

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง ขจร มะม่วงหาวมะนาวโห่ มะตูม และโสน เพื่อนำมาใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติที่ใช้ถนอมผลิตภัณฑ์อาหารในเชิงพาณิชย์

1.1 ผลของการทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธีไฮโดรเจนอะตอม

จากผลการศึกษาคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชด้วยน้ำและเอทานอลในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้พืชทดสอบ จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ กระเจี๊ยบแดง ขจร มะม่วงหาวมะนาวโห่ มะตูม และโสน เมื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH และนำค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ ไปคำนวณค่า IC_{50} คือความเข้มข้นของสารทดสอบที่กำจัดอนุมูลอิสระได้ครึ่งหนึ่ง ถ้าค่า IC_{50} ต่ำ แสดงว่ามีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระสูง ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ของสารสกัดจากพืชทั้ง 5 ชนิด เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบวิธีการสกัดด้วยน้ำ กับเอทานอลพบว่า สารสกัดน้ำจากกระเจี๊ยบแดง ขจร และมะตูม ยกเว้นสารสกัดน้ำจากโสน มีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH สูงกว่าสารสกัดจากเอทานอลในพืชชนิดเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบ ค่า IC_{50} พบว่าสารสกัดน้ำจากมะตูมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดคือเท่ากับ 125.25 ppm รองลงมาคือ สารสกัดน้ำจากกระเจี๊ยบแดง เท่ากับ 282.05 ppm และ สารสกัดเอทานอลจากโสน เท่ากับ 404.90 ppm ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ปัจจุบันสารต้านอนุมูลอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ได้มาจากเครื่องเทศ ฝรั่ง และสมุนไพร รวมถึงพืชผัก ได้รับความสนใจและศึกษากันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากความเชื่อมั่นว่ามีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์ ในการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เป็นวิธีการการนำสารสกัดมาทำการทดสอบฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH ซึ่งอนุมูล DPPH เป็นอนุมูลในโตรเจนที่คงตัว มีสีม่วงอยู่ในรูปอนุมูล (โองา วัชรคุปต์ และคณะ. 2550) อนุมูล DPPH เมื่ออยู่ในสารละลายจะมีสีม่วง และเมื่อมีสารต้านอนุมูลอิสระให้หรือรับอิเล็กตรอนแก่อนุมูล DPPH จะได้เป็นสาร diphenyl picrylhydrazyl (DPPH:H) ที่ไม่เป็นอนุมูลอีกต่อไป สีที่เกิดขึ้นมีสีเหลือง ในการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของพืชทดสอบ 5 ชนิด ได้แก่ กระเจี๊ยบแดง ขจร มะม่วงหาวมะนาวโห่ มะตูม และโสน พบว่าฤทธิ์การกำจัดอนุมูล DPPH แปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้น และพบว่าสารสกัดน้ำจากมะตูมและกระเจี๊ยบแดงมีความสามารถในการกำจัด

อนุมูล DPPH มากที่สุด มีค่าความเข้มข้นที่สามารถทำให้อนุมูลอิสระลดลงร้อยละ 50 (IC_{50}) เท่ากับ 125.25 และ 282.05 ppm ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Youwei *et al.* (2007) ที่ได้ทำการศึกษาสารต้านอนุมูลอิสระในดอกไม้ของประเทศจีน พบว่าดอกไม้ในกลุ่มสีแดง-ส้ม มีสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลสูงกว่ากลุ่มสีอื่นๆ จากงานวิจัยของ Nanjo *et al.* (1996) พบว่าฟลาโวนอยด์เป็นสารที่ให้ฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันสูงที่สุดโดยจะไปยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ ดังนั้นเนื่องจากดอกไม้ในกลุ่มสีแดงมีรงควัตถุในกลุ่มฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน และเบต้าแคโรทีนเป็นองค์ประกอบจึงทำให้ดอกไม้ในกลุ่มสีแดงมีคุณค่าทางอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่ากลุ่มสีขาว และชุดิกาญจน์ ศักดิ์สิงห์ (2551) ศึกษาความสามารถต้านอนุมูลอิสระ และหาปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในผักพื้นบ้านจำนวน 23 ชนิด โดยสกัดสารจากตัวอย่างผักด้วยเมทานอล และศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระใช้วิธี DPPH พบว่าผักเผือกมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด และใบขอมมีความสามารถต้านอนุมูลอิสระต่ำที่สุด กลไกในการต้านอนุมูล DPPH เกิดจากการให้หรือรับอิเล็กตรอนแก้อนุมูลอิสระ DPPH ของสารจำพวกฟีนอล ซึ่งจะได้เป็นสาร DPPH ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระอีกต่อไป ส่วน phenoxy radical ที่เกิดขึ้นจะจับกันเอง ทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระหยุดลง (ระวีวรรณ แก้วอมตวงศ์ และ ทรงพร จึงมั่นคง. 2549)

ตารางที่ 4.1 ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH (%) และค่า IC_{50} ของสารสกัดน้ำจากกระเจี๊ยบแดง ขจร มะม่วงหาวมะนาวโห่ มะตูม และโสน

ความเข้มข้นของสารสกัดน้ำ (ppm)	ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH (%)				
	กระเจี๊ยบแดง	ขจร	มะม่วงหาวมะนาวโห่	มะตูม	โสน
100	16.67	13.58	0	23.14	9.54
250	37.16	20.16	12.99	69.75	15.80
500	73.27	31.87	33.62	85.14	24.70
750	88.89	60.57	48.49	87.15	48.41
1000	95.50	64.47	59.7	87.90	72.03
2500	98.95	86.91	-	89.07	85.74
5000	> 100	87.07	-	89.70	87.28
ค่า IC_{50} (ppm)	282.05	669.85	828.90	125.25	766.62

ตารางที่ 4.2 ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH (%) และค่า IC₅₀ ของสารสกัดเอทานอลจาก กระเจี๊ยบแดง ขจร มะม่วงหาวมะนาวโห่ มะตูม และโสน

ความเข้มข้นของสารสกัดเอทานอล (ppm)	ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH (%)				
	กระเจี๊ยบแดง	ขจร	มะม่วงหาวมะนาวโห่	มะตูม	โสน
100	8.23	0.00	27.35	2.68	17.41
250	13.11	0.00	35.23	10.01	26.98
500	26.99	11.28	51.9	13.58	52.59
750	32.19	16.89	62.47	15.66	65.95
1000	52.18	35.69	70.58	19.02	93.39
2500	76.50	64.68	-	49.51	94.96
5000	100.00	90.71	-	77.54	96.27
ค่า IC ₅₀ (ppm)	932.25	1743.50	422.73	2598.81	404.90

1.2 ผลของการทดสอบความสามารถในการแย่งจับกับโลหะ Fe²⁺ (Metal chelating activity) ของสารสกัดพืชทดสอบ

การทดสอบความสามารถในการคีเลตของไอออนโลหะ เป็นการทดสอบความสามารถของสารสกัดจากพืชทดสอบในการคีเลต หรือการจับกับไอออน Fe²⁺ พบว่าในสารสกัดน้ำและเอทานอลจากพืชทั้ง 5 ชนิดที่ความเข้มข้น 1,000 – 50,000 ppm มีความสามารถในการคีเลตไอออนโลหะ Fe²⁺ เพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น สารสกัดน้ำและเอทานอลจากกระเจี๊ยบแดงและมะตูม มีเปอร์เซ็นต์การคีเลตไอออนโลหะต่ำที่ความเข้มข้น 5000 ppm มีเปอร์เซ็นต์การคีเลตของไอออนโลหะน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ (ยกเว้นสารสกัดเอทานอลจากมะตูมมีความสามารถในการคีเลตไอออนโลหะเพียง 55.59%) และเมื่อเปรียบเทียบกับ ค่า IC₅₀ พบว่าสารสกัดเอทานอลจากขจรมีความสามารถในการคีเลต หรือการจับกับไอออน Fe²⁺ มากที่สุดเท่ากับ 7,166.45 ppm ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

การทดสอบการคีเลตโลหะไอออนเป็นการทดสอบความสามารถในการจับโลหะไอออน Fe²⁺ ทำให้ปริมาณอนุมูลอิสระอยู่ในสมดุลซึ่งเป็นอีกกลไกหนึ่งในการต้านออกซิเดชัน โดยที่สารต้านออกซิเดชันจับกับ Fe²⁺ ทำให้ลดการเกิดอนุมูลอิสระโดยปฏิกิริยาเฟนตัน (Halliwell and Gutteridge, 2007) ธาตุเหล็กที่อยู่ในรูปเฟอร์รัส (Fe²⁺) เป็นตัวการสำคัญในการเร่งปฏิกิริยา lipid peroxidation การทดสอบความสามารถในการคีเลตไอออนของโลหะ เป็นการทดสอบความสามารถของสารในการแย่งจับกับโลหะหนัก Fe²⁺ ทำให้ปริมาณอนุมูลอิสระอยู่ในสมดุลซึ่งเป็นอีกกลไกหนึ่งในการต้านอนุมูลอิสระ โดยที่สารต้านอนุมูลอิสระจับกับ Fe²⁺ ทำให้ลดการเกิดอนุมูลอิสระ (Rice-Evans

et al. 1995) ซึ่งความสามารถในการคีเลทไอออนของโลหะจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารสกัด ความสามารถของสารสกัดในการเป็นคีเลท Fe^{2+} ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำตาล ไกลโคไซด์ สารประกอบฟีนอล และ โปรตีน หรือเบสของกรดนิวคลีอิก (Halliwell and Gutteridge, 2007)

ตารางที่ 4.3 ความสามารถในการจับกับไอออนโลหะ (%) และค่า IC_{50} ของสารสกัดน้ำจากกระเจี๊ยบแดง ขจร มะม่วงหาวมะนาวโห่ มะตูม และโสน

ความเข้มข้นของสารสกัดน้ำ (ppm)	ความสามารถในการจับกับไอออนโลหะ (%)				
	กระเจี๊ยบแดง	ขจร	มะม่วงหาวมะนาวโห่	มะตูม	โสน
100	0.00	0.00	0	0.00	0.00
250	0.00	0.00	0	0.00	0.00
500	0.00	10.45	0	2.32	8.08
750	0.22	21.05	0	4.61	13.82
1000	0.54	23.20	0	4.89	15.95
2500	1.65	41.63	0	15.79	30.95
5000	13.03	60.96	7.74	31.68	46.14
ค่า IC_{50} (ppm)	>50,000	32,609.72	ไม่มีฤทธิ์	>50,000	>50,000

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการจับกับไอออนโลหะ (%) และค่า IC_{50} ของสารสกัดเอทานอลจากกระเจี๊ยบแดง ขจร มะม่วงหาวมะนาวโห่ มะตูม และโสน

ความเข้มข้นของสารสกัดเอทานอล (ppm)	ความสามารถในการจับกับไอออนโลหะ (%)				
	กระเจี๊ยบแดง	ขจร	มะม่วงหาวมะนาวโห่	มะตูม	โสน
100	0.00	2.27	0	0.00	0.00
250	0.00	17.01	0	0.00	0.00
500	1.51	34.01	0	7.07	18.43
750	2.90	51.77	0	9.50	25.94
1000	7.60	64.64	2.86	14.75	32.12
2500	18.01	83.32	3	30.39	64.86
5000	27.66	101.71	23.29	55.59	89.71
ค่า IC_{50} (ppm)	>50,000	7,166.45	>50,000	48,522.16	15,324.34

1.3 ผลการทดสอบความสามารถในการรื้อฟื้นของสารสกัดพืชทดสอบ

เมื่อทดสอบความสามารถในการเกิดปฏิกริยารีดักชัน พบว่าในสารสกัดน้ำและเอทานอลจากพืชทั้ง 5 ชนิดที่ความเข้มข้น 100 – 5,000 ppm มีความสามารถในการเกิดปฏิกริยารีดักชันเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบ ค่า EC_{50} พบว่าสารสกัดน้ำจากโสนและสารสกัดน้ำจากกระเจียบแดงมีความสามารถเกิดปฏิกริยารีดักชันมากที่สุดคือเท่ากับ 564.17 และ 937.20 ppm ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6

ผลการทดสอบความสามารถในการรื้อฟื้นหรือความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของสารสกัดจากพืชทดสอบ 5 ชนิด พบว่า ความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของสารสกัดจากพืชมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sudta *et al.* (2013) แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจาก *Paederia linearis* Hook. f. มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้น และจากผลการทดลองยังพบว่าสารสกัดน้ำจากโสนและสารสกัดเอทานอลจากกระเจียบแดงมีความสามารถในการรื้อฟื้นสูง แสดงว่า สารสกัดจากโสนและกระเจียบแดงมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนสามารถทำให้อนุมูลอิสระเปลี่ยนเป็นอนุมูลที่เสถียร จึงส่งผลให้หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระได้ โดยศึกษากลไกการเกิดปฏิกริยารีดักชันของ $Fe^{3+}(CN)_6$ ไปเป็น $Fe^{2+}(CN)_6$ (Dehpour *et al.* 2009) แสดงว่าสารสกัดจากโสนและกระเจียบแดงมีกลไกการต้านอนุมูลอิสระ โดยอาจจะลดการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation และลดการเกิดอนุมูลอิสระ เนื่องจากธาตุเหล็กที่อยู่ในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) เป็นตัวการสำคัญในการเร่งปฏิกิริยา lipid peroxidation

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการเกิดปฏิกริยารีดักชัน และค่า EC_{50} ของสารสกัดน้ำจากกระเจียบแดง ขจร มะม่วงหาวมะนาวโห่ ตูม และโสน

ความเข้มข้นของสารสกัดน้ำ (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง				
	กระเจียบแดง	ขจร	มะม่วงหาวมะนาวโห่	มะตูม	โสน
100	0.082	0.039	-	0.040	0.376
250	0.159	0.089	-	0.060	0.419
500	0.260	0.116	-	0.140	0.459
750	0.298	0.158	-	0.233	0.515
1000	0.361	0.215	0.133	0.342	0.559
2500	0.558	0.266	0.249	0.534	0.654
5000	0.813	0.468	0.478	0.917	0.731
ค่า EC_{50} (ppm)	1,588.39	>5,000	4636.25	>5,000	546.17

ตารางที่ 4.6 ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และค่า EC_{50} ของสารสกัดเอทานอลจาก
กระเจียบแดง ขจร มะม่วงหาวมะนาวโห่ มะตูม และโสน

ความเข้มข้นของสาร สกัดเอทานอล (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง				
	กระเจียบ แดง	ขจร	มะม่วงหาว มะนาวโห่	มะตูม	โสน
100	0.218	0.077	-	0.027	0.026
250	0.273	0.126	-	0.091	0.041
500	0.369	0.168	-	0.213	0.085
750	0.447	0.247	-	0.287	0.129
1000	0.516	0.321	0.125	0.391	0.162
2500	0.578	0.482	0.212	0.516	0.201
5000	0.852	0.665	0.414	0.671	0.293
ค่า EC_{50} (ppm)	937.20	2,782.56	4786.3	2,218.48	>5,000

1.4 ผลของการทดสอบความสามารถในการยับยั้ง lipid peroxidation จากพืชทดสอบ

ในการศึกษาฤทธิ์การต้านการเกิด lipid peroxidation ด้วยวิธี TBARS พบว่าในสารสกัดน้ำและเอทานอลจากพืชทั้ง 5 ชนิดที่ความเข้มข้น 100 – 5,000 ppm มีความสามารถการต้านการเกิด lipid peroxidation เพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น สารสกัดเอทานอลจากคาหลา มะตูม และโสน มีฤทธิ์ในการต้านการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation ต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบ ค่า IC_{50} พบว่า สารสกัดน้ำและเอทานอลจากกระเจียบแดง มีฤทธิ์ในการต้านการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation มากที่สุด รองลงมา คือสารสกัดน้ำจากขจร ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.8

เมื่อศึกษาฤทธิ์การต้านการเกิด lipid Peroxidation ด้วยวิธี TBARS พบว่า สารสกัดน้ำและเอทานอลจากกระเจียบแดง มีฤทธิ์การต้านการเกิด lipid Peroxidation มากที่สุด มีค่า IC_{50} เท่ากับ 147.92 และ 217.07 ppm ตามลำดับ งานวิจัยของ Foti *et al.* (1996) พบว่าอนุมูลอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ โดยมันจะไปดึงไฮโดรเจนออกได้หลายตำแหน่งจากหมู่ฟังก์ชันที่เป็น conjugated dienes ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการต่อต้านทางปฏิกิริยาได้หลากหลาย จึงทำให้ผลที่ได้การทดสอบมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง และงานวิจัยของ Antolovich *et al.* (2002) พบว่าสารสกัดของพืชบางชนิดมีโครงสร้างเป็น conjugated dienes ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นมาก และพร้อมทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดจาก lipid Peroxidation การทดสอบฤทธิ์การต้านการเกิด lipid peroxidation นั้นก่อนที่จะได้ MDA ในระบบจะเกิด Radicals มากมายหลายชนิด เช่น lipid peroxy radical, alkoxyl radical เป็นต้น

ตารางที่ 4.7 ความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation และค่า IC_{50} ของสารสกัด
น้ำจากกระเจียบแดง ขจร มะม่วงหาวมะนาวโห่ มะตูม และโสน

ความเข้มข้นของสาร สกัดน้ำ (ppm)	ความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation (%)				
	กระเจียบ แดง	ขจร	มะม่วงหาว มะนาวโห่	มะตูม	โสน
100	46.13	6.65	0.00	0.00	0.00
250	56.92	14.17	0.00	0.38	8.20
500	64.49	18.48	0.00	13.38	16.94
750	71.80	21.21	0.00	16.41	28.26
1000	80.42	37.54	31.62	26.39	38.95
2500	91.38	59.63	40.81	46.34	51.83
5000	117.49	79.28	46.79	57.83	65.96
ค่า IC_{50} (ppm)	147.92	1,721.04	>5000	3,451.42	2,275.57

ตารางที่ 4.8 ความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation และค่า IC_{50} ของสารสกัด
เอทานอลจากกระเจียบแดง ขจร มะม่วงหาวมะนาวโห่ มะตูม และโสน

ความเข้มข้นของสาร สกัดเอทานอล (ppm)	ความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยา lipid peroxidation (%)				
	กระเจียบ แดง	ขจร	มะม่วงหาว มะนาวโห่	มะตูม	โสน
100	11.98	0.00	0.00	0.00	0.00
250	59.97	0.00	0.00	5.40	4.28
500	78.92	5.83	0.00	10.25	7.02
750	87.88	14.20	0.00	19.54	14.04
1000	89.16	25.04	-43.45	21.93	28.65
2500	91.23	37.22	64.48	31.35	33.49
5000	94.24	54.33	171.43	41.87	46.33
ค่า IC_{50} (ppm)	217.07	4,161.13	858.77	> 5,000	> 5,000

1.5 ผลของการทดสอบปริมาณกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดจากพืชทดสอบ

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดน้ำและเอทานอลจากพืชทั้ง 5 ชนิด จากเปรียบเทียบวิธีการสกัดด้วยน้ำและเอทานอล พบว่า สารสกัดน้ำของพืชทดสอบทั้ง 5 ชนิดมี

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าสารสกัดจากเอทานอลในพืชชนิดเดียวกัน และพบสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดน้ำจากมะตูมมากที่สุด เท่ากับ 7,915.68 มิลลิกรัมสมมูลของแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม รองลงมาสารสกัดน้ำจากกระเจี๊ยบ พบปริมาณสารประกอบฟีนอลิก 1,262.60 มิลลิกรัมสมมูลของแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.9

สารต้านอนุมูลอิสระพบได้ทั้งในจุลินทรีย์ สัตว์ และพืช ซึ่งมีทั้งที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินซี วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และสารที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ (non-nutrient) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่น แแซนโธน (xanthone) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่ง ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่เกาะบนวงเบนซีน (aromatic hydroxyl) ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป หมู่ฟังก์ชัน (functional group) เหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระไม่ให้ไปกระตุ้น หรือก่อให้เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชันได้ โดยการให้อนุมูล $H\cdot$ แก่อนุมูลอิสระเหล่านั้น นอกจากนี้ สารประกอบโพลีฟีนอลที่มี โครงสร้างของ ortho-dihydroxyl phenol อยู่ในโมเลกุลยังสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูล $OH\cdot$ ใน ปฏิกิริยาที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชัน คือ Fe^{2+} และ Cu^{2+} เป็นตัวเหนี่ยวนำได้โดยการเข้าจับกับโลหะดังกล่าวเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex) (Sanchez-Moreno *et al.* 2000) สารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอล ซึ่งพบในพืชหลากหลายชนิด สามารถต้านอนุมูลอิสระได้ดีทั้งในห้องปฏิบัติการ (in vitro) และจากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสารสกัดจากน้ำและเอทานอลจากพืชทดสอบ 6 ชนิดโดยการเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก พบว่า สารสกัดน้ำและเอทานอลจากมะตูมพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 7,115.68 และ 969.46 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม ตามลำดับ ระดับของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ ชนิดพืช วิธีการที่ใช้ในการทดลอง อย่างไรก็ตามผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกับสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Huda *et al.* 2009) ซึ่งก็คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะแปรผันตรงต่อกัน (ระวีวรรณ และทรงพร, 2549) การศึกษาของผู้วิจัยหลายคน พบว่า สารจากพืชที่แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง คือ กลุ่มสารประกอบฟีนอล (Rice-Evans *et al.* 1995 ; Marja *et al.* 1999)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดน้ำและเอทานอล จากกระเจียบแดง ขจร มะม่วง
หาวมะนาวโห่ มะตูม และโสน

ชนิดพืช	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (มิลลิกรัมสมมูลของแกลลิกต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม)	
	สารสกัดน้ำ	สารสกัดเอทานอล
กระเจียบแดง	1,262.60	675.80
ขจร	693.07	338.16
มะม่วงหาวมะนาวโห่	686.97	1499.39
มะตูม	7,115.68	969.46
โสน	1,181.65	879.31

1.6 ผลการทดสอบผลของความร้อนต่อประสิทธิภาพของสารสกัดจากพืชทดสอบ

ศึกษาผลของความร้อนต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH การยับยั้งการเกิด lipid peroxidation และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ในการทดสอบผลของความร้อนโดยวิธีการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 และ 30 นาทีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลด้วยวิธี DPPH ความสามารถในการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation และการเปลี่ยนแปลงสารประกอบฟีนอลิก มีผลการทดลองดังต่อไปนี้ เมื่อทดสอบผลของความร้อนโดยวิธีการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 และ 30 นาทีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอนุมูลด้วยวิธี DPPH พบว่า สารสกัดน้ำจากกระเจียบแดง ขจร มะตูม และโสนมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ต่ำลง สารสกัดน้ำจากพืชที่ต้มในน้ำเดือดนาน 30 นาทีพบว่าความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ต่ำกว่าสารสกัดจากพืชที่ต้มในน้ำเดือด 15 นาที โดยเฉพาะสารสกัดน้ำจากขจรความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดน้ำจากขจรที่ไม่ต้มค่า IC_{50} เท่ากับ 245.97 ppm และนำไปต้มเป็นเวลา 30 นาที มีค่า IC_{50} เท่ากับ 494.45 ppm ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ส่วนสารสกัดเอทานอลจากขจร มะตูม โสนที่ผ่านการต้มในน้ำเดือดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ต่ำลง แต่สารสกัดเอทานอลจากกระเจียบแดงที่ผ่านการต้มในน้ำเดือดมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH เพิ่มขึ้น พบว่าสารสกัดเอทานอลจากกระเจียบแดงที่ไม่ต้มค่า IC_{50} เท่ากับ 517.35 ppm เมื่อนำไปต้มเป็นเวลา 30 นาที มีค่า IC_{50} เท่ากับ 398 ppm ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลของความร้อนต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ของสารสกัดน้ำจากพืช
ทดสอบ

ชนิดพืช	การให้ความ ร้อน	ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ของสารสกัดน้ำ							ค่า IC ₅₀ (ppm)
		100	250	500	750	1000	2500	5000	
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
กระเจี๊ยบ แดง	ไม่ต้ม	50.92	71.72	91.32	98.22	102.36	114.94	122.18	93.55
	ต้ม 15 นาที	35.8	70.52	96.03	100.63	103.51	108.85	121.09	140.06
	ต้ม 30 นาที	33.56	65.57	93.74	99.14	101.95	109.6	117.3	155.33
ขจร	ไม่ต้ม	26.43	54.05	68.12	70.33	76.73	82.61	93.86	245.97
	ต้ม 15 นาที	14.5	44.44	73.11	78.63	83.55	86.85	91.35	296.32
	ต้ม 30 นาที	10.53	37.47	51.36	64.02	68.22	85.4	90.96	494.45
มะตูม	ไม่ต้ม	27.07	54.47	87.15	92.56	93.54	93.67	94.13	144.70
	ต้ม 15 นาที	23.48	53.62	79.65	88.26	90.61	91.13	92.63	181.83
	ต้ม 30 นาที	21.15	53.09	73.8	84.41	91.35	93.69	93.69	212.40
โสน	ไม่ต้ม	15.05	27.9	40.43	66.9	74.23	92.12	94.25	503.30
	ต้ม 15 นาที	13.59	23.46	45.51	61.6	67.76	87.56	95.32	556.53
	ต้ม 30 นาที	11.63	21.51	42.96	60.08	76.16	88.89	90.25	569.04

ตารางที่ 4.11 ผลของความร้อนต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ของสารสกัดเอทานอลจากพืชทดสอบ

ชนิดพืช	การให้ความร้อน	ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ของสารสกัดเอทานอล							ค่า IC ₅₀ (ppm)
		100	250	500	750	1000	2500	5000	
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
กระเจี๊ยบแดง	ไม่ต้ม	15.45	25.81	39.6	57.29	69.37	100.33	106.6	517.35
	ต้ม 15 นาที	17.47	30.37	52.75	64.3	76.2	100.65	105.86	419.60
	ต้ม 30 นาที	19.72	32.39	53.46	68.21	75.67	98.64	102.37	398.00
ขจร	ไม่ต้ม	7.12	18.11	26.46	35.24	53.84	91.34	94.35	839.47
	ต้ม 15 นาที	8.33	16.9	20.72	27.58	57.81	88.5	94.66	900.79
	ต้ม 30 นาที	7.21	12.16	17.7	29.34	32.18	75.93	91.63	1232.07
มะตูม	ไม่ต้ม	8.56	14.56	26.68	33	42.95	77.47	95.13	1006.85
	ต้ม 15 นาที	0.00	0.00	3.02	8.76	20.75	52.98	84.77	2329.22
	ต้ม 30 นาที	0.00	0.00	1.87	6.33	19.6	52.6	84.13	2421.68
โสน	ไม่ต้ม	8.02	17.1	27.5	41.88	56.53	93.64	95.23	777.84
	ต้ม 15 นาที	0.00	9.75	16.5	38.24	52.15	92.09	95.36	937.16
	ต้ม 30 นาที	0.00	10.52	25.34	29.83	44.96	85.98	94.9	1015.6

เมื่อทดสอบผลของความร้อนโดยวิธีการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 และ 30 นาทีต่อประสิทธิภาพความสามารถในการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation พบว่า สารสกัดน้ำจากกระเจี๊ยบ มะตูม และ โสน มีความสามารถในการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ต่ำลง สารสกัดน้ำจากพืชที่ต้มในน้ำเดือดนาน 30 นาที มีความสามารถในการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ต่ำกว่าสารสกัดจากพืชที่ต้มในน้ำเดือด 15 นาที ส่วนสารสกัดน้ำจากขจรและคำฝอยที่ผ่านการต้มในน้ำเดือดมีความสามารถในการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ลดต่ำลงเล็กน้อย ส่วนสารสกัดเอทานอลจากกระเจี๊ยบแดง ขจร มะตูม และ โสน ที่ผ่านการต้มในน้ำเดือดมีความสามารถในการยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ต่ำลง ดังแสดงในตารางที่ 4.12 เมื่อทดสอบผลของความร้อนโดยวิธีการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 และ 30 นาทีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก พบว่า สารสกัดน้ำและเอทานอลจากกระเจี๊ยบ ขจร มะตูม และ โสน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกต่ำลง สารสกัดจากพืชที่ต้มในน้ำเดือดนาน 30 นาทีพบปริมาณ

ฟีนอลิกต่ำกว่าสารสกัดจากพืชที่ต้มในน้ำเดือด 15 นาที แต่สารสกัดจากน้ำและเอทานอลจากกระเจี๊ยบ และโสนพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดต่ำลงเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 ผลของความร้อนต่อความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation ของสารสกัด
น้ำจากพืชทดสอบ

ชนิดพืช	การให้ความ ร้อน	ความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation ของสารสกัดน้ำ							ค่า IC ₅₀ (ppm)
		100	250	500	750	1000	2500	5000	
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
กระเจี๊ยบ แดง	ไม่ต้ม	52.11	66.31	73.71	77.35	83.33	106.92	150.35	145.14
	ต้ม 15 นาที	0.00	0.00	33.04	55.36	66.07	124.11	186.31	567.56
	ต้ม 30 นาที	0.00	0.00	0.00	40.62	58.54	103.64	173.95	907.84
ขจร	ไม่ต้ม	12.91	14.94	23.37	31.3	46.65	59.45	73.98	1539.93
	ต้ม 15 นาที	1.22	7.5	19.55	31.41	47.32	57.35	72.75	1681.62
	ต้ม 30 นาที	0.00	6.53	19.14	27.36	41.22	56.64	78.27	1697.62
มะตูม	ไม่ต้ม	3.78	9.39	11.23	17.41	23.02	44.67	57.62	4611.26
	ต้ม 15 นาที	3.76	8.15	11.83	18.82	22.58	42.29	54.57	5387.97
	ต้ม 30 นาที	2.13	4.61	9.22	14.54	27.84	42.55	51.06	5709.57
โสน	ไม่ต้ม	0.00	9.99	15.75	26.8	45.24	51.97	66.38	2152.83
	ต้ม 15 นาที	0.00	5.83	17.13	20.86	44.41	53.61	62.59	2329.60
	ต้ม 30 นาที	0.00	9.47	15.95	26.14	39.33	44.24	59.47	3043.25

ตารางที่ 4.13 ผลของความร้อนต่อความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation ของสารสกัด
เอทานอลจากพืชทดสอบ

ชนิดพืช	การให้ความ ร้อน	ความสามารถในการยับยั้งปฏิกิริยา lipid peroxidation ของสารสกัดเอทานอล							ค่า IC ₅₀ (ppm)
		100	250	500	750	1000	2500	5000	
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
กระเจี๊ยบ แดง	ไม่ต้ม	0.00	16.19	31.5	46.73	54.69	70.07	82.11	1091.38
	ต้ม 15 นาที	0.00	10.46	22.75	39.76	46.48	69.11	79.27	1334.08
	ต้ม 30 นาที	0.00	0.00	24.92	45.21	52.43	63.25	74.94	1334.08
ขจร	ไม่ต้ม	0.00	0.00	18.33	29.64	35.12	45.12	69.52	2157.26
	ต้ม 15 นาที	0.00	0.00	10.25	17.88	32.65	44.95	55.3	3025.63
	ต้ม 30 นาที	0.00	0.00	5.8	13.13	26.51	38.03	53.88	4133.76
มะตูม	ไม่ต้ม	0.00	0.00	8.47	17.25	25.97	33.95	50.46	3749.1
	ต้ม 15 นาที	0.00	0.00	0.00	13.7	22.32	28.25	36.94	> 5000
	ต้ม 30 นาที	0.00	0.00	0.00	11.97	21.09	28.32	35.84	> 5000
โสน	ไม่ต้ม	0.00	0.00	8.55	13.72	21.98	40.01	57.18	3141.94
	ต้ม 15 นาที	0.00	0.00	9.13	10.66	19.67	33.42	51.46	4199.91
	ต้ม 30 นาที	0.00	0.00	6.16	8.08	16.29	30.53	48.53	> 5000

เมื่อทดสอบผลของความร้อนโดยวิธีการต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 และ 30 นาทีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก พบว่า สารสกัดน้ำและเอทานอลจากกระเจี๊ยบ ขจร มะตูม และโสน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกต่ำลง สารสกัดจากพืชที่ต้มในน้ำเดือดนาน 30 นาทีพบปริมาณฟีนอลิกต่ำกว่าสารสกัดจากพืชที่ต้มในน้ำเดือด 15 นาที แต่สารสกัดจากน้ำและเอทานอลจากกระเจี๊ยบและโสนพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดต่ำลงเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลของความร้อนต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของสารสกัดจากพืชทดสอบ

ชนิดพืช	การให้ความร้อน	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (mg GAE / 100g DW)	
		สารสกัดน้ำ	
		สารสกัดน้ำ	สารสกัดเอทานอล
กระเจี๊ยบแดง	ไม่ต้ม	1641.83	1360.32
	ต้ม 15 นาที	1624.96	1183.50
	ต้ม 30 นาที	1606.93	1143.37
ขจร	ไม่ต้ม	911.30	889.20
	ต้ม 15 นาที	839.18	564.07
	ต้ม 30 นาที	785.09	552.43
มะม่วงหาวมะนาวโห่	ไม่ต้ม	3211.54	1523.64
	ต้ม 15 นาที	3018.44	771.01
	ต้ม 30 นาที	2978.89	644.22
มะตูม	ไม่ต้ม	7293.08	3108.01
	ต้ม 15 นาที	7141.86	1374.75
	ต้ม 30 นาที	6813.24	1303.79
โสน	ไม่ต้ม	847.90	641.42
	ต้ม 15 นาที	776.94	621.07
	ต้ม 30 นาที	757.17	579.19

เมื่อศึกษาผลของความร้อนต่อความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH การยับยั้งการเกิด lipid peroxidation และปริมาณสารประกอบฟีนอลิก พบว่าสารสกัดน้ำและเอทานอลจากกระเจี๊ยบแดง ขจร มะตูม และโสน มีกิจกรรมการต้านอนุมูลและปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง เนื่องจากความร้อนทำให้เกิดการสลายตัวของสารบางชนิดที่คุณสมบัติในการต้านอนุมูล รวมถึงสารประกอบฟีนอลิก (Miglio *et al.* 2008 ; Miranda *et al.* 2010 ; Ramírez-Anaya *et al.* 2015) ยกเว้นสารสกัดเอทานอลจากกระเจี๊ยบแดงพบว่าการต้มสารสกัดในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 และ 30 นาที ทำให้ความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH เพิ่มขึ้น อาจจะเนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนสามารถทำให้เกิดสารประกอบที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่เรียกว่า Maillard reaction products เป็นผลิตภัณฑ์ได้จากปฏิกิริยามเมลลาร์ด เป็นสารประกอบหลายชนิด ที่ให้สีน้ำตาลและกลิ่นรสต่างๆ สารประกอบที่เกิดจาก Maillard reaction มีผลทำให้เพิ่มความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH (Kaur and Kapoor. 2001) สอดคล้องกับผลการทดลองของ Arabshahi-Delouee *et al.* (2007) พบการเพิ่มกิจกรรมการกำจัดอนุมูล

DPPH ของมันท์ เพิ่มขึ้น 15 % เมื่อได้รับความร้อน 100 °C เป็นเวลา 15 นาที สารประกอบหลักของสารสกัดจากพืชแต่ละชนิดอาจมีสารประกอบที่แตกต่างกันทำให้สารสกัดมีกลไกในการการกำจัดอนุมูลอิสระที่มากน้อยแตกต่างกันไป รวมถึงความทนความร้อน อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้ทำการศึกษานี้เป็นหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดง ขจร คำฝอย คาหลา มะตูม และ โสน ซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ในส่วนประกอบอาหารเสริมสุขภาพเพื่อป้องกันโรคต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ และนำไปพัฒนาใช้เป็นสารกันบูดจากธรรมชาติในทางอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

การทดลองที่ 2 ศึกษาความสามารถของสารสกัดจาก กระเจี๊ยบแดง ขจร มะม่วงหาว มะนาวโห่ มะตูม และ โสน ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค และจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียบนอาหาร

2.1 ทดสอบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค โดยวิธี Agar Well Diffusion Method

2.1.1 ผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค

จากการศึกษาผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยเอทานอลที่ระดับความเข้มข้น 50, 25, 12.5 และ 6.25 mg/ml พบว่าสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 50 mg/ml สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ทดสอบได้ทุกสายพันธุ์ โดยมีค่าเฉลี่ยโซนยับยั้ง 11.00 – 23.33 มิลลิเมตร สารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 25 mg/ml สามารถยับยั้งเชื้อได้เกือบทุกสายพันธุ์ ยกเว้นเชื้อ *L. cremoris* TISTR 1344, *Leu. mesenteroides* subsp. *mesenteroides* JCM 6124^T และ *Streptococcus* sp. TISTR 1030 โดยมีค่าเฉลี่ยโซนยับยั้ง 8.00 – 22.00 มิลลิเมตร สารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 12.5 mg/ml สามารถยับยั้งเชื้อได้เพียง 4 ชนิด คือ *S. aureus* TISTR 118, *B. subtilis* JCM 1465, *S. Typhimurium* TISTR 292 และ *A. hydrophila* TISTR 1321 โดยมีค่าเฉลี่ยโซนยับยั้ง 11.00 - 12.50 มิลลิเมตร และสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น 6.25 mg/ml พบว่าไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ ขณะที่สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยน้ำไม่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.15

จากการศึกษาการยับยั้งจุลินทรีย์ด้วยสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง Fullerton *et al.* (2011) ศึกษาคุณสมบัติการยับยั้งเชื้อ *E. coli* O157:H7 ที่แยกได้จากอาหารของกระเจี๊ยบที่สกัดด้วยเอทานอล 80% ที่ความเข้มข้น 2.5%, 5% และ 10% ด้วยวิธี Agar Disk Diffusion พบว่าที่ความเข้มข้น 10% มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *E. coli* O157:H7 ได้สูงที่สุด เนื่องจากสารประกอบ ฟลาโวนอยด์ในกระเจี๊ยบที่มีโครงสร้างที่สามารถรวมกับผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ และการเพิ่มขึ้นของจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลในวงแหวนของโครงสร้างที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียเพิ่มขึ้น

Khalaphallah and Soliman (2014) ได้ทำการศึกษาผลของสารสกัดเหินน้ำและกระเจี๊ยบเพื่อยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค โดยสกัดด้วยน้ำและเอทานอล ที่ความเข้มข้น 2.5%, 5% และ 10% ด้วยวิธี Agar Disk Diffusion พบว่าสารสกัดที่สกัดด้วยเอทานอลให้ผลยับยั้งแบคทีเรียก่อโรคได้ดีกว่าสารสกัดที่สกัดด้วยน้ำ เนื่องจากฤทธิ์ทางชีวภาพของสารฟลิกซ์เคมี และที่ความเข้มข้น 10% พบว่ากระเจี๊ยบที่สกัดด้วยเอทานอลสามารถยับยั้งเชื้อ *B. subtilis*, *E. coli* และ *P. aeruginosa* ได้ เนื่องจากไอออนไฮดรอกซิลอิสระที่มีอยู่ในสารละลายที่มีความสามารถในการรวมตัวกับคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้ไปเกาะติดอยู่กับเอนไซม์ เอนไซม์ที่เร่งการเจริญเติบโตไม่สามารถทำงานได้ จึงชี้ให้เห็นได้ว่ากระเจี๊ยบที่สกัดด้วยเอทานอลสามารถนำไปใช้เพื่อยืดอายุในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้

Morales-Cabrera *et al.* (2013) ทำการศึกษากิจกรรมของสายพันธุ์และการสกัดด้วยตัวทำละลายที่ต่างกันจากกลีบดอกกระเจี๊ยบต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ด้วยวิธี Agar Disk Diffusion โดยทำการสกัดด้วยน้ำ เอทานอลและเมทานอลของกลีบกระเจี๊ยบ 5 สายพันธุ์ คือ Alma blanca, Criolla de Oaxaca, Huajicori, Chiautla และ Tecoanapa โดยศึกษาเชื้อทดสอบคือ *S. Typhimurium*, *S. Choleraesuis* พบว่าสายพันธุ์ Alma blanca ที่สกัดด้วยน้ำ เอทานอลและเมทานอล ปริมาตร 10 μ L มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *S. Typhimurium* และ *S. Choleraesuis* ได้มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ

นอกจากนี้ยังพบว่าในกลีบกระเจี๊ยบมีสารแอนโทไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่พบมากในกระเจี๊ยบ มีสมบัติในการต้านการเจริญของจุลินทรีย์ได้นั้นเนื่องจากโครงสร้างที่เป็น double-ring benzopyran มีประจุบวกทำให้องค์ไวต่อการเกิดคีเลต (chelate) ของโลหะไอออนไปรวมกับหมู่ซัลไฟดริล (sulfydryl) ของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างพลังงานของแบคทีเรีย เมื่อเอนไซม์ถูกยับยั้งการทำงานจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตทำให้เกิดการยับยั้งและตายไปในที่สุด (Sommaatmadja *et al.* 1964 อ้างโดยศุภร อังสุจินดา. 2549)

สำหรับสารสกัดที่สกัดด้วยน้ำให้ผลขัดแย้งกับ Hussein *et al.* (2007) ทำการศึกษากิจกรรมทางชีวภาพของสารสกัดยี่หระและกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยน้ำ ทดสอบเชื้อ *Streptococcus faecalis*, *S. aureus*, *P. pyogens*, *E. coli* และ *Klebsiella pneumonia* ที่ระดับความเข้มข้น 1%, 5%, 10% และ 20% โดยวิธี Agar well diffusion พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 1% ไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อที่ทดสอบทุกสายพันธุ์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 5% และ 10% พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อได้ทุกสายพันธุ์ ซึ่งยับยั้ง *S. aureus* ได้มากที่สุด (24 mm) และที่ 20% สามารถยับยั้ง *P. pyogens* ได้มากที่สุด (26 mm) เนื่องจากแบคทีเรียแกรมลบมีส่วนประกอบทางเคมีและโครงสร้างของผนังเซลล์ที่ซับซ้อนกว่าผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบมีสารประกอบพวก phospholipid lipopolysaccharide และ lipoprotein c และชั้นของ peptidoglycan จึงส่งผลให้สารสกัดเข้าไปทำลายหรือรบกวนการทำงานบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบได้ยากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก

ตารางที่ 4.15 การใช้สารสกัดกระเจียบแดงด้วยเอทานอลและน้ำ ต่อการยับยั้งเชื้อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค (Mean $\pm$ SD)

เชื้อทดสอบ	กระเจียบแดง ความเข้มข้น (mg/ml)				
	สกัดด้วยเอทานอล				สกัดด้วยน้ำ
	50	25	12.5	6.25	100
Meat pathogenic bacteria					
<i>Salmonella</i> Typhimurium TISTR 292	21.33 $\pm$ 0.58	15.00 $\pm$ 1.15	12.00 $\pm$ 2.31	NI	NI
<i>Staphylococcus aureus</i> TISTR 118	22.66 $\pm$ 2.08	15.00 $\pm$ 2.52	12.50 $\pm$ 2.89	NI	NI
<i>Escherichia coli</i> TISTR 780	20.66 $\pm$ 1.15	13.00 $\pm$ 1.53	NI	NI	NI
<i>Listeria innocua</i> ATCC 33090 ^T	20.66 $\pm$ 0.58	15.00 $\pm$ 2.08	NI	NI	NI
<i>Aeromonas hydrophila</i> TISTR 1321	23.33 $\pm$ 1.73	16.00 $\pm$ 1.15	12.00 $\pm$ 1.00	NI	NI
Meat spoilage bacteria					
<i>Pseudomonas fluorescens</i> JCM 5963 ^T	20.66 $\pm$ 0.58	15.00 $\pm$ 0.58	NI	NI	NI
<i>Pseudomonas fluorescens</i> TISTR 358	21.00 $\pm$ 1.73	12.00 $\pm$ 2.00	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus plantarum</i> 1149	11.66 $\pm$ 2.08	9.00 $\pm$ 0.58	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus sakei</i> subsp. <i>sakei</i> JCM1157 ^T	13.00 $\pm$ 0.58	9.00 $\pm$ 0.58	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus. sakei</i> TISTR 890	14.33 $\pm$ 2.89	10.00 $\pm$ 1.00	NI	NI	NI

ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

เชื้อทดสอบ	กระเจียบแดง ความเข้มข้น (mg/ml)				
	สกัดด้วยเอทานอล				สกัดด้วยน้ำ
	50	25	12.5	6.25	100
<i>Lactobacillus.plantarum</i> ATCC 14947	11.00 ± 2.83	9.00 ± 0.58	NI	NI	NI
<i>Lactococcus cremoris</i> TISTR 1344	22.33 ± 2.03	14.00 ± 1.00	NI	NI	NI
<i>Lactococcus lactis</i> 19435	12.00 ± 0.58	8.00 ± 0.58	NI	NI	NI
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> JCM 6124 ^T	11.50 ± 0.71	NI	NI	NI	NI
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> TISTR 942	13.00 ± 1.00	10.00 ± 1.00	NI	NI	NI
<i>Enterococcus faecalis</i> TISTR 888	22.00 ± 0.58	12.33 ± 0.58	NI	NI	NI
<i>Streptococcus</i> sp. TISTR 1030	12.00 ± 1.00	NI	NI	NI	NI
Other bacteria found in food					
<i>Bacillus coagulans</i> TISTR 1447	19.66 ± 0.58	15.00 ± 1.15	NI	NI	NI
<i>Bacillus subtilis</i> JCM 1465	21.00 ± 0.58	15.00 ± 0.58	11.50 ± 0.58	NI	NI

NI = No inhibition

ATCC = American Type Culture Collection, Rockville, Md

JCM = Japanese Culture of Microorganism, Wako, Japan

TISTR = Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Thailand

2.1.2 ผลของสารสกัดขจรในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค

จากการวิเคราะห์ผลของสารสกัดขจรทั้งสกัดด้วยเอทานอลและสกัดด้วยน้ำในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติก เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และกลุ่มก่อโรค โดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเคลียร์โซนการยับยั้ง พบว่าสารสกัดดอกขจรที่สกัดด้วยเอทานอลที่ระดับความเข้มข้น 50 mg/ml มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* TISTR 118 (11.00 มิลลิเมตร) และ *E. faecalis* TISTR 888 (10.66 มิลลิเมตร) ขณะที่สารสกัดขจรที่สกัดด้วยน้ำไม่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.16

2.1.3 ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค

จากผลการทดลองวิเคราะห์ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ทั้งสกัดด้วยเอทานอลและสกัดด้วยน้ำในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติก เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และกลุ่มก่อโรค โดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเคลียร์โซนการยับยั้ง พบว่าสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่สกัดด้วยเอทานอลที่ระดับความเข้มข้น 50, 25 และ 12.5 mg/ml มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มก่อโรคและทำให้อาหารเน่าเสียได้ โดยมีขนาดของเคลียร์โซนอยู่ในช่วง 10 – 24 มิลลิเมตร โดยสามารถยับยั้งเชื้อ *E.coli* TISTR 780, *B. coagulans* TISTR 1447, *S. aureus* TISTR 118, *B. subtilis* JCM 1465, *P. fluorescens* JCM 5963^T, *P. fluorescens* TISTR 358, *S. Typhimurium* TISTR 292 และ *A. hydrophila* TISTR 1321 ได้สูง ได้แก่ 20.33, 20.33, 22.00, 21.66, 24.66, 22.00, 23.66 และ 23.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ ขณะที่สารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่สกัดด้วยน้ำไม่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.17 จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gupta *et al.* (2012) ได้ทำการวิเคราะห์ผลการต้านจุลินทรีย์ของผลไม้ 6 ชนิดในอินเดียที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ พืชทั้ง 6 ชนิดจะสกัดด้วยสารละลาย น้ำ : อะซิโตน น้ำ : เมทานอล และ เอทานอล : เฮกเซน : น้ำ ประเมินผลการต้านจุลินทรีย์ด้วยวิธี Agar well diffusion โดยมีเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ พบว่า *A. lachoocha* > *Ananas comous* > *Carrasia carandas* > *Beta vulgaris* > *Grewia asiatica* > *Litchi sinensis* โดยเชื่อที่ถูกระงับมากที่สุดคือ *L. monocytogenes*, *S. aureus* และ *S. typhimurium* (มากกว่า 20 มิลลิเมตร) ส่วน *B. subtilis* และ *B. cereus* (น้อยกว่า 7 มิลลิเมตร) ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ที่ต่างกันอาจเนื่องจากความแตกต่างทางพฤกษเคมีต่างๆ เช่น อัลคาลอยด์แทนนิน ซาโปนินและ flavonoids นอกจากนี้ Singh and Sangwan. (2011) รายงานว่า มะม่วงหาวมะนาวโห่ที่สกัดด้วยเมทานอลสามารถยับยั้งเชื้อ *B. macerans*, *B. subtilis*, *S. aureus* และ *P. aeruginosa* ได้

ตารางที่ 4.16 การใช้สารสกัดขจรด้วยเอทานอลและน้ำต่อการยับยั้งเชื้อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค (Mean $\pm$ SD)

เชื้อทดสอบ	ขจร ความเข้มข้น (mg/ml)				
	สกัดด้วยเอทานอล				สกัดด้วยน้ำ
	50	25	12.5	6.25	100
Meat pathogenic bacteria					
<i>Salmonella</i> Typhimurium TISTR 292	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Staphylococcus aureus</i> TISTR 118	11.00 $\pm$ 1.00	NI	NI	NI	NI
<i>Escherichia coli</i> TISTR 780	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Listeria innocua</i> ATCC 33090 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Aeromonas hydrophila</i> TISTR 1321	NI	NI	NI	NI	NI
Meat spoilage bacteria					
<i>Pseudomonas fluorescens</i> JCM 5963 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Pseudomonas fluorescens</i> TISTR 358	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus plantarum</i> 1149	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus sakei</i> subsp. <i>sakei</i> JCM1157 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus. sakei</i> TISTR 890	NI	NI	NI	NI	NI

ตารางที่ 4.16 (ต่อ)

เชื้อทดสอบ	ขจร ความเข้มข้น (mg/ml)				
	สกัดด้วยเอทานอล				สกัดด้วยน้ำ
	50	25	12.5	6.25	100
<i>Lactobacillus plantarum</i> ATCC 14947	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactococcus cremoris</i> TISTR 1344	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactococcus lactis</i> 19435	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> JCM 6124 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> TISTR 942	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Enterococcus faecalis</i> TISTR 888	10.66 ± 0.57	NI	NI	NI	NI
<i>Streptococcus</i> sp. TISTR 1030	NI	NI	NI	NI	NI
Other bacteria found in food					
<i>Bacillus coagulans</i> TISTR 1447	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Bacillus subtilis</i> JCM 1465	NI	NI	NI	NI	NI

NI = No inhibition

ATCC = American Type Culture Collection, Rockville, Md

JCM = Japanese Culture of Microorganism, Wako, Japan

TISTR = Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Thailand

ตารางที่ 4.17 การใช้สารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ด้วยเอทานอลและน้ำ ต่อการยับยั้งเชื้อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค (Mean $\pm$ SD)

เชื้อทดสอบ	มะม่วงหาวมะนาวโห่ ความเข้มข้น (mg/ml)				
	สกัดด้วยเอทานอล				สกัดด้วยน้ำ
	50	25	12.5	6.25	100
Meat pathogenic bacteria					
<i>Salmonella</i> Typhimurium TISTR 292	23.66 $\pm$ 0.58	14.00 $\pm$ 0.00	10.00 $\pm$ 0.00	NI	NI
<i>Staphylococcus aureus</i> TISTR 118	22.00 $\pm$ 0.73	14.00 $\pm$ 0.89	10.00 $\pm$ 0.53	10.00 $\pm$ 0.00	NI
<i>Escherichia coli</i> TISTR 780	20.33 $\pm$ 0.58	10.00 $\pm$ 1.00	11.00 $\pm$ 0.00	NI	NI
<i>Listeria innocua</i> ATCC 33090 ^T	19.33 $\pm$ 0.58	14.33 $\pm$ 0.58	NI	NI	NI
<i>Aeromonas hydrophila</i> TISTR 1321	23.00 $\pm$ 0.73	15.00 $\pm$ 1.00	10.33 $\pm$ 0.58	NI	NI
Meat spoilage bacteria					
<i>Pseudomonas fluorescens</i> JCM 5963 ^T	24.66 $\pm$ 0.58	15.00 $\pm$ 1.00	9.50 $\pm$ 0.71	NI	NI
<i>Pseudomonas fluorescens</i> TISTR 358	22.00 $\pm$ 0.78	14.33 $\pm$ 0.58	10.00 $\pm$ 0.00	NI	NI
<i>Lactobacillus plantarum</i> 1149	10.66 $\pm$ 0.58	NI	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus sakei</i> subsp. <i>sakei</i> JCM1157 ^T	12.00 $\pm$ 0.00	NI	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus sakei</i> TISTR 890	17.00 $\pm$ 0.00	NI	NI	NI	NI

ตารางที่ 4.17 (ต่อ)

เชื้อทดสอบ	มะม่วงหาวมะนาวโห่ ความเข้มข้น (mg/ml)				
	สกัดด้วยเอทานอล				สกัดด้วยน้ำ
	50	25	12.5	6.25	100
<i>Lactobacillus plantarum</i> ATCC 14947	13.00 ± 0.41	NI	NI	NI	NI
<i>Lactococcus cremoris</i> TISTR 1344	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactococcus lactis</i> 19435	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> JCM 6124 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> TISTR 942	14.00 ± 0.00	NI	NI	NI	NI
<i>Enterococcus faecalis</i> TISTR 888	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Streptococcus</i> sp. TISTR 1030	NI	NI	NI	NI	NI
Other bacteria found in food					
<i>Bacillus coagulans</i> TISTR 1447	20.33 ± 0.58	11.00 ± 0.73	12.00 ± 0.00	NI	NI
<i>Bacillus subtilis</i> JCM 1465	21.66 ± 0.53	13.33 ± 0.89	12.50 ± 0.73	NI	NI

NI = No inhibition

ATCC = American Type Culture Collection, Rockville, Md

JCM = Japanese Culture of Microorganism, Wako, Japan

TISTR = Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Thailand

2.1.4 ผลของสารสกัดมะตูมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค

จากการศึกษาผลของสารสกัดมะตูมทั้งสกัดด้วยเอทานอลและสกัดด้วยน้ำในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค โดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเคลียร์โซนการยับยั้ง พบว่าสารสกัดมะตูมที่สกัดด้วยเอทานอลที่ระดับความเข้มข้น 50 mg/ml มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus* TISTR 118, *P. fluorescens* TISTR 358, *L. sakei* subsp. *sakei* JCM 1157^T และ *E. faecalis* TISTR 888 เท่ากับ 13.00, 12.00, 9.00 และ 14.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ สารสกัดมะตูมที่สกัดด้วยน้ำไม่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.18

2.1.5 ผลของสารสกัดโสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค

จากการวิเคราะห์ผลของสารสกัดโสมทั้งสกัดด้วยเอทานอลและสกัดด้วยน้ำในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกรดแลกติก เชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และกลุ่มก่อโรค โดยการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเคลียร์โซนการยับยั้ง พบว่า สารสกัดโสมที่สกัดด้วยเอทานอลที่ระดับความเข้มข้น 50 mg/ml มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ *E. faecalis* TISTR 888 (12.00 มิลลิเมตร) ขณะที่สารสกัดโสมที่สกัดด้วยน้ำไม่สามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 การใช้สารสกัดมะตูมด้วยเอทานอลและน้ำ ต่อการยับยั้งเชื้อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค (Mean $\pm$ SD)

เชื้อทดสอบ	มะตูม ความเข้มข้น (mg/ml)				
	สกัดด้วยเอทานอล				สกัดด้วยน้ำ
	50	25	12.5	6.25	100
Meat pathogenic bacteria					
<i>Salmonella</i> Typhimurium TISTR 292	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Staphylococcus aureus</i> TISTR 118	13.00 $\pm$ 0.00	10.50 $\pm$ 0.71	NI	NI	NI
<i>Escherichia coli</i> TISTR 780	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Listeria innocua</i> ATCC 33090 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Aeromonas hydrophila</i> TISTR 1321	NI	NI	NI	NI	NI
Meat spoilage bacteria					
<i>Pseudomonas fluorescens</i> JCM 5963 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Pseudomonas fluorescens</i> TISTR 358	12.00 $\pm$ 0.00	6.00 $\pm$ 0.00	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus plantarum</i> 1149	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus sakei</i> subsp. <i>sakei</i> JCM1157 ^T	9.66 $\pm$ 0.58	NI	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus sakei</i> TISTR 890	NI	NI	NI	NI	NI

ตารางที่ 4.18 (ต่อ)

เชื้อทดสอบ	มะตูม ความเข้มข้น (mg/ml)				
	สกัดด้วยเอทานอล				สกัดด้วยน้ำ
	50	25	12.5	6.25	100
<i>Lactobacillus plantarum</i> ATCC 14947	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactococcus cremoris</i> TISTR 1344	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactococcus lactis</i> 19435	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> JCM 6124 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> TISTR 942	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Enterococcus faecalis</i> TISTR 888	14.00 ± 0.01	9.00 ± 0.00	NI	NI	NI
<i>Streptococcus</i> sp. TISTR 1030	NI	NI	NI	NI	NI
Other bacteria found in food					
<i>Bacillus coagulans</i> TISTR 1447	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Bacillus subtilis</i> JCM 1465	NI	NI	NI	NI	NI

NI = No inhibition

ATCC = American Type Culture Collection, Rockville, Md

JCM = Japanese Culture of Microorganism, Wako, Japan

TISTR = Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Thailand

ตารางที่ 4.19 การใช้สารสกัดโสมด้วยเอทานอลและน้ำต่อการยับยั้งเชื้อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์กลุ่มที่ทำให้อาหารเน่าเสียและกลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค
(Mean $\pm$ SD)

เชื้อทดสอบ	โสม ความเข้มข้น (mg/ml)				
	สกัดด้วยเอทานอล				สกัดด้วยน้ำ
	50	25	12.5	6.25	100
Meat pathogenic bacteria					
<i>Salmonella</i> Typhimurium TISTR 292	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Staphylococcus aureus</i> TISTR 118	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Escherichia coli</i> TISTR 780	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Listeria innocua</i> ATCC 33090 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Aeromonas hydrophila</i> TISTR 1321	NI	NI	NI	NI	NI
Meat spoilage bacteria					
<i>Pseudomonas fluorescens</i> JCM 5963 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Pseudomonas fluorescens</i> TISTR 358	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus plantarum</i> 1149	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus sakei</i> subsp. <i>sakei</i> JCM1157 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactobacillus sakei</i> TISTR 890	NI	NI	NI	NI	NI

ตารางที่ 4.19 (ต่อ)

เชื้อทดสอบ	โสม ความเข้มข้น (mg/ml)				
	สกัดด้วยเอทานอล				สกัดด้วยน้ำ
	50	25	12.5	6.25	100
<i>Lactobacillus plantarum</i> ATCC 14947	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactococcus cremoris</i> TISTR 1344	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Lactococcus lactis</i> 19435	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> JCM 6124 ^T	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> TISTR 942	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Enterococcus faecalis</i> TISTR 888	12.00 ± 0.00	NI	NI	NI	NI
<i>Streptococcus</i> sp. TISTR 1030	NI	NI	NI	NI	NI
Other bacteria found in food					
<i>Bacillus coagulans</i> TISTR 1447	NI	NI	NI	NI	NI
<i>Bacillus subtilis</i> JCM 1465	NI	NI	NI	NI	NI

NI = No inhibition

ATCC = American Type Culture Collection, Rockville, Md

JCM = Japanese Culture of Microorganism, Wako, Japan

TISTR = Thailand Institute of Scientific and Technological Research, Thailand

พืชโดยทั่วไปจะมีรงควัตถุที่สำคัญที่เรียกว่าสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งสารเหล่านี้พบได้ในพืชเกือบทุกชนิด อีกทั้งสารเหล่านี้ยังมีคุณสมบัติในการต้านจุลินทรีย์อีกด้วย (หนึ่งฤทัย ศรีทองทิพย์, 2552) โดยยับยั้งได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ แต่พบว่าแบคทีเรียแกรมบวกจะถูกยับยั้งได้มากกว่าแบคทีเรียแกรมลบเนื่องจากลักษณะทางโครงสร้างของแบคทีเรียแกรมบวกประกอบด้วยเพปทิโดไกลแคน 60-100% ส่วนแบคทีเรียแกรมลบประกอบด้วยเพปทิโดไกลแคนเพียง 5-20% นอกนั้นเป็นสารประกอบไขมัน พอลิแซ็กคาไรด์ และโปรตีนซึ่งเป็นส่วนที่อยู่นอกชั้นเพปทิโดไกลแคน ทำให้การเข้าทำลายแบคทีเรียแกรมลบยากกว่า โดยสารสกัดจะหันข้างที่มีขี้ผึ้งเข้าจับกับแบคทีเรียโดยเริ่มทำลายบริเวณผนังเซลล์ทำให้คุณสมบัติของผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้ความสามารถในการให้สารต่าง ๆ แทรกซึมผ่านผนังเซลล์เปลี่ยนไปทำให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หยุดชะงักและตายในที่สุด และหากสารสกัดแทรกซึมเข้าสู่เซลล์จะส่งผลให้เยื่อเซลล์แตกเนื่องจากมีการทำลายไขมันที่อยู่บนเยื่อเซลล์ และยังทำให้ไซโตพลาสซึมแตกตะกอน นอกจากนี้อาจจะมีการรวมกับไรโบโซมและส่งผลต่อการยับยั้งการสร้างโปรตีน หรืออาจจะมีการรบกวนการใช้ L-alanine หรือกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต (Nychas, 1999)

2.1.6 คัดเลือกสารสกัดที่เหมาะสมเพื่อการศึกษาต่อไป

จากการศึกษาดังได้รายงานผลข้างต้น พบว่าสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงและสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียบนอาหาร มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากมะตูม ขจร และโสน ดังนั้นนักวิจัยจึงเลือกสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่เพื่อการศึกษาในการทดลองต่อไป

2.2 ศึกษาระดับความเข้มข้นของสารสกัดที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อเป้าหมาย โดยศึกษาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้ง (Minimum inhibition concentration, MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดในการฆ่าแบคทีเรีย (Minimum bactericidal concentration, MBC)

2.2.1 ศึกษาระดับความเข้มข้นของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยเอทานอลที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อเป้าหมาย โดยศึกษาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้ง (Minimum inhibition concentration, MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดในการฆ่าแบคทีเรีย (Minimum bactericidal concentration, MBC)

จากการทดสอบการหาความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้ง (MIC) และการฆ่าแบคทีเรีย (MBC) ของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยเอทานอลต่อเชื้อ *S. aureus* TISTR 118, *P. fluorescens* TISTR 358, *S. Typhimurium* TISTR 292 และ *E. coli* TISTR 780 พบว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการ

ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (MIC) เท่ากับ 25 mg/ml ยกเว้นเชื้อ *S. Typhimurium* TISTR 292 ที่ไม่สามารถหาค่า MIC ได้ ค่า MIC₉₀ คือค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งแบคทีเรียได้ 90 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 25 mg/ml เช่นกัน ยกเว้นเชื้อ *S. Typhimurium* TISTR 292 เท่ากับ 12.5 mg/ml และค่าความสามารถต่ำสุดในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (MBC) เท่ากับ 50 mg/ml ยกเว้นเชื้อ *S. aureus* TISTR 118 ที่มีค่าเท่ากับ 25 mg/ml ดังแสดงในตารางที่ 4.20

Bokaeian *et al.* (2014) ศึกษาผลของสารสกัดกระเจียบแดงที่สกัดด้วยเอทานอลต่อการยับยั้งเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ ผลการทดลองพบว่า ค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้ง (MIC) ที่สามารถยับยั้งเชื้อ *E. coli* ที่แยกได้ 2 สายพันธุ์ คือ 20 mg/ml และค่าที่สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ที่แยกได้ 3 สายพันธุ์ คือ 1.25 mg/ml นอกจากนี้ Eskandary *et al.* (2015) ศึกษาค่า MIC และ MBC จากดอกกระเจียบแดงต่อการยับยั้ง *Acinetobacter baumannii* ที่แยกได้จำนวน 12 สายพันธุ์ พบว่าค่า MIC มีค่าเท่ากับ 6.25 – 25 ppm และค่า MBC มีค่าเท่ากับ 12.5 – 50 ppm Nwachukwu *et al.* (2009) รายงานว่าค่า MIC ในช่วง 5 – 15 % (v/v) และ 15 – 50 % (v/v) สามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* ได้ตามลำดับ

ตารางที่ 4.20 แสดงค่า MIC และ MBC ของสารสกัดกระเจียบแดงต่อการยับยั้ง (MIC) และการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC)

เชื้อทดสอบ	ความเข้มข้น (mg/ml)		
	MBC	MIC ₉₀	MIC
<i>Staphylococcus aureus</i> TISTR 118	25	25	25
<i>Pseudomonas fluorescens</i> TISTR 358	50	25	25
<i>Salmonella</i> Typhimurium TISTR 292	50	12.5	NI
<i>Escherichia coli</i> TISTR 780	50	25	25

MIC = Minimum inhibition concentration ; MBC = Minimum bactericidal concentration ; NI = No inhibition

2.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญของเชื้อเป้าหมาย โดยศึกษาค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้ง (Minimum inhibition concentration, MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดในการฆ่าแบคทีเรีย (Minimum bactericidal concentration, MBC)

จากการวิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ พบว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งเชื้อ (MIC) *P. fluorescens* TISTR 358 และ *S. aureus* TISTR 118 คือ ที่ระดับความเข้มข้น 25 mg/ml ขณะที่ *S. Typhimurium* TISTR 292 และ *E. coli* TISTR 780 คือระดับความ

เข้มข้น 50 mg/ml ส่วนค่าความเข้มข้นต่ำสุดในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ 90 เปอร์เซ็นต์ (MIC₉₀) คือ *P. fluorescens* TISTR 358 ที่ระดับความเข้มข้น 50 mg/ml ขณะที่ระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (MBC) ได้แก่ *P. fluorescens* และ *E. coli* TISTR 780 คือ ที่ระดับความเข้มข้น 100 mg/ml ส่วน *S. Typhimurium* TISTR 292 และ *S. aureus* TISTR 118 คือ ที่ระดับความเข้มข้น 50 และ 25 mg/ml ตามลำดับ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.21 จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gupta *et al.* (2012) ได้ทำการวิเคราะห์ผลการต้านจุลินทรีย์ของผลไม้ 6 ชนิดในอินเดียที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์ที่ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ พืชทั้ง 6 ชนิดจะสกัดด้วยสารละลาย น้ำ : อะซิโตน น้ำ : เมทานอล และ เอทานอล : เฮกเซน : น้ำ พบว่า ค่า MIC ของสารสกัดที่ทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดอยู่ในช่วงระหว่าง 4.1 - 6.9 mg/ml⁻¹ โดยเชื้อ *L. monocytogenes* และ *S. aureus* พบว่ามีความเสี่ยงมาก โดยสารสกัดจากน้ำ : เมทานอลและสารผสมมีประสิทธิภาพการเป็นยาต้านจุลินทรีย์มากที่สุด ผลแสดงให้เห็นว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกจะไวต่อปฏิกริยามากกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบอาจจะเป็นเพราะความแตกต่างของโครงสร้างในผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ซึ่งผนังเซลล์แกรมลบเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนซึ่งจะทำให้เป็นอุปสรรคต่อการซึมผ่านของสารสกัดส่วนในแบคทีเรียแกรมบวกมีผนังเซลล์ชั้นเดียวทำให้สารสกัดซึมผ่านได้ง่ายกว่า นอกจากนี้ Singh and Sangwan. (2011) รายงานว่า มะม่วงหาวมะนาวโห่ที่สกัดด้วยเมทานอลสามารถยับยั้งเชื้อ *B. macerans*, *B. subtilis*, *S. aureus* และ *P. aeruginosa* ได้

ตารางที่ 4.21 แสดงค่า MIC และ MBC ของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อการยับยั้ง (MIC) และการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (MBC)

มะม่วงหาวมะนาวโห่			
เชื้อทดสอบ	ความเข้มข้น mg/ml		
	MBC	MIC ₉₀	MIC
<i>Staphylococcus aureus</i> TISTR 118	25	NI	25
<i>Pseudomonas fluorescens</i> TISTR 358	100	50	25
<i>Salmonella Typhimurium</i> TISTR 292	50	NI	50
<i>Escherichia coli</i> TISTR 780	100	NI	50

MIC = Minimum inhibition concentration ; MBC = Minimum bactericidal concentration ; NI = No inhibition

2.3 ศึกษาระยะเวลาที่สารสกัดสัมผัสเชื้อต่อการลดลงของจำนวนเชื้อเป้าหมาย โดยศึกษาจำนวนเชื้อที่มีชีวิตรอดและจำนวนเซลล์ที่บาดเจ็บ (Cell stress) ของเชื้อบริสุทธิ (*In vitro*)

2.3.1 ศึกษาระยะเวลาที่สารสกัดกระเจียบแดงสัมผัสเชื้อต่อการลดลงของจำนวนเชื้อเป้าหมาย โดยศึกษาจำนวนเชื้อที่มีชีวิตรอดและจำนวนเซลล์ที่บาดเจ็บ (Cell stress) ของเชื้อบริสุทธิ (*In vitro*)

2.3.1.1 ผลของสารสกัดกระเจียบแดงต่อการรอดชีวิตของเชื้อ *S. aureus* TISTR 118 (log CFU/ml)

จากการศึกษาการรอดชีวิตของเชื้อ *S. aureus* TISTR 118 (log CFU/ml) ทดสอบกับสารสกัดกระเจียบแดงที่ความเข้มข้น 1 เท่า (25 mg/ml) ของค่า MBC ที่ระยะเวลา 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 นาที โดยศึกษาประชากรเซลล์ของจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total culturable cells) จำนวนเซลล์ที่ไม่บาดเจ็บ (non-stressed cells) และเซลล์ที่บาดเจ็บ (stressed cells) พบว่าความเข้มข้นของสารสกัดมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ที่สภาวะต่างๆ เมื่อระยะเวลาสัมผัส 2 นาที ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด จำนวนเซลล์ที่ไม่บาดเจ็บ และจำนวนเซลล์ที่บาดเจ็บลดลงอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ลดลงจาก 5.79 ± 0.37 , 5.84 ± 0.45 และ 5.11 ± 0.50 log cfu/ml ตามลำดับ เหลือเพียง 2.97 ± 0.20 , 3.08 ± 0.16 และ 1.96 ± 1.09 ตามลำดับ และหลังจากนั้นจุลินทรีย์ทั้ง 3 สภาวะมีปริมาณลดลงอย่างช้าๆ และทำลายจุลินทรีย์ทั้งหมดได้ภายหลังสัมผัสสารสกัดเป็นเวลา 14 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.22 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสารสกัดกระเจียบแดงมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อ *S. aureus* อีกทั้งประสิทธิภาพการทำลายจุลินทรีย์ของสารสกัดจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้นได้ (มุสดี ดั่งวัชรินทร์ และอรุณพร อัฐรัตน์. 2552) โดยปกติแบคทีเรียจะมีอยู่ในสภาวะ non-stressed cells แต่เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม แบคทีเรียจะมีการปรับตัวเพื่อให้สามารถอยู่รอดได้ โดยแบคทีเรียจะมีการเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาค สรีระวิทยา และระบบ metabolism ทำให้แบคทีเรียอยู่ในสภาวะ stressed cells เพื่ออยู่รอดในสภาวะนั้นๆ ได้ ซึ่งการปรับเปลี่ยนสภาวะนี้อาจส่งผลให้แบคทีเรียมีความสามารถทนต่อสารเคมี และสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมอื่นๆ มากขึ้น stressed cells ทำให้แบคทีเรียบาดเจ็บ และหากยังอยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมนั้นต่อจะทำให้แบคทีเรียตายในที่สุด นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าประสิทธิภาพการทำลายแบคทีเรียของสารสกัดจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้น (Griffiths. 2005 อ้างโดยมุสดี ดั่งวัชรินทร์ และอรุณพร อัฐรัตน์. 2552) การบาดเจ็บหรือเซลล์ที่บาดเจ็บของจุลินทรีย์นั้น สามารถเกิดขึ้นได้โดยทั่วไปทางกายภาพ เคมีหรือในสภาวะที่มีสารอาหารที่ไม่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บของจุลินทรีย์ อีกทั้งยังสามารถเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเก็บรักษา หรือเมื่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ไม่เหมาะสม เช่น ได้รับความร้อน แสงแจ้งหรือทำละลาย เป็นต้น ซึ่งจำนวนจุลินทรีย์ที่บาดเจ็บนี้มีความสำคัญในอาหารอย่างมากและเกี่ยวข้องกับสุขภาพของประชาชนอย่างมาก

ตารางที่ 4.22 ระยะเวลาที่สารสกัดกระเจี๊ยบแดงสกัดเชื้อ *S. aureus* TISTR 118 (log CFU/ml) ต่อการมีชีวิตรอดของเซลล์ทั้งหมด เซลล์ไม่บาดเจ็บและเซลล์ที่บาดเจ็บ (Mean $\pm$ SD)

Treatment		ระยะเวลา (นาที่)										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Total culturable cells	กลุ่มควบคุม	6.48 $\pm$ 0.29	5.21 $\pm$ 0.11	5.32 $\pm$ 0.23	5.23 $\pm$ 0.24	5.28 $\pm$ 0.19	5.08 $\pm$ 0.46	5.57 $\pm$ 0.27	5.13 $\pm$ 0.33	5.15 $\pm$ 0.35	5.19 $\pm$ 0.14	5.05 $\pm$ 0.02
	กระเจี๊ยบแดง	5.79 $\pm$ 0.37	2.97 $\pm$ 0.20	2.55 $\pm$ 0.67	1.87 $\pm$ 0.48	1.60 $\pm$ 0.23	1.00 $\pm$ 0.86	0.81 $\pm$ 0.72	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
Non-stressed cells	กลุ่มควบคุม	6.03 $\pm$ 0.10	5.42 $\pm$ 0.05	5.25 $\pm$ 0.21	5.13 $\pm$ 0.30	5.15 $\pm$ 0.10	5.27 $\pm$ 0.07	5.48 $\pm$ 0.46	5.07 $\pm$ 0.36	5.08 $\pm$ 0.15	5.16 $\pm$ 0.16	5.00 $\pm$ 0.08
	กระเจี๊ยบแดง	5.84 $\pm$ 0.45	3.08 $\pm$ 0.16	2.82 $\pm$ 0.27	2.39 $\pm$ 0.59	2.20 $\pm$ 0.61	1.13 $\pm$ 0.98	1.03 $\pm$ 0.90	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
Stressed cells	กลุ่มควบคุม	5.88 $\pm$ 1.58	4.90 $\pm$ 0.37	4.47 $\pm$ 0.57	4.51 $\pm$ 0.20	4.57 $\pm$ 0.51	4.86 $\pm$ 0.40	5.08 $\pm$ 0.34	4.64 $\pm$ 0.34	4.73 $\pm$ 0.29	3.80 $\pm$ 0.17	4.28 $\pm$ 0.17
	กระเจี๊ยบแดง	5.11 $\pm$ 0.50	1.96 $\pm$ 1.09	2.04 $\pm$ 0.34	2.15 $\pm$ 0.74	1.97 $\pm$ 0.87	0.85 $\pm$ 0.74	0.84 $\pm$ 0.74	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00

2.3.1.2 ผลของสารสกัดกระเจียบแดงต่อการรอดชีวิตของเชื้อ *S. Typhimurium* TISTR 292 (log CFU/ml)

จากการศึกษาการรอดชีวิตของเชื้อ *S. Typhimurium* TISTR 292 (log CFU/ml) ทดสอบสารสกัดกระเจียบแดงที่ความเข้มข้น 1 เท่า (50 mg/ml) ของค่า MBC ที่ระยะเวลาที่สารสัมผัสเชื้อมานาน 0, 1, 2 และ 3 นาที โดยศึกษาประชากรเซลล์ของจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total culturable cells) จำนวนเซลล์ที่ไม่บาดเจ็บ (non-stressed cells) และเซลล์ที่บาดเจ็บ (stressed cells) พบว่าความเข้มข้นของสารสกัดมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณจุลินทรีย์ที่สภาวะต่างๆ สามารถทำลายเชื้อ *S. Typhimurium* ได้ภายหลังสัมผัสสารสกัดเป็นเวลา 1 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ระยะเวลาที่สารสกัดกระเจียบแดงสัมผัสเชื้อ *S. Typhimurium* TISTR 292 (log CFU/ml) ต่อการมีชีวิตรอดของเซลล์ทั้งหมด เซลล์ไม่บาดเจ็บและเซลล์ที่บาดเจ็บ (Mean $\pm$ SD)

Treatment		ระยะเวลา (นาที)			
		0	1	2	3
Total culturable cells	กลุ่มควบคุม	5.96 $\pm$ 0.16	5.39 $\pm$ 0.16	5.35 $\pm$ 0.25	5.30 $\pm$ 0.12
	กระเจียบแดง	5.86 $\pm$ 0.36	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
Non-stressed cells	กลุ่มควบคุม	6.07 $\pm$ 0.10	5.35 $\pm$ 0.25	5.31 $\pm$ 0.11	5.32 $\pm$ 0.10
	กระเจียบแดง	6.05 $\pm$ 0.21	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
Stressed cells	กลุ่มควบคุม	5.34 $\pm$ 0.41	4.36 $\pm$ 0.33	4.26 $\pm$ 0.54	4.66 $\pm$ 0.23
	กระเจียบแดง	5.27 $\pm$ 0.64	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00

2.3.2 ศึกษาระยะเวลาที่สารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่สัมผัสเชื้อต่อการลดลงของจำนวนเชื้อเป้าหมาย โดยศึกษาจำนวนเชื้อที่มีชีวิตรอดและจำนวนเซลล์ที่บาดเจ็บ (Cell stress) ของเชื้อบริสุทธิ์ (*In vitro*)

2.3.2.1 ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อการรอดชีวิตของเชื้อ *S. aureus* TISTR 118 (log CFU/ml)

จากการทดลองวิเคราะห์ระยะเวลาที่สารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่สัมผัสเชื้อ *S. aureus* ต่อจำนวนเชื้อที่มีชีวิตรอดและจำนวนเซลล์ที่บาดเจ็บ ที่ระยะเวลา 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 นาที พบว่าจำนวนเชื้อลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที เชื้อ *S. aureus* ไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ Gupta *et al.* 2012 กล่าวว่าแบคทีเรียแกรมบวกมีความไวต่อสิ่งรบกวนได้ไวกว่าแบคทีเรียแกรมลบอาจเนื่องมาจากความแตกต่างกันของโครงสร้างผนังเซลล์ แบคทีเรียแกรมลบจะมี

ผนังเซลล์ที่ซับซ้อนและมีโครงสร้างหลายชั้นประกอบด้วย ชั้นที่เป็นฟอสโฟลิปิด (phospholipids) และ ลิพิดีแซคคาไรด์ (lipolysacchride) ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการผ่านเข้าออกเซลล์ของสารรวมถึงยาปฏิชีวนะกลุ่มสังเคราะห์ และจากธรรมชาติ ส่วนแบคทีเรียแกรมลบมีผนังเพียงชั้นเดียวที่เป็นเปปทิโดไกลแคน (peptidoglycan) ซึ่งไม่เป็นอุปสรรคต่อการซึมผ่านของสาร ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.24

2.3.2.2 ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อการรอดชีวิตของเชื้อ

S. Typhimurium TISTR 292 (log CFU/ml)

จากการทดลองวิเคราะห์ระยะเวลาที่สารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่สัมผัสเชื้อ *S. Typhimurium* ต่อจำนวนเชื้อที่มีชีวิตรอดและจำนวนเซลล์ที่บาดเจ็บ ที่ระยะเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที พบว่าจำนวนเชื้อลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป 6 นาที เชื้อ *S. Typhimurium* ไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับทฤษฎีที่ Gupta et al. 2012 กล่าวไว้ว่าแบคทีเรียแกรมลบจะมีผนังเซลล์ที่ซับซ้อนและมีโครงสร้างหลายชั้นประกอบด้วย ชั้นที่เป็นฟอสโฟลิปิด (phospholipids) และลิพิดีแซคคาไรด์ (lipolysacchride) ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการผ่านเข้าออกเซลล์ของสารรวมถึงยาปฏิชีวนะกลุ่มสังเคราะห์ และจากธรรมชาติ จึงใช้เวลานานเพื่อยับยั้งและฆ่าเชื้อ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.24 ระยะเวลาที่สารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่สัมผัสเชื้อ *S. aureus* TISTR 118 (log CFU/ml) ต่อการมีชีวิตรอดของเซลล์ทั้งหมด เซลล์ไม่บาดเจ็บและเซลล์ที่บาดเจ็บ (Mean $\pm$ SD)

Treatment		ระยะเวลา (นาที)					
		0	5	10	15	20	25
Total culturable cells	กลุ่มควบคุม	6.26 $\pm$ 0.07	5.52 $\pm$ 0.00	5.40 $\pm$ 0.07	5.33 $\pm$ 0.14	5.36 $\pm$ 0.07	5.15 $\pm$ 0.27
	มะม่วงหาวมะนาวโห่	6.24 $\pm$ 0.04	5.21 $\pm$ 0.83	2.45 $\pm$ 0.40	1.73 $\pm$ 0.09	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
Non-stressed cells	กลุ่มควบคุม	6.16 $\pm$ 0.04	5.46 $\pm$ 0.02	5.25 $\pm$ 0.11	5.25 $\pm$ 0.18	5.19 $\pm$ 0.16	5.01 $\pm$ 0.27
	มะม่วงหาวมะนาวโห่	6.16 $\pm$ 0.08	5.06 $\pm$ 0.79	2.35 $\pm$ 0.43	1.54 $\pm$ 0.09	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
Stressed cells	กลุ่มควบคุม	5.57 $\pm$ 0.20	4.60 $\pm$ 0.17	4.83 $\pm$ 0.26	4.54 $\pm$ 0.10	4.82 $\pm$ 0.19	4.60 $\pm$ 0.27
	มะม่วงหาวมะนาวโห่	5.40 $\pm$ 0.33	4.55 $\pm$ 0.93	1.62 $\pm$ 0.43	1.37 $\pm$ 0.08	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00

ตารางที่ 4.25 ระยะเวลาที่สารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่สับผสมเชื้อ *S. Typhimurium* TISTR 292 (log CFU/ml) ต่อการมีชีวิตรอดของเซลล์ทั้งหมดเซลล์ไม่บาดเจ็บ และเซลล์ที่บาดเจ็บ (Mean $\pm$ SD)

Treatment		ระยะเวลา (นาที)					
		0	2	4	6	8	10
Total culturable cells	กลุ่มควบคุม	6.21 $\pm$ 0.07	5.37 $\pm$ 0.17	5.38 $\pm$ 0.39	5.34 $\pm$ 0.32	5.31 $\pm$ 0.41	5.27 $\pm$ 0.35
	มะม่วงหาวมะนาวโห่	6.18 $\pm$ 0.12	4.33 $\pm$ 0.11	2.51 $\pm$ 0.23	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
Non-stressed cells	กลุ่มควบคุม	6.15 $\pm$ 0.11	5.26 $\pm$ 0.19	5.06 $\pm$ 0.51	5.21 $\pm$ 0.32	5.17 $\pm$ 0.34	5.19 $\pm$ 0.33
	มะม่วงหาวมะนาวโห่	6.13 $\pm$ 0.10	4.25 $\pm$ 0.11	2.40 $\pm$ 0.21	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00
Stressed cells	กลุ่มควบคุม	5.24 $\pm$ 0.25	4.72 $\pm$ 0.18	5.06 $\pm$ 0.33	4.60 $\pm$ 0.56	4.69 $\pm$ 0.63	4.47 $\pm$ 0.44
	มะม่วงหาวมะนาวโห่	5.15 $\pm$ 0.33	3.51 $\pm$ 0.16	1.86 $\pm$ 0.32	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00

การทดลองที่ 3 ศึกษาการใช้สารสกัดเพื่อพ่นบ้านในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์คือ ผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบดและผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

3.1 ศึกษาการใช้สารสกัดดอกกระเจี๊ยบแดงในผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบด

3.1.1 ศึกษาผลของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงต่อคุณภาพทางด้านกายภาพ ด้านเคมี และด้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบดที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน

3.1.1.1 คุณภาพด้านกายภาพ

(1) ผลของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อ

สุกรบด

ผลการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L^*) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลอง กลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเก็บรักษา พบว่ากลุ่มที่เติมสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง มีแนวโน้มค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าสีแดง (a^*) เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างการเก็บรักษา พบว่าทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง ค่าสีแดงมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่วันที่ 2 ค่าสีเหลือง (b^*) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเก็บรักษา กลุ่มที่เติมสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง ค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่วันที่ 2 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.26

จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ เขาวลักษณะ สุรพันธุ์พิสัยฐ์ (2546) ทำการศึกษาการใช้สารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารด้านปฏิชีวนาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม กลุ่มที่เติม BHT 0.01% กลุ่มที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดง 0.05, 0.1, 0.2, และ 0.3% สำหรับเปลือกส้มก็ใช้กลุ่มการทดลองเช่นเดียวกันและระดับความเข้มข้นของสารสกัดก็เช่นเดียวกับสารสกัดกระเจี๊ยบแดง เก็บรักษาผลิตภัณฑ์นาน 28 วัน พบว่าหมูแผ่นดิบและสุกที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.05 – 0.1% โดยน้ำหนัก มีค่า a^* ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ส่วนค่า L^* และ b^* มีค่าการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งไม่ได้รายงานค่าไว้

ตารางที่ 4.26 ผลของสารสกัดกระเจียนแดงต่อค่าสีบนเนื้อสุกรบด (mean±SD)

Treatment	0	2	4	6	8	10
<i>L*</i> (Lightness)						
ควบคุม	46.62±0.81 ^{a,A}	46.83±1.30 ^{a,A}	45.93±1.40 ^{a,A}	47.94±1.32 ^{a,A}	48.37±2.85 ^{a,A}	46.94±3.44 ^{a,A}
กระเจียน 50 mg/ml	45.86±0.78 ^{a,B}	47.03±1.69 ^{a,AB}	46.37±0.93 ^{a,B}	47.21±0.81 ^{a,AB}	49.12±1.45 ^{a,A}	47.50±2.19 ^{a,AB}
<i>a*</i> (Redness)						
ควบคุม	6.06±1.08 ^{a,AB}	7.42±1.97 ^{a,A}	6.90±2.40 ^{a,AB}	5.48±2.00 ^{a,AB}	3.92±0.54 ^{a,B}	4.52±0.78 ^{a,AB}
กระเจียน 50 mg/ml	6.80±0.51 ^{a,A}	6.18±0.32 ^{a,AB}	6.02±0.93 ^{a,AB}	5.13±0.83 ^{a,BC}	4.17±1.29 ^{a,C}	4.23±0.29 ^{a,C}
<i>b*</i> (Yellowness)						
ควบคุม	13.03±1.30 ^{a,A}	14.16±0.87 ^{a,A}	13.86±1.65 ^{a,A}	13.60±0.81 ^{a,A}	12.81±1.36 ^{a,A}	12.30±0.11 ^{a,A}
กระเจียน 50 mg/ml	13.39±0.57 ^{a,A}	12.59±0.17 ^{a,AB}	12.87±0.60 ^{a,AB}	12.37±0.60 ^{a,AB}	12.37±0.99 ^{a,AB}	11.99±0.39 ^{a,B}

อักษร^{abc}ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

อักษร^{ABC}ที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

(2) ผลของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงต่อค่าความเป็นกรด-ด่างของ

ผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบด

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของเนื้อหมูบดตลอดทั้งกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดง 50 mg/ml พบว่าในทั้ง 2 กลุ่มการทดลองในระหว่างการเก็บรักษาเดียวกัน ไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา ($P>0.05$) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 10 วัน พบว่าไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.27 ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างไม่ได้รับอิทธิพลจากสารสกัดกระเจี๊ยบที่เติมเข้าไป เช่นเดียวกับการศึกษาของ สุภาพ นนทะสันต์ (2556) ที่ทำการศึกษการประยุกต์ใช้สารต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ 0.2%, 0.4% และ 0.6% พบว่าไม่มีผลกระทบต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง

ตารางที่ 4.27 ผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงต่อค่าความเป็นกรด-ด่างบนเนื้อสุกรบด (mean $\pm$ SD)

วัน	ควบคุม	กระเจี๊ยบ 50 mg/ml
0	5.70 $\pm$ 0.26 ^{a,A}	5.49 $\pm$ 0.29 ^{a,A}
2	5.73 $\pm$ 0.20 ^{a,A}	5.55 $\pm$ 0.14 ^{a,A}
4	5.83 $\pm$ 0.28 ^{a,A}	5.58 $\pm$ 0.25 ^{a,A}
6	5.76 $\pm$ 0.20 ^{a,A}	5.51 $\pm$ 0.24 ^{a,A}
8	5.85 $\pm$ 0.12 ^{a,A}	5.51 $\pm$ 0.18 ^{a,A}
10	6.10 $\pm$ 0.26 ^{a,A}	5.69 $\pm$ 0.35 ^{a,A}

อักษร^{abc} ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

อักษร^{ABC} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3.1.1.2 คุณสมบัติทางด้านเคมี

(1) ผลของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงต่อการออกซิเดชันของไขมันด้วย

เทคนิค Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS) ต่อผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบด

การวิเคราะห์ค่าการออกซิเดชันของไขมันของผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบดโดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติมสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง 50 mg/ml โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบปิดผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน โดยทำการวัดค่าการออกซิเดชันของไขมันทุก ๆ 1 เดือน พบว่าค่าการออกซิเดชันของไขมันในกลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่เติมสารสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารสกัดมีค่าการออกซิเดชัน 6.35 และ 4.99 ตามลำดับ เมื่อเก็บรักษาเนื้อสุกรบดนานขึ้นเป็นเวลา 3 เดือน พบว่าที่ระยะเวลา 2 เดือน ค่าการเปลี่ยนแปลงการออกซิเดชันกลุ่มควบคุมคือ 5.36 เป็น 6.98 ในขณะที่กลุ่มที่เติมสารสกัดมีค่าการออกซิเดชันลดลงจาก 5.33 เป็น 4.73 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.28 ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Mohd-Esa *et al.* (2010) ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในส่วนต่างๆของกระเจี๊ยบแดง (กลีบดอก ใบ เมล็ดและลำต้น) สกัดด้วยน้ำและเอทานอล 80% โดยทำการศึกษารูปประกอบฟีนอลิก ค่า DPPH และนำผลที่ได้ไปศึกษาการต้านออกซิเดชันของไขมันในเนื้อวัวบด (Lipid oxidation) เมื่อเก็บรักษาที่ 4 °C นาน 14 วัน ผลการศึกษาพบว่า ส่วนของเมล็ดที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล 80 % มีค่าฟีนอลิกสูงที่สุด (2.97 ± 0.17 mg GAE /g และ 4.87 ± 0.14 mg GAE /g) มีค่า DPPH สูงที่สุด (65.1 ± 2.58 % และ 91.8 ± 1.05 %) เนื่องจากในส่วนของเมล็ดมีปริมาณค่าฟีนอลิกและการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าทุกๆส่วน จึงนำไปเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในเนื้อวัวบด โดยศึกษาค่า Lipid oxidation ด้วยวิธี TBARS ของสารสกัดเมล็ดกระเจี๊ยบ ปริมาณการใช้คือที่ความเข้มข้น 7.5 กรัม/กิโลกรัม พบว่าสามารถลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันได้เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมคือ BHT และ α -tocopherol ทั้งนี้เนื่องมาจากในส่วนของสารสกัดจากเมล็ดนั้นมีค่าฟีนอลิกและค่า DPPH ที่สูงกว่า BHT และ α -tocopherol จึงนำไปใช้เป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติในผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.28 ผลของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่า TBARS ของผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบด (Mean±SD)

เดือน	ควบคุม	กระเจี๊ยบ 50 mg/ml
0	6.35±0.17 ^{a,AB}	4.99±0.06 ^{b,A}
1	2.47±0.58 ^{a,C}	2.82±1.26 ^{a,B}
2	5.36±1.24 ^{a,B}	5.33±0.63 ^{a,A}
3	6.98±0.68 ^{a,A}	4.73±0.55 ^{b,A}

อักษร^{abc} ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

อักษร^{ABC} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

(2) ผลของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงต่อการกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH) ของผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบด

การวิเคราะห์ค่าการกำจัดอนุมูลอิสระ (DPPH) ของผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบดโดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติมสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง 50 mg/ml โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบปิดผนึกด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน โดยทำการวัดค่าการออกซิเดชันของไขมันทุก ๆ 1 เดือน พบว่าค่าการออกซิเดชันของไขมันในกลุ่มที่เติมสารสกัดมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงและกลุ่มควบคุมมีค่า DPPH 76.85 และ 15.85 ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาเนื้อสุกรบดนานขึ้นเป็นเวลา 3 เดือนพบว่ากลุ่มควบคุมมีค่า DPPH ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น ในขณะที่กลุ่มที่เติมสารสกัดมีค่า DPPH สูงขึ้น ($P < 0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบดกลุ่มที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงสามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ดี ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.29

สุภาพ นนทะสันต์ (2556) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้สารต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเพื่อศึกษาผลของการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วย เอทานอล ปริมาณต่างๆ ได้แก่ 0.2%, 0.4% และ 0.6% และศึกษาผลต่อคุณภาพทางด้านเคมี ได้แก่ ปริมาณแอนโทไซยานิน ค่า DPPH (2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl, ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นเป็น 4.34, 8.90 และ 14.64 mg/kg และความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 12.57, 24.24 และ 31.24 ตามลำดับ เนื่องจากคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงของแอนโทไซยานินซึ่งมีอยู่ในสารสกัดที่เติมลงไป Mohd-Esa *et al.* (2010) ศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูล

อิสระในส่วนต่างๆของกระเจี๊ยบแดง (กลีบดอก ใบ เมล็ดและลำต้น) สกัดด้วยน้ำและเอทานอล 80% โดยทำการศึกษาศรประกอบฟีนอลิก ค่า DPPH และนำผลที่ได้ไปศึกษาการต้านออกซิเดชันของไขมันในเนื้อวัวบด (Lipid oxidation) เมื่อเก็บรักษาที่ 4 °C นาน 14 วัน ผลการศึกษาพบว่า ส่วนของเมล็ดที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล 80 % มีค่าฟีนอลิกสูงที่สุด (2.97 ± 0.17 mg GAE /g และ 4.87 ± 0.14 mg GAE /g) มีค่า DPPH สูงที่สุด (65.1 ± 2.58 % และ 91.8 ± 1.05 %) เนื่องจากในส่วนของเมล็ดมีปริมาณค่าฟีนอลิกและการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าทุกๆส่วน อีกทั้ง Christian and Jackson (2009) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของกระเจี๊ยบ 3 ช่วงการเจริญเติบโตตลอดระยะเวลา 35 วัน (traditional bearing red:TRED, early bearing red:ERED และ white:WHITE) โดยศึกษาศรประกอบฟีนอลิก ปริมาณแอนโทไซยานินและการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) พบว่าในกระเจี๊ยบในช่วง ERED มีความสามารถต้านอนุมูลอิสระได้สูงที่สุด (79%) เนื่องมาจากสารประกอบฟีนอลิก รวมทั้งสารแอนโทไซยานินและสารที่ไม่ใช่แอนโทไซยานิน และหากนำไปใช้ร่วมกับ BHA จะทำให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากถึง 86%

ตารางที่ 4.29 ผลของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงและระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่า DPPH ของผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบด (mean $\pm$ SD)

เดือน	ควบคุม	กระเจี๊ยบ 50 mg/ml
0	15.85 $\pm$ 1.05 ^{a,A}	76.85 $\pm$ 0.13 ^{b,B}
1	15.29 $\pm$ 1.59 ^{a,A}	92.70 $\pm$ 1.92 ^{b,A}
2	14.74 $\pm$ 0.64 ^{a,A}	93.21 $\pm$ 1.44 ^{b,A}
3	11.65 $\pm$ 0.38 ^{a,B}	93.74 $\pm$ 1.62 ^{b,A}

อักษร^{ab} ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

อักษร^{AB} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

3.1.1.3 คุณสมบัติทางด้านจุลินทรีย์

(1) ผลของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงต่อจำนวนจุลินทรีย์รวมของผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบด

จากการศึกษาจำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวม (Total Plate Count) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลองทั้ง 2 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน (P>0.05) แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ในวันที่ 8 กลุ่มที่เติมสารสกัดพบว่ามีจำนวนเชื้อน้อยกว่ากลุ่มควบคุม โดยมีค่า 6.24 log cfu/g และกลุ่มควบคุมมีค่า 7.31 log cfu/g แต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ (P>0.05)

และกลุ่มที่เดิม และมีปริมาณเชื้อมากที่สุดในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.30 จากการสุ่มตัวอย่างชี้ให้เห็นว่า เนื้อสุกมีสุขลักษณะในการผลิตที่ดี เนื่องจากจำนวนจุลินทรีย์รวมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกษ 6000-2547) เนื้อสุก. 2547) ซึ่งกำหนดไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 5×10^5 โคโลนี (CFU) ต่อตัวอย่าง 1 กรัม เมื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดกระเจียบแดงที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ พบว่าไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์รวมได้ เนื่องจากจุลินทรีย์ที่พบในเนื้อสัตว์มีหลายชนิด บางชนิดสามารถยับยั้งได้ บางชนิดไม่สามารถยับยั้งได้ และหากมีปริมาณที่สารสกัดไม่สามารถยับยั้งได้มากกว่า จึงทำให้ไม่พบการลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้ และชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ (นิพนธ์ ลิมสงวน, 2547) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Babatunde and Adewumi (2015) ทำการศึกษาผลของการใช้สารสกัดจากดอกกระเจียบแดงที่สกัดด้วยเอทานอลในแพคดีไก่ พบว่าจำนวนจุลินทรีย์รวมทั้งหมดเมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 14 วัน มีจำนวนเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.30 ผลของสารสกัดกระเจียบแดงต่อเชื้อจุลินทรีย์รวม (Total Plate Count) (log cfu/g) บนเนื้อสุกรบด (mean±SD)

วัน	ควบคุม	กระเจียบ 50 mg/ml	จำนวนเชื้อที่ลดลง (log reduction)
0	4.99±0.31 ^{a,B}	4.79±0.01 ^{a,B}	0.2
2	5.19±0.41 ^{a,B}	4.90±0.11 ^{a,B}	0.29
4	5.20±0.42 ^{a,B}	5.44±0.13 ^{a,B}	-
6	5.86±0.40 ^{a,B}	5.82±0.34 ^{a,AB}	0.04
8	7.31±0.65 ^{a,A}	6.24±0.71 ^{a,AB}	1.07
10	7.92±0.54 ^{a,A}	7.36±1.28 ^{a,A}	0.56

อักษร^{abc} ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

อักษร^{ABC} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

(2) ผลของสารสกัดจากดอกกระเจียบแดงต่อจำนวนจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (Psychrotrophic) ของผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบด

จากการศึกษาจำนวนเชื้อที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (Psychrotrophic) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลองทั้ง 2 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา กลุ่มที่เดิมสารสกัดมีแนวโน้มเชื้อที่ชอบ

อุณหภูมิต่ำ (Psychrotrophic) ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่า 6.49 log cfu/g และ 7.01 log cfu/g ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 ผลของสารสกัดกระเจียบแดงต่อเชื้อที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (Psychrotrophic) (log cfu/g) บนเนื้อสุกรบด (mean $\pm$ SD)

วัน	ควบคุม	กระเจียบ 50 mg/ml	จำนวนเชื้อที่ลดลง (log reduction)
0	4.23 $\pm$ 0.33 ^{a,C}	3.90 $\pm$ 0.57 ^{a,C}	0.33
2	4.51 $\pm$ 0.71 ^{a,C}	3.95 $\pm$ 0.77 ^{a,C}	0.56
4	5.38 $\pm$ 0.79 ^{a,BC}	5.05 $\pm$ 0.86 ^{a,BC}	0.33
6	7.01 $\pm$ 0.39 ^{a,AB}	6.49 $\pm$ 0.92 ^{a,AB}	0.52
8	8.00 $\pm$ 0.74 ^{a,A}	7.62 $\pm$ 0.53 ^{a,A}	0.38
10	8.87 $\pm$ 1.19 ^{a,A}	8.36 $\pm$ 0.86 ^{a,A}	0.51

อักษร^{abc} ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

อักษร^{ABC} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

(3) ผลของสารสกัดจากดอกกระเจียบแดงต่อจำนวนยีสต์และราของผลิตภัณฑ์เนื้อ

สุกรบด

จากการศึกษาจำนวนยีสต์รา สารสกัดไม่มีผลต่อจำนวนยีสต์และรา จำนวนยีสต์และราจึงไม่แตกต่างกันในทางสถิติทุกกลุ่มการทดลอง ($P>0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาการเก็บรักษา 10 วัน พบว่า ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา จำนวนเชื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกกลุ่มการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และมีปริมาณเชื้อมากที่สุดในวันที่ 10 ของการเก็บรักษา ดังแสดงในตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงต่อเชื้อยีสต์และรา (log cfu/g) บนเนื้อสุกรบด (mean±SD)

วัน	ควบคุม	กระเจี๊ยบ 50 mg/ml	จำนวนเชื้อที่ลดลง (log reduction)
0	3.54±0.03 ^{a,D}	3.54±0.32 ^{a,BC}	-
2	3.85±0.10 ^{a,BCD}	3.49±0.36 ^{a,B}	0.36
4	3.75±0.05 ^{a,CD}	3.55±0.05 ^{a,BC}	0.2
6	4.06±0.14 ^{a,BC}	3.92±0.12 ^{a,BC}	0.14
8	4.21±0.37 ^{a,B}	4.15±0.31 ^{a,B}	0.06
10	4.96±0.09 ^{a,A}	5.21±0.06 ^{a,A}	-

อักษร^{abc} ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

อักษร^{ABC} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

(4) ผลของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงต่อจำนวน Coliforms และ *E. coli* ของผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบด

จากผลการศึกษาจำนวนเชื้อ Coliform เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มการทดลอง กลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดง 50 mg/ml ทั้ง 2 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกัน (P>0.05) เมื่อเก็บนาน 10 วัน วันที่ 6, 8 และ 10 กลุ่มที่เติมสารสกัดมีแนวโน้มจำนวนเชื้อต่ำกว่ากลุ่มทดลอง แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) โดยกลุ่มควบคุมในวันที่ 6, 8 และ 10 มีจำนวนเชื้อ 4.94±0.48, 5.92±0.39 และ 6.82±0.31 และกลุ่มที่เติมสารสกัดมีจำนวนเชื้อ 4.54±0.67, 5.15±0.49 และ 5.99±0.65 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามในวันที่ 8 และ 10 กลุ่มที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมีแนวโน้มเชื้อน้อยกว่ากลุ่มควบคุม (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 4.33 เมื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ พบว่าไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ Coliform ได้ ผลดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสารสกัดเนื่องจากในเนื้อสัตว์มีปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของสารสกัด เช่น สารอินทรีย์ต่างๆ ไขมัน หรือเชื้อชนิดอื่นๆ ทำให้สิ่งเหล่านี้ไปขัดขวางการทำงานของสารสกัด ทำให้สารสกัดออกฤทธิ์ได้ไม่เต็มที่ อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์และความเข้มข้นของสารสกัด (นิพนธ์ ลิ้มสงวน. 2547)

ตารางที่ 4.33 ผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงต่อเชื้อ Coliform (log cfu/g) บนเนื้อสุกรบด (mean±SD)

วัน	ควบคุม	กระเจี๊ยบ 50 mg/ml	จำนวนเชื้อที่ลดลง (log reduction)
0	3.90±0.34 ^{a,C}	3.91±0.18 ^{a,C}	-
2	4.18±0.37 ^{a,BC}	3.95±0.15 ^{a,BC}	0.23
4	4.28±0.35 ^{a,BC}	4.30±0.37 ^{a,BC}	-
6	4.94±0.48 ^{a,B}	4.54±0.67 ^{a,BC}	0.4
8	5.92±0.39 ^{a,A}	5.15±0.49 ^{a,AB}	0.77
10	6.82±0.31 ^{a,A}	5.99±0.65 ^{a,A}	0.83

อักษร^{abc} ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

อักษร^{ABC} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากผลการศึกษานี้ ตรวจไม่พบเชื้อ *E. coli* ทั้ง 2 กลุ่มการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงต่อเชื้อ *E. coli* (log cfu/g) บนเนื้อสุกรบด (mean±SD)

วัน	ควบคุม	กระเจี๊ยบ 50 mg/ml
0	<10*	<10*
2	<10*	<10*
4	<10*	<10*
6	<10*	<10*
8	<10*	<10*
10	<10*	<10*

* น้อยกว่า 10 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

จากการศึกษาจำนวน เชื้อ Total Coliforms, Fecal Coliforms และ *E. coli* ต่อน้ำหนักเนื้อสุกรบด พบว่า จำนวน Total Coliforms และ Fecal Coliforms สามารถตรวจพบได้จากกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารสกัด แต่พบว่ากลุ่มที่เติมสารสกัดมีปริมาณเชืวน้อยกว่ากลุ่มควบคุม และทั้งสองกลุ่มการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 10 วัน สำหรับเชื้อ *E. coli* ตรวจไม่พบทั้งในกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารสกัด ดังแสดงในตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 Total Coliforms, Fecal Coliforms and *E. coli* ต่อน้ำหนักเนื้อสุกรบด

วัน	Total Coliforms (MPN/g)		Fecal Coliforms (MPN/g)		<i>E. coli</i> (MPN/g)	
	ควบคุม	กระเจียบ 50 mg/ml	ควบคุม	กระเจียบ 50 mg/ml	ควบคุม	กระเจียบ 50 mg/ml
0	43-93	43-93	43-93	43-93	<3	<3
2	29-460	43-93	43-460	93-240	<3	<3
4	43-150	23-43	150	23-43	<3	<3
6	23-460	9.1-240	23-460	9.1-240	<3	<3
8	23-460	39-460	23-240	39-460	<3	<3
10	23-1100	23-460	23-1100	23-460	<3	<3

(4) การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบดลดขนาดแบบดิบ พบว่ากลุ่มที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมีคะแนนความชอบด้านสีและด้านลักษณะโดยรวมแตกต่างจากกลุ่มควบคุมเพียงอย่างเดียว ($P < 0.05$) ส่วนผลการประเมินในด้านลักษณะปรากฏและกลิ่นรสไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) อีกทั้งคะแนนในทุกลักษณะของผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบดแบบดิบในกลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่เติมสารสกัดเพียงเล็กน้อย อาจกล่าวได้ว่าผลการประเมินทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ที่เป็นกลุ่มควบคุมมากกว่ากลุ่มที่เติมสารสกัด ดังแสดงในตารางที่ 4.36 และผลการประเมินทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบดลดขนาดแบบสุกนั้น พบว่ากลุ่มที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงมีคะแนนความชอบด้านสีที่ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมเพียงอย่างเดียว ($P > 0.05$) ส่วนผลการประเมินในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติและลักษณะโดยรวมแตกต่างกัน ($P < 0.05$) อีกทั้งคะแนนในทุกลักษณะของผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบดแบบสุกในกลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่เติมสารสกัด อาจกล่าวได้ว่าผลการประเมินทางประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ที่เป็นกลุ่มควบคุมมากกว่ากลุ่มที่เติมสารสกัด ดังแสดงในตารางที่ 4.37

ตารางที่ 4.36 ผลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงต่อการประเมินความชอบโดยรวมของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบด (ผลิตภัณฑ์ดิบ) (Mean $\pm$ SD)

คุณลักษณะ	ควบคุม	กระเจี๊ยบ 50 mg/ml
ลักษณะปรากฏ	5.00 $\pm$ 1.00 ^a	4.32 $\pm$ 1.11 ^a
สี	5.47 $\pm$ 1.17 ^a	4.11 $\pm$ 1.05 ^b
กลิ่นรส	4.84 $\pm$ 1.26 ^a	4.42 $\pm$ 1.17 ^a
ลักษณะโดยรวม	5.32 $\pm$ 1.20 ^a	4.16 $\pm$ 1.17 ^b

^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

คะแนนความชอบ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบ, 4 = เฉย ๆ, 5 = ชอบ, 6 = ชอบมาก, 7 = ชอบมากที่สุด

ตารางที่ 4.37 ผลของสารสกัดจากกระเจี๊ยบแดงต่อการประเมินความชอบโดยรวมของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์เนื้อสุกรบด (ผลิตภัณฑ์สุก) (Mean±SD)

คุณลักษณะ	ควบคุม	กระเจี๊ยบ 50 mg/ml
ลักษณะปรากฏ	4.74 ± 1.05 ^a	3.95 ± 1.22 ^b
สี	5.16 ± 0.09 ^a	4.89 ± 0.94 ^a
กลิ่นรส	4.74 ± 1.05 ^a	4.00 ± 1.15 ^b
เนื้อสัมผัส	4.95 ± 0.78 ^a	3.53 ± 1.02 ^b
รสชาติ	4.74 ± 1.10 ^a	1.11 ± 0.32 ^b
ลักษณะโดยรวม	4.89 ± 0.99 ^a	1.63 ± 0.05 ^b

^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

คะแนนความชอบ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบ, 4 = เฉย ๆ, 5 = ชอบ, 6 = ชอบมาก, 7 = ชอบมากที่สุด

3.1.2 ศึกษาความสามารถของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในเนื้อสุกรบด โดยการเติมเชื้อก่อโรค *S. aureus* และ *S. Typhimurium* เก็บรักษาอุณหภูมิ 4 °C เป็นระยะเวลาการเก็บรักษา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน โดยศึกษาคุณสมบัติดังนี้ จากนั้นตรวจสอบการมีชีวิตรอดของเชื้อดังกล่าว

3.1.2.1 ศึกษาความสามารถของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในเนื้อสุกรบด โดยการเติมเชื้อก่อโรค *S. aureus*

ศึกษาผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงความเข้มข้น 50 mg/ml ต่อการมีชีวิตรอดของเชื้อ *S. aureus* ในเนื้อสุกรบด โดยการเติมเชื้อ *S. aureus* ปริมาณ 10^3 cfu/g ลงในเนื้อสุกรบด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) ผลการทดลองพบว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติมสารสกัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) มีค่า 3.26 และ 3.20 ตามลำดับ ในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา กลุ่มที่เติมสารสกัดมีแนวโน้มจำนวนเชื้อต่ำกว่ากลุ่มควบคุม โดยกลุ่มควบคุมมีจำนวนเชื้อ 4.16, 4.53, 4.86, 5.07 และ 6.42 และกลุ่มที่เติมสารสกัดมีจำนวนเชื้อ 3.35, 3.64, 3.73, 4.17 และ 4.43 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 ผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงต่อการมีชีวิตรอดของเชื้อ *S. aureus* (log cfu/g) ในเนื้อสุกรบด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน (mean±SD)

วัน	ควบคุม	กระเจี๊ยบ 50 mg/ml	จำนวนเชื้อที่ลดลง (log reduction)
0	3.26±0.08 ^{a,E}	3.20±0.11 ^{a,B}	0.06
2	4.16±0.37 ^{a,D}	3.35±0.05 ^{b,B}	0.81
4	4.53±0.18 ^{a,C}	3.64±0.20 ^{b,AB}	0.89
6	4.86±0.03 ^{a,B}	3.73±0.23 ^{b,AB}	1.13
8	5.07±0.16 ^{a,B}	4.17±0.74 ^{b,A}	0.9
10	6.42±0.06 ^{a,A}	4.43±0.65 ^{b,A}	1.99

อักษร^{A-E} ที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

อักษร^{a-b} ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3.1.2.2 ศึกษาความสามารถของสารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในเนื้อสุกรบด โดยการเติมเชื้อก่อโรค *S. Typhimurium*

ศึกษาผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงความเข้มข้น 50 mg/ml ต่อการมีชีวิตรอดของเชื้อ *S. Typhimurium* ในเนื้อสุกรบด โดยการเติมเชื้อ *S. Typhimurium* ปริสุทธิจำนวน 10^3 cfu/g ลงในเนื้อสุกรบด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 10 วัน เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) ผลการทดลองพบว่าการเติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงไม่มีผลต่อการลดลงของเชื้อ *S. Typhimurium* ในเนื้อสุกรบด โดยพบว่าจำนวนเชื้อไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมเมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลาสั้นขึ้น ($P>0.05$) ในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา กลุ่มที่เติมสารสกัดมีแนวโน้มจำนวนเชื้อต่ำกว่ากลุ่มควบคุม โดยกลุ่มควบคุมมีจำนวนเชื้อ 6.98 และ 7.41 และกลุ่มที่เติมสารสกัดมีจำนวนเชื้อ 6.38 และ 7.17 ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.39

เนื้อสัตว์ที่เน่าเสียง่ายผลิตภัณฑ์อาหารสูงและเป็นอันตรายเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ *Salmonella* spp และ *S. aureus* เป็นปัญหาสำคัญของการเกิดโรคที่เกิดจากอาหาร *Salmonella* spp พบมากที่สุด ในอาหารพวกสัตว์ปีกและเนื้อหมู เชื้อ *S. aureus* ถือเป็นที่สองหรือที่สามการติดเชื้อที่พบมากที่สุดที่ก่อให้เกิดการระบาดของ poisonsing ในอาหาร มีรายงาน

เกี่ยวกับการแพร่ระบาดของโรคเชื้อ Salmonella ในประเทศในยุโรปในปี 2013 จำนวน 9 ความตายและ 82,694 ป่วยเนื่องจากการบริโภคเนื้อสัตว์ที่ถูกปนเปื้อนด้วย S. Typhimurium

ตารางที่ 4.39 ผลของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงต่อการมีชีวิตรอดของเชื้อ S. Typhimurium (log cfu/g) ในเนื้อสุกรบด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 วัน (mean±SD)

วัน	ควบคุม	กระเจี๊ยบ 50 mg/ml	จำนวนเชื้อที่ลดลง (log reduction)
0	3.12±0.17 ^{a,D}	3.07±0.08 ^{a,E}	0.05
2	4.14±0.11 ^{a,C}	4.25±0.25 ^{a,D}	-
4	5.20±0.10 ^{a,B}	5.13±0.01 ^{a,C}	0.07
6	5.64±0.06 ^{a,B}	5.59±0.01 ^{a,C}	0.05
8	6.98±0.38 ^{a,A}	6.38±0.57 ^{a,B}	0.6
10	7.41±0.68 ^{a,A}	7.17±0.57 ^{a,A}	0.24

อักษร^{a-b} ที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

อักษร^{A-E} ที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

3.2 ศึกษาการใช้สารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ในผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

3.2.1 ศึกษาผลของกระบวนการทำให้สุกต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน ศึกษากระบวนการทำให้สุกเพื่อผลิตหมูหวานพร้อมรับประทาน 2 วิธี ได้แก่ (1) อบให้มีอุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์หมูหวาน 71 °C ด้วยอุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที (2) อบให้มีอุณหภูมิใจกลางผลิตภัณฑ์หมูหวาน 71 °C ด้วยอุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที และนำไปย่างด้วยอุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 6 นาที

1. คุณภาพทางด้านกายภาพและด้านเคมี

เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลได้ของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง (% drying yield) พบว่ากลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่อบแล้วนำไปย่างมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 49.17% และ

47.50% ตามลำดับ จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่ากลุ่มที่อบแล้วนำไปย่างมีเปอร์เซ็นต์ผลได้ที่ต่ำกว่ากลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียวเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอบทั้งสองแบบมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยกลุ่มที่อบแล้วนำไปย่างมีแวนโน้มมีค่า a_w ต่ำกว่ากลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียว ส่วนค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ภายหลังผ่านกระบวนการทำให้สุก พบว่าค่าความชื้นของทั้งสองกลุ่มการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) แต่จะเห็นว่ากลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียวมีค่าความชื้นสูงกว่ากลุ่มที่นำไปอบแล้วย่าง ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ที่ และค่าวอเตอร์แอกติวิตี จากผลการทดลองกระบวนการทำให้สุก โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้งที่ใช้ความร้อนในการทำสุกโดยตรงจะมีการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์สูง โดยทั่วไปอาหารกึ่งแห้งจะมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.60-0.85 และมีความชื้นอยู่ในช่วง 15-35% (นิธิยา รัตนูปนันท. 2545 ; Yang *et al.* 2009 ; Chen *et al.* 2000) ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์กลุ่มที่อบแล้วนำไปย่างมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ที่หลังอบแห้ง ค่าวอเตอร์แอกติวิตี และความชื้นต่ำ เนื่องจากการย่างที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาทีนี้เองทำให้ผลิตภัณฑ์มีการระเหยของน้ำออกเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีค่าต่ำกว่ากลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียว ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.40

ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์จากการทดสอบ Texture Profile Analysis ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) พบว่ากลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียวมีค่าความแข็ง (hardness) ต่ำกว่ากลุ่มที่อบแล้วนำไปย่าง ($P < 0.05$) ค่าความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) ส่วนค่าความเหนียวเป็นกาวหรือยาง (gumminess) ค่าความยืดหยุ่น (springiness) และค่าการเคี้ยวได้ (chewiness) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนการวิเคราะห์ค่าแรงเฉือนของผลิตภัณฑ์ พบว่ากลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียวมีค่าแรงเฉือนต่ำกว่ากลุ่มที่อบแล้วนำไปย่าง ($P < 0.05$) จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการอบแล้วนำไปย่างส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในด้านความแข็งและค่าแรงเฉือน ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.40

ในคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ค่าสีแดง (a^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) (ตารางที่ 4.40) จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการย่างส่งผลต่อค่าความสว่างลดลง ถึงแม้ว่าทั้งสองกลุ่มการทดลองค่าความสว่างจะไม่แตกต่างกัน เนื่องจากความร้อนในการย่างทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีที่เข้มขึ้น

ตารางที่ 4.40 ผลของกระบวนการทำให้สุกต่อคุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

ลักษณะที่ศึกษา	อบ	อบแล้วนำไปย่าง
Drying yield (%)	49.17 ± 0.44 ^a	47.50 ± 0.32 ^a
Water activity (%)	0.70 ± 0.01 ^a	0.69 ± 0.03 ^a
Moisture (% wet basis)	17.33 ± 0.91 ^a	15.59 ± 0.41 ^a
Colour		
- Lightness (L*)	26.40 ± 0.65 ^a	25.36 ± 0.37 ^a
- Redness (a*)	10.04 ± 0.61 ^a	10.34 ± 0.87 ^a
- Yellowness (b*)	8.54 ± 0.51 ^a	8.68 ± 0.04 ^a
Shear force	10.94 ± 0.64 ^b	14.65 ± 0.66 ^a
Texture Profile Analysis		
- Hardness (N)	4.88 ± 0.26 ^b	6.12 ± 0.16 ^a
- Cohesiveness (ratio)	0.72 ± 0.01 ^a	0.66 ± 0.02 ^a
- Gumminess (N)	3.49 ± 0.13 ^a	4.06 ± 0.17 ^a
- Springiness (ratio)	1.15 ± 0.02 ^a	1.23 ± 0.03 ^a
- Chewiness (N)	3.50 ± 0.14 ^a	4.07 ± 0.17 ^a

^{ab} ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

2. คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

จากผลการประเมินผลทางประสาทสัมผัส พบว่ากลุ่มที่อบแล้วนำไปย่างมีคะแนนความชอบด้านสี และด้านเนื้อสัมผัสแตกต่างจากกลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียว ($P < 0.05$) ส่วนผลการประเมินในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่นรส รสชาติ ความหวาน และลักษณะโดยรวมไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) แต่คะแนนในทุกลักษณะของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่อบแล้วนำไปย่างมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียวเล็กน้อย

ตารางที่ 4.41 ผลของกระบวนการทำให้สุกต่อการประเมินความชอบโดยรวมของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์ หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

ลักษณะของผลิตภัณฑ์	อบ	อบแล้วนำไปย่าง
ลักษณะปรากฏ	5.38 ^a	5.58 ^a
สี	5.17 ^b	5.40 ^a
กลิ่นรส	5.00 ^a	5.42 ^a
เนื้อสัมผัส	5.58 ^b	6.04 ^a
รสชาติ	5.67 ^a	5.83 ^a
ความหวาน	5.04 ^a	5.13 ^a
ลักษณะโดยรวม	5.46 ^a	5.54 ^a

^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

คะแนนความชอบ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบ, 4 = เฉย ๆ, 5 = ชอบ, 6 = ชอบมาก, 7 = ชอบมากที่สุด

3. ผลของกระบวนการทำให้สุกต่อการอยู่รอดของเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* ในผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานเมื่อผ่านกระบวนการทำให้สุก

จากการศึกษาการอยู่รอดของเชื้อ *S. aureus* ที่มีชีวิตรอดภายหลังผ่านกระบวนการทำให้สุกโดยการเติมเชื้อ *S. aureus* ลงไปในผลิตภัณฑ์หมูหวานแล้วนำไปผ่านกระบวนการทำให้สุกทั้ง 2 แบบ คือ กลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่อบแล้วนำไปย่าง พบว่าเชื้อ *S. aureus* ก่อนการเติมเชื้อในกลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียวและกลุ่มที่อบแล้วนำไปย่าง มีจำนวน 1.64 และ 1.19 log cfu/g ตามลำดับ และภายหลังจากการเติมเชื้อที่ 10^5 cfu/g พบว่ากลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียวและกลุ่มที่อบแล้วนำไปย่าง มีจำนวนเชื้อ 5.20 และ 5.21 log cfu/g ตามลำดับ ภายหลังจากผ่านกระบวนการทำให้สุกทั้ง 2 แบบ ไม่พบจำนวนเชื้อ *S. aureus* โดยค่าการตรวจพบต่ำกว่าระดับที่กำหนดที่สามารถตรวจนับได้ (<10 cfu/g) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.42 มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 2549) ได้กำหนดว่าในผลิตภัณฑ์ สามารถพบเชื้อ *S. aureus* ได้น้อยกว่า 200 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม เชื้อ *S. aureus* สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 6 – 45 °C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 46 °C เชื้อจะไม่สามารถเจริญได้ (สุมนหา วัฒนสินธุ์. 2545) แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การเจริญที่สุดอยู่ระหว่าง 35 – 37 °C (Concon. 1988) ดังนั้นในกระบวนการทำให้สุกทั้ง 2 แบบ ซึ่งใช้ความร้อนอุณหภูมิ 85 °C ทำให้เชื้อ *S. aureus* ไม่สามารถเจริญได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์หมูหวานมีความปลอดภัยในด้านการบริโภค

ตารางที่ 4.42 จำนวนเชื้อ *S. aureus* ที่มีชีวิตรอดในระหว่างกระบวนการทำให้สุก

การตรวจวิเคราะห์	จำนวนเชื้อ <i>S. aureus</i> (log cfu/g)	
	อบ	อบแล้วนำไปย่าง
ก่อนการเติมเชื้อ	1.64 ± 0.30	1.19 ± 0.40
หลังการเติมเชื้อ	5.20 ± 0.09	5.21 ± 0.10
หลังกระบวนการทำให้สุก	<10*	<10*

* น้อยกว่า 10 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

การศึกษาความอยู่รอดของเชื้อ *E. coli* ที่มีชีวิตรอดภายหลังผ่านกระบวนการทำให้สุกโดยการเติมเชื้อ *E. coli* ลงไปในผลิตภัณฑ์หมูหวานแล้วนำไปผ่านกระบวนการทำให้สุกทั้ง 2 แบบ คือ กลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่อบแล้วนำไปย่าง พบว่าก่อนการเติมเชื้อทุกกลุ่มการทดลองค่าที่ตรวจพบต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้ (<10 cfu/g) และภายหลังจากการเติมเชื้อที่ 10^5 cfu/g พบว่ากลุ่มที่อบเพียงอย่างเดียวและกลุ่มที่อบแล้วนำไปย่าง มีจำนวนเชื้อ 5.22 และ 5.20 log cfu/g ตามลำดับ ภายหลังจากผ่านกระบวนการทำให้สุกทั้ง 2 แบบ ไม่พบจำนวนเชื้อ *E. coli* โดยค่าการตรวจพบต่ำกว่าระดับที่กำหนดที่สามารถตรวจนับได้ (<10 cfu/g) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.43 Zottola and Smith. (1990) กล่าวว่าเชื้อ *E. coli* สามารถเจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 30 – 42 °C นอกจากนี้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มพช. 2549) ได้กำหนดว่าในผลิตภัณฑ์ สามารถพบเชื้อ *E. coli* โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า 50 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม

ตารางที่ 4.43 จำนวนเชื้อ *E. coli* ที่มีชีวิตรอดในระหว่างกระบวนการทำให้สุก

การตรวจวิเคราะห์	จำนวนเชื้อ <i>E. coli</i> (log cfu/g)	
	อบ	อบแล้วนำไปย่าง
ก่อนการเติมเชื้อ	<10*	<10*
หลังการเติมเชื้อ	5.22 ± 0.07	5.20 ± 0.08
หลังกระบวนการทำให้สุก	<10*	<10*

* น้อยกว่า 10 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

3.2.2 ศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อคุณภาพด้านกายภาพ และด้านเคมีของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

เลือกสัดส่วนไขมันที่เหมาะสมและผู้บริโภคให้การยอมรับจากการทดลองที่ 1 มาทำการศึกษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ (1) บรรจุแบบสุญญากาศ (Vacuum pack) (2) บรรจุแบบมีอากาศภายในมีวัตถุดิบขับออกซิเจน (aerobic pack) โดยศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานเป็นระยะเวลา 2 เดือน สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาทุก ๆ 2 สัปดาห์ เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส ซึ่งผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

1. คุณภาพด้านกายภาพ

1.1 ค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง และค่าวอเตอร์แอคทีวิตี

เมื่อคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง (% drying yield) ดังแสดงในตารางที่ 4.44 พบว่าผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการทำให้สุกมีค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้อยู่ที่ 60.67% มีค่า a_w เริ่มต้นเท่ากับ 0.69 การเปลี่ยนแปลงของค่า a_w ต่อรูปแบบการบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลานาน 8 สัปดาห์ พบว่าค่า a_w ณ สัปดาห์เดียวกันทั้งสองแบบการบรรจุภัณฑ์ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า a_w มากนัก แต่เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของค่า a_w เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นทั้งสองแบบบรรจุภัณฑ์ พบว่าค่า a_w มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P>0.05$)

1.2 ค่าความชื้น

ผลการเปลี่ยนแปลงของความชื้นต่อบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันพบว่า ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบสุญญากาศมีค่าความชื้นมากกว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบมีอากาศเล็กน้อย ($P>0.05$) เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานนานขึ้น พบว่าค่าความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P>0.05$) ในบรรจุภัณฑ์ทั้งในแบบบรรจุสุญญากาศ และบรรจุภัณฑ์แบบมีอากาศ โดยมีค่าความชื้นระหว่าง 16.75-17.70 และ 16.75-17.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่าเปอร์เซ็นต์ผลได้ของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้และค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (Mean $\pm$ SD)

ลักษณะที่ศึกษา	บรรจุสุญญากาศ	บรรจุแบบมีอากาศ*
Drying yield (%)	60.67 $\pm$ 0.25	60.67 $\pm$ 0.25
Water activity (a_w)		
สัปดาห์ที่ 0	0.69 $\pm$ 0.03 ^{A,a}	0.69 $\pm$ 0.07 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 2	0.69 $\pm$ 0.07 ^{A,a}	0.70 $\pm$ 0.05 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 4	0.70 $\pm$ 0.05 ^{A,a}	0.70 $\pm$ 0.03 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 6	0.70 $\pm$ 0.05 ^{A,a}	0.70 $\pm$ 0.05 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 8	0.70 $\pm$ 0.06 ^{A,a}	0.71 $\pm$ 0.06 ^{A,a}
Moisture (% wet basis)		
สัปดาห์ที่ 0	16.75 $\pm$ 0.16 ^{A,a}	16.75 $\pm$ 0.16 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 2	17.59 $\pm$ 0.90 ^{A,a}	17.37 $\pm$ 0.79 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 4	17.19 $\pm$ 0.91 ^{A,a}	17.03 $\pm$ 0.18 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 6	17.54 $\pm$ 0.68 ^{A,a}	17.37 $\pm$ 0.05 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 8	17.70 $\pm$ 0.31 ^{A,a}	17.66 $\pm$ 0.39 ^{A,a}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัดหลังจากการย่าง

^{A-E} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

* การบรรจุแบบมีอากาศ และใส่วัตถุดูดซับออกซิเจน 1 ของ ต่อตัวอย่างน้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม

1.3 ค่าสี

ค่าความสว่าง (Lightness, L^*) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบบรรจุสุญญากาศ และบรรจุแบบมีอากาศพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองแบบมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่บรรจุแบบสุญญากาศมีค่าเท่ากับ 26.40 และการบรรจุแบบมีอากาศมีค่าเท่ากับ 25.36 เมื่อทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานนานขึ้นเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองแบบมีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ($P > 0.05$) โดยมีค่าความสว่างอยู่ระหว่าง 29.1 – 31.34 (บรรจุแบบสุญญากาศ) และ 28.64 – 30.92 (บรรจุแบบมีอากาศ) ซึ่งจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบสุญญากาศมีค่าความสว่างสูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบมีอากาศแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.45

ค่าสีแดง (Redness, a^*) ดังแสดงในตารางที่ 4.45 ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้ง พร้อมรับประทานที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบบรรจุสุญญากาศและบรรจุแบบมีอากาศพบว่า ค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานทั้งสองแบบบรรจุภัณฑ์มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ยกเว้นสัปดาห์ที่ 2 พบว่าค่าสีแดงมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการบรรจุทั้งสองแบบ และเมื่อทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานนานขึ้นเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุสุญญากาศและบรรจุแบบมีอากาศมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าระหว่าง 10.04 – 5.89 (บรรจุสุญญากาศ) และ 10.34 – 6.85 (บรรจุแบบมีอากาศ)

ค่าสีเหลือง (Yellowness, b^*) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์แบบบรรจุสุญญากาศและบรรจุแบบมีอากาศพบว่า ค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันมีค่าสีเหลืองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าสีเหลืองเท่ากับ 8.54 และ 8.68 ตามลำดับ ค่าสีเหลืองของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น 8 สัปดาห์ ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุแบบมีอากาศ (8.54, 8.86, 9.36, 9.92 และ 12.57) ค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเร็วกว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุสุญญากาศ (8.68, 9.35, 10.01, 10.75 และ 12.64) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.45

ตารางที่ 4.45 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน
(Mean $\pm$ SD)

ค่าสี	ระยะเวลา การเก็บรักษา	บรรจุสุญญากาศ	บรรจุแบบมีอากาศ*
Lightness (L*)	สัปดาห์ที่ 0	26.40 $\pm$ 0.65 ^{B,a}	25.36 $\pm$ 0.37 ^{B,a}
	สัปดาห์ที่ 2	29.10 $\pm$ 2.26 ^{A,a}	28.64 $\pm$ 0.08 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 4	30.38 $\pm$ 0.33 ^{A,a}	29.35 $\pm$ 0.68 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 6	30.90 $\pm$ 0.57 ^{A,a}	29.40 $\pm$ 1.88 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 8	31.34 $\pm$ 0.07 ^{A,a}	30.92 $\pm$ 0.78 ^{A,a}
Redness (a*)	สัปดาห์ที่ 0	10.04 $\pm$ 0.61 ^{A,a}	10.34 $\pm$ 0.87 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 2	7.71 $\pm$ 0.50 ^{B,b}	9.67 $\pm$ 0.25 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 4	6.51 $\pm$ 0.16 ^{C,a}	7.56 $\pm$ 1.40 ^{B,a}
	สัปดาห์ที่ 6	6.25 $\pm$ 0.10 ^{C,a}	7.18 $\pm$ 0.84 ^{B,a}
	สัปดาห์ที่ 8	5.89 $\pm$ 0.73 ^{C,a}	6.85 $\pm$ 0.55 ^{B,a}
Yellowness (b*)	สัปดาห์ที่ 0	8.54 $\pm$ 0.51 ^{B,a}	8.68 $\pm$ 0.04 ^{C,a}
	สัปดาห์ที่ 2	8.86 $\pm$ 0.52 ^{B,a}	9.35 $\pm$ 0.46 ^{BC,a}
	สัปดาห์ที่ 4	9.36 $\pm$ 0.54 ^{B,a}	10.01 $\pm$ 0.52 ^{B,a}
	สัปดาห์ที่ 6	9.92 $\pm$ 0.81 ^{B,a}	10.75 $\pm$ 1.10 ^{B,a}
	สัปดาห์ที่ 8	12.57 $\pm$ 1.07 ^{A,a}	12.64 $\pm$ 1.35 ^{A,a}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัดหลังจากการย่าง

^{A-C} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

* การบรรจุแบบมีอากาศ และใส่วัตถุดูดซับออกซิเจน 1 ซอง ต่อตัวอย่างน้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม

1.4 ค่าแรงเฉือน (Shear force)

การวิเคราะห์ค่าแรงเฉือน (ตารางที่ 4.46) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ที่ต่างกัน พบว่าค่าแรงเฉือนของบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศและแบบมีอากาศมีค่าไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) เมื่อทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานนานขึ้น ค่าแรงเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P > 0.05$) ในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองแบบ โดยค่าแรงเฉือนในบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศ (19.43 – 20.78) มีค่าสูงกว่าในบรรจุภัณฑ์แบบไม่มีอากาศ (19.43 – 20.69) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.46 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่าแรงเฉือน (shear force) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้ง พร้อมรับประทาน (Mean $\pm$ SD)

ระยะเวลาการเก็บรักษา	ค่าแรงเฉือน (N)	
	บรรจุสุญญากาศ	บรรจุแบบมีอากาศ*
สัปดาห์ที่ 0	19.43 $\pm$ 1.05 ^{A,a}	19.43 $\pm$ 1.05 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 2	19.66 $\pm$ 0.87 ^{A,a}	19.52 $\pm$ 0.81 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 4	20.57 $\pm$ 0.76 ^{A,a}	19.87 $\pm$ 1.11 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 6	20.34 $\pm$ 0.62 ^{A,a}	20.13 $\pm$ 0.73 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 8	20.78 $\pm$ 0.80 ^{A,a}	20.69 $\pm$ 1.24 ^{A,a}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัดหลังจากการย่าง

^{A-E} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

* การบรรจุแบบมีอากาศ และใส่วัตถุดูดซับออกซิเจน 1 ซอง ต่อตัวอย่างน้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม

1.5 ค่าการออกซิเดชันของไขมัน (TBARs)

จากตารางที่ 4.47 แสดงการเปลี่ยนแปลงการออกซิเดชันของไขมันของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองแบบมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานนานขึ้นเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์พบว่า ค่าการออกซิเดชันของไขมันของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองแบบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และเพิ่มสูงที่สุดในสัปดาห์ที่ 8 มีค่าเท่ากับ 64.54 mg MDA/kg meat (บรรจุสุญญากาศ) และ 64.21 mg MDA/kg meat (บรรจุแบบมีอากาศ)

ตารางที่ 4.47 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อค่าการออกซิเดชันของไขมัน (TBARs) (mg MDA/kg meat) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (Mean $\pm$ SD)

ระยะเวลาการเก็บรักษา	การออกซิเดชันของไขมัน	
	บรรจุสุญญากาศ	บรรจุแบบมีอากาศ*
สัปดาห์ที่ 0	15.35 $\pm$ 0.12 ^{A,a}	15.35 $\pm$ 0.12 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 2	23.83 $\pm$ 0.12 ^{B,a}	21.34 $\pm$ 0.66 ^{B,b}
สัปดาห์ที่ 4	36.31 $\pm$ 0.43 ^{C,b}	38.86 $\pm$ 0.42 ^{C,a}
สัปดาห์ที่ 6	47.21 $\pm$ 0.26 ^{D,a}	47.62 $\pm$ 0.09 ^{D,a}
สัปดาห์ที่ 8	64.54 $\pm$ 0.38 ^{E,a}	64.21 $\pm$ 0.64 ^{E,a}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัดหลังจากการย่าง

^{A-E} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

* การบรรจุแบบมีอากาศ และใส่วัตถุดูดซับออกซิเจน 1 ซอง ต่อตัวอย่างน้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม

2. คุณภาพด้านจุลินทรีย์

จากตารางที่ 4.48 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อเชื้อจุลินทรีย์รวม เชื้อ *S. aureus* และ เชื้อยีสต์รา พบว่าในผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้งแบบสุญญากาศและแบบมีอากาศมีค่าจำนวนจุลินทรีย์ต่ำกว่าระดับค่าที่สามารถตรวจนับได้ (< 10 cfu/g) และเมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นานขึ้นเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ค่าจำนวนจุลินทรีย์รวม และเชื้อ *S. aureus* ต่ำกว่าระดับค่าที่สามารถตรวจนับได้ แต่ผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์แบบมีอากาศตรวจพบเชื้อยีสต์ราในสัปดาห์ที่ 6 และสัปดาห์ที่ 8 จำนวน 2.76 และ 3.15 log cfu/g ตามลำดับ

ในส่วนของการตรวจ Coliform และ *E. coli* ที่ทำการตรวจผลแบบ MPN ก็แสดงผลไม่แตกต่างจากผลจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ พบว่าในผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ทั้งแบบสุญญากาศและแบบมีอากาศมีค่าจำนวน Total Coliform, Fecal Coliform และ *E. coli* น้อยกว่า 3 MPN/g ถึงแม้ว่าจะเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานนานขึ้นเป็นระยะเวลานาน 8 สัปดาห์ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.49

ตารางที่ 4.48 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อเชื้อจุลินทรีย์รวม *S. aureus* และยีสต์รา ของผลิตภัณฑ์หมู
หวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทาน (Mean $\pm$ SD)

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลา การเก็บรักษา	จำนวนจุลินทรีย์ log cfu/g	
		บรรจุสุญญากาศ	บรรจุแบบมีอากาศ**
จุลินทรีย์รวม	สัปดาห์ที่ 0	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 2	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 4	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 6	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 8	<10*	<10*
<i>S. aureus</i>	สัปดาห์ที่ 0	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 2	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 4	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 6	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 8	<10*	<10*
Yeast/Mold	สัปดาห์ที่ 0	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 2	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 4	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 6	<10*	2.76 $\pm$ 0.50
	สัปดาห์ที่ 8	<10*	3.15 $\pm$ 0.06

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัตถุภายหลังการย่างวันแรก

* น้อยกว่า 10 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

** การบรรจุแบบมีอากาศ และใส่วัตถุดูดซับออกซิเจน 1 ซอง ต่อตัวอย่างน้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม

ตารางที่ 4.49 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อเชื้อ Coliform และ *E. coli* (MPN) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลา การเก็บรักษา	จำนวนจุลินทรีย์ (MPN/g)	
		บรรจุสุญญากาศ	บรรจุแบบมีอากาศ*
Total Coliform	สัปดาห์ที่ 0	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 2	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 4	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 6	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 8	<3	<3
Fecal Coliform	สัปดาห์ที่ 0	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 2	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 4	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 6	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 8	<3	<3
<i>E. coli</i>	สัปดาห์ที่ 0	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 2	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 4	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 6	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 8	<3	<3

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัดหลังจากการอบแล้วข้าง

* การบรรจุแบบมีอากาศ และใส่วัตถุดูดซับออกซิเจน 1 ซอง ต่อตัวอย่างน้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม

3. คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

ผลของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันคือบรรจุสุญญากาศ และบรรจุแบบมีอากาศ พบว่าความชอบโดยรวมของผู้บริโภคมีค่าลดลงในทุก ๆ คุณลักษณะเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ($P < 0.05$) ในบรรจุภัณฑ์ทั้งสองแบบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างการบรรจุทั้งสองแบบพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันในทุก ๆ คุณลักษณะ ($P > 0.05$) ยกเว้นลักษณะปรากฏ และค่าสีของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานในสัปดาห์ที่ 2 พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างบรรจุภัณฑ์ทั้งสองแบบเมื่อพิจารณาในทุก ๆ ลักษณะพบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุสุญญากาศในทุก ๆ คุณลักษณะมีค่าลดลงแต่ไม่

แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) และระดับคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบในทุกคุณลักษณะ ส่วนการบรรจุแบบมีอากาศพบว่า คุณลักษณะในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส และรสชาติ มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ซึ่งระดับคะแนนความชอบจากสัปดาห์ที่ 0 อยู่ในระดับคะแนนชอบ ลดลงเหลือระดับคะแนนเฉย ๆ ในสัปดาห์ที่ 4 ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.50

ตารางที่ 4.50 ผลของอายุการเก็บรักษาต่อการประเมินความชอบโดยรวมของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

คุณลักษณะ	ระยะเวลา การเก็บรักษา	บรรจุสุญญากาศ	บรรจุแบบมีอากาศ*
ลักษณะปรากฏ	สัปดาห์ที่ 0	$5.56 \pm 0.65^{A,a}$	$5.56 \pm 0.65^{A,a}$
	สัปดาห์ที่ 2	$5.17 \pm 0.80^{A,a}$	$4.71 \pm 0.61^{AB,b}$
	สัปดาห์ที่ 4	$4.97 \pm 0.75^{A,a}$	$4.13 \pm 0.58^{B,a}$
สี	สัปดาห์ที่ 0	$5.42 \pm 0.72^{A,a}$	$5.42 \pm 0.72^{A,a}$
	สัปดาห์ที่ 2	$5.33 \pm 0.82^{A,a}$	$4.79 \pm 0.66^{B,b}$
	สัปดาห์ที่ 4	$5.01 \pm 0.68^{A,a}$	$4.64 \pm 0.64^{B,b}$
กลิ่นรส	สัปดาห์ที่ 0	$5.42 \pm 0.50^{A,a}$	$5.42 \pm 0.50^{A,a}$
	สัปดาห์ที่ 2	$5.04 \pm 0.84^{A,a}$	$4.76 \pm 0.66^{AB,a}$
	สัปดาห์ที่ 4	$4.89 \pm 0.61^{A,a}$	$4.55 \pm 0.63^{B,a}$
เนื้อสัมผัส	สัปดาห์ที่ 0	$5.63 \pm 0.84^{A,a}$	$5.63 \pm 0.84^{A,a}$
	สัปดาห์ที่ 2	$5.44 \pm 0.58^{A,a}$	$5.08 \pm 0.86^{A,a}$
	สัปดาห์ที่ 4	$5.23 \pm 0.93^{A,a}$	$4.89 \pm 0.84^{A,a}$
รสชาติ	สัปดาห์ที่ 0	$5.83 \pm 0.70^{A,a}$	$5.83 \pm 0.70^{A,a}$
	สัปดาห์ที่ 2	$5.24 \pm 0.97^{A,a}$	$4.96 \pm 0.73^{A,a}$
	สัปดาห์ที่ 4	$5.05 \pm 0.91^{A,a}$	$4.87 \pm 0.88^{B,a}$
ความหวาน	สัปดาห์ที่ 0	$5.13 \pm 0.68^{A,a}$	$5.13 \pm 0.68^{A,a}$
	สัปดาห์ที่ 2	$5.12 \pm 0.78^{A,a}$	$4.96 \pm 0.45^{A,a}$
	สัปดาห์ที่ 4	$5.03 \pm 0.84^{A,a}$	$4.76 \pm 0.81^{A,a}$
ลักษณะโดยรวม	สัปดาห์ที่ 0	$5.54 \pm 0.51^{A,a}$	$5.54 \pm 0.51^{A,a}$
	สัปดาห์ที่ 2	$5.32 \pm 0.56^{A,a}$	$5.08 \pm 0.57^{A,a}$
	สัปดาห์ที่ 4	$5.18 \pm 0.45^{A,a}$	$4.95 \pm 0.65^{A,a}$

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัดหลังจากการอบแล้วในวันแรก

^{A-E} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

* การบรรจุแบบมีอากาศ และใส่วัตถุดูดซับออกซิเจน 1 ซอง ต่อตัวอย่างน้ำหนักไม่เกิน 100 กรัม

คะแนนความชอบ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบ, 4 = เฉย ๆ, 5 = ชอบ, 6 = ชอบมาก, 7 = ชอบมากที่สุด

3.2.3 ศึกษาผลของสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทาน

คุณภาพด้านกายภาพ

1. ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้หลังอบแห้ง (% Drying yield) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทาน

การวิเคราะห์ค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้หลังอบแห้งของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทานโดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติม BHT 0.02% กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% พบว่าค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้หลังอบแห้งทุกกลุ่มการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 58.79 – 60.34% โดยทุกกลุ่มการทดลองมีค่าผลผลิตไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P > 0.05$) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.30 จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหมูหวานที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ไม่มีผลต่อค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้หลังอบแห้งของผลิตภัณฑ์ซึ่งยังไม่มีผู้รายงานผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้หลังอบแห้ง

ตารางที่ 4.51 ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้หลังอบแห้ง

(% drying yield) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทาน (Mean $\pm$ SD)

กลุ่มการทดลอง	% drying yield
Control	60.29 $\pm$ 1.78 ^A
BHT 0.02%	59.92 $\pm$ 1.31 ^A
Potassium sorbate 0.1%	59.06 $\pm$ 0.51 ^A
<i>C. carandas</i> 0.2%	59.47 $\pm$ 1.21 ^A
<i>C. carandas</i> 0.4%	60.34 $\pm$ 1.49 ^A
<i>C. carandas</i> 0.6%	58.79 $\pm$ 1.71 ^A

^{A-E} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

2. ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w , water activity) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทาน

การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w , water activity) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทานโดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติม BHT 0.02% กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยทำการวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี ทุก ๆ 2 สัปดาห์ พบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีค่า

$a_w < 0.85$ โดยมีค่าอยู่ในช่วง $0.66 - 0.69$ ($P > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีแนวโน้มของค่า a_w เพิ่มขึ้น ($P > 0.05$) ซึ่งจะเห็นได้ว่าหมูหวานทุกกลุ่มการทดลองมีค่า a_w อยู่ในเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้งซึ่งกำหนดไว้ว่าค่า a_w อยู่ในช่วง $0.65 - 0.85$ ตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (หมูแผ่น) (2553) ซึ่งค่า a_w เป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมและป้องกันการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์กึ่งแห้ง ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เช่นเดียวกับ นอกจากนี้ Calicioglu *et al.* (2003) กล่าวว่าถ้า a_w ของผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ต่ำกว่า 0.70 จะสามารถควบคุมการเจริญของราได้ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น นอกจากนี้ในระหว่างการรักษาผลิตภัณฑ์เจอร์กี้ค่า a_w ไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.52

ตารางที่ 4.52 ผลของสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่า Water activity (a_w) ของหมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (Mean±SD)

ระยะเวลา การเก็บรักษา	Water activity					
	Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2 %	<i>C. carandas</i> 0.4 %	<i>C. carandas</i> 0.6 %
สัปดาห์ที่ 0	0.67 ± 0.01 ^{A,a}	0.66 ± 0.03 ^{B,a}	0.67 ± 0.01 ^{A,a}	0.66 ± 0.01 ^{A,a}	0.67 ± 0.01 ^{A,a}	0.66 ± 0.02 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 2	0.68 ± 0.02 ^{A,a}	0.67 ± 0.02 ^{B,a}	0.68 ± 0.01 ^{A,a}	0.66 ± 0.01 ^{A,a}	0.67 ± 0.03 ^{A,a}	0.67 ± 0.01 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 4	0.68 ± 0.01 ^{A,a}	0.68 ± 0.01 ^{A,a}	0.68 ± 0.02 ^{A,a}	0.68 ± 0.02 ^{A,a}	0.68 ± 0.01 ^{A,a}	0.68 ± 0.01 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 6	0.68 ± 0.01 ^{A,a}	0.69 ± 0.03 ^{A,a}	0.69 ± 0.01 ^{A,a}	0.69 ± 0.02 ^{A,a}	0.69 ± 0.05 ^{A,a}	0.68 ± 0.01 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 8	0.69 ± 0.01 ^{A,a}	0.70 ± 0.04 ^{A,a}	0.69 ± 0.00 ^{A,a}	0.69 ± 0.01 ^{A,a}	0.69 ± 0.04 ^{A,a}	0.69 ± 0.04 ^{A,a}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัตถุหลังการย่างวันแรก

^{A-B} ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-b} ตัวอักษรที่ต่างกันแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

3. ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อค่าความชื้น (Moisture content) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทาน

การวิเคราะห์ค่าความชื้น (Moisture content) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทานโดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติม BHT 0.02% กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยทำการวัดค่าความชื้นทุก ๆ 2 สัปดาห์ ภายหลังการย่าง (สัปดาห์ที่ 0) พบว่าหมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่าความชื้นต่ำกว่ากลุ่มทดลอง ($P > 0.05$) แต่สูงกว่ากลุ่มที่เติม BHT 0.02% และ กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% ($P > 0.05$) แต่พอเก็บรักษานาน 8 สัปดาห์พบว่าค่าความชื้นทุกกลุ่มการทดลองค่าความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.53

ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของกัลย์ภัทร แก้วมีแสง และคณะ (2556) ได้ศึกษาการใช้ผงมะนาวโห่เพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและยืดอายุการเก็บรักษาในหมูหวาน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (หมูหวานไม่เติมผงมะนาวโห่) และกลุ่มหมูหวานที่เติมผงมะนาวโห่ 10 กรัม/กิโลกรัม จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0 และ 1 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มที่เติมผงมะนาวโห่มีค่าความชื้นต่ำกว่ากลุ่มควบคุม และเมื่อเก็บรักษานาน 1 สัปดาห์ค่าความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.53 ผลของสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าความชื้น (Moisture content) ของหมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน
(Mean±SD)

ระยะเวลา การเก็บรักษา	เปอร์เซ็นต์ความชื้น					
	Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2%	<i>C. carandas</i> 0.4%	<i>C. carandas</i> 0.6%
สัปดาห์ที่ 0	14.57 ± 0.45 ^{A,a}	12.01 ± 0.97 ^{A,a}	11.70 ± 0.78 ^{A,a}	12.78 ± 0.60 ^{A,a}	13.66 ± 0.99 ^{A,a}	13.80 ± 0.90 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 2	14.31 ± 0.91 ^{A,a}	14.73 ± 0.22 ^{A,a}	12.62 ± 0.96 ^{A,a}	13.52 ± 0.82 ^{A,a}	14.72 ± 0.64 ^{A,a}	14.39 ± 0.79 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 4	13.81 ± 0.43 ^{A,a}	14.39 ± 0.91 ^{A,a}	12.19 ± 0.61 ^{A,a}	13.59 ± 0.91 ^{A,a}	14.57 ± 0.98 ^{A,a}	13.96 ± 0.87 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 6	13.69 ± 0.69 ^{A,a}	13.40 ± 0.95 ^{A,a}	12.39 ± 0.30 ^{A,a}	12.81 ± 0.67 ^{A,a}	13.85 ± 0.87 ^{A,a}	14.23 ± 0.91 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 8	13.52 ± 0.68 ^{A,a}	13.45 ± 0.92 ^{A,a}	12.18 ± 0.70 ^{A,a}	13.37 ± 0.75 ^{A,a}	14.18 ± 0.78 ^{A,a}	13.71 ± 0.85 ^{A,a}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัตถุภายหลังการย่างวันแรก

^{A-B} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4. ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทาน

การวิเคราะห์คุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทานโดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติม BHT 0.02% กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยทำการวัดค่าสีทุก ๆ 2 สัปดาห์ ภายหลังการย่าง (สัปดาห์ที่ 0) พบว่ากลุ่มการทดลองที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ มีค่าความสว่าง (Lightness, L^*) ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) โดยกลุ่มการทดลองที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ที่ระดับ 0.6% มีค่าความสว่างสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ คือ 24.23 และเมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าความสว่างของทุกกลุ่มการทดลองมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าสีแดง (Redness, a^*) ภายหลังการย่าง (สัปดาห์ที่ 0) พบว่ากลุ่มการทดลองที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% มีค่าสีแดงสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มการทดลองอื่น ๆ กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีแนวโน้มค่าสีแดงสูงกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.2, 0.4, และ 0.6% มีค่าสีแดง คือ 9.13, 9.38, และ 9.72 ตามลำดับ ($P > 0.05$) และเมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกกลุ่มการทดลอง ($P > 0.05$) และค่าสีเหลือง (Yellowness, b^*) กลุ่มการทดลองที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.2, 0.4, และ 0.6% มีค่าสีเหลือง คือ 7.27, 7.73, และ 8.38 ตามลำดับ ($P < 0.05$) ยกเว้นกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% แตกต่างจากกลุ่มการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าสีเหลืองของทุกกลุ่มการทดลองมีแนวโน้มค่าเพิ่มขึ้น ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.54

จากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ เยาวลักษณ์ สุรพันธุ์พิศิษฐ์. (2546) ทำการศึกษาการใช้สารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดง เปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่น โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มควบคุม กลุ่มที่เติม BHT 0.01% กลุ่มที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดง 0.05, 0.1, 0.2, และ 0.3% สำหรับเปลือกส้มก็ใช้กลุ่มการทดลองเช่นเดียวกันและระดับความเข้มข้นของสารสกัดก็เช่นเดียวกับสารสกัดกระเจี๊ยบแดง เก็บรักษาผลิตภัณฑ์นาน 28 วัน พบว่าหมูแผ่นดิบและสุกที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.05 – 0.1% โดยน้ำหนัก มีค่า a^* ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติม BHT 0.01% สำหรับหมูแผ่นที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ระดับ 0.2 – 0.3% โดยน้ำหนัก ค่า a^* แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมและที่เติม BHT 0.01% ($P < 0.05$) จากผลการทดลองตรงนี้ขัดแย้งกับผลการทดลองที่เราได้ทำการศึกษา ส่วนค่า L^* และ b^* มีค่าการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งไม่ได้รายงานค่าไว้

ตารางที่ 4.54 ผลของสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าสีของหมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (Mean±SD)

ค่าสี	ระยะเวลา การเก็บรักษา	Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2%	<i>C. carandas</i> 0.4%	<i>C. carandas</i> 0.6%
ความสว่าง (L*)	สัปดาห์ที่ 0	23.27 ± 0.70 ^{A,ab}	23.78 ± 0.38 ^{A,a}	23.92 ± 0.99 ^{A,a}	22.64 ± 0.57 ^{A,b}	23.40 ± 0.57 ^{A,ab}	24.23 ± 0.47 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 2	22.06 ± 0.97 ^{A,a}	21.88 ± 0.66 ^{B,a}	21.84 ± 0.85 ^{B,a}	22.12 ± 0.76 ^{AB,a}	21.74 ± 0.69 ^{B,a}	22.08 ± 0.80 ^{B,a}
	สัปดาห์ที่ 4	20.07 ± 0.75 ^{B,b}	20.33 ± 0.73 ^{C,b}	21.67 ± 0.80 ^{B,a}	21.32 ± 0.24 ^{BC,ab}	20.13 ± 0.50 ^{C,b}	22.14 ± 0.73 ^{B,a}
	สัปดาห์ที่ 6	20.16 ± 0.69 ^{A,b}	20.00 ± 0.77 ^{C,b}	22.30 ± 0.85 ^{B,a}	21.06 ± 0.78 ^{BC,ab}	21.06 ± 0.81 ^{BC,ab}	21.92 ± 0.68 ^{B,a}
	สัปดาห์ที่ 8	21.91 ± 0.46 ^{A,a}	20.23 ± 0.70 ^{C,b}	22.31 ± 0.69 ^{B,a}	20.30 ± 0.30 ^{C,b}	21.46 ± 0.52 ^{B,a}	21.87 ± 0.86 ^{B,a}
ค่าสีแดง (a*)	สัปดาห์ที่ 0	8.22 ± 0.50 ^{B,b}	8.69 ± 0.79 ^{ABC,ab}	8.94 ± 0.80 ^{A,ab}	9.13 ± 0.65 ^{A,ab}	9.38 ± 0.58 ^{A,ab}	9.72 ± 0.74 ^{A^B,a}
	สัปดาห์ที่ 2	9.65 ± 0.83 ^{A,a}	9.53 ± 0.60 ^{A,a}	9.96 ± 0.95 ^{A,a}	9.37 ± 0.89 ^{A,a}	9.42 ± 0.56 ^{A,a}	10.22 ± 0.27 ^{A^B,a}
	สัปดาห์ที่ 4	9.05 ± 0.62 ^{AB,b}	8.98 ± 0.41 ^{AB,b}	9.46 ± 0.83 ^{A,ab}	9.75 ± 0.51 ^{A,ab}	9.20 ± 0.58 ^{A,b}	10.61 ± 0.95 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 6	8.93 ± 0.73 ^{AB,ab}	7.93 ± 0.57 ^{BC,b}	8.98 ± 0.55 ^{A,a}	9.30 ± 0.79 ^{A,a}	9.21 ± 0.75 ^{A,a}	9.70 ± 0.51 ^{A^B,a}
	สัปดาห์ที่ 8	9.04 ± 0.36 ^{AB,a}	7.73 ± 0.21 ^{C,b}	8.98 ± 0.55 ^{A,a}	8.75 ± 0.90 ^{A,ab}	8.63 ± 0.67 ^{A,ab}	9.26 ± 0.59 ^{B,a}
ค่าสีเหลือง (b*)	สัปดาห์ที่ 0	6.60 ± 0.76 ^{B,b}	6.77 ± 0.50 ^{B,b}	7.14 ± 0.36 ^{B,ab}	7.27 ± 0.48 ^{B,ab}	7.73 ± 0.79 ^{C,ab}	8.38 ± 0.92 ^{C,a}
	สัปดาห์ที่ 2	7.31 ± 0.30 ^{AB,b}	6.78 ± 0.58 ^{B,b}	8.18 ± 0.25 ^{A,ab}	7.41 ± 0.39 ^{B,b}	7.92 ± 0.66 ^{BC,ab}	8.78 ± 0.32 ^{BC,a}
	สัปดาห์ที่ 4	8.10 ± 0.78 ^{A,cd}	7.82 ± 0.70 ^{AB,d}	8.74 ± 0.34 ^{A,bcd}	9.43 ± 0.62 ^{A,b}	9.17 ± 0.68 ^{AB,bc}	10.77 ± 0.73 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 6	7.85 ± 0.72 ^{A,b}	7.96 ± 0.84 ^{AB,b}	8.41 ± 0.30 ^{A,ab}	9.02 ± 0.88 ^{A,ab}	8.59 ± 0.91 ^{ABC,ab}	9.52 ± 0.69 ^{A^{BC},a}
	สัปดาห์ที่ 8	8.14 ± 0.06 ^{A,c}	8.30 ± 0.49 ^{A,c}	8.67 ± 0.46 ^{A,bc}	8.83 ± 0.87 ^{A,abc}	9.39 ± 0.22 ^{A,ab}	9.76 ± 0.75 ^{AB,a}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัตถุหลังการย่างวันแรก

^{A-E} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

5. ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีน้ำตาล (BI, Browning Index) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

การวิเคราะห์ค่า Chroma, Hue angle และ Browning Index ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานโดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติม BHT 0.02% กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยทำการวัดค่าความสดใสของสี (Chroma), ค่าองศาของสี (Hue angle) และ ค่าดัชนีค่าสีน้ำตาล (BI, Browning Index) ทุก ๆ 2 สัปดาห์ ภายหลังการย่าง (สัปดาห์ที่ 0) พบว่าหมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% มีค่าความสดใสของสีสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติม BHT 0.02% ($P < 0.05$) แต่มีค่าไม่แตกต่างกับกลุ่มอื่น ๆ ($P > 0.05$) แต่ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าความสดใสของสีในทุกกลุ่มการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงสัปดาห์ที่ 4 แต่หลังจากนั้นค่ากลับมีแนวโน้มลดลง โดยกลุ่มที่เติม BHT 0.02% กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% และกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.4% ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ($P > 0.05$) ส่วนค่าองศาของสี (Hue angle) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงสีแท้จริงที่ปรากฏให้เห็น ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $0 - 360^{\circ}\text{C}$ โดยแต่ละช่วงองศาแสดงสีแตกต่างกัน พบว่าภายหลังการย่างกลุ่มกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่าไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม ($P > 0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นในช่วง 4 สัปดาห์ ทุกกลุ่มการทดลองค่าองศาของสีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) โดยมีค่ามุมในช่วง $45 - 60$ ซึ่งทำให้โทนสีของหมูหวานเปลี่ยนจากสีแดงไปเป็นสีส้มแดง (Mcguire, 1992) ซึ่งผลการทดลองก็เป็นไปในแนวทางนี้ คือเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นผลิตภัณฑ์จะมีความสดใสลดลงคือมีค่า Hue angle ที่สูงขึ้นนั่นเอง ดัชนีค่าสีน้ำตาล (Browning index) พบว่ากลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% มีดัชนีค่าสีน้ำตาลไม่แตกต่างกับกลุ่มอื่น ๆ ($P > 0.05$) ยกเว้นกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) และเมื่อเก็บรักษานานขึ้น 8 สัปดาห์ พบว่า ทุกกลุ่มการทดลองมีค่าดัชนีค่าสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนในโปรตีนหรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (พิมพ์เพ็ญพรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนูปนนท์, 2557) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.55

ตารางที่ 4.55 ผลของสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่า Chroma, Hue angle และ Browning Index ของหมูหวานกิ่งแห้งพร้อม
รับประทาน (Mean±SD)

Parameter	ระยะเวลา การเก็บรักษา	กลุ่มการทดลอง					
		Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2%	<i>C. carandas</i> 0.4%	<i>C. carandas</i> 0.6%
Chroma	สัปดาห์ที่ 0	10.55 ± 0.85 ^{B,b}	11.01 ± 0.92 ^{A,b}	11.45 ± 0.84 ^{A,ab}	11.68 ± 0.71 ^{B,ab}	12.16 ± 0.92 ^{A,ab}	12.84 ± 1.11 ^{B,a}
	สัปดาห์ที่ 2	12.11 ± 0.79 ^{A,ab}	11.69 ± 0.79 ^{A,b}	12.89 ± 0.79 ^{A,ab}	11.96 ± 0.86 ^{B,b}	12.31 ± 0.76 ^{A,ab}	13.47 ± 0.31 ^{AB,a}
	สัปดาห์ที่ 4	11.77 ± 0.68 ^{AB,c}	11.91 ± 0.77 ^{A,c}	12.88 ± 0.83 ^{A,bc}	13.57 ± 0.37 ^{A,b}	12.99 ± 0.88 ^{A,bc}	15.12 ± 1.16 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 6	11.89 ± 1.03 ^{AB,ab}	11.25 ± 0.96 ^{A,b}	12.48 ± 0.64 ^{A,ab}	13.13 ± 0.91 ^{AB,a}	12.60 ± 1.14 ^{A,ab}	13.59 ± 0.85 ^{AB,a}
	สัปดาห์ที่ 8	12.17 ± 0.24 ^{A,ab}	11.51 ± 0.89 ^{A,a}	12.49 ± 0.67 ^{A,ab}	12.44 ± 0.93 ^{AB,ab}	12.76 ± 0.58 ^{A,ab}	13.46 ± 0.83 ^{AB,a}
Hue angle	สัปดาห์ที่ 0	38.68 ± 1.75 ^{BC,a}	37.92 ± 0.89 ^{C,a}	38.67 ± 1.12 ^{D,a}	38.56 ± 1.84 ^{B,a}	39.45 ± 1.64 ^{C,a}	40.70 ± 1.73 ^{B,a}
	สัปดาห์ที่ 2	37.20 ± 1.98 ^{C,ab}	35.41 ± 1.20 ^{D,b}	39.49 ± 2.63 ^{BC,a}	38.41 ± 2.23 ^{B,ab}	40.03 ± 1.98 ^{C,a}	40.67 ± 1.16 ^{B,a}
	สัปดาห์ที่ 4	42.53 ± 2.04 ^{A,ab}	41.00 ± 1.20 ^{B,b}	42.79 ± 1.47 ^{A,ab}	44.04 ± 3.04 ^{A,ab}	44.88 ± 0.37 ^{AB,a}	45.46 ± 1.20 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 6	41.31 ± 0.38 ^{AB,b}	45.04 ± 1.71 ^{A,a}	42.45 ± 1.64 ^{AB,ab}	43.35 ± 1.70 ^{AB,ab}	42.94 ± 1.36 ^{B,ab}	44.44 ± 0.60 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 8	42.03 ± 1.31 ^{A,b}	45.81 ± 1.60 ^{A,ab}	43.99 ± 1.16 ^{A,ab}	45.26 ± 3.92 ^{A,ab}	47.47 ± 1.84 ^{A,a}	46.49 ± 2.03 ^{A,a}
Browning index	สัปดาห์ที่ 0	60.84 ± 5.36 ^{B,b}	61.74 ± 4.58 ^{B,ab}	64.51 ± 2.91 ^{B,ab}	70.21 ± 5.99 ^{B,ab}	71.65 ± 8.12 ^{C,ab}	74.22 ± 9.36 ^{C,a}
	สัปดาห์ที่ 2	74.11 ± 4.36 ^{AB,bc}	70.62 ± 8.14 ^{AB,c}	82.73 ± 7.63 ^{A,ab}	73.73 ± 3.56 ^{B,bc}	79.48 ± 6.89 ^{BC,abc}	87.18 ± 4.95 ^{BC,a}
	สัปดาห์ที่ 4	86.96 ± 10.17 ^{A,b}	83.83 ± 11.23 ^{A,b}	86.61 ± 8.91 ^{A,b}	95.04 ± 5.38 ^{A,ab}	97.54 ± 8.02 ^{A,ab}	105.44 ± 11.64 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 6	84.69 ± 11.50 ^{A,a}	83.19 ± 11.46 ^{A,a}	80.31 ± 6.64 ^{A,a}	92.58 ± 12.30 ^{A,a}	87.80 ± 13.96 ^{ABC,a}	92.69 ± 9.45 ^{AB,a}
	สัปดาห์ที่ 8	79.20 ± 1.45 ^{A,b}	85.41 ± 10.13 ^{A,ab}	81.62 ± 7.51 ^{A,ab}	91.93 ± 8.68 ^{A,a}	89.73 ± 0.08 ^{AB,ab}	93.31 ± 3.45 ^{AB,a}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัตถุหลังการฆ่าวันแรก

^{A A-E} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05)

^{a-b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05)

6. ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน โดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติม BHT 0.02% กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยทำการวัดค่า pH ทุก ๆ 2 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มทดลองที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่า pH ต่ำกว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่เติม BHT 0.02% และ กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% โดยกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่า pH สูงที่สุด ($P < 0.05$) คือ 5.73 แต่เมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกกลุ่มการทดลอง ($P > 0.05$) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.56

ตารางที่ 4.56 ผลของสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ของหมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (Mean±SD)

ระยะเวลา การเก็บรักษา	ความเป็นกรด-ด่าง					
	Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2 %	<i>C. carandas</i> 0.4 %	<i>C. carandas</i> 0.6 %
สัปดาห์ที่ 0	6.13 ± 0.11 ^{A,a}	6.20 ± 0.12 ^{A,a}	6.23 ± 0.12 ^{A,a}	6.05 ± 0.13 ^{A,ab}	5.88 ± 0.07 ^{A,bc}	5.73 ± 0.08 ^{A,c}
สัปดาห์ที่ 2	6.19 ± 0.08 ^{A,ab}	6.23 ± 0.14 ^{A,ab}	6.26 ± 0.13 ^{A,a}	6.11 ± 0.18 ^{A,ab}	5.96 ± 0.19 ^{A,bc}	5.76 ± 0.13 ^{A,c}
สัปดาห์ที่ 4	6.16 ± 0.08 ^{A,ab}	6.20 ± 0.14 ^{A,a}	6.17 ± 0.13 ^{A,ab}	6.04 ± 0.15 ^{A,abc}	5.93 ± 0.13 ^{A,bc}	5.80 ± 0.14 ^{A,c}
สัปดาห์ที่ 6	6.17 ± 0.11 ^{A,ab}	6.18 ± 0.14 ^{A,a}	6.19 ± 0.15 ^{A,a}	6.06 ± 0.15 ^{A,ab}	5.90 ± 0.14 ^{A,bc}	5.77 ± 0.16 ^{A,c}
สัปดาห์ที่ 8	6.27 ± 0.20 ^{A,a}	6.24 ± 0.14 ^{A,a}	6.28 ± 0.10 ^{A,a}	6.18 ± 0.16 ^{A,a}	6.04 ± 0.16 ^{A,ab}	5.84 ± 0.15 ^{A,b}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัตถุภายหลังการย่างวันแรก

^A ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

7. ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อค่าแรงเฉือน (Shear force) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

การวิเคราะห์ค่าแรงเฉือน ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน โดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติม BHT 0.02% กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยทำการวัดค่าแรงเฉือนทุก ๆ 2 สัปดาห์ พบว่ากลุ่มการทดลองที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่าแรงเฉือนต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% มีค่าแรงเฉือนต่ำที่สุด คือ 15.80 และเมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า ค่าแรงเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาแต่ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($P > 0.05$) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.57

ตารางที่ 4.57 ผลของสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าแรงเฉือน (shear force) ของหมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (Mean±SD)

ระยะเวลา การเก็บรักษา	Shearforce (N)					
	Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2 %	<i>C. carandas</i> 0.4 %	<i>C. carandas</i> 0.6 %
สัปดาห์ที่ 0	21.60 ± 1.15 ^{A,a}	19.17 ± 0.85 ^{A,b}	21.96 ± 1.12 ^{A,a}	19.37 ± 1.95 ^{A,b}	15.87 ± 1.28 ^{A,c}	15.80 ± 0.75 ^{A,c}
สัปดาห์ที่ 2	21.79 ± 0.58 ^{A,b}	21.74 ± 1.79 ^{A,b}	25.01 ± 1.00 ^{A,a}	22.38 ± 0.99 ^{A,b}	20.39 ± 1.91 ^{A,b}	21.82 ± 1.19 ^{A,b}
สัปดาห์ที่ 4	26.60 ± 0.30 ^{A,a}	25.54 ± 1.23 ^{A,a}	27.88 ± 0.34 ^{A,a}	22.20 ± 0.52 ^{A,a}	24.73 ± 0.66 ^{A,a}	21.50 ± 1.79 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 6	26.38 ± 0.99 ^{A,b}	26.73 ± 1.75 ^{A,b}	28.53 ± 0.94 ^{A,a}	24.44 ± 0.43 ^{A,c}	22.80 ± 0.42 ^{A,c}	24.25 ± 0.90 ^{A,c}
สัปดาห์ที่ 8	25.27 ± 0.80 ^{A,bc}	26.34 ± 1.63 ^{A,b}	28.53 ± 0.96 ^{A,a}	23.29 ± 1.76 ^{A,cd}	22.54 ± 0.71 ^{A,d}	21.85 ± 0.95 ^{A,d}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัตถุหลังการย่างวันแรก

^{A-C} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

8. ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture Profile Analysis) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทาน

การวิเคราะห์ค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทาน โดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติม BHT 0.02% กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยทำการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมทุก ๆ 2 สัปดาห์ พบว่าหมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมมีค่าความแข็ง (Hardness) สูงกว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่เติม BHT 0.02% และกลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% ($P < 0.05$) โดยหมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่าความแข็งหลังทำให้สุกสูงที่สุด คือ 11.45 เมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าความแข็งของทุกกลุ่มการทดลองมีค่าขึ้น ๆ ลง ๆ แต่มีแนวโน้มค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ($P < 0.05$) ค่าความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) พบว่าหมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่าความสามารถในการเกาะรวมตัวกันต่ำกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มที่เติม BHT 0.02% ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% มีค่าต่ำที่สุดรองลงมาคือกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.4 และ 0.2% ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าหมูหวานทุกกลุ่มการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ค่าความเหนียว (Gumminess) พบว่าหมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% มีค่าความเหนียวต่ำที่สุด คือ 5.10 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ๆ ($P < 0.05$) ส่วนกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.4% มีค่าความเหนียวไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เติม BHT 0.02% ($P > 0.05$) และกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.2% มีค่าความเหนียวแตกต่างจากกลุ่มอื่น ๆ ยกเว้นกลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% และเมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าทุกกลุ่มการทดลองค่าความเหนียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.4 และ 0.6% มีค่าความเหนียวไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) พบว่าหลังทำให้สุกกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่าความยืดหยุ่นต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% มีค่าความยืดหยุ่นต่ำที่สุด คือ 0.78 และเมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีแนวโน้มค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการเคี้ยวได้ (Chewiness) พบว่ามีแนวโน้มไปทางเดียวกันกับค่าความยืดหยุ่น คือหลังจากทำให้สุก (สัปดาห์ที่ 0) หมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่าการเคี้ยวได้ต่ำกว่ากลุ่มอื่น ๆ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% มีค่าการเคี้ยวได้ต่ำที่สุด คือ 0.78 และเมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าสัปดาห์ที่ 2 ค่าการเคี้ยวได้ทุกกลุ่มการทดลองแนวโน้มค่าการเคี้ยวได้ลดลง ยกเว้นกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.4 และ 0.6% มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ($P > 0.05$) จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าหมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% มี

คุณลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวมดีที่สุด รองลงมาคือ 0.4 และ 0.2% ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.58

ตารางที่ 4.58 ผลของสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าลักษณะเนื้อสัมผัสโดยรวม (Texture Profile Analysis) ของหมูหวานกิ่งแห้ง พร้อมรับประทาน (Mean±SD)

Parameter	ระยะเวลา การเก็บรักษา	Texture Profile analysis					
		Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2%	<i>C. carandas</i> 0.4%	<i>C. carandas</i> 0.6%
Hardness (N)	สัปดาห์ที่ 0	8.96 ± 0.04 ^{D,e}	8.47 ± 0.15 ^{D,f}	10.82 ± 0.25 ^{D,b}	11.45 ± 0.26 ^{D,a}	10.42 ± 0.10 ^{D,c}	9.53 ± 0.08 ^{C,c}
	สัปดาห์ที่ 2	20.12 ± 0.77 ^{B,a}	13.98 ± 0.51 ^{BC,d}	13.94 ± 1.37 ^{C,d}	18.11 ± 1.29 ^{B,bc}	17.27 ± 0.95 ^{B,c}	19.75 ± 1.18 ^{A,ab}
	สัปดาห์ที่ 4	13.45 ± 1.79 ^{C,bc}	12.60 ± 1.06 ^{C,c}	16.12 ± 1.16 ^{B,a}	14.63 ± 1.58 ^{C,abc}	14.64 ± 0.89 ^{C,abc}	15.51 ± 0.97 ^{B,ab}
	สัปดาห์ที่ 6	18.34 ± 0.95 ^{B,ab}	14.89 ± 1.92 ^{B,c,d}	16.86 ± 0.47 ^{AB,bc}	14.00 ± 1.09 ^{C,d}	19.94 ± 1.17 ^{A,a}	17.86 ± 1.35 ^{A,ab}
	สัปดาห์ที่ 8	23.47 ± 1.10 ^{A,a}	18.47 ± 0.39 ^{A,c}	18.60 ± 1.45 ^{A,c}	21.36 ± 1.36 ^{A,ab}	17.95 ± 1.93 ^{AB,c}	19.99 ± 1.78 ^{A,bc}
Cohesiveness (ratio)	สัปดาห์ที่ 0	0.63 ± 0.01 ^{A,b}	0.65 ± 0.01 ^{A,a}	0.63 ± 0.00 ^{A,b}	0.59 ± 0.00 ^{A,c}	0.55 ± 0.00 ^{A,d}	0.53 ± 0.00 ^{A,c}
	สัปดาห์ที่ 2	0.66 ± 0.02 ^{A,ab}	0.67 ± 0.02 ^{A,a}	0.64 ± 0.05 ^{A,ab}	0.65 ± 0.06 ^{A,ab}	0.60 ± 0.06 ^{A,ab}	0.56 ± 0.09 ^{A,b}
	สัปดาห์ที่ 4	0.67 ± 0.01 ^{A,ab}	0.66 ± 0.02 ^{A,ab}	0.69 ± 0.03 ^{A,a}	0.66 ± 0.03 ^{A,ab}	0.62 ± 0.05 ^{A,bc}	0.59 ± 0.03 ^{A,c}
	สัปดาห์ที่ 6	0.66 ± 0.06 ^{A,a}	0.69 ± 0.03 ^{A,a}	0.66 ± 0.06 ^{A,a}	0.65 ± 0.07 ^{A,a}	0.62 ± 0.08 ^{A,a}	0.60 ± 0.08 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 8	0.64 ± 0.02 ^{A,ab}	0.68 ± 0.08 ^{A,a}	0.66 ± 0.01 ^{A,ab}	0.62 ± 0.04 ^{A,ab}	0.61 ± 0.05 ^{A,ab}	0.57 ± 0.08 ^{A,b}
Gumminess (N)	สัปดาห์ที่ 0	5.66 ± 0.10 ^{C,b}	5.68 ± 0.19 ^{D,b}	6.82 ± 0.26 ^{D,a}	6.89 ± 0.13 ^{C,a}	5.74 ± 0.07 ^{B,b}	5.10 ± 0.02 ^{B,c}
	สัปดาห์ที่ 2	11.34 ± 0.50 ^{B,a}	9.4 ± 0.37 ^{C,a}	9.78 ± 1.17 ^{C,a}	10.43 ± 1.45 ^{AB,a}	9.59 ± 1.02 ^{A,a}	9.51 ± 1.13 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 4	11.11 ± 1.09 ^{B,a}	8.41 ± 0.58 ^{C,b}	10.20 ± 1.13 ^{BC,ab}	9.55 ± 0.93 ^{B,ab}	9.12 ± 0.68 ^{A,b}	9.55 ± 1.45 ^{A,ab}
	สัปดาห์ที่ 6	10.74 ± 1.42 ^{B,ab}	10.94 ± 0.59 ^{B,ab}	11.76 ± 0.84 ^{AB,a}	11.67 ± 1.83 ^{AB,ab}	9.37 ± 1.22 ^{A,ab}	9.21 ± 1.36 ^{A,b}
	สัปดาห์ที่ 8	13.59 ± 1.53 ^{A,a}	11.18 ± 1.13 ^{A,ab}	12.19 ± 1.15 ^{A,ab}	12.52 ± 0.73 ^{A,ab}	11.02 ± 1.71 ^{A,b}	10.90 ± 1.30 ^{A,b}

ตารางที่ 4.58 (ต่อ)

Parameter	ระยะเวลา การเก็บรักษา	Texture Profile analysis					
		Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2%	<i>C. carandas</i> 0.4%	<i>C. carandas</i> 0.6%
Springiness (ratio)	สัปดาห์ที่ 0	0.82 ± 0.01 ^{B,a}	0.83 ± 0.01 ^{D,a}	0.82 ± 0.02 ^{A,a}	0.79 ± 0.00 ^{B,b}	0.79 ± 0.01 ^{B,b}	0.78 ± 0.00 ^{A,b}
	สัปดาห์ที่ 2	0.86 ± 0.00 ^{A,a}	0.87 ± 0.01 ^{A,a}	0.85 ± 0.05 ^{A,a}	0.86 ± 0.03 ^{A,a}	0.83 ± 0.03 ^{AB,a}	0.80 ± 0.06 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 4	0.85 ± 0.01 ^{A,a}	0.85 ± 0.01 ^{AB,a}	0.84 ± 0.01 ^{A,a}	0.85 ± 0.02 ^{A,a}	0.84 ± 0.02 ^{A,a}	0.81 ± 0.02 ^{A,b}
	สัปดาห์ที่ 6	0.84 ± 0.01 ^{A,a}	0.84 ± 0.01 ^{BC,a}	0.85 ± 0.02 ^{A,a}	0.84 ± 0.02 ^{A,a}	0.84 ± 0.02 ^{AB,a}	0.82 ± 0.03 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 8	0.85 ± 0.01 ^{A,a}	0.84 ± 0.01 ^{BC,a}	0.84 ± 0.01 ^{A,a}	0.82 ± 0.02 ^{AB,a}	0.81 ± 0.03 ^{AB,a}	0.80 ± 0.06 ^{A,a}
Chewiness (N)	สัปดาห์ที่ 0	0.82 ± 0.01 ^{B,a}	0.83 ± 0.01 ^{D,a}	0.82 ± 0.02 ^{A,a}	0.79 ± 0.00 ^{B,b}	0.79 ± 0.01 ^{B,b}	0.78 ± 0.00 ^{A,b}
	สัปดาห์ที่ 2	0.86 ± 0.00 ^{A,a}	0.87 ± 0.01 ^{A,a}	0.85 ± 0.05 ^{A,a}	0.86 ± 0.03 ^{A,a}	0.83 ± 0.03 ^{AB,a}	0.80 ± 0.06 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 4	0.85 ± 0.01 ^{A,a}	0.85 ± 0.01 ^{AB,a}	0.84 ± 0.01 ^{A,a}	0.85 ± 0.02 ^{A,a}	0.84 ± 0.02 ^{A,a}	0.81 ± 0.02 ^{A,b}
	สัปดาห์ที่ 6	0.84 ± 0.01 ^{A,a}	0.84 ± 0.01 ^{BC,a}	0.85 ± 0.02 ^{A,a}	0.84 ± 0.02 ^{A,a}	0.84 ± 0.02 ^{AB,a}	0.82 ± 0.03 ^{A,a}
	สัปดาห์ที่ 8	0.85 ± 0.01 ^{A,a}	0.84 ± 0.01 ^{BC,a}	0.84 ± 0.01 ^{A,a}	0.82 ± 0.02 ^{AB,a}	0.81 ± 0.03 ^{AB,a}	0.80 ± 0.06 ^{A,a}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัตถุหลังการย่างวันแรก

^{A A-E} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-b} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันของแต่ละพารามิเตอร์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

3.2.3.2 คุณภาพทางด้านเคมี

1. ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อค่าการออกซิเดชันของไขมันโดยการวัดปริมาณ Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARs) ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

การวิเคราะห์ค่าการออกซิเดชันของไขมันของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานโดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติม BHT 0.02% กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยทำการวัดค่าการออกซิเดชันของไขมันทุก ๆ 2 สัปดาห์ พบว่าค่าการออกซิเดชันของไขมันในกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่เติม BHT 0.02% และกลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% มีค่าการออกซิเดชันของไขมันสูงที่สุดรองลงมาคือกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.4 และ 0.2% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 35.51, 35.43 และ 30.03 ตามลำดับ และกลุ่มที่เติม BHT 0.02% มีค่าการออกซิเดชันของไขมันต่ำที่สุด คือ 12.89 เมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์พบว่าทุกกลุ่มการทดลองมีค่าการออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ($P < 0.05$) โดยกลุ่มการทดลองที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าการออกซิเดชันของไขมันสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ และกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% เกิดการออกซิเดชันของไขมันสูงที่สุด ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.59

จากผลการทดลองดังกล่าวมีความขัดแย้งกับการศึกษาของ กัลย์ภัทร แก้วมีแสง และคณะ. (2556) ได้ศึกษาการใช้ผงมะนาวโห่เพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและยั่วยุการเก็บรักษาในหมูหวาน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (หมูหวานไม่เติมผงมะนาวโห่) และกลุ่มหมูหวานที่เติมผงมะนาวโห่ 10 กรัม/กิโลกรัม จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0 และ 1 สัปดาห์ พบว่า ที่ระยะเวลา 0 สัปดาห์ หมูหวานกลุ่มที่เติมมะนาวโห่มีค่าการออกซิเดชันของไขมันเท่ากับ 93.92 ส่วนกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 278.81 และเมื่อเก็บรักษานาน 1 สัปดาห์พบว่ากลุ่มที่เติมมะนาวโห่มีค่าการออกซิเดชันของไขมันเท่ากับ 112.20 และกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 317.47 ถึงแม้ว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นส่งผลให้ค่าการออกซิเดชันของไขมันเพิ่มขึ้น แต่มะม่วงหาวมะนาวโห่ก็มีประสิทธิภาพในการต้านการออกซิเดชันของไขมันต่ำกว่ากลุ่มควบคุมทั้งที่ระยะเวลา 0 และ 1 สัปดาห์ นอกจากนี้ สุภามาศ มุสิก๊ะ (2550) ทำการศึกษาผลของน้ำตาลซูโครสต่อประสิทธิภาพการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยเตรียมกุนเชียงและหมูแผ่นดิบที่เติมสารสกัดกระเจี๊ยบแดงระดับความเข้มข้น 0.3% และแบ่งการทดลองออกเป็น 5 กลุ่มการทดลองที่มีระดับน้ำตาลซูโครส 0, 7, 13, 16, และ 20% บรรจุในถุงสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิห้องวิเคราะห์ค่า TBARs ทุก ๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าน้ำตาลซูโครสมีผลต่อค่า TBARs ของกุนเชียงและหมู

แผ่นดิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจะเห็นได้ชัดว่าเมื่อระดับของน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า TBARs เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาและสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้เติมน้ำตาลซูโครสและจะสูงสุดเมื่อระดับน้ำตาลซูโครสเท่ากับ 20% อาจเนื่องมาจากน้ำตาลซูโครสไปทำให้เกิดกลไกการสลายตัวของแอนโคโนยานินที่เป็นองค์ประกอบหลักในสารสกัดกระเจี๊ยบแดง จากเหตุผลดังกล่าวสามารถยืนยันได้จากงานวิจัยของ Tinley และ Bockian. (1959) อ้างโดย สุภามาศ มุสิกะ (2550) พบว่าน้ำตาลซูโครสมีผลในการเร่งการสลายตัวของแอนโคโนยานิน และที่ความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้นก็จะมีผลต่อการทำลายแอนโคโนยานินได้เร็วขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.59 ผลของสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่าการออกซิเดชันของไขมัน (TBARs) ของหมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (Mean±SD)

ระยะเวลา	TBARs (mg MDA/kg meat)					
การเก็บรักษา	Control	BHT 0.02%	Potassium Sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2 %	<i>C. carandas</i> 0.4 %	<i>C. carandas</i> 0.6 %
สัปดาห์ที่ 0	15.71 ± 0.32 ^{E,c}	12.89 ± 0.09 ^{D,d}	16.52 ± 0.81 ^{E,c}	30.03 ± 0.74 ^{E,b}	35.43 ± 0.90 ^{E,a}	35.51 ± 0.90 ^{E,a}
สัปดาห์ที่ 2	23.08 ± 0.75 ^{D,e}	16.21 ± 0.65 ^{C,f}	24.58 ± 0.20 ^{D,d}	39.37 ± 0.88 ^{D,c}	66.33 ± 0.47 ^{D,a}	61.17 ± 0.82 ^{D,b}
สัปดาห์ที่ 4	27.74 ± 0.48 ^{C,e}	16.71 ± 0.47 ^{C,f}	29.37 ± 0.88 ^{C,d}	78.84 ± 0.66 ^{C,b}	76.22 ± 0.64 ^{C,c}	103.20 ± 0.84 ^{C,a}
สัปดาห์ที่ 6	50.49 ± 0.97 ^{B,e}	24.84 ± 0.61 ^{B,f}	53.60 ± 0.60 ^{B,d}	73.58 ± 0.81 ^{B,c}	120.79 ± 0.41 ^{B,b}	139.36 ± 0.64 ^{B,a}
สัปดาห์ที่ 8	66.75 ± 0.39 ^{A,e}	41.84 ± 0.58 ^{A,f}	74.87 ± 0.83 ^{A,d}	116.99 ± 0.68 ^{A,c}	143.13 ± 0.44 ^{A,b}	153.62 ± 0.95 ^{A,a}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัตถุหลังการย่างวันแรก

^{A-E} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-f} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

2. ผลของสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อค่าการกำจัดอนุมูลอิสระด้วย DPPH ของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

การวิเคราะห์ค่าการกำจัดอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานโดยมีกลุ่มทดลองดังนี้ กลุ่มควบคุม (ไม่เติมสารสกัด) กลุ่มที่เติม BHT 0.02% กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ โดยทำการวัดค่าการกำจัดอนุมูลอิสระทุก ๆ 2 สัปดาห์ พบว่าหมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.6% มีค่า DPPH สูงที่สุด คือ 57.03 รองลงมาคือ กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.2 และ 0.4% โดยมีค่าสูงกว่า หมูหวานกลุ่มควบคุม คือ 38.06 ($P < 0.05$) และเมื่อเก็บรักษาหมูหวานนานขึ้นเป็นเวลา 8 สัปดาห์พบว่า ทุกกลุ่มการทดลองมีแนวโน้มค่า DPPH ลดลงตามการเก็บรักษา แต่ยังพบว่ากลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ยังมีค่า DPPH สูงกว่ากลุ่มควบคุม กลุ่มที่เติม BHT 0.02% และ กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1% ($P < 0.05$) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าหมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่สามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้ดี ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.60

ผลการทดลองดังกล่าวยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ กัลย์ภัทร แก้วมีแสง และคณะ (2556) ได้ศึกษาการใช้ผงมะนาวโห่เพื่อเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและยืดอายุการเก็บรักษาในหมูหวาน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (หมูหวานไม่เติมผงมะนาวโห่) และกลุ่มหมูหวานที่เติมผงมะนาวโห่ 10 กรัม/กิโลกรัม จากนั้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 0 และ 1 สัปดาห์ พบว่าที่ระยะเวลา 0 สัปดาห์ กลุ่มที่เติมผงมะนาวโห่มีค่า DPPH คือ 54.24 และ กลุ่มควบคุมมีค่า DPPH คือ 54.76 เมื่อเก็บรักษาหมูหวาน 1 สัปดาห์ พบว่าค่า DPPH ลดลงทั้ง 2 กลุ่ม แต่กลุ่มที่เติมผงมะนาวโห่มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wetwitapaklung *et al.* (2012) กล่าวว่า ในผลของมะม่วงหาวมะนาวโห่มีทั้งสารประกอบฟีนอลและสาร flavonoid ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.60 ผลของสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่และระยะเวลาการเก็บรักษาต่อค่า DPPH ของหมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (Mean±SD)

ระยะเวลา การเก็บรักษา	% Inhibition of DPPH					
	Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2 %	<i>C. carandas</i> 0.4 %	<i>C. carandas</i> 0.6 %
สัปดาห์ที่ 0	38.06 ± 0.53 ^{A,d}	48.06 ± 0.89 ^{A,c}	51.58 ± 0.56 ^{A,b}	55.84 ± 0.59 ^{A,a}	48.37 ± 0.94 ^{A,c}	57.03 ± 0.91 ^{A,a}
สัปดาห์ที่ 2	31.72 ± 0.77 ^{C,d}	46.17 ± 0.70 ^{B,b}	43.96 ± 0.72 ^{B,c}	46.07 ± 0.60 ^{C,b}	48.46 ± 0.94 ^{A,a}	46.18 ± 0.71 ^{C,b}
สัปดาห์ที่ 4	33.31 ± 0.68 ^{B,e}	45.65 ± 0.59 ^{B,b}	38.30 ± 0.86 ^{C,d}	48.88 ± 0.73 ^{B,a}	43.27 ± 0.77 ^{B,c}	48.93 ± 0.52 ^{B,a}
สัปดาห์ที่ 6	29.38 ± 0.37 ^{D,f}	35.00 ± 0.30 ^{C,d}	33.93 ± 0.48 ^{D,c}	37.14 ± 0.59 ^{D,b}	35.84 ± 0.34 ^{C,c}	42.63 ± 0.54 ^{D,a}
สัปดาห์ที่ 8	26.94 ± 0.76 ^{E,d}	32.44 ± 0.28 ^{D,c}	27.47 ± 0.50 ^{E,d}	36.08 ± 0.48 ^{D,b}	36.73 ± 0.70 ^{C,b}	42.57 ± 0.51 ^{D,a}

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัตถุภายหลังการย่างวันแรก

^{A-E} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

^{a-f} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

3.2.3.3 คุณภาพด้านจุลินทรีย์

การวิเคราะห์หาจำนวนจุลินทรีย์รวมในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หมูหวานก่อนทำการอบแล้วอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มการทดลอง ดังนี้ 1. กลุ่มควบคุม 2. กลุ่มที่เติม BHT 0.02%, 3. กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1%, 4. กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% แล้วเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบจำนวนเชื้อจุลินทรีย์รวม 5.24, 5.33, 5.32, 5.22, 5.29 และ 5.28 log cfu/g และเมื่อเก็บรักษานานขึ้นเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ทุกกลุ่มการทดลองมีจำนวนจุลินทรีย์ต่ำกว่าค่าที่สามารถตรวจพบได้ (<10 cfu/g) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.61

การวิเคราะห์หาเชื้อ *S. aureus* ในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หมูหวานก่อนทำการอบแล้วอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มการทดลอง ดังนี้ 1. กลุ่มควบคุม 2. กลุ่มที่เติม BHT 0.02%, 3. กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1%, 4. กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% แล้วเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบการปนเปื้อนเชื้อ *S. aureus* ในส่วนผสมของกลุ่มการทดลองจำนวน 1.75, 1.56, 1.38, 1.46, 1.65 และ 1.54 log cfu/g ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษานานขึ้นเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ทุกกลุ่มการทดลองมีจำนวน *S. aureus* ต่ำกว่าค่าที่สามารถตรวจพบได้ (<10 cfu/g) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.61

การวิเคราะห์หาเชื้อยีสต์ราในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หมูหวานก่อนทำการอบแล้วอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มการทดลอง ดังนี้ 1. กลุ่มควบคุม 2. กลุ่มที่เติม BHT 0.02%, 3. กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1%, 4. กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2, 0.4, และ 0.6% แล้วเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แบบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบการปนเปื้อนเชื้อยีสต์และรา จำนวน 4.16, 4.23, 4.15, 4.13, 4.16 และ 4.13 log cfu/g ตามลำดับ ภายหลังการอบแล้วอย่าง เก็บรักษานานขึ้นเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ทุกกลุ่มการทดลองมีจำนวนเชื้อยีสต์ราต่ำกว่าค่าที่สามารถตรวจพบได้ (<10 cfu/g) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.61

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของไขมันไม่มีผลต่อปริมาณของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์เพราะหลังจากผ่านกระบวนการอบพบว่า ทุกกลุ่มการทดลองมีจำนวนจุลินทรีย์ต่ำกว่าค่าที่สามารถตรวจพบได้ (<10 cfu/g) ตรงตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. 2549) กำหนดว่า จำนวนจุลินทรีย์รวม ต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม *S. aureus* ต้องไม่พบในตัวอย่าง 0.01 กรัม *E. coli* โดยวิธี MPN ต้องน้อยกว่า 3 ต่อตัวอย่าง 1 กรัม และยีสต์/รา ต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม แสดงให้เห็นว่ากระบวนการอบสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้

การวิเคราะห์หาเชื้อ Coliform และ *E. coli* ในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์หมูหวานก่อนทำการอบแล้วอย่างพบการปนเปื้อน Coliform และ Fecal Coliform ในส่วนผสมของกลุ่มการทดลองโดยแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มการทดลอง ดังนี้ 1) กลุ่มควบคุม 2) กลุ่มที่เติม BHT 0.02%, 3) กลุ่มที่เติม

Potassium sorbate 0.1%, 4) กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) ความเข้มข้น 0.2, 0.4, และ 0.6% จำนวน 93-460, 240, 240-460, 150-460, 93-460 และ 150 MPN/g ตามลำดับ แต่ตรวจไม่พบเชื้อ *E. coli* อย่างไรก็ตามภายหลังการอบแล้วอย่างและทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ทุกกลุ่มการทดลองตรวจไม่พบ Coliform และ *E. coli* ดังแสดงในตารางที่ 4.62

ตารางที่ 4.61 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทาน (Mean±SD)

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลา การเก็บรักษา	จำนวนจุลินทรีย์ log cfu/g					
		Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2 %	<i>C. carandas</i> 0.4 %	<i>C. carandas</i> 0.6 %
จุลินทรีย์รวม	สัปดาห์ที่ 0	5.24 ± 0.12	5.33 ± 0.09	5.32 ± 0.18	5.22 ± 0.17	5.29 ± 0.12	5.28 ± 0.11
	สัปดาห์ที่ 2	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 4	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 6	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 8	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*
<i>S. aureus</i>	สัปดาห์ที่ 0	1.75 ± 0.16	1.56 ± 0.35	1.38 ± 0.20	1.46 ± 0.23	1.65 ± 0.24	1.54 ± 0.32
	สัปดาห์ที่ 2	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 4	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 6	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 8	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*
Yeast/Mold	สัปดาห์ที่ 0	4.16 ± 0.40	4.23 ± 0.49	4.15 ± 0.36	4.13 ± 0.42	4.16 ± 0.32	4.13 ± 0.40
	สัปดาห์ที่ 2	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 4	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 6	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*
	สัปดาห์ที่ 8	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*	<10*

* น้อยกว่า 10 cfu/g (ต่ำกว่าระดับที่ตรวจนับได้)

ตารางที่ 4.62 ปริมาณเชื้อ Coliform และ *E. coli* (MPN) ที่ตรวจพบในผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแข็งพร้อมรับประทาน

เชื้อที่ศึกษา	ระยะเวลา การเก็บรักษา	จำนวนจุลินทรีย์ (MPN/g)					
		Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2%	<i>C. carandas</i> 0.4%	<i>C. carandas</i> 0.6%
Total Coliform	ก่อนการอบแล้วอย่าง	93-460	240	240-460	150-460	93-460	150
	สัปดาห์ที่ 0	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 2	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 4	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 6	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 8	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Fecal Coliform	ก่อนการอบแล้วอย่าง	93-210	240	240-290	150-460	93-460	150
	สัปดาห์ที่ 0	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 2	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 4	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 6	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 8	<3	<3	<3	<3	<3	<3
<i>E. coli</i>	ก่อนการอบแล้วอย่าง	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 0	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 2	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 4	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 6	<3	<3	<3	<3	<3	<3
	สัปดาห์ที่ 8	<3	<3	<3	<3	<3	<3

สัปดาห์ที่ 0 คือ วัดหลังจากการอบแล้วอย่าง

3.2.3.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทานหลังการอบแล้วอย่าง โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มการทดลอง ดังนี้ 1. กลุ่มควบคุม 2. กลุ่มที่เติม BHT 0.02%, 3. กลุ่มที่เติม Potassium sorbate 0.1%, และ 4. กลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ (*C. carandas*) 0.2% พบว่าคะแนนการยอมรับได้ของผู้บริโภคด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี ด้านกลิ่นรส ด้านรสชาติ และด้านลักษณะโดยรวมของหมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ได้คะแนนการยอมรับได้น้อยที่สุด คือ 4.97, 4.66, 4.44, 1.38, และ 2.03 ตามลำดับ ($P < 0.05$) ซึ่งจากผลดังกล่าวเห็นได้ว่าหมูหวานกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.2% ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยได้คะแนนความชอบ 1 ในด้านรสชาติ และได้คะแนนความชอบ 2 ในด้านลักษณะโดยรวม ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.63 จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ เยาวลักษณ์ สุรพันธุ์ (2549) ได้ทำการศึกษาการใช้สารสกัดจากดอกกระเจี๊ยบแดงและเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันธรรมชาติในหมูแผ่น พบว่าหมูแผ่นที่เติมสารสกัดจากเปลือกและเมล็ดส้มเขียวหวานมีรสชาติขม นั้นเป็นผลมาจากความขมของสารประกอบในกลุ่มของลิโมนอยด์ (limonoids) และ โนมิลิน (nomilin) ซึ่งมีอยู่ในสารสกัดเมื่อนำมาเติมในส่วนผสมของหมูหวานจึงทำให้หมูแผ่นมีรสชาติขม

ตารางที่ 4.63 ผลของสารสกัดจากมะม่วงหาวมะนาวโห่ต่อการประเมินความชอบโดยรวมของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (Mean±SD)

คุณลักษณะ	Control	BHT 0.02%	Potassium sorbate 0.1%	<i>C. carandas</i> 0.2%
ลักษณะปรากฏ	5.56 ± 0.76 ^a	5.50 ± 0.84 ^a	5.28 ± 0.73 ^{ab}	4.97 ± 0.74 ^b
สี	5.47 ± 0.95 ^a	5.38 ± 1.04 ^a	4.78 ± 1.18 ^b	4.66 ± 1.15 ^b
กลิ่นรส	5.16 ± 1.19 ^a	4.84 ± 0.95 ^{ab}	4.63 ± 1.18 ^{ab}	4.44 ± 1.13 ^b
เนื้อสัมผัส	4.53 ± 1.05 ^a	4.50 ± 1.05 ^a	4.69 ± 0.97 ^a	4.38 ± 1.24 ^a
รสชาติ	5.16 ± 0.95 ^a	5.06 ± 1.01 ^a	4.88 ± 1.21 ^a	1.38 ± 0.61 ^b
ลักษณะโดยรวม	5.13 ± 0.98 ^a	5.03 ± 1.00 ^a	5.00 ± 1.05 ^a	2.03 ± 0.78 ^b

^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

คะแนนความชอบ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด, 2 = ไม่ชอบมาก, 3 = ไม่ชอบ, 4 = เฉย ๆ, 5 = ชอบ, 6 = ชอบมาก, 7 = ชอบมากที่สุด

3.2.4 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และเถ้า ของกลุ่มที่ควบคุม และกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.2% ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P > 0.05$) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.64

เมื่อคำนวณค่าพลังงานทั้งหมดของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (ตารางที่ 4.64) พบว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ ไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) โดยกลุ่มควบคุมมีค่าพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 442.21 kcal/100g เป็นพลังงานที่ได้จากโปรตีน 91.52 kcal/100g, คาร์โบไฮเดรต 157.86 kcal/100g และไขมัน 192.83 kcal/100g ซึ่งคิดเป็น 20.70%, 35.70% และ 43.61% ตามลำดับ ส่วนกลุ่มที่เติมสารสกัดมะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.2% มีค่าพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 424.01 kcal/100g เป็นพลังงานที่ได้จากโปรตีน 90.10 kcal/100g, คาร์โบไฮเดรต 154.58 kcal/100g และไขมัน 179.33 kcal/100g ซึ่งคิดเป็น 21.25%, 36.46% และ 42.29% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.64 องค์ประกอบทางเคมี และพลังงานของผลิตภัณฑ์หมูหวานกึ่งแห้งพร้อมรับประทาน (Mean $\pm$ SD)

องค์ประกอบทางเคมี (%)	กลุ่มทดลอง	
	กลุ่มควบคุม	มะม่วงหาวมะนาวโห่ 0.2%
ความชื้น (%)	13.04 $\pm$ 0.07 ^a	15.79 $\pm$ 0.06 ^a
ไขมัน (%)	21.43 $\pm$ 0.12 ^a	19.93 $\pm$ 0.06 ^a
โปรตีน (%)	22.88 $\pm$ 0.14 ^a	22.53 $\pm$ 0.05 ^a
คาร์โบไฮเดรต (%)	39.47 $\pm$ 0.12 ^a	38.65 $\pm$ 0.12 ^a
เถ้า (%)	3.18 $\pm$ 0.04 ^a	3.10 $\pm$ 0.04 ^a
Energy value (kcal/100 g)	442.21 $\pm$ 1.00 ^a	424.01 $\pm$ 0.86 ^a
- Calories from Protein	91.52 $\pm$ 0.57 ^a	90.10 $\pm$ 0.20 ^a
- Calories from Carbohydrate	157.86 $\pm$ 0.48 ^a	154.58 $\pm$ 0.48 ^a
- Calories from Fat	192.83 $\pm$ 1.08 ^a	179.33 $\pm$ 0.57 ^a
- Calories from Protein (%)	20.70 $\pm$ 0.17 ^a	21.25 $\pm$ 0.09 ^a
- Calories from Carbohydrate (%)	35.70 $\pm$ 0.03 ^a	36.46 $\pm$ 0.04 ^a
- Calories from Fat (%)	43.61 $\pm$ 0.15 ^a	42.29 $\pm$ 0.05 ^a

^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)