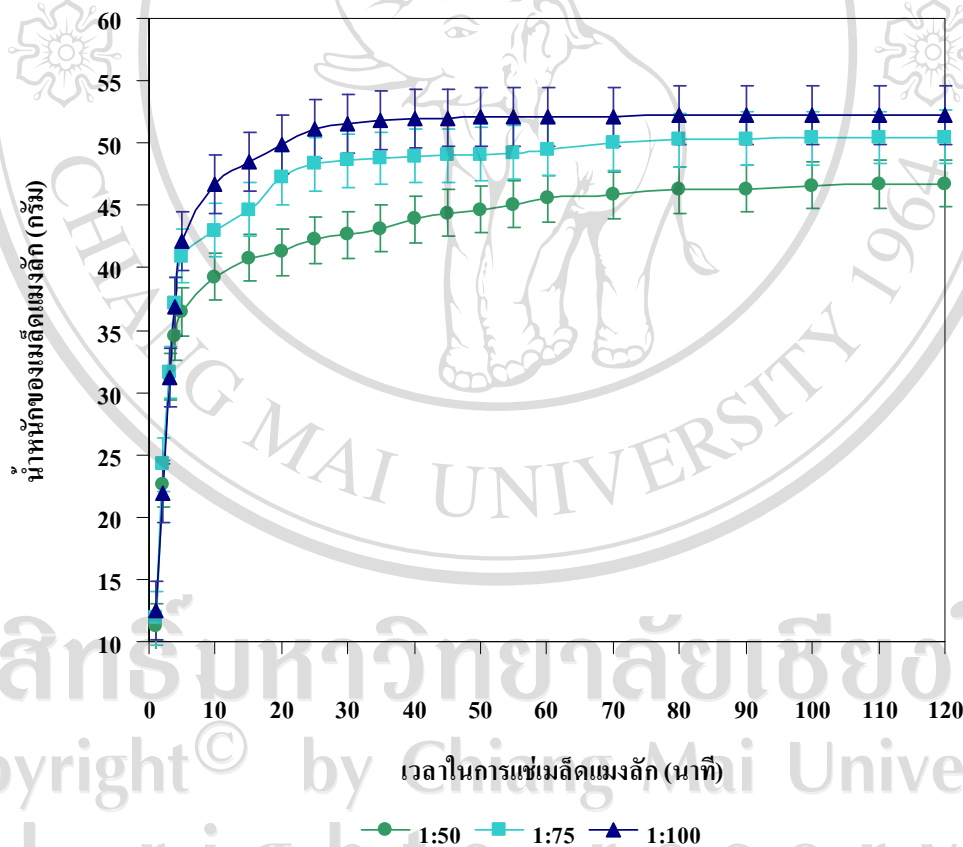


บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนเมล็ดแมงลักต่อน้ำและเวลาที่เหมาะสมในการแช่เมล็ดแมงลัก

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเมล็ดแมงลักต่อน้ำและเวลาที่เหมาะสมในการแช่เมล็ดแมงลัก โดยใช้อัตราส่วนในการแช่เมล็ดแมงลักต่อน้ำดังนี้ 1:50 1:75 และ 1:100 ทำการแช่เมล็ดแมงลักเป็นเวลาต่าง ๆ กัน แล้วนำมาชั่งน้ำหนักทำเช่นนี้ไปจนกว่าเมล็ดแมงลักจะดูดน้ำจนพองตัวเต็มที่ ซึ่งน้ำหนักของเมล็ดแมงลักจะคงที่ ผลของอัตราส่วนของเมล็ดแมงลักต่อน้ำและเวลาในการแช่เมล็ดแมงลักแสดงในภาพ 4.1



ภาพ 4.1 อัตราส่วนของเมล็ดแมงลักต่อน้ำและเวลาในการแช่เมล็ดแมงลักต่อการดูดน้ำของเมล็ดแมงลัก

จากการศึกษาหาปริมาณน้ำ และเวลาที่เหมาะสมในการแช่เมล็ดแมงลัก โดยใช้ปริมาณน้ำ 50 กรัม ต่อน้ำหนักของเมล็ดแมงลัก 1 กรัม พบว่าเมื่อแช่เมล็ดแมงลักเป็นเวลา 120 นาที ลักษณะปรากฏของเมล็ดแมงลักจะมีสีขาวขุ่น และเหนียวติดกันเป็นก้อน เนื่องจากมีน้ำในปริมาณที่จำกัด ทำให้เมล็ดแมงลักไม่สามารถพองตัวได้อย่างเต็มที่ ดังแสดงในภาพ ก-1 (ภาคผนวก ก) เมื่อใช้ปริมาณน้ำ 75 กรัม ต่อน้ำหนักของเมล็ดแมงลัก 1 กรัม พบว่าเมื่อแช่เมล็ดแมงลักเป็นเวลา 120 นาที ลักษณะปรากฏของเมล็ดแมงลักจะมีสีค่อนข้างใสมีความชื้นเหนียว แต่ยังมีเมล็ดแมงลักบางส่วนที่ยังเหนียวติดกันเป็นก้อน เนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้สามารถทำให้เมล็ดแมงลักพองตัวได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังแสดงในภาพ ก-2 (ภาคผนวก ก) น้ำหนักของเมล็ดแมงลักจะเริ่มคงที่ เมื่อแช่เป็นเวลา 50 นาที และเมื่อใช้ปริมาณน้ำ 100 กรัม ต่อน้ำหนักของเมล็ดแมงลัก 1 กรัม พบว่าเมื่อแช่เมล็ดแมงลักเป็นเวลา 120 นาที ลักษณะปรากฏของเมล็ดแมงลักจะมีสีใสมองเห็นเมล็ดสีดำตรงกลางและไม่เหนียวติดกัน ดังแสดงในภาพ ก-3 (ภาคผนวก ก) เนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้สามารถทำให้เมล็ดแมงลักเกิดการพองตัวได้อย่างรวดเร็ว โดยที่น้ำหนักของเมล็ดแมงลักจะคงที่เมื่อแช่เป็นเวลา 25 นาที ซึ่งการที่เมล็ดแมงลักสามารถพองตัวได้อย่างรวดเร็วนั้นเพราะว่าสารเมือก (mucilage) ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ห่อหุ้มอยู่รอบเมล็ด มีความสามารถในการพองตัวได้หลายเท่าเมื่อนำมาแช่น้ำ กฤษณา และคณะ (2549) รายงานว่า เมล็ดแมงลักสามารถพองตัวอย่างรวดเร็วถึง 45 เท่า และมีความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ที่ผิวได้มาก โดยมีค่า Water Holding Capacity (WHC) เท่ากับ 42.2 กรัม ของน้ำหนักต่อเมล็ดแมงลัก 1 กรัม

ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมของเมล็ดแมงลักต่อน้ำ คือ 1:100 และเวลาที่เหมาะสมในการแช่เมล็ดแมงลัก คือ 25 นาที เนื่องจากเมล็ดแมงลักมีการพองตัวได้มากที่สุด น้ำหนักของเมล็ดแมงลักจะคงที่ในเวลาที่สูงขึ้นเพราะมีปริมาณน้ำเพียงพอสำหรับให้เมล็ดแมงลักพองตัวได้อย่างเต็มที่

4.2 ผลการพัฒนาสูตรว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม

การพัฒนาสูตรของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม โดยศึกษาปัจจัยทั้งหมด 4 ปัจจัย คือศึกษาสัดส่วนของ น้ำมะตูม เมล็ดแมงลัก ว่านหางจระเข้ และเอซีซัลเฟม-เค ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม ผลคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม 18 สูตร ดังตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในมะตูม 18 สูตร ดังตาราง 4.2 และ 4.3

ตาราง 4.1 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลัก
ในน้ำมะตูม 18 สูตร

สิ่งทดลอง ที่	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะ เนื้อสัมผัส	ความชอบ โดยรวม
1	6.74 ^c ±0.20	6.36±0.02	5.96 ^h ±0.27	6.37±0.34	7.05 ^b ±0.16
2	6.93 ^{ab} ±0.08	6.40±0.19	6.21 ^{gh} ±0.25	6.59±0.34	6.85 ^b ±0.17
3	6.94 ^{ab} ±0.10	6.57±0.17	6.27 ^{fgh} ±0.42	6.91±0.03	6.93 ^b ±0.24
4	7.10 ^a ±0.02	6.56±0.12	7.36 ^{ab} ±0.18	6.83±0.09	7.69 ^a ±0.17
5	7.03 ^a ±0.02	6.48±0.21	7.06 ^{abc} ±0.06	7.09±0.27	7.28 ^{ab} ±0.18
6	7.01 ^{ab} ±0.13	6.51±0.23	7.19 ^a ±0.14	6.71±0.25	7.10 ^b ±0.42
7	6.88 ^{bc} ±0.09	6.42±0.33	6.29 ^{fgh} ±0.17	6.66±0.19	6.95 ^b ±0.12
8	6.95 ^{ab} ±0.14	6.45±0.38	6.31 ^{fgh} ±0.30	7.18±0.32	6.98 ^b ±0.13
9	7.01 ^{ab} ±0.28	6.45±0.17	6.29 ^{fgh} ±0.36	6.89±0.32	7.03 ^b ±0.27
10	6.95 ^{ab} ±0.14	6.35±0.31	6.85 ^{bcd} ±0.18	6.71±0.36	7.12 ^b ±0.10
11	7.17 ^a ±0.19	6.71±0.19	7.42 ^a ±0.04	6.82±0.12	7.25 ^{ab} ±0.33
12	7.02 ^a ±0.09	6.69±0.08	6.65 ^{cdefg} ±0.43	6.84±0.12	6.93 ^b ±0.05
13	6.90 ^{ab} ±0.20	6.21±0.07	6.23 ^{gh} ±0.25	6.79±0.23	6.93 ^b ±0.19
14	6.88 ^{bc} ±0.21	6.43±0.28	6.75 ^{bcd} ±0.13	6.76±0.14	7.65 ^a ±0.31
15	7.03 ^a ±0.03	6.08±0.16	6.50 ^a ±0.32	6.91±0.38	6.87 ^b ±0.21
16	7.02 ^a ±0.11	6.52±0.38	6.81 ^{bcd} ±0.11	6.50±0.40	6.91 ^b ±0.21
17	7.01 ^{ab} ±0.12	6.52±0.07	7.41 ^a ±0.23	6.81±0.01	7.29 ^{ab} ±0.19
18	7.07 ^a ±0.02	6.36±0.27	6.35 ^{efgh} ±0.24	7.08±0.11	6.90 ^b ±0.46

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันที่อยู่ในสมมติเดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง
สถิติ ($P \leq 0.05$)

ข้อมูลที่ไม่มีตัวอักษรกำกับ แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลัก
ในน้ำมะตูม 18 สูตร

สิ่งทดลองที่	ค่าสี			ความหนืด (cP)
	L*	a*	b*	
1	43.26±2.26	17.26 ^b ±0.06	25.02±0.25	1.57 ^g ±0.01
2	53.42±0.22	17.32 ^b ±0.26	23.73±1.48	1.67 ^f ±0.03
3	36.90±5.49	14.35 ^d ±0.74	20.63±2.72	1.59 ^g ±0.04
4	51.41±1.46	17.54 ^b ±0.43	19.80±0.40	1.68 ^f ±0.03
5	40.03±0.67	17.30 ^b ±0.20	21.90±0.64	1.60 ^g ±0.01
6	39.86±3.19	17.11 ^b ±0.67	21.91±1.64	1.67 ^{cd} ±0.02
7	38.56±0.78	17.22 ^b ±0.45	24.40±5.90	1.81 ^{de} ±0.01
8	27.81±5.27	9.02 ^d ±1.50	14.34±2.91	1.93 ^b ±0.01
9	40.73±6.30	18.41 ^a ±1.14	25.18±1.36	1.98 ^a ±0.03
10	54.57±1.49	14.41 ^d ±0.25	27.90±0.65	1.66 ^f ±0.07
11	39.95±6.64	13.57 ^d ±0.87	21.36±3.09	1.79 ^{de} ±0.02
12	40.90±2.56	15.96 ^c ±0.05	22.71±1.12	1.83 ^f ±0.02
13	38.83±2.99	15.74 ^c ±1.04	21.53±1.29	1.52 ^h ±0.02
14	43.23±5.46	17.97 ^{ab} ±1.45	24.43±2.92	1.66 ^f ±0.02
15	54.93±3.93	14.34 ^d ±0.65	27.66±1.44	1.70 ^f ±0.02
16	42.50±1.02	17.39 ^b ±0.15	24.07±0.52	1.77 ^e ±0.11
17	52.49±1.14	18.02 ^{ab} ±0.76	22.67±1.38	1.68 ^f ±0.03
18	38.29±1.23	17.32 ^b ±0.36	21.82±0.71	1.86 ^c ±0.04

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันที่อยู่ในสมรภูมเดียวกันแสดงความแตกต่างกัน
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ข้อมูลที่ไม่มีตัวอักษรกำกับ แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีความนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตาราง 4.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางด้านเคมีผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลัก
ในน้ำมะตูม 18 สูตร

สิ่งทดลองที่	ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (°Brix)	ความเป็นกรด-ด่าง
1	1.62 ^{abc} ± 0.30	5.63 ± 0.35
2	1.62 ^{abc} ± 0.30	5.55 ± 0.18
3	1.37 ^c ± 0.54	5.30 ± 0.15
4	1.63 ^{abc} ± 0.34	5.36 ± 0.14
5	1.85 ^a ± 0.32	5.64 ± 0.36
6	1.67 ^{abc} ± 0.37	5.72 ± 0.36
7	1.47 ^{abc} ± 0.41	5.55 ± 0.40
8	1.47 ^{abc} ± 0.27	5.43 ± 0.22
9	1.40 ^{bc} ± 0.18	5.45 ± 0.23
10	1.27 ^c ± 0.10	5.52 ± 0.15
11	1.30 ^c ± 0.24	5.47 ± 0.26
12	1.53 ^{abc} ± 0.27	5.62 ± 0.31
13	1.32 ^c ± 0.18	5.56 ± 0.18
14	1.57 ^{abc} ± 0.41	5.57 ± 0.17
15	1.33 ^c ± 0.27	5.46 ± 0.28
16	1.67 ^{abc} ± 0.45	5.42 ± 0.24
17	1.82 ^{ab} ± 0.22	5.48 ± 0.23
18	1.23 ^c ± 0.15	5.72 ± 0.26

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันที่อยู่ใ้ในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ข้อมูลที่ไม่เป็นตัวอักษรกำกับ แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตาราง 4.4 P-value ในแต่ละคุณลักษณะ

คุณลักษณะ	P-value
การทดสอบทางประสาทสัมผัส	
ลักษณะปรากฏ	0.0266*
กลิ่น	0.1513
รสชาติ	0.0013*
เนื้อสัมผัส	0.3184
ความชอบโดยรวม	0.0347*
สมบัติทางกายภาพ	
ค่าสี L*	0.0584
ค่าสี a*	0.0066*
ค่าสี b*	0.4686
ความหนืด	0.0182*
สมบัติทางเคมี	
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด	0.0172*
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	0.3278

หมายเหตุ : * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสส่วนทางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม จำนวน 18 สิ่งทดลองถูกนำเสนอให้ผู้ทดสอบชิมจำนวนซึ่งเป็นบุคคลทั่วไป 50 คน ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยการให้คะแนนแบบ 9-points hedonic scale ได้ผลดังตาราง 4.1 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Design-Expert Version 6.0.2 พบว่าผลของคุณลักษณะปรากฏ รสชาติ และความชอบโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) แต่ผลของกลิ่น และเนื้อสัมผัสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$) ได้ผลดังตาราง 4.4 ถึง 4.5 เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ของค่าทางประสาทสัมผัสในด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ และความชอบโดยรวม ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ดังตาราง 4.6 โดยมีค่า R^2 ของลักษณะปรากฏ รสชาติ และความชอบโดยรวม เท่ากับ 0.7814, 0.9242 และ 0.9063 ตามลำดับ และ contour plot ดังภาพ จ-1 ถึง จ-3 (ภาคผนวก จ)

ตาราง 4.5 ANOVA ของแต่ละค่าตอบสนองของการทดสอบทางประสาทสัมผัส การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมี ของวุ้นหางจระเข้ และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม

Source	Sum of squares										
	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*	ความหนืด	TSS	pH
Model	0.120*	0.340 ^{ns}	3.400**	0.430 ^{ns}	0.36*	778.33 ^{ns}	41.87**	65.10 ^{ns}	0.130*	0.500*	0.048 ^{ns}
Residual	0.035	0.053	0.280	0.270	0.037	44.52	1.47	16.55	0.130	0.089	0.180
- Lack-of-fit	0.029 ^{ns}	0.051 ^{ns}	0.240 ^{ns}	0.081 ^{ns}	0.031 ^{ns}	40.68*	0.75 ^{ns}	7.60 ^{ns}	0.110 ^{ns}	0.042 ^{ns}	0.110 ^{ns}
- Pure error	0.006	0.002	0.040	0.189	0.006	3.84	0.72	8.95	0.020	0.047	0.070
R ²	0.7814	0.8643	0.9242	0.6138	0.9063	0.9459	0.9662	0.7972	0.5010	0.8477	0.2119
C.V.	0.89	1.79	2.80	2.70	1.49	7.34	3.30	8.63	5.67	7.01	2.04

หมายเหตุ : * แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.05$

** แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P \leq 0.01$

^{ns} แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ $P > 0.05$

ตาราง 4.6 สมการแสดงความสัมพันธ์ของการทดสอบทางประสาทสัมผัส การวิเคราะห์คุณภาพกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้ และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม

คุณลักษณะ	สมการแสดงความสัมพันธ์	R ²
ลักษณะปรากฏ	$+0.06A + 0.08B - 0.04C + 83467.14D + (1.56 \times 10^{-3})AC - 834.81AD + (1.48 \times 10^{-3})BC - 835.56BD - 834.49CD$	0.7814
รสชาติ	$0.01A - 0.24B - 0.03C + (5.44 \times 10^5)D + (6.63 \times 10^{-3})AB + (1.29 \times 10^{-3})AC - 5445.10AD + (6.15 \times 10^{-3})BC - 5446.16BD - 5445.69CD$	0.9242
ความชอบโดยรวม	$0.08A + 0.08B + 0.19C + 0.51D - 1.84AC - 1.56BC$	0.9063
ค่าสี a*	$3.15A + 15.20B + 24.67C - 65672.90D - 0.35AB - 0.53AC + 710.36AD - 1.54BC + 644.01BD + 1045.03CD + 0.02ABC - 0.84ABD - 8.81ACD$	0.9662
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	$0.06A + 0.16B + 0.16C - 81126.54D - (3.82 \times 10^{-3})AB - (2.90 \times 10^{-3})AC - 811.46AD - (2.74 \times 10^{-3})BC + 812.28BD + 811.52CD$	0.8477

หมายเหตุ :
 A = น้ำมะตูม
 B = เมล็ดแมงลัก
 C = ว่านหางจระเข้
 D = เอซีซัลเฟม-เค
 AB = น้ำมะตูม*เมล็ดแมงลัก

AC = น้ำมะตูม*ว่านหางจระเข้
 AD = น้ำมะตูม*เอซีซัลเฟม-เค
 BC = เมล็ดแมงลัก*ว่านหางจระเข้
 BD = เมล็ดแมงลัก*เอซีซัลเฟม-เค
 CD = ว่านหางจระเข้*เอซีซัลเฟม-เค

ABC = น้ำมะตูม*เมล็ดแมงลัก*ว่านหางจระเข้
 ABD = น้ำมะตูม*เมล็ดแมงลัก*เอซีซัลเฟม-เค
 ACD = น้ำมะตูม*ว่านหางจระเข้*เอซีซัลเฟม-เค

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในด้านลักษณะปรากฏ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7814 พบว่า ปริมาณน้ำมะตูม เมล็ดแมงลัก ว่านหางจระเข้ เอชซีซัลเฟม-เค อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำมะตูมกับ ว่านหางจระเข้ น้ำมะตูมกับเอชซีซัลเฟม-เค เมล็ดแมงลักกับว่านหางจระเข้ เมล็ดแมงลักกับ เอชซีซัลเฟม-เค และว่านหางจระเข้กับเอชซีซัลเฟม-เค มีผลต่อคะแนนความพอใจในด้าน ลักษณะปรากฏของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมะตูม เมล็ดแมงลักเอชซีซัลเฟม-เค อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำมะตูมกับว่านหางจระเข้ และเมล็ดแมงลักกับ ว่านหางจระเข้ จะมีผลทำให้ความพอใจของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณว่านหางจระเข้ อิทธิพล ร่วมระหว่างระหว่างน้ำมะตูมกับเอชซีซัลเฟม-เค เมล็ดแมงลักกับเอชซีซัลเฟม-เค และว่านหางจระเข้กับ เอชซีซัลเฟม-เค มีผลทำให้ความพอใจของผู้บริโภคลดลง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในด้านรสชาติ ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9242 พบว่าปริมาณ น้ำมะตูม เมล็ดแมงลัก ว่านหางจระเข้ เอชซีซัลเฟม-เค อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำมะตูมกับเมล็ดแมงลัก น้ำมะตูมกับว่านหางจระเข้ น้ำมะตูมกับเอชซีซัลเฟม-เค เมล็ดแมงลักกับว่านหางจระเข้ เมล็ดแมงลัก กับเอชซีซัลเฟม-เค และว่านหางจระเข้กับเอชซีซัลเฟม-เค มีผลต่อคะแนนความพอใจในด้านรสชาติ ของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมะตูม เอชซีซัลเฟม-เค อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำมะตูมกับเมล็ดแมงลัก น้ำมะตูมกับว่านหางจระเข้ และเมล็ดแมงลักกับ ว่านหางจระเข้ จะมีผลทำให้ความพอใจของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเมล็ดแมงลัก ว่านหางจระเข้ อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำมะตูมกับเอชซีซัลเฟม-เค เมล็ดแมงลักกับเอชซีซัลเฟม-เค และว่านหางจระเข้กับเอชซีซัลเฟม-เค จะมีผลทำให้ความพอใจของผู้บริโภคลดลง จากการทดลอง พบว่าสิ่งทดลองที่ 5, 6, 4, 17 และ 11 ที่มีการเติมปริมาณเอชซีซัลเฟม-เค ร้อยละ 0.03 ได้คะแนนเฉลี่ย 7.06 – 7.42 อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก และพบว่าถ้าปริมาณเอชซีซัลเฟม-เค ลดลง มีผลให้คะแนนความพอใจของผู้บริโภคในด้านรสชาติลดลงด้วย

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ในด้านความชอบโดยรวม ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9063 พบว่าปริมาณน้ำมะตูม เมล็ดแมงลัก ว่านหางจระเข้ เอชซีซัลเฟม-เค อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำมะตูม กับว่านหางจระเข้ และเมล็ดแมงลักกับว่านหางจระเข้ มีผลต่อคะแนนความพอใจในด้านลักษณะ ปรากฏของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมะตูม เมล็ดแมงลัก ว่านหางจระเข้ และเอชซีซัลเฟม-เค จะมีผลทำให้ความพอใจของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น แต่เมื่อ เพิ่มปริมาณอิทธิพลร่วมระหว่างน้ำมะตูมกับว่านหางจระเข้ และเมล็ดแมงลักกับว่านหางจระเข้ จะมีผลทำให้ความพอใจของผู้บริโภคลดลง จากการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่ 4 ได้คะแนน ความชอบโดยรวมสูงสุดเท่ากับ 7.69 อยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลางถึงชอบมาก และสิ่งทดลองที่ 2 ได้

คะแนนความชอบโดยรวมต่ำสุดเท่ากับ 6.84 อยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของสิ่งทดลองพบว่าปริมาณสารให้ความหวาน (เอซีซัลเฟม-เค) ยิ่งมาก คะแนนความพอใจของผู้บริโภคในด้านความชอบโดยรวมยิ่งมาก โดยปริมาณเอซีซัลเฟม-เค ร้อยละ 0.03 เป็นปริมาณที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมสูงสุด

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพและเคมี

ผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมทั้ง 18 สูตร เมื่อนำเชื้อด้วยกระบวนการทางความร้อนลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเป็นของเหลวใสสีน้ำตาลเข้ม มีส่วนผสมของขึ้นว่านหางจระเข้สีน้ำตาลอ่อนและเมล็ดแมงลักสีน้ำตาลใสผสมอยู่ มีกลิ่นหอมของมะตูม ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ และทางด้านเคมีของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมทั้ง 18 สูตร ดังตาราง 4.2 และ 4.3 พบว่า ค่าสี a^* ความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนค่าสี L^* ค่าสี b^* และค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังตาราง 4.4 และ 4.5 เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ได้สมการความสัมพันธ์ดังตาราง 4.6 โดยมีค่า R^2 ของค่าสี a^* และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 0.9662, และ 0.8477 ตามลำดับ และ contour plot ดังภาพ จ-4 และ จ-5 (ภาคผนวก จ)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ค่าสี a^* ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9662 พบว่า ปริมาณน้ำมะตูม เมล็ดแมงลัก ว่านหางจระเข้ เอซีซัลเฟม-เค อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำมะตูมกับเมล็ดแมงลัก น้ำมะตูมกับว่านหางจระเข้ น้ำมะตูมกับเอซีซัลเฟม-เค เมล็ดแมงลักกับว่านหางจระเข้ เมล็ดแมงลักกับเอซีซัลเฟม-เค และว่านหางจระเข้กับเอซีซัลเฟม-เค อิทธิพลร่วมของน้ำมะตูม เมล็ดแมงลักและว่านหางจระเข้ น้ำมะตูมเมล็ดแมงลักและเอซีซัลเฟม-เค น้ำมะตูมว่านหางจระเข้ และ เอซีซัลเฟม-เค มีผลต่อค่าสี a^* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมะตูม เมล็ดแมงลัก ว่านหางจระเข้ อิทธิพลร่วมระหว่างน้ำมะตูมกับว่านหางจระเข้ น้ำมะตูมกับเอซีซัลเฟม-เค เมล็ดแมงลักกับว่านหางจระเข้ ว่านหางจระเข้กับเอซีซัลเฟม-เค และอิทธิพลร่วมของน้ำมะตูมว่านเมล็ดแมงลักและว่านหางจระเข้ จะมีผลทำให้ค่าสี a^* เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเอซีซัลเฟม-เค อิทธิพลร่วมของน้ำมะตูมกับเมล็ดแมงลัก เมล็ดแมงลักกับว่านหางจระเข้ น้ำมะตูม เมล็ดแมงลัก เอซีซัลเฟม-เค และน้ำมะตูมว่านหางจระเข้ เอซีซัลเฟม-เค ลดลง จากการทดลองพบว่า สิ่งทดลองที่ 9, 14 และ 17 มีค่าสี a^* อยู่ในช่วง 17.96 – 18.41 ซึ่งสูงกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ สีที่ปรากฏเป็นสีน้ำตาลเข้มเนื่องจากมีปริมาณน้ำมะตูมมากกว่าสิ่งทดลองอื่น ๆ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.8477 พบว่า ปริมาณน้ำมะตูม เมล็ดแมงลัก วานหางจระเข้ เอชซีซัลเฟม-เค อิทธิพลร่วมของน้ำมะตูมกับเมล็ดแมงลัก น้ำมะตูมกับวานหางจระเข้ น้ำมะตูมกับเอชซีซัลเฟม-เค เมล็ดแมงลักกับวานหางจระเข้ เมล็ดแมงลักกับเอชซีซัลเฟม-เค และวานหางจระเข้กับเอชซีซัลเฟม-เค มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมะตูม เมล็ดแมงลัก วานหางจระเข้ จะมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ เอชซีซัลเฟม-เค อิทธิพลร่วมของน้ำมะตูมกับเมล็ดแมงลัก น้ำมะตูมกับวานหางจระเข้ น้ำมะตูมกับ เอชซีซัลเฟม-เค และเมล็ดแมงลักกับวานหางจระเข้ จะมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง จากการทดลองพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่าอยู่ในช่วง 1.23 – 1.85 ซึ่งค่าที่แตกต่างกันของสิ่งทดลองเกิดจากการผันแปรปริมาณสารให้ความหวาน และเกิดจากผลของส่วนผสมอื่นๆ ที่แตกต่างกัน

ตาราง 4.7 การกำหนดช่วงของค่าตอบสนองในการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมในการพัฒนาสูตร วานหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม

ค่าตอบสนอง	ระดับต่ำ	ระดับสูง	ที่มา
ลักษณะปรากฏ	6.74	7.16	กำหนดค่าลักษณะปรากฏจากการทดลองโดยกำหนดให้อยู่ในช่วงที่ได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุด
รสชาติ	5.96	7.19	กำหนดค่ารสชาติจากการทดลองโดยกำหนดให้อยู่ในช่วงที่ได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุด
ความชอบโดยรวม	6.00	7.18	กำหนดค่าความชอบรวมจากการทดลองโดยกำหนดให้อยู่ในช่วงที่ได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุด
ค่าสี a^*	13.57	18.40	กำหนดค่าสี a^* จากการทดลองโดยกำหนดให้อยู่ในช่วง 13.57 – 18.40
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix)	1.23	1.85	กำหนดค่าความชอบรวมจากการทดลองโดยกำหนดให้อยู่ในช่วงที่มีปริมาณสารให้ความหวานสูงสุด

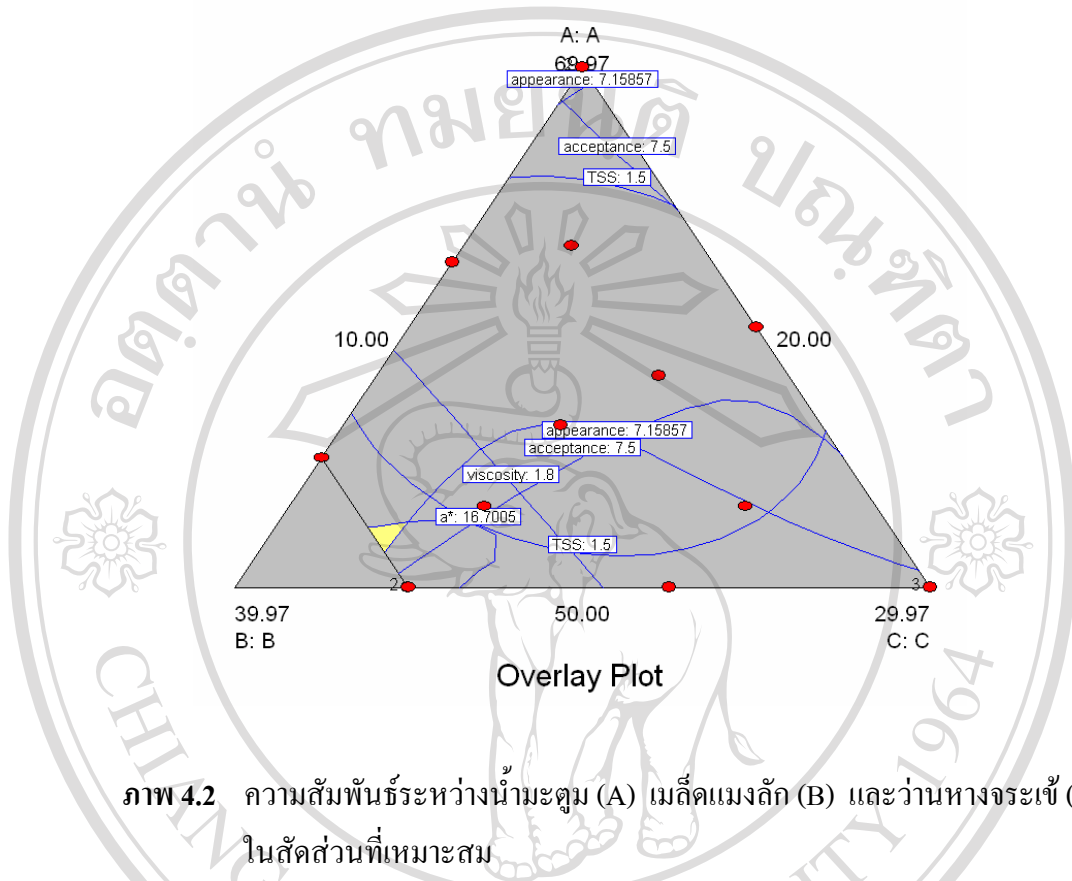
ตาราง 4.8 เปรียบเทียบผลวิเคราะห์จากการทำนายและจากค่าที่วัดได้จริงของสูตรว่านหางจระเข้ และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมที่เหมาะสม

คุณลักษณะ	ค่าการทำนาย	ค่าที่วัดจริง	ความคลาดเคลื่อน	ร้อยละความคลาดเคลื่อน
ค่าทางประสาทสัมผัส				
ลักษณะปรากฏ	6.92	6.85±1.14	0.07	1.02
รสชาติ	6.35	6.68±1.41	-0.33	4.94
ความชอบโดยรวม	8.54	6.80±1.22	-1.74	25.59
ค่าทางกายภาพและเคมี				
ค่าสี a*	19.58	18.01± 0.54	-1.57	8.72
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	1.25	1.38±0.06	-0.13	9.42

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ในการคัดเลือกอัตราส่วนของน้ำมะตูม เมล็ดแมงลัก ว่านหางจระเข้ และ เอซีซัลเฟม-เค โดยการนำค่าตอบสนองที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) คือผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ ความชอบโดยรวม ค่าสี a* ความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มาวิเคราะห์ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Design-Expert Version 6.0.2 กำหนดช่วงของค่าตอบสนองในการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมในการพัฒนาสูตรว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม ดังตารางที่ 4.7 ได้สูตรที่เหมาะสมดังนี้คือน้ำมะตูมร้อยละ 53.31 เมล็ดแมงลักร้อยละ 32.80 ว่านหางจระเข้ร้อยละ 13.86 และ เอซีซัลเฟม-เค ร้อยละ 0.03 โดยได้ทำนายค่าเฉลี่ยของลักษณะปรากฏ ค่าเฉลี่ยของรสชาติ ค่าเฉลี่ยของความชอบโดยรวม ค่าเฉลี่ยของค่าสี a* และค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด คือ 6.92, 6.35, 8.54, 19.58 และ 1.25 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 4.8 แลภาพ 4.2 และภาพ ก-4 (ภาคผนวก ก) เมื่อนำสูตรดังกล่าวมาทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของลักษณะปรากฏ ค่าเฉลี่ยของรสชาติ ค่าเฉลี่ยของความชอบโดยรวม ค่าเฉลี่ยของค่าสี a* ค่าเฉลี่ยของความหนืด และค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 6.85±1.14, 6.68±1.41, 6.80±1.22, 18.01± 0.54, 1.53±0.01 และ 1.38±0.06 ตามลำดับ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าการทำนายดังตาราง 4.8 จากนั้นนำสูตรที่ได้มา

ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม เพื่อศึกษาการแทรกผ่านความร้อนต่อไป

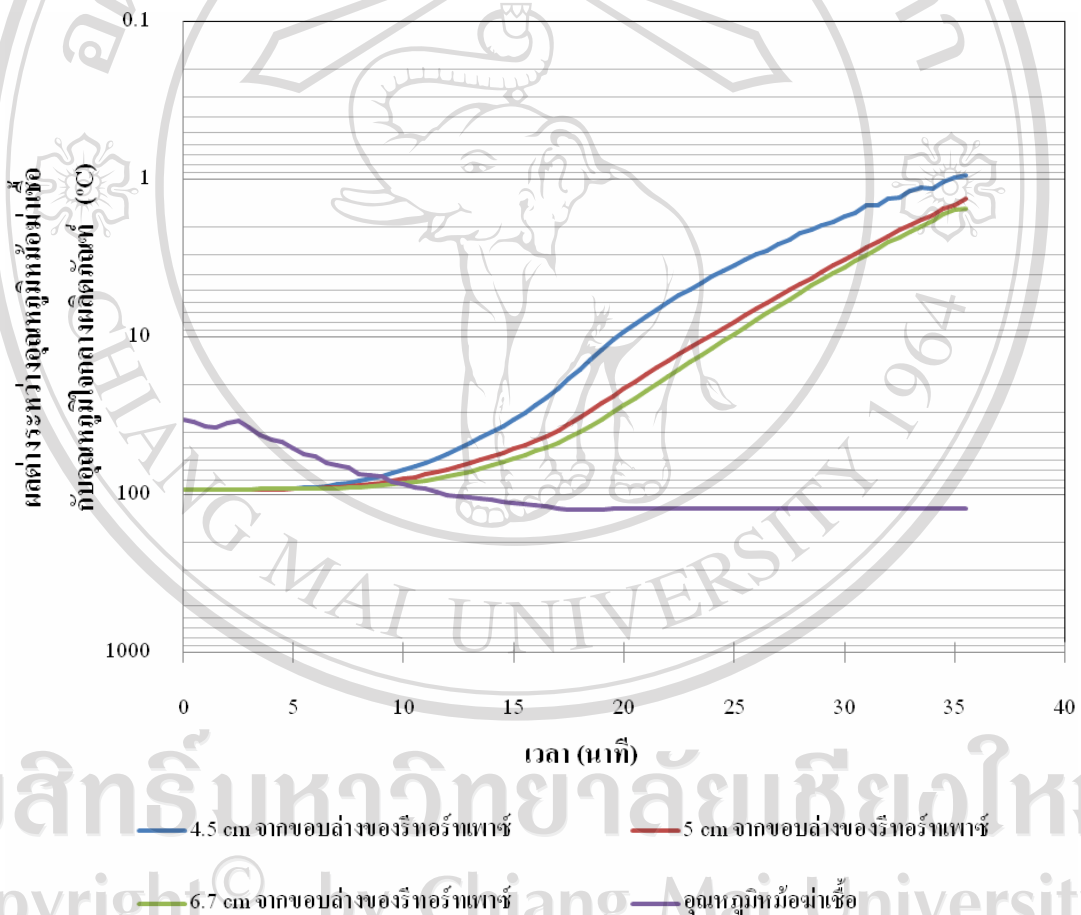


ภาพ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำมะตูม (A) เมล็ดแมงลัก (B) และว่านหางจระเข้ (C) ในสัดส่วนที่เหมาะสม

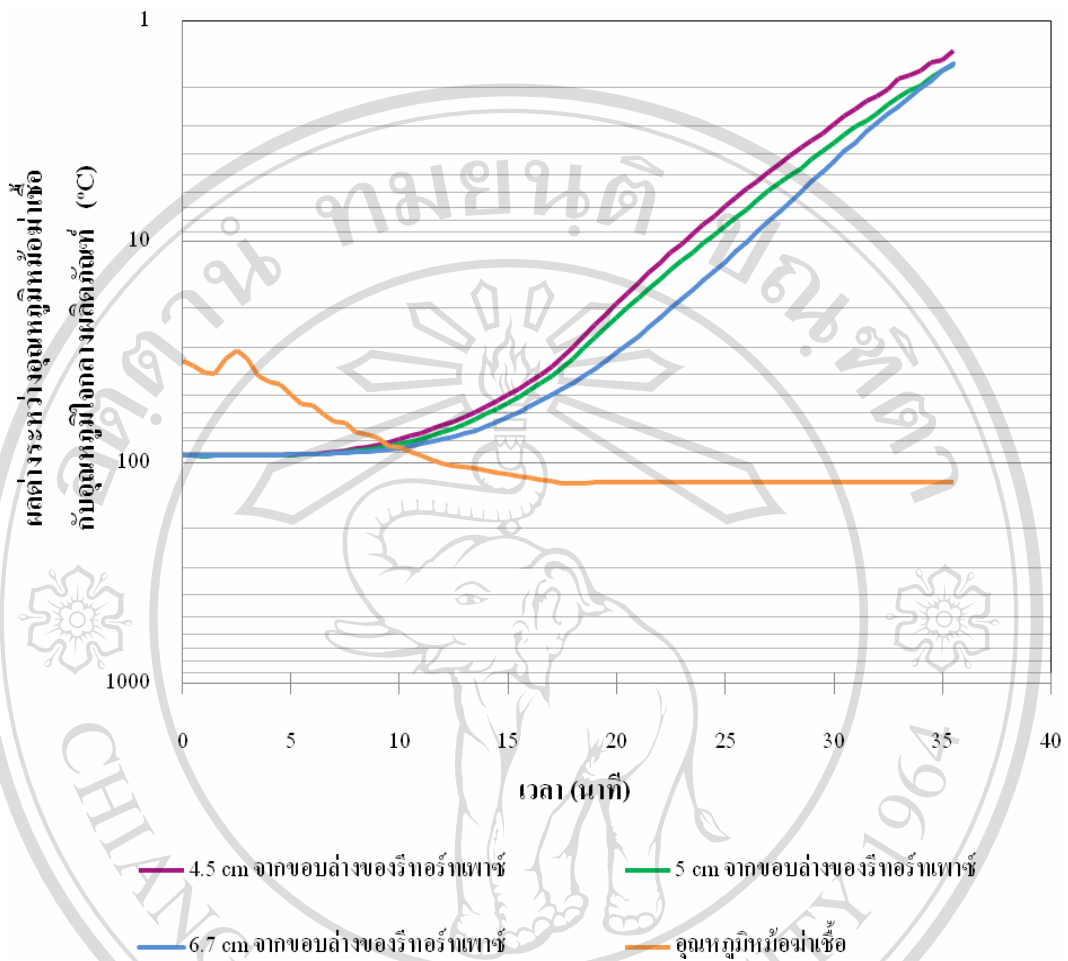
4.3 ผลการศึกษาจุดที่ร้อนซ้ำที่สุดของผลิตภัณฑ์ในรีทอร์ทเพาซ์และการแทรกผ่านของความร้อนของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม

การทดลองนี้ต้องการหาตำแหน่งร้อนซ้ำที่สุดของผลิตภัณฑ์ในรีทอร์ทเพาซ์ และศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม ในรีทอร์ทแบบพ่นน้ำที่ไม่มีการหมุนของตะกร้าในรีทอร์ท ทำการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °ซ (ความดันไอน้ำ 1.5 บาร์) และความดันเท่ากับ 2 บาร์ บรรจุผลิตภัณฑ์ในรีทอร์ทเพาซ์ที่มีขนาดบรรจุ 300 กรัม โดยมีน้ำหนักสุทธิ (net weight) และน้ำหนักเนื้อ (drained weight) เท่ากับ 225 กรัม และ 105.05 กรัม ตามลำดับ ผลศึกษาพบว่าตำแหน่งของจุดที่ร้อนซ้ำที่สุดของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาซ์ คือ ตำแหน่งวัดจากขอบล่างของรีทอร์ทเพาซ์ 6.7 เซนติเมตร หรือระดับ 41.88% ของความสูงของรีทอร์ทเพาซ์เมื่อวัดจากตำแหน่งก้นถุงถึงปากถุง ซึ่ง Ghani และคณะ (2001) รายงานว่า ในขณะที่ดำเนินการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำอ้อมตัวที่อุณหภูมิ 121 °ซ

ตำแหน่งที่ร้อนซ้ำที่สุดของผลิตภัณฑ์ broccoli-cheddar soup และ carrot-orange soup บรรจุในรีทอร์ทแพคเกจ มีน้ำหนักสุทธิเท่ากับ 225 กรัม คือ ระดับ 35 – 40% ของความสูงของรีทอร์ทแพคเกจเมื่อวัดจากตำแหน่งก้นถุงถึงบริเวณรอยปิดผนึก ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจาก velocity profile และความหนืดของอาหารที่ส่งผลให้ตำแหน่งที่ร้อนซ้ำที่สุดเคลื่อนที่ขึ้นจากด้านล่างของรีทอร์ทแพคเกจ และจะเคลื่อนที่ขึ้นจนอยู่ในระดับที่คงที่ที่ระดับ 35 – 40% ของความสูงของรีทอร์ทแพคเกจ ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวนี้จะนำไปใช้ในการศึกษาการแทรกผ่านความร้อน ลักษณะเส้นกราฟของการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ แสดงดังภาพ 4.3 และ 4.4



ภาพ 4.3 Heating curve ของวุ้นทางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม ซ้ำที่ 1



ภาพ 4.4 Heating curve ของวุ้นหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม ช้ำที่ 2

จากภาพ 4.3 และ 4.4 แสดงให้เห็นว่าลักษณะของกราฟ heating curve ของผลิตภัณฑ์ วุ้นหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในรีทอร์ทเพาซ์ มีลักษณะเป็น กราฟเส้นตรง (simple heating curve) แบบ convection เนื่องจากผลิตภัณฑ์ มีลักษณะเป็นของเหลวที่มีความหนืดต่ำและมีช่องแข็งขึ้นเล็ก ๆ แขนวนลอยอยู่เป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้การแทรกผ่านความร้อน เป็นไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการรายงานของครุณี (2545) ในการศึกษาการแทรกผ่าน ความร้อนของขึ้นฉ่ำจืดและเนื้อฉ่ำจืดปั่นบรรจุกระป๋อง และการทดลองของ Ghani และคณะ (2001) ในการศึกษาการแทรกผ่านความร้อนของ carrot-orange soup และ broccoli-cheddar soup ที่พบว่า การแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์เป็นแบบ convection

4.4 ผลการศึกษาเวลาฆ่าเชื้อที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้ และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม

การทดลองนี้ต้องการหาเวลาฆ่าเชื้อที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม โดยนำผลิตภัณฑ์สูตรที่ดีที่สุดมาศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C ความดันเท่ากับ 2 บาร์ ทำการฆ่าเชื้อจนกระทั่ง F_0 เท่ากับ 5 นาที ข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาซ์จันมีค่า F_0 เท่ากับ 5 นาที แสดงในตาราง 4.9 และผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วแสดงดังตาราง 4.10

ตาราง 4.9 ข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาซ์ที่ฆ่าเชื้อจนมีค่า F_0 เท่ากับ 5 นาที

f_h (min)	14.05±0.95
j_h	0.583±0.12
f_h/U	3.43±0.23
Ball's process time (min)	19.63±1.25
F_0 (min)	5.15±1.09

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการคำนวณเพื่อหาเวลาฆ่าเชื้อของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาซ์ แสดงดังตาราง 4.9 พบว่าเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาซ์เท่ากับ 19.63 นาที มีค่าเฉลี่ยของ F_0 เท่ากับ 5.15 นาที ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเป็นของเหลวใสสีน้ำตาลเข้ม มีส่วนผสมของชิ้นว่านหางจระเข้สีน้ำตาลอ่อน และเมล็ดแมงลักซึ่งมีสีน้ำตาลใสผสมอยู่ และมีกลิ่นหอมของมะตูม ผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาซ์ทั้งหมด ดังแสดงในตาราง 4.10 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าสี L^* ค่าสี a^* ค่าสี b^* ความหนืดของผลิตภัณฑ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ 36.58, 16.89, 9.32, 1.56, 5.77 และ 1.30 องศาบริกซ์ ตามลำดับ

ผลการตรวจวิเคราะห์ทางด้านจุลินทรีย์ที่ 37 และ 55°C โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานเรื่อง เครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 214 (พ.ศ. 2543)

วิเคราะห์โดยศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์เชียงใหม่ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ผลึกภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาช์ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ใดๆ ที่เป็นอันตรายปนเปื้อนอยู่ในผลิตภัณฑ์ เมื่อทำการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 121°C จนมีค่า F_0 เท่ากับ 5 นาที ดังแสดงในภาพ ง-1 (ภาคผนวก ง)

ตาราง 4.10 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาช์

การวิเคราะห์คุณภาพ	ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
สมบัติทางกายภาพ	
ค่าสี L*	36.58 \pm 0.52
ค่าสี a*	16.89 \pm 0.45
ค่าสี b*	19.32 \pm 1.09
ความหนืด (cP)	1.56 \pm 0.01
สมบัติทางเคมี	
ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}\text{Brix}$)	1.30 \pm 0.10
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	5.77 \pm 0.09

จากผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สามารถสรุปได้ว่า เวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาช์ ด้วยกระบวนการทางความร้อนในรีทอร์ทแบบพ่นน้ำ และไม่มีการหมุนของตะกร้าระหว่างฆ่าเชื้อ คือ 20 นาที หลังจากทีรีทอร์ทมีอุณหภูมิเท่ากับ 121°C ซึ่งมีค่า F_0 เท่ากับ 5 นาที

4.5 ผลการศึกษาผลของความเร็รรอบของการหมุน (rotation speed) และ ช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ (headspace) ต่อเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ

การทดลองนี้ต้องการศึกษาผลของความเร็รรอบของการหมุน (rotation speed) ของตะกร้า และ ช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ (headspace) ต่อเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ โดยนำผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาช์สูตรที่ดีที่สุดมาฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C (ความดันไอน้ำ 1.5 บาร์) และ ความดันเท่ากับ 2.0 บาร์ รักษาระดับความดันให้เท่ากันใน

แต่ละครั้งที่ทำการทดลอง โดยทำการทดลองที่ความเร็วรอบในการหมุนแตกต่างกัน คือที่ 2 และ 6 rpm คัดแปลงจากวิธีของ Ali และคณะ (2006) และช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ 2 ระดับ โดยการควบคุมน้ำหนักสุทธิของอาหาร (net weight) ให้เท่ากับ 225 กรัม และ 180 กรัม เพื่อศึกษาผลของความเร็วยรอบของการหมุนและช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ที่มีต่อเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ทำการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์จนกระทั่งมีค่า F_0 เท่ากับ 5 เปรียบเทียบข้อมูลการแทรกผ่านของความร้อนของหม้อฆ่าเชื้อแบบนิ่งในตอนต้นที่ 4 กับแบบที่มีการหมุนของบรรจุภัณฑ์ขณะฆ่าเชื้อ เพื่อศึกษาผลของการหมุนของบรรจุภัณฑ์และช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ต่อเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ข้อมูลการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีโอร์ทเพาซ์ จนมีค่า F_0 เท่ากับ 5 นาที ดังตาราง 4.11 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมดังตาราง 4.12

ตาราง 4.11 ผลของความเร็วยรอบของการหมุนและน้ำหนักบรรจุต่อผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีโอร์ทเพาซ์ที่ฆ่าเชื้อจนมีค่า F_0 เท่ากับ 5 นาที

น้ำหนักสุทธิ (กรัม)	Rotation speed (rpm)	Total process time (min)
225	2	11.61 ^a ±0.19
225	6	9.10 ^c ±0.02
180	2	10.34 ^b ±0.08
180	6	8.18 ^d ±0.11

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันที่อยู่ในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกัน

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่า ความเร็วยรอบของการหมุน (rotation speed) และ ช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ (headspace) มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เวลาในการฆ่าเชื้อจะลดลง เมื่อเพิ่มความเร็วยรอบในการหมุนของตะกร้า และเพิ่มช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ซึ่งเห็นได้จากที่ความเร็วยรอบในการหมุนเท่ากับ 2 rpm น้ำหนักสุทธิของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 225 กรัม และ 180 กรัม ใช้เวลาโดยเฉลี่ยในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เท่ากับ 11.61±0.19 นาที และ 10.34±0.08 นาทีตามลำดับ ที่ความเร็วยรอบในการหมุนเท่ากับ 6 rpm น้ำหนักสุทธิของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 225 กรัม และ 180 กรัม ใช้เวลาโดยเฉลี่ยในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์เท่ากับ 9.10±0.02 นาที และ 8.18±0.11 นาทีตามลำดับ เมื่อนำเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อด้วยหม้อฆ่าเชื้อที่มีการหมุนของตะกร้าขณะฆ่าเชื้อมา

เปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อด้วยหม้อฆ่าเชื้อที่ไม่มีการหมุนของตะกร้าขณะฆ่าเชื้อ (การทดลองในตอนต้นที่ 4 ซึ่งใช้เวลาในการฆ่าเชื้อทั้งสิ้น 19.63 นาที) พบว่าที่ความเร็วรอบในการหมุนเท่ากับ 2 rpm และ 6 rpm การหมุนของตะกร้าในหม้อฆ่าเชื้อขณะฆ่าเชื้อจะสามารถลดเวลาในการฆ่าเชื้อลง 8.66 นาที และ 10.99 นาที ตามลำดับ เนื่องจากขณะที่ทำการหมุน ทำให้อาหารภายในรีทอร์ทเพาซ์เกิดการเคลื่อนที่ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการส่งผ่านความร้อนสู่อาหาร การหมุนของบรรจุภัณฑ์ขณะฆ่าเชื้อจะทำให้การแทรกผ่านของความร้อนในอาหารเหลว อาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลวเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เป็นผลจากการเพิ่มความสามารถของตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนที่เป็นของเหลวโดยการหมุนในหม้อฆ่าเชื้อ นักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาการหมุน แบบ end-over-end พบว่าการเพิ่มความเร็วในการหมุน ส่งผลให้ความร้อนแทรกผ่านผลิตภัณฑ์ไปได้อย่างรวดเร็ว (Ali และคณะ, 2006 ; Meng และ Ramasvamy, 2007a ; Meng และ Ramasvamy, 2007b ; Sablani และ Ramasvamy, 1998) ในขณะที่บรรจุภัณฑ์หมุนส่วนผสมก็จะหมุนตามไปด้วย การทำเช่นนี้เป็นการกำจัด cold spot และลดเวลาในการฆ่าเชื้อ โดยที่ช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ ทำหน้าที่เสมือนเป็นฟองอากาศ (headspace bubble) (วารุณี และคณะ, 2547) ที่เคลื่อนที่กวนอาหารที่อยู่ภายในรีทอร์ทเพาซ์ขณะที่มีการหมุน ช่วยให้มีการกระจายความร้อนได้อย่างรวดเร็ว และทั่วถึง ดังนั้นหากการบรรจุอาหารในบรรจุภัณฑ์ไม่ได้มีการควบคุมปริมาตรหรือระดับช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ให้ถูกต้อง มีการบรรจุอาหารมากเกินไปในบรรจุภัณฑ์จนทำให้ที่ว่างดังกล่าวเหลือปริมาตรน้อยกว่าปกติ การกวนจะเกิดเพียงเล็กน้อยไม่มากเท่ากับที่ควรจะเป็นตามกำหนดการฆ่าเชื้อที่ตั้งไว้ Ali และคณะ (2006) รายงานว่าการหมุนของบรรจุภัณฑ์ขณะฆ่าเชื้อส่งผลดีต่ออาหารมากกว่าการฆ่าเชื้อที่ไม่มี การหมุนของบรรจุภัณฑ์ โดยการหมุนของบรรจุภัณฑ์ขณะฆ่าเชื้อจะสามารถลดเวลาในการฆ่าเชื้ออาหารที่มีความหนืดมากถึง 50% การหมุนของตะกร้าในรีทอร์ทส่งผลในด้านบวกต่อการแทรกผ่านของความร้อนของผลิตภัณฑ์ในถุงรีทอร์ทระหว่างการฆ่าเชื้อ

ผลของความเร็วรอบของการหมุน และช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ ต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาซ์ทั้งหมด ดังตาราง 4.12 ซึ่งพบว่าความเร็วรอบของการหมุน และช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ มีผลต่อค่าสี L ค่าสี a* และค่าสี b* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยที่ค่าสี L* ค่าสี a* และ ค่าสี b* ของผลิตภัณฑ์จะอยู่ในช่วง 49.54 - 50.82, 17.72 - 18.90 และ 21.44 - 22.83 ตามลำดับ แต่ความเร็วรอบของการหมุน และช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ ไม่มีผลต่อความหนืด โดยที่ความหนืดของผลิตภัณฑ์จะอยู่ในช่วง 1.52-1.53 cP ความเร็วรอบของการหมุน และช่องว่างเหนือผลิตภัณฑ์ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ($P > 0.05$) โดยที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์จะอยู่ในช่วง 5.75 - 5.79 และ 1.33 - 1.43 องศาบริกซ์ ตามลำดับ

ตาราง 4.12 ผลของความเร็วยรอบของการหมุนและน้ำหนักบรรจุต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของวุ้นหางจรเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม ในรีโอร์ทเพาซ์

น้ำหนักสุทธิ (กรัม)	Rotation speed (rpm)	ค่าสี L	ค่าสี a*	ค่าสี b*	ความหนืด (cP)	ของแข็งที่ละลายน้ำ ได้ทั้งหมด (°Brix)	ความเป็น กรด-ด่าง
225	2	50.79 ^a ±0.04	18.57 ^a ±0.28	22.50 ^b ±0.03	1.53±0.01 ^{ns}	1.33±0.00 ^{ns}	5.75±0.02 ^{ns}
225	6	49.65 ^b ±0.02	18.79 ^a ±0.16	22.73 ^a ±0.05	1.52±0.00	1.37±0.09	5.75±0.01
180	2	49.64 ^b ±0.13	17.9 ^b ±0.06	22.79 ^a ±0.06	1.52±0.00	1.39±0.02	5.76±0.01
180	6	49.84 ^b ±0.05	17.83 ^b ±0.16	21.56 ^c ±0.16	1.52±0.00	1.43±0.00	5.79±0.01

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันที่อยู่ในสครัมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.6 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการแทรกผ่านความร้อนและสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม

นำผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมสูตรที่ดีที่สุดในรีทอร์ทเพาช์ มาศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการแทรกผ่านความร้อนและสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม โดยฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °ซ ความดัน 1.5 บาร์ และที่ 116 °ซ ความดัน 1.2 บาร์ โดยกำหนดค่า F_0 เท่ากับ 5 นาที ข้อมูลผลของอุณหภูมิฆ่าเชื้อต่อการแทรกผ่านความร้อนของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาช์ จนมีค่า F_0 เท่ากับ 5 ดังตาราง 4.13 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ การวิเคราะห์ทางเคมี และการทดสอบทางประสาทสัมผัสดังตาราง 4.14 และ 4.15

ผลการคำนวณเพื่อหาเวลาฆ่าเชื้อของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาช์ ฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 116 °ซ และที่อุณหภูมิ 121 °ซ ดังตาราง 4.13 พบว่าเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 °ซ และที่อุณหภูมิ 121 °ซ มีค่าเท่ากับ 26.53 นาที และ 19.62 นาที มีค่าเฉลี่ยของ F_0 เท่ากับ 5.39 นาที และ 5.35 นาที ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 °ซ ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ จะมีลักษณะเป็นของเหลวขุ่นเล็กน้อยสีน้ำตาล มีส่วนผสมของชิ้นว่านหางจระเข้สีน้ำตาลอ่อน และเมล็ดแมงลักซึ่งมีสีน้ำตาลใสผสมอยู่ มีกลิ่นหอมของมะตูมเล็กน้อย ค่าสี L^* ค่าสี a^* และค่าสี b^* ความหนืด ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 32.34, 16.92, 19.46, 1.56 cP, 5.73 และ 1.40 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 °ซ ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ จะมีลักษณะเป็นของเหลวใสสีน้ำตาลเข้มมีส่วนผสมของชิ้นว่านหางจระเข้สีน้ำตาลอ่อน และเมล็ดแมงลักซึ่งมีสีน้ำตาลผสมอยู่ มีกลิ่นหอมของมะตูม ค่าสี L^* ค่าสี a^* ค่าสี b^* ความหนืด ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 37.81, 18.01, 19.61, 1.53 cP, 5.65 และ 1.38 องศาบริกซ์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการฆ่าเชื้อที่แตกต่างกันทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และทำให้ค่าสี L^* และค่าสี a^* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยที่ผลิตภัณฑ์จะมีความหนืดมากที่สุด 1.56 cP เมื่อฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 116 °ซ นาน 26.53 นาที เนื่องจากความร้อนและเวลาในการฆ่าเชื้อเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลง (ดรุณี, 2545) จึงทำให้ค่าสี L^* และค่าสี a^* ลดลงเมื่อใช้ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อนานขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่ซีดจางลง สำหรับค่าสี b^* ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ($P > 0.05$)

ตาราง 4.13 ผลการคำนวณเวลาฆ่าเชื้อด้วยวิธี formula method ของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาซ์ ฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 116 °ซ และ 121 °ซ

อุณหภูมิ ในการฆ่าเชื้อ (°ซ)	f_h (min)	j_h	f_h/U	Ball's process time (min)	F_0 (min)
116	21.85 ^a ±1.31	0.875 ^a ±0.28	5.33 ^a ±0.32	27.69 ^a ±2.27	5.39 ^a ±1.34
121	14.23 ^b ±1.47	0.612 ^b ±0.05	3.74 ^b ±0.36	19.62 ^b ±1.74	5.35 ^b ±1.64

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากผลการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ พบว่า ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ใดๆ ที่เป็นอันตรายปนเปื้อนอยู่ในผลิตภัณฑ์ เมื่อทำการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการทางความร้อน ที่อุณหภูมิ 116 และ 121 °ซ โดยกำหนดค่า F_0 เท่ากับ 5 นาที ดังแสดงในภาพ ง-2 และ ง-3 (ภาคผนวก ง)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูม ที่ฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 116 °ซ และ 121 °ซ ดังตาราง 4.15 พบว่าคะแนนเฉลี่ยของ ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.68, 6.56, 6.62, 6.34 และ 6.92 คะแนน และ 6.85, 6.47, 6.76, 6.49 และ 6.99 คะแนน ตามลำดับ โดยผู้บริโภคมี่ความชอบโดยรวม และความชอบด้านรสชาติต่อผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 121 °ซ มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ฆ่าเชื้อด้วยกระบวนการทางความร้อนที่อุณหภูมิ 116 °ซ จึงสามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ว่านหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทเพาซ์ ด้วยกระบวนการทางความร้อน คือ 20 นาที และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการทางความร้อน 121 °ซ ซึ่งมีค่า F_0 โดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.35 นาที สำหรับการฆ่าเชื้อที่ไม่มีการหมุนของตะกร้าขณะฆ่าเชื้อ

ตาราง 4.14 ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของวุ้นหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมในรีทอร์ทแพชเมื่อมาเชื้อที่อุณหภูมิ 116^oซ และ 121^oซ

อุณหภูมิค่าเชื้อ (^o ซ)	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*	ความหนืด (cP)	ของแข็งที่ ละลายน้ำได้ทั้งหมด (^o Brix)	ค่าความเป็น กรด-ด่าง
116	32.34 ^b ±1.59	16.92 ^b ±0.64	19.46±0.91 ^{ns}	1.56 ^a ±0.01	1.40±0.00 ^{ns}	5.73±0.08 ^{ns}
121	38.81 ^a ±1.39	18.01 ^a ±0.54	19.61±1.03	1.53 ^b ±0.01	1.38±0.06	5.65±0.16

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันที่อยู่ในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P ≤ 0.05)
ns แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05)

ตาราง 4.15 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์วุ้นหางจระเข้และเมล็ดแมงลักในน้ำมะตูมเมื่อมาเชื้อที่อุณหภูมิ 116^oซ และ 121^oซ

อุณหภูมิค่าเชื้อ (^o ซ)	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	ลักษณะ เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
116	6.68 ^b ±1.26	6.47±1.32 ^{ns}	6.62 ^b ±1.43	6.34±1.24 ^{ns}	6.92±1.20 ^{ns}
121	6.85 ^a ±1.19	6.56±1.37	6.76 ^a ±1.34	6.49±1.28	6.99±1.07

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงเป็น ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
คะแนนความชอบ 9 คะแนน (9 = ชอบมากที่สุด 8 = ชอบมาก 7 = ชอบปานกลาง 6 = ชอบเล็กน้อย 5 = เฉย ๆ 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 3 = ไม่ชอบปานกลาง 2 = ไม่ชอบมาก 1 = ไม่ชอบมากที่สุด)
ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันที่อยู่ในสดมภ์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P ≤ 0.05)
ns แสดงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05)