แรเงา)ในการผลิตลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม

จากภาพที่ 4.1 พื้นที่แรเงาเป็นพื้นที่ของสูตรที่เหมาะสมในการผลิตลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม ผลการวิเคราะห์ได้ช่วงที่เหมาะสมคิดเป็นร้อยละของเนื้อหมูดังนี้ NaCl ร้อยละ 2.17 – 2.60 KCl ร้อยละ 1.55 – 2.68 มันแข็ง ร้อยละ 7.00 – 10.97 และอินูลิน ร้อยละ 11.58 – 13

การทวนสอบสูตรที่เหมาะสม

เมื่อทำการเลือกจุดที่เหมาะสมมาผลิตลูกชิ้น 1 สูตรดังนี้ NaCl KCl ไขมัน และอินูลินที่ระดับ 2.5 1.7 9.4 และ 13.0 ตามลำดับ และผลิตและนำมาวิเคราะห์ค่าสังเกตต่างๆ ที่ได้จากการผลิตตามสูตรนี้ ได้ค่าสังเกตดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 คุณภาพด้านต่างๆของลูกชิ้นสูตรที่เหมาะสมจากสมการทำนาย การทดสอบจริง และความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

คุณลักษณะ	ค่าจากการทำนาย	ค่าจากการทดสอบจริง	ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)
กายภาพ			
- ด้านความแข็ง (กรัมแรง)	5899.00	5884.66 ± 623.69	0.24
- ค่าความยืดหยุ่น	0.507	0.544 ± 0.033	6.75
- ค่าความยึดติด	0.573	0.558 ± 0.015	2.70
- ค่าความเหนียวเป็นแป้ง	3316.52	3485.69 ± 745.08	4.85
เคมี			
- ปริมาณไขมัน (g/100gตัวอย่าง)	7.3	7.97 ± 0.49	8.41
- ปริมาณโซเดียม (mg/100gตัวอย่าง)	726.7	788.33 ± 12.67	7.83
ประสาทสัมผัส			
- ความชอบโดยรวม	6.3	6.2 ± 1.3	3.28
- รสค็ม	6.0	6.0 ± 1.4	1.69
- รสชาติโดยรวม	6.2	6.2 ± 1.5	1.64
- เนื้อสัมผัส	6.4	5.9 ± 1.6	8.47

จากการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทวนสอบ ได้ผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทำนาย เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน พบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 0.24 – 8.47 ซึ่ง Hu (1999) ได้เสนอแนะว่าร้อยละความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนายนั้นควรจะมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าร้อยละ 10 ดังนั้นสมการที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปจึงสามารถนำมาใช้เพื่อทำนายผลการวิเคราะห์เค้าโครงทางเนื้อสัมผัส ปริมาณไขมัน ปริมาณโซเดียม และการยอมรับทางประสาทสัมผัส ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมัน และโซเดียมได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสมของNaCl KCl ไขมัน และอินูลิน ในสูตรการผลิต

4.2 การศึกษาผลของการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียมด้วยทรานส์กลูตามิเนส (TGase)

เนื่องจากผลการวิเคราะห์ค่าเค้าโครงทางเนื้อสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม ยังคงมีค่าน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ขายในท้องตลาด และทรานส์กลูตามิเนส เป็นเอนไซม์ที่นำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการแปรรูปอาหารประเภทโปรตีน จึงนำทรานส์กลูตามิเนส มาใช้ในการปรับคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมูลดไขมัน และโซเดียม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ในท้องตลาด และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

โดยนำสูตรการผลิตลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม จากตอนที่ 1 มาวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยใช้สูตรที่ได้มาผันแปรปริมาณ TGase ที่ใช้ในแต่ละสิ่งทดลอง เพื่อศึกษาผลของการใช้ TGase ต่อคุณลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไป ของลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง จากนั้นนำตัวอย่างลูกชิ้นทั้ง 4 สิ่งทดลองมาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับทั้งหมดอยู่ในช่วง 5.2 – 6.8 ดังตารางที่ 4.8 และเมื่อนำผลการทดลองในแต่ละสิ่งทดลองมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ย* และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูในแต่ละสิ่งทดลอง (n = 100)

สิ่งทดลอง	ความชอบโดยรวม	รสเค็ม	รสชาติโดยรวม	เนื้อสัมผัส
1 (TGase 0.0%)	5.7 ± 1.3^{b}	5.2 ± 1.6^{b}	5.6 ± 1.4^{b}	5.7 ± 1.4^{b}
2 (TGase 0.1%)	6.5 ± 1.4^{a}	6.3 ± 1.5^{a}	6.4 ± 1.4^{a}	6.8 ± 1.3^{a}
3 (TGase 0.2%)	6.2 ± 1.3^{ab}	6.1 ± 1.3^{a}	6.2 ± 1.2^{a}	6.2 ± 1.4^{b}
4 (TGase 0.3%)	5.8 ± 1.6^{b}	5.4 ± 1.9^{b}	5.6 ± 1.7^{b}	6.0 ± 1.6^{b}

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จากการให้คะแนนความชอบระดับ 9 คะแนน (9 - point hedonic scale) จากผู้ทดสอบจำนวน 100 คน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสในตารางที่ 4.8 พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวม รสเค็ม และรสชาติโดยรวม ในสิ่งทดลองที่ 2 และ 3 ไม่แตกต่างกัน ($P\geq0.05$) และให้คะแนนมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 และ 4 ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Tseng *et al.* (2000) ที่พบว่าปริมาณ TGase ที่ผันแปรที่ระดับ 0.05 – 1.0 ในแต่ละสิ่งทดลองส่งผลต่อความชอบทางด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นไม่แตกต่างกัน ($P\geq0.05$) แต่สิ่งทดลองที่ใช้ TGase ได้คะแนนความชอบในด้านเนื้อสัมผัส ความชุ่มเนื้อ และการยอมรับโดยรวม แตกต่างจากสิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้ TGase อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูในสิ่งทดลองที่ 2 ที่ใช้ TGase ร้อยละ 0.1 ของเนื้อหมูได้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุดในการทดลองนี้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Dimitrakopoulou *et al.* (2005) ที่การใช้ TGase ที่ระดับร้อยละ 0.75 และ 0.15 ได้คะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน (consistency) และการยอมรับมากกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้ TGase จากนั้นนำตัวอย่างลูกชิ้นในแต่ละสิ่งทดลองไปวิเคราะห์เค้าโครงทางเนื้อสัมผัส

เมื่อนำลูกชิ้นจากในแต่ละสิ่งทดลองมาวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมู โดยใช้เครื่อง Texture analyser (TA-XT Plus, UK) พบว่าค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม ในแต่ละสิ่งทดลองมีค่า hardness 10786.15 – 15080.97 กรัมแรง springiness 0.68 – 0.77 cohesiveness 0.48 – 0.53 และ gumminess 5229.07 – 7842.34 ดังผลการทดลองใน

ตารางที่ 4.9 และเมื่อนำผลการทดลองในแต่ละสิ่งทดลองมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ย* และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียมในแต่ละสิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง	Hardness (g.force)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess
1 (TGase 0.0%)	10786.15 ± 1360.75^{c}	0.68 ± 0.05^{b}	0.48 ± 0.02^{b}	5229.07 ± 761.45^{c}
2 (TGase 0.1%)	12273.19 ± 1756.36^{b}	0.69 ± 0.03^{b}	0.52 ± 0.02^{a}	6370.55 ± 1002.71^{b}
3 (TGase 0.2%)	14038.28 ± 2237.62^{a}	0.75 ± 0.03^{a}	0.53 ± 0.02^{a}	7461.25 ± 1246.92^{a}
4 (TGase 0.3%)	15080.97 ± 1846.95^{a}	0.77 ± 0.03^{a}	0.52 ± 0.02^{a}	7842.34 ± 1164.22^{a}

* ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จากการวัดค่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Texture analyzer 10 ซ้ำ
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัสในแต่ละสิ่งทดลองพบว่า ในสิ่งทดลองที่ใช้ TGase ที่ระดับสูงขึ้นจะทำให้ได้ค่า hardness, springiness, cohesiveness และ gumminess เพิ่มมากขึ้น โดยสิ่งทดลองที่ 3 และ 4 ได้ผลการวิเคราะห์เค้าโครงเนื้อสัมผัสด้านค่า hardness ค่า springiness ค่า cohesiveness และค่า gumminess ที่ไม่แตกต่างกัน ($P\geq0.05$) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Tseng *et al.* (2000) ที่พบว่าลูกชิ้นไก่เกลือต่ำที่ใช้ TGase มีค่าความแข็งแรงเจลมากขึ้นตามปริมาณ TGase ที่ใช้ และการใช้ TGase ที่ระดับร้อยละ 0.2 มีค่ามากกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้ TGase อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และในการทดลองนี้ก็พบว่าสิ่งทดลองที่ 2 (ใช้ TGase ร้อยละ 0.1) มีค่าเค้าโครงทางเนื้อสัมผัสมากกว่าสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งผลการทดลองที่วิเคราะห์ได้นี้ เป็นผล มาจาก TGase เข้าไปเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมพันธะใหม่ที่เรียกว่า พันธะ ε-(γ-glutamyl) lysine หรือที่เรียกสั้นๆว่าพันธะ G-L (ประพันธ์, 2544) จึงนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทางเคมี โดยการใช้วิธีการหาขนาดมวลโมเลกุลของลูกชิ้นที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลอง ว่ามีขนาดมวลโมเลกุลใหญ่ขึ้น จากการที่ TGase เข้าไปช่วยเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมพันธะใหม่หรือไม่

จากการนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ทางเคมี พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างของแต่ละสิ่งทดลองมีค่า 5.87 – 6.14 เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างแล้วพบว่า สิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้ TGase มีค่าค่าความเป็นกรด-ด่าง น้อยกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ ที่ใช้ TGase อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงใน

ตารางที่ 4.10 ในสิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้ TGase มีค่า pH เท่ากับเนื้อหมูปกติ เพราะในเนื้อสัตว์ที่มีคุณภาพดี มีความเป็นกรด - ด่างประมาณ 5.6 - 5.8 แต่ถ้าสัตว์มีการตื่นตกใจ หรือเหนื่อยก่อนถูกฆ่า ความเป็นกรด - ด่างหลังถูกฆ่าจะต่ำถึง 5.4 เนื่องจากการเปลี่ยนไกลโคเจนเป็นกรดแลคติค ที่เกิดขึ้นหลังจากการ ถูกฆ่า(สุเมธ, 2544) ทำให้ค่า pH ในเนื้อสัตว์ลดลง เป็นผลให้คุณภาพของเนื้อก็ลดลง ซึ่งจะส่งผลต่อหน้าที่ของโปรตีนลดลง เช่น ความสามารถในการละลาย และความสามารถในการอุ้มน้ำ รวมทั้งสีจะเข้มขึ้นด้วย เมื่อสังเกตในสิ่งทดลองที่ใช้ TGase พบว่ามีค่า pH มากกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้ TGase เนื่องจาก TGase ที่ใช้มีความเป็นด่างสูง มีค่า pH ประมาณ 11.0 – 13.0 จึงทำให้สิ่งทดลองที่ใช้ TGase มีค่า pH มากกว่าสิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Trespalacios and Pla (2007) ที่พบว่า ค่า pH ของตัวอย่างที่ใช้ TGase มีค่า pH สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้ TGase อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

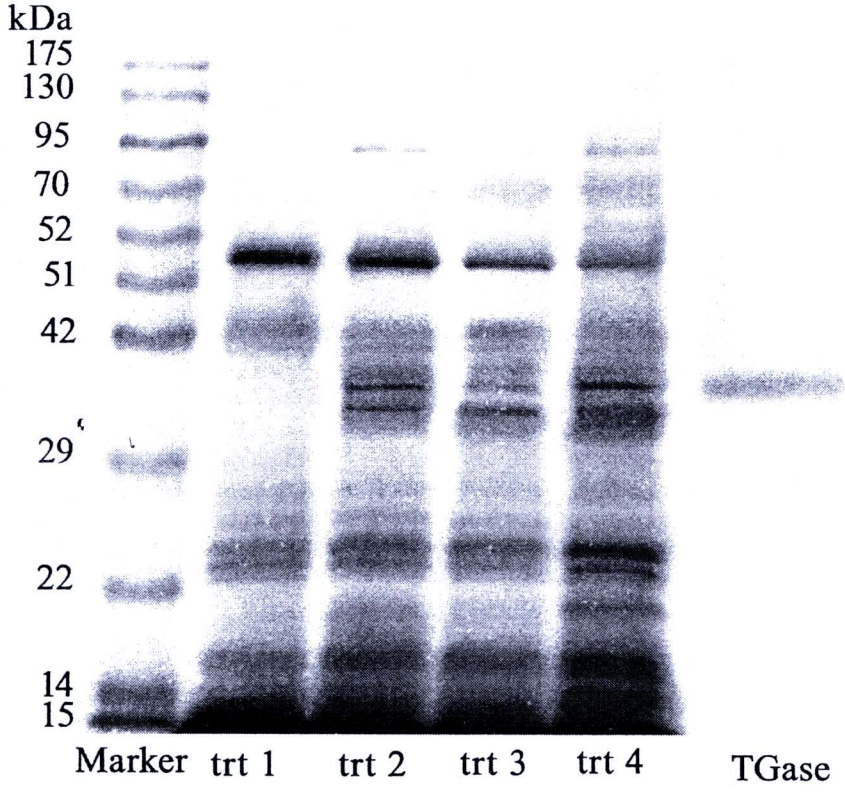
จากนั้นนำตัวอย่างในสิ่งทดลองต่างๆ มาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนทั้งหมดได้ค่าดังตารางที่ 4.10 เพื่อควบคุมปริมาณโปรตีนที่จะใช้วิเคราะห์ SDS- PAGE ให้เท่ากันในแต่ละ well

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ย* และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของคุณลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียมในแต่ละสิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง	total protein (mg/ml)	ค่า กรด-ด่าง
1 (TGase 0.0%)	6.695 ± 0.163^{a}	5.87 ± 0.08^{b}
2 (TGase 0.1%)	6.918 ± 0.102^{a}	6.13 ± 0.02^{a}
3 (TGase 0.2%)	6.780 ± 0.212^{a}	6.13 ± 0.01^{a}
4 (TGase 0.3%)	6.112 ± 0.112^{b}	6.14 ± 0.00^{a}

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จากการวัดค่าโดยใช้ pH meter และหาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Lowry 2 ซ้ำ
อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อทราบปริมาณโปรตีนทั้งหมด ของแต่ละสิ่งทดลองแล้วจึงปรับปริมาณโปรตีนในแต่ละสิ่งทดลองให้เท่ากัน (ตามวิธีการทดสอบ SDS – PAGE บทที่ 3) ก่อนนำไปวิเคราะห์หามวลโมเลกุลโปรตีนโดยวิธี SDS – PAGE ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ SDS – PAGE ในแต่ละสิ่งทดลอง (โดยช่องที่ 1 คือ molecular marker ช่องที่ 2 คือสิ่งทดลองที่ 1 (ไม่ใช้ TGase) ช่องที่ 3 คือสิ่งทดลองที่ 2 (TGase ร้อยละ 0.1) ช่องที่ 4 คือสิ่งทดลองที่ 3 (TGase ร้อยละ 0.2) ช่องที่ 5 คือสิ่งทดลองที่ 4 (TGase ร้อยละ 0.3) ช่องที่ 6 คือ TGase)

การตรวจสอบรูปแบบโปรตีนของลูกชิ้นหมูที่เติม TGase โดยใช้เทคนิค SDS-PAGE (ภาพที่ 4.2) พบว่าแถบโปรตีนที่อยู่ในช่วง 51 – 52 kDa จะค่อย ๆ จางลงเมื่อปริมาณของเอนไซม์เพิ่มมากขึ้น และสังเกตเห็นแถบโปรตีนบาง ๆ เหนือช่วงดังกล่าว ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากการเกิดการเชื่อมประสานของโปรตีนทำให้ ขนาดมวลโมเลกุลของโปรตีนมีขนาดใหญ่ขึ้น (Tsai *et al.*, 1996; Nowsad *et al.*, 1995; Jiang *et al.*, 2000a,b) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของเปรมวดี และคณะ (2548) ที่พบว่าชุดควบคุมจะมีความเข้มของแถบ Myosin Heavy Chain (MHC) ชัดเจนกว่าชุดการทดลองที่เติม เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสจากจุลินทรีย์ (MTGase) โดยความเข้มของแถบ MHC จะค่อย ๆ ลดลงเมื่อปริมาณของเอนไซม์เพิ่มมากขึ้น

เมื่อสังเกตที่แถบโปรตีนในช่วง 29 – 42 kDa พบว่ามีแถบโปรตีนเกิดขึ้น 2 แถบในช่วงดังกล่าว ซึ่งแถบโปรตีนหนึ่งในนั้นเป็นแถบโปรตีนของ TGase และในช่วง 22 – 29 kDa พบว่ามีแถบโปรตีนในช่วงดังกล่าวมีขนาดหนาขึ้น จากภาพที่ 4.2 จะพบว่า TGase จะเชื่อมประสานโปรตีนที่มีมวลโมเลกุลขนาดเล็กได้มากกว่าโปรตีนขนาดใหญ่ สังเกตได้จากแถบโปรตีนในช่วงมวลโมเลกุลขนาดเล็กมีแถบเพิ่มมากขึ้น และมีขนาดหนาขึ้นกว่าเดิม จึงกล่าวได้ว่าการเติม TGase ลงในลูกชิ้นหมู สามารถเร่งให้เกิดโพลีเมอร์ไรเซชันของโปรตีน โดยสร้างพันธะ ε-(γ-glutamyl) lysine ระหว่างโมเลกุลโปรตีน (Araki and Seki, 1993; Kumazawat *et al.*, 1996; Jiang *et al.*, 2000a) โดยที่วิธีการตรวจวิเคราะห์โปรตีนโดยใช้วิธี SDS-PAGE การใช้สารละลาย Sample buffer จะไปรีดิวซ์พันธะไดซัลไฟด์ที่เกิดจากการให้ความร้อนกับตัวอย่างให้เป็นหมู่ sulfhydryl แต่ไม่สามารถรีดิวซ์พันธะ ε-(γ-glutamyl) lysine ทำให้โพลีเมอร์ของโปรตีนในช่วง 51 – 52 kDa บางลง (Seguro *et al.*, 1995; Jiang *et al.*, 1998)

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าปริมาณ TGase ที่ผันแปรในแต่ละสิ่งทดลอง ส่งผลต่อคุณภาพในด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์ ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อสังเกตค่าการยอมรับของผู้บริโภคเทียบกับเค้าโครงเนื้อสัมผัสพบว่าการใช้ TGase ที่ระดับสูงขึ้นทำให้ได้ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสมากขึ้น แต่ไม่ได้แสดงว่าผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสจะให้คะแนนการยอมรับที่มากขึ้นตาม จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสมากเกินไปผู้ทดสอบก็ให้คะแนนการยอมรับที่ลดลงโดยการใช้ TGase ที่ระดับร้อยละ 0.1 ของเนื้อหมูได้คะแนนการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุด และมีได้เค้าโครงเนื้อสัมผัสต่างๆ ดังนี้ ค่า hardness 12273.19 กรัมแรง ค่า springiness 0.69 ค่า cohesiveness 0.52 และค่า gumminess 6370.55 ซึ่งการที่ค่าเค้าโครงเนื้อสัมผัสที่มากขึ้นเนื่องมาจากการที่ TGase เข้าไปเร่งปฏิกิริยาในการเชื่อมพันธะกันของโปรตีน โดยจะสังเกตได้จากผลการวิเคราะห์ SDS – PAGE พบว่าขนาดของมวลโมเลกุลของโปรตีนมีขนาดใหญ่เช่นเดียวกับผลการทดลองในผลิตภัณฑ์ chicken doner kebab ที่ใช้ TGase พบ bands ของโปรตีนเพิ่มขึ้น และมีขนาดใหญ่กว่าสิ่งทดลองที่ไม่ได้ใช้ TGase (Kilic, 2003) ซึ่งการเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้ช่วยปรับคุณสมบัติทางหน้าที่ของโปรตีน ไม่ว่าจะเป็นความสามารถในการเกิดเจล ความหนืด ความเสถียรต่อความร้อน และความสามารถในการอุ้มน้ำเป็นต้น ซึ่งส่งผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งในด้านเนื้อสัมผัส กลิ่นรส และลักษณะปรากฏดีขึ้น (ประพันธ์, 2544) เช่นเดียวกับการใช้ TGase ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นไก่ ที่มีค่าความแข็งแรงของเจลมากขึ้นตามปริมาณของ TGase ที่ใช้ในการทดลอง (Tseng *et al.*, 2000)

4.3 การศึกษาผลของการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมัน และโซเดียมที่พัฒนาได้

จากการพัฒนาสูตรที่เหมาะสมของการผลิต ผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมัน และโซเดียมได้ช่วงของส่วนผสมที่เหมาะสมดังตารางที่ 4.11 จึงทำการผลิตลูกชิ้นตามสูตรที่พัฒนาได้ เพื่อทำการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ที่ได้จากการพัฒนา โดยทำการผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ครั้ง และนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไปตรวจสอบคุณภาพทางด้านเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.11 ช่วงส่วนผสมที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมัน และโซเดียม

ส่วนผสม		ร้อยละ
เนื้อหมู		100.0
มันแข็ง	(7.00 – 10.97)**	9.4*
อินูลิน	(11.58 – 13.00)**	13*
โซเดียมคลอไรด์	(2.17 – 2.60)**	2.5*
โพแทสเซียมคลอไรด์	(1.55 – 2.68)**	1.7*
พริกไทย		0.3*
กระเทียม		3.3*
ฟอตเฟส (Sodium Tri Poly phosphate: STPP)		0.1*
น้ำแข็ง		33.0*
TGase		0.1*

* ร้อยละคิดเทียบจากปริมาณเนื้อหมู

**ค่าในวงเล็บ( ) เป็นช่วงที่เหมาะสมคิดเป็นร้อยละจากปริมาณเนื้อหมู

จากผลการวิเคราะห์เค้าโครงทางเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์สุดท้าย พบว่าผลิตภัณฑ์ ลูกชิ้นหมูลดไขมัน และโซเดียมมีค่า hardness, springiness, cohesiveness และgumminess แสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่าคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย มีค่าใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ย* และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียมในผลิตภัณฑ์สุดท้าย

คุณลักษณะ	ผลการวิเคราะห์	หน่วย
Hardness	12660.86 ± 1222.43	g.force
Springiness	0.73 ± 0.03	
Cohesiveness	0.52 ± 0.02	
Gumminess	6551.79 ± 571.67	

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จากการวัดค่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Texture analyzer จำนวน 10 ซ้ำ

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ย* ของคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียมในผลิตภัณฑ์สุดท้าย

คุณลักษณะ	ผลการวิเคราะห์	หน่วย
- ค่า pH	6.11 ± 0.01*	
- ปริมาณไขมัน	6.46	g/100g
- ปริมาณโซเดียม	733.70	mg/100g
- ปริมาณโปรตีน	18.24	g/100g
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Not Detected	g/100g
- ปริมาณเถ้า	2.05	g/100g
- ค่าความชื้น	73.43	g/100g

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จากการวัดค่าโดยใช้ pH meter จำนวน 2 ซ้ำ

จากผลการวิเคราะห์ทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมัน และโซเดียมพบว่าผลิตภัณฑ์มีค่า pH 6.11 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากสิ่งทดลองที่ใช้ TGase ในการทดลองที่ 2 และมีปริมาณไขมัน 6.46 g/100g และค่าปริมาณโซเดียม 733.70 mg/100g ซึ่งปริมาณโซเดียมที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณโซเดียมที่วิเคราะห์ได้ในการทดลองที่ 1 ซึ่งลดปริมาณโซเดียมได้ร้อยละ 27 จากสูตรเดิม และมีปริมาณโปรตีน 18.24 g/100g

จากนั้นนำตัวอย่างลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม ไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้วิธี 9 - point hedonic scale ทดสอบกับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 200 คน ซึ่งเป็นผู้ที่รับประทานลูกชิ้นหมูในเขตอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการผลิตลูกชิ้น 2 ครั้ง และให้ผู้ทดสอบชิมตัวอย่างทั้ง 2 ตัวอย่าง พบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อย ถึงชอบปานกลาง (6.4 – 7.0 คะแนน) ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ย* และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียมในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (n = 200)

คุณลักษณะ	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2
ความชอบโดยรวม	6.8 ± 1.0	6.9 ± 1.0
รสคีม	6.4 ± 1.1	6.5 ± 1.1
รสชาติโดยรวม	6.8 ± 1.0	6.8 ± 1.1
เนื้อสัมผัส	7.0 ± 1.1	6.9 ± 1.2

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, จากการให้คะแนนความชอบระดับ 9 คะแนน (9 - point hedonic scale) จากผู้ทดสอบจำนวน 200 คน

จากผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมัน และโซเดียมที่พัฒนาได้ ทั้ง 2 ซ้ำ พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทุกคุณลักษณะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$)

จากนั้นนำตัวอย่างลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียม มาวิเคราะห์คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ เพื่อตรวจปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ตามที่มาตรฐานกำหนด (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1009, 2533) ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 คุณภาพทางจุลินทรีย์ ของผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียมในผลิตภัณฑ์สุดท้าย

คุณลักษณะ	ผลการวิเคราะห์	หน่วย
Total Plate Count	1.0×10^2	CFU/g
Escherichia coli	< 3.0	MPN/g
Salmonella	Not Detected	in 0.2 g
Staphylococcus aureus	Not Detected	CFU/g
Clostridium perfringens	Not Detected	in 25 g

จากตารางที่ 4.15 พบว่าผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นหมูลดไขมันและโซเดียมมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.0×10^2 CFU/g มีปริมาณ *E. coli* น้อยกว่า 3 MPN/g และตรวจไม่พบ *S. aureus*, *Salmonella* และ *C. perfringens* ซึ่งจากผลการตรวจคุณภาพด้านจุลินทรีย์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมีความปลอดภัยต่อการรับประทาน