บทคัดย่อ

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อปลาโอและปลาดุก พบว่า กล้ามเนื้อปลาโอและกล้ามเนื้อปลาดุกมีคุณลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ที่แตกต่างกัน และองค์ประกอบเหล่านี้ในปลาชนิดเดียวกันจะมีความผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อปลาโอทั้งในส่วนเนื้อดำและเนื้อขาวมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบสูงกว่ากล้ามเนื้อปลาดุก ($p<0.05$) และในทางตรงกันข้าม กล้ามเนื้อปลาดุกโดยเฉพาะอย่างยิ่งกล้ามเนื้อขาวมีไขมันเป็นองค์ประกอบสูงกว่ากล้ามเนื้อปลาโอ ($p<0.05$) จากการแยกส่วนโปรตีนกล้ามเนื้อ พบว่า โปรตีนไมโอไฟบริลเป็นโปรตีนหลักที่พบในกล้ามเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิด และปริมาณโปรตีนไมโอไฟบริลพบได้มากกว่าในกล้ามเนื้อปลาโอเมื่อเปรียบเทียบกับปลาดุกทั้งในส่วนของกล้ามเนื้อดำและกล้ามเนื้อขาว ($p<0.05$) ไมโอซินเส้นหนัก และ แอกติน เป็นโปรตีนหลักที่พบในกล้ามเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิด กล้ามเนื้อดำของปลาโอมีปริมาณโปรตีนซาร์โคพลาสมิคโดยเฉพาะอย่างยิ่งไมโอโกลบินสูงที่สุด ($p<0.05$) ปลาดุกทั้งในส่วนของกล้ามเนื้อดำและกล้ามเนื้อขาวมีปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่าปลาโอ กล้ามเนื้อขาวของปลาโอมีปริมาณฟอสโฟลิปิดสูงสุด กล้ามเนื้อปลาโอทั้งในส่วนกล้ามเนื้อดำและกล้ามเนื้อขาวมีเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงกว่ากล้ามเนื้อปลาดุก ($p<0.05$) กล้ามเนื้อดำของปลาโอมีแร่ธาตุซึ่งได้แก่ เหล็ก ทองแดง และเซเลเนียมเป็นองค์ประกอบมากที่สุด ($p<0.05$) กล้ามเนื้อขาวของปลาทั้ง 2 ชนิด มีค่าพีเอชสูงกว่ากล้ามเนื้อดำ ($p<0.05$) ปลาโอโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของกล้ามเนื้อดำ สีแดงคล้ำสูงสุด โดยมีความสว่าง (L*) และความเป็นสีเหลือง (b*) ต่ำสุด มีความเป็นสีแดง (a*) และดัชนีสีแดง (a*/b*) สูงสุด ($p<0.05$) ไขมันจากกล้ามเนื้อดำของปลาทั้ง 2 ชนิด มีความว่องไวต่อการเกิดออกซิเดชันได้เร็วกว่ากล้ามเนื้อขาวเนื่องจากมีค่า induction time เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rancimat ต่ำสุด

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไขมัน ไมโอโกลบิน สี และกลิ่น ในกล้ามเนื้อดำ (dark muscle) กล้ามเนื้อขาว (ordinary muscle) และกล้ามเนื้อรวม (whole muscle) ของปลาโอและปลาดุก ระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็นที่ 4°C เป็นเวลา 15 วัน พบว่าค่าพีเอชของกล้ามเนื้อปลาทั้งหมดเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ส่วนค่า TVB พบว่ากล้ามเนื้อปลาทุกชนิดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดอายุการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันอิสระเกิดขึ้นอย่างเด่นชัดในกล้ามเนื้อปลาโอทั้งในส่วนกล้ามเนื้อดำ กล้ามเนื้อขาวและกล้ามเนื้อรวม อัตราการเกิดและอัตราการสลายตัวของ conjugated diene มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของปลาและชนิดของกล้ามเนื้อ กล้ามเนื้อดำของปลาทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มให้ค่า peroxide value (PV) สูงสุดตลอดอายุการเก็บรักษา ส่วนค่า thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) TBARS พบว่ากล้ามเนื้อปลาโอทุกชนิดมีค่าสูงกว่ากล้ามเนื้อปลาดุกตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าไขมันในกล้ามเนื้อปลาโอมีความว่องไวและมีอัตราการเกิดออกซิเดชันสูงกว่าไขมันในกล้ามเนื้อปลาดุก ปริมาณ heme iron มีแนวโน้มลดลงในกล้ามเนื้อปลาโอ และมีแนวโน้มคงที่ในกล้ามเนื้อปลาดุก ส่วนปริมาณ non-heme iron พบว่า กล้ามเนื้อปลาโอโดยเฉพาะอย่างยิ่งกล้ามเนื้อ

ดำมีค่าสูงกว่าตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษา และพบการเปลี่ยนแปลงปริมาณ non-heme iron เพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษาในกล้ามเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิด การเปลี่ยนแปลงปริมาณ oxymyoglobin และ metmyoglobin ของกล้ามเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่า oxymyoglobin เกิดการออกซิเดชันไปเป็น metmyoglobin และเกิดการออกซิเดชันต่อเนื่องไปเป็นอนุพันธ์อื่น ๆ กล้ามเนื้อปลาดุกมีแนวโน้มของดัชนีสีแดงเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงดัชนีสีแดงจะเกิดขึ้นอย่างเด่นชัดในกล้ามเนื้อปลาโอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกล้ามเนื้อดำ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ protein carbonyl ในกล้ามเนื้อปลาทั้ง 2 ชนิด พบว่าอัตราการเกิดออกซิเดชันของโปรตีนมีความผันแปรขึ้นอยู่กับชนิดของปลาและชนิดของกล้ามเนื้อ

จากการศึกษาผลของ ferrous myoglobin ต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันของปลาโอและปลาดุกในระบบจำลอง lecithin - liposome โดยการวิเคราะห์ค่า conjugated diene และ TBARS ในระหว่างการบ่มเป็นเวลา 180 นาที พบว่า ferrous myoglobin ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 mM จะมีผลในการเร่งการออกซิเดชันของไขมันสูงสุดทั้งในปลาดุกและปลาโอ อัตราการออกซิเดชันของไขมันในปลาที่เร่งด้วย ferrous myoglobin นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของปลาและอุณหภูมิ โดยที่ 25 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มของการเร่งออกซิเดชันสูงที่สุด และพีเอชมีอิทธิพลต่ออัตราการออกซิเดชันของไขมันในปลาที่เร่งด้วย ferrous myoglobin ในปลาแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยถ้าพิจารณาเฉพาะค่า TBARS ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นทุติยภูมิที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงมาจาก conjugated diene นั้นสามารถสรุปได้ว่าการออกซิเดชันของไขมันในปลาโอและปลาดุกมีค่าสูงสุดที่พีเอช 7 จากการศึกษาผลของเกลือต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่เร่งด้วย ferrous myoglobin พบว่า ค่า conjugated diene มีค่าสูงที่สุดในปลาดุกในสภาวะที่มีเกลือร้อยละ 2.5 ส่วนค่า TBARS นั้นพบว่า ปลาโอมีค่า TBARS สูงกว่าปลาดุกในทุก ๆ ระดับความเข้มข้นของเกลือ นอกจากนี้ยังพบว่า การออกซิเดชันของไขมันในระบบที่มี ferrous myoglobin จะถูกเหนี่ยวนำด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเข้มข้นสูง ๆ เมื่อพิจารณาผลของ EDTA ต่อการเกิดออกซิเดชันของไขมันที่เร่งด้วย ferrous myoglobin พบว่าความสามารถในการยับยั้งการออกซิเดชันของไขมันของ EDTA ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ใช้ รวมทั้งชนิดของปลา

คำสำคัญ ไมโอโกลบิน ออกซิเดชัน ไขมัน กล้ามเนื้อ ปลาไขมันสูง การแช่เย็น

Abstract

Chemical compositions of catfish and Frigate mackerel muscles were characterized. Characteristics, chemical and physical compositions were different among species as well as muscle types. Frigate mackerel muscle contained a greater content of protein compared with catfish muscle ($p<0.05$). Catfish, particularly ordinary muscle composed of a higher lipid content than Frigate mackerel muscle ($p<0.05$). From muscle protein fractionation, myofibrillar proteins were major proteins found in both muscles. Frigate mackerel muscle, both dark and ordinary muscles, contained greater contents of myofibrillar proteins than catfish muscle ($p<0.05$). Myosin heavy chain and actin were predominant proteins found in myofibrillar protein fraction in both fish. Dark muscle from Frigate mackerel composed of the highest sarcoplasmic proteins, especially myoglobin ($p<0.05$). The highest carotenoid content was noticeable in both dark and ordinary muscles from catfish muscle. Ordinary muscle from Frigate mackerel had the highest phospholipid content. Both dark and ordinary muscles from Frigate mackerel contained a greater content of sodium chloride compared with those from catfish ($p<0.05$). The highest contents of iron, copper and selenium were found in Frigate mackerel dark muscle ($p<0.05$). The pH of ordinary muscle from both species was higher than dark muscle ($p<0.05$). Frigate mackerel, especilly dark muscle, exhibited the most dark-red color as shown by the lowest L* and b* values with the highest a* value and redness index (a*/b*) ($p<0.05$). Lipid from dark muscle of both species was more susceptible to oxidation than that from ordinary muscle as indicated by the lowest induction time analysed by Rancimant test.

Changes in lipid, myoglobin, color and odor in dark, ordinary and whole muscles from catfish and Frigate mackerel during refrigerated storage ($4^{\circ}C$) for 15 days were investigated. A negligible change in pH was found in both species during storage. Total volatile base (TVB) contents of all muscles tended to increase with increasing storage time. Changes in free fatty acid content occurred with the highest degree in all muscles from Frigate mackerel. Formation and decomposition rates of conjugated diene were different among fish species and muscle types. Dark muscle of both species tended to have the highest peroxide value (PV) throughout the storage period. Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) values of all types of Frigate mackerel muscles were higher than those of catfish muscles till the end of storage period indicating a higher degree of lipid oxidation in Frigate mackerel muscle. For the changes in heme iron content, a decrease was found in Frigate mackere and no marked

change was found in catfish muscle. Frigate mackerel, especially dark muscle, showed a higher content of non-heme iron throughout the storage time and a slight change in non-heme iron content was found in both species during storage. The changes in oxymyoglobin and metmyoglobin contents of muscles from both species tended to follow the same trend. Both myoglobin derivatives tended to decrease during storage indicating the oxidation of oxymyoglobin to form metmyoglobin and other derivatives. A slight change in redness index was found in catfish muscle but a marked change was observed in Frigate mackerel, especially dark muscle. For the protein carbonyl content, it was noted that the rate of protein oxidation in fish muscle depended on fish species and muscle type.

The prooxidative activities of ferrous myoglobin on catfish and Frigate mackerel lipid oxidations in lecithin-liposome model systems were investigated by monitoring the changes in conjugated diene and TBARS during incubation for 180 min. The results showed that ferrous myoglobin at a concentration of 0.1 mM exhibited the highest prooxidative activity towards catfish and Frigate mackerel lipids. It was also found that the prooxidative activity of ferrous myoglobin was species and temperature dependent. The highest degree of lipid oxidation was found at 25°C. The pH influenced the lipid oxidation induced by ferrous myoglobin with varying degrees depending on fish species. Considering the TBARS value, a secondary lipid oxidation product derived from conjugated diene, it was stated that lipid oxidation in catfish and Frigate mackerel was found to be the highest at pH 7. For the effect of sodium chloride on the lipid oxidation catalyzed by ferrous myoglobin, the highest conjugated diene was found in catfish the presence of 2.5 % and the TBARS value of Frigate mackerel was higher than catfish at all sodium chloride concentration. In addition, the prooxidative activity ot ferrous myoglobin was enhanced by the addition of hydrogen peroxide especially at high concentration. For the inhibitory activity of EDTA towards lipid oxidation in the presence of ferrous myoglobin, it was suggested that the ability to inhibit the lipid oxidation of EDTA was governed by EDTA concentration and fish species.

Keywords: myoglobin, oxidation, lipid, muscle, fatty fish, chilled storage