บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การสำรวจเค้าโครงผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

การสำรวจคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกด้วยวิธี Ideal Ratio Profile Test โดยใช้ไส้กรอกคอกเทลตามท้องตลาด เป็นตัวอย่างอ้างอิงและใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้วจำนวน 15 คน คุณลักษณะต่าง ๆ ที่ผู้ทดสอบชิมเห็นว่าเป็นคุณลักษณะที่สำคัญต่อผลิตภัณฑ์แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณลักษณะสำคัญที่ต้องการพัฒนา

คุณลักษณะ	จำนวนผู้ทดสอบชิม (คน)
1. ลักษณะปรากฏ	
- สี	14
2. กลิ่นและรสชาติ	
- รสเค็ม	12
- กลิ่นเครื่องเทศ	11
- กลิ่นเนื้อ	6
3. ลักษณะเนื้อสัมผัส	
- ความแน่นเนื้อ	13
- ความเป็นเนื้อเดียวกัน	9
- ความฉ่ำน้ำ	7
- ความนุ่มเนื้อ	4
- ขนาด	2
- ความเหนียว	1

ดังนั้นคุณลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกได้แก่ สี ความแน่นเนื้อ รสเค็ม กลิ่นเครื่องเทศ ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความฉ่ำน้ำ และกลิ่นเนื้อ ส่วนคุณลักษณะด้านความนุ่มเนื้อ ขนาดและความเหนียว ไม่ถือเป็นคุณลักษณะสำคัญ เนื่องจากมีผู้ทดสอบชิมจำนวนน้อย (ต่ำกว่าร้อยละ 40) ที่ให้ความสำคัญกับคุณลักษณะดังกล่าว

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเค้าโครงสัดส่วน (Ideal Ratio Profile Test) ทำโดยการวัดความยาวจากปลายสุดของเส้นถึงจุดตำแหน่งของตัวอย่าง (Sample) แล้วนำมาหารด้วยค่าความยาวจากปลายสุดของเส้นถึงจุดแสดงตำแหน่งที่เหมาะสม (Ideal) นำค่าสัดส่วนที่ได้ของผู้ชิมแต่ละคนในลักษณะเดียวกันมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยที่ได้นำมาสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในลักษณะต่าง ๆ ให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ตลอดจนสามารถบอกความต้องการของผู้บริโภคในเชิงปริมาณได้

การแปลความหมายของค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean Ideal Ratio Score) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ค่าสัดส่วนเฉลี่ย

ถ้าสัดส่วนเท่ากับ 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้นไม่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะที่ดีเท่ากับลักษณะที่ต้องการของผู้บริโภคในอุดมคติ

ถ้าสัดส่วนมากกว่า 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้น ๆ มีความจำเป็นต้องลดความเข้มหรือความแรงของลักษณะนั้น ๆ ลง

ถ้าสัดส่วนน้อยกว่า 1.00 หมายความว่า ลักษณะนั้น ๆ มีความจำเป็นต้องเพิ่มความเข้มหรือความแรงของลักษณะนั้น ๆ ขึ้น

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0 หมายความว่า ผู้ทดสอบชิมมีความเห็นตรงกันหรือพ้องกัน

ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 หมายความว่า ผู้ทดสอบชิมมีความเห็นต่างกันบ้าง

ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 หมายความว่า ผู้ทดสอบชิมมีความเห็นต่างกันมาก ในกรณีนี้ต้องพิจารณาด้วยความรอบคอบ ต้องมีเหตุผลอื่นประกอบก่อนที่จะตัดสินใจดำเนินการในขั้นต่อไป

จากการออกแบบสอบถาม Ideal Ratio Profile กับผู้บริโภคจำนวน 15 คน ได้ผลดังตารางที่ 4.2

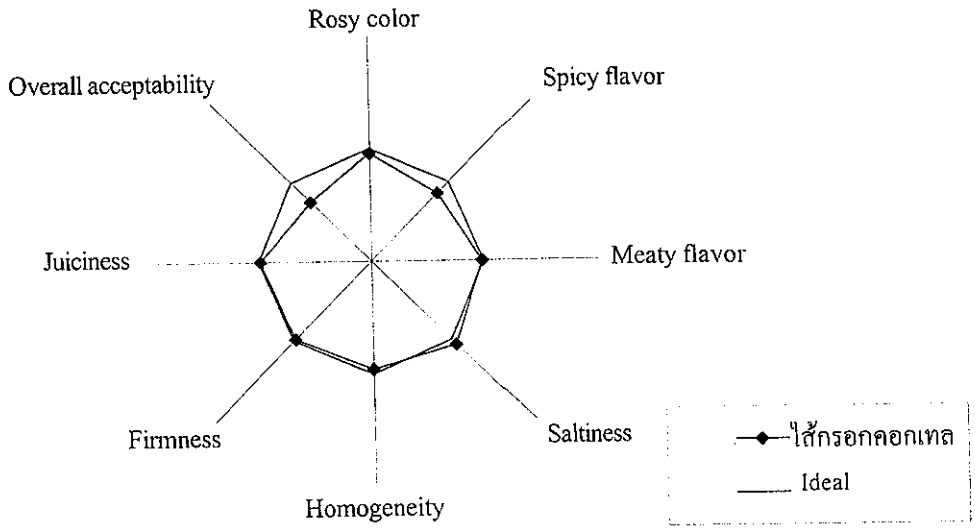
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัดส่วนเฉลี่ย (Mean Ideal Ratio Score) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของลักษณะต่าง ๆ ที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก

ลักษณะที่สำคัญของผลิตภัณฑ์	Sample		Ideal		Ratio (Sample/Ideal)	
	X (ซ.ม.)	SD	X (ซ.ม.)	SD	X (ซ.ม.)	SD
1. ลักษณะปรากฏ						
- สี	5.26	1.52	5.54	1.38	0.96	0.19
2. กลิ่นและรสชาติ						
- รสเค็ม	3.73	1.30	3.54	1.05	1.06	0.25
- กลิ่นเครื่องเทศ	4.62	2.17	5.09	1.69	0.86	0.21
- กลิ่นเนื้อ	6.25	1.92	6.42	1.93	0.98	0.18
3. ลักษณะเนื้อสัมผัส						
- ความแน่นเนื้อ	6.47	1.48	6.72	1.52	0.97	0.07
- ความเป็นเนื้อเดียวกัน	7.00	1.31	7.40	1.25	0.95	0.05
- ความฉ่ำน้ำ	6.59	1.70	6.66	1.73	0.99	0.03
4. การยอมรับรวม	7.60	0.50	10.00	0.00	0.76	0.05

ตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าคุณลักษณะด้านสี กลิ่นเครื่องเทศ กลิ่นเนื้อ ความแน่นเนื้อ ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความฉ่ำน้ำ และการยอมรับรวม มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยต่ำกว่า 1.00 แสดงว่าผลิตภัณฑ์ควรมีการปรับปรุงในทิศทางที่จะเพิ่มความเข้มของคุณลักษณะดังกล่าวให้สูงขึ้น

ส่วนคุณลักษณะด้านรสเค็มมีค่าสัดส่วนเฉลี่ยสูงกว่า 1.00 แสดงว่าผลิตภัณฑ์ควรมีการปรับปรุงในทิศทางที่จะลดความเข้มของคุณลักษณะดังกล่าวให้ต่ำลง

เมื่อประมวลคุณลักษณะที่สำคัญจากผู้ทดสอบชิมได้แล้ว จะนำค่าสัดส่วนเฉลี่ยของแต่ละคุณลักษณะมาสร้างเค้าโครงผลิตภัณฑ์เป็นกราฟใยแมงมุม (Cyclic profile) เทียบกับค่าสัดส่วนในอุดมคติ ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงเค้าโครงผลิตภัณฑ์ของไส้กรอกคอกเทลตามท้องตลาด

จากการทดสอบเค้าโครงผลิตภัณฑ์ในครั้งแรก จะสามารถกำหนดค่าอุดมคติถาวร (Fixed Ideal) ของแต่ละคุณลักษณะได้ดังนี้ สีเท่ากับ 5.54 ซ.ม. กลิ่นเครื่องเทศเท่ากับ 5.09 ซ.ม. กลิ่นเนื้อ 6.42 ซ.ม. รสเค็มเท่ากับ 3.54 ซ.ม. ความเป็นเนื้อเดียวกันเท่ากับ 7.40 ซ.ม. ความแน่นเนื้อเท่ากับ 6.72 ซ.ม. ความฉ่ำน้ำเท่ากับ 6.66 ซ.ม. และการยอมรับโดยรวมเท่ากับ 10.00 ซ.ม. ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกกำหนดไว้ในแบบทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส เพื่อใช้ในการหาค่าสัดส่วนเฉลี่ยในการทดลองขั้นต่อไป

4.2 การศึกษาพันธุ์ข้าวในการผลิตอังคัก

การผลิตอังคักจากข้าวสายพันธุ์ต่างกันจะให้ความเข้มของสีแดงแตกต่างกัน (Palo *et al.*, 1960) ข้าว 4 พันธุ์ที่นำมาทดลองเพื่อทดสอบสีของอังคักได้แก่ ข้าวซ้อมมือ ข้าวเจ้าชัยนาท ข้าวหอมมะลิแม่จัน และข้าวหอมมะลิสุรินทร์ วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง วัดค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าสีในระบบ CIELAB (ตารางที่ 4.3) และค่าทางเคมีได้แก่ ปริมาณน้ำก่อนอบและค่าความชื้นหลังอบข้าวแดง (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าสีของอังคักที่ผลิตจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

พันธุ์ข้าว	L	a	b	C	h
ข้าวซ้อมมือ	43.18±0.11	12.76±0.24	7.54±0.02^{a}	14.82±0.20	30.60±0.54^{a}
ข้าวเจ้าชัยนาท	39.41±1.97	10.62±1.47	4.89±1.25^{b}	11.69±1.86	24.53±2.59^{b}
ข้าวหอมมะลิแม่จัน	42.96±0.00	13.08±0.30	7.69±0.41^{a}	15.17±0.46	30.46±0.77^{a}
ข้าวหอมมะลิสุรินทร์	42.22±1.14	13.05±0.74	6.83±0.49^{ab}	14.73±0.88	27.60±0.39^{ab}

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่อยู่ในสดมภ์เดียวกันแสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $P \leq 0.05$

ค่าสีวัดด้วยระบบ CIELAB

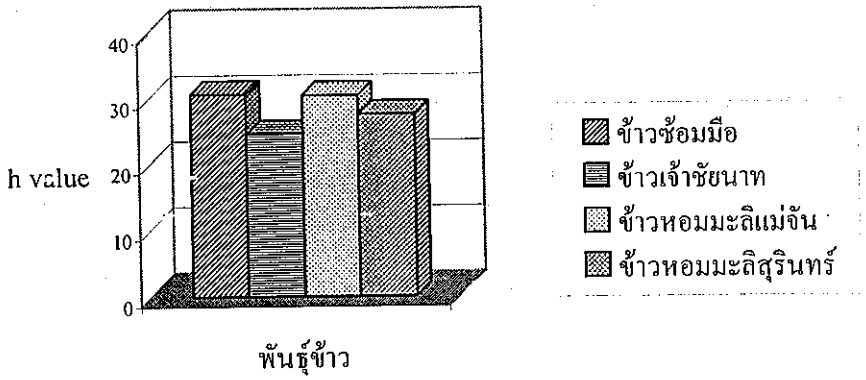
C value = $(a^2 + b^2)^{1/2}$

h value = arctan (b/a) h = 0 degree (red) h = 90 degree (yellow) h = 180 degree (green) h = 270 degree (blue)

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณน้ำของอังคักก่อนอบและความชื้นของอังคักหลังอบ

พันธุ์ข้าว	ปริมาณน้ำของอังคักก่อนอบ (%)	ความชื้นของอังคักหลังอบ (%)
ข้าวซ้อมมือ	68.84±2.33	9.13±1.03
ข้าวเจ้าชัยนาท	72.33±2.45	9.18±1.73
ข้าวหอมมะลิแม่จัน	79.79±1.94	11.24±1.46
ข้าวหอมมะลิสุรินทร์	79.29±7.87	8.92±0.10

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า h value กับพันธุ์ข้าวที่ใช้ในการผลิตอังคัก

ตารางที่ 4.3 พบว่าพันธุ์ข้าวมีผลต่อค่าสี b (yellowness) และค่า h (hue) value ของอังคักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยอังคักที่ผลิตจากข้าวซ้อมมือ ข้าวหอมมะลิแม่จัน และข้าวหอมมะลิสุรินทร์ จะให้ค่าสี b สูงที่สุด ในขณะที่ข้าวเจ้าชัยนาทให้ค่าสี b ต่ำที่สุด สำหรับค่า h value พบว่าอังคักที่ผลิตจากข้าวซ้อมมือ ข้าวหอมมะลิแม่จัน และข้าวหอมมะลิสุรินทร์ จะให้ค่า h value สูงที่สุด ในขณะที่ข้าวเจ้าชัยนาทให้ค่าสี h value ต่ำที่สุด การพิจารณาเลือกพันธุ์ข้าวเพื่อใช้ในการผลิตอังคักจะใช้ค่า h value เป็นเกณฑ์ ค่า h value ที่ต่ำสุดจะให้ค่าสีแดงสูงที่สุด ซึ่งจากการทดลองพบว่าอังคักที่ผลิตจากข้าวเจ้าชัยนาทและข้าวหอมมะลิสุรินทร์มีค่า h value ที่ไม่แตกต่างกัน แต่ดูเหมือนว่าอังคักที่ผลิตจากข้าวเจ้าชัยนาทจะมีค่า h value ต่ำกว่าหรือให้สีแดงสูงกว่า สำหรับค่าสี L (lightness), a (redness) และค่า C (choma) value ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกข้าวเจ้าชัยนาทเป็นวัตถุดิบในการผลิตอังคักเพื่อการเติมแต่งสีให้กับไส้กรอก

สำหรับปริมาณน้ำของอังคักเมื่อใช้พันธุ์ข้าวที่แตกต่างกัน พบว่าปริมาณน้ำของอังคักก่อนอบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และความชื้นของอังคักหลังอบก็ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($p > 0.05$) โดยปริมาณน้ำของอังคักก่อนอบจะอยู่ในช่วง 68.84-79.79 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นของอังคักหลังอบจะอยู่ในช่วง 8.92-11.24 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นประสิทธิภาพการอบอังคักที่อุณหภูมิ 80°ซ นาน 6 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณน้ำลงได้ 87.19 เปอร์เซ็นต์

4.3 การเลือกชนิดของน้ำมันพืชที่เหมาะสมในการผลิตไส้กรอก

การผลิตไส้กรอกจากน้ำมันพืชจะต้องมีการปรับปรุงคุณลักษณะทางกายภาพของน้ำมันพืชเพื่อให้เหมาะสมในการใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนไขมันสัตว์ ทั้งนี้โดยการแช่แข็งน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิดซึ่งได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันปาล์ม (ตราหยก, บริษัท ล่ำสูง (ประเทศไทย) จำกัด, สมุทรปราการ, ประเทศไทย) ที่อุณหภูมิ –13 ^{o}ซ นาน 12 ชั่วโมง และเนยขาว (ตราครีมท็อปป์, บริษัททรีท็อป เคมีคัล แอนด์ ฟู้ดส์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย) ไม่แช่แข็ง แต่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9 Point hedonic scaling test ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 15 คน แสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.3 วัดค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน และค่าสีในระบบ HunterLab แสดงในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.4, 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าคะแนนความชอบของไส้กรอกที่ทำจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ

ชนิดน้ำมันพืช	สี	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ลักษณะโดยรวม
น้ำมันถั่วเหลือง	4.80±1.20^{b}	6.22±0.70^{a}	5.15±1.05^{b}	4.64±0.56^{d}
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน	6.57±0.73^{a}	6.46±0.79^{a}	7.20±0.93^{a}	6.80±0.87^{a}
น้ำมันปาล์ม	6.51±0.72^{a}	6.13±0.74^{a}	5.62±0.92^{b}	6.17±0.88^{b}
เนยขาว	6.26±0.73^{a}	5.51±0.84^{b}	5.02±1.09^{b}	5.64±0.82^{c}

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

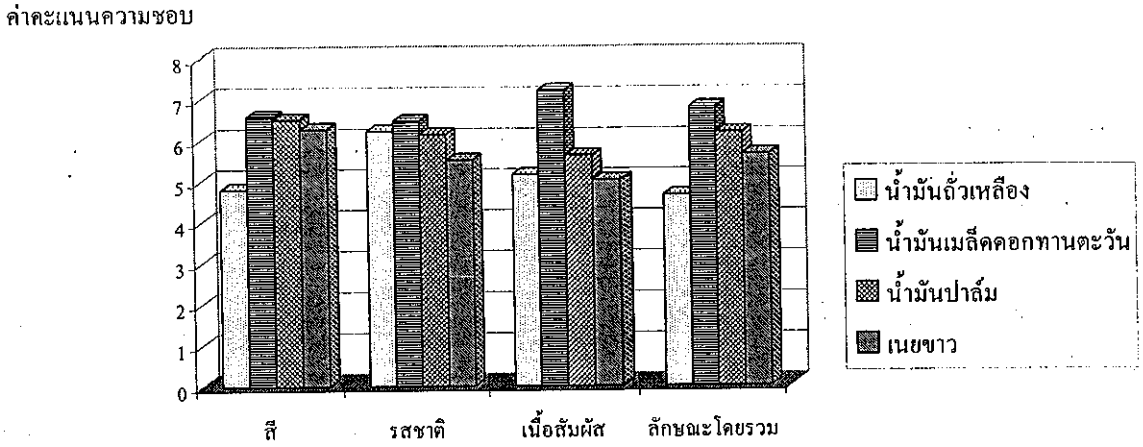
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่อยู่ในสดมภ์เดียวกันแสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าแรงเฉือน ค่าสี ของไส้กรอกที่ทำจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ

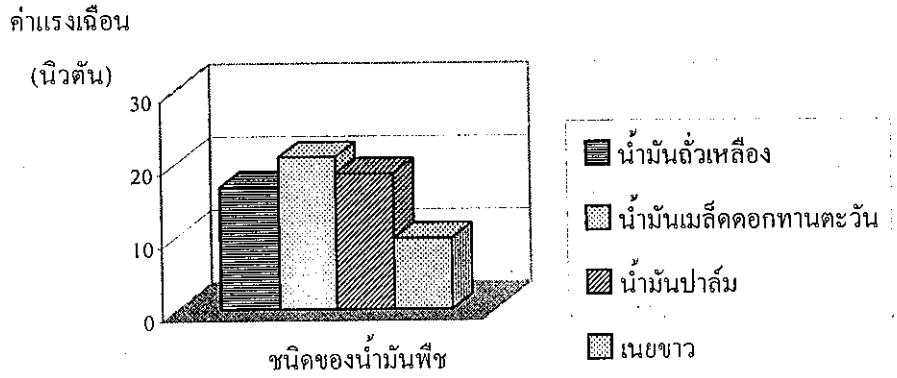
ชนิดน้ำมันพืช	ค่าแรงเฉือน (N)	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b
น้ำมันถั่วเหลือง	16.78±1.57^{b}	42.94±1.65^{b}	5.88±0.03^{ab}	8.49±0.48^{b}
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน	20.81±0.70^{a}	48.40±1.20^{a}	6.12±0.34^{a}	9.47±0.33^{a}
น้ำมันปาล์ม	18.53±0.82^{b}	47.32±1.29^{a}	6.33±0.22^{a}	9.44±0.39^{a}
เนยขาว	9.67±0.42^{c}	46.38±1.50^{a}	5.45±0.34^{b}	8.33±0.12^{b}

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

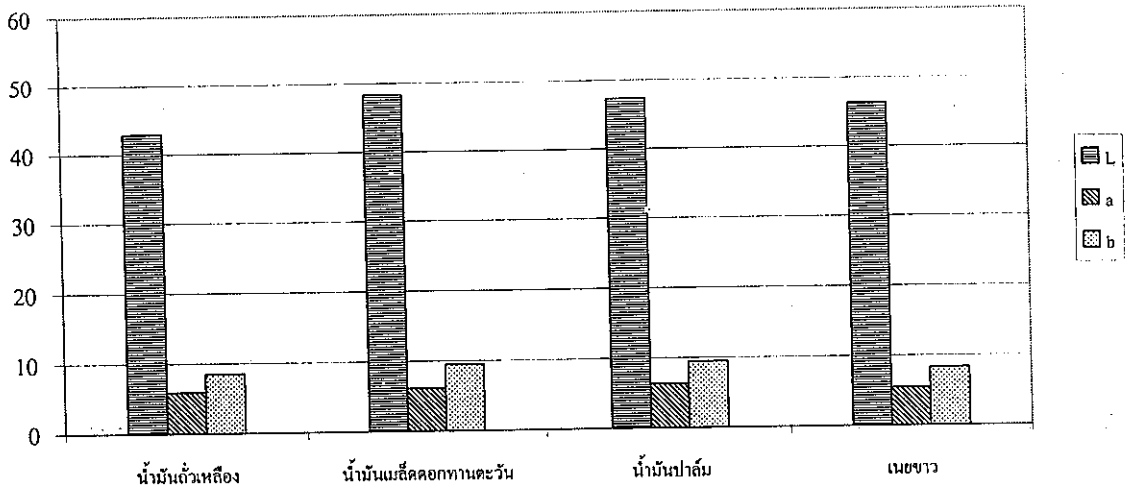
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่อยู่ในสดมภ์เดียวกันแสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าคะแนนความชอบของไส้กรอกที่ทำจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าแรงเฉือนของไส้กรอกที่ทำจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าสีของไส้กรอกที่ทำจากน้ำมันพืชชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสจากการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Least significant different (LSD) ที่ระดับ $p \leq 0.05$ สำหรับคุณลักษณะด้านสี พบว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันปาล์ม และเนยขาว ผู้ทดสอบชิมให้ค่าคะแนนความชอบที่ไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง คุณลักษณะด้านรสชาติ พบว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน และน้ำมันปาล์ม ผู้ทดสอบชิมให้ค่าคะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน แต่คะแนนดังกล่าวมีค่าสูงกว่าคะแนนของไส้กรอกที่ผลิตจากเนยขาว คุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส พบว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ผู้ทดสอบชิมให้ค่าคะแนนความชอบสูงที่สุด ในขณะที่ไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปาล์ม และเนยขาว ผู้ทดสอบชิมให้ค่าคะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน ส่วนลักษณะโดยรวม พบว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ผู้ทดสอบชิมให้ค่าคะแนนความชอบสูงที่สุด รองลงมาคือ ไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันปาล์ม เนยขาว และน้ำมันถั่วเหลือง ตามลำดับ

การวิเคราะห์ผลทางด้านกายภาพโดยวัดค่าแรงเฉือนแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันมีค่าแรงเฉือนสูงที่สุด นั่นคือผู้บริโภคต้องออกแรงในการตัดเนื้อไส้กรอกให้แตกออกจากกันสูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าไส้กรอกที่ทำจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันมีความแน่นเนื้อสูงกว่าไส้กรอกที่ทำจากน้ำมันพืชชนิดอื่น ไส้กรอกที่มีค่าแรงเฉือนรองลงมาคือไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง ซึ่งมีค่าแรงเฉือนไม่

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และไส้กรอกที่ทำจากเนยขาวมีค่าแรงเฉือนต่ำที่สุด นั่นคือผู้บริโภคใช้แรงในการตัดเนื้อไส้กรอกที่ทำจากเนยขาวน้อยกว่าตัวอย่างอื่น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าไส้กรอกที่ทำจากเนยขาวมีความแน่นเนื้อต่ำนั่นเอง สำหรับค่าสี L พบว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน น้ำมันปาล์ม และเนยขาว มีค่าสี L ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีค่าสูงกว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง สำหรับค่าสี a ไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันมีค่าสี a ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และไม่แตกต่างกับไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลือง อย่างไรก็ตามไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองให้ค่าสี a ไม่แตกต่างกับไส้กรอกที่ผลิตจากเนยขาว แต่สำหรับไส้กรอกที่ผลิตจากเนยขาวจะมีค่าสี a ต่ำที่สุด สำหรับค่าสี b พบว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันและน้ำมันปาล์มมีค่าสี b ที่ไม่แตกต่างกัน แต่สูงกว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองและเนยขาว

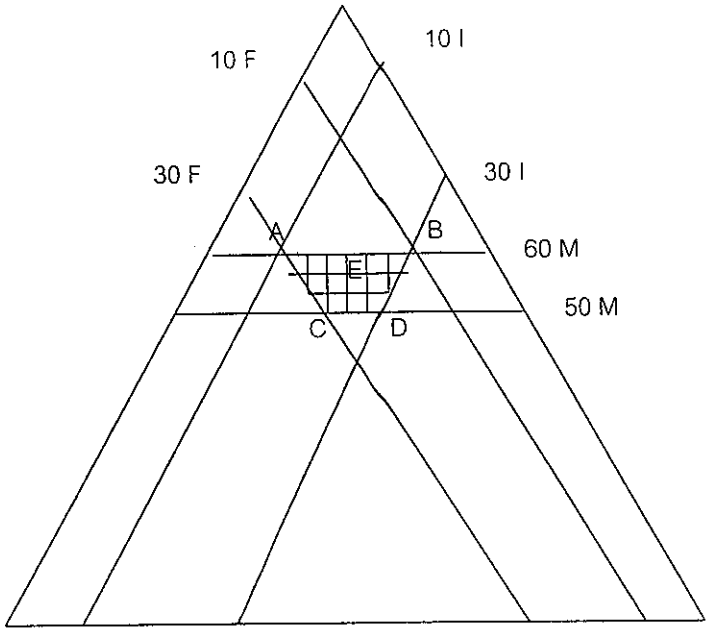
ในการเลือกชนิดของน้ำมันพืชเพื่อใช้ในการผลิตไส้กรอก จะพิจารณาจากค่าคะแนนความชอบของผู้ทดสอบชิมเป็นหลัก ซึ่งพบว่าไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันมีค่าคะแนนความชอบในด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และลักษณะโดยรวมสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันมาใช้ในการผลิตไส้กรอกในขั้นตอนต่อไป

4.4 การหาสูตรที่เหมาะสมของระบบอิมัลชั่น

4.4.1) การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเนื้อหมู น้ำมันพืช และน้ำแข็ง

การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของระบบอิมัลชั่นของไส้กรอก ได้กำหนดช่วงระดับต่ำและระดับสูงของเนื้อหมู น้ำมันพืช และน้ำแข็ง เท่ากับ 50-60%, 10-30% และ 10-30% ตามลำดับ วางแผนการทดลองแบบ Mixture design (ไพโรจน์, 2536) กำหนด Feasible region ได้ดังภาพที่ 4.6 ซึ่งจะได้สูตรในการทดลองที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ Feasible region จำนวน 5 สูตร จากจุดปลายของพื้นที่สี่เหลี่ยมจำนวน 4 จุด และจุดกลางพื้นที่จำนวน 1 จุด แสดงสูตรการทดลองตามตารางที่ 4.7

อัตราส่วนของเนื้อหมู : น้ำมันพืช : น้ำแข็ง ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่า M.D. (Mean deviation) (บุญเรียง, 2539) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลแต่ละตัวที่เบี่ยงเบนไปจากค่าของข้อมูลชุดนั้น โดยไม่คำนึงถึงทิศทางหรือเครื่องหมายของการเบี่ยงเบน ซึ่งในที่นี้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลคือ ค่า Ideal Ratio Score ดังนั้นสูตรที่มีค่า M.D. ต่ำสุด แสดงว่าสูตรนั้นมีการเบี่ยงเบนออกจากค่าในอุดมคติน้อยที่สุดหรือมีค่าเข้าใกล้ค่าอุดมคติมากที่สุด (ดังตารางที่ 4.9) ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile Test เค้าโครงของผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 4.7 วัดค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน ค่าสีในระบบ HunterLab และค่า Total Expression Fluid (TEF) ดังแสดงในตารางที่ 4.10



= Feasible region

F = vegetable oil, M = Meat, I = Ice

ภาพที่ 4.6 แสดง Feasible region ของสูตรไส้กรอก

ตารางที่ 4.7 แสดงสูตรไส้กรอกที่ถูกกำหนดขึ้นภายในพื้นที่ Feasible region

สูตร	เนื้อหมู	น้ำมันพืช	น้ำแข็ง
A	60	30	10
B	60	10	30
C	50	30	20
D	50	20	30
E	55	22.5	22.5

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า Mean Ideal Ratio Score ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเมื่อใช้ส่วนประกอบหลักต่างกัน

คุณลักษณะ	สูตร A	สูตร B	สูตร C	สูตร D	สูตร E
สี	1.22±0.24	0.83±0.13	1.14±0.22	0.87±0.19	1.00±0.11
กลิ่นเครื่องเทศ	0.94±0.28	0.97±0.14	0.98±0.25	0.95±0.09	0.84±0.13
กลิ่นเนื้อ	0.88±0.21	0.93±0.17	0.91±0.25	0.88±0.16	0.95±0.10
รสเค็ม	0.92±0.12	0.81±0.12	0.86±0.13	0.94±0.08	0.93±0.11
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	0.73±0.17	0.93±0.12	0.80±0.15	0.92±0.10	0.93±0.10
ความแน่นเนื้อ	1.17±0.14	0.90±0.15	0.99±0.22	0.96±0.12	1.02±0.15
ความฉ่ำน้ำ	0.76±0.18	0.94±0.14	0.98±0.21	0.97±0.04	0.89±0.12
การยอมรับโดยรวม	0.56±0.19	0.72±0.12	0.59±0.16	0.77±0.11	0.75±0.11

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า Mean deviation ของ Mean Ideal Ratio Score เมื่อใช้ส่วนประกอบหลักต่างกัน

คุณลักษณะ	สูตร A	สูตร B	สูตร C	สูตร D	สูตร E
สี	0.22*	0.17	0.14	0.13	0.00
กลิ่นเครื่องเทศ	0.06	0.03	0.02	0.05	0.16
กลิ่นเนื้อ	0.12	0.07	0.09	0.12	0.05
รสเค็ม	0.08	0.19	0.14	0.06	0.07
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	0.27	0.07	0.20	0.08	0.07
ความแน่นเนื้อ	0.17	0.10	0.01	0.04	0.02
ความฉ่ำน้ำ	0.24	0.06	0.02	0.03	0.11
การยอมรับโดยรวม	0.44	0.28	0.41	0.23	0.25
Mean deviation	**0.200****	**0.121**	**0.129**	**0.092**	**0.091**

หมายเหตุ : * คือ | Mean Ideal Ratio Score – Ideal Ratio Score |

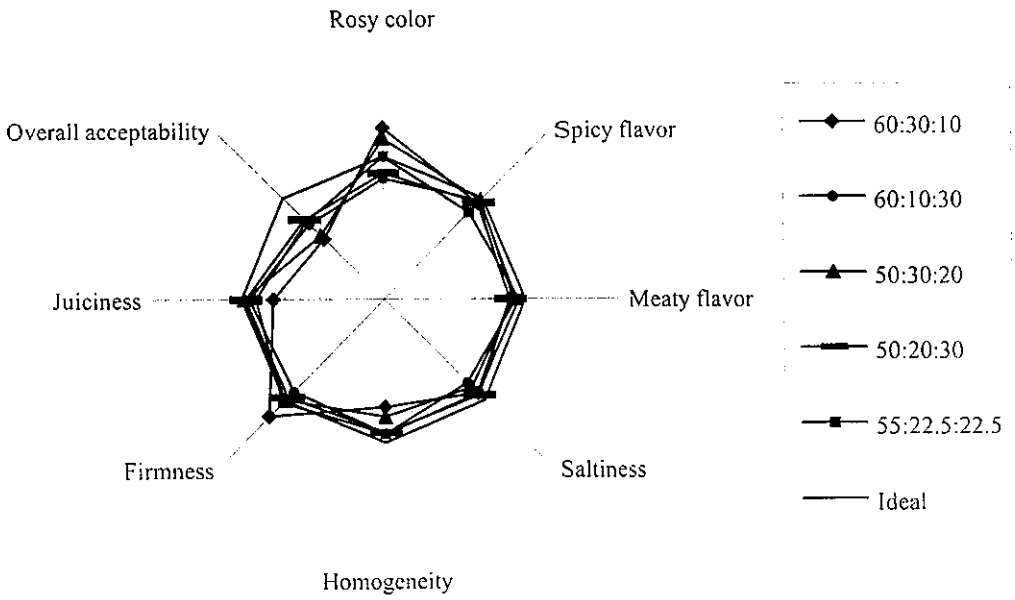
** คือค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลแต่ละตัวที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้น โดยไม่คำนึงถึงทิศทางหรือเครื่องหมายของการเบี่ยงเบน

M.D. = Σf | Mean Ideal Ratio Score – Ideal Ratio Score | / n

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าแรงเฉือน ค่าสี และค่า TEF ของไส้กรอกสูตรต่าง ๆ เมื่อใช้ส่วนประกอบหลักต่างกัน

สูตร	ค่าแรงเฉือน (N)	ค่า L	ค่า a	ค่า b	TEF (%)
A	15.73±0.51	42.60±0.39	8.69±0.29	8.07±0.07	16.05±3.36
B	11.18±0.92	49.60±0.66	8.16±0.02	9.05±0.30	1.64±0.10
C	8.84±0.59	45.88±0.15	8.70±0.39	9.43±0.12	20.99±2.45
D	15.92±1.26	50.88±0.62	8.29±0.06	9.88±0.15	1.26±0.24
E	9.73±0.83	48.34±0.28	7.41±0.16	8.75±0.26	1.75±0.17

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเมื่อใช้ส่วนประกอบหลักต่างกัน

ตารางที่ 4.9 พบว่าสูตรไส้กรอกที่มีค่าคะแนนเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนออกจากค่าในอุดมคติน้อยที่สุดคือสูตร E ซึ่งมีอัตราส่วนของเนื้อหมู : น้ำมันพืช : น้ำแข็ง เท่ากับ 55 : 22.5 : 22.5 และเมื่อสังเกตจากภาพที่ 4.7 โดยรวมจะเห็นว่าไส้กรอกสูตรดังกล่าวมีโครงร่างใยแมงมุมเข้าใกล้กับค่าในอุดมคติมากที่สุด

การวิเคราะห์ค่าทางกายภาพ (แสดงในตารางที่ 4.10) พบว่าค่าแรงเฉือนของสูตรไส้กรอกทั้ง 5 สูตรอยู่ในช่วง 8.84-15.92 นิวตัน สำหรับค่า Total Expression Fluid ซึ่งบ่งบอกถึงความเสถียรของอิมัลชั่น หากค่า TEF ต่ำจะหมายถึงไส้กรอกสูตรนั้นมีความเสถียรของอิมัลชั่นสูง ในทางกลับกันค่า TEF ที่สูงจะหมายถึงความเสถียรของอิมัลชั่นต่ำ ซึ่งจากสูตรทั้ง 5 สูตร พบว่าสูตร A และ C มีค่า TEF เท่ากับ 16.05±3.36 และ 20.99±2.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่สูตร B, D และ E มีค่า TEF เท่ากับ 1.64±0.10, 1.26±0.24 และ 1.75±0.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นั่นหมายถึงไส้กรอกสูตร A และ C มีความเสถียรของอิมัลชั่นต่ำกว่าสูตร B, D และ E ค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสมของระบบอิมัลชั่นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า TEF อย่างมาก จึงทำให้ค่า TEF เปลี่ยนแปลงแตกต่างกันแบ่งเป็น 2 กลุ่มอย่างชัดเจน สำหรับค่าสี L ของไส้กรอกทั้ง 5 สูตรจะอยู่ในช่วง 42.60-50.88 ค่าสี a อยู่ในช่วง 7.41-8.70 และค่าสี b อยู่ในช่วง 8.07-9.88

4.4.2) การเปรียบเทียบสูตรไส้กรอกจากผลการทดลอง 4.1 กับสูตรพื้นฐาน

ในการทดลองที่ 4.3 ได้ทำการผลิตไส้กรอกโดยใช้สูตรพื้นฐานคือ เนื้อหมู : น้ำมันพืช : น้ำแข็ง ในอัตราส่วน 50 : 25 : 25 ดังนั้นสูตรที่เลือกได้จากผลการทดลองที่ 4.4.1 ซึ่งมีอัตราส่วนของเนื้อหมู : น้ำมันพืช : น้ำแข็ง เท่ากับ 55 : 22.5 : 22.5 จึงต้องนำมาเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐานเพื่อหาสูตรที่ดีที่สุดในการนำมาพัฒนาต่อไป

สูตรที่เหมาะสมจะถูกเลือกโดยใช้ค่า M.D. (Mean deviation) เป็นตัวกำหนด ซึ่งค่า M.D. ที่ต่ำสุดหมายถึงสูตรนั้นมีการเบี่ยงเบนออกจากค่าในอุดมคติน้อยที่สุดหรือมีค่าเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด ตารางที่ 4.10 แสดงค่า M.D. ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกแต่ละสูตร ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile Test เค้าโครงของผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 4.8 วัดค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน ค่าสีในระบบ HunterLab และค่า Total Expression Fluid (TEF) ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงค่า Mean Ideal Ratio Score ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเทียบกับสูตรพื้นฐาน

คุณลักษณะ	สูตร E	สูตรพื้นฐาน (50 : 25 : 25)
สี	0.92±0.06	0.98±0.09
กลิ่นเครื่องเทศ	0.92±0.07	0.94±0.05
กลิ่นเนื้อ	0.96±0.05	0.98±0.04
รสเค็ม	0.80±0.18	0.79±0.11
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	1.00±0.00	0.97±0.03
ความแน่นเนื้อ	1.01±0.02	0.99±0.03
ความฉ่ำน้ำ	0.94±0.06	0.94±0.05
การยอมรับโดยรวม	0.86±0.07	0.85±0.06

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.12 แสดงค่า Mean deviation ของ Mean Ideal Ratio Score เทียบกับสูตรพื้นฐาน

คุณลักษณะ	สูตร E	สูตรพื้นฐาน (50 : 25 : 25)
สี	0.08	0.02*
กลิ่นเครื่องเทศ	0.08	0.06
กลิ่นเนื้อ	0.04	0.02
รสเค็ม	0.20	0.21
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	0.00	0.03
ความแน่นเนื้อ	0.01	0.01
ความฉ่ำน้ำ	0.06	0.06
การยอมรับโดยรวม	0.14	0.15
Mean deviation	**0.076**	**0.070****

หมายเหตุ : * คือ | Mean Ideal Ratio Score – Ideal Ratio Score |

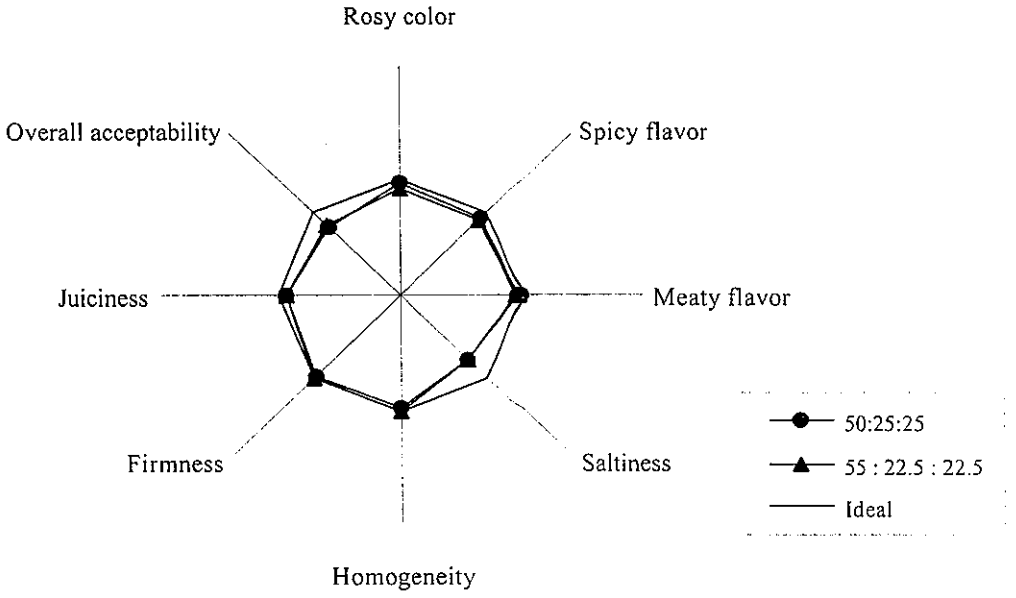
** คือค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลแต่ละตัวที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้น โดยไม่คำนึงถึงทิศทางหรือเครื่องหมายของการเบี่ยงเบน

M.D. = $\sum$| Mean Ideal Ratio Score – Ideal Ratio Score | / n

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าแรงเฉือน ค่าสี และค่า TEF ของไส้กรอกเทียบกับสูตรพื้นฐาน

สูตร	ค่าแรงเฉือน (N)	ค่า L	ค่า a	ค่า b	TEF (%)
สูตร E	11.52±0.73	48.15±0.50	7.26±0.25	8.55±0.35	1.61±0.07
สูตรพื้นฐาน	19.03±2.31	49.46±0.76	7.67±0.10	9.19±0.27	1.74±0.15

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรพื้นฐาน

การทดลองที่ 4.4.1 สูตรที่ให้ค่า M.D. ต่ำสุดได้แก่ สูตร E ซึ่งมีอัตราส่วนเนื้อหมู : น้ำมันพืช : น้ำแข็ง เท่ากับ 55 : 22.5 : 22.5 แต่หลังจากนำสูตรดังกล่าวมาทดลองเทียบกับสูตรพื้นฐานซึ่งมีอัตราส่วน เนื้อหมู : น้ำมันพืช : น้ำแข็ง เท่ากับ 50 : 25 : 25 พบว่าสูตรพื้นฐานให้ค่า M.D. ที่ต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเกิดจากการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันพืชในขั้นตอนที่ 4.3 โดยการแช่แข็งน้ำมันพืชไว้ที่อุณหภูมิ -13°ซ นาน 12 ชั่วโมง เพื่อทำให้น้ำมันพืชเปลี่ยนสถานะและสามารถใช้ทดแทนไขมันสัตว์ได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันที่ผ่านการแช่แข็งเป็นน้ำมันพืชเหมาะสมสำหรับใช้ทดแทนไขมันสัตว์ในสูตรการผลิตไส้กรอกที่มีอัตราส่วนของเนื้อหมู : น้ำมันพืช : น้ำแข็ง เท่ากับ 50 : 25 : 25 ซึ่งสูตรดังกล่าวมีค่าเฉลี่ยของความเข้มในแต่ละคุณลักษณะเบี่ยงเบนออกจากค่าในอุดมคติน้อยกว่าสูตรอื่น ๆ จึงเป็นสูตรของส่วนประกอบหลักที่มีเหมาะสมในการนำมาปรับปรุงด้วยเครื่องปรุงชนิดอื่นต่อไป

4.5 การกลั่นกรองหาปัจจัยที่มีความสำคัญ

ขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของไส้กรอก ซึ่งกำหนดปัจจัยและช่วงในการกลั่นกรองที่ระดับต่ำและระดับสูงดังนี้ เกลือ 1-3 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไนไตร์ท 0.0125-0.0150 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0-3 เปอร์เซ็นต์ อังคัก 1-2 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง 1-3 เปอร์เซ็นต์ แป้งมันสำปะหลัง 1-5 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องเทศ 0.5-1 เปอร์เซ็นต์ วางแผนแบบ Plackett & Burman จำนวน N เท่ากับ 12 สูตรการทดลองแสดงในตารางที่ 4.14 ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile Test เค้าโครงของผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 4.9 วัดค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน ค่าสีในระบบ HunterLab และค่า Total Expression Fluid (TEF) วัดค่าทางเคมีได้แก่ ปริมาณน้ำ ปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นสูงกว่า 80% ขึ้นไป (ตารางที่ 4.18) จะถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตไส้กรอกต่อไป

ตารางที่ 4.17 แสดงผลของปัจจัยและและค่า t value ซึ่งการหาอิทธิพลของปัจจัย (Effect) สามารถกระทำได้โดยการหาผลต่างระหว่าง (ผลรวมของผลที่เกิดจากการใช้ปัจจัยในระดับสูง) และ(ผลรวมจากการใช้ปัจจัยในระดับต่ำ) ผลของปัจจัยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Effect (ปัจจัย)} = \frac{\text{(ผลรวมของผลที่เกิดจากการใช้ปัจจัยในระดับสูง)}}{6} - \frac{\text{(ผลรวมของผลที่เกิดจากการใช้ปัจจัยในระดับต่ำ)}}{6}$$

เมื่อ N = 12

สำหรับ Effect dummy variables จะนำมาใช้ในการทดสอบผลเนื่องจากปัจจัยหลัก (Real effect) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยนำค่าของ Effect dummy variables มาหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) ดังสูตร

$$\text{S.E. (Effect)} = (\Sigma d^2/n)^{1/2}$$

เมื่อ Σd = Dummy effects

n = จำนวนของ Dummy effects

หลังจากนั้นสามารถหาผลของปัจจัยหลักว่ามีความสำคัญต่อระบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่โดยการหาค่า t value จากการคำนวณดังนี้

t value = Effect / S.E. (Effect)

แล้วจึงนำค่า t value จากการคำนวณไปเปรียบเทียบกับค่า t table ที่ df เท่ากับจำนวนของ Dummy effects

ตารางที่ 4.14 แสดงสูตรการทดลองไส้กรอกจำนวน 12 สูตร จากแผนการทดลอง Plackett & Burman

สูตร	ปัจจัย (เปอร์เซ็นต์)						
	เกลือ	ไนไตร์ท	ฟอสเฟต	อังคัก	โปรตีนจากถั่วเหลือง	แป้งมันสำปะหลัง	เครื่องเทศ
1	3	0.0150	0	2	3	5	0.5
2	3	0.0125	0.3	2	3	1	0.5
3	1	0.0150	0.3	2	1	1	0.5
4	3	0.0150	0.3	1	1	1	1
5	3	0.0150	0	1	1	5	0.5
6	3	0.0125	0	1	3	1	1
7	1	0.0125	0	2	1	5	1
8	1	0.0125	0.3	1	3	5	0.5
9	1	0.0150	0	2	3	1	1
10	3	0.0125	0.3	2	1	5	1
11	1	0.0150	0.3	1	3	5	1
12	1	0.0125	0	1	1	1	0.5

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า Mean Ideal Ratio Score ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากสูตรการผลิต 12 สูตร

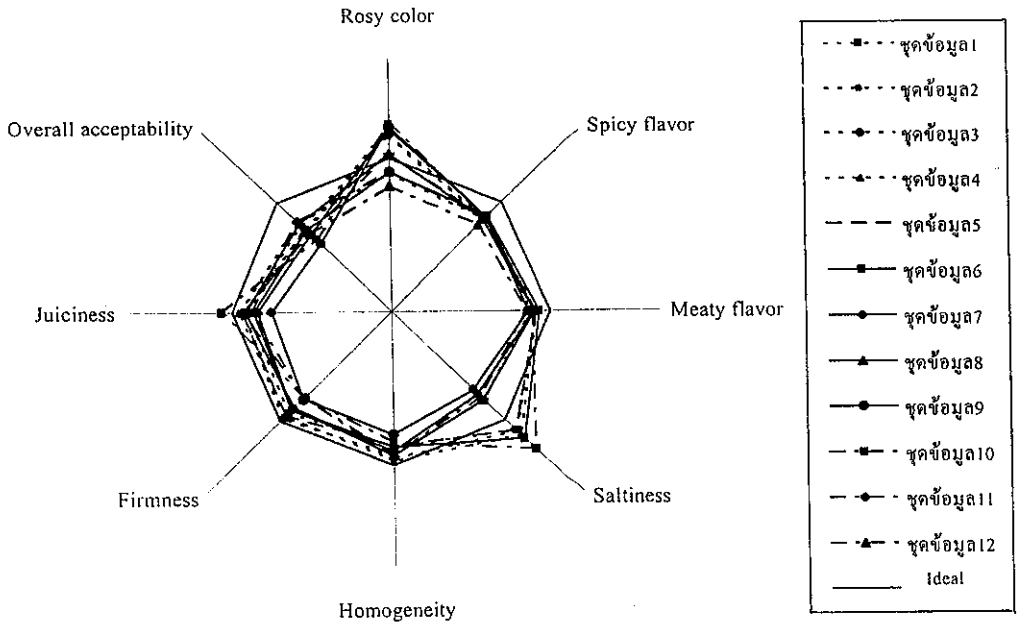
สูตร	สี	กลิ่นเครื่องเทศ	กลิ่นเนื้อ	รสเค็ม	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความแน่นเนื้อ	ความฉ่ำน้ำ	การยอมรับรวม
1	1.24±0.09	0.82±0.21	0.90±0.15	1.12±0.30	0.86±0.08	0.91±0.12	0.89±0.09	0.71±0.12
2	1.17±0.11	0.80±0.19	0.90±0.14	1.13±0.33	0.95±0.07	0.96±0.08	0.91±0.10	0.75±0.09
3	1.19±0.09	0.81±0.20	0.86±0.17	0.78±0.15	0.93±0.07	0.98±0.06	0.92±0.11	0.70±0.10
4	0.88±0.13	0.81±0.14	0.90±0.20	1.17±0.23	0.97±0.05	0.95±0.06	0.95±0.06	0.78±0.08
5	1.03±0.09	0.82±0.25	0.90±0.21	1.12±0.34	0.85±0.09	0.94±0.08	0.93±0.09	0.67±0.08
6	0.89±0.14	0.85±0.09	0.92±0.15	1.21±0.20	0.86±0.11	0.88±0.06	0.89±0.07	0.70±0.08
7	1.23±0.13	0.84±0.15	0.88±0.25	0.72±0.26	0.89±0.08	0.88±0.17	0.81±0.14	0.65±0.18
8	1.03±0.12	0.81±0.12	0.88±0.26	0.78±0.19	0.93±0.08	0.98±0.09	0.90±0.09	0.77±0.10
9	1.25±0.15	0.84±0.16	0.84±0.25	0.67±0.29	0.76±0.16	0.76±0.16	0.70±0.15	0.55±0.17
10	1.27±0.11	0.83±0.12	0.87±0.10	1.32±0.38	0.82±0.09	0.74±0.10	1.08±0.20	0.60±0.14
11	0.90±0.14	0.83±0.13	0.88±0.21	0.71±0.25	0.94±0.07	0.94±0.07	0.86±0.13	0.80±0.15
12	0.78±0.14	0.75±0.20	0.83±0.23	0.74±0.26	0.92±0.13	0.74±0.16	0.93±0.15	0.66±0.16

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าแรงเฉือน ค่าสี ปริมาณน้ำ และค่า TEF ของไส้กรอกสูตรต่าง ๆ จากสูตรการผลิต 12 สูตร

สูตรที่	ค่าแรงเฉือน (N)	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b	ปริมาณน้ำ (%)	ค่า TEF (%)
1	17.67±3.76	40.85±0.32	10.58±0.37	8.64±0.27	52.50±0.98	9.95±0.57
2	22.56±0.93	44.29±0.10	11.02±0.02	9.04±0.17	52.08±1.61	1.19±0.07
3	10.64±0.63	47.19±0.24	10.40±0.23	9.21±0.08	55.74±2.12	1.70±0.28
4	19.49±1.64	49.62±1.58	8.60±0.22	9.74±0.30	56.88±0.71	1.64±0.30
5	18.47±1.69	44.30±0.79	8.07±0.09	8.06±0.07	54.95±2.12	11.39±1.33
6	18.74±1.00	45.38±1.40	7.41±0.10	8.24±0.29	56.75±1.81	11.88±0.63
7	16.51±0.48	48.49±1.91	9.44±0.33	9.38±0.53	51.35±3.14	0.86±0.08
8	9.63±1.10	49.60±0.11	8.17±0.30	9.12±0.14	53.09±1.63	9.31±0.34
9	17.37±2.01	41.64±0.53	8.38±0.40	7.85±0.45	58.52±1.61	14.45±1.30
10	17.95±3.26	39.59±1.91	9.00±0.79	8.15±0.64	50.88±2.18	14.33±0.37
11	9.80±1.03	48.50±2.09	6.94±0.36	8.75±0.50	51.93±1.55	0.72±0.17
12	10.09±1.31	53.87±0.98	6.70±0.13	9.19±0.40	51.42±1.31	1.70±0.15

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากแผนการทดลอง Plackett & Burman

ตารางที่ 4.17 แสดงค่า Effect และ t value ที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยต่าง ๆ

ปัจจัย	สี		กลิ่นเครื่องเทศ		กลิ่นเนื้อ	
	Effect	t value	Effect	t value	Effect	t value
Salt	0.017	0.354	0.008	0.620	0.037	2.507****
$NaNO_2$	0.020	0.425	0.008	0.620	0.000	0.000
STPP	0.003	0.071	-0.005	-0.372	0.003	0.228
Angkak	0.307	6.514*****	0.012	0.868	-0.010	-0.684
SPI	0.017	0.354	0.015	1.116	0.013	0.912
Tapioca starch	0.090	1.912***	0.015	1.116	0.010	0.684
Spice	-0.003	-0.071	0.032	2.357****	0.003	0.228

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

ปัจจัย	รสเค็ม		ความเป็นเนื้อเดียวกัน		ความแน่นเนื้อ	
	Effect	t value	Effect	t value	Effect	t value
Salt	0.445	12.149*****	-0.010	-0.262	0.037	0.567
$NaNO_2$	-0.055	-1.502*	-0.010	-0.262	0.070	1.082
STPP	0.052	1.411*	0.067	1.744**	0.053	0.824
Angkak	0.002	0.046	-0.043	-1.134	-0.013	-0.206
SPI	-0.038	-1.047	-0.013	-0.349	0.013	0.206
Tapioca starch	0.012	0.319	-0.017	-0.436	0.000	0.000
Spice	0.022	0.592	-0.033	-0.872	-0.040	-0.618
ปัจจัย	**ความฉ่ำน้ำ**		**การยอมรับรวม**		**ค่าแรงเฉือน**	
	Effect	t value	Effect	t value	Effect	t value
Salt	0.080	2.519****	0.013	0.321	6.807	4.032*****
$NaNO_2$	-0.037	-1.155	0.013	0.321	-0.340	-0.201
STPP	0.087	2.729****	0.077	1.847***	-1.463	-0.867
Angkak	-0.017	-0.525	-0.077	-1.687**	2.747	1.627**
SPI	-0.087	-2.729****	0.037	0.884	0.437	0.259
Tapioca starch	0.037	1.155	0.010	0.241	-1.477	-0.875
Spice	-0.040	-1.260	-0.030	-0.723	1.800	1.066
ปัจจัย	**ค่าสี L**		**ค่าสี a**		**ค่าสี b**	
	Effect	t value	Effect	t value	Effect	t value
Salt	-4.210	-2.476****	0.775	1.594**	-0.272	-0.608
$NaNO_2$	-1.520	-0.894	0.205	0.422	-0.145	-0.325
STPP	0.710	0.417	0.592	1.217	0.442	0.989
Angkak	-4.870	-2.864*****	2.155	4.433*****	-0.138	-0.310
SPI	-2.133	-1.254	0.048	0.099	-0.348	-0.780
Tapioca starch	-1.777	-1.045	-0.052	-0.106	-0.195	-0.437
Spice	-1.147	-0.674	-0.862	-1.773**	-0.192	-0.429

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

ปัจจัย	ปริมาณน้ำ (%)		ค่า TEF (%)	
	Effect	t value	Effect	t value
Salt	0.332	0.233	3.606	0.812
$NaNO_2$	2.490	1.751**	0.096	0.022
STPP	-0.815	-0.573	-3.557	-0.801
Angkak	-0.658	-0.462	0.975	0.220
SPI	0.608	0.427	2.647	0.596
Tapioca starch	-2.777	-1.953***	2.331	0.525
Spice	1.090	0.767	1.442	0.325

หมายเหตุ : *,**,***,****,***** แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 75%, 80%, 85%, 90% และ 95% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.18 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของไส้กรอก

คุณลักษณะ	ปัจจัย	ผล (+)	ผล (-)	ระดับความเชื่อมั่น (%)
สี	อังคัก	+		95
	แป้งมันสำปะหลัง	+		85
กลิ่นเครื่องเทศ	เครื่องเทศ	+		90
กลิ่นเนื้อ	เกลือ	+		90
รสเค็ม	เกลือ	+		95
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ฟอสเฟต	+		80
ความฉ่ำน้ำ	เกลือ	+		90
	ฟอสเฟต	+		90
	โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง		-	90
การยอมรับโดยรวม	ฟอสเฟต	+		85
	อังคัก		-	80
ค่าแรงเฉือน	เกลือ	+		95
	อังคัก	+		80

ตารางที่ 4.18 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ปัจจัย	ผล (+)	ผล (-)	ระดับความเชื่อมั่น (%)
ค่าสี L	เกลือ		-	90
	อังคัก		-	95
ค่าสี a	เกลือ	+		80
	อังคัก	+		95
	เครื่องเทศ		-	80
ปริมาณน้ำ	ไนไตร์ท	+		80
	แป้งมันสำปะหลัง		-	85

ตารางที่ 4.19 แสดงค่า Mean deviation ของ Mean Ideal Ratio Score ของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

สูตร	สี	กลิ่นเครื่องเทศ	กลิ่นเนื้อ	รสเค็ม	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความแน่นเนื้อ	ความฉ่ำน้ำ	การยอมรับรวม
1	0.24	0.18	0.10	0.12	0.14	0.09	0.11	0.29
2	0.17	0.20	0.10	0.13	0.05	0.04	0.09	0.25
3	0.19	0.19	0.14	0.22	0.07	0.02	0.08	0.30
4	0.12	0.19	0.10	0.17	0.03	0.05	0.05	0.22
5	0.03	0.18	0.10	0.12	0.15	0.06	0.07	0.33
6	0.11	0.15	0.08	0.21	0.14	0.12	0.11	0.30
7	0.23	0.16	0.12	0.28	0.11	0.12	0.19	0.35
8	0.03	0.19	0.12	0.22	0.07	0.02	0.10	0.23
9	0.25	0.16	0.16	0.33	0.24	0.24	0.30	0.45
10	0.27	0.17	0.13	0.32	0.18	0.26	0.08	0.40
11	0.10	0.17	0.12	0.29	0.06	0.06	0.14	0.20
12	0.22	0.25	0.17	0.26	0.08	0.26	0.07	0.34
M.D.	**0.16**	**0.18**	**0.12**	**0.22**	**0.11**	**0.11**	**0.12**	**0.31**

หมายเหตุ : * คือ | Mean Ideal Ratio Score – Ideal Ratio Score |

** คือค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลแต่ละตัวที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้น โดยไม่คำนึงถึงทิศทางหรือเครื่องหมายของการเบี่ยงเบน

M.D. = Σf | Mean Ideal Ratio Score – Ideal Ratio Score | / n

ตารางที่ 4.18 แสดงผลของปัจจัยที่มีต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสมีดังนี้ การเพิ่มปริมาณอังคักมีผลทำให้สีแดงเพิ่มขึ้น แต่ทำให้การยอมรับโดยรวมลดลง การเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังมีผลทำให้สีแดงเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณเครื่องเทศทำให้กลิ่นเครื่องเทศเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณเกลือทำให้กลิ่นเนื้อ รสเค็ม และความฉ่ำน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณฟอสเฟตทำให้ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความฉ่ำน้ำ และการยอมรับโดยรวมเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองทำให้ความฉ่ำน้ำลดลง ผลของปัจจัยที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพมีดังนี้ การเพิ่มปริมาณอังคักมีผลทำให้ค่าแรงเฉือนและค่าสี a เพิ่มขึ้น แต่ทำให้ค่าสี L ลดลง การเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังทำให้ปริมาณน้ำลดลง การเพิ่มปริมาณเครื่องเทศทำให้ค่าสี a ลดลง การเพิ่มปริมาณเกลือทำให้ค่าแรงเฉือนและค่าสี a เพิ่มขึ้น แต่ทำให้ค่าสี L ลดลง การเพิ่มปริมาณไนไตร์ททำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น

ทำการเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในตารางที่ 4.18 กับค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยออกจากค่าในอุดมคติ (Mean deviation) ในตารางที่ 4.19 เพื่อกลั่นกรองหาปัจจัยที่สำคัญซึ่งส่งผลทำให้ค่า Mean Ideal Ratio Score เบี่ยงเบนออกจากค่า Ideal Ratio Score อย่างมาก คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ต้องให้ความสำคัญจะสังเกตได้จากค่า Mean deviation ที่มีค่าสูง ซึ่งหมายถึง การใช้ปัจจัยหรือเครื่องปรุงในช่วงที่กำหนด ส่งผลให้ค่า Mean Ideal Ratio Score ของคุณลักษณะนั้น ๆ มีค่าเบี่ยงเบนออกห่างจากค่าในอุดมคติมาก ดังนั้นปัจจัยเหล่านั้นจึงมีความสำคัญที่จะต้องนำมาทดลองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมต่อไป สำหรับคุณลักษณะที่มีค่า Mean deviation ต่ำ หมายถึง การใช้ปัจจัยในระดับสูงหรือต่ำ ส่งผลทำให้ค่า Mean Ideal Ratio Score ออกห่างจาก Ideal Ratio Score เพียงเล็กน้อย ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวสามารถกำหนดให้อยู่ที่ระดับสูงหรือต่ำก็ได้ขึ้นอยู่กับเหตุผลที่นำมาตัดสินใจ จากตารางที่ 4.19 พบว่า คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่มีค่า Mean deviation สูง 4 อันดับแรกได้แก่ การยอมรับโดยรวม รสเค็ม กลิ่นเครื่องเทศ และสี ซึ่งมีค่า Mean deviation ดังนี้ 0.31, 0.22, 0.18 และ 0.16 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยที่มีผลต่อคุณลักษณะดังกล่าวจะได้ว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญได้แก่ อังคัก แป้งมันสำปะหลัง เครื่องเทศ เกลือ และฟอสเฟต อย่างไรก็ตามด้วยเงื่อนไขทางกฎหมายที่กำหนดให้ใช้ปริมาณฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์เนื้อได้ไม่เกิน 0.3 เปอร์เซ็นต์ (มอก. 848-2532 UDC 637.525) ดังนั้นถึงแม้การเพิ่มปริมาณฟอสเฟตจะทำให้การยอมรับโดยรวมเพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่สามารถทำการขยายช่วงการศึกษาปริมาณฟอสเฟตในการทดลองต่อไปได้ จึงได้กำหนดไว้ที่ระดับสูงคือ 0.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ได้กำหนดไว้ดังนี้ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง กำหนดไว้ที่ระดับต่ำคือ 1 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณให้มากขึ้นจะทำให้ความฉ่ำน้ำลดลง ซึ่งถ้าเติมในปริมาณสูงจะทำให้ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าในอุดมคติ (ภาพที่ 4.9) นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิตลงอีกด้วย โซเดียมไนไตร์ท

กำหนดไว้ที่ระดับต่ำคือ 0.0125 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสารไนไตร์ทในช่วงที่กำหนดไม่มีผลต่อคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส ซึ่งการใช้ในปริมาณสูงจะทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเนื่องจากสารไนโตรซามีน ดังนั้นปัจจัยที่มีความสำคัญและจะถูกนำไปพิจารณาต่อไปได้แก่ อังคัก แป้งมันสำปะหลัง เครื่องเทศ และเกลือ อย่างไรก็ตามการกำหนดช่วงของปัจจัยที่จะทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไปจะพิจารณาจากภาพที่ 4.9 ซึ่งพบว่าช่วงของอังคักและแป้งมันสำปะหลังซึ่งเท่ากับ 1-2 เปอร์เซ็นต์และ 1-5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีผลทำให้ค่า Mean Ideal Ratio Score ครอบคลุมค่า Ideal Ratio Score แล้ว ดังนั้นจึงได้กำหนดช่วงของปัจจัยทั้งสองไว้ให้ใกล้เคียงกับช่วงเดิมได้แก่ 0.72-1.78 เปอร์เซ็นต์ และ 1.16-4.43 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนกลิ่นเครื่องเทศและกลิ่นเนื้อ ค่า Mean Ideal Ratio Score ยังมีค่าต่ำกว่าและไม่ครอบคลุมค่า Ideal Ratio Score ดังนั้นจึงต้องทำการขยายช่วงปริมาณของเครื่องเทศและเกลือให้สูงขึ้น จากเกลือ 1-3 เปอร์เซ็นต์ เป็น 1.01-3.49 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องเทศ 0.5-1 เปอร์เซ็นต์ เป็น 0.87-2.63 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการยอมรับโดยรวมจะมีคะแนนเพิ่มขึ้นเมื่อคุณลักษณะอื่น ๆ ทั้ง 7 ประการถูกพัฒนาให้เข้าใกล้ค่าในอุดมคติ

4.6 การหาปริมาณที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์

4.6.1) ศึกษาปริมาณอังคักและแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสม

ปัจจัยทั้ง 4 ที่กลั่นกรองได้จากการทดลองที่ 4.5 จะแยกเพื่อศึกษาครั้งละ 2 ปัจจัย ในการทดลองขั้นนี้ได้ศึกษา อังคักและแป้งมันสำปะหลัง โดยกำหนดช่วงเท่ากับ 0.72-1.78 เปอร์เซ็นต์ และ 1.16-4.34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และได้กำหนดปริมาณเกลือและเครื่องเทศไว้ที่ 2 เปอร์เซ็นต์เท่ากันในทุกสูตรการทดลอง สำหรับเครื่องปรุงอื่น ๆ มีการกำหนดไว้ในปริมาณต่าง ๆ ดังนี้ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง 1 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมไนไตร์ท 0.0125 เปอร์เซ็นต์ วางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment with 3 center points สูตรการทดลองแสดงในตารางที่ 4.20 ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile Test เค้าโครงร่างของผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 4.10 วัดค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน ค่าสีในระบบ HunterLab และค่า Total Expression Fluid (TEF) วัดค่าทางเคมีได้แก่ ปริมาณน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.22 วิเคราะห์ผลโดยใช้ Stepwise regression analysis โดยเลือกสมการที่มีค่า R^2 สูงกว่า 0.80 ขึ้นไป (ตารางที่ 4.23) และทำการประมาณค่าของปริมาณอังคักและแป้งมันสำปะหลังที่ทำให้คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.20 แสดงสูตรการทดลองของอังคักและแป้งมันสำปะหลังจำนวน 7 สูตร

สูตร	อังคัก (%)	แป้งมันสำปะหลัง (%)
1 (1)	0.72	1.16
2 (a)	1.78	1.16
3 (b)	0.72	4.34
4 (ab)	1.78	4.34
5 (cp1)	1.25	2.75
6 (cp2)	1.25	2.75
7 (cp3)	1.25	2.75

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; (a) = อังคัก; (b) = แป้งมันสำปะหลัง; cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 4.21 แสดงค่า Mean Ideal Ratio Score ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ตามสูตรการทดลองของอังคักและแป้งมันสำปะหลัง

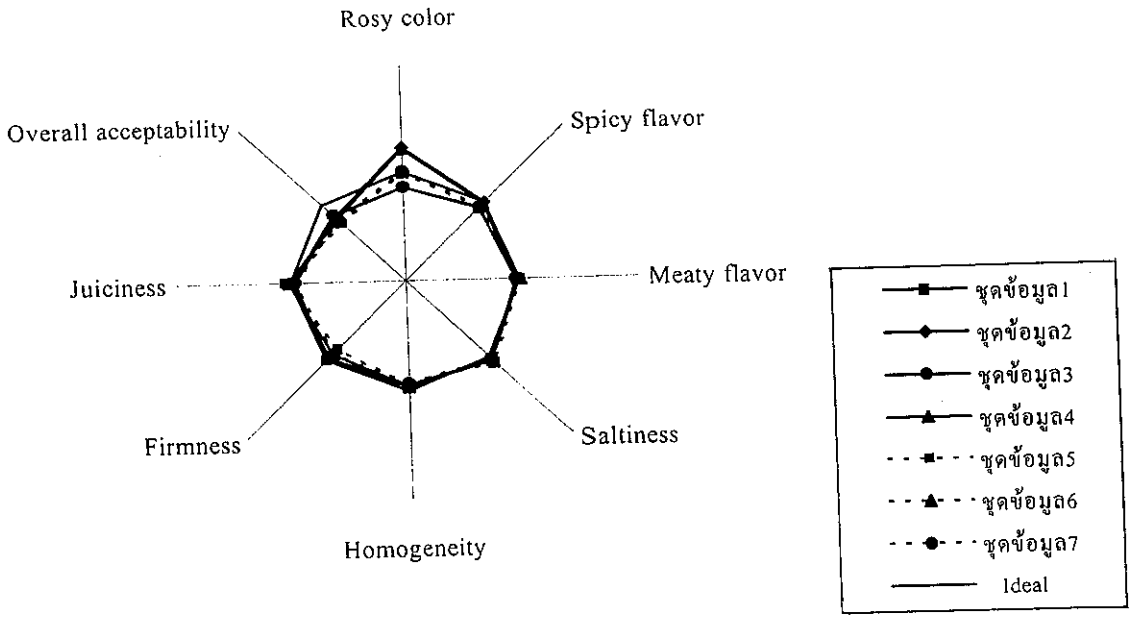
สูตร	สี	กลิ่นเครื่องเทศ	กลิ่นเนื้อ	รสเค็ม	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความแน่นเนื้อ	ความฉ่ำน้ำ	การยอมรับรวม
1	0.86±0.12	0.93±0.12	0.99±0.13	1.05±0.28	0.96±0.07	1.00±0.07	0.96±0.07	0.86±0.08
2	1.23±0.19	1.00±0.06	0.98±0.05	1.03±0.13	0.97±0.05	0.99±0.02	1.00±0.04	0.84±0.07
3	0.86±0.10	0.94±0.14	0.97±0.10	1.05±0.13	0.95±0.08	0.98±0.06	0.98±0.03	0.87±0.11
4	1.22±0.19	0.99±0.12	0.98±0.12	1.04±0.21	0.97±0.05	0.93±0.11	1.02±0.09	0.82±0.11
5	1.01±0.09	0.95±0.12	1.01±0.15	1.07±0.22	0.95±0.07	0.86±0.16	1.05±0.13	0.76±0.10
6	1.00±0.09	0.94±0.11	1.01±0.15	1.06±0.18	0.94±0.09	0.92±0.17	1.02±0.13	0.78±0.11
7	1.01±0.12	0.94±0.10	1.00±0.11	1.03±0.16	0.94±0.06	0.92±0.15	0.97±0.10	0.81±0.10

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.22 แสดงค่าแรงเฉือน ค่าสี ปริมาณน้ำ และค่า TEF ตามสูตรการทดลองอังคักและแป้งมันสำปะหลัง

สูตร	ค่าแรงเฉือน (N)	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b	ปริมาณน้ำ (%)	ค่า TEF (%)
1	25.06±0.85	48.41±0.35	6.37±0.08	8.73±0.25	58.15±0.51	1.06±0.12
2	27.32±0.06	46.74±0.20	10.27±0.06	9.12±0.19	58.40±0.44	1.11±0.10
3	28.70±0.53	52.04±0.26	6.44±0.26	9.98±0.12	56.90±0.86	1.12±0.06
4	28.41±1.50	46.69±0.60	9.63±0.25	9.00±0.31	56.65±0.44	1.13±0.13
5	23.47±0.18	48.72±0.25	8.16±0.09	9.03±0.07	57.81±0.34	1.05±0.08
6	27.78±1.25	47.24±0.34	7.60±0.28	8.79±0.16	57.45±0.77	1.03±0.08
7	26.92±0.65	49.86±0.46	7.87±0.13	9.05±0.28	57.53±0.27	1.18±0.11

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

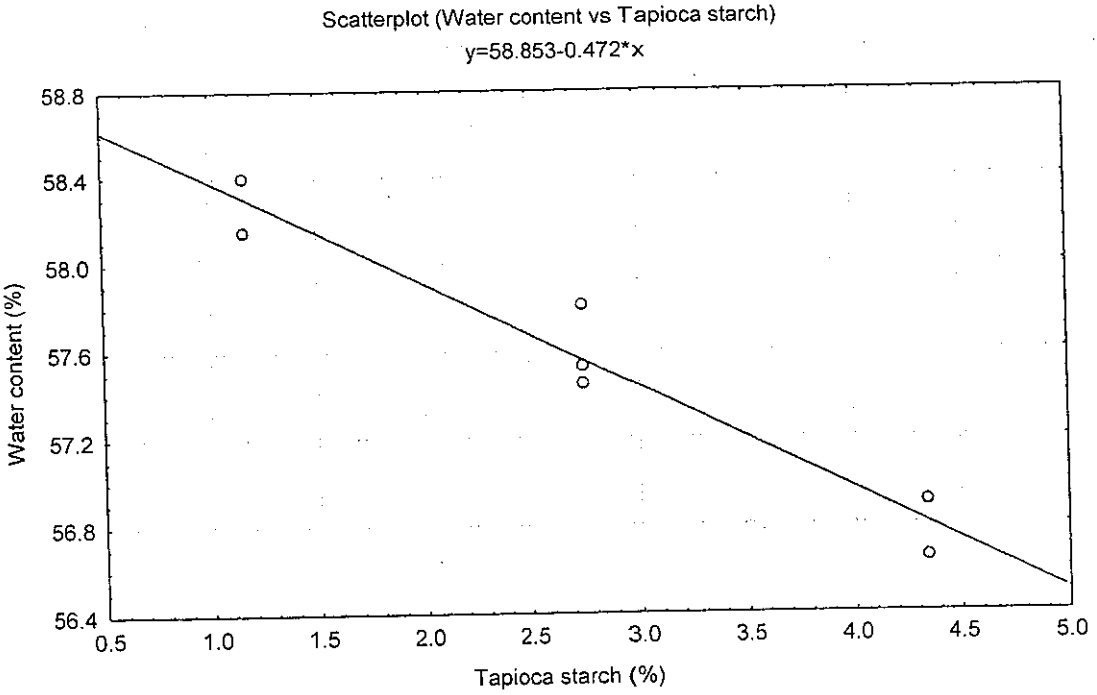


ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกตามสูตรการทดลองของอังคักและแป้งมันสำปะหลัง

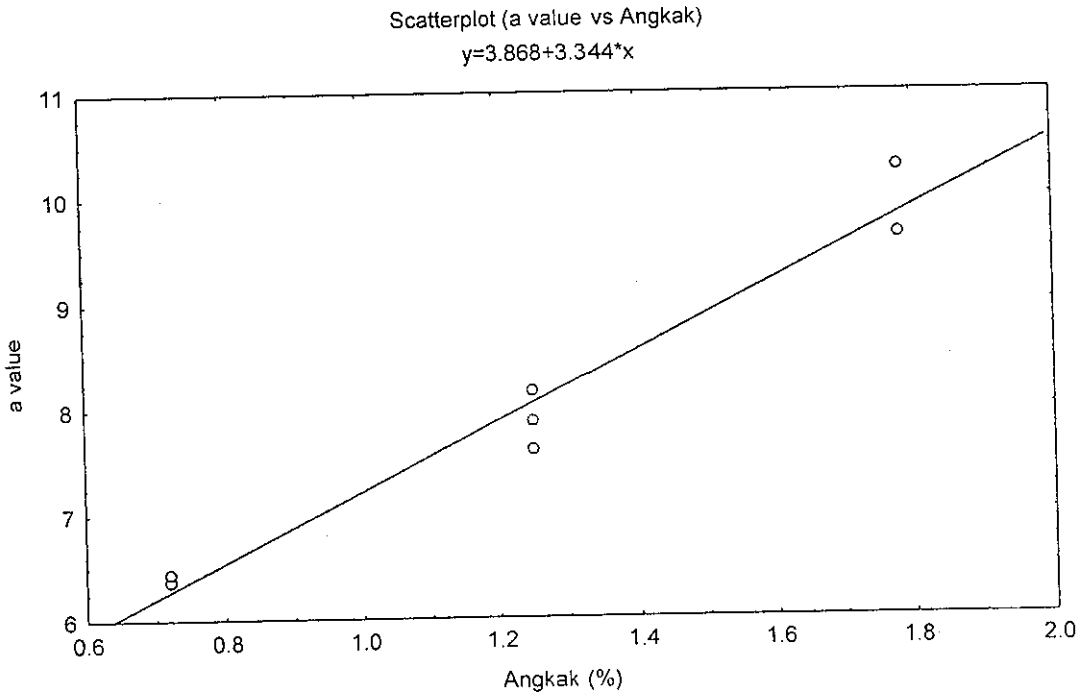
ตารางที่ 4.23 แสดงสมการความสัมพันธ์ของค่าสังเกตกับอังคักและแป้งมันสำปะหลัง

ค่าสังเกต	สมการ	R^2
สี	0.7755+0.0254(อังคัก)+0.1275(อังคัก^2)	0.9987
กลิ่นเครื่องเทศ	0.9727-0.1199(อังคัก)-0.0059(อังคัก*แป้งมันสำปะหลัง) +0.0074(แป้งมันสำปะหลัง)+0.0771(อังคัก^2)	0.9708
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	1.0324-0.1566(อังคัก)+0.0683(อังคัก^2)	0.8199
ปริมาณน้ำ	58.8535-0.4718(แป้งมันสำปะหลัง)	0.9269
ค่าสี a	3.8681+3.3443(อังคัก)	0.9524

สำหรับค่าทางกายภาพได้แก่ ปริมาณความชื้นที่สัมพันธ์กับปริมาณแป้งมันสำปะหลัง และค่าสี a ที่สัมพันธ์กับปริมาณอังคัก แสดงได้ดังภาพที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับปริมาณแป้งมันสำปะหลัง



ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี a กับปริมาณอังคัก

ในการคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ซึ่งได้แก่ อังคัก และแป้งมันสำปะหลัง ทำได้โดยการนำระดับของปริมาณการใช้อังคักและแป้งมันสำปะหลังในช่วงที่ทำการศึกษาแทนค่าลงในสมการที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อให้ได้ค่าการตอบสนองของแต่ละคุณลักษณะมีค่า Mean Ideal Ratio Score เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด

สี = $0.7755+0.0254(\text{อังคัก})+0.1275(\text{อังคัก}^2)$ $R^2 = 0.9987$

แทนค่า f (อังคัก) ได้ผลดังนี้

f (0.72) = 0.86

f (1.25) = 1.01

f (1.78) = 1.22

f (1.23) = 1.00

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอังคักที่มีผลต่อคุณลักษณะด้านสี พบว่าการใช้อังคักในระดับ 1.23% จะทำให้ประมาณค่า Mean Ideal Ratio Score ได้เท่ากับ 1.00 ที่ระดับความเชื่อมั่น 99.87%

กลิ่นเครื่องเทศ = $0.9727-0.1199(\text{อังคัก})-0.0059(\text{อังคัก}*\text{แป้งมันสำปะหลัง})+0.0074(\text{แป้งมันสำปะหลัง})+0.0771(\text{อังคัก}^2)$ $R^2 = 0.9708$

แทนค่า f (อังคัก,แป้งมันสำปะหลัง) ได้ผลดังนี้

f (0.72,1.16) = 0.93

f (0.72,4.34) = 0.94

f (1.25,2.75) = 0.94

f (1.78,1.16) = 1.00

f (1.78,4.34) = 0.99

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอังคักและแป้งมันสำปะหลังที่มีผลต่อคุณลักษณะด้านกลิ่นเครื่องเทศ พบว่าการใช้อังคักระดับ 1.78% และแป้งมันสำปะหลังระดับ 1.16% จะทำให้ประมาณค่า Mean Ideal Ratio Score ได้เท่ากับ 1.00 ที่ระดับความเชื่อมั่น 97.08%

ความเป็นเนื้อเดียวกัน = 1.0324-0.1566(อังคัก)+0.0683(อังคัก^2) $R^2 = 0.8199$

แทนค่า f (อังคัก) ได้ผลดังนี้

f (0.72) = 0.96

f (1.25) = 0.94

f (1.78) = 0.97

เมื่อแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอังคักที่มีผลต่อคุณลักษณะด้านความเป็นเนื้อเดียวกัน พบว่าการใช้อังคักในระดับ 1.78% จะทำให้ประมาณค่า Mean Ideal Ratio Score ได้เท่ากับ 0.97 ที่ระดับความเชื่อมั่น 81.99%

ตารางที่ 4.24 แสดงการประมาณค่าของอังคักและแป้งมันสำปะหลังให้มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าอุดมคติ

ค่าสังเกต	สมการ	Mean Ideal Ratio Score
สี	0.7755+0.0254(1.23)+0.1275(1.23^2)	1.00
กลิ่นเครื่องเทศ	0.9727-0.1199(1.78)-0.0059(1.78*1.16) +0.0074(1.16)+0.0771(1.78^2)	1.00
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	1.0324-0.1566(1.78)+0.0683(1.78^2)	0.97

เมื่อนำค่า Mean Ideal Ratio Score ที่ประมาณได้ของแต่ละปัจจัยในแต่ละสมการมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ว่าปริมาณของอังคักที่เหมาะสมเท่ากับ 1.60% และปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมเท่ากับ 1.16%

4.6.2) ศึกษาปริมาณเกลือและเครื่องเทศที่เหมาะสม

ปัจจัยอีก 2 ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ได้แก่ เกลือและเครื่องเทศ ในการทดลองนี้ได้กำหนดช่วงของเกลือเท่ากับ 1.01-3.49 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องเทศเท่ากับ 0.87-2.63 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของอังคักและแป้งมันสำปะหลัง ถูกกำหนดไว้ที่ 1.60 เปอร์เซ็นต์ และ 1.16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 4.6.1. สำหรับเครื่องปรุงอื่น ๆ ถูกกำหนดไว้ในปริมาณต่าง ๆ ดังนี้ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง 1 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมไนไตร์ท 0.0125 เปอร์เซ็นต์ วางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment with 3 center points สูตรการทดลองแสดงในตารางที่ 4.25 ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile Test โครงร่างของผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 4.13 วัดค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน ค่าสีในระบบ HunterLab และค่า Total Expression Fluid (TEF) วัดค่าทางเคมีได้แก่ ปริมาณน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.27 วิเคราะห์ผลโดยใช้ Stepwise regression analysis โดยเลือกสมการที่มีค่า R^2 สูงกว่า 0.80 ขึ้นไป (ตารางที่ 4.28) และทำการประมาณค่าของปริมาณเกลือและเครื่องเทศให้มีคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.25 แสดงสูตรการทดลองของเกลือและเครื่องเทศจำนวน 7 สูตร

สูตร	เกลือ (%)	เครื่องเทศ (%)
1 (1)	1.01	0.87
2 (a)	3.49	0.87
3 (b)	1.01	2.63
4 (ab)	3.49	2.63
5 (cp1)	2.25	1.75
6 (cp2)	2.25	1.75
7 (cp3)	2.25	1.75

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; (a) = อังคัก; (b) = แป้งมันสำปะหลัง; cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 4.26 แสดงค่า Mean Ideal Ratio Score ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ตามสูตรการทดลองของเกลือและเครื่องเทศ

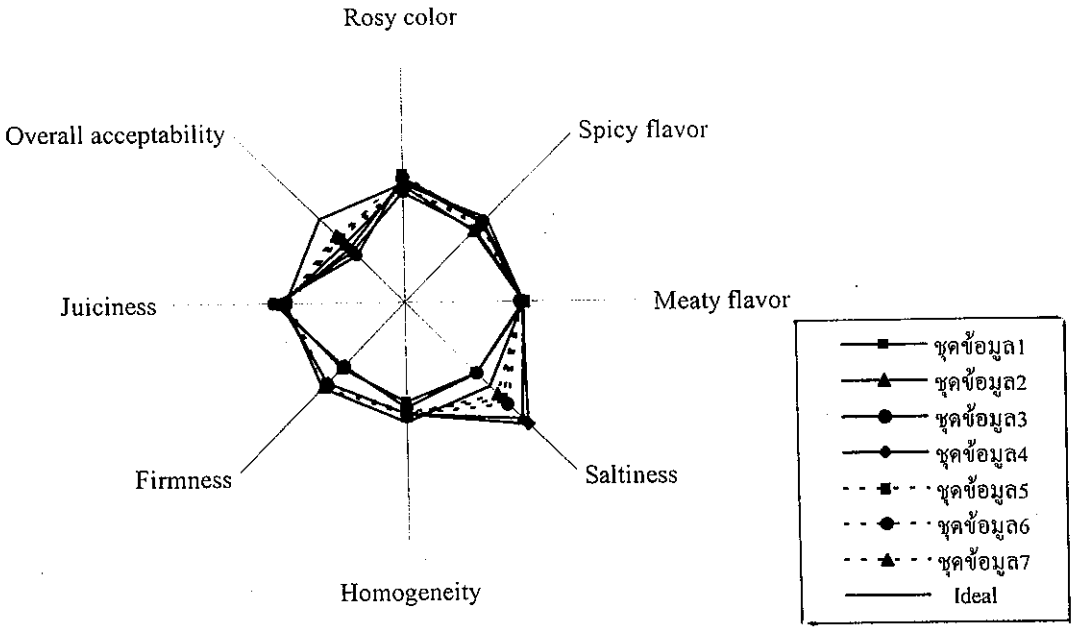
สูตร	สี	กลิ่นเครื่องเทศ	กลิ่นเนื้อ	รสเค็ม	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความแน่นเนื้อ	ความฉ่ำน้ำ	การยอมรับรวม
1	0.93±0.10	0.86±0.16	1.02±0.14	0.84±0.12	0.83±0.15	0.77±0.20	1.06±0.18	0.61±0.14
2	0.99±0.09	0.84±0.14	1.00±0.14	1.38±0.38	0.93±0.11	0.94±0.10	1.03±0.08	0.70±0.16
3	1.05±0.12	0.96±0.12	1.00±0.15	0.84±0.17	0.88±0.11	0.74±0.18	1.10±0.21	0.56±0.16
4	1.03±0.09	0.94±0.15	0.99±0.09	1.45±0.51	0.93±0.09	0.94±0.08	1.04±0.11	0.65±0.18
5	1.08±0.22	0.94±0.10	0.97±0.09	1.15±0.32	0.92±0.07	0.95±0.15	0.98±0.07	0.77±0.14
6	0.97±0.10	0.94±0.15	0.97±0.09	1.21±0.31	0.94±0.07	0.95±0.07	1.00±0.08	0.76±0.14
7	0.97±0.09	0.91±0.15	0.99±0.12	1.09±0.17	0.94±0.07	0.98±0.04	1.01±0.09	0.80±0.13

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.27 แสดงค่าแรงเฉือน ค่าสี ค่าความชื้น และค่า TEF ตามสูตรการทดลองของเกลือและเครื่องเทศ

สูตร	ค่าแรงเฉือน (N)	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b	ปริมาณน้ำ (%)	ค่า TEF (%)
1	18.40±1.17	51.92±0.49	9.93±0.20	9.53±0.42	61.32±0.22	1.49±0.11
2	23.43±0.99	49.97±0.46	10.02±0.38	8.87±0.16	58.43±0.47	0.96±0.10
3	22.72±0.80	48.21±0.32	9.71±0.58	10.38±0.12	55.91±1.44	1.63±0.06
4	21.47±0.27	48.23±0.89	8.67±0.40	9.39±0.17	55.34±0.26	0.98±0.13
5	26.13±1.17	50.16±1.12	9.79±0.30	9.56±0.14	57.73±0.56	1.44±0.09
6	26.23±0.60	50.12±0.39	10.06±0.20	9.36±0.14	57.08±0.41	0.98±0.02
7	27.66±0.61	51.43±0.11	9.87±0.13	9.76±0.35	55.38±0.44	1.141±0.14

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

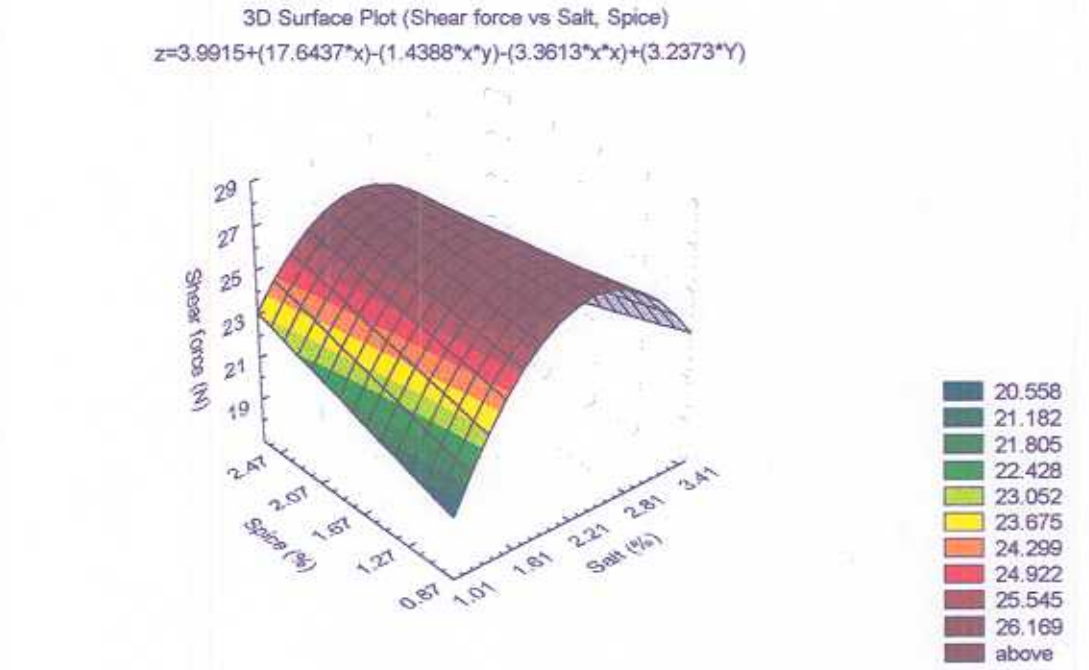


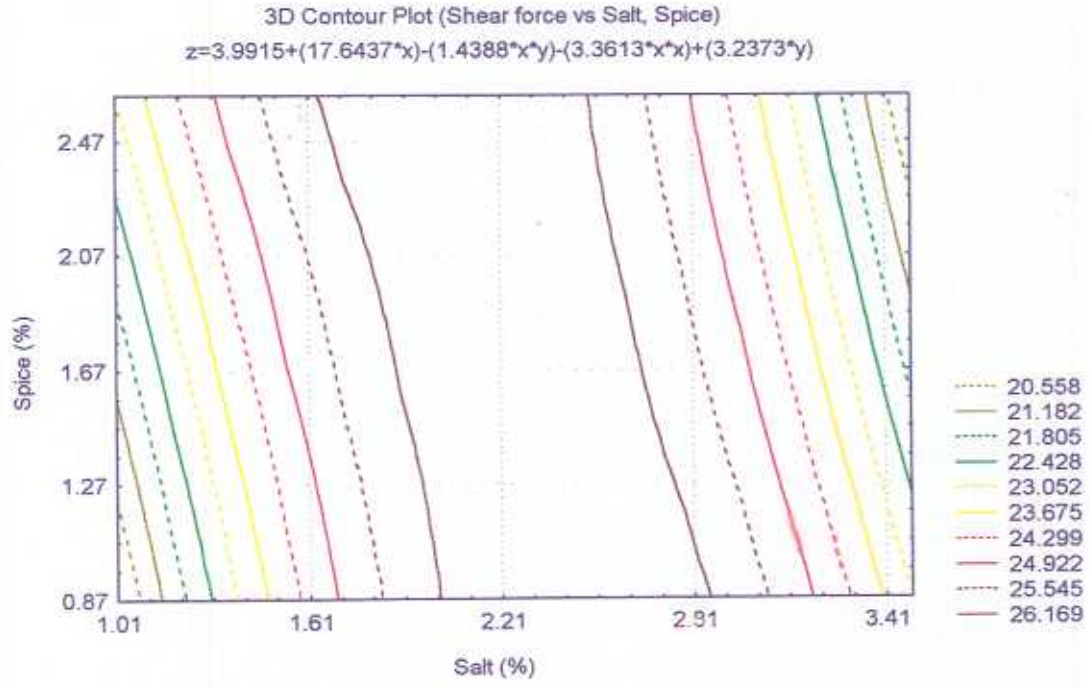
ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกตามสูตรการทดลองของเกลือและเครื่องเทศ

ตารางที่ 4.28 แสดงสมการความสัมพันธ์ของค่าสังเกตกับเกลือและเครื่องเทศ

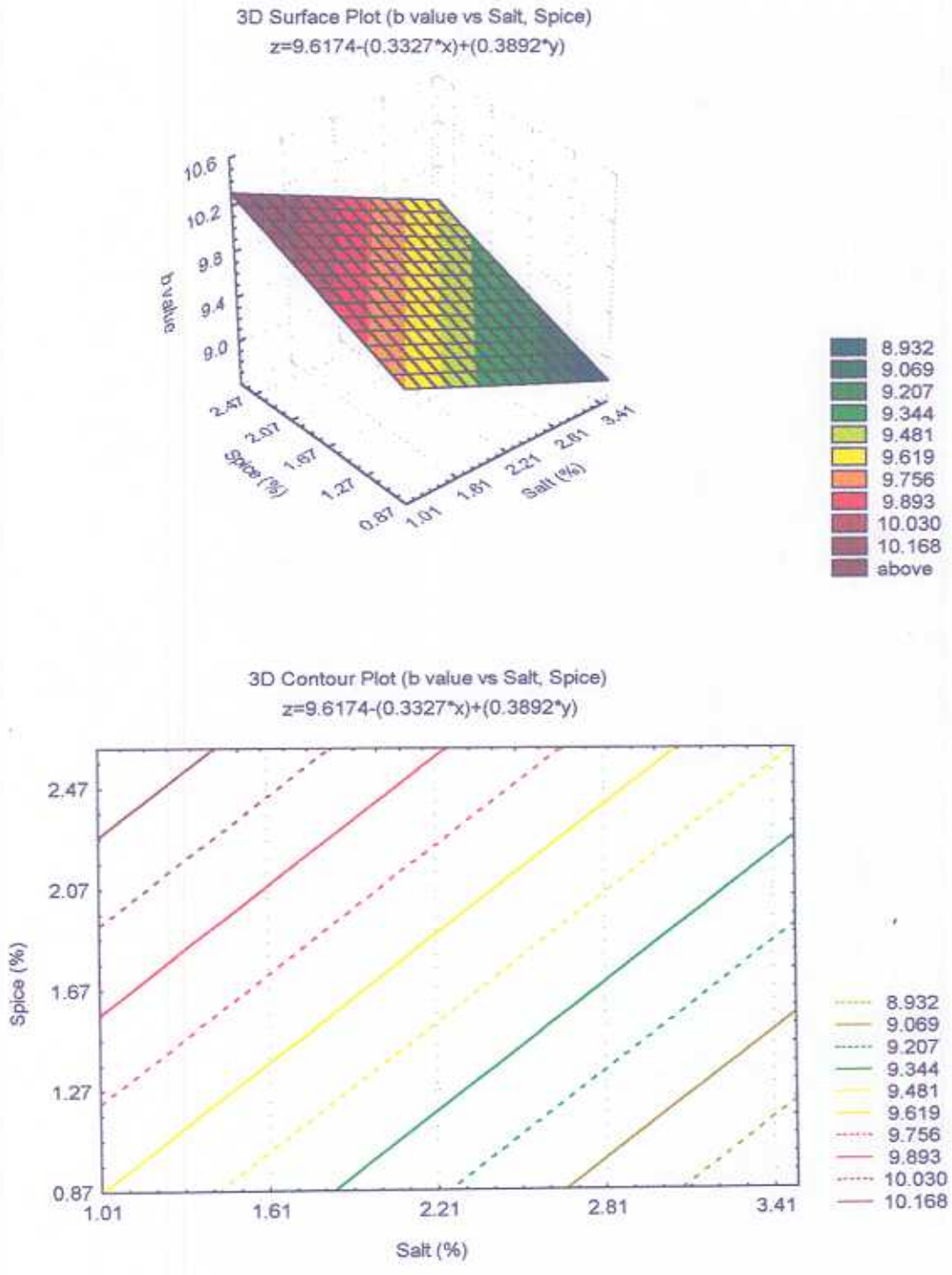
ค่าสังเกต	สมการ	R^2
กลิ่นเครื่องเทศ	0.7318+0.0568(เครื่องเทศ) +0.0878(เกลือ)-0.0195(เกลือ^2)	0.8804
รสเค็ม	0.6155+0.2318(เกลือ)	0.9630
ความแน่นเนื้อ	0.4217+0.4038(เกลือ)-0.0732(เกลือ^2)	0.9724
การยอมรับโดยรวม	0.2618+0.4655(เกลือ)-0.0954(เกลือ^2)-0.0284(เครื่องเทศ)	0.9641
ค่าแรงเฉือน	3.9915+17.6437(เกลือ)-1.4388(เกลือ*เครื่องเทศ)-3.3613 (เกลือ^2)+3.2373(เครื่องเทศ)	0.8446
ค่าสี b	9.6174-0.3327(เกลือ)-0.3892(เครื่องเทศ)	0.8715

สำหรับค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือนที่ความสัมพันธ์กับปริมาณเกลือและเครื่องเทศ และค่าสี b ที่สัมพันธ์กับปริมาณเกลือและเครื่องเทศ แสดงได้ดังภาพที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ





ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงพื้นผิวการตอบสนองของปริมาณเกลือและเครื่องเทศที่มีต่อค่าแรงเฉือน



ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงพื้นผิวการตอบสนองของปริมาณเกลือและเครื่องเทศที่มีต่อค่าสี b

ในการคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ซึ่งได้แก่ เกลือ และเครื่องเทศ ทำได้โดยการนำระดับของปริมาณการใช้เกลือและเครื่องเทศในช่วงที่ทำการศึกษาแทนค่าลงในสมการที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อให้ได้ค่าการตอบสนองของแต่ละคุณลักษณะมีค่า Mean Ideal Ratio Score เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด

กลิ่นเครื่องเทศ = 0.7318+0.0568(เครื่องเทศ) +0.0878(เกลือ)-0.0195(เกลือ^2) $R^2 = 0.8804$

แทนค่า f (เกลือ,เครื่องเทศ) ได้ผลดังนี้

f (1.01,0.87) = 0.85
f (1.01,2.63) = 0.95
f (2.25,1.75) = 0.93
f (3.49,0.87) = 0.85
f (3.49,2.63) = 0.95
f (2.10,2.63) = 0.98

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือและเครื่องเทศที่มีผลต่อคุณลักษณะด้านกลิ่นเครื่องเทศ พบว่าการใช้เกลือในระดับ 2.10% และเครื่องเทศในระดับ 2.63% จะทำให้ประมาณค่า Mean Ideal Ratio Score ได้เท่ากับ 0.98 ที่ระดับความเชื่อมั่น 88.04%

รสเค็ม = 0.6155+0.2318(เกลือ) $R^2 = 0.9630$

แทนค่า f (เกลือ) ได้ผลดังนี้

f (1.01) = 0.85
f (2.25) = 1.14
f (3.49) = 1.42
f (1.66) = 1.00

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือที่มีผลต่อคุณลักษณะด้านรสเค็ม พบว่าการใช้เกลือในระดับ 1.66% จะทำให้ประมาณค่า Mean Ideal Ratio Score ได้เท่ากับ 1.00 ที่ระดับความเชื่อมั่น 96.30%

ความแน่นเนื้อ = 0.4217+0.4038(เกลือ)-0.0732(เกลือ^2) $R^2 = 0.9724$

แทนค่า f (เกลือ) ได้ผลดังนี้

f (1.01) = 0.75

f (2.25) = 0.96

f (3.49) = 0.94

f (2.70) = 0.98

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือที่มีผลต่อคุณลักษณะด้านความแน่นเนื้อ พบว่าการใช้เกลือในระดับ 2.70% จะทำให้ประมาณค่า Mean Ideal Ratio Score ได้เท่ากับ 0.98 ที่ระดับความเชื่อมั่น 97.24%

การยอมรับโดยรวม = 0.2618+0.4655(เกลือ)-0.0954(เกลือ^2)-0.0284(เครื่องเทศ) $R^2 = 0.9641$

แทนค่า f (เกลือ,เครื่องเทศ) ได้ผลดังนี้

f (1.01,0.87) = 0.61

f (1.01,2.63) = 0.56

f (2.25,1.75) = 0.78

f (3.49,0.87) = 0.70

f (3.49,2.63) = 0.65

f (2.40,0.87) = 0.80

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือและเครื่องเทศที่มีผลต่อการยอมรับโดยรวม พบว่าการใช้เกลือในระดับ 2.40% และเครื่องเทศในระดับ 0.87% จะทำให้ประมาณค่า Mean Ideal Ratio Score ได้เท่ากับ 0.80 ที่ระดับความเชื่อมั่น 96.41%

ตารางที่ 4.29 แสดงการประมาณค่าของเกลือและเครื่องเทศให้มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าอุดมคติ

ค่าสังเกต	สมการ	Mean Ideal Ratio Score
กลิ่นเครื่องเทศ	0.7318+0.0568(2.63) +0.0878(2.10)-0.0195 (2.10^2)	0.98
รสเค็ม	0.6155+0.2318(1.66)	1.00
ความแน่นเนื้อ	0.4217+0.4038(2.70)-0.0732(2.70^2)	0.98
การยอมรับโดยรวม	0.2618+0.4655(2.40)-0.0954(2.40^2)-0.0284 (0.87)	0.80

เมื่อนำค่า Mean Ideal Ratio Score ที่ประมาณค่าได้ของแต่ละปัจจัยในแต่ละสมการมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ว่าปริมาณของเกลือที่เหมาะสมเท่ากับ 2.21% และปริมาณเครื่องเทศที่เหมาะสมเท่ากับ 1.75%

4.7 ศึกษาความเร็วและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการสับ

การสับผสมจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1) การสับผสมเพื่อสกัดโปรตีน เป็นขั้นตอนการละลายโปรตีนในเนื้อสัตว์ด้วยเกลือ
2) การสับผสมของอิมัลชั่น เป็นขั้นตอนการสับผสมเนื้อ และน้ำมันพืช เพื่อให้ได้ไส้กรอกที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันรวมอยู่ในระบบอิมัลชั่น

ดังนั้นการศึกษาจึงต้องเริ่มจากขั้นที่สองก่อน เพื่อให้ได้โครงสร้างอิมัลชั่นที่ดีของไส้กรอก แล้วจึงศึกษากระบวนการสับในขั้นตอนความสามารถของเกลือในการละลายโปรตีนจากเส้นใยกล้ามเนื้อ

4.7.1) ศึกษาความเร็วและเวลาในกระบวนการสับผสมของอิมัลชั่น

ในการสับผสมของอิมัลชั่น จึงกำหนดช่วงของความเร็วที่ทำการศึกษาเท่ากับ เบอร์ 6 (6,900 รอบต่อนาที) – เบอร์ 14 (20,000 รอบต่อนาที) ช่วงเวลาในการสับเท่ากับ 1-8 นาที และได้กำหนดเวลาในการสับผสมเพื่อสกัดโปรตีนที่ความเร็วเบอร์ 12 (13,450 รอบต่อนาที) เวลา 1 นาที วางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment with 3 center points สูตรการทดลองแสดงในตารางที่ 4.30 ทำการทดสอบชิมด้วยวิธี Ideal Ratio Profile Test เค้าโครงของผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 4.16 วัดค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน ค่าสีในระบบ HunterLab และค่า Total Expression Fluid (TEF) ดังแสดงในตารางที่ 4.32 วิเคราะห์ผลโดยใช้ Stepwise regression analysis เลือกสมการที่มีค่า R^2 สูงกว่า 0.80 ขึ้นไป (ตารางที่ 4.33) ทำการประมาณค่าของความเร็วและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการสับเพื่อให้คุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสเข้าใกล้ค่าในอุดมคติมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.30 แสดงสูตรการทดลองของความเร็วและเวลาในกระบวนการสับผสมจำนวน 7 สูตร

สูตร	ความเร็ว (เบอร์)	เวลา (นาที)
1 (1)	6	1
2 (a)	14	1
3 (b)	6	8
4 (ab)	14	8
5 (cp1)	10	4.5
6 (cp2)	10	4.5
7 (cp3)	10	4.5

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; (a) = อังคัก; (b) = แป้งมันสำปะหลัง; cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 4.31 แสดงค่า Mean Ideal Ratio Score ของผลิตภัณฑ์ไส้กรอก เมื่อใช้ความเร็วและเวลาในการสับผสมต่างกัน

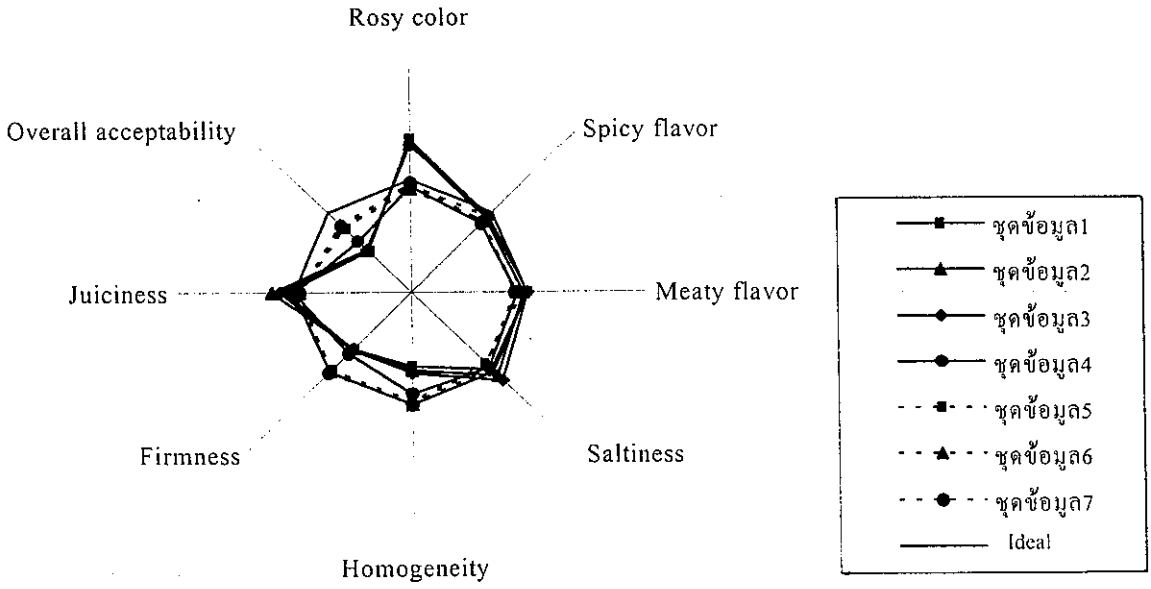
สูตร	สี	กลิ่นเครื่องเทศ	กลิ่นเนื้อ	รสเค็ม	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความแน่นเนื้อ	ความฉ่ำน้ำ	การยอมรับรวม
1	1.36±0.20	0.95±0.24	1.01±0.17	0.98±0.24	0.66±0.13	0.72±0.22	1.08±0.28	0.52±0.15
2	1.32±0.19	0.93±0.16	0.97±0.19	1.06±0.28	0.70±0.15	0.71±0.21	1.19±0.15	0.54±0.16
3	1.31±0.21	0.96±0.15	1.01±0.13	1.12±0.17	0.72±0.14	0.73±0.19	1.12±0.22	0.54±0.15
4	0.94±0.19	0.87±0.18	0.92±0.22	0.95±0.15	0.91±0.17	0.77±0.22	1.00±0.18	0.64±0.23
5	0.96±0.17	0.94±0.18	0.96±0.19	0.90±0.14	0.98±0.07	0.98±0.07	0.97±0.09	0.81±0.11
6	0.92±0.21	0.89±0.20	0.91±0.21	0.91±0.22	1.00±0.04	0.99±0.08	0.96±0.14	0.82±0.11
7	0.97±0.16	0.88±0.20	0.90±0.20	0.95±0.10	1.00±0.04	1.01±0.04	0.96±0.12	0.84±0.07

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.32 แสดงค่าแรงเฉือน ค่าสี และค่า TEF เมื่อใช้ความเร็วและเวลาในการสับผสมต่างกัน

สูตร	ค่าแรงเฉือน (N)	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b	ค่า TEF (%)
1	19.71±02.04	45.91±1.28	10.12±0.13	8.78±0.48	19.96±0.88
2	20.78±0.92	41.51±0.15	10.61±0.35	6.82±0.07	13.23±0.76
3	18.75±0.49	44.05±0.31	9.72±0.08	8.13±0.12	15.27±0.33
4	21.35±1.57	47.95±1.45	8.46±0.14	10.73±0.27	1.25±0.06
5	23.82±0.79	49.89±0.64	9.44±0.38	9.40±0.73	1.13±0.04
6	23.50±0.65	50.15±0.27	9.39±0.11	9.91±0.08	1.19±0.06
7	24.76±0.68	52.12±0.39	9.70±0.03	10.57±0.03	1.42±0.10

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

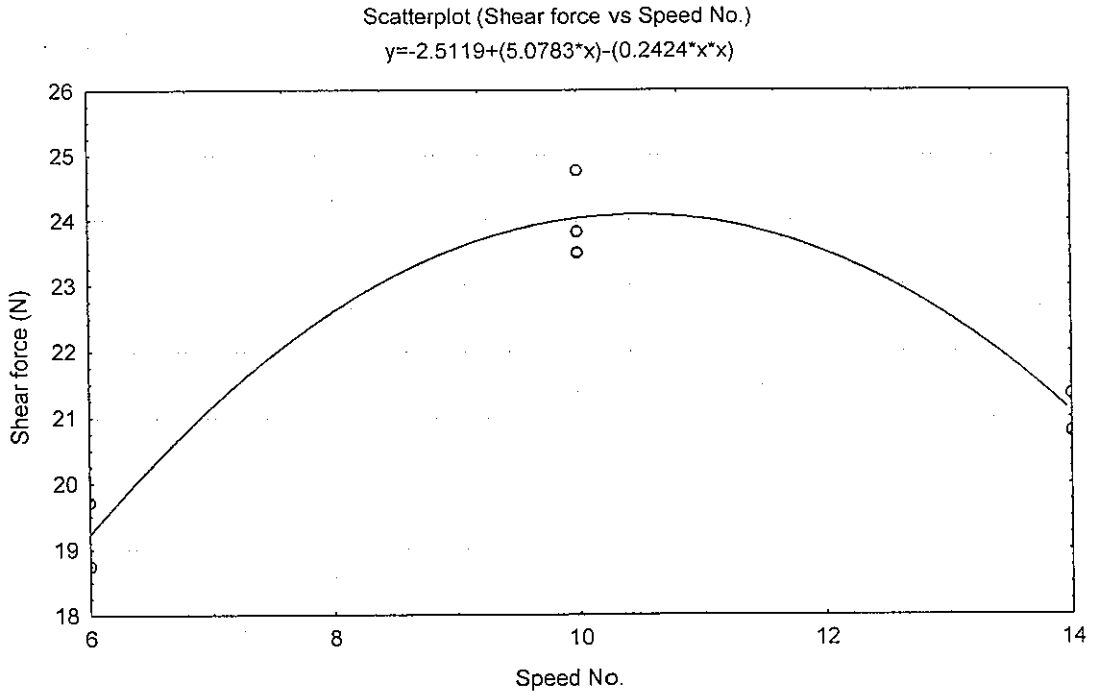


ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกตามสูตรการทดลองของความเร็วและเวลาในการสับผสม

ตารางที่ 4.33 แสดงสมการของค่าสังเกตกับความเร็วและเวลาในการสับผสม

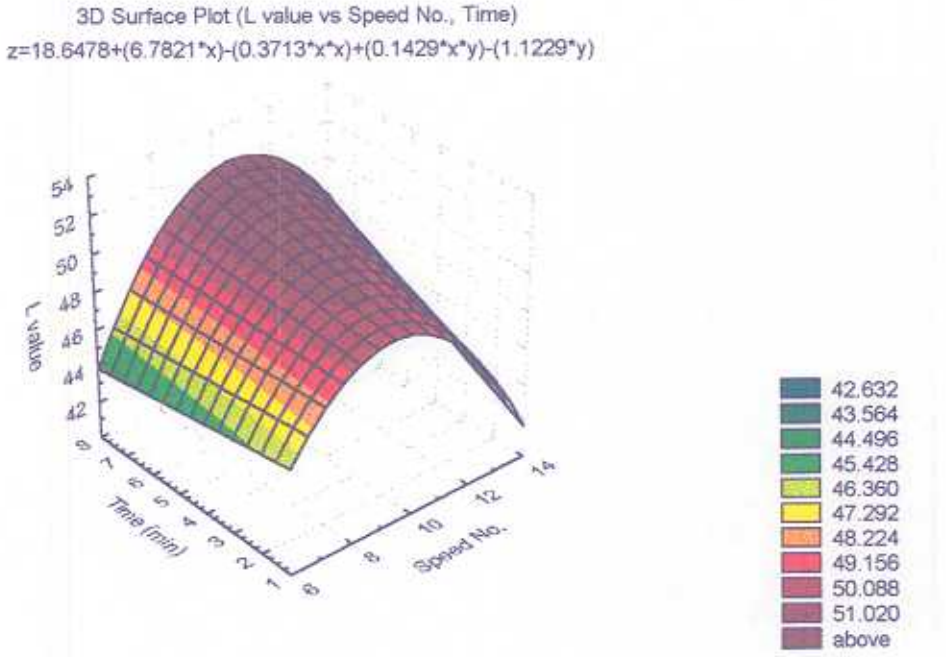
ค่าสังเกต	สมการ	R^2
รสเค็ม	1.3910-0.1143(ความเร็ว)+0.0057(ความเร็ว^2)-0.0021(ความเร็ว*เวลา)+0.0446(เวลา)	0.8599
ความแน่นเนื้อ	-0.6369+0.3260(ความเร็ว)-0.0163(ความเร็ว^2)	0.9744
ความฉ่ำน้ำ	1.6653-0.1492(ความเร็ว)+0.0084(ความเร็ว^2)-0.0041(ความเร็ว*เวลา)+0.0304(เวลา)	0.9963
การยอมรับโดยรวม	-0.8225+0.3292(ความเร็ว)-0.0165(ความเร็ว^2)	0.9132
ค่าแรงเฉือน	-2.5119+5.0783(ความเร็ว)-0.2424(ความเร็ว^2)	0.9275
ค่าสี L	18.6478+6.7821(ความเร็ว)-0.3713(ความเร็ว^2)+0.1429 (ความเร็ว*เวลา)-1.1229(เวลา)	0.9256
ค่าสี a	9.0227+0.1438(ความเร็ว)-0.0320(ความเร็ว*เวลา)+0.1346(เวลา)	0.8413
Total Expression Fluid (%)	83.6180-14.6918(ความเร็ว)+0.6990(ความเร็ว^2)-0.1302 (ความเร็ว*เวลา)+0.1115(เวลา)	0.9997

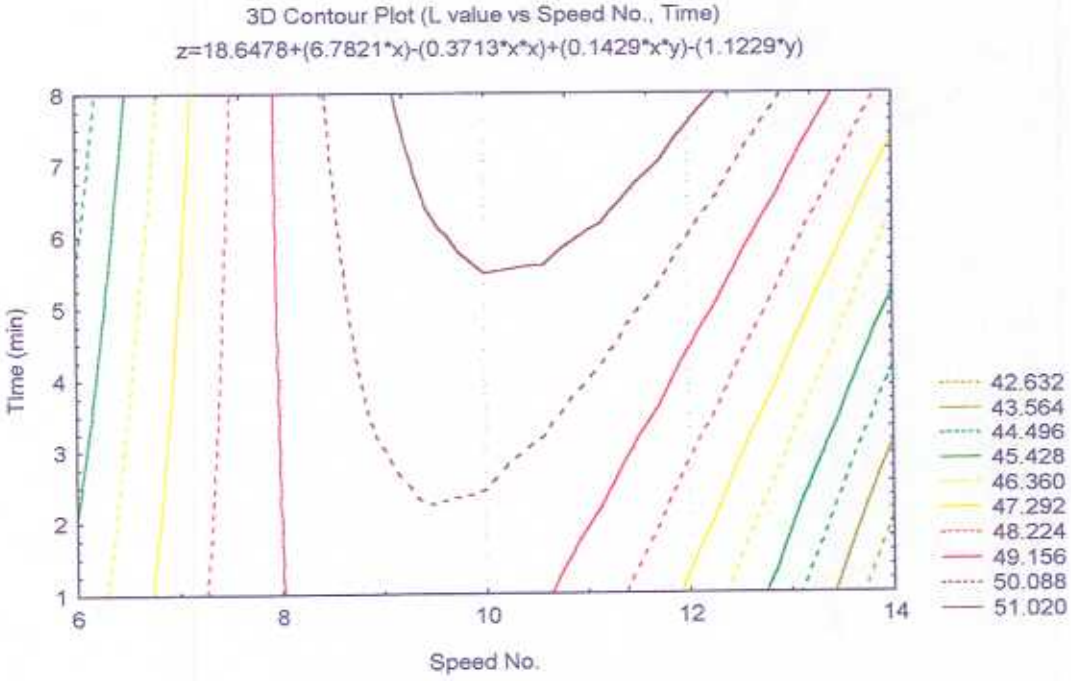
สำหรับค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน ค่าสี L ค่าสี a และค่า Total Expression Fluid ที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วและเวลาในการสับผสม แสดงได้ดังภาพ 4.17, 4.18, 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ



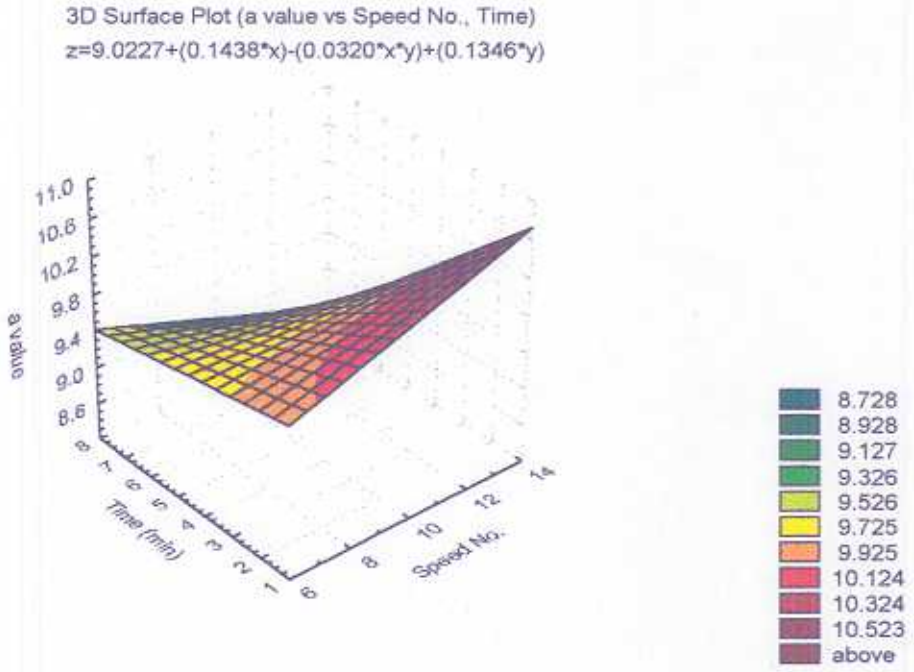
ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉือนกับความเร็ว

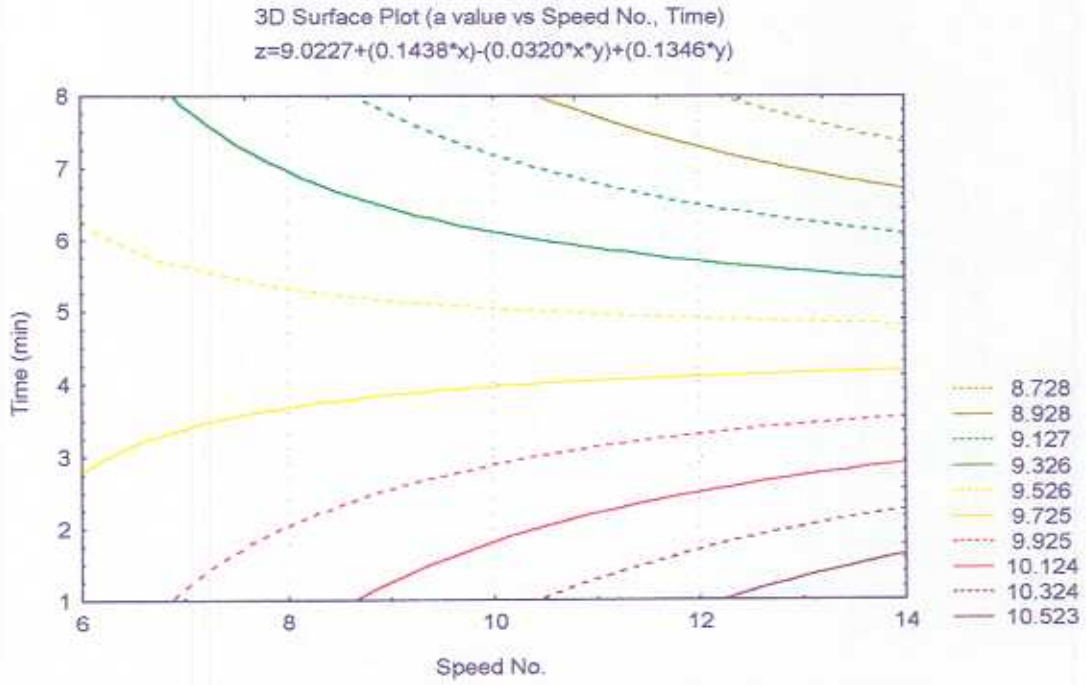
จากภาพที่ 4.17 แสดงให้เห็นถึงค่าแรงเฉือนที่มีความสัมพันธ์กับความเร็วที่ใช้ในกระบวนการสับ หากมีความต้องการที่จะพัฒนาไส้กรอกที่ทำจากน้ำมันพืชให้ได้มีค่าแรงเฉือนสูงที่สุด สามารถกระทำได้โดยแทนค่าแรงเฉือนลงในสมการ แรงเฉือน = -2.5119 + (5.0783* ความเร็ว)-(0.2424*ความเร็ว^2) จะทำให้ได้ค่าแรงเฉือนสูงสุดเท่ากับ 24.0857 นิวตัน เมื่อใช้ความเร็วในการสับเบอร์ 10.5 ซึ่งค่าแรงเฉือนที่ได้เป็นค่าที่เกิดจากการประมาณค่าที่ความเชื่อมั่น 92.75% ดังนั้นการแสดงกราฟความสัมพันธ์ของค่าสังเกตกับปัจจัยที่ใช้จะทำให้มองเห็นภาพโดยรวมหรือทราบช่วงของปัจจัยอย่างคร่าว ๆ ที่ทำให้ได้ค่าสังเกตตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามการแสดงกราฟของค่าสังเกตกับปัจจัยเพียงหนึ่งปัจจัยจะสามารถแสดงได้ในภาพ 2 มิติ แต่หากมีปัจจัยสองปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าสังเกตจะต้องแสดงในภาพ 3 มิติ หรือใช้ contour plot ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความลึกของแกนตั้งหรือค่าสังเกตด้วยสีที่แตกต่างกัน เพื่อทำให้ได้พื้นที่การตอบสนองของค่าสังเกตที่เปลี่ยนไปเมื่อปริมาณของปัจจัยทั้งสองเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในภาพที่ 4.18



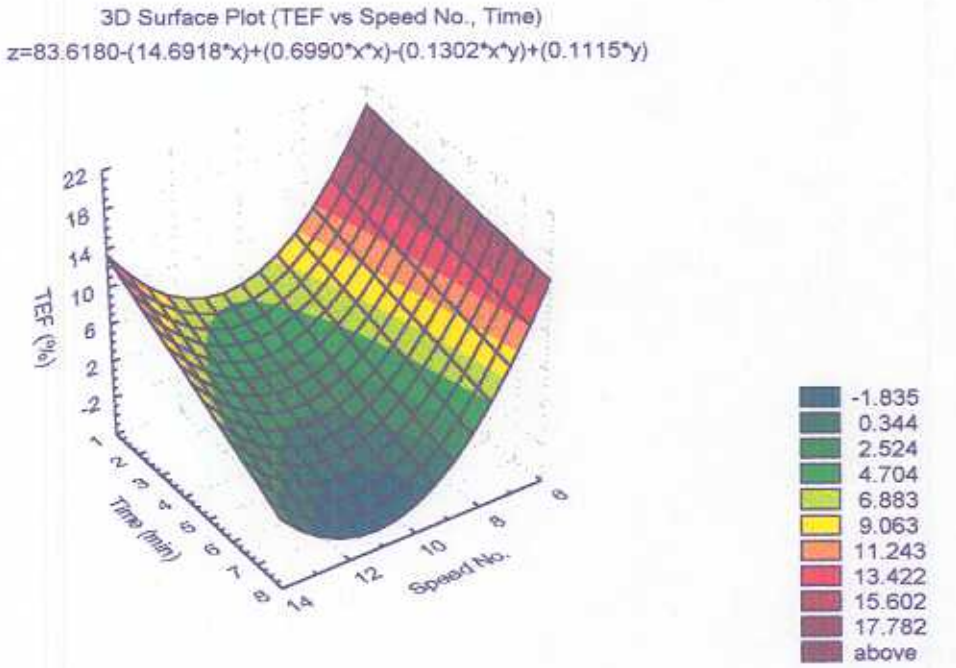


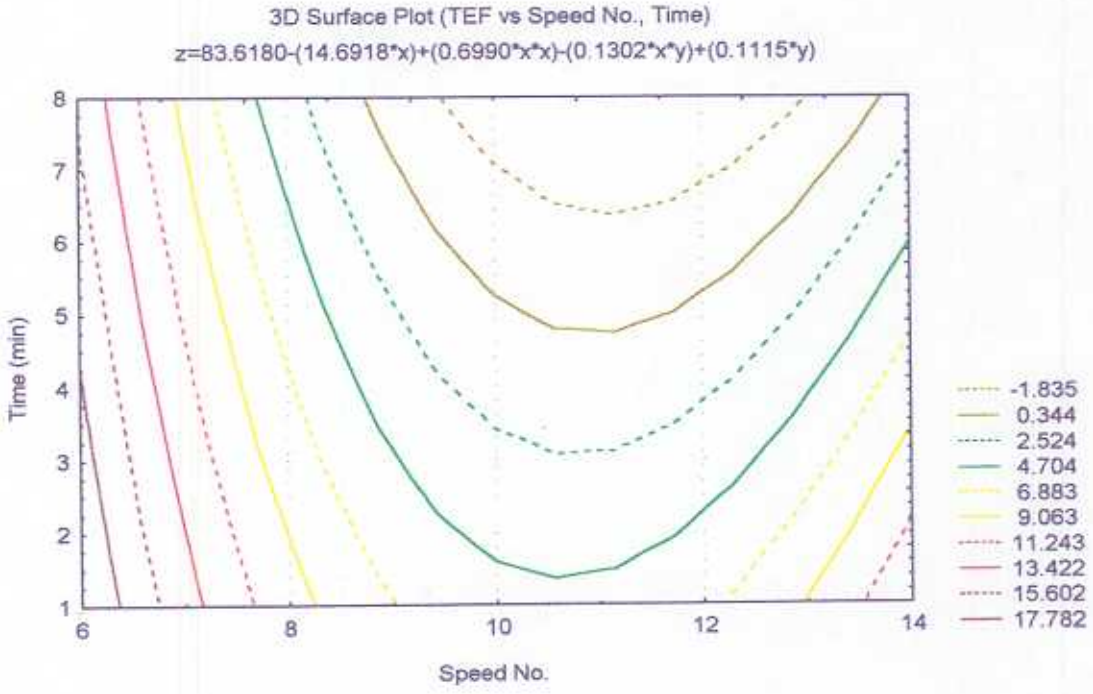
ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงพื้นผิวการตอบสนองของความเร็วใบมีดและเวลาที่มีต่อค่าสี L





ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงพื้นผิวการตอบสนองของความเร็วใบมีดและเวลาที่มีต่อค่าสี a





ภาพที่ 4.20 กราฟแสดงพื้นผิวการตอบสนองของความเร็วใบมีดและเวลาที่มีต่อค่า TEF

ในการคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ซึ่งได้แก่ ความเร็วและเวลา ทำได้โดยการนำระดับของความเร็วและเวลาในช่วงที่ทำการศึกษาแทนค่าลงในสมการที่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพื่อให้ได้ค่าการตอบสนองของแต่ละคุณลักษณะมีค่า Mean Ideal Ratio Score เข้าใกล้ 1.00 มากที่สุด

รสเค็ม = 1.3910-0.1143(ความเร็ว)+0.0057(ความเร็ว^2) $R^2 = 0.8599$
-0.0021(ความเร็ว*เวลา)+0.0446(เวลา)

แทนค่า f (ความเร็ว,เวลา) ได้ผลดังนี้

f (6,1)	=	0.94
f (6,8)	=	1.17
f (10,4.5)	=	0.92
f (14,1)	=	0.92
f (14,8)	=	1.03
f (14,6)	=	1.00

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลาที่มีผลต่อคุณลักษณะด้านรสเค็ม พบว่าการใช้ความเร็วเบอร์ 14 และเวลา 6 นาที จะทำให้ค่า Mean Ideal Ratio Score ได้เท่ากับ 1.00 ที่ระดับความเชื่อมั่น 85.99%

ความแน่นเนื้อ = -0.6369+0.3260(ความเร็ว)-0.0163(ความเร็ว^2) $R^2 = 0.9744$

แทนค่า f (ความเร็ว) ได้ผลดังนี้

f (6)	=	0.73
f (10)	=	0.73
f (14)	=	0.99

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ของความเร็วที่มีผลต่อคุณลักษณะด้านความแน่นเนื้อ พบว่าการใช้ความเร็วเบอร์ 10 จะทำให้ค่า Mean Ideal Ratio Score ได้เท่ากับ 0.99 ที่ระดับความเชื่อมั่น 97.44%

ความฉ่ำน้ำ = 1.6653-0.1492(ความเร็ว)+0.0084(ความเร็ว^2) R^2 = 0.9963
-0.0041(ความเร็ว*เวลา)+0.0304(เวลา)

แทนค่า f (ความเร็ว,เวลา) ได้ผลดังนี้

f (6,1)	=	1.08
f (6,8)	=	1.12
f (10,4.5)	=	0.97
f (14,1)	=	1.20
f (14,8)	=	1.01
f (12,4.35)	=	1.00

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลาที่มีผลต่อคุณลักษณะด้านความฉ่ำน้ำ พบว่าการใช้ความเร็วเบอร์ 12 และเวลา 4.35 นาที จะทำให้ค่า Mean Ideal Ratio Score ได้เท่ากับ 1.00 ที่ระดับความเชื่อมั่น 99.63%

การยอมรับโดยรวม = -0.8225+0.3292(ความเร็ว)-0.0165(ความเร็ว^2) R^2 = 0.9132

แทนค่า f (ความเร็ว) ได้ผลดังนี้

f (6)	=	0.56
f (10)	=	0.82
f (14)	=	0.55

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ของความเร็วที่มีผลต่อการยอมรับโดยรวม พบว่า การใช้ความเร็วเบอร์ 10 จะทำให้ค่า Mean Ideal Ratio Score ได้เท่ากับ 0.82 ที่ระดับความเชื่อมั่น 91.32%

ตารางที่ 4.34 แสดงการประมาณค่าความเร็วและเวลาให้มีค่าสัดส่วนเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าอุดมคติ

ค่าสังเกต	สมการ	Mean Ideal Ratio Score
รสเค็ม	1.3910-0.1143(14)+0.0057(14^2)-0.0021 (14*6)+0.0446(6)	1.00
ความแน่นเนื้อ	-0.6369+0.3260(10)-0.0163(10^2)	0.99
ความฉ่ำน้ำ	1.6653-0.1492(12)+0.0084(12^2)-0.0041 (12*4.35)+0.0304(4.35)	1.00
การยอมรับโดยรวม	-0.8225+0.3292(10)-0.0165(10^2)	0.82

เมื่อนำค่า Mean Ideal Ratio Score ที่ประมาณค่าได้ของแต่ละปัจจัยในแต่ละสมการมาหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่าความเร็วที่เหมาะสมเท่ากับเบอร์ 11.5 (15906.25 rpm) และเวลาที่เหมาะสมเท่ากับ 5.18 นาที

4.7.2) ศึกษาเวลาที่ใช้ในกระบวนการสับผสมเพื่อละลายโปรตีนในเนื้อ

ขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาเวลาในกระบวนการสับผสมเพื่อละลายโปรตีนในเนื้อหมู ซึ่งได้ทดลองโดยใช้ความเร็วระดับเดียวกันกับความเร็วที่ใช้ในการสับผสมเพื่อให้เกิดอิมัลชั่นคือ เบอร์ 11.5 (15906.25 rpm) และเวลาที่ใช้ในการสับผสมมี 3 ระดับคือ 1, 2 และ 3 นาที วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile Test ดังตารางที่ 4.35 เค้าโครงผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 4.21 วิเคราะห์ผลโดยใช้ตาราง ANOVA และหาค่า Mean deviation (M.D.) ดังแสดงในตารางที่ 4.36 วัดค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน ค่าสีในระบบ HunterLab และอุณหภูมิของอิมัลชั่น (ตารางที่ 4.37) รวมถึงวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) ของการยอมรับโดยรวมกับค่าทางกายภาพ

ตารางที่ 4.35 แสดงค่า Mean Ideal Ratio Score เมื่อใช้เวลาสับผสมต่างกัน

เวลา (นาที)	สี	กลิ่นเครื่องเทศ	กลิ่นเนื้อ	รสเค็ม	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความแน่นเนื้อ	ความฉ่ำน้ำ	การยอมรับรวม
1	0.97±0.07	0.90±0.11	0.95±0.06	1.00±0.09	0.95±0.07	0.94±0.06	0.95±0.07	0.83±0.12
2	0.96±0.05	0.92±0.11	0.96±0.12	1.09±0.15	0.86±0.13	0.77±0.11	0.98±0.19	0.70±0.10
3	0.98±0.07	0.92±0.08	0.97±0.09	1.06±0.19	0.86±0.13	0.71±0.12	0.98±0.21	0.65±0.09

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.36 แสดงค่า Mean deviation ของ Mean Ideal Ratio Score เมื่อใช้เวลาสับผสมต่างกัน

คุณลักษณะ	เวลา 1 นาที	เวลา 2 นาที	เวลา 3 นาที
ความเป็นเนื้อเดียวกัน*	0.05**	0.14	0.14
ความแน่นเนื้อ	0.06	0.23	0.29
การยอมรับโดยรวม	0.17	0.30	0.35
Mean deviation	**0.28*** **	**0.67**	**0.78**

หมายเหตุ : * คือคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสที่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

** คือ | Mean Ideal Ratio Score – Ideal Ratio Score |

*** คือค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลแต่ละตัวที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้น โดยไม่คำนึงถึงทิศทางหรือเครื่องหมายของการเบี่ยงเบน

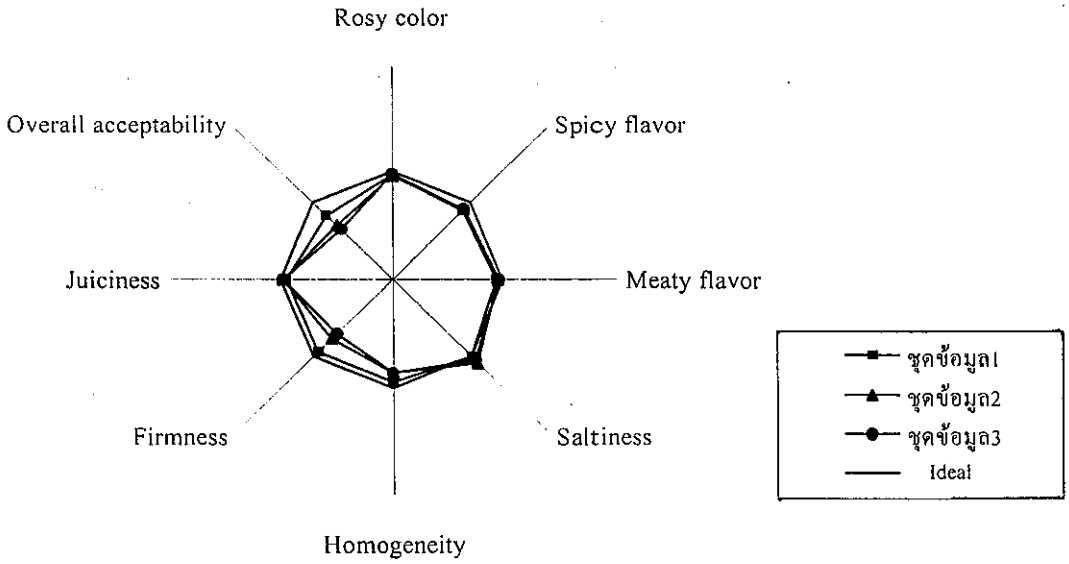
M.D. = Σf | Mean Ideal Ratio Score – Ideal Ratio Score | / n

ตารางที่ 4.37 แสดงค่าแรงเฉือน ค่าสี และอุณหภูมิของอิมัลชั่น ของไส้กรอกที่สับผสมด้วยเวลาต่างกัน

เวลา (นาที)	ค่าแรงเฉือน (N)	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b	อุณหภูมิของอิมัลชั่น ($^{\circ}$ซ)
1	26.48±0.86^{a}	49.44±1.12	10.18±0.24^{b}	9.29±0.23	30.67±3.06^{c}
2	24.08±0.57^{b}	50.82±0.44	11.41±0.17^{a}	9.29±0.25	36.00±0.00^{b}
3	20.54±1.11^{c}	51.34±0.52	11.58±0.54^{a}	9.70±0.33	42.33±0.58^{a}

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่อยู่ในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05



ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกเมื่อใช้เวลาสับผสมต่างกัน

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าเวลาในการสับผสมมีผลต่อความเป็นเนื้อเดียวกัน ความแน่นเนื้อ และการยอมรับโดยรวม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อคำนวณค่า Mean deviation จะพบว่า เวลาที่เหมาะสมในกระบวนการสับเท่ากับ 1 นาที ซึ่งจะทำให้ได้ค่า Mean deviation ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.28 สำหรับผลของเวลาในการสับผสมที่มีต่อคุณภาพด้านกายภาพมีดังนี้ เมื่อสับผสมนานขึ้นทำให้ค่าแรงเฉือนของไส้กรอกลดลง ค่าสี a เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิของอิมัลชั่นสูงขึ้น และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางกายภาพกับทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับโดยรวมพบว่า การยอมรับโดยรวมมีสหสัมพันธ์กับค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน (r= 0.94) เมื่อค่าแรงเฉือนเพิ่มขึ้น การยอมรับโดยรวมจะสูงขึ้นด้วย ค่าสี L (r= -1.00) เมื่อค่าความสว่างเพิ่มสูงขึ้น ค่าการยอมรับโดยรวมจะต่ำลง ค่าสี a (r= -0.99) เมื่อค่าสีแดงเพิ่มสูง การยอมรับโดยรวมจะต่ำลง และอุณหภูมิของอิมัลชั่น (r= -0.96) เมื่ออุณหภูมิของอิมัลชั่นเพิ่มสูงขึ้น การยอมรับโดยรวมจะต่ำลง ซึ่งผลของอุณหภูมิอิมัลชั่นต่อการยอมรับโดยรวมสอดคล้องกับงานวิจัยของ Brauer (1992) ที่ได้กล่าวว่าการสับผสมเป็นเวลานานจะทำให้อุรหภูมิของอิมัลชั่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไส้กรอกแฟรงค์เฟอร์เตอร์ที่ได้ทำการลดไขมัน มีค่าการยอมรับที่ต่ำลง การแก้ปัญหาอาจทำได้โดยการแช่แข็งเนื้อก่อนสับผสมหรือใช้เนื้อแช่แข็งผสมกับเนื้อสดที่ไม่แช่แข็ง ก็จะสามารถทำให้อุณหภูมิของอิมัลชั่นลดต่ำลงได้ อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของการยอมรับโดยรวม

กับคุณภาพด้านกายภาพข้างต้น เป็นเพียงผลที่เกิดจากอิทธิพลของเวลาในการสับผสมในขั้นตอนนี้เท่านั้น ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการสับผสมเพื่อละลายโปรตีนคือ 1 นาที

4.8 ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในกระบวนการต้ม

กระบวนการต้มเพื่อให้ไส้กรอกเกิดเจลและคงรูปร่างอยู่ได้ จะมีสองปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ อุณหภูมิและเวลาในการต้ม ช่วงของอุณหภูมิที่ทำการศึกษาได้แก่ 70-90 องศาเซลเซียส และเวลา 5-20 นาที วางแผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment with 3 center points สูตรแสดงใน ตารางที่ 4.37 ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile Test ดังตารางที่ 4.38 เค้าโครงผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 4.22 วัดค่าทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน ค่าสีในระบบ HunterLab และ Cooking yield (ตารางที่ 4.39) วิเคราะห์ผลโดยใช้ Stepwise regression analysis เลือกสมการที่ให้ค่า R^2 สูงกว่า 0.70 ขึ้นไป

ตารางที่ 4.38 แสดงสูตรการทดลองของอุณหภูมิและเวลาในการต้มจำนวน 7 สูตร

สูตร	อุณหภูมิ (^{o}ซ)	เวลา (นาที)
1 (1)	70	5
2 (a)	90	5
3 (b)	70	20
4 (ab)	90	20
5 (cp1)	80	12.5
6 (cp2)	80	12.5
7 (cp3)	80	12.5

หมายเหตุ : (1) = ควบคุม; (a) = อังคัก; (b) = แป้งมันสำปะหลัง; cp = จุดกึ่งกลาง

ตารางที่ 4.39 แสดงค่า Mean Ideal Ratio Score เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการต้มต่างกัน

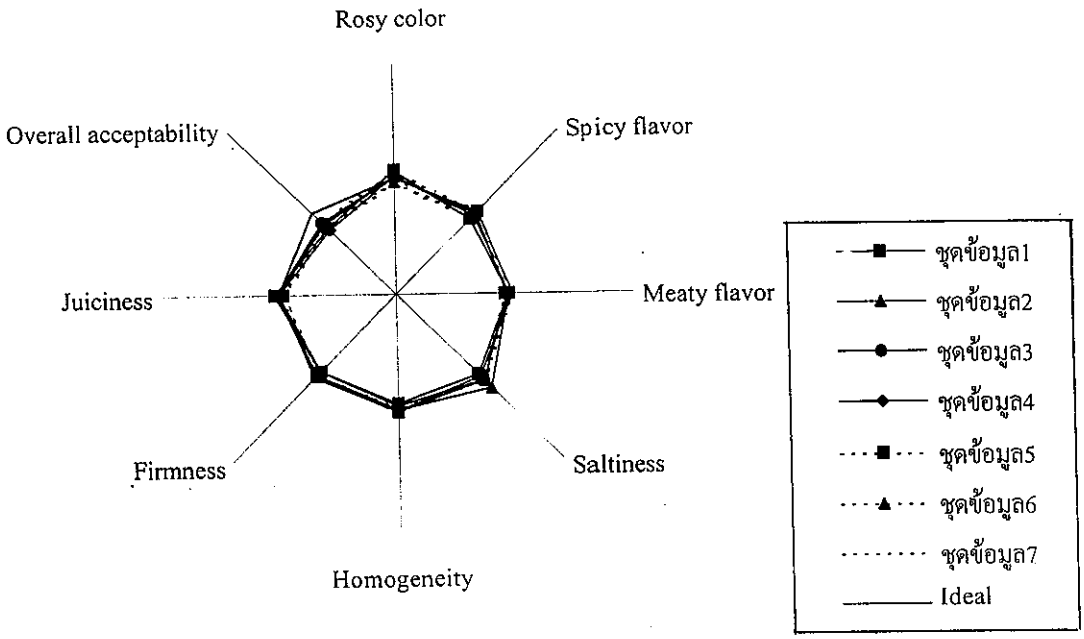
สูตร	สี	กลิ่นเครื่องเทศ	กลิ่นเนื้อ	รสเค็ม	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความแน่นเนื้อ	ความฉ่ำน้ำ	การยอมรับรวม
1	1.07±0.15	0.91±0.12	0.97±0.16	0.98±0.19	0.94±0.11	0.95±0.08	1.04±0.09	0.81±0.15
2	1.02±0.09	0.96±0.07	0.98±0.07	1.14±0.12	0.99±0.06	0.98±0.07	1.01±0.08	0.87±0.08
3	1.03±0.07	0.98±0.06	0.96±0.15	1.05±0.08	1.01±0.02	0.99±0.03	1.03±0.10	0.90±0.05
4	1.03±0.14	0.96±0.08	0.97±0.15	1.05±0.12	0.96±0.09	0.95±0.13	1.00±0.08	0.80±0.14
5	1.07±0.16	1.00±0.03	0.94±0.14	1.03±0.10	0.98±0.05	0.99±0.04	0.97±0.06	0.88±0.08
6	0.98±0.05	0.96±0.05	0.97±0.11	1.04±0.19	1.00±0.02	0.97±0.07	1.00±0.07	0.88±0.07
7	0.98±0.05	0.94±0.09	1.00±0.09	1.05±0.08	0.99±0.04	0.96±0.08	0.98±0.07	0.82±0.14

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.40 แสดงค่าแรงเฉือน ค่าสี และค่า Cooking Yield เมื่อใช้อุณหภูมิและเวลาในการต้มต่างกัน

สูตร	ค่าแรงเฉือน (N)	ค่าสี L	ค่าสี a	ค่าสี b	ค่า Cooking yield (%)
1	25.45±0.52	49.21±0.68	10.35±0.28	9.49±0.24	99.44±0.31
2	23.69±1.00	47.90±0.09	9.92±0.18	9.47±0.04	98.17±0.27
3	23.65±0.26	47.34±0.46	9.71±0.12	9.08±0.21	99.74±0.13
4	23.96±0.68	47.77±0.22	9.79±0.14	9.01±0.22	99.02±0.31
5	25.36±0.24	47.26±0.20	10.44±0.15	9.71±0.31	98.84±0.32
6	27.73±0.52	51.05±0.11	10.89±0.14	9.42±0.01	98.86±0.12
7	28.43±0.38	50.78±0.20	10.42±0.29	9.67±0.05	98.52±0.24

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

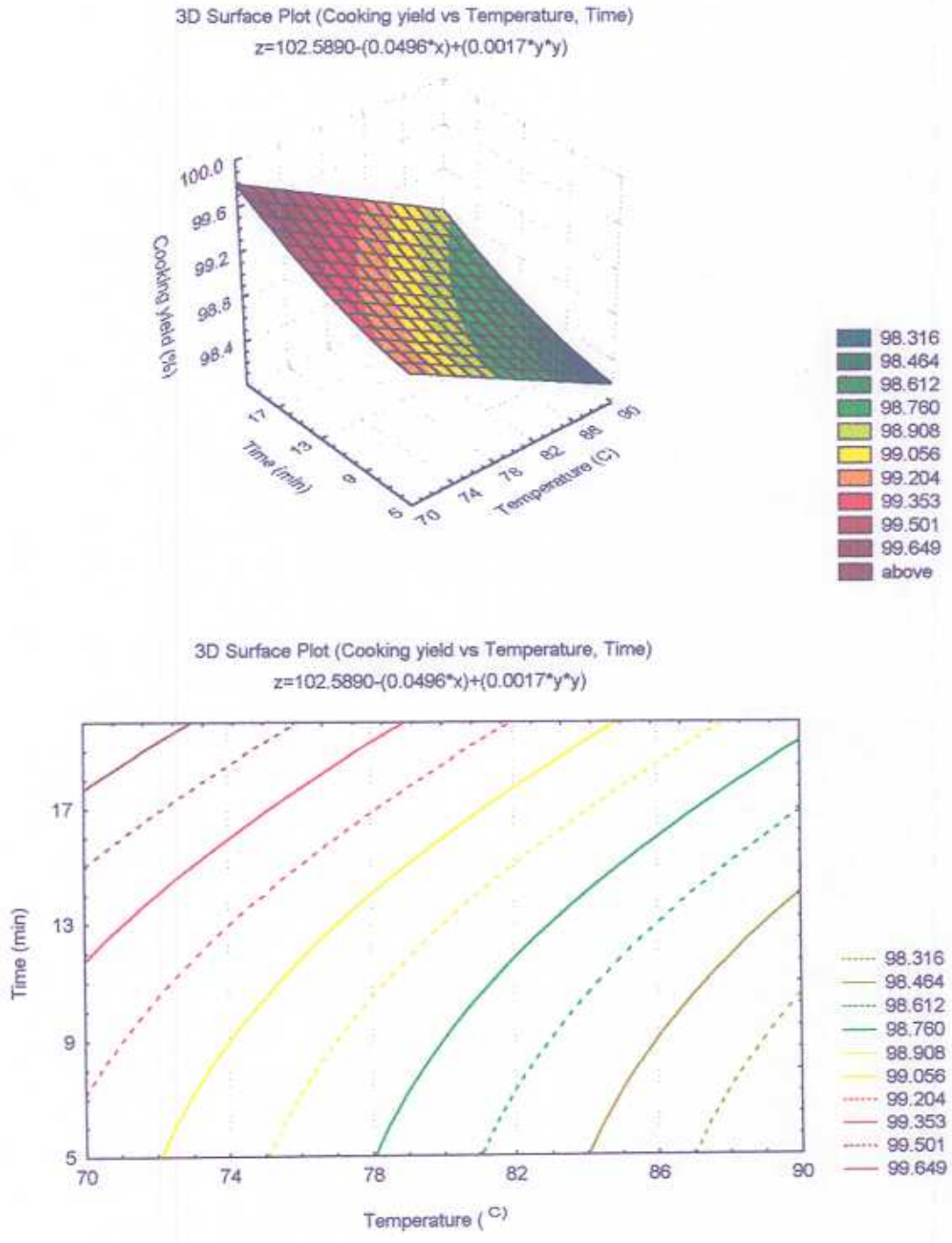


ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงเค้าโครงของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกตามสูตรการทดลองของอุณหภูมิและเวลาในการต้ม

การศึกษากระบวนการต้มไส้กรอก พบว่าช่วงอุณหภูมิและเวลาดังกล่าวไม่มีผลต่อค่าคะแนนทางด้านประสาทสัมผัส ค่าแรงเฉือน ค่าสี L ค่าสี a และค่าสี b อย่างมีนัยสำคัญที่ทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยอุณหภูมิการต้มที่ 70-90 $^{\circ}$ซ และเวลา 5-20 นาที จะทำให้ได้ไส้กรอกที่มีค่าแรงเฉือนจะอยู่ในช่วง 23.65-28.43 นิวตัน ค่าสี L อยู่ในช่วง 47.26-51.05 ค่าสี a อยู่ในช่วง 5-20 นาที 9.71-10.89 และค่าสี b อยู่ในช่วง 9.01-9.71 อย่างไรก็ตามช่วงของอุณหภูมิและเวลาดังกล่าวมีผลต่อค่า Cooking yield (%) ซึ่งจะต้องทำการประมาณค่าให้ได้ค่า Cooking yield ที่สูงสุด เพื่อให้ได้ผลผลิตมากที่สุดดังนี้

Cooking yield (%) = 102.5890-0.0496 (อุณหภูมิ)+0.0017(เวลา^2) $R^2 = 0.7594$

ความสัมพันธ์ของค่า Cooking yield กับอุณหภูมิและเวลาในกระบวนการต้ม แสดงในภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 กราฟแสดงพื้นผิวการตอบสนองของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อค่า Cooking yield

แทนค่า f (อุณหภูมิ,เวลา) ได้ผลดังนี้

f (70,5)	=	99.16
f (70,20)	=	99.80
f (80,12.5)	=	98.89
f (90,5)	=	98.17
f (90,20)	=	98.81

จากการแทนค่าในสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อค่า Cooking yield จะได้ว่า อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และเวลา 20 นาที ทำให้ได้ค่า Cooking yield สูงที่สุดเท่ากับ 99.80 % ที่ระดับความเชื่อมั่น 75.94% นั่นแสดงว่า การใช้อุณหภูมิต่ำในการต้มไส้กรอกเป็นเวลานาน จะทำให้น้ำค่อยซึมผ่าน casing จากด้านนอกเข้าสู่ด้านในของไส้กรอกได้ดี ในขณะที่การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้เนื้อไส้กรอกด้านนอกเกิดเจลและสุกอย่างรวดเร็ว การซึมผ่านของน้ำจะเป็นไปได้ยากกว่า ทำให้น้ำหนักที่ได้ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลังผ่านกระบวนการต้มมีค่าน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน

4.9 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี Ideal Ratio Profile ทำการเปรียบเทียบ Mean Ideal Ratio Score กับค่า Ideal Ratio Score ด้วยวิธี t-test ดังตารางที่ 4.41 เค้าโครงผลิตภัณฑ์สุดท้ายแสดงในภาพที่ 4.24 วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน ค่าสีในระบบ HunterLab ค่า aw ค่า pH และค่า Total Expression Fluid ดังตารางที่ 4.42 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีได้แก่ ปริมาณน้ำ เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ปริมาณเกลือ ปริมาณไนเตรทและไนไตร์ทที่เหลืออยู่ และปริมาณคอเลสเตอรอล (เทียบกับไส้กรอกที่ผลิตจากไขมันหมูและไส้กรอกคอกเทลจากท้องตลาด) ดังตารางที่ 4.43 วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ได้แก่ จุลินทรีย์ทั้งหมด โคลิฟอร์ม ยีสต์และรา ดังตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.41 แสดงค่า Mean Ideal Ratio Score และค่า t value ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

คุณลักษณะ	Mean Ideal Ratio Score	t value
สี	0.99±0.05	0.57
กลิ่นเครื่องเทศ	0.96±0.05	2.68*
กลิ่นเนื้อ	0.97±0.11	0.90
รสเค็ม	0.99±0.04	0.54
ความเป็นเนื้อเดียวกัน	0.99±0.02	2.41*
ความแน่นเนื้อ	0.97±0.04	2.32*
ความฉ่ำน้ำ	0.99±0.03	1.17
การยอมรับโดยรวม	0.93±0.05	4.76*

หมายเหตุ : * แสดงค่าสัดส่วนเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกับสัดส่วนในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.42 แสดงคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

คุณภาพทางกายภาพ	ค่าที่วัดได้
ค่าแรงเฉือน (N)	28.23±1.45
ค่าสี L	49.93±0.24
ค่าสี a	10.27±0.40
ค่าสี b	8.94±0.25
aw	0.94±0.02
ค่า Total Expression Fluid (%)	1.24±0.28
pH	6.32±0.02

หมายเหตุ : ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง วัดค่า 4 ครั้งในแต่ละซ้ำ

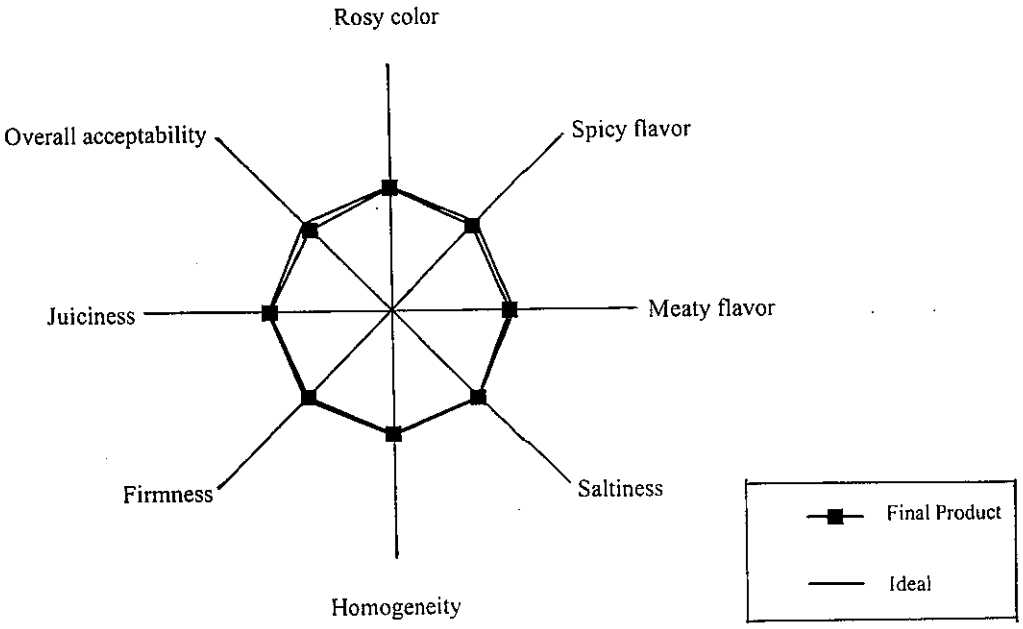
ตารางที่ 4.43 แสดงคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

คุณภาพทางเคมี	ค่าที่วัดได้		
ปริมาณน้ำ (%)	59.00±0.14		
ปริมาณน้ำ (%) (on the fat-free basis)	78.45		
เถ้า (%)	1.89±0.07		
โปรตีน (%) (N X 6.25)	11.96±0.29		
ปริมาณโปรตีน (%) (on the fat-free basis)	15.90		
ไขมัน (%)	24.79±0.04		
คาร์โบไฮเดรต (%) (by difference)	2.36±0.31		
เกลือ (%)	1.52±0.00		
Residual nitrate (ppm)	3.78±1.40		
Residual nitrite (ppm)	69.16±4.09		
Cholesterol (mg/100 g)	made by vegetable oil	made by lard	commercial sausages
	35.50±0.71[b]	39.00±1.41[b]	57.00±2.83[a]

หมายเหตุ : ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง วัดค่า 2 ครั้งในแต่ละซ้ำ

ตารางที่ 4.44 แสดงคุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

คุณภาพทางจุลินทรีย์	ค่าที่วัดได้
จุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	1.34×10^3
โคลีฟอร์ม (MPN/g)	ต่ำกว่า 3
ยีสต์และรา (cfu/g)	ต่ำกว่า 10
จุลินทรีย์ที่เจริญได้ในอุณหภูมิต่ำในสภาพไร้อากาศ	ไม่พบ
จุลินทรีย์ที่เจริญได้ในอุณหภูมิปานกลางในสภาพไร้อากาศ	รูปร่างแท่ง แกรมบวก ไม่มีสปอร์ อยู่เป็นคู่ 2,4



ภาพที่ 4.24 กราฟแสดงเค้าโครงของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ภาพที่ 4.24 แสดงเค้าโครงของผลิตภัณฑ์สุดท้าย พบว่าค่าสัดส่วนเฉลี่ยต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์มีค่าเข้าใกล้ค่าในอุดมคติ การเปรียบเทียบค่าสัดส่วนเฉลี่ยกับค่าสัดส่วนในอุดมคติในตารางที่ 4.41 พบว่าคุณลักษณะด้านกลิ่นเครื่องเทศ ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความแน่นเนื้อ และการยอมรับโดยรวม มีค่าคะแนนต่ำกว่าค่าสัดส่วนในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนคุณลักษณะด้านสี กลิ่นเนื้อ รสเค็ม และความฉ่ำน้ำ มีค่าคะแนนไม่แตกต่างกับค่าสัดส่วนในอุดมคติอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไส้กรอกที่ผลิตจากน้ำมันพืช จะต้องมีการคำนวณปริมาณน้ำและโปรตีนบนพื้นฐานที่ไม่รวมไขมันด้วย เนื่องจากน้ำมันพืชที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ อาจทำให้เกิดความแปรปรวนต่อปริมาณน้ำและโปรตีนได้ ดังนั้น

เมื่อคำนวณปริมาณน้ำและโปรตีนบนพื้นฐานที่ไม่รวมไขมันจะได้เท่ากับ 78.45% และ 15.90% ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จะค่อนข้างคงที่แม้ว่าจะเปลี่ยนชนิดของเนื้อสัตว์ที่ใช้ในการผลิตหรือเติมน้ำมันพืชในปริมาณแตกต่างกัน เนื่องจากการคำนวณบนพื้นฐานที่ไม่รวมไขมันจะลดความแปรปรวนของปริมาณไขมันที่ติดมากับเนื้อหรือปริมาณน้ำมันพืชที่เติมลงไปในสูตรการผลิต สำหรับปริมาณคอเลสเตอรอลของไส้กรอกที่ทำจากน้ำมันพืชไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับไส้กรอกที่ทำจากไขมันสัตว์เมื่อผลิตด้วยสูตรเดียวกัน แต่ดูเหมือนไส้กรอกที่ทำจากน้ำมันพืชจะมีปริมาณคอเลสเตอรอลน้อยกว่าไส้กรอกที่ทำจากไขมันสัตว์ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับไส้กรอกคอกเทลจากท้องตลาด พบว่าไส้กรอกคอกเทลมีปริมาณคอเลสเตอรอลสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.10 การศึกษาคุณภาพการเก็บรักษา

ได้ทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่ผ่านการพัฒนาแล้วในถุง Polypropylene ในสภาวะปกติหรือไม่ใช้สุญญากาศ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°ซ ในตู้เย็น (Freezer, Sharp : Model Superior frost free TH-8903, Thailand) ทำการตรวจคุณภาพทุก ๆ สัปดาห์จนครบ 5 สัปดาห์ โดยตรวจคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ideal Ratio Profile ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนมาแล้วจำนวน 10 คน คุณภาพทางด้านกายภาพได้แก่ ค่าแรงเฉือน ค่าสี และค่า pH คุณภาพทางด้านเคมีได้แก่ ค่า TBA number คุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ได้แก่ จุลินทรีย์ทั้งหมด โคลิฟอร์มและอี โคไล รวมถึงยีสต์และรา วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

ตารางที่ 4.45 แสดงค่า Mean Ideal Ratio Score เมื่อเก็บไส้กรอกไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°ซ นาน 4 สัปดาห์

ระยะเวลา	สี	กลิ่นเครื่องเทศ	กลิ่นเนื้อ	รสเค็ม	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความแน่นเนื้อ	ความฉ่ำน้ำ	การยอมรับรวม
0	0.99±0.05	0.96±0.05	0.97±0.11	0.99±0.04	0.99±0.02	0.97±0.04	0.99±0.03	0.93±0.05
1	0.95±0.10	1.03±0.08	0.94±0.16	1.00±0.13	0.98±0.09	1.00±0.09	0.95±0.14	0.88±0.10
2	0.99±0.07	1.00±0.16	0.93±0.09	1.04±0.34	0.96±0.10	0.95±0.09	0.96±0.09	0.79±0.13
3	1.00±0.09	0.92±0.17	0.94±0.21	1.07±0.29	0.99±0.04	0.98±0.07	0.95±0.10	0.86±0.11
4	0.97±0.06	0.99±0.15	0.92±0.09	0.97±0.09	0.97±0.04	0.98±0.05	0.94±0.05	0.75±0.13

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.46 แสดงผลการทดสอบคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสเมื่อเก็บไส้กรอกไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°ซ นาน 5 สัปดาห์

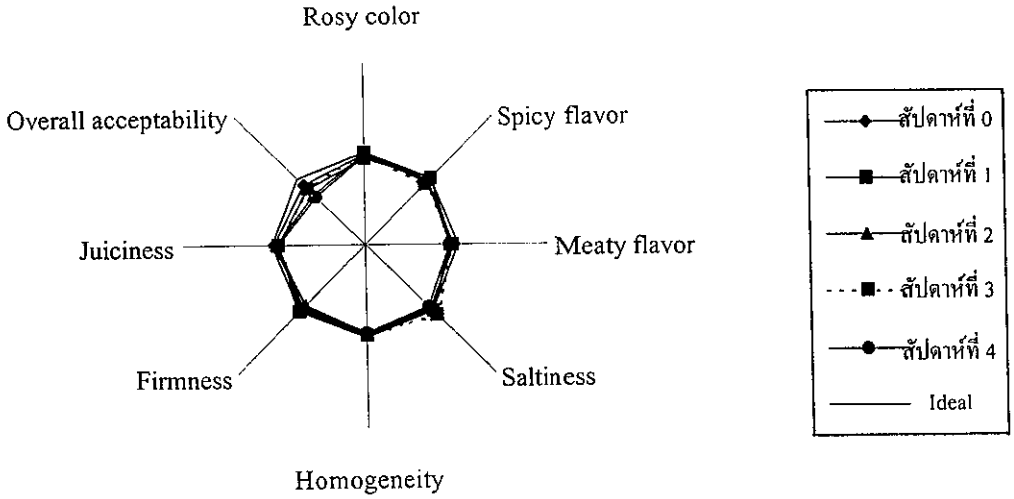
ค่าที่ตรวจวิเคราะห์	สัปดาห์ที่					
	0	1	2	3	4	5
คุณภาพด้านกายภาพ						
ค่าแรงเฉือน (N)	26.57±1.03	25.32±0.78	25.02±0.27	23.72±1.38	25.20±0.46	25.12±0.29
ค่าสี L	48.86±0.34	49.35±0.42	48.66±0.02	45.72±1.34	48.95±1.80	49.06±0.30
ค่าสี a	9.72±0.16	9.95±0.47	9.95±0.14	10.15±0.27	9.39±0.76	9.80±0.08
ค่าสี b	9.21±0.13	9.36±0.40	8.97±0.18	8.73±0.28	8.76±0.65	9.32±0.30
ค่า pH	6.34±0.01	6.31±0.01	6.48±0.05	6.71±0.35	6.73±0.34	6.83±0.42
คุณภาพด้านเคมี						
ค่า TBA (mg malonaldehyde/kg)	0.05^{c}±0.01	0.34^{d}±0.09	1.37^{c}±0.07	1.72^{b}±0.09	1.87^{b}±0.03	2.27^{a}±0.11
คุณภาพด้านจุลินทรีย์						
ปริมาณ TPC (log cfu/g)	3.18^{e}±0.10	4.62^{d}±0.04	4.96^{c}±0.13	5.06^{c}±0.01	5.32^{b}±0.04	6.22^{a}±0.06
ปริมาณ Coliform (MPN/g)	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3
ปริมาณ *E. coli* (MPN/g)	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3	ต่ำกว่า 3
ปริมาณ Yeast and Mold (cfu/g)	ต่ำกว่า 10	ต่ำกว่า 10	ต่ำกว่า 10	ต่ำกว่า 10	ต่ำกว่า 10	ต่ำกว่า 10
คุณภาพด้านประสาทสัมผัส						
ค่าการยอมรับโดยรวม	0.93^{a}±0.05	0.88^{ab}±0.10	0.79^{bc}±0.13	0.86^{ab}±0.11	0.75^{c}±0.13	-

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

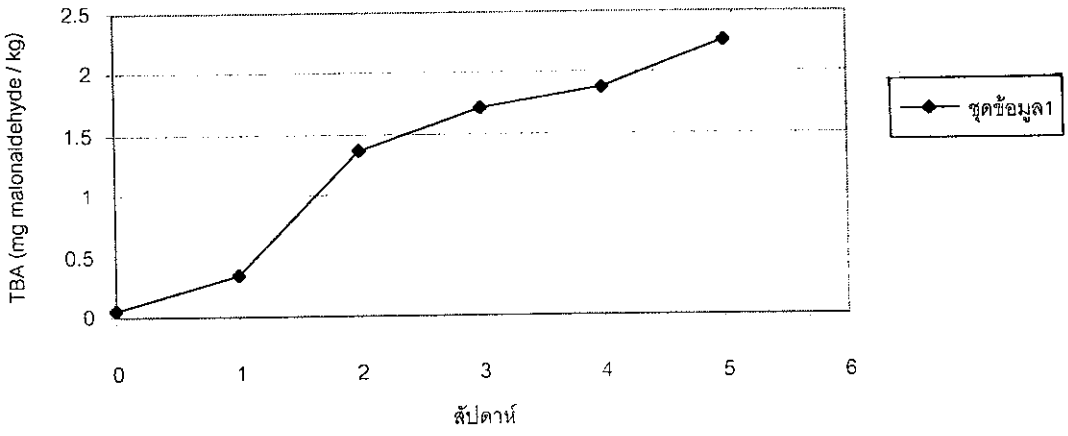
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่อยู่ในแถวเดียวกันแสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $P \leq 0.05$

คุณภาพทางด้านกายภาพ ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง วัดค่า 4 ครั้งในแต่ละซ้ำ

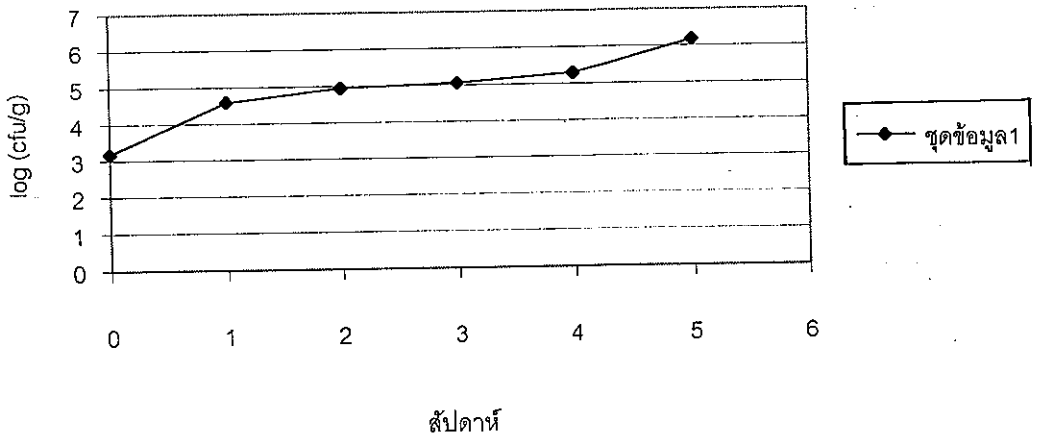
คุณภาพทางด้านเคมีและจุลินทรีย์ ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง วัดค่า 2 ครั้งในแต่ละซ้ำ



ภาพที่ 4.25 เค้าโครงผลิตภัณฑ์ไส้กรอกที่เก็บในอุณหภูมิต่ำกว่า 10°ซ เป็นเวลา 4 สัปดาห์



ภาพที่ 4.26 แสดงค่า TBA number ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°ซ นาน 5 สัปดาห์



ภาพที่ 4.27 แสดงปริมาณ TPC (log cfu/g) ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°ซ นาน 5 สัปดาห์

ภาพที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่าการเหม็นหืนแปรผันตามระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยค่า TBA number เริ่มต้นที่ 0.05±0.01 และเพิ่มขึ้นเป็น 2.27±0.11 (mg malonaldehyde/kg) ภายเวลา 5 สัปดาห์ การทดสอบหาค่า TBA number เป็นวิธีที่ใช้บ่งถึงการเกิด oxidation ของไขมันวิธีหนึ่ง ซึ่งการทดสอบนี้จะมีความสัมพันธ์กับระดับของ aldehyde ที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะระดับของ malonaldehyde ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของกรดกับไขมันที่ถูกออกซิไดซ์ แล้วทำปฏิกิริยากับ thiobarbituric acid ทำให้เกิดสารสีแดงเรียกว่า TBA chromogen ดังนั้นความเข้มของสีแดงจะแปรผันโดยตรงกับการเกิดกลิ่นหืนได้ (Allen and Hamilton, 1994) ปริมาณการเกิดการเหม็นหืนเกี่ยวข้องกับ degree of unsaturated fatty acid ในระบบไขมันของไส้กรอก ซึ่งในที่นี้ได้แก่ไขมันที่อยู่ในเนื้อและน้ำมันพืช โดยน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันมีกรดโอเลอิคมากที่สุด กรดดังกล่าวจัดอยู่ในประเภท monounsaturated fatty acids (นิธิยา, 2541) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ polyunsaturated fatty acids จะพบว่ากรดโอเลอิคมีความไวต่อการเกิด oxidation น้อยกว่ามาก ดังนั้นปัจจัยอื่น ๆ อาจส่งผลต่อการเกิด oxidation ของไส้กรอกได้มากกว่า ปัจจัยเหล่านั้นได้แก่ แสง ออกซิเจน อุณหภูมิ และโลหะตัวเร่ง การเก็บไส้กรอกในภาชนะบรรจุที่ป้องกันแสงในระบบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิต่ำและหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนของโลหะตัวเร่ง อาจจะเป็นหนทางในการลดการเกิด oxidation ได้ นอกจากนี้การเติม chelating agents บางชนิดเช่น กรดซิตริค กรดฟอสฟอริค และ EDTA อาจใช้เป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปเพื่อลดการเกิด oxidation ของไส้กรอกชนิดนี้ลงได้ ซึ่งนอกจากสาร chelating agents แล้ว วิตามินอีที่มีอยู่ในน้ำมันพืชก็จะมีส่วนช่วยลดการเกิดการหืนได้เช่นกัน โดย

ในน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันมีวิตามินอีประมาณ 6-20 เปอร์เซ็นต์ (ตราทิพ, บริษัทอุตสาหกรรมวิวัฒน์ จำกัด, นนทบุรี; ตรามรกต, บริษัทมรกตอินดัสตรีส์ จำกัด, สมุทรปราการ; ตรากุ๊ก, บริษัทธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด, สมุทรปราการ)

สำหรับการทดสอบคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสพบว่า ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงกลิ่นหืนในระยะเวลาต่าง ๆ ได้ (ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$ ดังแสดงในภาคผนวก ง ตารางที่ ง.1) นั่นแสดงว่าถึงแม้ค่า TBA number จะเพิ่มสูงขึ้นถึง 2.27 (mg malonaldehyde/kg) แต่ก็ไม่ทำให้ผู้ทดสอบชิมรับรู้กลิ่นหืนของไส้กรอกได้ ดังนั้นการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกภายในระยะเวลาการเก็บนาน 5 สัปดาห์ไม่ได้เกิดจากกลิ่นหืนของไส้กรอก

ภาพที่ 4.27 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น พบว่าจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ log 3.18±0.01 cfu/g หรือเท่ากับ 1.514 X 10^3 cfu/g และเมื่อเก็บไว้ครบ 5 สัปดาห์ จุลินทรีย์มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น log 6.21±0.06 cfu/g หรือเท่ากับ 1.622 X 10^6 cfu/g ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแฮม (มอก. 848-2532 UDC 637.525) กำหนดให้อาหารประเภทนี้มีจำนวนจุลินทรีย์ได้ไม่เกิน 100,000 cfu/g ดังนั้นอายุการเก็บรักษาของไส้กรอกชนิดนี้จึงเท่ากับ 2 สัปดาห์ ซึ่งจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ log 4.96±0.13 cfu/g หรือ 9.120 X 10^4 cfu/g การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสด้านกลิ่นแปลกปลอมและรสเปรี้ยว พบว่าผู้ทดสอบชิมไม่สามารถรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทั้งสองได้เมื่อเก็บไส้กรอกไว้ในระยะเวลาต่าง ๆ (ภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2 และ ง.3) ซึ่งผลการทดสอบชิมของรสเปรี้ยวสอดคล้องกับค่า pH นั่นคือค่า pH ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าจุลินทรีย์ที่เจริญในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกชนิดนี้ไม่ใช่จำพวกที่สร้างกรด เพราะเนื่องจากไส้กรอกไม่ได้มีส่วนผสมของแป้งหรือน้ำตาลมากเพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าว และเมื่อเก็บไส้กรอกไว้เป็นเวลา 5 สัปดาห์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°ซ การตรวจปริมาณเชื้อ Coliform และ *E.coli* พบว่ามีปริมาณต่ำกว่า 3 MPN/g ส่วนปริมาณยีสต์และราต่ำกว่า 10 MPN/g ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย (ตารางที่ 4.46) การทดสอบชิมผลิตภัณฑ์ไส้กรอกภายในระยะเวลาการเก็บรักษานาน 4 สัปดาห์ พบว่า ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงด้านสี กลิ่นเครื่องเทศ กลิ่นเนื้อ รสเค็ม ความเป็นเนื้อเดียวกัน ความแน่นเนื้อ ความฉ่ำน้ำ กลิ่นแปลกปลอม กลิ่นหืน และรสเปรี้ยวได้ อย่างไรก็ตามการยอมรับโดยรวมมีคะแนนลดน้อยลงจาก 0.93±0.05 เป็น 0.75±0.13 ในสัปดาห์ที่ 4 สำหรับสัปดาห์ที่ 5 ผู้ทดสอบชิมไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ไส้กรอก เนื่องจากลักษณะโดยรวมไม่สามารถบริโภคได้ การทดสอบชิมจึงยุติที่สัปดาห์ที่ 4 อย่างไรก็ตามอายุการ

เก็บรักษาของไส้กรอกชนิดนี้มีเพียง 2 สัปดาห์เท่านั้น โดยใช้ค่าจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นตัวกำหนด แต่เนื่องจากการทดสอบชิมมีการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีที่ปลอดภัยคือผ่านกระบวนการต้มที่ 90°ซ นาน 5 นาที จึงเพียงพอกับการทำลายจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามการเจริญของจุลินทรีย์ขณะทำการเก็บรักษาอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในไส้กรอกจนทำให้ผู้ทดสอบชิมมีการยอมรับที่น้อยลงเมื่อเก็บไว้นานขึ้น ดังนั้นการนำผลิตภัณฑ์สุดท้ายออกสู่ท้องตลาดอาจมีวิธีการเตรียมก่อนการบริโภคที่แตกต่างกัน และเพื่อให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด อายุการเก็บรักษาของไส้กรอกชนิดนี้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°ซ ในสภาวะปกติ จึงเท่ากับ 2 สัปดาห์