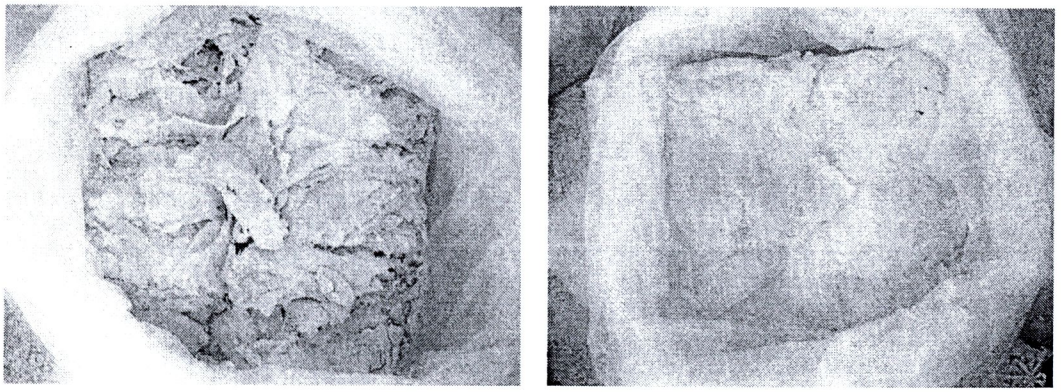
บทที่ 4
ผล และวิจารณ์การทดลอง

4.1 การศึกษาการกำจัดกลิ่นในวัตถุดิบแมงกะพรุนดองเกลือ

วัตถุดิบแมงกะพรุนหนัง (*Rhopilema hispidum*) และแมงกะพรุนลอดช่องดองเกลือ (*Lobonema smithii*) (ดังภาพที่ 4-1) มีองค์ประกอบทางเคมีของแมงกะพรุนหนัง และแมงกะพรุนลอดช่อง ในส่วนร่มและขา คือ ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน และเถ้า เท่ากับ 4.28-5.43%, 95.12-92.59%, 1.15-0.61% และ 0.67-0.39% ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4-1) โดยแมงกะพรุนลอดช่องมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่าแมงกะพรุนหนังในวัตถุดิบเริ่มต้น $p \leq 0.05$ สอดคล้องกับผลของ อิสรี (2552) รายงานว่าแมงกะพรุนหนัง และแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่มและส่วนขามีปริมาณโปรตีนระหว่าง 2.34-3.17% ปริมาณความชื้นระหว่าง 95.16-95.78% ปริมาณไขมันอยู่ระหว่าง 0.84-1.56% และปริมาณเถ้า 0.21-0.59%



(ก) (ข)

ภาพที่ 4-1 (ก) แมงกะพรุนลอดช่องส่วนร่มและ (ข) แมงกะพรุนหนังส่วนร่ม

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแมงกะพรุนล้างน้ำ

แมงกะพรุน	โปรตีน	ความชื้น	ไขมัน	เถ้า
R. hispidum (Bell)	4.28 ± 0.11^{c}	95.12 ± 0.19^{a}	0.86 ± 0.25^{b}	0.46 ± 0.02^{c}
R. hispidum (Oral arm)	4.80 ± 0.19^{b}	93.75 ± 0.11^{b}	1.15 ± 0.05^{a}	0.67 ± 0.04^{a}
L. smithii (Bell)	5.43 ± 0.38^{a}	93.52 ± 0.29^{b}	0.61 ± 0.06^{b}	0.39 ± 0.05^{d}
L. smithii (Oral arm)	5.39 ± 0.38^{a}	92.59 ± 0.13^{c}	0.79 ± 0.04^{b}	0.53 ± 0.02^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันในแมงกะพรุน (ดังตารางที่ 4-2) พบว่า กรดไขมันในแมงกะพรุนประกอบด้วยกรดไขมัน 3 ประเภท ได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) กรดไขมันไม่อิ่มตัวแบบ 1 พันธะคู่ (Monounsaturates) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวแบบหลายพันธะคู่ (Polyunsaturates) กรดไขมันของแมงกะพรุนหนัง และลอดช่องส่วนมากเป็นกรดไขมันอิ่มตัว ซึ่งกรดไขมัน Palmitic Acid (C16:0) มีปริมาณมากสุด อยู่ในช่วง 39.76-43.64% รองมาคือ Stearic Acid (C18 : 0) อยู่ระหว่าง 21.31-17.64% และ Myristic Acid (C14 : 0) มีค่า 2.77-7.92 ตามลำดับ ซึ่งไม่พบกรดไขมัน Lauric Acid (C12 : 0) ในแมงกะพรุนหนัง และไม่พบกรดไขมัน Tricosanoic Acid (C23 : 0) ในแมงกะพรุนลอดช่อง

ในกรดไขมันไม่อิ่มตัวในแมงกะพรุน พบว่า Palmitoleic Acid (C16 : 1) มีอยู่ในทั้งแมงกะพรุนหนังและลอดช่อง ระหว่าง 3.69-6.86% ส่วนกรดไขมัน Myristoleic Acid (C16 : 1) มีเฉพาะในแมงกะพรุนหนัง แต่มีปริมาณที่น้อยมาก ส่วนในกรดไขมันไม่อิ่มตัวแบบหลายพันธะคู่ พบว่ามีกรดไขมันมากสุดคือ Linoleic Acid (C18 : 2n6c) มีปริมาณ 1.46-0.54% ตามลำดับ ส่วนกรดไขมัน Erucic Acid (C22 : 1n9), Cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid (C20 : 3n3) และ Cis-5, 8, 11, 14, 17 -Eicosapentaenoic Acid (C20 : 5) พบเฉพาะแมงกะพรุนหนังซึ่งมีปริมาณที่น้อยมาก โดยแมงกะพรุนมีกรดไขมันจำเป็นประกอบด้วยกรดไขมัน Linoleic (โอเมก้า 6) และ Oleic Acid (โอเมก้า 9)

ตารางที่ 4-2 องค์ประกอบของกรดไขมันในวัตถุดิบแมงกะพรุน

กรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน(%)	
	แมงกะพรุนหนัง	แมงกะพรุนลอดช่อง
Saturated fatty acid		
Lauric Acid (C12 : 0)	-	0.52
Myristic Acid (C14 : 0)	2.77	7.92
pentadecanoic Acid (C15 : 0)	1.19	2.23
palmitic Acid (C16 : 0)	39.76	43.64
Heptadecanoic Acid (C17 : 0)	3.24	2.71
Stearic Acid (C18 : 0)	21.31	17.64
Arachidic Acid (C20 : 0)	0.97	1.08
Heneicosanoic Acid (C21 : 0)	0.36	0.71
Behenic Acid (C22 : 0)	0.84	1.34
Tricosanoic Acid (C23 : 0)	0.21	-
Lignoceric Acid (C24 : 0)	0.82	1.33

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

กรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน(%)	
	แมงกะพรุนหนัง	แมงกะพรุนลอดช่อง
Monounsaturates		
Palmitoleic Acid (C16 : 1)	3.69	6.86
Myristoleic Acid (C16 : 1)	0.71	-
Oleic Acid (C18 : 1n9t)	7.13	4.18
Erucic Acid (C22 : 1n9)	0.10	-
Polyunsaturates		
Linoleic Acid (C18 : 2n6c)	1.46	0.51
cis-11,14,17-Eicosatrienoic Acid(C20 : 3n3)	0.12	-
Arachinodic Acid (C20 : 4n6)	0.21	0.56
cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic Acid (C20 : 5)	0.36	-

โดยวัตถุดิบเริ่มต้นที่เป็นแมงกะพรุนดองเกลือ หลังล้างน้ำ พบว่ายังมีกลิ่นคาวของแมงกะพรุนอยู่จึงมีการใช้วัตถุดิบในการกำจัดกลิ่นด้วย น้ำส้มสายชู (Rice Vinegar) และชาเขียว(Green Tea) เนื่องจากพบว่ามีงานวิจัยของ ศิวาพร (2546) อ้างว่าการใช้กรดน้ำส้มสายชู สามารถปรับกลิ่นรสของอาหารได้ จึงเลือกใช้มาทดลอง โดยวิเคราะห์ค่า Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) และ Trimethylamine (TMA) พบว่า ค่า TVB-N ของแมงกะพรุนหนังส่วนร่ม ส่วนขาและแมงกะพรุนลอดช่องส่วนร่ม และส่วนขา มีค่า 1.87%, 1.98%, 1.52% และ1.63% ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4-3 และ 4-4) โดยแมงกะพรุนหนังมีค่า TVB-N มากกว่าแมงกะพรุนลอดช่อง และในส่วนขา มีค่า TVB-N มากกว่าส่วนร่ม และเมื่อเปรียบเทียบกับสารที่ใช้กำจัดกลิ่น ชาเขียว และน้ำส้มสายชู เห็นว่าแมงกะพรุนหนังส่วนร่ม และส่วนขาที่ใช้สารกำจัดกลิ่นมีแนวโน้มของค่า TVB-N น้อยกว่าแมงกะพรุนดั้งเดิม ส่วนในแมงกะพรุนลอดช่องมีแนวโน้มเช่นเดียวกับแมงกะพรุนหนัง แต่มีการลดลงของ TVB-N อย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 โดย TVB-N คือ ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่ระเหยได้ทั้งหมด ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ค่ารวมของ TMA, Dimethylamine (DMA) และแอมโมเนีย (Conell, 1975) ซึ่งเป็นดัชนีบ่งชี้ความสดในผลิตภัณฑ์ (Chomnawang, 2007; Sallam, 2007) ผลการศึกษาTMA (ดังตารางที่ 4-5 และ4-6) ส่วนใหญ่แมงกะพรุนที่ใช้สารกำจัดกลิ่นมีแนวโน้มของค่า TMA ลดลงจากแมงกะพรุนหลังล้างเกลือ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.7-1.05% โดย TMA เป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์ลักษณะแอมโมเนียที่มีคล้ายคลึงกับ กลิ่นเหม็น (Off-odour) และกลิ่นคาว (Fishy) (Gram and Huss, 1996) ลักษณะปรากฏพบว่าแมงกะพรุนที่ผ่านการกำจัดกลิ่นด้วยชาเขียวมีสีเขียวเหลือง ดังภาพที่ 4-2 ซึ่งเป็นสีที่ไม่เป็นธรรมชาติของอาหารทะเล เมื่อทำการแปรรูปแล้วอาจมีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ อีกทั้งยังมีรสฝาดของชา ส่วนแมงกะพรุนที่กำจัดกลิ่นด้วยน้ำส้มสายชูมีสีที่เข้มกว่าสีแมงกะพรุนชุดควบคุมเล็กน้อย เมื่อทำการแปรรูปแล้ว สีที่ได้ก็สามารถนำไปใช้

ประโยชน์ที่หลากหลายกว่า จึงคัดเลือกแมงกะพรุนที่ผ่านการกำจัดกลิ่นด้วยน้ำส้มสายชู 5% ศึกษาต่อ เมื่อศึกษาค่าสีแมงกะพรุนวัตถุดิบที่ผ่านการกำจัดกลิ่น พบว่าค่า L* value ของแมงกะพรุนหนังมีค่าสูงกว่าแมงกะพรุนลอดช่อง โดยค่า L* ของแมงกะพรุนชุดควบคุมมีค่ามากกว่าแมงกะพรุนที่ผ่านการกำจัดกลิ่นด้วยน้ำส้มสายชู และชาเขียว ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4-3) ค่า b* value พบว่า แมงกะพรุนที่กำจัดกลิ่นด้วยชาเขียวมีค่ามากกว่าแมงกะพรุนชุดควบคุมและแมงกะพรุนที่ใช้น้ำส้มสายชู ตามลำดับ (ดังภาพที่ 4-4)

ตารางที่ 4-3 ค่า Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) ของแมงกะพรุนหนังที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำส้มสายชู และชาเขียว

ตัวอย่าง	(TVB-N) mg Nitrogen/ 100 g		
	แมงกะพรุนล้างน้ำ^{ns}	แมงกะพรุนแช่ชาเขียว^{ns}	แมงกะพรุนแช่น้ำส้มสายชู^{ns}
แมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม	1.87±0.20	1.52±0.20	1.75±0.00
แมงกะพรุนหนัง ส่วนขา	1.98±0.53	1.63±0.20	1.63±0.20

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-4 ค่า Total Volatile Basic Nitrogen (TVB-N) ของแมงกะพรุนลอดช่องที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำส้มสายชู และชาเขียว

ตัวอย่าง	(TVB-N) mg Nitrogen/ 100 g		
	แมงกะพรุนล้างน้ำ^{ns}	แมงกะพรุนแช่ชาเขียว^{ns}	แมงกะพรุนแช่น้ำส้มสายชู^{ns}
แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม	1.52±0.20	1.52±0.20	1.17±0.20
แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา	1.63±0.20	1.28±0.20	1.17±0.20

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-5 ค่า Trimethylamine (TMA) ของแมงกะพรุนหนังที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำส้มสายชู และชาเขียว

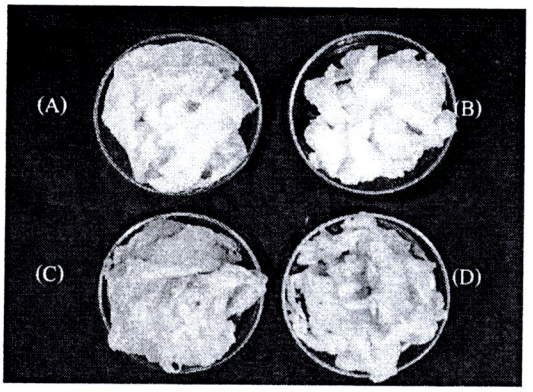
ตัวอย่าง	(TMA) mg Nitrogen/ 100 g		
	แมงกะพรุนล้างน้ำ^{ns}	แมงกะพรุนแช่ชาเขียว^{ns}	แมงกะพรุนแช่น้ำส้มสายชู^{ns}
แมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม	0.93±0.20	0.7±0.35	0.82±0.20
แมงกะพรุนหนัง ส่วนขา	1.05±0.00	0.82±0.20	0.93±0.20

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

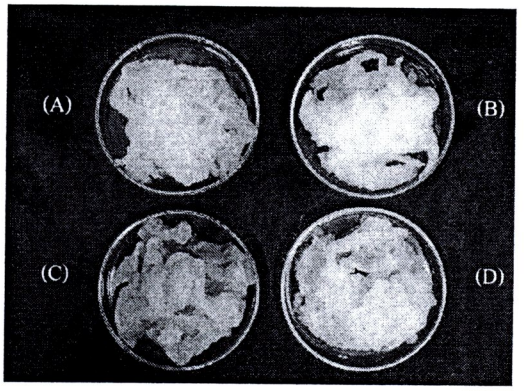
ตารางที่ 4-6 ค่า Trimethylamine (TMA) ของแมงกะพรุนลอดช่องที่ผ่านการแช่ด้วยน้ำส้มสายชู และชาเขียว

ตัวอย่าง	(TMA) mg Nitrogen/ 100 g		
	แมงกะพรุนล้างน้ำ^{ns}	แมงกะพรุนแช่ชาเขียว^{ns}	แมงกะพรุนแช่น้ำส้มสายชู^{ns}
แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม	0.93±0.20	1.05±0.35	0.82±0.20
แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา	0.82±0.20	0.7±0.00	1.05±0.00

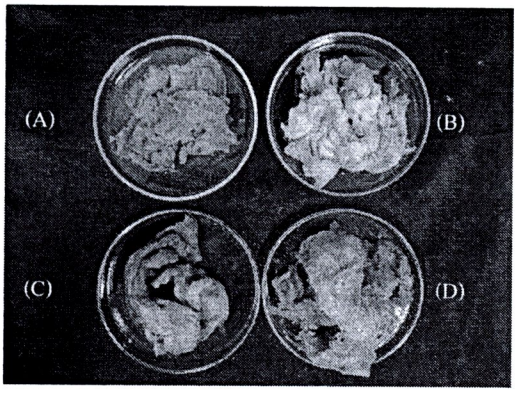
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



(ก)



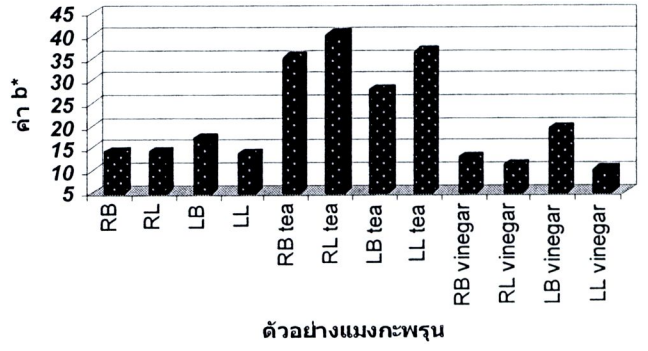
(ข)



(ค)

ภาพที่ 4-2 สีแมงกะพรุนหลังการกำจัดกลิ่น (ก) ชุดควบคุม (ข) ผ่านน้ำส้มสายชู 5% (ค) ผ่านชาเขียว 3% (A) แมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม (B) แมงกะพรุนหนัง ส่วนขา (C) แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม (D) แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา

ภาพที่ 4-3 ค่า L* ของแมงกะพรุนหลังกำจัดกลิ่น



ภาพที่ 4-4 ค่า b* ของแมงกะพรุนหลังกำจัดกลิ่น

หมายเหตุ : RB คือ แมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม ชุดควบคุม

RL คือ แมงกะพรุนหนัง ส่วนขา ชุดควบคุม

LB คือ แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม ชุดควบคุม

LL คือ แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา ชุดควบคุม

RB Tea คือ แมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม แช่ชาเขียว

RL Tea คือ แมงกะพรุนหนัง ส่วนขา แช่ชาเขียว

LB Tea คือ แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม แช่ชาเขียว

LL Tea คือ แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา แช่ชาเขียว

RB Vinegar คือ แมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม แช่น้ำส้มสายชู

RL Vinegar คือ แมงกะพรุนหนัง ส่วนขา แช่น้ำส้มสายชู

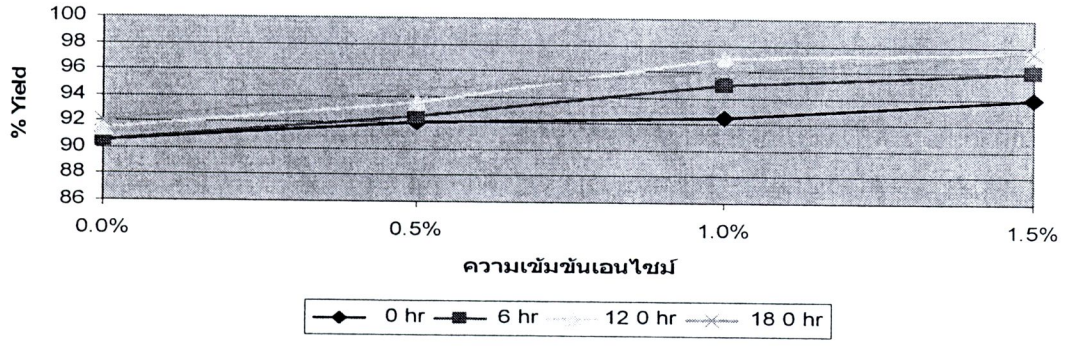
LB Vinegar คือ แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม แช่น้ำส้มสายชู

LL Vinegar คือ แมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา แช่น้ำส้มสายชู

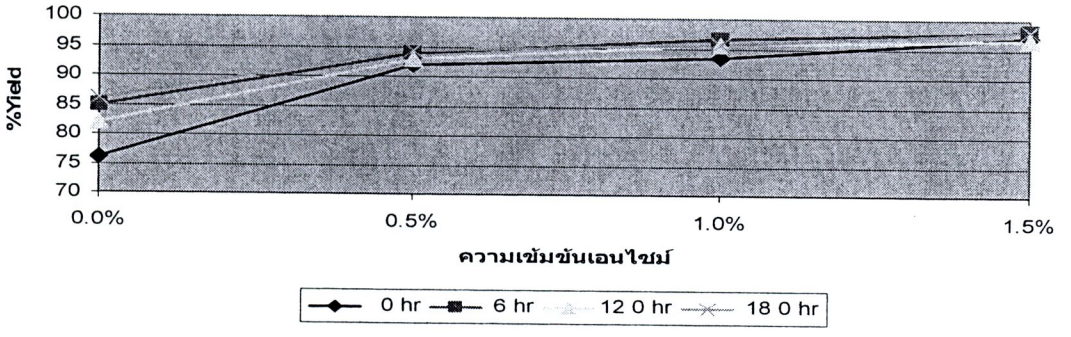
จากการประเมินค่า TVB-N ค่า TMA และค่าสี พบว่าค่า TVB-N ของแมงกะพรุนเมื่อแช่ด้วยน้ำส้มสายชูที่ความเข้มข้น 5% ส่งผลให้ค่า TVB-N ลดลงแตกต่าง $p \leq 0.05$ กับแมงกะพรุนชุดควบคุม แต่เมื่อเปรียบเทียบค่า TMA พบว่าการใช้วัตถุดิบกำจัดกลิ่นจากน้ำส้มสายชู และชาเขียวไม่แตกต่าง $p \leq 0.05$ และเมื่อวิเคราะห์ค่าสีของแมงกะพรุนหลังแช่ด้วยน้ำส้มสายชูพบว่ามีค่า b* ที่แสดงความเป็นสีเหลืองใกล้เคียงกับแมงกะพรุนชุดควบคุม แต่ในแมงกะพรุนที่แช่ด้วยชาเขียวให้ค่า b* ที่สูงกว่าชุดควบคุม ทำให้ได้สีที่มีสีเหลืองเข้มผิดปกติของวัตถุดิบแมงกะพรุน จึงได้คัดเลือกแมงกะพรุนที่ใช้น้ำส้มสายชูเป็นสารกำจัดกลิ่นและนำไปศึกษาต่อไป

4.2 การศึกษาการเตรียมวัตถุดิบแมงกะพรุนโปรตีนไฮโดรไลเซท (Jellyfish Protein Hydrolysate; JPH)

จากการทดลองที่ 4.1 ได้คัดเลือกแมงกะพรุนที่ผ่านการกำจัดกลิ่นมาศึกษาต่อโดยใช้น้ำส้มสายชู 5% ซึ่งมีผลที่ดีกว่าการใช้ชาเขียว เนื่องจากแมงกะพรุนที่แช่ด้วยชาเขียวมีสีที่ไม่เป็นธรรมชาติ และมีข้อจำกัดต่อการนำไปใช้ต่อ โดยตัวอย่างมาแปรปริมาณเอนไซม์โบรมิเลนที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5% ที่ระยะเวลา 0, 6, 12 และ 18 ชั่วโมง พบว่าค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิต (%yield) ของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุน (ดังภาพที่ 4-5 และ 4-6) ต่อหน้า 60

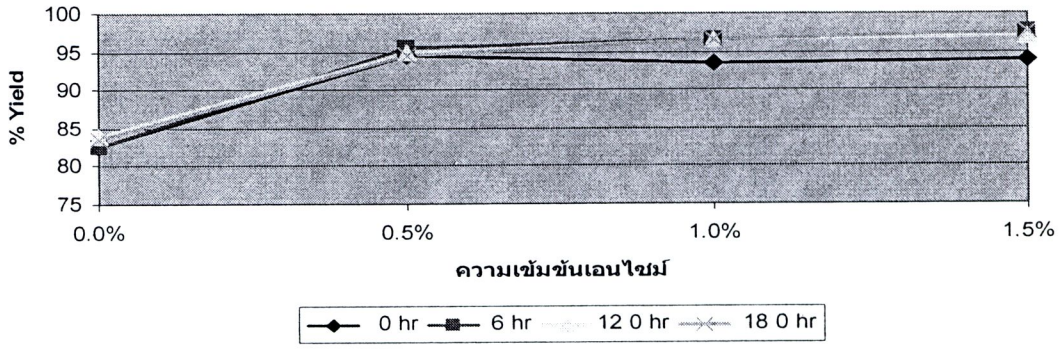


(ก)

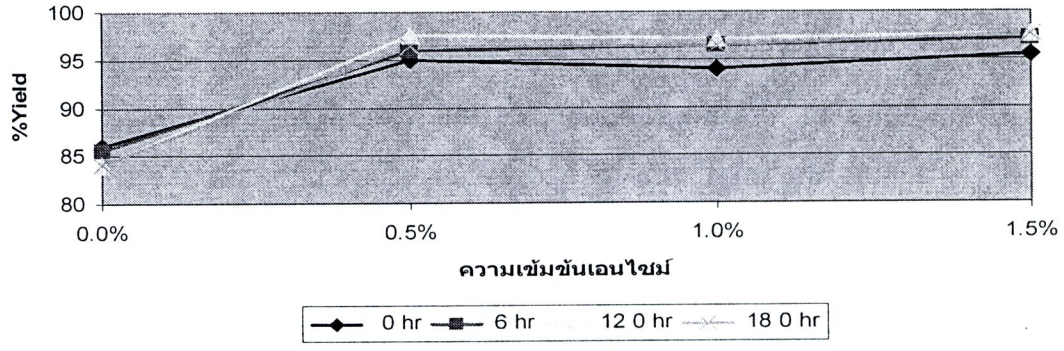


(ข)

ภาพที่ 4-5 %Yield ของแมงกะพรุนหนัง (ก) ส่วนร่ม (ข) ส่วนขา



(ก)

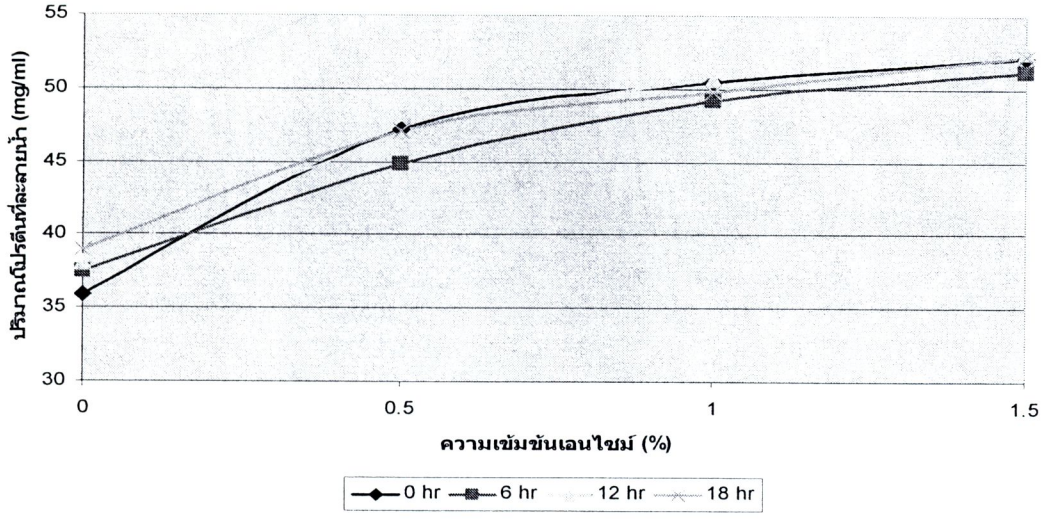


(ข)

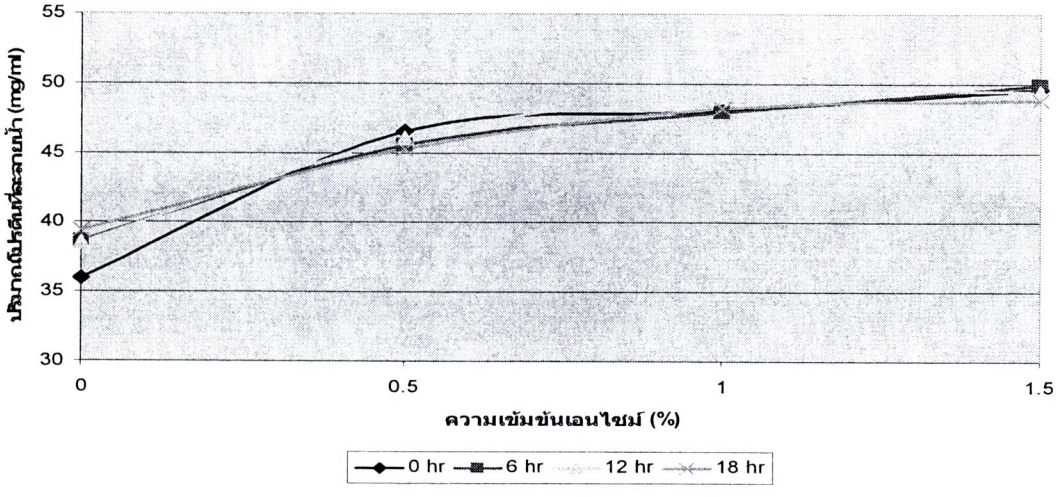
ภาพที่ 4-6 %Yield ของแมงกะพรุนลอดช่อง (ก) ส่วนร่ม (ข) ส่วนขา

ทั้งแมงกะพรุนหนัง และแมงกะพรุนลอดช่อง เพิ่มขึ้น $p \leq 0.05$ โดยมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดที่ความเข้มข้น 0% ไปเป็น 0.5% ส่วนที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5% ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบ %Yield ที่ระยะเวลาต่างกันพบว่าที่ระยะเวลา 0, 6, 12 และ 18 ชั่วโมง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 โดย %Yield สูงสุดของแมงกะพรุนลอดช่องส่วนร่ม คือ ที่ความเข้มข้นโบรมิเลน 1.5% เวลา 6 และ 12 ชั่วโมง ได้ 97.5% แมงกะพรุนหนังส่วนร่มที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5% เวลา 12 และ 18 ชั่วโมง ได้ 97.5% แมงกะพรุนลอดช่องส่วนขาที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5% เวลา 12 และ 18 ชั่วโมง ได้ 97.5% และแมงกะพรุนหนังส่วนขาที่ความเข้มข้น 1.5% เวลา 6 และ 18 ชั่วโมง ได้ 98% โดยการย่อยของเอนไซม์โบรมิเลนพบว่าสามารถย่อยแมงกะพรุนลอดช่องส่วนร่มได้ดีกว่าแมงกะพรุนหนังส่วนร่ม %Yield 83.5% เป็น 97.5% และ 92% เป็น 97.5% ตามลำดับ และเอนไซม์โบรมิเลนสามารถย่อยแมงกะพรุนลอดช่องส่วนขาดีกว่าแมงกะพรุนหนังส่วนขา ซึ่งมี %Yield จาก 84% เป็น 97.5% และ 86% เป็น 98% ตามลำดับ เนื่องจากแมงกะพรุนหนังมีลักษณะของเนื้อที่อ่อนคล้ายเยลลี่ ที่ความเข้มข้นเอนไซม์ที่ 0% แมงกะพรุนจึงสามารถผ่านการกรองได้มาก แต่ในแมงกะพรุนลอดช่องมีลักษณะของเนื้อที่แข็งไม่อ่อนนุ่มเหมือนเยลลี่ ที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 0% จึงทำให้ไม่สามารถผ่านกรองได้เท่ากับแมงกะพรุนหนัง

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยของเอนไซม์พบว่ามี %Yield สูงสุด 98% และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในตัวอย่างแมงกะพรุน (ดังภาพที่ 4-7 และ 4-8) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำในแมงกะพรุนได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นเอนไซม์โดยแมงกะพรุนหนังส่วนร่ม และส่วนขา มีปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำสูงสุดเท่ากับ 52.58 และ 49.48 mg/ml ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5% เวลาการย่อย 6-12 ชั่วโมง ส่วนปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้สูงสุดของแมงกะพรุนลอดช่องส่วนร่ม และส่วนขา มีค่าเท่ากับ 59.95 และ 59.1 mg/ml ตามลำดับ ที่ระดับ ความเข้มข้นของเอนไซม์ 1.5% เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การเพิ่มระดับความเข้มข้นเอนไซม์โบรมิเลนมีผลต่อการเพิ่มปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำ เพราะเอนไซม์โบรมิเลนสามารถย่อยโปรตีนให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง ส่งผลทำให้คุณสมบัติในการละลายน้ำของโปรตีนเพิ่มขึ้น

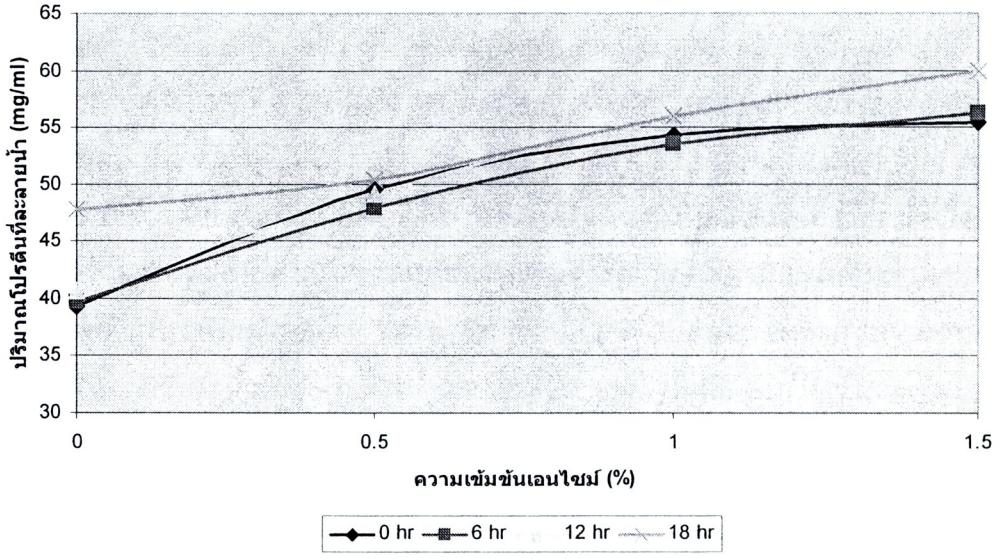


(ก)

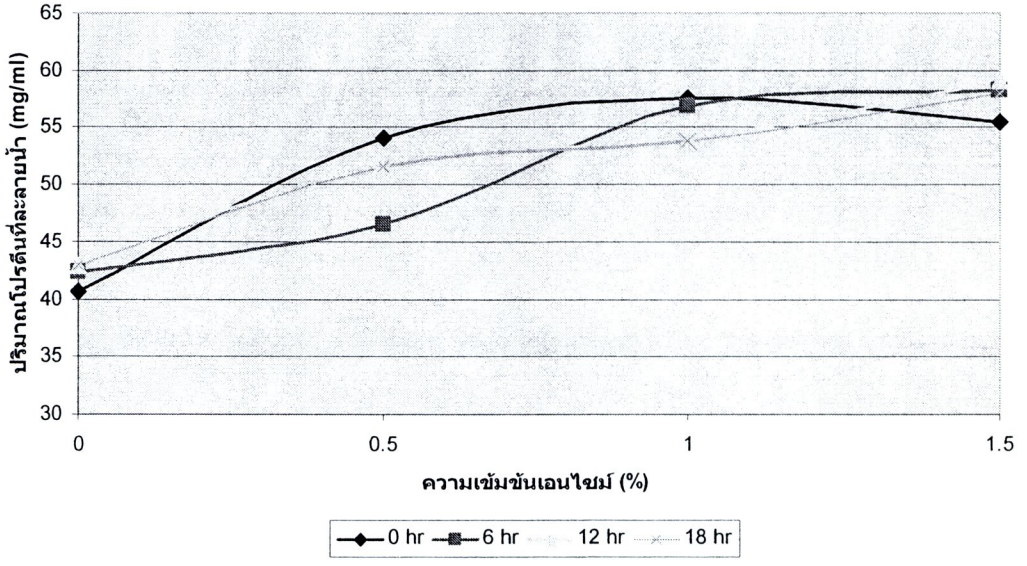


(ข)

ภาพที่ 4-7 โปรตีนที่ละลายน้ำได้จากแมงกะพรุนหนัง (ก) ส่วนร่ม (ข) ส่วนขา



(ก)

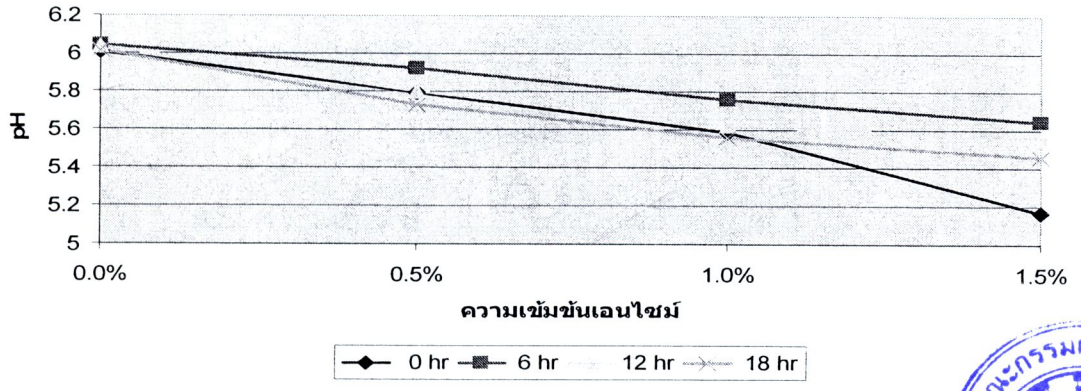


(ข)

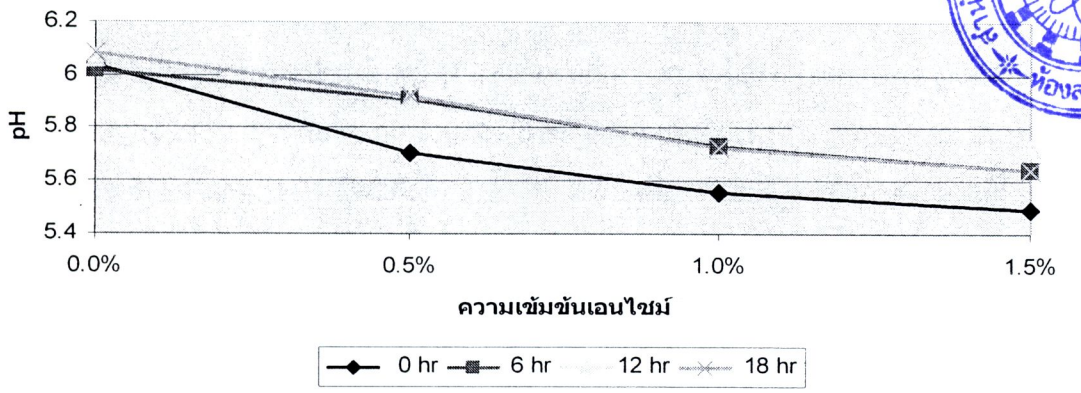
ภาพที่ 4-8 โปรตีนที่ละลายน้ำได้จากแมงกะพรุนลอดช่อง (ก) ส่วนร่ม (ข) ส่วนขา

เมื่อวัดค่า pH ของแมงกะพรุนโปรตีนไฮโดรไลเซท พบว่า เมื่อปริมาณความเข้มข้นเอนไซม์โบรมิเลนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า pH มีแนวโน้มที่ลดลง (ดังภาพที่ 4-9 และ 4-10) โดย pH ของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุน ลดลงจาก pH เริ่มต้นประมาณ 6.0 ลดลงมาถึง pH ประมาณ 5.5 ที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5% โดย โปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุน เกิดการย่อยสลายโปรตีนให้ได้เป็นกรดอะมิโนออกมามาก ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดได้แก่ Gly Ser Asp Ala Glu Cys Lys Val Met Tyr Ile Phe จึงทำให้ pH ของโปรตีนไฮโดรไลเซทลดต่ำลง เนื่องจาก ผลของการย่อยของโปรตีน

ไฮโดรไลเซทอาจทำให้ได้กรดอะมิโนที่เล็กลง อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงความสามารถในการละลายน้ำ เนื่องจากไปลดพื้นผิวของเพปไทด์โมเลกุลที่ชอบน้ำ และยังช่วยกำจัดการเป็นไฟฟ้าสถิตออกไป (Babiker, et al., 1996)

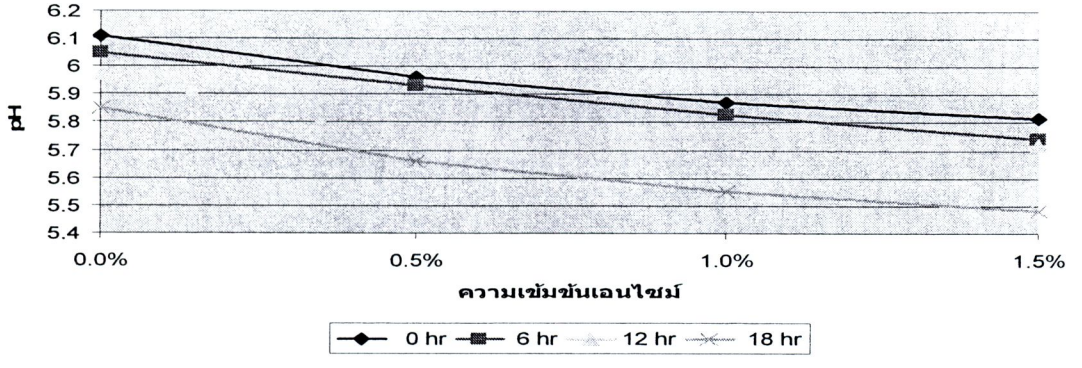


(ก)



(ข)

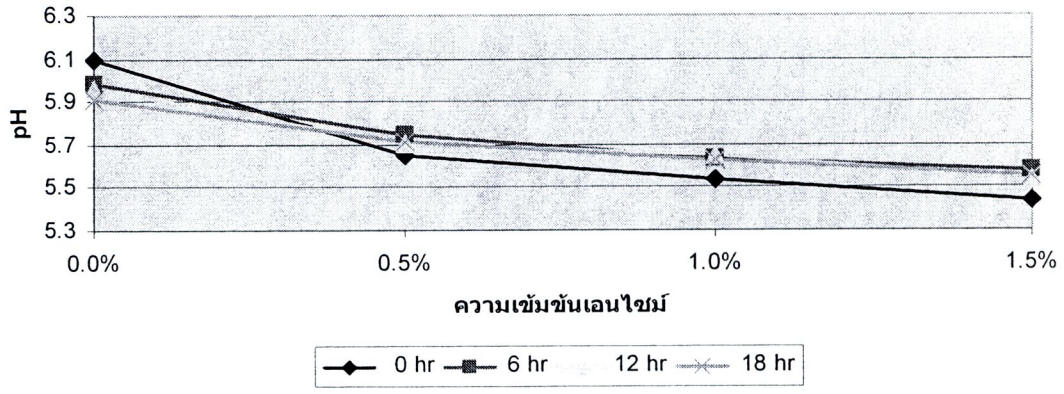
ภาพที่ 4-9 pH ของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนหนัง (ก) ส่วนร่ม (ข) ส่วนขา



(ก)

ภาพที่ 4-10 pH ของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนลอดช่อง (ก) ส่วนร่ม (ข) ส่วนขา

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



(ข)

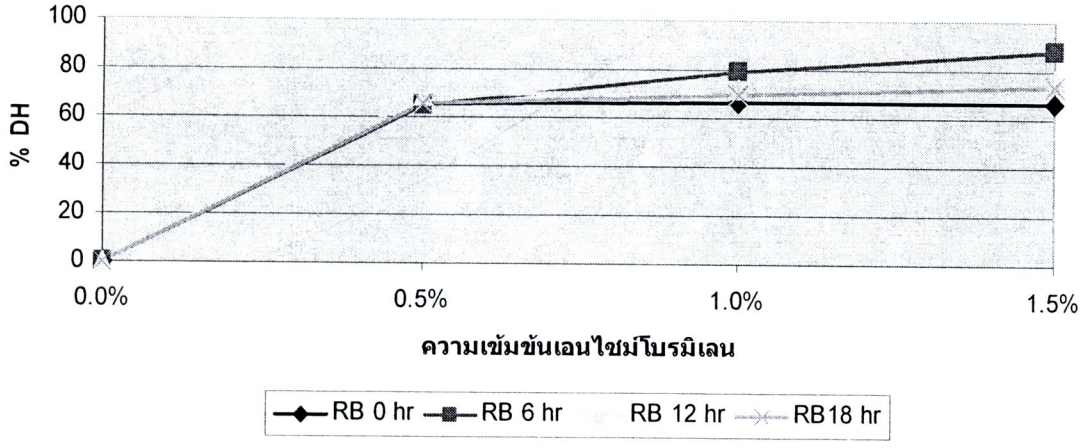
ภาพที่ 4-10 (ต่อ)

4.3 คุณภาพของโปรตีนไฮโดรไลเซท

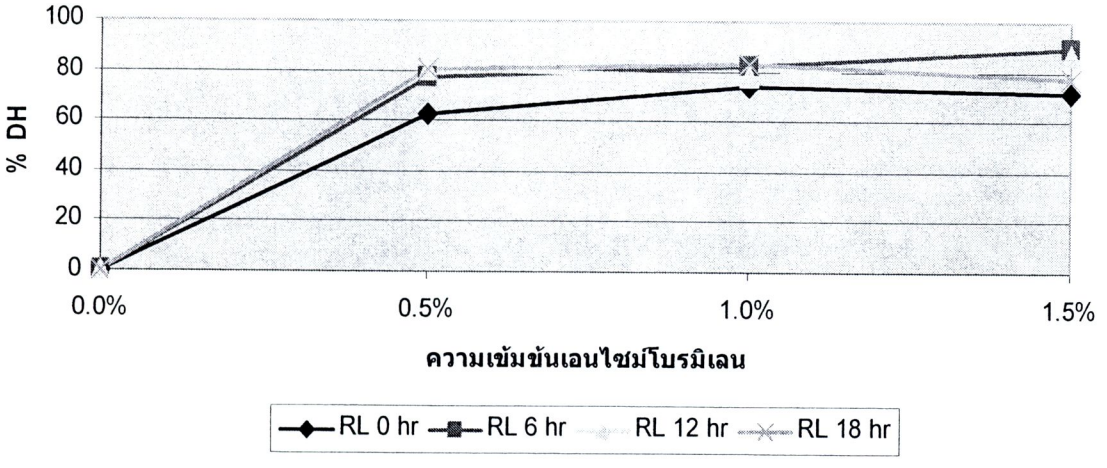
4.3.1 คุณสมบัติการย่อยของโปรตีนแมงกะพรุน (Degree of Hydrolysis)

จากการศึกษาการกำจัดกลิ่นของแมงกะพรุนได้คัดเลือกแมงกะพรุนที่ผ่านการแช่ในน้ำส้มสายชู (Rice Vinegar) 5% เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาย่อยต่อด้วยเอนไซม์โบรมิเลน โดยได้วิเคราะห์อัตราการย่อย Degree of Hydrolysis (%DH) (ดังภาพที่ 4-11 และ 4-12) พบว่า % DH ของแมงกะพรุนหนังส่วนร่ม ที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5% เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่ามี %DH สูงสุดเท่ากับ 87.76% และความเข้มข้นที่ 1% และ 1.5% พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ในแมงกะพรุนหนังส่วนขา ที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5% เวลา 6 ชั่วโมง มี %DH สูงสุด 89.30% แต่จากการทดลองพบว่า %DHไม่แตกต่างกันในสภาวะความเข้มข้นเอนไซม์ 0.5% (12 และ 18 ชั่วโมง), 1.0% (6 และ 18 ชั่วโมง) และ1.5% 12 ชั่วโมง โดยมี %DH อยู่ในช่วงระหว่าง 80.33-89.30% ในแมงกะพรุนลอดช่องส่วนร่ม พบว่า %DH สูงสุด คือ 69.93% ที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5% เวลา 6 ชั่วโมง โดยมีแนวโน้มของ %DH คล้ายกับ แมงกะพรุนหนังส่วนขา ซึ่งไม่แตกต่างกันเมื่อใช้ความเข้มข้นเอนไซม์ที่ 1% และ 1.5% และที่เวลา 6,12 และ 18 ชั่วโมง โดยมี %DH อยู่ในช่วงระหว่าง 63.40-69.93% และแมงกะพรุนลอดช่องส่วนขา พบว่าที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1.5% เวลา 6 ชั่วโมง มี %DH สูงสุดที่ 82.62% เมื่อเปรียบเทียบการใช้ปริมาณเอนไซม์ที่ใกล้เคียงกัน แต่ใช้เวลา 6,12 และ 18 ชั่วโมง พบว่าไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนหนังส่วนร่ม และขา และแมงกะพรุนลอดช่องส่วนร่ม และขา มี %DH ที่สูงสุดเมื่อใช้เอนไซม์โบรมิเลน 1.5% เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากการทดลองจะเห็นว่า เมื่อมีการใช้เอนไซม์ที่ 0.5% ทุกช่วงเวลา จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 อย่างชัดเจน และมี %DH คงที่เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ 1.0% และ 1.5% ที่เวลา 6, 12 และ 18 ชั่วโมง โดย Adler-Nissen (1986) อ้างว่า ระดับการย่อยสลายเมื่อถึงช่วงระยะเวลาหนึ่งส่งผลให้สารตั้งและสายเพปไทด์คงที่ตลอดระยะเวลาในการย่อย (Stationary Phase) เนื่องจากสารตั้งต้น

โปรตีนจากแมงกะพรุนมีจำนวนจำกัด เมื่อเพิ่มปริมาณเอนไซม์โบรมิเลนจึงไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ %DH เนื่องจากเอนไซม์ได้ย่อยโปรตีนสารตั้งต้นหมดแล้ว ระดับการย่อยจึงคงที่ที่ 1.0% เป็นต้นไป ดังนั้นการเติมเอนไซม์โบรมิเลนที่ 1.5% จึงเป็นการใช้เอนไซม์เกินความจำเป็น (Constantinides and Adu, 1980) และอาจเกิดจากผลของ pH ที่มีค่าต่ำลง จึงอาจเป็นผลให้สภาวะในการย่อยของเอนไซม์โบรมิเลนไม่เหมาะสมในการย่อยโปรตีน ทำให้ระดับการย่อยสลายคงที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเอนไซม์โบรมิเลน

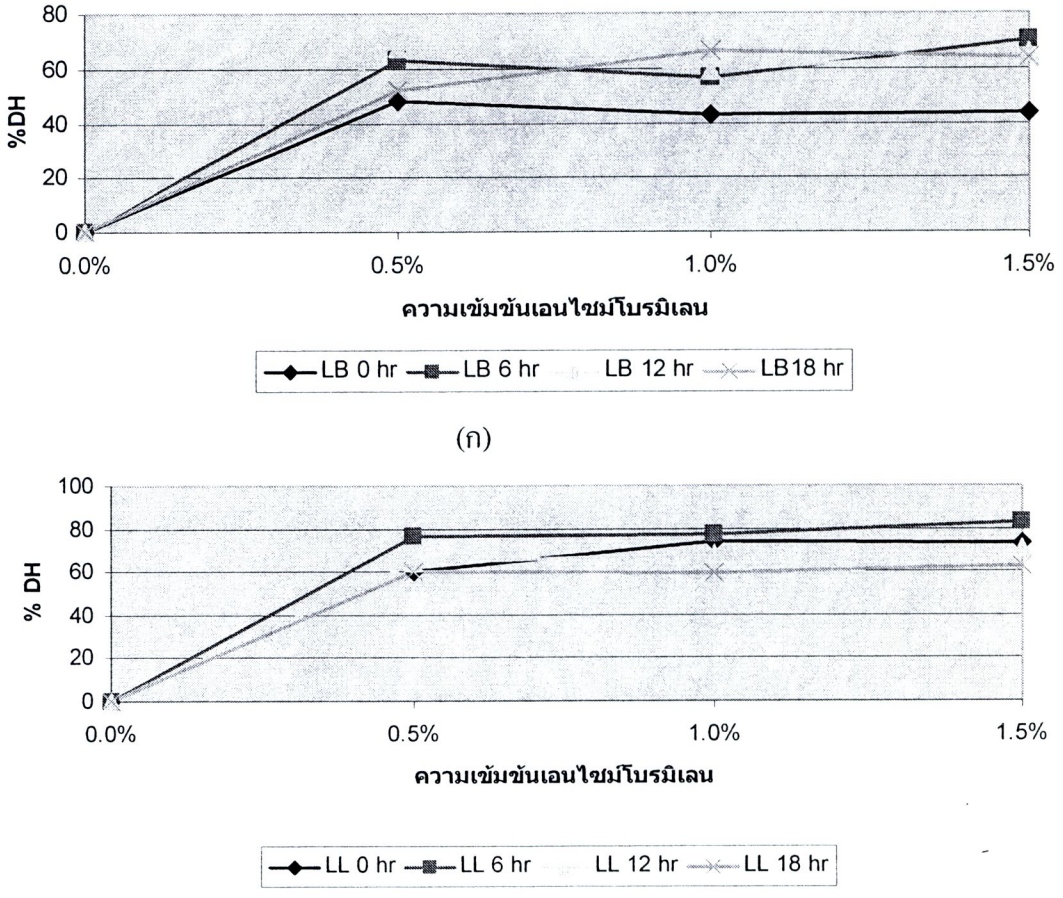


(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-11 %DH ของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนหนัง (ก) ส่วนร่ม (ข) ส่วนขา



ภาพที่ 4-12 %DH ของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนลอดช่อง (ก) ส่วนร่ม (ข) ส่วนขา

โดย RB คือ ไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม
RL คือ ไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนหนัง ส่วนขา
LB คือ ไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม
LL คือ ไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา

4.3.2 ลักษณะของสีในแมงกะพรุนโปรตีนไฮโดรไลเซท

การวิเคราะห์ค่าสีใน โปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุน แสดงผลในค่า L* และ b* ที่บ่งบอกถึง ความสว่าง และความเป็นสีเหลือง ตามลำดับ ด้วยเครื่องวัดสี (Hunter lab) (ดังตารางที่ 4-7 และ 4-14) พบว่า เมื่อความเข้มข้นเอนไซม์เพิ่มมากขึ้น ไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนส่วนร่ม และส่วนขา มีแนวโน้มค่า L* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งการใช้เอนไซม์ความเข้มข้น 1.5% ไฮโดรไลเซทมีค่า L* น้อยสุด แต่ ไม่พบความแตกต่างกันระหว่างแมงกะพรุนหนัง และแมงกะพรุนลอดช่องทุกความเข้มข้นเอนไซม์ เว้นแต่ในแมงกะพรุนหนัง ส่วนขา มีค่า L* มีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 0% โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 30.09-28.71 ซึ่งปกติแล้วโปรตีนไฮโดรไลเซทจาก

แมงกะพรุน ที่สภาวะอื่นจะมีค่า 22.9-24.62 ทั้งนี้อาจเนื่องจากในวัตถุดิบแมงกะพรุน หนังส่วนขามีลักษณะเนื้อที่ขาว ไม่มีเม็ดสี มีสีขาวกว่า แมงกะพรุนลอดช่อง

ตารางที่ 4-7 ค่า L* ของโปรตีนไฮโดรไลเซทของแมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม

แมงกะพรุน	เวลาย่อยสลาย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเอนไซม์ (%)			
		0	0.5	1.0	1.5
แมงกะพรุนหนังส่วนร่ม	18	24.62 ± 0.09^{a}	23.97 ± 0.13^{de}	23.43 ± 0.37^{fg}	23.16 ± 0.11^{g}
	12	24.36 ± 0.05^{abc}	24.05 ± 0.17^{cde}	23.43 ± 0.03^{fg}	23.17 ± 0.15^{g}
	6	24.34 ± 0.08^{abc}	24.23 ± 0.17^{bcd}	23.87 ± 0.09^{e}	23.15 ± 0.21^{g}
	0	24.39 ± 0.20^{ab}	23.99 ± 0.18^{de}	23.49 ± 0.14^{f}	23.29 ± 0.27^{fg}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

ตารางที่ 4-8 ค่า L* ของโปรตีนไฮโดรไลเซทของแมงกะพรุนหนัง ส่วนขา

แมงกะพรุน	เวลาย่อยสลาย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเอนไซม์ (%)			
		0	0.5	1.0	1.5
แมงกะพรุนหนังส่วนขา	18	31.09 ± 0.14^{a}	23.78 ± 0.06^{de}	23.29 ± 0.11^{ghij}	23.19 ± 0.10^{ij}
	12	28.71 ± 0.08^{c}	23.69 ± 0.16^{def}	23.48 ± 0.13^{efghi}	23.31 ± 0.27^{ghij}
	6	28.83 ± 0.05^{c}	23.58 ± 0.28^{efg}	23.26 ± 0.34^{hij}	23.39 ± 0.18^{fghij}
	0	30.48 ± 0.09^{b}	23.97 ± 0.19^{d}	23.54 ± 0.06^{efgh}	23.13 ± 0.09^{j}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

ตารางที่ 4-9 ค่า L* ของโปรตีนไฮโดรไลเซทของแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม

แมงกะพรุน	เวลาย่อยสลาย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเอนไซม์ (%)			
		0	0.5	1.0	1.5
แมงกะพรุนลอดช่องส่วนร่ม	18	24.13 ± 0.11^{c}	23.76 ± 0.09^{de}	23.53 ± 0.17^{ef}	23.17 ± 0.10^{g}
	12	23.72 ± 0.32^{de}	23.80 ± 0.11^{d}	23.36 ± 0.25^{fg}	23.38 ± 0.12^{fg}
	6	24.59 ± 0.03^{b}	24.86 ± 0.05^{a}	23.40 ± 0.06^{fg}	23.27 ± 0.06^{fg}
	0	24.48 ± 0.26^{b}	23.82 ± 0.09^{d}	23.44 ± 0.07^{fg}	22.90 ± 0.15^{h}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P\leq0.05$)

ตารางที่ 4-10 ค่า L* ของโปรตีนไฮโดรไลเซทของแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา

แมงกะพรุน	เวลาย่อยสลาย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเอนไซม์ (%)			
		0	0.5	1.0	1.5
แมงกะพรุนลอดช่องส่วนขา	18	23.72±0.09 ^{ab}	23.69±0.11 ^{abc}	23.4±0.03 ^{cde}	23.05±0.01 ^{f}
	12	23.78±0.10 ^{ab}	23.48±0.21 ^{bcd}	23.51±0.10 ^{bcd}	23.31±0.25 ^{def}
	6	23.98±0.05 ^{a}	23.96±0.23 ^{a}	23.17±0.19 ^{ef}	23.16±0.17 ^{ef}
	0	23.72±0.21 ^{ab}	23.59±0.08 ^{bcd}	23.52±26.27 ^{bcd}	23.16±0.23 ^{ef}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-11 ค่า b* ของโปรตีนไฮโดรไลเซทของแมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม

แมงกะพรุน	เวลาย่อยสลาย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเอนไซม์ (%)			
		0	0.5	1.0	1.5
แมงกะพรุนหนังส่วนร่ม	18	-2.84±0.09 ^{g}	-1.83±0.24 ^{f}	-1.13±0.41 ^{de}	-0.25±0.10 ^{ab}
	12	-3.08±0.24 ^{g}	-1.78±0.17 ^{f}	-1.23±0.23 ^{e}	-0.50±0.11 ^{bc}
	6	-2.84±0.16 ^{g}	-1.80±0.29 ^{f}	-0.97±0.17 ^{de}	-0.06±0.14 ^{a}
	0	-2.74±0.13 ^{g}	-1.72±0.12 ^{f}	-0.80±0.11 ^{cd}	-0.02±0.02 ^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-12 ค่า b* ของโปรตีนไฮโดรไลเซทของแมงกะพรุนหนัง ส่วนขา

แมงกะพรุน	เวลาย่อยสลาย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเอนไซม์ (%)			
		0	0.5	1.0	1.5
แมงกะพรุนหนังส่วนขา	18	-5.14±0.06 ^{h}	-2.11±0.15 ^{e}	-1.46±0.22 ^{d}	-0.81±0.13 ^{b}
	12	-4.48±0.08 ^{g}	-2.06±0.15 ^{e}	-1.31±0.02 ^{cd}	-0.51±0.31 ^{a}
	6	-4.48±0.13 ^{g}	-2.28±0.23 ^{ef}	-1.50±0.09 ^{d}	-0.85±0.10 ^{b}
	0	-4.44±0.07 ^{g}	-2.51±0.23 ^{f}	-1.20±0.03 ^{c}	-0.79±0.08 ^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-13 ค่า b* ของโปรตีนไฮโดรไลเซทของแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม

แมงกะพรุน	เวลาย่อยสลาย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเอนไซม์ (%)			
		0	0.5	1.0	1.5
แมงกะพรุนลอดช่องส่วนร่ม	18	-1.43±0.11 ^{fg}	0.14±0.05 ^{e}	1.31±0.20 ^{bc}	1.63±0.56 ^{ab}
	12	-1.26±0.19 ^{fg}	0.11±0.04 ^{e}	1.04±0.14 ^{cd}	1.76±0.27 ^{a}
	6	-1.61±0.13 ^{g}	0.23±0.09 ^{e}	0.76±0.18 ^{d}	1.73±0.11 ^{a}
	0	-1.18±0.27 ^{f}	0.15±0.10 ^{e}	0.80±0.23 ^{d}	1.32±0.31 ^{abc}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-14 ค่า b* ของโปรตีนไฮโดรไลเซทของแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา

แมงกะพรุน	เวลาย่อยสลาย (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเอนไซม์ (%)			
		0	0.5	1.0	1.5
แมงกะพรุนลอดช่องส่วนขา	18	-2.89±0.03 ^{e}	-2.24±0.47 ^{d}	-1.40±0.29 ^{b}	-0.70±0.37 ^{a}
	12	-3.02±0.40 ^{e}	-2.24±0.56 ^{d}	-1.56±0.19 ^{bc}	-0.75±0.36 ^{a}
	6	-2.82±0.07 ^{e}	-2.07±0.22 ^{d}	-1.50±0.35 ^{b}	-0.75±016 ^{a}
	0	-2.87±0.27 ^{e}	-2.01±0.34 ^{cd}	-1.51±0.19 ^{b}	-0.74±0.14 ^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

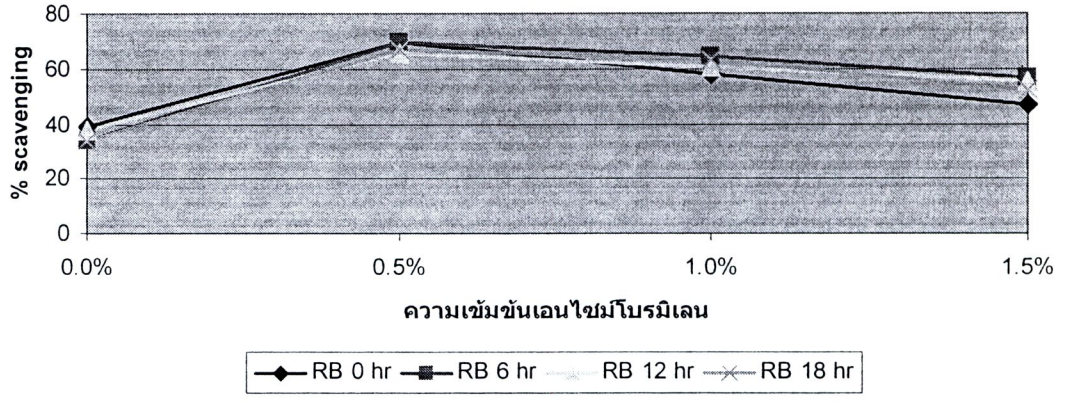
ผลการวิเคราะห์ค่า b* (+b แสดงค่าสีเหลือง และ –b แสดงค่าสีน้ำเงิน) ของไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุน ส่วนร่ม พบว่าไฮโดรไลเซทแมงกะพรุนลอดช่องส่วนร่ม มีค่า b* ที่ติดลบในความเข้มข้น 0% และมีค่าสีที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเอนไซม์เพิ่มขึ้นจาก - 1.18 ถึง 1.76 อย่างมีนัยสำคัญ และในไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนหนังส่วนร่ม พบว่าเมื่อความเข้มข้นเอนไซม์เพิ่มขึ้น ค่า b* มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งมีค่าระหว่าง 3.08-0.02 และไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนลอดช่อง และแมงกะพรุนหนังส่วนขา พบว่ามีค่าสี b* เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเอนไซม์เพิ่มขึ้น ซึ่งไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนหนังส่วนขามีค่า b* ที่เป็นลบมากกว่าไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนลอดช่องส่วนขา

4.3.3 ความเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant Activity) ของโปรตีนไฮโดรไลเซท

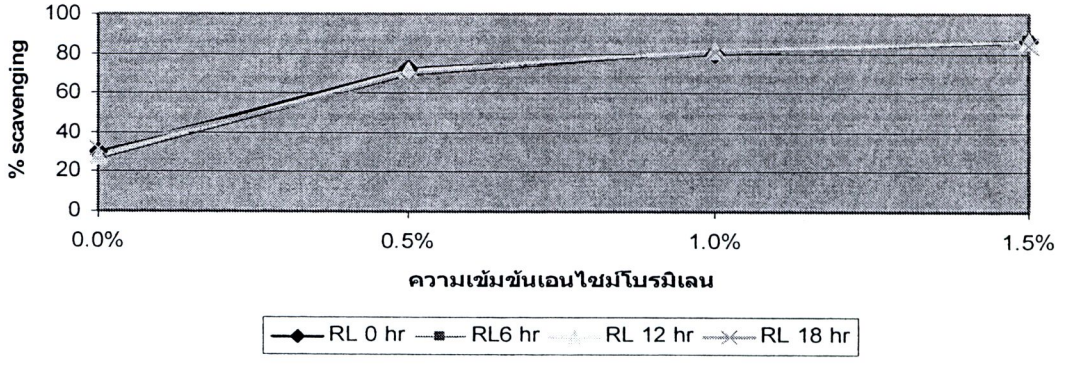
4.3.3.1 ผลการศึกษา DPPH Radical-Scavenging Activity

DPPH เป็นสารประกอบอนุมูลอิสระ และได้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการทดสอบความสามารถในการจับตัวกับสารประกอบอนุมูลอิสระในตัวอย่าง (Sakanaka and Tachibana, 2006) (ดังภาพที่ 4-13 ถึง 4-14) แสดงให้เห็นว่า % scavenging ของโปรตีนไฮโดรไลเซทแมงกะพรุน

ในแต่ละความเข้มข้นของเอนไซม์โบรมิเลน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเอนไซม์ 0 ถึง 0.5% มีปริมาณ % Scavenging สูงสุด ทุกช่วงเวลาในการย่อย โปรตีนไฮโดรไลเซทของแมงกะพรุนหนัง และแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม มีค่า 69.27% และ 73.63% ตามลำดับ แต่ผลโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนหนัง และแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา มีผลที่ต่างกันโดยปริมาณ %Scavenging สูงสุด มีค่า 87.20% และ 81.79% ตามลำดับ ดังนั้นพบว่าชิ้นส่วนของแมงกะพรุนที่แตกต่างกันมีผลต่อ %Scavenging โดยไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนส่วนร่มจะให้ %Scavenging สูงสุดที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 0.5% และไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนส่วนขา ให้ %Scavenging สูงสุดที่ความเข้มข้น 1.5% และมีแนวโน้มคงที่ โดย %Scavenging ที่เพิ่มขึ้น โดย DPPH ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนของ สารต่าง ๆ อาทิเช่น Cysteine, Glutathione, Ascorbic Acid, Tocopherol และสารประกอบ Polyhydroxy Aromatic (Blois, 1975) ซึ่งในโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนมีองค์ประกอบของ Cystine ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ประกอบด้วย Cysteine 2 ตัว จับกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ดังนั้นโปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนสามารถเป็นสารต้านอนุมูลอิสระได้

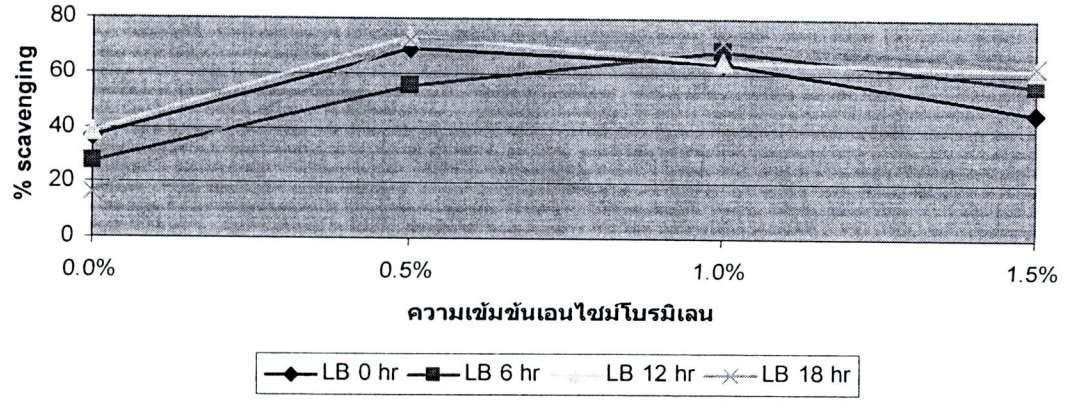


(ก)

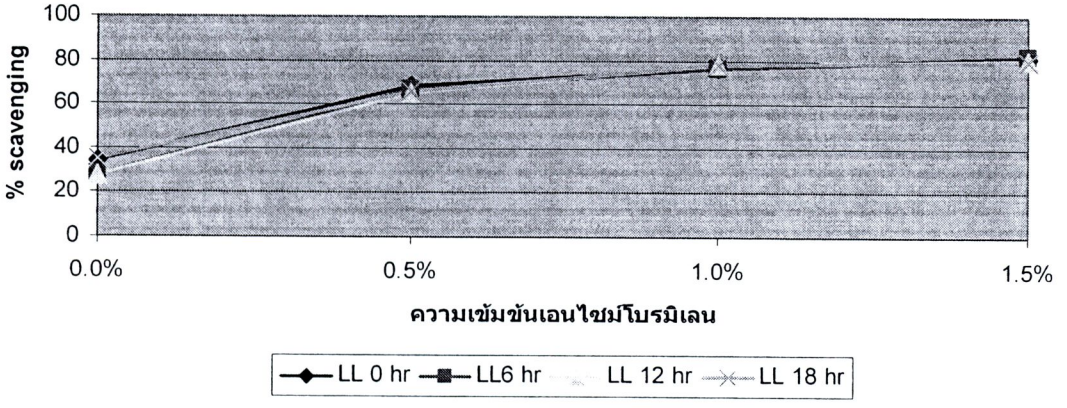


(ข)

ภาพที่ 4-13 %Scavenging ของแมงกะพรุนหนัง (ก) ส่วนร่ม (ข) ส่วนขา



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4-14 %Scavenging ของแมงกะพรุนลอดช่อง (ก) ส่วนร่ม (ข) ส่วนขา

หมายเหตุ : RB คือ โปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม

RL คือ โปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนหนัง ส่วนขา

LB คือ โปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม

LL คือ โปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา

4.3.3.2 คุณสมบัติความเป็นสารรีดิวซ์ (Reducing Power)

สารประกอบแอนติออกซิแดนท์สามารถเปลี่ยนสารประกอบในรูป Feric (Fe^{3+}) ไปเป็นสารประกอบในรูป Ferrous (Fe^{2+}) ทำให้สามารถรีดิวซ์สารประกอบของสี Prussian Blue ซึ่งได้มาจากการเติม $FeCl_3$ เปลี่ยนไปอยู่ในรูป Ferrous (Fe^{2+}) ทำให้สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงของ Perl's Prussian Blue ที่ 700 nm (Chung, et al., 2002) จากการทดลองพบว่า สีเหลืองของสารละลายที่ทดสอบ ถูกเปลี่ยนไปเป็นสีเขียว หรือน้ำเงินขึ้นกับความสามารถในการเป็นสารรีดิวซ์ของแอนติออกซิแดนท์สารตัวอย่าง (Bursal and Koksal, 2011) (ดังตารางที่ 4-15 และ 4-18) แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ไฮโดรไลเซทมีค่า Ferric Reducing Power เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นเอนไซม์ 1% และ 1.5% ที่ระยะเวลา 12 และ 18 ชั่วโมง ซึ่งแมงกะพรุนหลัง

ส่วนร่ม และขา มีค่าสูงสุดเท่ากับ 45.29 และ 85.95% ในแมงกะพรุนลอดช่องส่วนร่ม และขามีค่าสูงสุดเท่ากับ 89.99 และ 87.28% ตามลำดับ โปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนที่ย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลน 1.0% เวลา 12 ชั่วโมง มีผลให้ร้อยละผลผลิต, ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้, อัตราการย่อยสลาย, DPPH Scavenging Activity และ Reducing Power มีค่าสูงสุด ซึ่งไม่แตกต่างกันกับการใช้เอนไซม์ 1.5% ที่ 8 ชั่วโมง ที่ $p \leq 0.05$ ดังนั้นการผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซจากแมงกะพรุนที่สภาวะความเข้มข้นโบรมิเลน 1.0% เวลา 12 ชั่วโมง ให้ผลที่ดี และไม่สิ้นเปลืองการใช้เอนไซม์จากนั้นนำโปรตีนไฮโดรไลเซท จากแมงกะพรุนนี้ไปศึกษาต่อไป

ตารางที่ 4-15 Reducing Power ของแมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม

แมงกะพรุน	โบรมิเลน	% Reducing Power			
		0 hr	6 hr	12 hr	18 hr
แมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม	0.00%	0.00 ± 0.00^{h}	-16.44 ± 2.45^{i}	-22.76 ± 0.34^{j}	-13.22 ± 1.70^{i}
	0.50%	6.21 ± 3.29^{g}	12.30 ± 1.39^{f}	11.72 ± 2.15^{f}	20.00 ± 0.91^{de}
	1.00%	17.13 ± 0.80^{e}	24.83 ± 3.60^{c}	24.25 ± 0.53^{c}	31.84 ± 3.28^{b}
	1.50%	23.22 ± 2.45^{cd}	20.00 ± 1.03^{de}	29.42 ± 1.39^{b}	45.29 ± 3.13^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-16 Reducing Power ของแมงกะพรุนหนัง ส่วนขา

แมงกะพรุน	โบรมิเลน	% Reducing power			
		0 hr	6 hr	12 hr	18 hr
แมงกะพรุนหนัง ส่วนขา	0.00%	0.00 ± 0.00^{i}	-0.48 ± 2.43^{i}	9.40 ± 1.97^{h}	9.40 ± 1.44^{h}
	0.50%	35.83 ± 2.03^{g}	35.00 ± 0.36^{g}	52.74 ± 1.97^{e}	63.93 ± 1.99^{d}
	1.00%	46.19 ± 2.03^{f}	52.62 ± 1.80^{e}	72.74 ± 1.35^{c}	81.07 ± 1.64^{b}
	1.50%	51.55 ± 0.54^{e}	64.88 ± 1.44^{d}	85.71 ± 1.29^{a}	85.95 ± 0.90^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-17 Reducing Power ของแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม

แมงกะพรุน	โบรมิเลน	%Reducing power			
		0 hr	6 hr	12 hr	18 hr
แมงกะพรุน ลอดช่อง ส่วนร่ม	0.00%	0.00 ± 0.00^{g}	-23.32 ± 1.65^{h}	-1.95 ± 3.76^{g}	-10.74 ± 5.51^{gh}
	0.50%	3.54 ± 2.60^{g}	17.95 ± 6.12^{f}	18.68 ± 3.72^{f}	61.90 ± 8.81^{b}
	1.00%	0.615 ± 20.14^{g}	34.55 ± 0.92^{de}	47.37 ± 4.08^{cd}	89.99 ± 2.38^{a}

ตารางที่ 4-17 (ต่อ)

แมงกะพรุน	โบรมิเลน	%Reducing Power			
		0 hr	6 hr	12 hr	18 hr
	1.50%	30.77±1.32 ^{ef}	52.87±0.92 ^{bc}	36.26±20.30 ^{de}	80.83±0.56 ^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-18 Reducing Power ของแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา

แมงกะพรุน	โบรมิเลน	%Reducing Power			
		0 hr	6 hr	12 hr	18 hr
แมงกะพรุนลอดช่องส่วนขา	0.00%	0.00±0.00 ^{i}	-35.59±3.88 ^{j}	4.31±5.43 ^{i}	1.68±0.48 ^{i}
	0.50%	29.34±9.66 ^{h}	31.34±3.47 ^{h}	69.29±6.66 ^{c}	60.99±0.66 ^{d}
	1.00%	35.44±2.55 ^{fg}	49.21±1.92 ^{e}	75.92±8.43 ^{bc}	87.28±1.19 ^{a}
	1.50%	39.85±3.47 ^{f}	57.52±3.63 ^{d}	80.76±7.46 ^{ab}	83.49±3.18 ^{ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง และแนวนอนที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกัน แสดงขว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.3.4 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในโปรตีนไฮโดรไลเซท

ตารางที่ 4-19 องค์ประกอบของกรดอะมิโนในวัตถุดิบแมงกะพรุนหนัง และลอดช่อง ส่วนร่มและขา (g/100g ตัวอย่าง)

กรดอะมิโน	โปรตีนไฮโดรไลเซท (g/100g ตัวอย่าง)				
	RPH	LPH	RPH with Bromelain Hydrolysis	LPH with Bromelain Hydrolysis	Enzyme (Bromelain)
Glycine	0.5550^{c}	0.7690^{b}	0.7422^{b}	1.1387^{a}	0.0656^{d}
Serine	0.0855^{c}	0.0961^{c}	0.2114^{b}	0.2509^{a}	0.0611^{d}
Aspartic acid	0.2407^{d}	0.3527^{c}	0.5072^{b}	0.6615^{a}	0.1529^{d}
Hydroxyproline	0.2658^{b}	0.3994^{a}	0.2612^{b}	0.4199^{a}	-
Alanine	0.1479^{d}	0.1584^{c}	0.2388^{b}	0.3238^{a}	0.0783^{e}
Threonine	0.1547^{d}	0.1699^{c}	0.2692^{b}	0.3740^{a}	0.0667^{e}
Glutamic	0.2683^{c}	0.3354^{d}	0.4461^{c}	0.6006^{b}	0.0789^{a}
Cystine	-	-	0.07977^{b}	0.1033^{a}	0.0309^{c}
Lysine	0.1087^{ab}	0.1236^{b}	0.3453^{b}	0.4596^{a}	0.0889^{a}
Histidine	0.0379^{b}	0.0372^{b}	0.0425^{a}	0.045^{a}	0.0348^{b}
Proline	0.1613^{d}	0.1913^{c}	0.2481^{b}	0.3403^{a}	0.0453^{e}

ตารางที่ 4-19 (ต่อ)

กรดอะมิโน	โปรตีนไฮโดรไลเซท (g/100g ตัวอย่าง)				
	RPH	LPH	RPH with Bromelain Hydrolysis	LPH with Bromelain Hydrolysis	Enzyme (Bromelain)
Arginine	0.1546^{c}	0.2666^{b}	0.2852^{b}	0.3818^{a}	0.0693^{d}
Valine	0.0784^{c}	0.0826^{c}	0.1822^{b}	0.2309^{a}	0.0543^{d}
Methionine	0.0423^{cd}	0.044^{c}	0.0659^{b}	0.0772^{a}	0.0388^{d}
Tyrosine	0.0392^{e}	0.0527^{d}	0.1699^{b}	0.2067^{a}	0.0749^{c}
Isoleucine	0.0622^{c}	0.059^{c}	0.1569^{b}	0.1848^{a}	0.0519^{c}
Leucine	0.0842^{d}	0.0986^{c}	0.1874^{b}	0.2443^{a}	0.0445^{e}
Phenyalanine	0.0387^{c}	0.0328^{c}	0.1093^{b}	0.1235^{a}	0.0411^{c}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง ที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

RPH คือ แมงกะพรุนหนังที่ใช้อัตราส่วนเนื้อต่อน้ำเท่ากับ 70:100 w/v

LPH คือ แมงกะพรุนลอดช่องที่ใช้อัตราส่วนเนื้อต่อน้ำเท่ากับ 70:100 w/v

RPH with Bromelain Hydrolysis คือ แมงกะพรุนหนังที่ใช้เอนไซม์โบรมิเลนย่อย

LPH with Bromelain Hydrolysis คือ แมงกะพรุนลอดช่องที่ใช้เอนไซม์โบรมิเลนย่อย

องค์ประกอบของกรดอะมิโนในแมงกะพรุนไฮโดรไลเซท (ดังตารางที่ 4-19) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแมงกะพรุนหนัง และลอดช่อง ที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลเซทแต่ไม่ใช้เอนไซม์ (JPH-non enzyme) มีกรดอะมิโนสูงสุด คือ Hydroxyproline (0.2658 และ 0.3994 g/100g ตัวอย่าง) รองลงมาคือ Glutamic (0.2683 และ 0.3354 g/100g ตัวอย่าง) และ Aspartic Acid (0.2407 และ 0.3527 g/100g ตัวอย่าง) และ Proline (0.1613 และ 0.1913 g/100g ตัวอย่าง) ตามลำดับ โดย Proline และ Hydroxyproline ที่เป็นกรดอะมิโน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการสร้างคอลลาเจนโปรตีน (Collagen Protein) (Tojo et al., 2008) Proline และ Hydroxyproline จึงเป็นเครื่องชี้วัด และบ่งบอกปริมาณของคอลลาเจนในตัวอย่าง (Messia, et al., 2008) แต่ไม่พบกรดอะมิโน Cystine ใน JPH-non Enzyme

ในตัวอย่างแมงกะพรุนไฮโดรไลเซทที่ใช้เอนไซม์ (JPH) พบว่า กรดอะมิโน Glycine (0.7422 และ 1.1387 g/100g ตัวอย่าง) มีปริมาณสูงสุด รองลงมาคือ Aspartic Acid (0.5072 และ 0.6615 g/100g ตัวอย่าง) และ Glutamic (0.4461 และ 0.6006 g/100g ตัวอย่าง) ตามลำดับ และกรดอะมิโนที่จากเอนไซม์โบรมิเลนสามารถเพิ่มปริมาณกรดอะมิโนของไฮโดรไลเซทแมงกะพรุนหนัง และลอดช่องให้เพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้กรดอะมิโนของแมงกะพรุนที่ร่วมกับเอนไซม์โบรมิเลนในแมงกะพรุนหนังและลอดช่องมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเอนไซม์โบรมิเลนเป็นซิสทีอีนโปรติเอส

(Cysteine Proteinases) ทำงานขึ้นกับหมู่ซัลไฮดริล (-SH) ซึ่งย่อยพันธะแบบสุ่ม โดยย่อยพันธะระหว่าง Arg-Arg และ Ala-Glu ให้เป็นกรดอะมิโน หรือเพปไทด์สายสั้นๆเพิ่มมากขึ้น (Benucci, et. al., 2010; Gupta, et al., 2007; Murachi and Neurath, 1960)

4.4 ผลของความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน และอุณหภูมิในการทำแห้งที่มีต่อคุณสมบัติของผงโปรตีนจากแมงกะพรุน

4.4.1 ร้อยละผลผลิต (%Yield)

โปรตีนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนที่ความเข้มข้นเอนไซม์โบรมิเลน 1.0% เวลาย่อยสลาย 12 ชั่วโมง ที่เป็นสภาวะผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทที่ดีที่สุด และนำไปศึกษากระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการทำแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิขาเข้า (Inlet Air Temperature) และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน โดยในการทดลองใช้ความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 2, 4 และ 6 % และอุณหภูมิขาเข้าที่ 120, 150 และ 180 องศาเซลเซียส ผลการทดลอง (ดังตารางที่ 4-20 และ 4-21) แสดงให้เห็นถึงผลของอุณหภูมิขาเข้า และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินต่อร้อยละผลผลิต พบว่าร้อยละผลผลิตอยู่ในช่วง 4.70-9.19% โดยการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับอุณหภูมิการอบแห้งและปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่เติมในตัวอย่างแมงกะพรุน โดยร้อยละผลผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้นร้อยละผลผลิตมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตของไฮโดรไลเซทระหว่างแมงกะพรุนทั้ง 2 ชนิด ไม่แตกต่างกัน

ผลการทดลอง พบว่าร้อยละผลผลิตที่สูงสุดอยู่ที่การใช้อุณหภูมิขาเข้าที่ 150 องศาเซลเซียส ในไฮโดรไลเซทตัวอย่างแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่มและส่วนขา เท่ากับ 8.10 และ 8.25% ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 6% ส่วนไฮโดรไลเซทจากแมงกะพรุนหนัง ส่วนร่มและขาที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 6% มีร้อยละผลผลิตมากสุดเท่ากับ 8.20-8.55 % ตามลำดับ เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูงในการอบแห้งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นที่ต่ำ แมงกะพรุนผงจึงตกค้างในเครื่องน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิขาเข้าที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาเข้า และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินต่อร้อยละผลผลิตของผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนัง

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	มอลโตเด็กซ์ตริน (%)	ร้อยละผลผลิต (%) (Wet Basis)	
		ผงแมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม	ผงแมงกะพรุนหนัง ส่วนขา
120	2	4.71 ± 0.13^{f}	5.22 ± 0.17^{g}
	4	6.54 ± 0.09^{d}	6.20 ± 0.11^{e}

ตารางที่ 4-20 (ต่อ)

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	มอลโตเด็กซ์ตริน (%)	ร้อยละผลผลิต (%) (Wet Basis)	
		ผงแมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม	ผงแมงกะพรุนหนัง ส่วนขา
	6	7.22±0.16 [b]	7.17±0.10 [c]
150	2	4.82±0.10 [f]	5.20±0.04 [g]
	4	5.67±0.15 [e]	6.87±0.11 [d]
	6	6.84±0.15 [c]	7.65±0.17 [b]
180	2	4.92±0.11 [f]	5.99±0.12 [f]
	4	6.77±0.06 [c]	7.59±0.13 [b]
	6	8.20±0.16 [a]	8.55±0.15 [a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิขาเข้า และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินต่อร้อยละผลผลิตของผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่อง

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	มอลโตเด็กซ์ตริน (%)	ร้อยละผลผลิต (%) (Wet Basis)	
		ผงแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม	ผงแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา
120	2	4.70±0.03 [f]	4.79±0.08 [f]
	4	6.33±0.12 [c]	6.09±0.14 [e]
	6	7.43±0.07 [b]	7.57±0.06 [b]
150	2	4.81±0.05 [ef]	4.83±0.11 [f]
	4	6.38±0.07 [c]	5.98±0.05 [e]
	6	8.10±0.08 [a]	8.25±0.11 [a]
180	2	4.92±0.05 [e]	4.88±0.08 [f]
	4	5.41±0.05 [d]	6.35±0.06 [d]
	6	7.51±0.11 [b]	7.29±0.10 [c]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.4.2 ปริมาณความชื้น (Moisture Content)

ปริมาณความชื้นเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง (ดังตารางที่ 4-22 และ 4-23) พบว่า ปริมาณความชื้นในแมงกะพรุนผงอยู่ในช่วง 1.56-7.49% ซึ่งอยู่ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ประเภทปลาร้าผงที่ปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 (มผช. 134/2546) โดยผลแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิขาเข้า และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินมีปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งการใช้อุณหภูมิขาเข้า และ

ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินที่สูงส่งผลให้มีปริมาณความชื้นต่ำลง ซึ่งอุณหภูมิขาเข้า 120 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 2% มีปริมาณความชื้นที่สูงสุด อยู่ระหว่าง 3.82-7.49% ในทุกตัวอย่าง และอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ความเข้มข้น 6% มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก อุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้สูงกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิทำแห้งที่ต่ำ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นที่น้อยกว่า ซึ่งมีผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ สโรบล (2549) ว่าอุณหภูมิในการทำแห้งที่ 130 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 37% มีปริมาณความชื้น 3.64% มีปริมาณความชื้นสูงสุด แต่อุณหภูมิขาเข้า 170 องศาเซลเซียส ปริมาณ มอลโตเด็กซ์ตริน 43% มีความชื้น 2.04% ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุดในกระบวนการผลิตสับปะรดผง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พรรณจิรา และคณะ (2545) ว่าในการทำแห้งน้ำผักผลไม้รวมที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 13% มีปริมาณความชื้นมากสุดเท่ากับ 3.30% และอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 19% มีปริมาณความชื้นน้อยสุดเท่ากับ 1.70%

ตารางที่ 4-22 ปริมาณความชื้นของผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนัง

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	มอลโตเด็กซ์ตริน (%)	ปริมาณความชื้น (%) (Wet Basis)	
		ผงแมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม	ผงแมงกะพรุนหนัง ส่วนขา
120	2	7.49 ± 0.21^{a}	3.82 ± 0.28^{ab}
	4	5.03 ± 0.12^{c}	4.05 ± 0.27^{a}
	6	5.95 ± 0.09^{b}	4.09 ± 0.34^{a}
150	2	5.02 ± 0.03^{c}	3.40 ± 0.02^{bc}
	4	4.03 ± 0.21^{d}	2.80 ± 0.35^{d}
	6	4.23 ± 0.20^{d}	2.87 ± 0.24^{cd}
180	2	3.73 ± 0.06^{e}	3.53 ± 0.29^{ab}
	4	2.90 ± 0.08^{f}	1.87 ± 0.63^{e}
	6	2.09 ± 0.18^{g}	1.56 ± 0.11^{e}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-23 ปริมาณความชื้นของผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่อง

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	มอลโตเด็กซ์ตริน (%)	ปริมาณความชื้น (%) (Wet Basis)	
		ผงแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม	ผงแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา
120	2	6.13±0.07[a]	4.32±0.12[a]
	4	5.12±0.07[b]	4.18±0.08[a]
	6	4.87±0.03[c]	3.85±0.01[b]
150	2	4.71±0.10[c]	3.48±0.16[c]
	4	3.76±0.05[de]	3.20±0.15[d]
	6	3.52±0.14[f]	3.54±0.03[c]
180	2	3.91±0.04[d]	3.20±0.04[d]
	4	3.77±0.05[de]	2.05±0.11[e]
	6	3.64±0.21[ef]	1.85±0.18[f]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.4.3 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

การวิเคราะห์ความสามารถการละลายน้ำของแมงกะพรุนผง (ดังตารางที่ 4-24 และ 4-25) พบว่าผงโปรตีนแมงกะพรุนละลายน้ำอย่างสมบูรณ์ที่เวลา 66.00-143.00 วินาที ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ ($p \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิขาเข้า และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินมีปฏิสัมพันธ์กับความสามารถในการละลายของแมงกะพรุนผง ซึ่งจากการทดลองพบว่าความสามารถในการละลายของแมงกะพรุนผงในแมงกะพรุนหนัง และลอดช่องส่วนร่ม และส่วนขา ใช้เวลาในการละลายมากที่สุดอยู่ระหว่าง 188.33-143.00 วินาที เมื่อใช้สภาวะการทำแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 6% ส่วนในการละลายที่ใช้เวลาน้อยที่สุดอยู่ระหว่าง 66.00-105.67 วินาที ที่อุณหภูมิขาเข้า 180 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินที่ 2% และเมื่อพิจารณาโปรตีนแมงกะพรุนทั้ง 2 ชนิด พบว่าผงโปรตีนแมงกะพรุนหนัง และลอดช่องส่วนร่มมีการละลายได้ดีกว่าผงโปรตีนแมงกะพรุนหนัง และลอดช่องในส่วนขา

ผลการทดลองพบว่าการใช้อุณหภูมิขาเข้าที่สูงขึ้น และปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินที่ต่ำลง ส่งผลให้ผงโปรตีนมีความสามารถในการละลายน้ำใช้เวลาละลายสั้น ส่วนอุณหภูมิขาเข้าที่ต่ำและความเข้มข้นของมอลโตเด็กซ์ตรินสูงทำให้ใช้ระยะเวลาในการละลายของแมงกะพรุนผงนาน เนื่องจากอุณหภูมิขาเข้าที่สูงส่งผลให้อนุภาคที่มีขนาดเล็กมีความเป็นรูพรุนเพิ่มสูงขึ้น และลดปริมาณความชื้นจึงเป็นผลให้ความสามารถในการละลายเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Athanasia, et al., 2004)

และมีผลสอดคล้องกับ Molton, et al. (2005) ที่กล่าวว่าความสามารถละลายน้ำจะลดลงเมื่อปริมาณมอลโตเด็กซ์ตรินเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-24 ผลความสัมพันธ์ของอุณหภูมิขาเข้า และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินต่อความสามารถในการละลายที่ 25 องศาเซลเซียส ของผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนัง

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	มอลโตเด็กซ์ตริน (%)	ความสามารถในการละลาย (วินาที) ของผงโปรตีน	
		ผงแมงกะพรุนหนัง ส่วนร่ม	ผงแมงกะพรุนหนัง ส่วนขา
120	2	89.00±4.00 ^{cd}	106.33±5.03 ^{d}
	4	116.33±2.51 ^{b}	117.33±2.51 ^{c}
	6	138.00±7.55 ^{a}	138.67±3.06 ^{a}
150	2	68.00±5.57 ^{f}	105.00±1.72 ^{d}
	4	85.67±1.53 ^{de}	115.67±2.08 ^{c}
	6	133.67±3.51 ^{a}	129.67±1.53 ^{b}
180	2	66.00±4.35 ^{f}	90.67±3.06 ^{e}
	4	78.67±3.06 ^{e}	104.33±2.52 ^{d}
	6	96.00±4.00 ^{c}	115.33±3.51 ^{c}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-25 ผลความสัมพันธ์ของอุณหภูมิขาเข้า และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตรินต่อความสามารถในการละลายที่ 25 องศาเซลเซียส ของผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่อง

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	มอลโตเด็กซ์ตริน (%)	ความสามารถในการละลาย (วินาที) ของผงโปรตีน	
		ผงแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม	ผงแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา
120	2	94.33±3.79 ^{c}	118.67±7.02 ^{bc}
	4	109.33±2.52 ^{b}	128.67±3.79 ^{ab}
	6	118.33±3.21 ^{a}	143.00±11.53 ^{a}
150	2	84.33±5.51 ^{d}	127.00±21.70 ^{ab}
	4	94.67±8.62 ^{c}	127.33±2.31 ^{ab}
	6	112.33±0.58 ^{ab}	129.67±3.79 ^{ab}
	6	94.00±2.64 ^{c}	132.33±2.08 ^{ab}

ตารางที่ 4-25 (ต่อ)

อุณหภูมิขาเข้า (°C)	มอลโตเด็กซ์ตริน (%)	ความสามารถในการละลาย (วินาที) ของผงโปรตีน	
		ผงแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนร่ม	ผงแมงกะพรุนลอดช่อง ส่วนขา
180	2	75.00±4.00 ^{e}	105.67±1.53 ^{c}
	4	83.00±2.65 ^{d}	123.00±2.00 ^{b}
	6	94.00±2.64 ^{c}	132.33±2.08 ^{ab}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

การศึกษาคุณสมบัติของผงโปรตีนแมงกะพรุนด้าน ปริมาณความชื้น ร้อยละผลผลิต และความสามารถในการละลาย เลือกสภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิขาเข้า 180 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 2% เนื่องจาก สภาวะการทำแห้งนี้มีปริมาณความชื้นที่ต่ำ อยู่ในช่วง 3.20-3.91% ซึ่งต่ำกว่าปริมาณความชื้นที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนได้กำหนดไว้ ด้านร้อยละผลผลิต พบว่า ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส มีร้อยละผลผลิตที่มากเมื่อเทียบกับการทำแห้งที่อุณหภูมิ 120 และ 150 องศาเซลเซียส และด้านความสามารถในการละลายน้ำ พบว่าสภาวะนี้ใช้เวลาในการละลายน้ำที่น้อยที่สุด อยู่ในช่วง 66.00-105.67 วินาที

4.4.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของผงโปรตีนแมงกะพรุน

การผลิตผงโปรตีนแมงกะพรุนที่เหมาะสมในการใช้งานวิเคราะห์จาก ปริมาณความชื้น ร้อยละผลผลิต และความสามารถในการละลาย พบว่าการใช้สภาวะอุณหภูมิขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 2% เนื่องจาก ปริมาณความชื้นไม่เกินมาตรฐานอาหารผงที่กำหนด และความสามารถในการละลายน้ำดีสุด โดยได้คัดเลือกแมงกะพรุนผงส่วนร่ม (Bell) มาวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี (ดังตารางที่ 4-26) พบว่า ผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนัง และแมงกะพรุนลอดช่องมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 3.73 และ 3.91% โปรตีนเท่ากับ 68.62 และ61.02% ไขมันเท่ากับ 4.39 และ 3.41% เถ้าเท่ากับ 4.38-3.81% ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ปริมาณโปรตีนและไขมัน มีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากการแปรรูปโดยทำเป็นผงแห้งทำให้ลดปริมาณความชื้น จึงทำให้สัดส่วนของไขมัน และโปรตีนเพิ่มมากขึ้น ส่วน % ที่เหลือเป็นปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากมอลโตเด็กซ์ตริน

ตารางที่ 4-26 องค์ประกอบทางเคมีของแมงกะพรุนผง

ผงโปรตีน	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
แมงกะพรุนหนัง	3.73±0.06 ^{b}	68.62±5.00 ^{a}	4.39±0.26 ^{a}	4.38±0.11 ^{a}
แมงกะพรุนลอดช่อง	3.91±0.04 ^{a}	61.02±2.04 ^{b}	3.41±0.24 ^{b}	3.81±0.12 ^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

จากนั้นนำตัวอย่างผงโปรตีนแมงกะพรุนมาศึกษากระบวนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน โดยเก็บรักษาในโถดูดความชื้น ใช้ถุงลามิเนตเป็นบรรจุภัณฑ์ ศึกษาปริมาณความชื้นและค่า a_w (ดังตารางที่ 4-27) พบว่า ปริมาณความชื้นของผงโปรตีนแมงกะพรุนหนัง และแมงกะพรุนลอดช่องมีความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 3.73 เป็น 4.49% และ 3.91 เป็น 4.60% ตามลำดับ โดยความชื้นเพิ่มมากขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น เช่นเดียวกับค่า a_w มีค่าจาก 0.331 เป็น 0.376% และ 0.293 เป็น 0.380 ตามลำดับ เนื่องจาก การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผงโปรตีนจากแมงกะพรุนที่มีความชื้นต่ำทำให้มีการดูดกลับความชื้นได้อย่างรวดเร็ว (วรเดช, 2545) จึงส่งผลให้ผงโปรตีนแมงกะพรุมีความชื้นและค่า a_w เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-27 ปริมาณความชื้น และa_w ของผงโปรตีนจากแมงกะพรุนที่เก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน

เวลา (เดือน)	ความชื้น		a_w	
	แมงกะพรุนหนัง	แมงกะพรุนลอดช่อง	แมงกะพรุนหนัง	แมงกะพรุนลอดช่อง
0	3.73±0.06 [b]	3.91±0.04 [b]	0.331±0.003 [e]	0.293±0.002 [f]
1	3.76±0.30 [b]	4.42±0.15 [a]	0.343±0.001 [c]	0.339±0.003 [d]
2	3.84±0.17 [b]	4.52±0.21 [a]	0.354±0.003 [b]	0.358±0.005 [b]
3	4.49±0.09 [a]	4.60±0.19 [a]	0.376±0.002 [a]	0.380±0.002 [a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

เกณฑ์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผงโปรตีนแมงกะพรุนซึ่งใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 134-2546) กล่าวว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อกรัม รา ต้องไม่เกิน 200 โคโลนีต่อกรัม (ดังตารางที่ 4-28) พบว่า ผงโปรตีนแมงกะพรุนหนัง และแมงกะพรุนลอดช่องมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด Coliform *E.coli* และยีสต์รา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปลาร้าผง เนื่องจากโปรตีนผงจากแมงกะพรุนมีปริมาณความชื้น และค่า a_w ต่ำ เนื่องจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีการใช้ความร้อนสูงถึง 180 องศาเซลเซียสในการกำจัดปริมาณน้ำออก ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ผู้บริโภคจึงสามารถบริโภคได้อย่างปลอดภัย

ตารางที่ 4-28 การวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ของแมงกะพรุนผงเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 3 เดือน

เชื้อจุลินทรีย์	ระยะเวลา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU)	
		ผงโปรตีนจาก แมงกะพรุนหนัง	ผงโปรตีนจาก แมงกะพรุนลอดช่อง
Coliform และ E.coli	0	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม
	1	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม
	2	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม

ตารางที่ 4-28 (ต่อ)

เชื้อจุลินทรีย์	ระยะเวลา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU)	
		ผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนัง	ผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่อง
	3	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม
S. aureus	0	ไม่พบ	ไม่พบ
	1	ไม่พบ	ไม่พบ
	2	ไม่พบ	ไม่พบ
	3	ไม่พบ	ไม่พบ
จุลินทรีย์ทั้งหมด	0	<250	<250
(Total Plate Count)	1	<250	<250
	2	<250	<250
	3	<250	<250
ยีสต์ และรา	0	<10	<10
(Yeast and Mould)	1	<10	<10
	2	<10	<10
	3	<10	<10

4.5 การศึกษาคุณภาพของผงโปรตีนจากแมงกะพรุน

4.5.1 คุณสมบัติของโปรตีนละลายน้ำได้ในผงโปรตีนแมงกะพรุน (Soluble Protein)

การศึกษาโปรตีนละลายน้ำได้ของผงโปรตีนจากแมงกะพรุน ตรวจสอบด้วยวิธี Lowry (1951) โดยนำตัวอย่างผงมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นที่อัตราส่วนผงต่อน้ำกลั่น 1 : 10 w/v ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบโปรตีนที่ละลายน้ำได้ของผงโปรตีนจากแมงกะพรุนทั้ง 2 ชนิด (ดังตารางที่ 4-29) พบว่าผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนังมีปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำมากกว่าผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่องทั้งชุดควบคุม และที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลน เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งแบบพ่นฝอยได้นำแมงกะพรุนไประเหยแห้งให้มีความเข้มข้นเท่ากันที่ 6 Degree Brix เป็นผลให้โปรตีน มีความเข้มข้นขึ้น ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์โปรตีนที่ละลายน้ำแมงกะพรุนหนังจึงมีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่า ผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่องและเมื่อวิเคราะห์ผงโปรตีนจากแมงกะพรุนชุดควบคุมเปรียบเทียบกับชุดที่ผ่านการการย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลน พบว่าปริมาณโปรตีนที่ละลายที่ผ่าน

การย่อยด้วยเอนไซม์โบรมิเลนมีปริมาณมากกว่าชุดควบคุม เนื่องจาก เอนไซม์โบรมิเลนทำให้เกิดการย่อยโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงกลายเป็นเพปไทด์สายสั้น ๆ (Hindi-Tamelikecht, et al., 1997)

ตารางที่ 4-29 ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ของแมงกะพรุนผง

ผงโปรตีนจากแมงกะพรุน	โปรตีนที่ละลายน้ำได้ (mg/ g ตัวอย่าง)
ผงโปรตีนของแมงกะพรุนหนัง ชุดควบคุม	195.60±2.05[c]
ผงโปรตีนของแมงกะพรุนหนังย่อยด้วยโบรมิเลน 1.0%	348.34±2.05[a]
ผงโปรตีนของแมงกะพรุนลอดช่อง ชุดควบคุม	176.91±7.37[d]
ผงโปรตีนของแมงกะพรุนลอดช่องย่อยด้วยโบรมิเลน 1.0%	309.66±6.45[b]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.5.2 คุณสมบัติการเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant Activity) ของแมงกะพรุนผง

4.5.2.1 ผลการศึกษา DPPH Radical-Scavenging Activity

เมื่อศึกษาผลของ Scavenging Activity ผงโปรตีนของแมงกะพรุน ที่แปรปริมาณเอนไซม์โบรมิเลนในการย่อย (ดังตารางที่ 4-30) พบว่า แมงกะพรุนหนัง และลอดช่องที่ไม่ผ่านการใช้เอนไซม์โบรมิเลนมี %Scavenging Activity เท่ากับ 21.47 และ 5.03% ตามลำดับ น้อยกว่าแมงกะพรุนที่ใช้ร่วมกับเอนไซม์โบรมิเลนมี %Scavenging Activity เท่ากับ 81.09% และ 69.69% ตามลำดับ เนื่องจากแมงกะพรุนหนังผงมีปริมาณโปรตีนที่มากกว่าแมงกะพรุนลอดช่องผงทั้งแบบชุดไม่ผ่านการใช้เอนไซม์โบรมิเลน และชุดผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ความเข้มข้น 1.0%

ตารางที่ 4-30 DPPH Radical-Scavenging Activity ของแมงกะพรุนผง

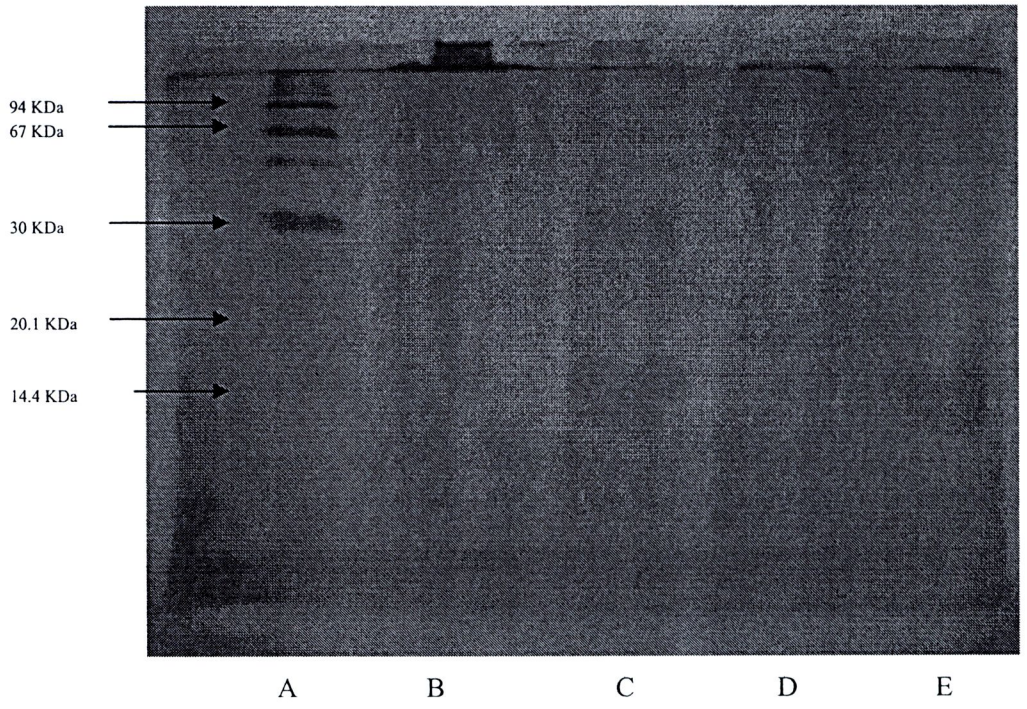
แมงกะพรุน	**% scavenging activity**
ผงโปรตีนของแมงกะพรุนหนัง ชุดควบคุม	21.47±5.88[c]
ผงโปรตีนของแมงกะพรุนหนังย่อยด้วยโบรมิเลน 1.0%	81.09±1.26[a]
ผงโปรตีนของแมงกะพรุนลอดช่อง ชุดควบคุม	5.03±0.88[d]
ผงโปรตีนของแมงกะพรุนลอดช่องย่อยด้วยโบรมิเลน 1.0%	69.69±0.29[b]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.5.3 การวิเคราะห์มวลโมเลกุล

การวิเคราะห์มวลโมเลกุลของโปรตีนตรวจสอบโดยใช้ SDS-PAGE (ดังภาพที่ 4-15) พบว่าในแถว B และ D เป็นโปรตีนของแมงกะพรุนที่ไม่ผ่านการย่อยด้วยโบรมิเลนซึ่งมีขนาดโมเลกุลที่สูงกว่า 67 KDa จึงไม่สามารถผ่านเจลลงมาได้โมเลกุลส่วนใหญ่จึงอยู่ด้านบนของเจลส่วนแถว C

และ E เป็นโปรตีนแมงกะพรุนที่ผ่านการย่อยด้วยโบรมิเลน 1% เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เห็นว่ามีขนาดโมเลกุลที่เล็ก อยู่ที่ประมาณ 14.4 KDa ดังนั้นโมเลกุลของโปรตีนแมงกะพรุนจึงสามารถเคลื่อนที่ลงมาในเจลอยู่ที่ด้านล่างของเจลได้ จึงเป็นการยืนยันว่าโปรตีนจากแมงกะพรุนเกิดการย่อยทำให้ได้เป็นกรดอะมิโน และเพปไทด์สายสั้น ๆ



ภาพที่ 4-15 SDS-PAGE ของผงโปรตีนจากแมงกะพรุน แถว A คือ Standard Marker, B คือ ผงโปรตีนแมงกะพรุนหนังชุดควบคุม, C คือ ผงโปรตีนแมงกะพรุนหนังที่ย่อยด้วยโบรมิเลน, D คือ ผงโปรตีนแมงกะพรุนลอดช่องชุดควบคุม, E คือ ผงโปรตีนแมงกะพรุนลอดช่องย่อยด้วยโบรมิเลน

4.6 การประยุกต์ใช้ในอาหารบะหมี่

4.6.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์บะหมี่

การศึกษาการยอมรับในผลิตภัณฑ์บะหมี่ของผู้บริโภคจำนวน 30 คน โดยผลิตภัณฑ์บะหมี่ได้ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนัง และลอดช่องที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5% ซึ่งใช้ผงโปรตีนจากแมงกะพรุนที่อุณหภูมิทำแห้ง 180 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นมอลโตเด็กซ์ตริน 2% ในการผลิตบะหมี่ ผลการทดสอบด้านประสาทสัมผัส (ดังตารางที่ 4-31) ทดสอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่าสูตรที่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่อง 1.5% ผู้บริโภคให้คะแนนมากที่สุดในทุกการทดสอบโดยการยอมรับด้านสีเท่ากับ 3.73 คะแนน คะแนนด้านกลิ่นเท่ากับ 3.67 คะแนน คะแนนด้านรสชาติเท่ากับ 3.57 คะแนน คะแนนด้านเนื้อสัมผัสเท่ากับ

3.50 คะแนน และคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 3.60 คะแนน การทดสอบทางประสาทสัมผัสของบะหมี่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนพบว่าผู้ทดสอบไม่สามารถแยกกลิ่นบะหมี่สูตรมาตรฐานกับสูตรที่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนได้ ซึ่งตรวจสอบจากคะแนนกลิ่น และรสชาติ โดยบะหมี่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนในคะแนนด้านเนื้อสัมผัส พบว่าสูตรที่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนัง และลอดช่อง 1.0% ผู้ทดสอบให้คะแนนมากสุด เนื่องจากว่าเมื่อผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน 1.5% ทำให้การลวกเส้นมีปัญหาในด้านการขาด และเส้นค่อนข้างจะเละในผงโปรตีนจากแมงกะพรุนทั้ง 2 ชนิด ดังนั้นผู้ทดสอบจึงให้คะแนนที่ต่ำกว่าที่ผสมแมงกะพรุน 1.0% แต่ในด้านสถิติไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงคัดเลือกบะหมี่สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่อง 1.5% เป็นสูตรที่ดีที่สุด และนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 4-31 ผลการทดสอบการยอมรับด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมแมงกะพรุน

สูตรบะหมี่	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ชุดควบคุม	2.50±0.78 ^{d}	3.40±1.13 ^{abc}	2.90±1.21 ^{b}	3.40±1.10 ^{ab}	3.10±0.76 ^{b}
บะหมี่+ERPH 0.5%	3.43±1.28 ^{ab}	2.83±1.26 ^{c}	2.30±1.21 ^{c}	2.50±1.01 ^{c}	2.87±1.04 ^{b}
บะหมี่+ERPH 1.0%	2.77±0.82 ^{cd}	3.30±1.06 ^{abc}	2.87±0.82 ^{b}	3.03±0.96 ^{bc}	3.20±0.66 ^{ab}
บะหมี่+ERPH 1.5%	2.63±0.93 ^{cd}	2.97±1.13 ^{bc}	2.93±1.01 ^{b}	2.97±0.96 ^{bc}	3.23±0.86 ^{ab}
บะหมี่+ELPH 0.5%	2.87±0.97 ^{cd}	3.57±1.22 ^{ab}	3.00±0.91 ^{b}	3.27±0.91 ^{ab}	3.20±0.85 ^{ab}
บะหมี่+ELPH 1.0%	3.10±0.80 ^{bc}	3.10±0.92 ^{abc}	2.87±1.00 ^{b}	3.63±1.00 ^{a}	3.17±0.70 ^{ab}
บะหมี่+ELPH 1.5%	3.73±1.01 ^{a}	3.67±0.96 ^{a}	3.57±1.10 ^{a}	3.50±1.17 ^{ab}	3.60±0.97 ^{a}

ERPH คือ ผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนัง, ELPH คือ ผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่อง

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.6.2 การศึกษาลักษณะทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของบะหมี่ผสมแมงกะพรุน

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของบะหมี่ที่ผสมแมงกะพรุนลอดช่อง 1.5% ในด้าน ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า (ดังตารางที่ 4-32) พบว่า บะหมี่ที่ผสมแมงกะพรุนผงมีปริมาณโปรตีนที่เพิ่มสูงขึ้น คือ 16.84% อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนบะหมี่สูตรมาตรฐานมีโปรตีน 13.20% ซึ่งมีปริมาณโปรตีนมากกว่าบะหมี่สูตรมาตรฐานประมาณ 20% โดยงานวิจัยของ สุภารัตน์ (2547) ได้ศึกษาการใช้แป้งถั่วเขียวทดแทนแป้งสาลีในบะหมี่สด มีปริมาณโปรตีนในบะหมี่สูตรแป้งสาลี และบะหมี่สูตรแป้งถั่วเขียวเท่ากับ 10.27 และ 22.26% ตามลำดับ

ตารางที่ 4-32 องค์ประกอบทางเคมีของบะหมี่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน

สูตรบะหมี่	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
สูตรมาตรฐาน	26.31[a]	13.20[b]	4.82[a]	1.01[b]
สูตรผสมแมงกะพรุนลอดช่อง 1.5%	26.10[a]	16.84[a]	4.97[a]	1.19[a]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

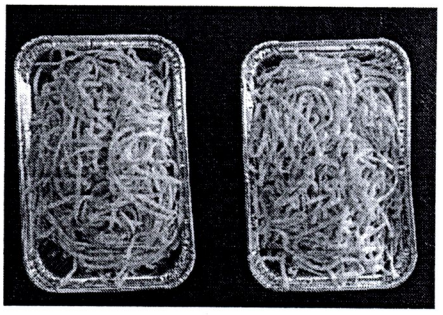
ตารางที่ 4-33 ค่าสีของบะหมี่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 16 วัน

เวลา (วัน)	สูตรมาตรฐาน			สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่อง		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	59.74±0.10[c]	6.10±0.01[b]	21.86±0.04[h]	62.22±0.05[a]	5.71±0.02[d]	19.60±0.10[j]
4	59.24±0.17[d]	5.81±0.01[c]	25.01±0.03[b]	60.28±0.11[b]	6.39±0.01[a]	25.76±0.04[a]
8	51.72±0.15[f]	5.56±0.01[e]	23.93±0.07[d]	54.57±0.05[e]	4.67±0.02[h]	24.22±0.02[c]
12	51.20±0.15[g]	4.34±0.01[i]	23.50±0.06[e]	44.03±0.01[i]	5.59±0.02[e]	22.24±0.05[g]
16	47.57±0.11[h]	4.94±0.03[g]	23.33±0.06[f]	44.15±0.05[i]	5.07±0.03[f]	20.45±0.09[i]

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

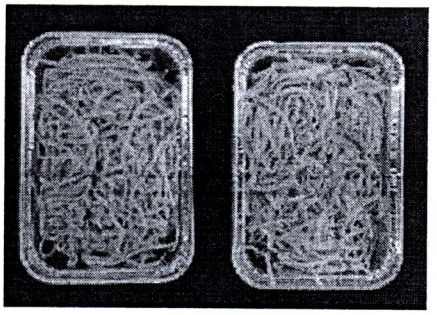
การศึกษาคุณสมบัติด้านกายภาพด้านสีของบะหมี่สดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 16 วัน ที่บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิทที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ค่าสีทุก ๆ 4 วัน (ดังตารางที่ 4-33) พบว่า ผลการวิเคราะห์ของบะหมี่สดค่า L* และ a* มีค่าลดลง อย่างมีนัยสำคัญ $p \leq 0.05$ ซึ่งมีผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ ดรุณี และคณะ (2550) ที่เก็บรักษาเส้นก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่เก็บรักษาเป็นเวลา 4 วัน มีค่า L* ลดลงจาก 78.14 เป็น 64.99 ค่า a* ลดลงจาก 1.31 เป็น 0.46 ค่า b* ลดลงจาก 8.31 เป็น 6.62 ซึ่งจากการวิเคราะห์เส้นบะหมี่ในสูตรมาตรฐานมีค่า L* ที่ลดลงจาก 59.74 เป็น 47.57 สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน ค่าลดลงจาก 62.22 เป็น 44.15 ส่วนค่า a* ในบะหมี่สูตรมาตรฐานมีค่าลดลงจาก 6.10 เป็น 4.95 ในสูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลดลงจาก 5.71 เป็น 5.07 แต่ในการวิเคราะห์ค่า b* มีค่าที่เพิ่มมากขึ้น โดยบะหมี่สูตรมาตรฐานเพิ่มขึ้นจาก 21.86 เป็น 23.33 และในสูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนมีค่า 19.60 เป็น 20.45 โดยการเปลี่ยนแปลงสีจะมีสีที่เข้มขึ้นจากสีเหลืองสว่าง เป็นสีน้ำตาลเขียว ดังภาพที่ 4-49 เนื่องจากระหว่างเก็บรักษาอาหาร

น้ำตาลรีดิวซิงจะทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของโปรตีน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน และเกิดต่อเนื่องจนได้สีน้ำตาลที่เรียกว่า ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (นิธิยา, 2545)



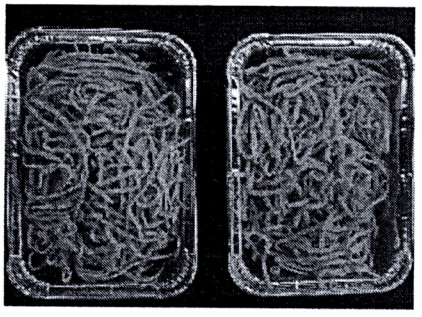
สูตรมาตรฐาน สูตรผสมแมงกะพรุน

(a) 0 วัน



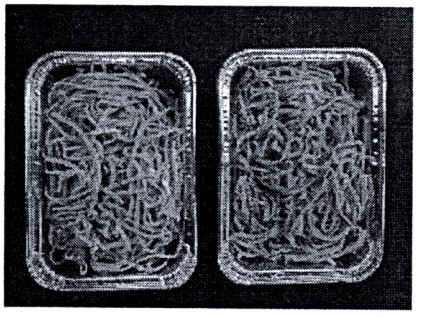
สูตรมาตรฐาน สูตรผสมแมงกะพรุน

(b) 2 วัน



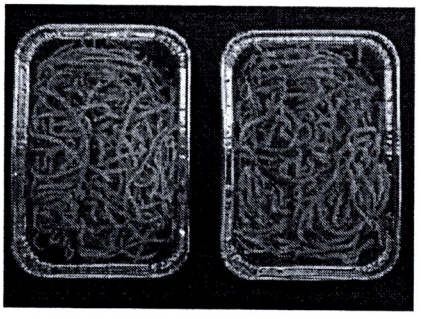
สูตรมาตรฐาน สูตรผสมแมงกะพรุน

(c) 4 วัน



สูตรมาตรฐาน สูตรผสมแมงกะพรุน

(d) 8 วัน



สูตรมาตรฐาน สูตรผสมแมงกะพรุน

(e) 12 วัน

สูตรมาตรฐาน สูตรผสมแมงกะพรุน

(f) 16 วัน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ภาพที่ 4-16 สีบะหมี่เก็บรักษาเป็นเวลา 16 วัน ; (a) บะหมี่ 0 วัน, (b) บะหมี่ 2 วัน, (c) บะหมี่ 4 วัน, (d) บะหมี่ 8 วัน, (e) บะหมี่ 12 วัน, (f) บะหมี่ 16 วัน

เมื่อนำเส้นบะหมี่มาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้วยแรงในการตัด (Hardness) ซึ่งเก็บรักษาเป็นเวลา 16 วันและสุ่มตรวจทุก 8 วัน (ดังตารางที่ 4-34) พบว่า แรงในการตัดเส้นบะหมี่ในสูตรมาตรฐานและสูตรผสมแมงกะพรุนมีค่าสูงขึ้นจาก 77.45 เป็น 154.70 กรัม และ 85.50 เป็น 155.84 กรัม ตามลำดับ โดยบะหมี่สูตรผสมแมงกะพรุนมีแรงในการตัดเส้นบะหมี่ที่สูงกว่า เนื่องจากปริมาณโปรตีนส่งผลต่อกลูเตนถ้าโปรตีนสูงกลูเตนก็มีความแข็งแรงสูงขึ้นตาม และการเก็บรักษาบะหมี่ไว้เป็นเวลานาน

ส่งผลให้โมเลกุลของแป้งเกิดรีโทรกราเดชั่น ซึ่งโครงสร้างของ อะไมโลเพกตินและอะไมโลสมาจัดเรียงตัวกันใหม่นอกโครงสร้างของแป้งในช่วงเจลเลชั่น (กล้าณรงค์, 2542) จึงเกิดการเรียงตัวโครงสร้างใหม่ที่แข็งแรงขึ้นคล้ายการเกิดผลึกนอกเม็ดแป้ง จึงเป็นผลให้เกิดเนื้อสัมผัสบะหมี่ที่แข็งแรงขึ้น

ตารางที่ 4-34 เนื้อสัมผัสของบะหมี่ผสมแมงกะพรุน เก็บรักษา 16 วัน

เวลา (วัน)	แรงในการตัดเส้นบะหมี่ (กรัม)	
	สูตรมาตรฐาน	สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน
0	77.45±2.60 ^{d}	85.50±2.64 ^{cd}
8	92.60±4.24 ^{c}	117.00±7.00 ^{b}
16	154.70±7.95 ^{a}	155.84±3.75 ^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 4-35 ปริมาณความชื้น และ a_w ของบะหมี่เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 วัน

เวลา	ความชื้น		a_w	
	สูตรมาตรฐาน	สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน	สูตรมาตรฐาน	สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน
0	26.31±1.19 ^{b}	26.10±0.59 ^{b}	0.961±0.01 ^{a}	0.953±0.01 ^{c}
8	27.93±0.38 ^{a}	28.43±0.31 ^{a}	0.957±0.01 ^{b}	0.955±0.01 ^{b}
16	27.77±0.35 ^{a}	28.42±0.24 ^{a}	0.956±0.01 ^{b}	0.957±0.01 ^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความชื้น และa_w ของบะหมี่ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 วัน (ดังตารางที่ 4-35) พบว่า ปริมาณความชื้นของบะหมี่สูตรมาตรฐาน และสูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนมีความชื้นค่อนข้างคงที่ อยู่ในช่วง 26.10-28.42% และค่า a_w อยู่ในช่วง 0.947-0.961 ซึ่งมีปริมาณเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

ตารางที่ 4-36 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ในบะหมี่ในการเก็บรักษาเป็นเวลา 16 วัน

เชื้อจุลินทรีย์	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์ (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม)	
		บะหมี่สูตรมาตรฐาน	สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน
Coliform และ *E.coli*	0	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม
	4	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม
	8	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม
	12	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม
	16	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม
S. aureus	0	ไม่พบ	ไม่พบ
	4	ไม่พบ	ไม่พบ
	8	ไม่พบ	ไม่พบ
	12	ไม่พบ	ไม่พบ
	16	ไม่พบ	ไม่พบ
จุลินทรีย์ทั้งหมด	0	150	100
(Total Plate Count)	4	1.8×10^3	2.3×10^3
	8	1.6×10^3	2.1×10^3
	12	2.2×10^3	6.1×10^3
	16	1.2×10^4	1.8×10^4
ยีสต์ และรา	0	0	0
(Yeast and Mould)	4	60	25
	8	80	70
	12	1.8×10^2	2.7×10^2
	16	1.2×10^3	6.2×10^2

การศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ พบว่า การเก็บรักษาเส้นบะหมี่ทั้งสูตรมาตรฐาน และสูตรผสมแมงกะพรุน เมื่อเกินวันที่ 8 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์มาตรฐาน ยีสต์ และรา มีค่าเกินมาตรฐานที่กำหนด (ดังตารางที่ 4-36) กำหนดให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน 1.0×10^4 CFU และเชื้อราไม่เกิน 100 CFU

4.7 การประยุกต์ใช้ในอาหารเยลลี่

4.7.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์เยลลี่

การทดสอบเยลลี่โดยวิธีให้คะแนนความชอบ 1-5 คะแนน (9-Point Hedonic Scale) จาก 1 (ไม่ชอบมาก) 2 (ไม่ชอบ) 3 (ปานกลาง) 4 (ชอบ) 5 (ชอบมากที่สุด) โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ในปัจจัยคุณภาพดังนี้คือ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม (ดังตารางที่ 4-37) ได้แปรความเข้มข้นผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนัง และลอดช่องที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6% พบว่า ค่าสีมีคะแนนอยู่ระหว่าง 3.00-3.80 คะแนน คะแนนด้านกลิ่นพบว่ามีคะแนนสูงสุดเมื่อใช้ความเข้มข้นผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนัง และลอดช่องที่ 0.4% เท่ากับ 3.07 และ 3.27 คะแนน ซึ่งมากว่าการใช้ความเข้มข้นผงโปรตีนที่ 0.6% เนื่องจาก แมงกะพรุนยังมีกลิ่นและรสชาติที่เป็นอาหารคาวอยู่ เมื่อผสมในอาหารหวานทำให้ผู้บริโภคให้คะแนนความพึงพอใจลดลงเมื่อความเข้มข้นผงโปรตีนเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามในทางสถิติไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ ซึ่งมีผลเช่นเดียวกันกับคะแนนด้านรสชาติที่มีคะแนนสูงสุดที่แมงกะพรุนความเข้มข้น 0.4% คะแนนด้านเนื้อสัมผัสพบว่า มีคะแนนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นผงโปรตีนจากแมงกะพรุนซึ่งมีคะแนนสูงสุดที่ความเข้มข้น 0.6% เท่ากับ 3.67 คะแนน และคะแนนด้านความชอบโดยรวมพบว่าสูตรที่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน 0.6% มีคะแนนความชอบโดยรวมมากสุด คือ 3.73 และ3.60 คะแนน ตามลำดับ ดังนั้นจึงได้คัดเลือกเยลลี่สูตรผสมผงโปรตีนแมงกะพรุนลอดช่องที่ 0.6% เป็นสูตรที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4-37 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเยลลี่

สูตรเยลลี่	สี	กลิ่น	รส	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
ชุดควบคุม	3.37 ± 0.81^{abc}	3.13 ± 0.86^{a}	3.13 ± 0.94^{b}	3.13 ± 1.11^{a}	3.30 ± 0.84^{ab}
เยลลี่+ERPH 0.2%	3.43 ± 0.94^{abc}	3.27 ± 1.05^{a}	3.10 ± 1.03^{b}	2.43 ± 1.04^{b}	3.17 ± 0.75^{b}
เยลลี่+ERPH 0.4%	3.60 ± 1.01^{ab}	3.07 ± 1.01^{a}	3.40 ± 1.07^{ab}	3.63 ± 0.93^{a}	3.40 ± 1.04^{ab}
เยลลี่+ERPH 0.6%	3.00 ± 0.95^{abc}	2.93 ± 0.91^{a}	3.30 ± 1.02^{ab}	3.67 ± 0.84^{a}	3.73 ± 0.74^{a}
เยลลี่+ELPH 0.2%	3.17 ± 0.95^{c}	3.20 ± 0.96^{a}	3.33 ± 0.88^{ab}	3.50 ± 0.97^{a}	3.53 ± 0.82^{ab}
เยลลี่+ELPH 0.4%	3.17 ± 0.91^{bc}	3.27 ± 1.05^{a}	3.70 ± 0.79^{a}	3.50 ± 0.90^{a}	3.37 ± 0.76^{ab}
เยลลี่+ELPH 0.6%	3.80 ± 1.10^{a}	3.20 ± 1.16^{a}	3.57 ± 1.04^{ab}	3.67 ± 0.92^{a}	3.60 ± 0.86^{ab}

ERPH คือ ผงโปรตีนจากแมงกะพรุนหนัง, ELPH คือ ผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่อง

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

4.7.2 ลักษณะทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของเยลลี่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน

องค์ประกอบทางเคมีของเยลลี่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลอดช่อง 0.6% (ดังตารางที่ 4-38) พบว่า ปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 66.42-67.31% ปริมาณโปรตีน 0.15-0.53% ไขมัน 0.15-0.37% และเถ้า 0.36-0.51% ซึ่งเยลลี่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุทธิวัฒน์ และคณะ (2553) ได้ผลิตเยลลี่ผักได้แก่ มะเขือเทศ แครอท ฟักทอง และกะหล่ำปลีม่วง ซึ่งมีปริมาณความชื้น 68.89-74.39% โปรตีนเท่ากับ 1.02-2.54% ไขมันเท่ากับ 0.10-1.15% และเถ้า 0.40-0.63%

ตารางที่ 4-38 องค์ประกอบทางเคมีของเยลลี่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน

สูตรเยลลี่	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
สูตรมาตรฐาน	67.31±0.31[a]	0.15±0.02[b]	0.15±0.04[b]	0.36±0.08[b]
สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน	66.42±0.47[b]	0.53±0.05[a]	0.37±0.05[a]	0.51±0.05[a]

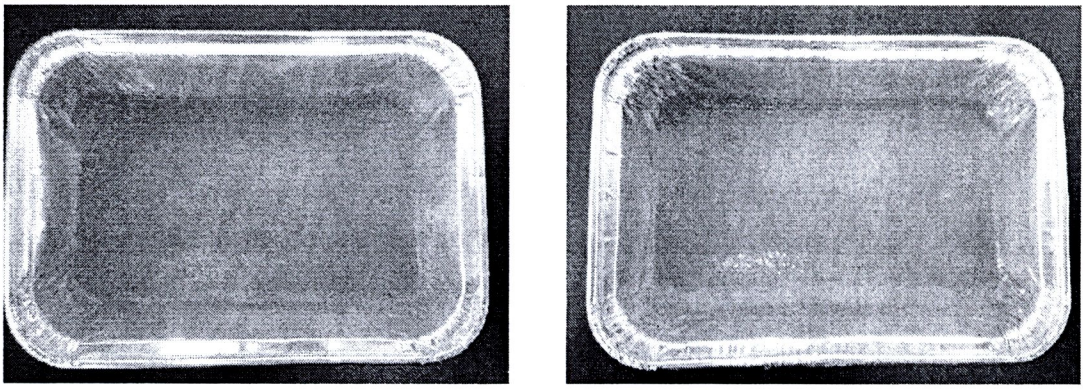
หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ทดสอบการเก็บรักษาเยลลี่เพื่อตรวจคุณภาพของเยลลี่ทั้ง 2 ชนิด (ดังตารางที่ 4-39) พบว่า ค่า L* ในเดือนที่ 0 มีค่าน้อยที่สุด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้นโดยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จาก 24.45 เป็น 26.03 ในเยลลี่สูตรมาตรฐาน และ 27.32 เป็น 28.53 ในเยลลี่สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน ส่วนค่า a* และ b* มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่า a* ลดลงจาก 14.51 เป็น 13.84 ในสูตรมาตรฐาน ส่วนสูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนลดลงจาก 14.18 เป็น 12.68 ส่วนค่า b* มีการลดลงเล็กน้อย ซึ่งเยลลี่สูตรมาตรฐาน และสูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน มีค่า b* อยู่ระหว่าง 24.73-25.81 และ 21.06-23.35 ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบเยลลี่สูตรมาตรฐานกับเยลลี่สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน พบว่า ค่า L* ของเยลลี่สูตรมาตรฐานมีค่าสูงกว่าเยลสูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน โดยลักษณะที่ได้เยลลี่จะมีความสว่างมากกว่า ส่วนค่า a* และ b* ในเยลลี่สูตรมาตรฐานมีค่ามากกว่าเยลลี่สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน เนื่องจากเยลลี่สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนมีส่วนผสมของมอลโตเด็กซ์ตรินที่มีสีขาวจึงทำให้ลดความเป็นสีแดง และสีเหลืองลง (ดังภาพที่ 4-17)

ตารางที่ 4-39 ค่าสีของเยลลี่ผสมแมงกะพรุน เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 2 เดือน

เวลา (เดือน)	สูตรมาตรฐาน			สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0	24.45±0.06 ^{g}	14.51±0.24 ^{a}	25.81±0.71 ^{a}	27.32±0.04 ^{c}	14.18±0.06 ^{b}	23.35±0.18 ^{c}
1	26.76±0.24 ^{d}	13.56±0.05 ^{d}	24.73±0.18 ^{b}	29.71±0.03 ^{a}	12.63±0.02 ^{f}	21.06±0.07 ^{e}
2	26.03±0.10 ^{f}	13.84±0.30 ^{c}	25.73±0.50 ^{a}	28.53±0.35 ^{b}	12.68±0.04 ^{f}	22.41±0.16 ^{d}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



(ก) (ข)

ภาพที่ 4-17 เยลลี่ผลไม้รวม (ก) เยลลี่สูตรมาตรฐาน และ (ข) สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน

เมื่อศึกษาการวิเคราะห์ทางเนื้อสัมผัสของเยลลี่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 เดือน โดยวิเคราะห์ค่า Hardness, Springiness และ Cohesiveness (ดังตารางที่ 4-40) พบว่า ค่า Hardness ที่บ่งชี้ถึงความแข็งแรง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษานานขึ้น โดยเยลลี่สูตรมาตรฐานเพิ่มขึ้นจาก 529.68 เป็น 769.01 กรัม และเยลลี่สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนค่า Hardness เพิ่มขึ้นจาก 652.87 เป็น 1058.34 กรัม เมื่อเปรียบเทียบเยลลี่สูตรมาตรฐาน และเยลลี่สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนพบว่า เยลลี่สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนมีค่า Hardness ที่มากกว่าเยลลี่สูตรมาตรฐาน เนื่องจาก เยลลี่สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนมีมอลโตเด็กซ์ตรินซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต จึงส่งผลให้โครงสร้างเจลมีความแข็งแรงมากขึ้นตามไปด้วย (นิธิยา, 2545) ค่า Springiness หมายถึง ความสามารถในการคืนตัวตัวการเสียรูปจากการกดทับในครั้งแรก โดยค่า Springiness มีแนวโน้มลดลงหลังการเก็บรักษานานขึ้น เนื่องจาก การเกิดเจลของแคปปาคาราจีแนนไม่ค่อยมีความคงตัวต่อการแช่เย็น และทำให้เกิดกระบวนการ Syneresis ที่สูงกว่า แลมด้าคาราจีแนน (Glicksman, 1982) เช่นเดียวกับค่า Cohesiveness คือ พื้นที่ใต้กราฟของแรงกดทับครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2โดยพบว่ามีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น และเมื่อเทียบเยลลี่สูตรมาตรฐาน กับสูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน พบว่าเยลลี่ผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนมีค่า Cohesiveness ที่น้อยกว่า เนื่องจาก

มอลโตเด็กซ์ตรินที่ผสมในแมงกะพรุนผงจะสร้างพันธะไฮโดรเจนภายกับโครงสร้างเจลได้น้อยลง ส่งผลให้โครงสร้างเจลที่ผสมแมงกะพรุนมีค่า Cohesiveness ลดลง

ตารางที่ 4-40 เนื้อสัมผัสของเยลลี่ผสมแมงกะพรุน เก็บรักษา 2 เดือน

เวลา (เดือน)	สูตรมาตรฐาน			สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน		
	hardness	springiness	cohesiveness	hardness	springiness	cohesiveness
0	529.68±15.82 ^{d}	0.94±0.02 ^{bc}	0.68±0.01 ^{a}	652.87±10.06 ^{c}	0.86±0.00 ^{d}	0.57±0.02 ^{c}
1	600.30±56.97 ^{c}	0.93±0.04 ^{bc}	0.60±0.02 ^{b}	750.63±11.38 ^{b}	0.90±0.03 ^{cd}	0.51±0.01 ^{d}
2	769.01±45.01 ^{b}	0.98±0.08 ^{a}	0.44±0.01 ^{e}	1058.34±27.92 ^{a}	0.95±0.00 ^{ab}	0.42±0.01 ^{e}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

การวิเคราะห์คุณภาพการเก็บรักษาของเยลลี่สูตรมาตรฐาน และสูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน โดยวิเคราะห์ปริมาณความชื้น และค่า a_w เป็นระยะเวลา 2 เดือน (ดังตารางที่ 4-41) พบว่า เยลลี่ในเดือนที่ 0 มีปริมาณความชื้นต่ำสุด และสูงสุดในเดือนที่ 3 เนื่องจากเยลลี่มีการคายน้ำออกมาบริเวณผิวหน้าด้านบนของเยลลี่ และอาจเกิดจากการเก็บรักษาเยลลี่ที่อาจเกิดการผ่านเข้าออกของอากาศเย็นทำให้เกิดการควบแน่นและเป็นน้ำที่ผิวหน้า ทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งปริมาณความชื้นของเยลลี่เพิ่มขึ้นจาก 66.42-67.31% เป็น 69.51-70.33%

ค่า a_w ในเยลลี่พบว่า การเก็บรักษาเยลลี่ในเดือนที่ 0 มีค่าสูงที่สุด และค่า a_w ผงโปรตีนลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งเยลลี่สูตรมาตรฐานมีค่าลดลงจาก 0.965 เป็น 0.953 และในสูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนมีค่าลดลงจาก 0.963 เป็น 0.958 เนื่องจากคาราจีแนนถูกดึงน้ำออกจากโมเลกุล น้ำจึงมารวมกันอยู่ไปหน้าของเยลลี่ ดังนั้น a_w ของเนื้อเยลลี่จึงมีความแห้งขึ้นและเป็นผลให้ค่า a_w มีค่าลดลงเมื่อเก็บรักษานานขึ้น

ตารางที่ 4-41 ปริมาณความชื้น และ aw ของเยลลี่สูตรมาตรฐาน และสูตรผสมแมงกะพรุน เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน

เวลา (เดือน)	ความชื้น		a_w	
	สูตรมาตรฐาน	สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน	สูตรมาตรฐาน	สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน
0	67.31±0.31 ^{c}	66.42±0.47 ^{d}	0.965±0.001 ^{a}	0.963±0.001 ^{ab}
1	65.80±0.22 ^{d}	67.71±0.02 ^{c}	0.950±0.002 ^{d}	0.961±0.002 ^{bc}
2	70.33±0.67 ^{a}	69.51±0.52 ^{b}	0.953±0.002 ^{d}	0.958±0.003 ^{c}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็กต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

การศึกษาคุณภาพทางจุลินทรีย์ของเยลลี่เป็นเวลาเวลา 2 เดือน ซึ่งประเมินจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด เชื้อ *S. aureus* เชื้อ *E.coli* และ ยีสต์รา ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างตรวจ (ดังตารางที่ 4-42) พบว่า เยลลี่สูตรมาตรฐานและเยลลี่สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุนไม่พบ *Coliform* และ *E.coli* และเชื้อ *S. aureus* ในช่วงการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน เมื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดพบว่า มีจุลินทรีย์น้อยกว่า 250 โคโลนีต่อกรัม ทั้งเยลลี่สูตรมาตรฐาน และสูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน การวิเคราะห์ยีสต์และรา พบว่ามีปริมาณน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม การเก็บรักษาเยลลี่เป็นเวลา 2 เดือน เนื่องจากเยลลี่เติมสารกันเสียในปริมาณที่เหมาะสมตามข้อกำหนด โดยเติมโซเดียมเบนโซเอท และโพแทสเซียมซอร์เบทที่มีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย และยีสต์รา ดังนั้นเยลลี่จึงมีเชื้อจุลินทรีย์ไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 519/2547 กำหนดให้เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน $1x10^4$ โคโลนีต่อกรัม ยีสต์รา ไม่เกิน 200 โคโลนีต่อกรัม และไม่พบ *Coliform* และ *E.coli*

ตารางที่ 4-42 ปริมาณเชื้อจุลินทรีต่าง ๆ ในเยลลี่ในการเก็บรักษาเป็นเวลา 2 เดือน

เชื้อจุลินทรีย์	ระยะเวลา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ (โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม)	
		เยลลี่สูตรมาตรฐาน	เยลลี่สูตรผสมผงโปรตีนจากแมงกะพรุน
Coliform และ E.coli	0	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม
	1	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม
	2	< 3 MPN/กรัม	< 3 MPN/กรัม
S. aureus	0	ไม่พบ	ไม่พบ
	1	ไม่พบ	ไม่พบ
	2	ไม่พบ	ไม่พบ
จุลินทรีย์ทั้งหมด	0	<250	<250
(Total Plate Count)	1	<250	<250
	2	<250	<250
ยีสต์ และรา	0	<10	<10
(Yeast and Mould)	1	<10	<10
	2	<10	<10