

## 넙치(*Paralichthys olivaceus*)육의 사후 조기 변화

### 3. 치사 방법이 ATP 관련 물질과 유산 함량의 변화에 미치는 영향

김재현 · 이남걸 · 김육용 · 이근우\* · 조영제  
부산수산대학교 식품공학과 · \*군산대학교 수산가공학과

## Early Changes after Death of Plaice, *Paralichthys olivaceus* Muscle

### 3. Effect of Killing Methods on Changes in Content of ATP and Its Related Compounds and Lactate

Jae-Hyun KIM · Nam-Geoul LEE · Yuck-Yong KIM · Keun-Woo LEE  
and Young-Je CHO

Department of Food Science and Technology, National Fisheries University of Pusan,  
Pusan 608-737, Korea

\*Department of Seafood Processing, Kunsan University, Kunsan 573-360, Korea

To clarify the effects of killing methods on biochemical changes of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle at early period after death, cultured plaices were killed by the following four different methods; 1. spiking at the brain instantly. 2. letting them to die in the air. 3. dipping in sea water including anesthetic. 4. electrifying in sea water. Immediately after death, the changes in ATP and its related compounds, ATP breakdown, and IMP or lactate accumulation rates of muscle during storage at 5°C were studied.

ATP in samples killed by letting and electrifying were decomposed more rapidly than spiking and dipping samples. The rate constant of ATP breakdown were 0.429h<sup>-1</sup> for samples killed by electrifying, 0.224h<sup>-1</sup> for letting samples, 0.195h<sup>-1</sup> for spiking samples, and 0.167h<sup>-1</sup> for dipping samples. The maximum speed and content of IMP or lactate accumulation were showed in samples killed by electrifying among the all killing methods. The rate constant of lactate accumulation were 2.256h<sup>-1</sup> for samples killed by electrifying, 1.123h<sup>-1</sup> for letting samples, 0.534h<sup>-1</sup> for spiking samples, and 0.526h<sup>-1</sup> for dipping samples.

From the results above, it was revealed that electrifying in sea water could accelerate ATP breakdown and accumulation of IMP or lactate among the all killing methods. The other hand, dipping in sea water including anesthetic delayed those changes.

## 서 론

사후 경직은 근수축의 에너지원인 ATP의 분해에 의하여 근육의 신축성이 소실되어 일어나는 현상이며, 경직의 진행은 ATP의 재생원인 creatine

phosphate 및 glycogen량과 그 소실 속도에 의존한다(Watabe *et al.*, 1991). 사후 energy 대사에 영향을 미치는 요인으로서 생전의 생리 조건, 치사 조건, 사후 저장 온도 등을 들 수 있으며, 생리 조건으로서 영양 상태가 불량하거나 피로한 것이 glyco-

gen 함량이 적고 그 감소 속도도 빠르며, 유산의 축적과 ATP 분해 속도가 빨라서 경직의 진행이 촉진된다고 보고하고 있으며(Watabe *et al.*, 1991; Boyd *et al.*, 1984), 어류의 생식 수온의 변화도 사후 경직의 진행에 영향을 미친다는 보고도 있다(Hwang *et al.*, 1991). 사후 저장 온도의 영향은 전보(김·조, 1992; 조·김, 1993)에 발표한 바와 같이 저장 온도가 낮을 수록 근소포체의 Ca<sup>2+</sup> 수용력이 저하하여 ATP 분해가 빨라져서 사후 경직이 촉진되며, 유산의 축적도 빨라짐이 밝혀져 있다. 한편, 치사 조건은 고민사보다 안락 상태에서 즉살시킨 것이 energy 소모가 적고 경직의 진행이 늦어짐이 알려져 있으며(Johnston and Moon, 1980), 고민사보다는 안락사시킨 것이 선어의 품질 관리 면에서 효과적인 것으로 알려져 있다. 그러나, 사후 초기 어육의 물리 화학적 변화에 영향을 미치는 요인중의 하나인 치사 방법은 고민사 및 안락사에 대한 연구에 한정되어 있는 실정이므로, 본 연구에서는 여러가지 치사 방법(즉살, 고민사, 마취사 및 전기 자극사)이 사후 초기의 어육의 생화학적 변화에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

전보(김·조, 1992)와 같은 방법으로 넙치를 활어 상태로 실험실로 운반하여 피로를 완전히 회복시킨 후에 즉살(두부의 급소를 찌름), 고민사(실온의 공기중에서 피로시키면서 치사시까지 방치, 약 1시간), 마취사(1000ppm Ethyl Aminobenzoate의 마취액에 3분간 침지) 및 전기 자극사(해수중에 시료를 넣고 110볼트 전압으로 30초간 통전) 등 각종 방법으로 치사시킨 뒤에 혈액을 제거하고 5℃에 저장하면서 시료로 사용하였다.

### 2. ATP 관련 물질 및 유산량의 측정

각종 방법으로 치사시킨 뒤에 일정 기간 저장한 시료에 대하여 전보(김·조, 1992)와 같은 방법으로 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. ATP 관련 물질들의 변화

Fig. 1에 치사 방법을 달리한 넙치육을 5℃에 저

장하는 동안의 ATP의 분해 정도를 나타내었다. 각각의 치사 방법에 따른 치사 직후의 ATP 함량은 즉살 5.50 μmole/g, 고민사 3.58 μmole/g, 전기 자극사 4.51 μmole/g, 그리고 마취사 6.42 μmole/g으로 고민사에서 가장 낮은 함량을 나타내었다. 저장중의 ATP 분해 속도는 전기 자극사에서 가장 빨랐으며, 다음으로 고민사, 즉살, 그리고 마취사의 순으로 마취사에서 가장 느렸다. 즉살시의 근육중의 ATP 함량은 약 10시간까지 일정하게 유지되다가 그 후에 감소하여 32시간만에 완전히 분해되었으며, 마취사 어육중의 ATP 함량은 다른 치사 방법과는 달리 치사 직후에 6.42 μmole/g으로 가장 높았으며, 저장중의 분해 속도도 느려서 약 20시간까지 일정하게 유지되다가 40시간후에 완전히 분해되었다. 한편, 고민사에서는 치사 직후에 가장 낮은 함량(3.58 μmole/g)을 나타내었으며 5시간까지 일정하게 유지되다가 이후 급속히 감소하여 15시간만에 완전히 분해되었으며, 전기 자극사시킨 어육의 ATP 함량은 다른 치사 방법에 비하여 저장 초기부터 급격히 분해되어 11시간후에는 완전히 분해되었다. ATP의 완전 분해 시간은 전기 자극사에서 11시간으로 가장 짧았고, 다음으로 고민사 15시간, 즉살 32시간, 그리고 마취사 40시간의 순으로 마취사에서 가장 연장되었다. 또, 치사 방법에 따른 ATP 분

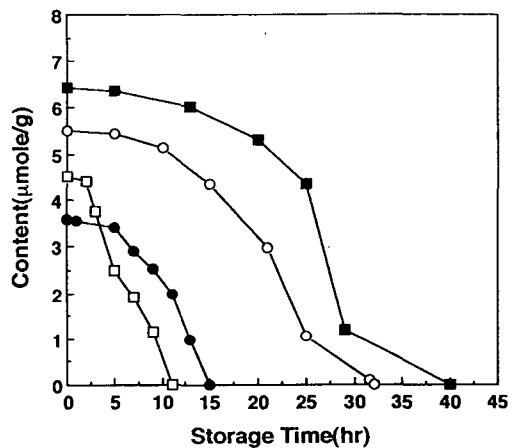


Fig. 1. Effect of killing methods on the changes in content of ATP in plaice muscle during storage at 5℃.

- — spiking at the brain instantly.
- — letting them to die in the air.
- — dipping in sea water including anesthetic.
- — electrifying in sea water.

해 속도 상수는 전기 자극사  $0.429h^{-1}$ , 고민사  $0.224h^{-1}$ , 즉살  $0.195h^{-1}$ , 그리고 마취사  $0.167h^{-1}$ 이었다.

즉살과 고민사시킨 직후의 어육중의 ATP 함량의 차이는 약  $2\ \mu\text{mole/g}$ 이었는데, 이러한 결과는 巖本 등(1990)의 보고와 같이 고민중에 ATP를 소비하였기 때문이며, 또, 즉살보다 고민사에서 치사 직후의 근육중의 glycogen량이 적고 그 후의 감소 속도가 빠르며, 유산의 축적과 ATP 분해 속도가 빨라서 경직의 진행이 촉진된다는 보고(巖本 등, 1990; Boyd *et al.*, 1984)와 일치하는 것으로 생각된다. 마취사시킨 경우에 어육중의 ATP 함량이 가장 높고 다른 치사 방법보다 ATP 분해가 가장 완만하였으며 완전 분해 시간도 현저히 연장되었는데, 이러한 결과는 Fraser *et al.*(1967)이 대구를 마취사시켜서 육중의 ATP 관련 물질들의 변화를 조사한 결과, ATP의 완전 분해 시간과 경직의 진행이 현저히 지연된다는 보고와 유사하였다. 한편, 어류를 전기 자극사시킨 경우의 생화학적 변화에 대한 연구는 거의 찾아볼 수 없으며, 전기 자극사시킨 경우의 근육중의 ATP의 분해 속도가 다른 치사 방법보다 가장 빨랐을 뿐만 아니라 완전 분해까지의 시간도 가장 짧았는데, 이러한 결과는 전기 자극사시키면 경직의 진행 속도가 빠르며 ATP 분해가 촉진되어 급속한 해당 작용의 진행으로 육의 pH가 저하되고 ATP가 거의 대부분 분해되었을 때 완전 경직에 도달한다는 보고(Will *et al.*, 1979; 三浦·三上, 1992a; Crenwelge *et al.*, 1984; Powell *et al.*, 1984)와 일치하였다. 그리고, Bendall *et al.*(1976)과 Konos and Taylor(1987)도 전기자극시킨 우육의 ATP는 무자극보다 빠르게 분해되었으며, 완전 경직 도달시간도 단축되었다고 보고하고 있다. 또한, 小澤 등(1990)과 Calkins *et al.*(1982)도 전기 자극에 대한 ATP의 분해 정도를 실험한 결과, 모두 상기와 유사한 경향을 발표하고 있다.

Fig. 2에 치사 방법을 달리한 넙치육을  $5^{\circ}\text{C}$ 에 저장하는 동안의 IMP의 축적 정도를 나타내었다. IMP의 최대 축적 시간과 그때의 함량은 즉살 31.5시간과  $6.30\ \mu\text{mole/g}$ , 고민사 20시간과  $6.12\ \mu\text{mole/g}$ , 마취사 40시간과  $6.40\ \mu\text{mole/g}$ , 그리고 전기 자극사에서 11시간과  $6.99\ \mu\text{mole/g}$ 으로, 전기 자극사에서 최대 축적까지의 시간이 가장 짧았으며, 그 축적량도 가장 높았다. 저장중 IMP의 축적 속도는 전기 자극사에서 가장 빨랐으며, 다음으로 고민사, 즉살, 그리고 마취사의 순으로 마취사에서 가장 느렸다. 즉, IMP 축적 속도 상수는 전기 자극사  $0.591h^{-1}$ , 고민사  $0.248h^{-1}$ , 즉살  $0.165h^{-1}$ , 그리고 마취사

$0.161h^{-1}$ 의 값을 나타내었다. IMP의 최대 축적 이후의 분해 정도는 치사 조건에 관계없이 얼마동안 일정한 값을 나타내었다.

전기 자극사에서의 IMP 축적율이 가장 빠르고 최대 축적량이 높았는데, 이러한 결과는 축육을 전기 자극사시키므로서 육전체의 효소계가 부활하므로 proteinase나 핵산 관련 효소계에 대하여 활성화를 촉진하는 역할을 하며, 핵산 관련 물질의 축적에 관여하는 효소가 활성화되어 IMP가 빠르게 축적된다는 보고(三浦·三上, 1992b; Yamaguchi *et al.*, 1971; Calkins *et al.*, 1982)와 일치하는 것으로 생각된다. 또한, 전기 자극에 의한 급속한 ATP의 분해는 감칠맛(umami)을 향상시키는 IMP가 빠르게 축적되므로 맛이 향상된다는 보고(Whiting *et al.*, 1981; 三上 등, 1990)도 있다. 한편, 마취사에서 IMP의 축적 속도는 다른 치사 조건에 비해 가장 느리고 그 최대 축적량 또한 낮았는데, 이러한 결과는 Fraser *et al.*(1967)의 보고와 유사하였다.

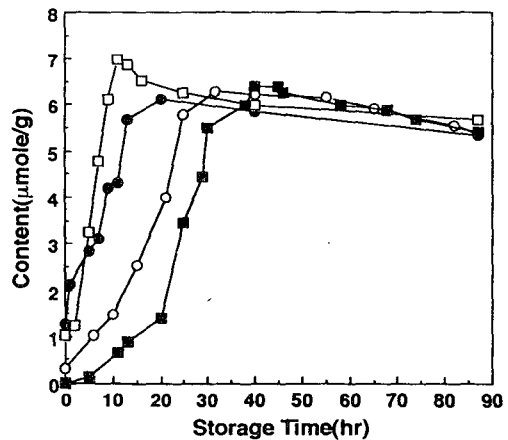


Fig. 2. Effect of killing methods on the changes in content of IMP in plaice muscle during storage at  $5^{\circ}\text{C}$ . Symbols are the same as Fig. 1.

Fig. 3에 즉살한 넙치육을  $5^{\circ}\text{C}$ 에 저장하는 동안의 ATP 관련 물질들의 변화를 나타내었다. ADP는 20시간까지 급속히 감소하였으며, inosine과 hypoxanthine은 완만히 증가하였다. 고민사시킨 경우(Fig. 4)에는 ADP와 AMP는 저장 초기의 함량이 각각  $2.55\ \mu\text{mole/g}$ 과  $1.51\ \mu\text{mole/g}$ 으로 다른 치사 방법에 비해 가장 높았으며, 저장 초기부터 ATP 분해 경향과 유사하게 20시간까지 급격히 감소하였다. 또,

inosine과 hypoxanthine의 함량은 즉살시와 유사한 경향을 나타내었다. 마취사의 경우(Fig. 5), ADP는 다른 치사 방법보다 가장 완만히 감소하였으며, inosine과 hypoxanthine의 증가는 즉살시와 유사한 경향을 나타내었다. 또, 전기 자극사인 경우(Fig. 6)는 ADP와 AMP 모두 저장 초기에 급격히 감소하였다.

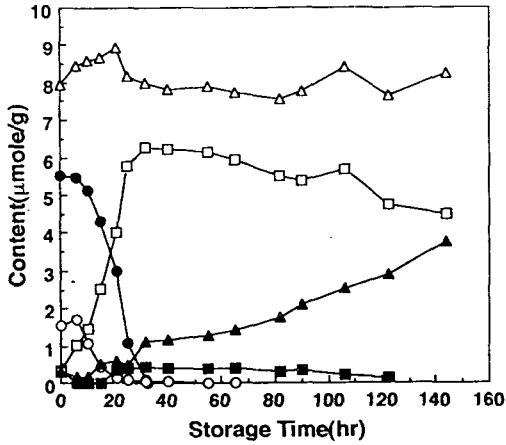


Fig. 3. Changes in content of ATP and its related compounds of plaice muscle prepared by spiking at the brain instantly during storage at 5°C.  
ATP(●), ADP(○), AMP(■), IMP(□), HxR+Hx(▲), Total(△)

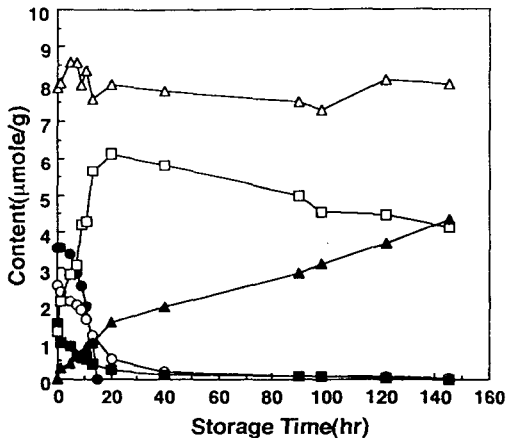


Fig. 4. Changes in content of ATP and its related compounds of plaice muscle prepared by letting in the air during storage at 5°C.  
Symbols are the same as Fig. 3.

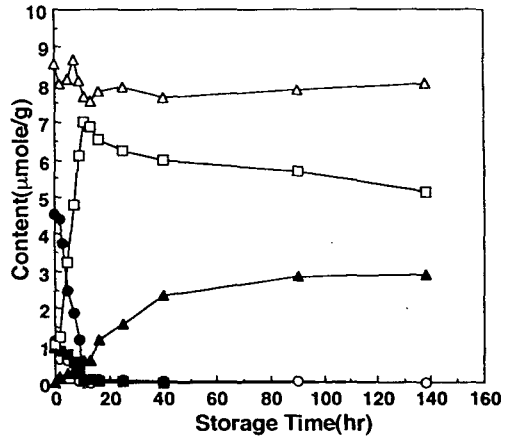


Fig. 5. Changes in content of ATP and its related compounds of plaice muscle prepared by electrifying in sea water during storage at 5°C.  
Symbols are the same as Fig. 3.

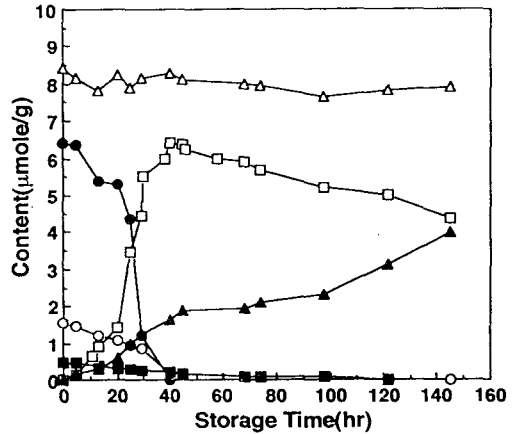


Fig. 6. Changes in content of ATP and its related compounds of plaice muscle prepared by dipping in sea water including anesthetic during storage at 5°C.  
Symbols are the same as Fig. 3.

2. 유산량의 변화

치사 방법을 달리한 넙치육을 5°C에 저장하는 동안의 육중에 유산 축적량의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 치사 직후의 유산량은 즉살 9.63 μmole/g, 고민사 36.86 μmole/g, 전기 자극사 44.88 μmole/g, 그리고 마취사 20.38 μmole/g으로 치사 방법에 따라 큰 차이를 보였다. 전기 자극사시킨 어육의 유산량은 다른 치사 방법보다 급속히 또 많이 축적되었다. 즉, 저장 초기부터 급격히 증가하여서 ATP의 완전

분해 시간인 11시간 후에 57.58  $\mu\text{mole/g}$ 으로 최대 축적량을 보였다. 반면에, 즉살시킨 어육에서는 유산의 축적이 완만하였고 최대 축적량 또한 가장 적었으며, 36시간 후에 34.84  $\mu\text{mole/g}$ 으로 최대값을 나타내었다. 고민사시킨 어육에서의 유산 축적량은 저장 초기부터 전기 자극사와 유사하게 급격히 증가하였고 ATP의 완전 분해 시간인 15시간 후에 최대 축적량(54.74  $\mu\text{mole/g}$ )에 도달하였다. 마취사육에서의 유산 축적량은 즉살육의 경향과 유사하게 완만히 증가하였으나 치사 직후부터 저장 기간중에 축적량은 즉살육보다 많았으며, ATP의 완전 분해 시간인 40시간 후에 52.87  $\mu\text{mole/g}$ 으로 최대 축적량을 보였다. 각종 치사 방법에 따른 유산의 최대 축적 시간과 축적량은 즉살 36시간과 34.84  $\mu\text{mole/g}$ , 고민사 15시간과 54.74  $\mu\text{mole/g}$ , 전기 자극사 20시간과 60.81  $\mu\text{mole/g}$ , 그리고 마취사 40시간과 52.87  $\mu\text{mole/g}$ 이었다. 또한, 유산 축적의 반응 속도 상수는 전기 자극사에서 2.256 $h^{-1}$ 로 가장 컸으며, 다음으로 고민사 1.123 $h^{-1}$ , 즉살 0.534 $h^{-1}$ , 그리고 마취사 0.526 $h^{-1}$ 의 순이었다.

전기 자극사에서 유산의 축적 속도가 빠르고 최대 축적량이 높았는데, 이러한 결과는 전기 자극에 의해서 ATP 분해가 촉진되어서 급속한 해당 작용의 진행으로 유산 축적과 pH 저하가 빠르다는 보고(Will *et al.*, 1979; 三浦·三上, 1992a; Crenwelge *et al.*, 1984; Powell *et al.*, 1984)와 일치하였다. 또, 즉살보다 고민사시킨 어육중의 유산 축적의 진행이 현저히 빠른 것은 고민사시키는 경우에 고민중에 glycogen이 분해되어 유산이 근육중에 축적되므로 치사 시점에서 육중의 glycogen 함량이 적고 그 감소 속도가 빠르므로 유산의 축적이 촉진된다는 보고(巖本 등, 1990; Boyd *et al.*, 1984)와 일치하는 것으로 생각되며, 또한, 마취사에서 유산 축적이 현저히 지연되는 결과는 Fraser *et al.*(1967)의 보고와 일치하였다. 또, 치사 조건에 관계없이 각각의 치사 방법에서 ATP의 완전 분해 시간과 유산의 최대 축적 시간이 거의 일치하였는데, 이는 유산의 축적과 ATP 분해와는 깊은 상관 관계를 가진다는 Watabe *et al.*(1991)의 보고와 일치하였다.

## 요 약

횡감으로 많이 소비되고 있는 넙치를 시료로 치사 방법(즉살, 고민사, 마취사 및 전기 자극사)을 달리하여 치사시킨 후에 5℃에 저장하면서 사후 초기의 생화학적 변화에 대하여 검토한 결과는 다음

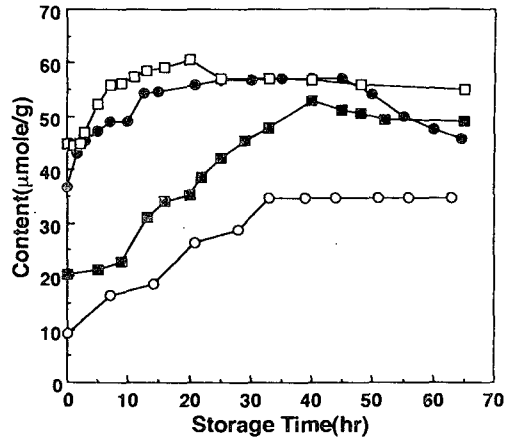


Fig. 7. Effect of killing methods on the changes in content of lactate in plaice muscle during storage at 5°C. Symbols are the same as Fig. 1.

과 같다.

1. 치사 직후의 어육중의 ATP 함량은 고민사에서 가장 낮았고 마취사에서 가장 높았으며, 치사후 저장중의 ATP 분해 속도는 전기 자극사, 고민사, 즉살, 그리고 마취사의 순서였으며 각각 11시간, 15시간, 32시간, 그리고 40시간 후에 ATP가 완전히 분해되었다. 또, 분해 속도 상수는 각각 0.429 $h^{-1}$ , 0.224 $h^{-1}$ , 0.195 $h^{-1}$ , 그리고 0.167 $h^{-1}$ 였다.

2. IMP의 최대 축적 시간과 함량은 전기 자극사 11시간과 6.99  $\mu\text{mole/g}$ , 고민사 20시간과 6.12  $\mu\text{mole/g}$ , 즉살 31.5시간과 6.30  $\mu\text{mole/g}$ , 그리고 마취사에서 40시간과 6.40  $\mu\text{mole/g}$ 으로, 전기 자극사에서 IMP 생성이 가장 빨랐으며 그 함량도 높았다. 또, 반응 속도 상수는 각각 0.591 $h^{-1}$ , 0.248 $h^{-1}$ , 0.165 $h^{-1}$ , 그리고 0.161 $h^{-1}$ 였다.

3. 어육중의 유산량의 변화는 치사 직후에 즉살에서 가장 낮았으며 저장중의 최대 축적량도 가장 낮은 38.84  $\mu\text{mole/g}$ 이었지만, 전기 자극사와 고민사에서는 치사 직후에 어육중의 유산 축적량이 높았으며, 저장중의 최대 축적량도 가장 높은 값을 나타내었다. 또, 반응 속도 상수는 전기 자극사 2.256 $h^{-1}$ , 고민사 1.123 $h^{-1}$ , 즉살 0.534 $h^{-1}$ , 그리고 마취사 0.526 $h^{-1}$ 였다.

## 참 고 문 헌

Bendall, J. R., C. C. Ketteridge and A. R. George.

1976. The electrical stimulation of beef carcasses. *J. Sci. Food Agric.*, 27, 1123~1131.
- Boyd, N. S., N. D. Willson, A. R. Jerrett and B. I. Hall. 1984. Effects of brain destruction on post harvest muscle metabolism in the fish kahawai (*Arripis trutta*). *J. Food Sci.*, 49, 177~179.
- Calkins, C. R., T. R. Dutson, G. C. Smith and Z. L. Carpenter. 1982. Concentration of creatine phosphate, adenosine nucleotides and their derivatives in electrically stimulated and non-stimulated beef muscle. *J. Food Sci.*, 47, 1350~1353.
- Crenwelge, D. D., R. N. Terrell, T. R. Dutson, G. C. Smith and Z. L. Carpenter. 1984. Effects of time postmortem of electrical stimulation and postmortem chilling method on pork quality and palatability traits. *J. Food Sci.*, 49, 294~297.
- Fraser, D. I., J. R. Dingle, J. A. Hines, S. C. Nowlan and W. J. Dyer. 1967. Nucleotide degradation, monitored by thin-layer chromatography and associated postmortem changes in relaxed cod muscle. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 24, 1837~1841.
- Hwang, G.-C., H. Ushio, S. Watabe, M. Iwamoto and K. Hashimoto. 1991. The effect of thermal acclimation on rigor mortis progress of carp stored at different temperature. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57(3), 541~548.
- Johnston, I. A. and T. W. Moon. 1980. Exercise training in skeletal muscle of brook trout. *J. Exp. Biol.*, 87, 177~194.
- Konos, A. C. and D. G. Taylor. 1987. Effect of electrical stimulation and temperature on biochemical changes in beef muscle. *Meat Sci.*, 19, 207~216.
- Powell, V. H., R. F. Dickinson, N. G. Mcphail, P. E. Bouton and P. V. Harris. 1984. Evaluation of extra low voltage electrical stimulation system for bovine carcasses. *J. Food Sci.*, 49, 363~369.
- Watabe, S., M. Kamal and K. Hashimoto. 1991. Postmortem changes in ATP, creatine phosphate, and lactate in sardine muscle. *J. Food Sci.*, 56, 151~153.
- Will, P. A., R. L. Henrickson, R. D. Morrison and G. V. Odell. 1979. Effect of electrical stimulation on ATP depletion and sarcomere length in delay-chilled bovine muscle. *J. Food Sci.*, 44, 1646~1648.
- Whiting, R. C., E. D. Strange, A. J. Miller, R. C. Benedict, S. M. Mozersky and C. E. Swift. 1981. Effect of electrical stimulation on the functional properties of lamb muscle. *J. Food Sci.*, 46, 484~490.
- Yamaguchi, S., T. Yoshikawa, S. Ikeda and T. Ninomiya. 1971. Measurement of the relative taste intensity of some L- $\alpha$ -amino acids and 5-nucleotides. *J. Food Sci.*, 36, 846~849.
- 김육용 · 조영제. 1992. 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 육의 사후 초기 변화. 1. 사후 초기 변화와 온도 의존성의 관계. *한수지*, 25(3), 189~196.
- 조영제 · 김육용. 1993. 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 육의 사후 초기 변화. 2. 물리 화학적 및 물성적 특성의 온도 의존성. *한수지*, 26(1), 1~7.
- 三上正幸 · 木下康宣 · 三浦弘之. 1990. 電気刺激した牛肉における核酸關聯物質の變化について. *日畜會報*, 62(4), 398~400.
- 三浦弘之 · 三上正幸. 1992a. 電気刺激による食肉熟成(1). *畜産の研究*, 16(12), 1151~1154.
- 三浦弘之 · 三上正幸. 1992b. 電気刺激による食肉熟成(2). *畜産の研究*, 16(12), 1267~1272.
- 小澤 忍 · 小石川常吉 · 千國幸一 · 吉武 充. 1990. 牛の仕上げ體重在屠殺後の筋肉のpH値, 乳酸, グリコーゲンおよびヌクレオチド關聯物質の變化に及ぼす影響. *日畜會報*, 61(3), 385~389.
- 巖本宗昭 · 山中英明 · 渡部終五 · 橋本周久. 1990. 天然および養殖セラメの死後硬直の進行の比較. *日本誌*, 56(1), 101~104.

1993년 6월 19일 접수

1993년 9월 3일 수리