ผลของความดันสูงและความร้อนต่อลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งกุลาดำ

Effect of High Pressure and Heat Treatment on Appearant and Textural Characteristic of Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius)

ธิติมา จันทโกศล[1], ก่องกาญจน์ กิจรุ่งโรจน์[2] และสุทธวัฒน์ เบญจกุล[2]

Thitima Jantakoson, Kongkarn Kigroongrojana and Soottawat Benjakul

Abstract

The effect of high pressure (at 200, 400, 600 and 800 for 20 min, at room temperature) or heat (at 100 °C for 2 min) treatments on black tiger shrimp appearant and textural characteristic was studied. L*, a*, b* values, compression force and shear force increased with increasing pressure. The heat treated sample had higher shear force (toughening) than the pressurized and control samples (fresh shrimp) ($P<0.05$). Pressure at different levels had no effect on weight loss ($P \geq 0.05$). However, the values of heat treated sample was higher than those of pressurized sample ($P < 0.05$). Autolytic activities of pressurized sample at 200-600 MPa were not significantly different from that of control. The activity of heated sample was decreased and was not significantly different from sample treated at 800 MPa ($P \geq 0.05$).

Keywords : High pressure, Heat treatment, Appearant, Texture, Black tiger shrimp

บทคัดย่อ

จากการศึกษาผลของความดันสูงที่ระดับ 200, 400, 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 20 นาที ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที ต่อลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสกุ้งกุลาดำพบว่าค่า L*, a*, b*, ค่าแรงกดและแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการให้ความดัน ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าแรงเฉือนสูงกว่าตัวอย่างที่ให้ความดันและตัวอย่างชุดควบคุม (เนื้อกุ้งกุลาดำสด) อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) การให้

[1]โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000

Food Science and Technology Program, Faculty of Agricultural Technology, Songkhla Rajabhat University, Muang, Songkhla 90000 Thailand.

[2]ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ. สงขลา 90110

Department of Food Technology, Faculty of Agro-Indusry, Prince of Songkla University, Hadyai , Songkhla 90110, Thailand.

ตัวอย่างที่ให้ความดันและตัวอย่างชุดควบคุม (เนื้อกุ้งกุลาดำสด) อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) การให้ความดันที่ระดับต่างๆ ไม่มีผลต่อค่าการสูญเสียน้ำหนัก ($p\geq0.05$) อย่างไรก็ตามมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่ให้ความร้อน ($p<0.05$) กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสของตัวอย่างที่ให้ความดันที่ระดับ 200 – 600 เมกกะปาสคาล มีค่าไม่แตกต่างจากชุดควบคุม ส่วนกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในตัวอย่างที่ให้ความร้อนมีกิจกรรมลดลงและไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ให้ความดันที่ระดับ 800 เมกกะปาสคาล

คำสำคัญ : ความดันสูง, ความร้อน, ลักษณะปรากฏ, ลักษณะเนื้อสัมผัส, กุ้งกุลาดำ

บทนำ

กุ้งเป็นสินค้าที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากกุ้งเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ จากการศึกษาพบว่า ปี 2541 ประเทศไทยส่งผลิตภัณฑ์กุ้งไปจำหน่ายยังต่างประเทศคิดเป็นมูลค่าถึง 95.815 ล้านบาท (บางเขน1074, 2542) และตลาดยังมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วมีการบริโภคภายในประเทศและส่วนใหญ่มักส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ กุ้งที่มีบทบาทที่สำคัญคือกุ้งกุลาดำ เนื่องจากเป็นที่นิยมในการเพาะเลี้ยงเพราะมีอัตราการเจริญเติบโตดี มีความแข็งแรง และทนทานมากให้ผลผลิตสูง นอกจากนี้ยังเป็นที่ต้องการของตลาดและมีราคาดี โดยตลาดส่งออกที่สำคัญ เช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา สิงคโปร์ แคนาดา ออสเตรเลีย ฝรั่งเศส เกาหลีใต้ การแปรรูปกุ้งเพื่อไปจำหน่ายยังต่างประเทศอาจอยู่ในรูปต่างๆโดยส่วนใหญ่เป็นกุ้งแช่เยือกแข็ง กุ้งกระป๋อง กุ้งแห้ง และกุ้งรมควัน ซึ่งมีความสำคัญรองลงมา (พิบูลย์ เรียมอนุกูลกิจ, 2541) อย่างไรก็ตามกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์กุ้งเหล่านี้ยังเป็นกระบวนการแปรรูปแบบดั้งเดิม แม้ว่าจะสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียได้ แต่อาจทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ และเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี และคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสในระหว่างการแปรรูปทั้งในด้านสี กลิ่นรส และลักษณะเนื้อสัมผัส (Fellows, 1990) จากข้อจำกัดของกระบวนการแปรรูปอาหารแบบดั้งเดิม จึงทำให้ผู้ผลิตอาหารจำเป็นต้องพัฒนาหาเทคโนโลยีการผลิตอาหารใหม่ๆ ที่เป็นกระบวนการผลิตแบบไม่ใช้ความร้อนหรือใช้ความร้อนระดับต่ำ (non thermal processing) และยังสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้ ดังนั้นการใช้ความดันสูง (High hydrostatic pressure) เป็นอีกเทคโนโลยีการผลิตอาหารที่ไม่ได้ใช้ความร้อนจึงสามารถลดการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการ กลิ่นรส สี และลดปริมาณการใช้สารเติมแต่งอาหาร (Vardag และ Knorr, 1995) โดยอาหารจะได้รับความดันสูงประมาณ 100 - 1,000 เมกกะปาสคาล (Megapascal, MPa) ใช้เวลาในการผลิตสั้นมาก คืออยู่ในช่วง 2–30 นาที (พันธ์จิต พัฒโนภาษ, 2541) สามารถนำมาใช้ในการแปรรูปอาหารได้ทั้งในสภาวะที่เป็นของแข็งและของเหลว อาหารที่มีการบรรจุในภาชนะบรรจุหรือไม่ก็ได้ อุณหภูมิในระหว่างการแปรรูปสามารถใช้ได้ทั้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส การอัดความ

ดันจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วทุกจุดของอาหารโดยจะไม่ขึ้นกับรูปร่าง ขนาดและองค์ประกอบของอาหาร ดังนั้นขนาด รูปร่าง และองค์ประกอบภาชนะบรรจุก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการใช้ความดันสูง (Farkas และ Hoover, 2000) ความดันสูงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรม เนื่องจากได้มีการพัฒนาปรับปรุงเครื่องจักรการผลิตให้มีอัตราการผลิตสูงขึ้น พบว่าต้นทุนในการผลิตเมื่อใช้สภาวะ 400 เมกกะปาสคาล ที่ 20 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที มีค่า 0.1–0.5 ยูโรต่อกิโลกรัมของอาหาร ซึ่งต่ำกว่าต้นทุนการผลิตแบบให้ความร้อน (Cheftel และ Culioli, 1997) ในบางประเทศเริ่มมีการทดลองนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในกระบวนการผลิตอาหารระดับเล็กๆ (small-scale) ได้แก่ ประเทศฝรั่งเศสใช้ในการผลิตน้ำส้ม ประเทศญี่ปุ่นใช้ในกระบวนการผลิตอาหารกลุ่มผลไม้ อาหารทะเล เช่น ปลาหมึก (Nagashima และคณะ, 1993) หอยนางรม กุ้ง เนื้อปู (Mermelstein, 2000) นอกจากนี้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้เนื้อปลาดิบจะสามารถลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และปรสิตในได้โดยจะต้องเก็บในสภาวะเย็นส่งผลให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยในการบริโภคปลาดิบได้มากขึ้น (Cheftel และ Culioli, 1997)

ความดันสูงจะมีผลต่อพฤติกรรมของระบบชีวภาพซึ่งจะเป็นไปตามกฎของ Le Chatelier's กล่าวคือ ความดันจะทำให้เกิดการเลื่อนสมดุลของปฏิกิริยา โดยความดันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรในเชิงลบ ($-\Delta V$) และสนับสนุนให้ปฏิกิริยาเลื่อนสมดุลไปข้างหน้าเมื่อมีการลดลงของปริมาตร และจะเกิดมากขึ้นเมื่อเพิ่มความดัน (Mozhaev และคณะ, 1994) ความดันสูงมีผลต่อโปรตีนโดยในเบื้องต้นจะสัมพันธ์กับการทำลายพันธะที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ที่อยู่ในโมเลกุลของโปรตีน ซึ่งพันธะเหล่านี้มีผลต่อความคงตัวของโครงสร้างโปรตีน ทุติยภูมิ ตติยภูมิ และจตุรภูมิ (Messens และคณะ, 1997) แต่ความดันสูงไม่มีผลต่อพันธะโควาเลนต์ในโครงสร้างของโปรตีนปฐมภูมิ ซึ่งแตกต่างจากความร้อนที่มีผลทั้งพันธะโควาเลนต์และพันธะที่ไม่ใช่พันธะโควาเลนต์ (Cheftel และ Culioli, 1997) ความดันสูงทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ (denaturation) เกิดการรวมกลุ่มกัน (aggregation) หรือเกิดเจล (gelation) (Messens และคณะ,1997) ซึ่งทำให้เกิดเจลลักษณะใหม่ ที่มีความโปร่งแสง มีความเลื่อมมัน มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้ดี มีความแน่นเนื้อ มีลักษณะนุ่มแต่มีความเหนียวและยืดหยุ่นมากกว่าเจลที่ได้จากการใช้ความร้อน (Cheftel และ Culioli, 1997) นอกจากนี้ยังสามารถยั้บยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายกล้ามเนื้อ (Nagashima และคณะ, 1993) และยังสามารถเร่งให้เนื้อนุ่มได้เร็วขึ้นในผลิตภัณฑ์แฮมดิบจากเนื้อหมู ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี (Cheftel และ Culioli, 1997)

Chung และคณะ (1994) ได้ศึกษาการใช้ความดันสูงในการผลิตเจลจากซูริมิปลา Pacific Whiting และ Alaska Pollack โดยนำโซลของปลาทั้ง 2 ชนิด มาให้ความดันและอุณหภูมิที่สภาวะต่างๆ กัน ความดันสูงทำให้เจลของปลา Pacific Whiting และ Alaska Pollack มีคุณภาพดีขึ้น โดยเจลที่ได้มีลักษณะโปร่งใสกว่าเจลที่เซทตัวด้วยความร้อน และค่าความเค้นจะแปรผันตรงกับความ

ดัน ส่วนค่าความเครียดจะแปรผกผันกับความดัน แต่อย่างไรก็ตามบางครั้งสภาวะการให้ความดันและอุณหภูมิมีผลทำให้กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสเพิ่มขึ้น เช่น การให้ความดัน 170 กิโลปาสคาล / 50 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เอนไซม์โปรติเอสทำงานได้ดี (Motsumoto และ Noguchi, 1992 อ้างโดย Chung และคณะ, 1994) ความดันในช่วง 100 และ 200 เมกกะปาสคาล ทำให้เกิดการแตกออกของเมมเบรนของไลโซโซม (lysosomal membrane) ทำให้ปลดปล่อยเอนไซม์ ส่งผลให้กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสเพิ่มขึ้น และเกิดการย่อยสลายโปรตีนไมโอไฟบริล ทำให้เจลอ่อนตัวที่อุณหภูมินั้น (Chung และคณะ, 1994)

ความดันสูงมีผลต่อลักษณะปรากฏของกล้ามเนื้อปลาโดยเมื่อรับความดันสูง สีของเนื้อปลาจะกลายเป็นสีขุ่นทึบแสง (opaque) โดยกล้ามเนื้อปลาคอด ได้รับความดันในระดับ 608 เมกกะปาสคาล เป็นเวลา 15 นาที ค่า L จะเพิ่มขึ้นและค่า L จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อให้ความดันเพิ่มขึ้น สำหรับกล้ามเนื้อปลาแมคเคอเรล (mackerel) ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน และค่า a จะลดลงอย่างเด่นชัดเมื่อให้ความดันเพิ่มขึ้นเป็น 608 เมกกะปาสคาล ส่วนค่า b จะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ (Ohshima และคณะ, 1993)

การนำเทคโนโลยีความดันสูงมาประยุกต์ใช้ในการผลิตอาหารอาจเป็นแนวทางที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่แตกต่างจากกระบวนการแปรรูปอาหารแบบดั้งเดิม แต่อย่างไรก็ตามยังมีการผลิตในระดับการค้าไม่มากนักเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใหม่และยังมีการศึกษาข้อมูลที่ไม่เพียงพอ (Cheftel และ Culioli, 1997) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกุ้งกุลาดำซึ่งเป็นสินค้าเศรษฐกิจ ดังนั้นประเทศไทยต้องมีการพัฒนาทางด้านการรักษาคุณภาพและการแปรรูปกุ้งเพื่อเพิ่มมูลค่าและมีผลผลิตรูปแบบใหม่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการศึกษาแนวทางการใช้ความดันสูงในผลิตภัณฑ์กุ้งกุลาดำยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงได้ทำการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความดันสูงและความร้อนต่อลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งกุลาดำเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำเทคโนโลยีนี้มาประยุกต์ใช้ในการผลิตระดับอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. กุ้งกุลาดำ (Black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius) ขนาด 60 ตัว/กิโลกรัม ซื้อมาจากแพกุ้งในจังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นกุ้งที่จับได้จากฟาร์มเลี้ยงกุ้งในภาคใต้ตอนล่าง และมีระยะเวลาตั้งแต่จับกุ้งจนถึงแพกุ้ง 12-24 ชั่วโมง โดยนำกุ้งที่ได้บรรจุในกล่องโฟมซึ่งวางกุ้งสลับกับน้ำแข็งในอัตราส่วนกุ้งคิบต่อน้ำแข็งคือ 1:2 ระหว่างขนส่งมายังห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง
2. สารตัวกลางให้ความดันได้แก่Caster oil ร้อยละ 20 ผสมกับเอธานอล ร้อยละ 80

3. เครื่องอัดความดันสูง (High pressure) ยี่ห้อ SFP รุ่น S–FL–850–9–W ประเทศอังกฤษ
4. เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ยี่ห้อ STABLE MICRO SYSTEM รุ่น TA–XT2I ประเทศอังกฤษ
5. เครื่องวัดค่าสี ยี่ห้อ HUNTER LAB รุ่น Color Flex ประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

นำกุ้งมาล้างน้ำให้สะอาด ปอกเปลือก และบรรจุในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนแล้วเก็บในกล่องโฟมโดยมีอัตราส่วนกุ้งต่อน้ำแข็งเท่ากับ 1:2 เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 0-4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งทำการทดลอง

2. การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบ

2.1 คุณภาพทางเคมีของกุ้งกุลาดำ โดยการวิเคราะห์ปริมาณรวมของด่างที่ระเหยได้และปริมาณไตรเมทิลอะมีน ด้วยวิธี Conway unit (Hasegawa, 1987)

2.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน 5 คน ประเมินด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และการดมกลิ่น โดยการให้คะแนน (0 - 4 คะแนน) (กฤษณา โสภณพงษ์, 2538)

3. ศึกษาผลของความร้อนหรือความดันสูงต่อลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งกุลาดำ

นำกุ้งกุลาดำจากข้อ 1 จำนวน 8 ตัว (110-120 กรัม) บรรจุในถุงไนลอนขนาด 4 X 16 เซนติเมตร ทำการปิดผนึกถุงแล้วแบ่งเป็น 2 ชุดการทดลอง ดังนี้

3.1 ศึกษาผลของการใช้ความดันสูงต่อลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งกุลาดำ

นำกุ้งมาให้ความดันที่ระดับต่าง ๆ คือ 200, 400, 600 และ 800 เมกกะปาสคาล นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ในสารตัวกลางให้ความดัน แล้วนำตัวอย่างมาเก็บรักษาในน้ำแข็งจนกระทั่งนำไปตรวจสอบคุณสมบัติ ทำการตรวจสอบคุณสมบัติโดยเปรียบเทียบกับกุ้งสดดังนี้

3.1.1 ค่าแรงเฉือน (shear force) และค่าแรงกด (compression)โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส

3.1.2 ตรวจสอบลักษณะความขุ่นโดยการสังเกต และวัดค่าสีโดยใช้เครื่องวัดค่าสีระบบ CIE Lab (L*, a*, b*)

3.1.3 กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส ตามวิธีของ An และคณะ (1994)

3.1.4 การสูญเสียน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ โดยการชั่งน้ำหนักภายหลังการแปรรูปเทียบกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น

3.2 ศึกษาผลของการใช้ความร้อนต่อลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งกุลาดำ

นำกุ้งที่บรรจุถุงไนลอนและปิดผนึกถุงแล้วมาให้ความร้อนโดยการต้มในน้ำเดือด นาน 2 นาที ทำให้เย็นทันทีแล้วนำตัวอย่างมาเก็บรักษาในน้ำแข็งจนกระทั่งนำไปตรวจสอบคุณสมบัติเช่นเดียวกับข้อ 3.1

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิจัยในข้อ 2 ทำการทดลอง 9 ซ้ำ และส่วนข้อ 3 ทำการทดลอง 3 ซ้ำในแต่ละชุดการทดลอง วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองด้วย DMRT (Duncan's multiple range test) (จิราพร ชมพิกุล, 2532) โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window Version 10.0

ผลการทดลองและวิจารณ์

คุณภาพกุ้งกุลาดำ

การตรวจสอบคุณภาพทางเคมีของเนื้อกุ้งกุลาดำ โดยการวิเคราะห์ปริมาณด่างที่ระเหยได้ (TVB-N) และไตรเมทธิลอะมีน (TMA-N) พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.95 และ 2.45 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 Stansby (1963, อ้างโดย Lannelongue และคณะ, 1982) ได้จัดแบ่งคุณภาพปลาจากปริมาณ TVB-N ดังนี้ คือ ปลาสดมีปริมาณ TVB-N น้อยกว่า 12 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ปลาที่ยังมีคุณภาพดีจนถึงปลาที่เสื่อมเสียเล็กน้อยมีปริมาณอยู่ในช่วง 12 ถึง 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง ส่วนปลาที่เสื่อมเสียจนไม่สามารถบริโภคได้มีปริมาณมากกว่า 25 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง นอกจากนี้ปริมาณ TMA-N สามารถใช้ในการบ่งชี้คุณภาพของสัตว์น้ำได้เช่นกัน โดย สัตว์น้ำที่มีคุณภาพดีมากมีปริมาณ TMA-N อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง สัตว์น้ำที่สามารถนำออกจำหน่ายในตลาดได้มีปริมาณ TMA-N อยู่ในช่วง 1 ถึง 5 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง และสัตว์น้ำที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ มีปริมาณ TMA-N มากกว่า 5 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อ 100 กรัมตัวอย่าง (Hebard และคณะ,1982 อ้างโดย สุทธวัฒน์ เบญจกุล, 2544) ดังนั้นกุ้งกุลาดำที่ใช้ในการทดลองยังคงมีคุณภาพดีถึงเสื่อมเสียเล็กน้อย

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของกุ้งกุลาดำ โดยใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 5 คน ทำการทดสอบคุณภาพในด้านกลิ่น พบว่ามีคะแนนเฉลี่ย 4 คะแนน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากุ้งกุลาดำมีกลิ่นคล้ายสาหร่ายหรือหญ้า (grassy-seaweed odor) ในด้านลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่ามีคะแนนเฉลี่ย 3 คะแนน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากุ้งกุลาดำมีลักษณะเนื้อสัมผัสนิ่มเล็กน้อย (slight soft texture)

และในด้านสี พบว่ามีคะแนนเฉลี่ย 4 คะแนน ซึ่งแสดงว่ากุ้งกุลาดำมีสีสดใสสม่ำเสมอตามพันธุ์ของกุ้งกุลาดำ (uniform color) ดังนั้นกุ้งกุลาดำที่ใช้เป็นวัตถุดิบยังคงมีคุณภาพดี

ตารางที่ 1 คุณภาพของเนื้อกุ้งกุลาดำสด

Qualities	Content / score
TVB-N (mg nitrogen / 100 g sample)	19.95 ± 2.46
TMA-N (mg nitrogen / 100 g sample)	2.45 ± 0.41
Sensory scores of black tiger shrimp	
- color	4
- texture	3
- odor	4

หมายเหตุ : ค่าในตารางคือค่าที่ได้มาจากค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลจำนวน 9 ซ้ำ

ผลของความดันหรือความร้อนต่อลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งกุลาดำ

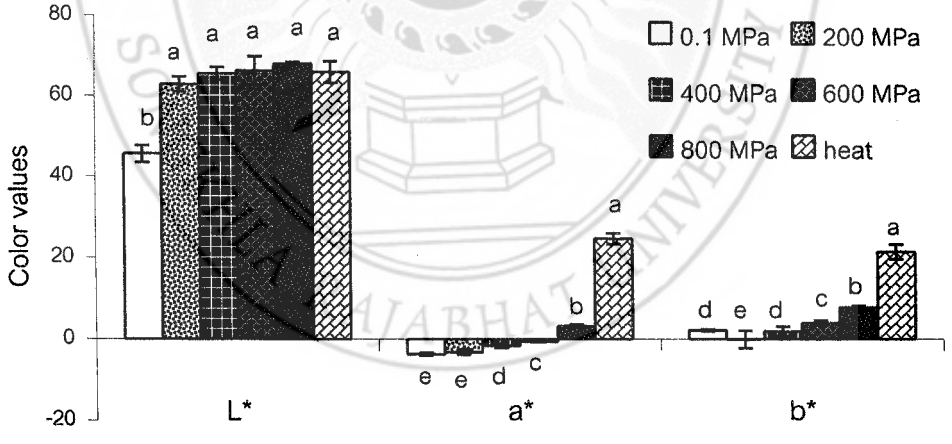
ความขุ่น

โดยทั่วไปเนื้อกุ้งกุลาดำสดมีลักษณะเงา สีใส มีเนื้อสัมผัสนิ่มเล็กน้อย แต่ภายหลังจากกล้ามเนื้อกุ้งกุลาดำได้รับความดันที่ระดับ 200 เมกกะปาสคาล เนื้อกุ้งจะมีลักษณะขุ่นทึบแสง (opaque) เล็กน้อย เมื่อให้ความดันเพิ่มขึ้นกุ้งจะมีลักษณะขุ่นทึบแสงเพิ่มขึ้น โดยเนื้อกุ้งจะมีลักษณะขุ่นคล้ายคลึงกับสีของเนื้อกุ้งที่ผ่านการให้ความร้อน

สี

กุ้งกุลาดำสดจะมีสีเทาดำสดใสและสม่ำเสมอ เนื้อกุ้งมีลักษณะเงา สีใส มีเนื้อสัมผัสนิ่มเล็กน้อย เม็ดสีที่มีผลต่อสีของกุ้งส่วนใหญ่พบอยู่บริเวณผิวใต้เปลือก กลุ่มเม็ดสีที่มีบทบาทสำคัญคือกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งได้แก่ แอสตาแซนธิน (astaxanthin) (Okada และคณะ, 1994) นอกจากนี้ยังพบแคโรทีโนโปรตีน (carotenoprotein) ทั้งสีน้ำเงินและสีแดงในเนื้อกุ้ง ดังนั้นสีที่ปรากฏในกุ้งกุลาดำจึงอาจเกิดจากผลรวมระหว่างสีของแอสตาแซนธินเอสเทอร์และสีของแคโรทีโนโปรตีน (Okada และคณะ, 1995) จากภาพที่ 1 พบว่าค่าความสว่าง (ค่า L*) ของกุ้งที่ผ่านการให้ความดันทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของการให้ความดัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ohshima และคณะ (1993) โดยพบว่าเมื่อกล้ามเนื้อปลาคอดได้รับความดันในระดับ 608 เมกกะปาสคาล นาน 15 นาที ค่าความสว่าง (ค่า L) เพิ่มขึ้น และจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อให้ความดันเพิ่มขึ้น และในปลาแมคเคอเรล ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน โดยค่า L จะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันเพิ่มขึ้น

Ashie และ Simpson (1996) พบว่า ความดันทำให้เนื้อปลา bluefish มีค่าความสว่างเพิ่มขึ้นและมีลักษณะคล้ายเนื้อปลาที่ผ่านการต้ม เมื่อให้ความดันเพิ่มขึ้นค่าความสว่างก็จะเพิ่มขึ้น ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่า L* ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดันที่ระดับ 400 600 และ 800 เมกกะปาสคาล ($P \geq 0.05$) ค่าสีแดง-สีเขียว (ค่า a*) และค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน (ค่า b*) ของกุ้งกุลาดำที่ผ่านการให้ความดันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของการให้ความดัน โดยสีของกุ้งจะเปลี่ยนจากสีเทาน้ำเงินเป็นสีแดงหรือสีส้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของการให้ความดัน เนื่องจากรงควัตถุที่สำคัญในกุ้งคือ แอสตาแซนธิน ซึ่งเป็นรงควัตถุกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่มีสีแดงเมื่อจับรวมตัวกับโปรตีนเกิดเป็นโครงสร้างเชิงซ้อนจะมีสีน้ำเงิน การเสียสภาพของโครงสร้างเชิงซ้อนของแอสตาแซนธินกับโปรตีนอันเนื่องมาจากความร้อน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง spectroscopic และคุณสมบัติการมองเห็นสีของรงควัตถุ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงินเป็นสีแดง (Von Elbe และ Schwartz, 1996) จะเห็นได้ว่าความดันทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีเช่นเดียวกับผลของความร้อน โดยที่ความดันที่ระดับต่ำ (200 เมกกะปาสคาล) ทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนบางส่วน ขณะที่ความดันตั้งแต่ 400 เมกกะปาสคาล ทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีนมากขึ้น จึงทำให้สีของกุ้งกุลาดำที่ผ่านการให้ความดันมีสีแดงเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของการให้ความดัน แต่อย่างไรก็ตาม ค่า a* และค่า b* ของตัวอย่างที่ให้ความดันมีค่าต่ำกว่าตัวอย่างที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที เนื่องจากกุ้งที่ผ่านการให้ความร้อนเกิดการเสียสภาพอันเนื่องมาจากอุณหภูมิสูงกว่าตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดัน

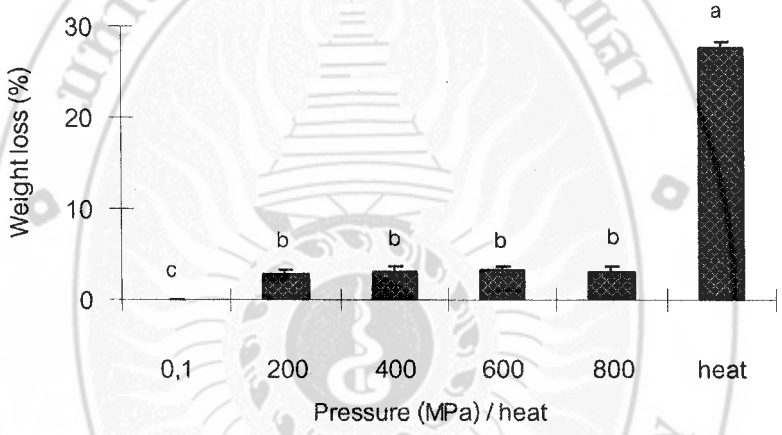


ภาพที่ 1 ผลของความดันสูง (200-800 เมกกะปาสคาล นาน 20 นาที) และความร้อน (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที) ต่อค่าสี (L*, a* และ b*) ของเนื้อกุ้งกุลาดำ

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในการวัดค่าสีเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq .05$)

ค่าการสูญเสียน้ำหนัก

ค่าการสูญเสียน้ำหนักของกุ้งกุลาดำในทุกชุดการทดลองที่ผ่านการให้ความดันพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($P \geq 0.05$) แสดงดังภาพที่ 2 ส่วนในชุดการทดลองที่ผ่านการให้ความร้อน พบว่ามีค่าการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าชุดการทดลองที่ผ่านการให้ความดัน ($P<0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการจับกับน้ำ (water binding capacity) ของโปรตีนจะลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการลดลงของพันธะไฮโดรเจนและลดการจับกับน้ำของหมู่ที่มีประจุ (Damodaran, 1996) นอกจากนี้พันธะไฮโดรเจนจะมีความคงตัวต่อความดันสูง และอาจถูกสร้างขึ้นได้ภายใต้สภาวะความดันเมื่อมีการลดลงของปริมาตรเพียงเล็กน้อย (Messens และคณะ, 1997) จึงทำให้กุ้งกุลาดำในชุดการทดลองที่ผ่านการให้ความดัน สามารถเก็บกักน้ำอยู่ในโครงสร้างของโปรตีนได้มากกว่ากุ้งกุลาดำในชุดการทดลองที่ผ่านการให้ความร้อน

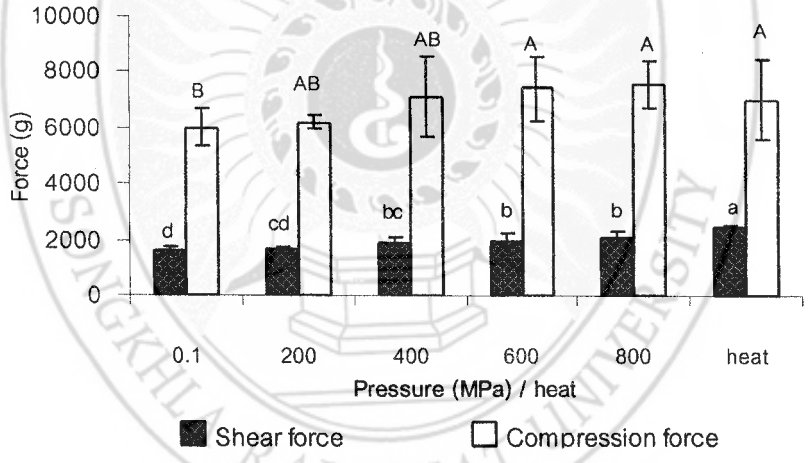


ภาพที่ 2 ผลของความดันสูง (200-800 เมกกะปาสคาล นาน 20 นาที) และความร้อน (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที) ต่อค่าการสูญเสียน้ำหนักของเนื้อกุ้งกุลาดำ
ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ค่าแรงเฉือนและค่าแรงกด

การให้ความดันแก่กุ้งกุลาดำทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งมีลักษณะที่แข็งเพิ่มขึ้น โดยความดันทำให้ตัวอย่างมีค่าแรงกดและแรงเฉือนสูงกว่าตัวอย่างกุ้งสด (ชุดควบคุม) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับการให้ความดับ 600 และ 800 เมกกะปาสคาลจะมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แสดงดังภาพที่ 3 นอกจากนี้ค่าแรงกดและแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของการให้ความดัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Yoshioka และ Yamamoto (1998) พบว่าการให้ความดันแก่ปลาคาฟ (carp) ที่ระดับสูงกว่า 500 เมกกะปาสคาล ค่าความแข็งจะเพิ่มสูงขึ้นและจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของการให้ความดัน ส่วนตัวอย่างกุ้งที่ผ่านการให้ความร้อนมีค่าแรงกดที่ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ให้ความดัน ($P \geq 0.05$) แต่มีค่าแรงเฉือนสูงกว่าตัวอย่างในชุดการทดลองที่ให้ความดันและ

ชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความร้อนทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงกระทำระหว่างโปรตีน (Deng, 1981) นอกจากนี้อาจจะเนื่องจากคุณลักษณะเนื้อสัมผัสสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่มีในตัวอย่าง (Angsupanich และ Ledward, 1998) การให้ความร้อนทำให้ความสามารถในการจับกับน้ำ (water binding capacity) ของโปรตีนจะลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการลดลงของพันธะไฮโดรเจนและลดการจับกับน้ำของหมู่ที่มีประจุ (Damodaran, 1996) เกิดการสูญเสียน้ำออกจากโครงสร้างของโปรตีนมาก (ดังภาพที่ 2) และมีปริมาณน้ำที่หลงเหลือในตัวอย่างในปริมาณน้อยจึงทำให้ตัวอย่างที่ให้ความร้อนมีลักษณะที่แห้งและแข็งกว่าตัวอย่างที่ผ่านการให้ความดัน นอกจากนี้การให้ความดันส่งผลต่อโครงสร้างของโปรตีนแตกต่างจากการให้ความร้อน โดยความร้อนสามารถทำลายพันธะที่ไม่แข็งแรงที่อยู่ภายในโครงสร้างของโปรตีนปฐมภูมิ ทุติยภูมิ ตติยภูมิ และจตุรภูมิ ซึ่งได้แก่พันธะไฮโดรเจน ในขณะที่การให้ความดันจะมีผลต่อพันธะไฮโดรโฟบิกและแรงกระทำระหว่างประจุแต่ความดันไม่มีผลต่อพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นกลไกในการคลายเกลียวและการรวมตัวกันของโปรตีนจึงมีความแตกต่างกันระหว่างตัวอย่างที่ให้ความร้อนและตัวอย่างที่ให้ความดัน ซึ่งส่งผลให้คุณลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างมีความแตกต่างกัน (Angsupanich และ Ledward, 1998)

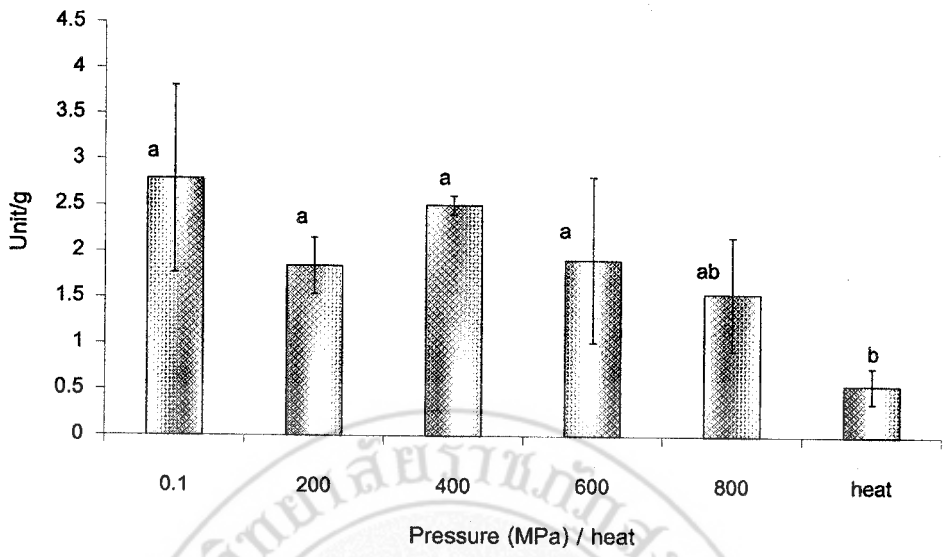


ภาพที่ 3 ผลของความดันสูง (200-800 เมกกะปาสคาล นาน 20 นาที) และความร้อน (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที) ต่อค่าแรงเฉือนและแรงกดของเนื้อกุ้งกุลาดำ

ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่และพิมพ์เล็กที่เหมือนกันในการวัดค่าเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P\geq0.05$)

กิจกรรมการย่อยสลายตัวเอง

ผลของความดันและความร้อนต่อกิจกรรมการย่อยสลายตัวเองของกุ้งกุลาดำแสดงดังภาพที่ 4 เมื่อทำการวัดกิจกรรมรวมของเอนไซม์โปรติเอสในกล้ามเนื้อกุ้งกุลาดำที่สภาวะที่เอนไซม์มีกิจกรรมสูงสุด ซึ่งได้แก่ ที่สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความเป็นกรดด่าง 8.0 พบว่าความดันมีผลเพียงเล็กน้อยต่อกิจกรรมของเอนไซม์ ($P \geq 0.05$) ส่วนตัวอย่างที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสลดลง ($P<0.05$) การให้ความดันที่ระดับ 200 เมกกะปาสคาล มีแนวโน้มทำให้กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความดันทำให้เกิดการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสที่มีอยู่ในกล้ามเนื้อก่อนเกิดการแตกออกของไลโซโซม (Homma และคณะ, 1994) หลังจากนั้นกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการให้ความดันจนถึง 400 เมกกะปาสคาลซึ่งอาจเกิดจากความดันที่ระดับนี้ทำลายเยื่อหุ้มของไลโซโซม (lysosomal membrane) ซึ่งส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยเอนไซม์ ทำให้กิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสเพิ่มขึ้น Ohmori และคณะ (1991) พบว่าความดันที่ระดับสูงกว่า 200 เมกกะปาสคาลส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยเอนไซม์จากไลโซโซมในกล้ามเนื้อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม จึงทำให้เกิดการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส แต่อย่างไรก็ตามกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสในกุ้งกุลาดำที่ให้ความดันมากกว่า 400 เมกกะปาสคาลจะลดลงเมื่อเพิ่มระดับของการให้ความดัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ระดับความดัน 800 เมกกะปาสคาลมีกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสที่ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ให้ความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Ohmori และคณะ (1991) ซึ่งพบว่ากิจกรรมของเอนไซม์ neutral protease จากเนื้อวัวจะลดลงเมื่อให้ความดันสูงกว่า 400 เมกกะปาสคาล อย่างไรก็ตาม Simpson (1998) รายงานว่า การกลับมามีกิจกรรมอีกครั้งของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับระดับของการให้ความดัน ซึ่งได้แก่ความดันที่ระดับ 100-400 เมกกะปาสคาล และยังขึ้นอยู่กับชนิดของเอนไซม์โปรติเอส Ashie และ Lanier (2000) รายงานว่า ความดันมีผลในหลายๆ ขั้นตอนของการเร่งปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจับกันของเอนไซม์และซับสเตรท หรือการจับกับลิแกนด์ การเปลี่ยนแปลงอันตรกิริยา การเปลี่ยนแปลงสภาวะกระตุ้น การรวมตัวหรือการแยกตัวของโปรตีนหน่วยย่อย การเสียสภาพ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในการจับกับซับสเตรท กระบวนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่เกี่ยวข้องกับการจับของลิแกนด์ อาจส่งเสริมให้เกิดขึ้นหรือเกิดการยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้ด้วยความดัน ส่วนในชุดการทดลองที่ผ่านการให้ความร้อนพบว่าความร้อนสามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ได้เกือบสมบูรณ์ ทั้งนี้เกิดจากความร้อนทำให้เกิดการเสียสภาพของโปรตีน ส่งผลให้สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ (Damodaran, 1996)



ภาพที่ 4 ผลของความดันสูง (200-800 เมกกะปาสคาล นาน 20 นาที) และความร้อน (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที) ต่อกิจกรรมการย่อยสลายตัวเองของเนื้อกุ้งกุลาดำที่สภาวะอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่าง 8.0

หมายเหตุ ตัวอักษรที่เหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

บทสรุป

การศึกษาผลของความดันหรือความร้อนต่อลักษณะปรากฏและลักษณะเนื้อสัมผัสของกุ้งกุลาดำพบว่า กุ้งกุลาดำที่ผ่านการให้ความดันจะมีลักษณะขุ่นทึบแสง และจะมีลักษณะคล้ายกุ้งที่ให้ความร้อนมากขึ้นเมื่อให้ความดันเพิ่มขึ้น การให้ความดันทำให้เกิดการลดลงของค่าการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่างและทำให้ตัวอย่างมีลักษณะแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของการให้ความดัน นอกจากนี้ความดันที่ระดับ 800 เมกกะปาสคาลสามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสได้ไม่แตกต่างจากตัวอย่างที่ให้ความร้อน ขณะที่ความร้อนส่งเสริมให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักสูงที่สุด

คำนิยม

ขอขอบคุณคณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัย ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ทุนอุดหนุนในการค้นคว้าวิจัย ขอขอบพระคุณแพเฮงรุ่งแสง ที่อำนวยความสะดวกในการจัดซื้อกุ้งกุลาดำ

เอกสารอ้างอิง

กฤษณา โสภณพงษ์. 2538. การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกุ้งแช่เยือกแข็ง. วารสารการประมง. 48(6): 495-509.

จิราพร ชมพิกุล. 2532. สถิติเพื่อการวางแผนการทดลอง. ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

บางเขน1074. 2542. กุ้งกุลาดำส่งออก. ผู้ส่งออก. 13: 28 – 34.

พันธ์จิต พัฒโนภาษ. 2541. เทคโนโลยีอาหารแห่งอนาคต high pressure processing. วารสารสถาบันอาหาร. 1: 42.

พิบูลย์ เจียมอนุกูลกิจ. 2541. โอกาสส่งออกกุ้งกุลาดำของไทย. ข่าวเศรษฐกิจการเกษตร. 44: 5-9.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2544. เคมีและคุณภาพสัตว์น้ำ. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

An, H., Seymour, T.A., Wu, J., and Morrissey, M.T. 1994. Assay system and characterization of Pacific whiting (*Merluccius productus*) protease. J. Food Sci. 59: 277-281.

Angsupanich, K., and Ledward, D.A. 1998. High pressure treatment affects on cod (*Gadus morhua*) muscle. Food Chem. 63: 39-50.

Ashie, I.N.A., and Lanier, C. 2000. Influence of high – pressure processing on enzyme in fish. *In* Seafood Enzyme: Utillization and Influence on Postharvest Seafood Quality. (Haard, N. F., and Simpson, B.K., eds.). p. 549-570. Marcel Dekker, Inc, New York.

Ashie, I.N.A., and Simpson, B.K. 1996. Application of high hydrostatic pressure to control enzyme related fresh seafood texture deterioration. Food Res. Int. 29 (5-6): 569-575.

Cheftel, J.C., and Culioli, J. 1997. Effect of high pressure on meat : a review. Meat Sci. 46: 211-236.

Chung, Y.C., Gebrehiwot, A., Farkas, D.F., and Morrissey, M.T. 1994. Gelation of surimi by high hydrostatic pressure. J. Food Sci. 59: 523-524.

Damodaran, S.1996. Amino acids, peptides, and proteins. *In* Food Chemistry. (Fennema, O.R. ed.). p. 943-1012. Marcel Dekker, Inc, New York.

Deng, J.C. 1981. Effect of temperatures on fish alkaline protease, protein interaction and texture quality. J. Food Sci. 46: 62-65.

Farkas, D.C., and Hoover, D.G. 2000. High pressure processing. J. Food Sci – supplement : Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies. 47-64.

Fellows, P. 1990. Food Processing Technology Principles and Practice. Ellis Horwood, London. 238.

Hasegawa, H. 1987. Laboratory manual on analytical methods and procedures for fish and fish product. Marine Fisheries Research Department. SEAFDEC. Singapore.

Homma, N., Ikeuchi, Y., and Suzuki, A. 1994. Effect of high pressure treatment on the proteolytic enzymes in meat. Meat Sci. 38: 219-228.

Lannelongue, M., Finne, G., Hanna, M.O., Nickelson II, R., and Vanderzant, C. 1982. Microbiological and chemical changes during storage of swordfish (*Xiphias gladius*) steaks in retail packages containing CO_2 – enriched atmospheres. J. Food Protect. 45: 1197-1203.

Mermelstein N.H. 2000. Seafood processing. Food Technol. 54(2): 66-73.

Messens, W., Camp, J.V., and Huyghebaert, A. 1997. The use of high pressure to modify the fuctionality of food protein : a review. Trends Food Sci. Technol. 8: 107-112.

Mozhaev, V.V., Heremans, K., Frank, J., Masson, P., and Claude, B. 1994. Exploting the effects of high hydrostatic pressure in biotechnological applications. TIBTECH. Dec. 12: 493-501.

Nagashima, Y., Ebina, H., Tanaka, M., and Taguchi, T. 1993. Effect of high hydrostatic pressure on the thermal gelation of squid mantle meat. Food Res. Int. 26: 119–123.

Ohmori, T., Shigehisa, T., Taji, S., and Hayashi, R. 1991. Effect of high pressure on the protease activities in meat. Agric. Biol. Chem. 55: 357-361.

Ohshima, T., Ushio, H., Koizumi, C. 1993. High-pressure processing of fish and fish products. Trends Food Sci. Technol. 4: 370-375.

Okada, S., Nur-E-Borhan, S.A., and Yamaguchi, K. 1994. Carotenoid composition in the exoskeleton of commercial black tiger prawns. Fish. Sci. 60: 213-215.

Okada, S., Nur-E-Borhan, S.A., and Yamaguchi, K. 1995. Changes in body color appearance of black tiger prawn (*Penaeus monodon*) by the varied composition of carotenoids soluble as carotenoprotein and remaining insoluble after collagenase treatment for the muscular epithelium. Fish Sci. 61: 964-967.

Simpson, B.K. 1998. High pressure processing of fresh seafood. *In* Process-Induced Chemical Changes in Food. (Shahidi, F., Ho, C., and Chuyen, N.V., eds). p. 67-80. Plenum Press, New York.

Vardag, T., and Knorr, P. 1995. High pressure a real alternative in food processing. Food Market. Technol. 2: 42-47.

Von Elbe, J.H., and Schwartz, S.J. 1996. Colorants. *In* Food Chemistry. (Fennema, O.R. ed.). p. 943-1012. Marcel Dekker, Inc, New York.

Yoshioka, K., and Yamamoto, T. 1998. Changes of ultrastructure and physical properties of carp muscle by high pressurization. Fish Sci. 64: 89-94.

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY