

어육의 배소에 의한 지질산화에 관한 연구
 IV. 백색육어의 배소 및 재가열에 의한 heme 화합물의 변화

조 호 성
 부경대학교 식품생명공학부

Lipid Oxidation in Roasted Fish Meat
 IV. Changes in Heme Compounds in Roasted and/or Reheated White Muscled Fishes

Ho-Sung CHO
 Division of Food Science and Biotechnology, Pukyong National University,
 Busan 608-737, Korea

To determine changes of heme compounds on lipid oxidation during repeat heating in white muscled fish (yellowfin sole and yellow croaker), myoglobin, metmyoglobin, total iron, nonheme iron and heme iron contents were analysed. Myoglobin content was decreased in the step of repeat heating. Especially, it was decreased the most rapidly roasted at 180°C for 20 min in fillet samples. The skinless fillet roasted at the lower temperature resulted in the higher level of metmyoglobin associated with the reduced myoglobin. Regardless of roasted temperature and time, total iron content was not change in contrast of raw meat throughout processing. Nonheme iron content was increased, but heme iron content was decreased during roasted, heated and reheated.

Key words: Heme compounds, White muscled fish, Lipid oxidation, Skinless fillet

서 론

수산물에 함유된 고도불포화지방산은 생체내에서 prostaglandin이나 leukotrien과 같은 생리활성 물질로 전환되어 혈전증이나 심근경색과 같은 성인병 예방 등 여러 가지 생리적 기능을 갖고 있다 (Sanders et al., 1981). 그러나 이들 지방산은 구조상 이중결합을 많이 함유하고 있어 쉽게 산화 및 변색되어 수산물의 가치를 저하시킬 뿐 아니라, 생성된 과산화 지질은 세포 손상 및 체내 대사기능에 장애를 일으키는 등 많은 문제점을 가지고 있다 (Deugnier et al., 1984; Gonzalez et al., 1991).

한편, 지금까지 수산물 열처리과정이나 식생활에서 일어나는 연속적인 배소, 가열 및 재가열시 발생하는 지질산화를 Lee et al. (1997a, b)은 적색육어와 백색육어를 대상으로 연구하였다. 그 결과 실험에 사용된 고등어와 꽁치의 경우, 배소에 의한 산화발생시 지질함량보다는 고도불포화지방산이 더 큰 영향을 받았으며 또한 어피 (魚皮)가 열을 차단하는 역할을 하여 초기 산화를 억제하는 효과가 있다고 하였다. 또한 백색육어의 경우도 지질함량은 1% 내외였지만, 불포화지방산의 비율이 높은 각시가자미가 조기에 비해 초기 산화의 진행속도가 빠르다고 하였다.

본 연구에서는 Lee et al. (1997a, b)의 연구를 바탕으로 배소에 의한 산화에 있어 heme 화합물의 변화를 살펴보기 위해, 전보 (Cho et al., 1998)에 이어 백색육어를 대상으로 조사하였다.

재료 및 방법

시료어

백색육어인 각시가자미 (*Limanda herzensteini*, 체중 110~130 g, 체장 20~25 cm)와 조기 (*Pseudosciana manchurica*, 체중 44~70 g, 체장 14~18 cm)를 부산공동어시장에서 구입하여 시료어로 사용하였다.

시료의 열처리

각시가자미와 조기의 머리와 내장을 제거하고 크기 5 cm, 두께 1 cm의 fillet으로 하되, 어피있는 것과 어피없는 것으로 구분하였다. 배소조건은 dry oven (Jeio Tech., FOG-2)에서 가열시 관능적으로 가장 기호성이 좋다고 판단된 220°C, 200°C 및 180°C에서 각각 10분 (육의 중심온도: 82°C), 15분 (육의 중심온도: 86°C), 20분간 가열 (육의 중심온도: 91°C)하였으며, 이때 육의 중심온도는 digital thermometer (Hanna Instru., HI 9063)로 측정하였다. 그리고 배소한 시료를 5°C 냉장고에서 1일 저장 후, 200°C에서 5분간 가열한 것을 가열시료로, 배소 및 가열한 시료를 5°C 냉장고에서 1일 저장 후, 200°C에서 5분간 재가열한 것을 재가열시료로 하였다.

Myoglobin 및 metmyoglobin의 측정

Myoglobin의 정량은 Rickansrud and Henrickson (1967)의 방법에 따라 heme 색소를 추출 및 분리하여 실험하였다. 즉, 시료육 25 g에 0.01 N 초산완충용액 (pH 4.5) 100 mL를 첨가하여 원심분리한 후 상층액은 여과하고, 잔사는 0.01 N 초산완충용액 (pH 4.5) 100 mL를 첨가하여 다시 원심분리하고, 여과한 여액을 모아 250

*Corresponding author: hscho1995@hanmail.net

mL로 하여 시료용액으로 하였다. 시료용액에서 50 mL를 취하고 여기에 0.5 M 인산완충용액 (pH 7.1)으로 pH를 7.0으로 조절한 후 원심분리하고 상층액을 여과하였다. 여액 일정량에 potassium ferricyanide와 potassium cyanide를 첨가하고 원심분리한 다음 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. Metmyoglobin의 정량은 Trout (1989)의 방법에 따라 육 10 g에 0.04 M 인산완충용액 (pH 6.8) 45 mL를 첨가하여, 5°C 냉장고에서 1시간 방치한 다음 원심분리하였다. 상층액을 여과한 다음 525 nm, 572 nm 및 700 nm에서 흡광도를 측정하였다.

총철, 비 heme 철 및 heme 철의 측정

총철의 함량은 AOAC법 (1990)에 따라 산분해법으로 전처리 용액을 만든 후, 원자흡광분광광도계 (Instrumentation Laboratory Inc. IL Video 12 aa/as)로 정량하였으며, 비 heme 철은 Schricker et al. (1982)의 방법에 따라 마쇄한 육 5 g에 6 N HCl과 40% TCA를 1:1로 섞은 혼합액 15 mL를 첨가하여 65°C에서 20시간 진탕한 후, 실온에서 냉각하였다. 이것을 여과한 후 여액 1 mL에 발색제 5 mL를 첨가하여 10분간 발색시킨 다음 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 또한 heme 철은 Schricker et al. (1982)의 방법에 따라 총철과 비 heme 철의 차이를 heme 철 값으로 하였다.

결과 및 고찰

Myoglobin의 변화

각시가자미와 조기의 배소, 가열 및 재가열에 의한 myoglobin의 변화를 Table 1에 나타내었다. Myoglobin 함량은 백색육어인 각시가자미의 경우 생시료에 약 1.7 mg/g (건물당 7.7 mg/g)의 myoglobin이 함유되어 있어, 적색육어인 고등어의 약 5.8 mg/g (건물당 16.4 mg/g)과 쫄치의 4.8 mg/g (건물당 13.0 mg/g)에 비해 낮았는데 (Cho et al., 1998), 이것은 적색육어와 백색육어의 원료학적 차이 때문이라 생각되었다. 그리고 myoglobin 함량은 배소과정에 의해 감소하는 추세였으며, 특히 고온에서 단시간 배소한 경우 (220°C, 10 min), 각시가자미와 조기는 각각 5.5 mg/g 및 2.3 mg/g 이었으나, 저온에서 장시간 배소의 경우 (180°C, 20 min) 2.3 mg/g 과 1.8 mg/g으로 온도가 낮고 배소시간이 길수록 myoglobin의 감소폭은 더 컸다. 또한 myoglobin 함량은 어피 잔존육보다는 어피

제거육이 낮았으며, 가열 및 재가열에 의해서도 지속적으로 감소하는 경향이였다. 이것은 배소에 의한 산화의 경우, 어피가 일종의 보호막 역할을 하여 myoglobin에서 metmyoglobin으로 전환되는 것을 차단하였기 때문이라 생각된다. 또한 조기의 경우도 각시가자미와 비슷한 경향이였으나, 적색육어에 비해 백색육어 자체에 myoglobin 함량이 상당히 적어 배소, 가열 및 재가열에 의한 myoglobin의 감소폭은 크지 않았다.

Metmyoglobin의 변화

Metmyoglobin은 어육에 갈색을 띄게 하며 (Giddings, 1974; Van Laack et al., 1990) 또한 지질산화에 의한 중간 생성물과 반응하여 여러 가지 유리기를 형성하여 산화를 촉진시키므로 산패의 원인 물질로 알려져 있다 (Wallace, 1982). 각시가자미와 조기의 배소, 가열 및 재가열에 의한 metmyoglobin 함량의 변화는 Table 2와 같다. Metmyoglobin 함량은 각시가자미의 경우, 고온에서 단시간 (220°C, 10분) 배소한 경우 원료어에 비해 약 14배 정도 증가하였으나, 저온에서 장시간 (180°C, 20분) 배소한 경우는 약 18배 정도 증가하였다. 그리고 어피 제거육이 어피 잔존육의 상태로 배소한 경우보다 배소온도나 시간에 관계없이 metmyoglobin 함량이 높았으나 적색육어의 경우보다는 생성량이 상당히 낮았다 (Cho et al., 1998). 또한 조기의 경우도 각시가자미와 유사한 경향이였으나, 배소온도나 시간에 따른 metmyoglobin의 생성량에는 큰 차이가 없었다. 한편 식육의 경우, 가열에 의해 발생하는 지질산화는 heme 색소인 metmyoglobin에 의해 주로 촉진된다고 알려져 왔으나 (Younathan and Watts, 1960; Hirano and Olcott, 1971), 이와는 반대로 비 heme 철 (Fe²⁺)이 주요 촉진제이며, metmyoglobin은 직접 관여하지 않는다는 보고도 있다 (Love and Pearson, 1974; Igene et al., 1979). 그러나 본 실험의 경우 어종에 따라 다소의 차이는 있으나 metmyoglobin이 배소, 가열 및 재가열에 의해 지속적으로 증가한 것으로 미루어 보아, 배소에 의해 myoglobin이 metmyoglobin으로 전환되어 산화가 촉진된다고 생각된다.

총철, 비 heme 철 및 heme 철의 변화

각시가자미와 조기의 배소에 의한 총철의 함량 변화는 Table 3과 같다. 각시가자미와 조기의 경우 생시료에는 건물당으로 약 5.0 mg/100 g 정도 함유되어 있었으며, 배소온도와 시간을 달리하여 처리

Table 1. Myoglobin contents (mg/g, dry basis) in the roasted, heated and reheated yellowfin sole and yellow croaker fillets

Samples	Raw	Roasted	Heated	Reheated
Yellowfin sole	7.7 ± 1.2	220°C, 10 min	5.5 ± 1.3 (5.4 ± 0.7)*	4.9 ± 0.6 (5.0 ± 0.9)*
	7.7 ± 1.2	200°C, 15 min	5.5 ± 0.5 (5.0 ± 0.8)*	4.7 ± 1.1 (4.4 ± 0.3)*
	7.7 ± 1.2	180°C, 20 min	4.9 ± 0.2 (4.5 ± 0.5)*	3.9 ± 0.5 (3.8 ± 0.9)*
Yellow croaker	2.7 ± 0.6	220°C, 10 min	2.3 ± 0.3 (2.3 ± 0.1)*	1.9 ± 0.5 (2.0 ± 0.6)*
	2.7 ± 0.6	200°C, 15 min	2.3 ± 0.7 (2.1 ± 0.4)*	1.8 ± 0.8 (1.9 ± 0.2)*
	2.7 ± 0.6	180°C, 20 min	1.8 ± 0.8 (1.9 ± 0.7)*	1.7 ± 0.1 (1.5 ± 0.5)*

Heated samples were prepared at 200°C for 5 min with roasted and stored samples at 5°C for 24 hrs.

Reheated samples were prepared at 200°C for 5 min with heated and stored samples at 5°C for 24 hrs.

*Data in parentheses indicated the skinless fillets.

Table 2. Metmyoglobin contents (mg/g, dry basis) in the roasted, heated and reheated yellowfin sole and yellow croaker fillets

Samples	Raw		Roasted		Heated		Reheated
Yellowfin sole	3.8 ± 0.8	220°C, 10 min	51.7 ± 1.7 (50.3 ± 1.2)*		66.1 ± 2.7 (68.4 ± 1.9)*		74.8 ± 2.0 (70.9 ± 1.1)*
	3.8 ± 0.8	200°C, 15 min	55.7 ± 2.0 (59.0 ± 2.2)*		63.7 ± 2.3 (69.8 ± 2.6)*		76.6 ± 1.6 (81.9 ± 2.3)*
	3.8 ± 0.8	180°C, 20 min	68.7 ± 1.4 (70.1 ± 2.5)*		76.9 ± 2.2 (74.2 ± 1.7)*		80.6 ± 0.9 (81.3 ± 1.4)*
Yellow croaker	1.3 ± 0.2	220°C, 10 min	54.2 ± 1.6 (54.7 ± 1.9)*		64.8 ± 2.2 (65.6 ± 1.8)*		68.7 ± 2.8 (71.5 ± 2.4)*
	1.3 ± 0.2	200°C, 15 min	53.7 ± 2.1 (55.3 ± 1.4)*		64.6 ± 2.3 (65.6 ± 2.6)*		76.0 ± 3.0 (76.6 ± 2.6)*
	1.3 ± 0.2	180°C, 20 min	63.8 ± 2.3 (64.2 ± 1.8)*		68.4 ± 2.0 (65.4 ± 1.9)*		75.6 ± 3.2 (76.3 ± 2.9)*

Heated and reheated conditions are the same as explained in Table 1.

*Data in parentheses indicated the skinless fillets.

Table 3. Total iron contents (mg/100 g, dry basis) in the roasted, heated and reheated yellowfin sole and yellow croaker fillets

Samples	Raw		Roasted		Heated		Reheated
Yellowfin sole	5.0 ± 0.1	220°C, 10 min	5.1 ± 0.2 (5.0 ± 0.2)*		5.0 ± 0.1 (5.0 ± 0.2)*		5.1 ± 0.2 (5.1 ± 0.2)*
	5.0 ± 0.1	200°C, 15 min	5.1 ± 0.1 (5.1 ± 0.2)*		5.0 ± 0.2 (5.0 ± 0.2)*		5.0 ± 0.1 (5.1 ± 0.1)*
	5.0 ± 0.1	180°C, 20 min	5.0 ± 0.2 (5.0 ± 0.1)*		5.0 ± 0.2 (5.0 ± 0.2)*		5.0 ± 0.2 (5.0 ± 0.1)*
Yellow croaker	5.0 ± 0.2	220°C, 10 min	5.1 ± 0.2 (5.1 ± 0.1)*		5.1 ± 0.2 (5.0 ± 0.1)*		5.0 ± 0.2 (5.0 ± 0.2)*
	5.0 ± 0.2	200°C, 15 min	5.0 ± 0.2 (5.1 ± 0.2)*		5.0 ± 0.2 (5.0 ± 0.2)*		5.0 ± 0.2 (5.0 ± 0.2)*
	5.0 ± 0.2	180°C, 20 min	5.0 ± 0.2 (5.0 ± 0.1)*		5.1 ± 0.1 (5.1 ± 0.1)*		5.0 ± 0.1 (5.1 ± 0.2)*

Heated and reheated conditions are the same as explained in Table 1.

*Data in parentheses indicated the skinless fillets.

했을 경우에도 총철 함량에는 큰 변화가 없었다. 이러한 결과는 배소에 의해 heme 철로부터 비 heme 철이 유리될 뿐이지, 함량 자체에 변화가 있는 것은 아니라 생각된다 (Cho et al., 1998).

배소에 의한 비 heme 철의 변화를 Table 4에 나타내었다. 각시가자미의 경우, 생시료에는 비 heme 철 함량이 건물당으로 1.0 mg/100 g으로 총철 함량에 대해 약 20%를 차지하였으며, 배소에 의해 비 heme 철 함량은 증가하는 경향이였다. 배소온도가 낮고, 배소시간이 긴 시료의 경우가 고온에서 단시간 배소한 것보다도 또한 어피 잔존육의 경우보다는 어피 제거육이 비 heme 철 함량이 높았다. 조기의 경우도 각시가자미와 유사한 경향이였으며, 고온 (200°C)보다는 저온 (180°C)에서 배소한 것이 비 heme 철의 함량이 높게 나타났다.

Heme 철의 함량 (Table 5)은 각시가자미와 조기의 경우, 저온에서 장시간 (180°C, 20분) 어피 제거육의 상태로 배소한 것이 heme 철의 감소폭이 컸으며 또한 가열 및 재가열에 의해서도 지

속적으로 감소하는 경향이였다.

배소, 가열 및 재가열 중 비 heme 철의 지속적인 증가와 함께 heme 철이 감소하는 패턴을 보여 배소에 의한 산화시 myoglobin이나 metmyoglobin과 함께 비 heme 철이나 heme 철 모두 산화를 촉진시키는 역할을 하리라 생각된다.

요 약

백색육어를 배소한 경우와 배소한 시료를 저온에 저장 후, 단계적으로 가열처리했을 때 일어나는 산화에 의한 heme 화합물의 변화를 조사하였다.

Heme 화합물 중 myoglobin 함량은 각시가자미나 조기 모두 180°C에서 20분간 어피 제거육의 상태로 배소한 것이 상대적으로 감소폭이 컸으며 가열, 재가열에 의해서도 감소하는 경향이였다. Myoglobin의 감소 추세에 따라 metmyoglobin 함량은 역으로 점차 증가

Table 4. Nonheme iron contents (mg/100 g, dry basis) in the roasted, heated and reheated yellowfin sole and yellow croaker fillets

Samples	Raw		Roasted		Heated		Reheated
Yellowfin sole	1.0 ± 0.06	220°C, 10 min	1.3 ± 0.04 (1.6 ± 0.07)*		1.9 ± 0.07 (1.8 ± 0.04)*		2.0 ± 0.11 (2.0 ± 0.08)*
	1.0 ± 0.06	200°C, 15 min	1.6 ± 0.05 (1.5 ± 0.07)*		1.9 ± 0.06 (1.9 ± 0.08)*		2.1 ± 0.12 (2.1 ± 0.07)*
	1.0 ± 0.06	180°C, 20 min	1.9 ± 0.04 (2.1 ± 0.09)*		2.0 ± 0.10 (2.3 ± 0.12)*		2.4 ± 0.08 (2.5 ± 0.12)*
Yellow croaker	0.8 ± 0.03	220°C, 10 min	1.1 ± 0.05 (1.3 ± 0.07)*		1.4 ± 0.07 (1.5 ± 0.03)*		1.8 ± 0.06 (1.8 ± 0.07)*
	0.8 ± 0.03	200°C, 15 min	1.2 ± 0.04 (1.3 ± 0.05)*		1.4 ± 0.04 (1.4 ± 0.03)*		2.0 ± 0.08 (1.8 ± 0.06)*
	0.8 ± 0.03	180°C, 20 min	1.5 ± 0.07 (1.7 ± 0.06)*		1.8 ± 0.07 (2.0 ± 0.04)*		2.1 ± 0.09 (2.2 ± 0.11)*

Heated and reheated conditions are the same as explained in Table 1.

*Data in parentheses indicated the skinless fillets.

Table 5. Heme iron contents (mg/100 g, dry basis) in the roasted, heated and reheated yellowfin sole and yellow croaker fillets

Samples	Raw		Roasted	Heated	Reheated
Yellowfin sole	4.0 ± 0.13	220°C, 10 min	3.7 ± 0.17 (3.4 ± 0.10)*	3.1 ± 0.15 (3.2 ± 0.07)*	3.0 ± 0.12 (3.1 ± 0.08)*
	4.0 ± 0.13	200°C, 15 min	3.5 ± 0.16 (3.5 ± 0.19)*	3.2 ± 0.12 (3.1 ± 0.10)*	2.9 ± 0.13 (2.9 ± 0.11)*
	4.0 ± 0.13	180°C, 20 min	3.2 ± 0.08 (3.0 ± 0.10)*	3.0 ± 0.13 (2.7 ± 0.09)*	2.6 ± 0.07 (2.6 ± 0.12)*
Yellow croaker	4.3 ± 0.22	220°C, 10 min	4.0 ± 0.19 (3.8 ± 0.14)*	3.7 ± 0.16 (3.6 ± 0.09)*	3.3 ± 0.16 (3.2 ± 0.11)*
	4.3 ± 0.22	200°C, 15 min	3.9 ± 0.07 (3.7 ± 0.13)*	3.6 ± 0.13 (3.6 ± 0.11)*	3.1 ± 0.15 (3.2 ± 0.08)*
	4.3 ± 0.22	180°C, 20 min	3.6 ± 0.10 (3.3 ± 0.14)*	3.2 ± 0.10 (3.1 ± 0.06)*	2.9 ± 0.10 (2.8 ± 0.04)*

Heated and reheated conditions are the same as explained in Table 1.

*Data in parentheses indicated the skinless fillets.

하는 경향이있으며, 배소온도가 낮을수록 또한 어피를 제거함으로써 생성된 metmyoglobin의 함량이 높았다. 총철 함량은 배소온도와 시간을 달리하여 처리하여도 두 어종 모두 생시료와는 함량 차이가 거의 없었다. 비 heme 철은 각시가자미의 경우 생시료에는 총철 함량에 대해 약 20% 정도 함유되어 있었으나, 180°C에서 20분간 어피 제거육의 상태로 배소했을 경우 생시료에 비해 약 2배 정도 증가하였다. 조기는 생시료에는 건물당으로 약 0.8 mg/100 g 함유되어 있었으나 배소, 가열 및 재가열과 같은 반복되는 가열과정에 의해 증가하였다. Heme 철 함량은 각시가자미와 조기 모두 비 heme 철의 증가에 반비례해서 감소하였으며 또한 배소시간이 길수록 그리고 어피 잔존육보다는 어피 제거육의 감소폭이 더 컸다.

참 고 문 헌

- A.O.A.C. 1990. Official Method of Analysis. 15th ed., Assoc. of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., pp. 237~239.
- Cho, H.S., K.H. Lee, D.S. Joo, G.E. Kim, S.S. Lim and J.H. Lee. 1998. Lipid oxidation in roasted fish meat. III. Changes in heme compounds in roasted and/or reheated dark muscled fish. *J. Korean Fish. Soc.*, 31, 483~488 (in Korean).
- Deugnier, Y., V. David, P. Brissor, P. Mabo, D. Delamaire, M. Messner, M. Bourel and J.Y. Legal. 1984. Serum α -L-fucosidase: A new marker for the diagnosis of primary hepatic carcinoma? *Hepatology*, 4, 889~892.
- Giddings, G.G. 1974. Reduction of ferrimyoglobin in meat. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 5, 143~173.
- Gonzalez, M.J., R.A. Schemmel, J.I. Gray, L.J. Dugan, L.G. Sheffield and C.W. Welsch. 1991. Effect of dietary fat on growth of MCF-7 and MDA-MB 231 human breast carcinomas in athymic nude mice: Relationship between carcinoma growth and lipid peroxidation levels. *Carcinogenesis*, 12, 1231~1235.
- Hirano, Y. and H.S. Olcott. 1971. Effect of heme compounds on lipid oxidation. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 48, 523~527.
- Igene, J.O., J.A. King, A.M. Pearson and J.I. Gray. 1979. Influence of heme pigments, nitrite and non-heme iron in development of warmed-over flavor (WOF) in cooked meat. *J. Agric. Food Chem.*, 27, 838~842.
- Lee, K.H., H.S. Cho, J.H. Lee, K.H. Shim and Y.L. Ha. 1997a. Lipid oxidation in roasted fish meat. I. Rancidity in roasted and/or reheated dark muscled fish. *J. Korean Fish. Soc.*, 30, 708~713 (in Korean).
- Lee, K.H., H.S. Cho, J.H. Lee, K.H. Shim and H.S. Ryu. 1997b. Lipid oxidation in roasted fish meat. II. Rancidity in roasted and/or reheated white muscled fish. *J. Korean Fish. Soc.*, 30, 714~718 (in Korean).
- Love, J.D. and A.M. Pearson. 1974. Metmyoglobin and non-heme iron as prooxidants in cooked meat. *J. Agric. Food Chem.*, 22, 1032~1040.
- Rickansrud, D.A. and R.L. Henrickson. 1967. Total pigments and myoglobin concentration in four bovine muscles. *J. Food Sci.*, 32, 57~61.
- Sanders, T.A.B., S.M. Vickers and A.P. Haimer. 1981. Effects on blood lipids and haemostasis of supplement of cod liver oil, rich in EPA and DHA in healthy young men. *Clin. Sci.*, 61, 317~324.
- Schricker, B.R., D.D. Miller and J.R. Stouffer. 1982. Measurement and content of nonheme and total iron in muscle. *J. Food Sci.*, 47, 740~743.
- Trout, G.R. 1989. Variation in myoglobin denaturation and color of cooked beef, pork and turkey meat as influenced by pH, sodium chloride, sodium tripolyphosphate and cooking temperature. *J. Food Sci.*, 54, 536~540.
- Van Laack, R.L., J.M. France and J.M. Smulders. 1990. Color stability of bovine Longissimus and Psoas major muscles as affected by electrical simulation and hot boning. *Meat Sci.*, 28, 211~221.
- Wallace, J.W., R.A. Houtchen, J.C. Maxwell and W.S. Caughey. 1982. Mechanism of autoxidation for hemoglobin and myoglobin. *J. Biol. Chem.*, 257, 4966~4971.
- Younathan, M.T. and B.M. Watts. 1960. Oxidation of tissue lipids in cooked pork. *Food Res.*, 25, 538~543.

2001년 8월 30일 접수

2002년 3월 20일 수리