

## 전기자극이 넙치육의 死後早期의 물리화학적 및 물성적 변화에 미치는 영향

이남걸 · 양무희\* · 조영제  
부산수산대학교 식품공학과  
\*선문대학교 식량자원학과

## Effects of Electrical Stimulation on Physicochemical and Rheological Properties of Plaice, *Paralichthys olivaceus* Muscle at Early Period after Death

Nam-Geoul LEE, Mu-Hae YANG\* and Young-Je CHO

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

\*Department of Food Resource, Sun Moon University,  
Chungnam 337-840, Korea

This study was undertaken to clarify the effects of electrical stimulation on physicochemical and rheological properties of the plaice (*Paralichthys olivaceus*) muscle at early period after death.

The plaices were electrically stimulated in seawater bath (110V/60Hz) for 15sec., 35sec., and 60sec. and killed instantly with spiking at the head. Killed samples were stored at 5°C, and the changes in rigor index, ATP breakdown, lactate accumulation, and breaking strength of muscle through storage were investigated.

Electrical stimulation effectively accelerated rigor-mortis, lactate accumulation, and ATP breakdown. As the time of electrical stimulation was lengthened, the onset of rigor-mortis of all samples were accelerated just after killing, and the amount of lactate was rapidly increased. But, significant differences were not observed in variance of rigor-mortis and lactate concentration. Electrically stimulated plaices showed decreasing in ATP to 4.58μmole/g for 15sec., 4.13μmole/g for 35sec., and 2.39μmole/g for 60 sec. samples as compared with 5.5μmole/g of unstimulated samples. As the time of electrical stimulation was lengthened, ATP in samples were decomposed more rapidly. The rate constant of ATP breakdown were 0.244hr<sup>-1</sup> for 15sec., 0.358hr<sup>-1</sup> for 35sec., and 0.479hr<sup>-1</sup> for 60sec..

The level of breaking strength in muscle of the plaice was 1050.30 ± 50.23g immediately after killing. Values of breaking strength in samples electrically stimulated for 35sec. increased rapidly just after killing among all samples. However, the breaking strength was not increased through the whole storage time in samples stimulated for 60sec.. The value and time reaching to the maximum breaking strength for each samples stimulated electrically for 15, 35 and 60 second were 1264.43 ± 35.76g and 2hr, 1357.68 ± 22.50g and 0hr, and 1012.18 ± 57.36g and 0hr. Breaking strength in all samples electrically stimulated decreased significantly (P<0.05) after reaching the maximum values.

**Key words :** electrical stimulation, rigor-mortis, ATP breakdown, breaking strength.

## 서 론

사후 조기의 근육은 근수축의 energy원인 ATP의 분해에 의하여 신축성이 저하되면서 경직이 일어나는데, 이 경직은 근육중의 creatine phosphate 및 glycogen 함량과 그 소실 속도에 의존하는 것으로 알려져 있다 (Ando et al., 1991). 또, 근소포체 내의 Ca이온이 세포내로 방출되어서 actin과 myosin의 결합을 촉진시키므로써 사후 경직이 발생하며 (Fleming et al., 1990; Watabe et al., 1989), 근소포체내의 Ca이온이 세포내로 방출되는 속도는 저장온도 (Cho and Kim, 1993) 및 치사방법 (Johnston and Moon, 1980; Kim et al., 1993)에 의하여 영향을 받는다고 보고하고 있다.

축육에서는 상기와 같은 생화학적 반응은 屠體에 전기자극을 가함으로서 가속화된다고 보고하였다 (Calkins et al., 1982). 그리고, 축육에 전기자극을 함으로서 육질의 연화효과 이외에도 냉각수축 (cold shortening)을 억제시킬 수 있다고 알려져 있다 (Carse, 1973; Cross, 1979). 전기자극은 고전압 및 저전압 자극방법 (Lawlis et al., 1992; Powell et al., 1984)이 보고되어 있으며, 일부 국가에서는 우육의 연화방법으로 실용화시키고 있다.

본 연구에서는 상기와 같이 축육의 연화촉진 및 냉각수축 억제수단으로 이용되고 있는 전기자극방법을 횡감용 활어에 적용시켜, 생선회의 육질을 향상시키는 새로운 방법을 개발하기 위한 기초연구의 일환으로, 치사전의 전기자극 전처리가 사후조기의 횡감용 넙치육의 물리화학적 및 물성적 변화에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

양식 넙치 (*Paralichthys olivaceus*; 체장 25~30cm, 체폭 13~15cm, 체고 2~3cm, 체중 700~800g)를 양식장에서 활어상태로 실험실로 운반하여 20℃해수에서 약 6시간 정도 안정을 시켜 피로를 완전히 회복시켰다. 실험실에서 제작한 전기자극장치용기 (240mm×370mm×390mm 크기의 용기에 110V 가정용 전압

단자 설치)에 일정량의 해수와 시료를 넣고 15초, 35초 및 60초간 전기 자극을 시킨후에, 두부를 강타하여 치사시킨 다음 혈액을 제거하고 5℃에 저장하면서 시료로 사용하였다. 한편, 대조구 시료는 전기 자극 전처리를 하지 않고 즉살시킨후 탈혈하여 사용하였다.

### 2. 사후 경직도의 측정

Bito et al. (1983)의 방법으로 전보 (Kim and Cho, 1992)와 같이 측정하였다.

### 3. ATP함량의 측정

Iwamoto et al. (1987)의 방법으로 핵산관련물질의 시료를 조제한후, 시료용액을 -70℃의 동결고에 보관하였다. ATP측정시에 시료용액을 증류수로 10배 희석하여 0.45μm membrane filter로 여과후 HPLC에 주입하였다. 컬럼의 이동상으로는 0.05M 인산 완충용액 (pH6.78)을 사용하여, PHILIPS사제 PYEUNICAM 고속액체 chromatograph 자동분석 system으로 분석하였다. Waters사제의 μ-Bondapack C<sub>18</sub> (300×3.9mm) 역상컬럼을 사용하여 254nm 파장에서 분석하였다.

### 4. 유산량의 측정

제단백 추출액으로 Barker and Summerson방법 (1941)에 따라서 측정하였다.

### 5. 파괴강도의 측정

Ando et al. (1991)의 방법에 따라서 등육을 다음과 같은 조건으로 측정하였다. 즉, 넙치를 밑면이 평평하게 필렛 (fillet)하여 40×40×10mm<sup>3</sup>크기의 정사각형 칼집으로 육을 위에서 째고 후, 칼집위로 돌출한 부분을 잘라내고 육의 두께를 10mm로 균일하게하여 측정시료로 사용하였다. 파괴강도는 직경 8mm의 cylinder plunger를 사용하여, 속도 60mm/min 때의 최고값으로 나타내었다. 실험결과 값은 8~10회 측정하여 평균 ± 표준편차 (mean ± S.D.)로 나타내었다.

## 결과 및 고찰

### 1. 경직도 변화

전기자극 전처리가 넙치육의 사후 경직도의 변화

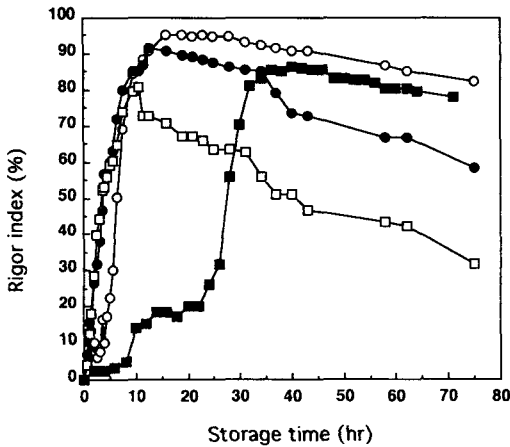


Fig. 1. Changes in rigor index of the plaice treated by electrical stimulation (110V/60Hz) during storage at 5°C.  
 ○; electrical stimulation for 15sec.  
 ●; electrical stimulation for 35sec.  
 □; electrical stimulation for 60sec.  
 ■; control(spiking at the head instantly)

에 미치는 영향을 Fig. 1에 나타내었다. 즉살보다 전기자극시킨 것이 사후경직이 촉진되었으며, 또 전기자극 시간이 길어질 수록 경직이 촉진되었다. 그러나, 전기자극 시간이 길어질 수록 최고 경직도가 낮았으며, 최고 경직 이후의 저하 속도도 빨랐다. 즉, 즉살에서는 36시간 후에 최고 경직에 도달하였으며 그때의 경직도는 86%였다. 한편, 전기자극 15초에서는 저장 15시간 후에 최고경직에 도달하였으며, 그때의 경직도는 95%이었고, 전기자극 35초에서는 그값이 각각 13시간 및 92%이었다. 그리고, 전기자극 60초에서는 10시간 후에 최고경직에 도달하였으며, 그때의 경직도는 81%이었다. 최고 경직도에 도달한 후의 지속시간도 전기자극 시간이 길수록 짧았다. 즉, 15초 전기자극에서는 약 75시간의 저장기간동안 서서히 저하하였으며, 35초 전기자극에서는 최고경직에 도달한 후에 15초 전기자극보다도 빠르게 그리고 60초 전기자극보다는 느리게 저하하였다. 한편, 60초 전기자극에서는 최고 경직도에 도달한 직후부터 빠르게 저하하였다. Fig. 2에는 전기자극 시간에 따른 사후경직도의 변화를 Arrhenius plot으로 나타내었다. Pearson의 최소자승법을 적용하여 회귀직선식을 구한 결과 결정계수( $r^2$ )값이 0.933으로 높은 상관성이 인정되었으며, 전기자극 시간을 길게 할수록 완전경직에 도달하는데 걸리는 시간

이 짧아짐을 알 수 있다.

상기의 결과는 우육을 전기자극시키면 경직의 진행 속도가 빨라진다는 보고(Will et al., 1979)와 일치하였다. 한편, 전기자극시간이 길어질수록 최대경직에 도달한 후의 경직저하속도가 빠른 것은, 긴 시간의 전기자극이 육질에 어떠한 영향을 미쳐서 해경이 촉진된 것으로 추측된다.

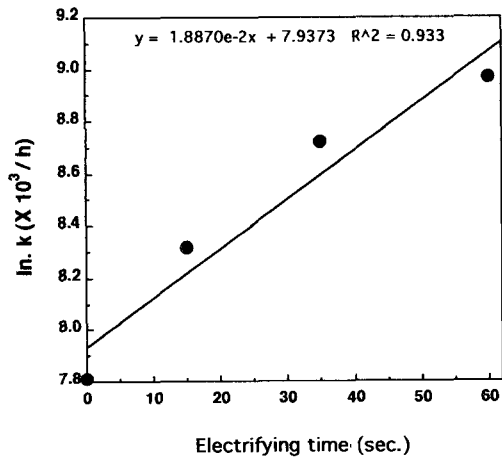


Fig. 2. Arrhenius plot of rigor index changes by various electrifying treatments.

## 2. ATP의 분해

Fig. 3에 전기자극 시간에 따른 ATP의 분해 정도를 나타내었다. 치사 직후 근육 중의 ATP함량은 즉살 5.5  $\mu\text{mole/g}$ 이었으며, 15초 전기자극은 4.58  $\mu\text{mole/g}$ , 35초 전기자극은 4.13  $\mu\text{mole/g}$ , 그리고 60초 전기자극은 2.29  $\mu\text{mole/g}$ 으로서, 전기자극 시간이 길어질 수록 치사 직후에 근육 중의 ATP함량이 낮았다. 즉살시의 근육 중의 ATP함량은 약 10시간까지 일정하게 유지되다가 그후에 서서히 감소하여 32시간 후에 완전히 분해되었다. 한편, 전기자극시킨 경우는 처리 시간이 길어질수록 분해가 빨랐으며, 15초 전기자극은 16시간, 35초 전기자극은 11시간, 그리고 60초 전기자극은 5시간 후에 ATP가 완전히 분해되었다. 전기자극과 ATP의 관계에 관해서는 전기자극 처리로 인하여 사후 de-phosphorylation이 급속히 진행되어서 ATP가 감소한다고 Knos and Taylor (1987)가 보고하고 있으며, 본 실험의 결과도 전기자극 시간이 길수록 ATP분해속도가 빨랐다. Fig. 4에는 전기자극 시간에 따른 ATP

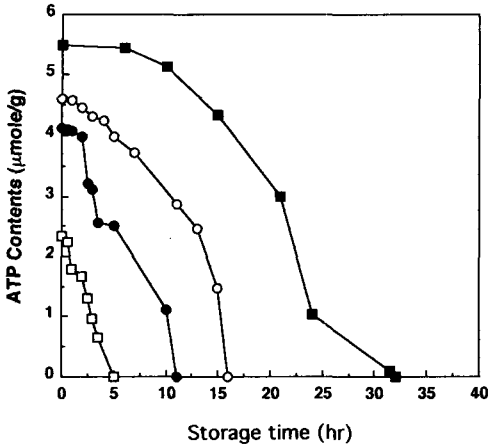


Fig. 3. Changes in contents of ATP in the plaice muscle treated by electrical stimulation (110V/60Hz) during storage at 5°C. symbols are the same as Fig. 1.

분해를 Arrhenius plot로 나타내었다. 분해속도상수는 15초 전기자극시에 0.244hr<sup>-1</sup>, 35초 전기자극은 0.358 hr<sup>-1</sup>, 60초 전기자극은 0.479hr<sup>-1</sup>, 그리고 즉살은 0.195 hr<sup>-1</sup>이었다. 회귀직선상에서 볼때 전기자극시간이 길어질수록 ATP분해속도는 빨라짐을 알 수 있다. 이러한 결과는 우육을 시료로 하여서 전기자극시킨 경우에 사후 dephosphorylation이 급속히 진행되어 무자극보다 ATP분해가 빨라져 완전경적에 도달하는 시간도 단축된다는 보고 (Knos and Taylor, 1987)와 일치하였다. 또한 Calkins et al. (1982)도 전기자극에 의한 ATP분해정도를 실험하여 상기와 유사한 결과를 발표하고 있다.

### 3. 유산량의 변화

Fig. 5에 전기자극 시간에 따른 유산축적량의 변화를 나타내었다. 처사직후의 유산량은 즉살에서는 9.63 μmole/g, 전기자극 15초에서는 34.2μmole/g, 전기자극 35초에서는 45.0μmole/g, 그리고 전기자극 60초에서는 48.9μmole/g으로, 전기자극 전처리가 근육중에 유산량을 급격히 증가시킴을 알 수 있었다. 그리고, 전기자극 시간이 길어질수록 유산 축적량이 최대로 되는데 걸리는 시간이 짧았다. 즉, 60초 전기자극에서는 3시간, 35초 전기자극에서는 7시간, 그리고 15초 전기자극에서는 11시간 저장후에 최고값에 도달하였다. 또한, 유산 축적의 반응속도상수는 전기자극 15초에서는

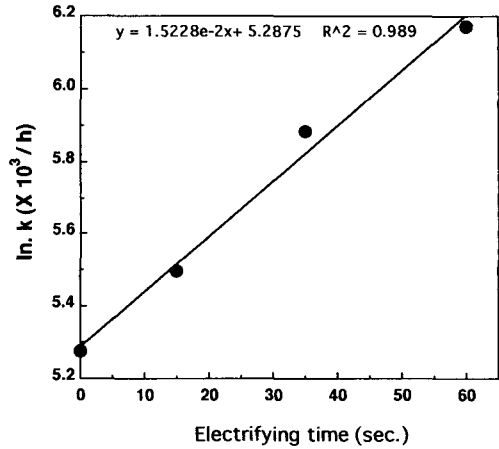


Fig. 4. Arrhenius plot of ATP changes by various electrifying treatments.

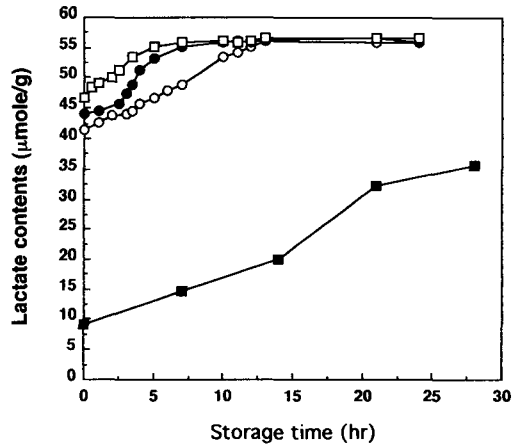


Fig. 5. Changes in contents of lactate in the plaice muscle treated by electrical stimulation(110V/60Hz) during storage at 5°C. symbols are the same as Fig. 1.

1.171hr<sup>-1</sup>, 전기자극 35초에서는 1.392hr<sup>-1</sup>, 전기자극 60초에서는 1.635hr<sup>-1</sup>, 그리고 즉살에서는 0.534hr<sup>-1</sup>의 값을 나타내었다. Fig. 6에 전기자극시간에 따른 유산의 축적을 Arrhenius plot으로 나타내었다. 회귀직선의 결정계수는 0.981로 높은 상관성이 인정되었다. 전기자극시간이 길어질수록 유산의 축적속도가 빠르고 최대 축적량도 높은 결과는, 우육의 경우 전기자극에 의하여 ATP분해가 촉진되어서 급속한 해당작용의 진행으로 유산축적과 pH저하가 빠르다는 보고들

(Carse, 1973; Cross, 1979)과 일치하였다. 또, ATP의 완전분해 시간과 유산의 최대축적 시간은 각각 전기 자극 15초에서는 16시간과 11시간, 전기자극 35초에서는 11시간과 7시간, 전기자극 60초에서는 5시간과 3시간, 그리고 즉살에서는 36시간과 33시간으로, 전처리구에서 ATP의 완전분해시간이 유산의 최대 축적시간보다 약간 길어진 결과를 나타내었는데, 이러한 결과는 유산의 축적과 ATP분해와는 깊은 상관관계를 가진다는 보고 (Ando et al., 1991)와 일치하였다.

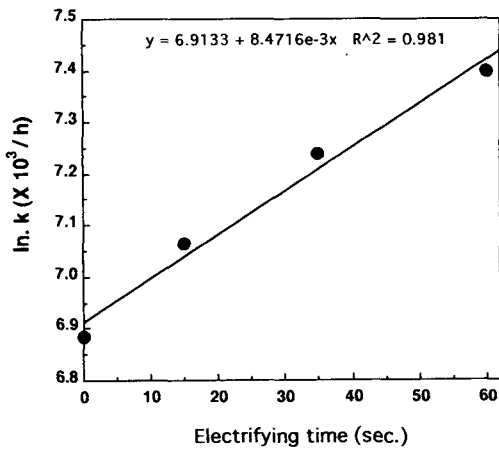


Fig. 6. Arrhenius plot of lactate changes by various electrifying treatments

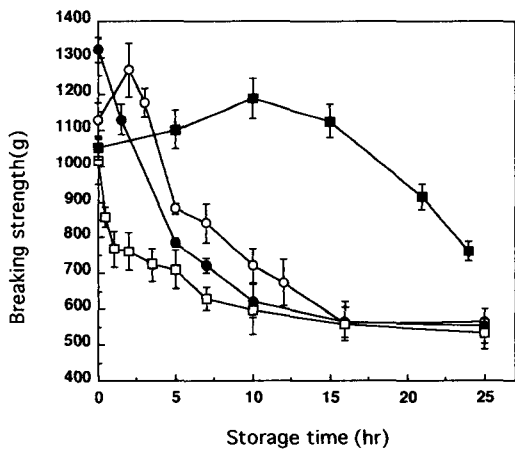


Fig. 7. Changes in breaking strength of the plaice muscle treated by electrical stimulations (110V/60Hz) during storage at 5°C. Symbols are the same as Fig. 1.

#### 4. 파괴 강도의 변화

Fig. 7에 전기자극 시간에 따른 어육의 파괴강도의 변화를 나타내었다. 치사직후의 파괴강도는 즉살에서  $1050.30 \pm 50.23g$ , 15초 전기자극에서  $1123 \pm 20.76g$ , 35초 전기자극에서  $1357.68 \pm 22.50g$ , 그리고 60초 전기자극에서  $1012.18 \pm 57.36g$ 의 값으로, 35초 전기자극시에 파괴강도가 가장 높았고 전기자극 시간이 이보다 짧거나 길어도 그 값은 적었다. 또한, 즉살 및 15초 전기자극시에는 치사직후보다 5°C에서 일정시간 저장 후에 그 값이 최고값에 도달함을 나타내고 있다. 파괴강도가 최고값에 도달하는 시간과 그 값은 즉살 및 15초 전기자극에서 각각 10시간과  $1171.18 \pm 37.25g$ , 그리고 2시간과  $1264.43 \pm 35.76g$ 이었다. 파괴강도가 최고값에 도달한 후에는 즉살시료는 그 값이 서서히 감소하였으나, 15초 전기자극시킨 경우는 즉살시료보다 빨리 저하하였다. 한편, 35초 전기자극에서는 치사직후에 육의 파괴강도가 즉살보다 약 29% 상승하였으며, 60초 전기자극에서는 저장기간을 통하여 파괴강도의 상승은 관찰되지 않았다. 그리고, 치사직후부터 육의 파괴강도가 급격히 감소하였으며, 60초 전기자극의 경우가 더 빨랐다. 육의 파괴강도가 최고값에 도달한 이후의 감소속도 상수를 Fig. 8에 나타내었다. 즉살시  $11.61hr^{-1}$ , 15초 전기자극시  $27.47hr^{-1}$ , 35초 전기자극시  $29.31hr^{-1}$ , 그리고 60초 전기자극에서는

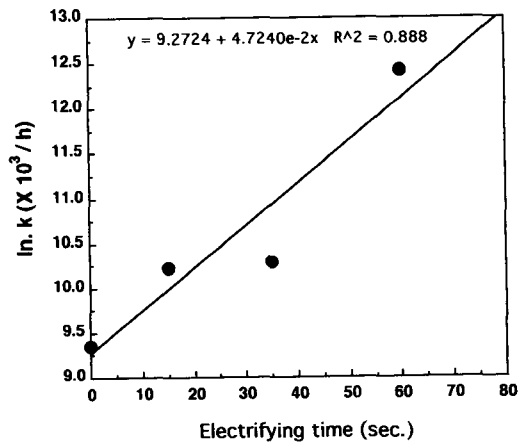


Fig. 8. Arrhenius plot of breaking strength decrease by various electrifying treatments.

248.61hr<sup>-1</sup>를 나타내었으며, 속도상수의 회귀직선에 대한 결정계수는 0.981로 높은 상관성이 인정되었다.

35초간 전기자극 시킨 경우, 육의 파괴강도가 즉살보다 약 29% 상승하였는데, 이러한 결과는 Cho and Lee (1994)가 발표한 바와 같이 collagen의 취약화에 의한 background toughness의 저하가 일어나지 않은 상황에서 전기자극에 의한 급속한 ATP분해로 actin과 myosin의 상호결합이 가속화되어 actomyosin toughness가 상승한 결과로 생각되어진다. 그리고, 15초 전기자극의 경우 파괴강도가 2시간 저장 후에 최대로 되는 것은 actomyosin toughness를 최대로 할 수 있는 ATP의 분해를 35초 전기자극만큼 충분히 가속화시키지 못하기 때문에, 전기자극 후 일정시간이 경과한 후에 파괴강도가 최대로 된 것으로 추측된다. 한편, 60초 전기자극의 경우 치사직후부터 그 값이 즉살보다 저하한 결과는, ATP분해의 가속화에 의하여 actomyosin toughness는 최대로 되지만 background toughness를 나타내는 collagen matrix가 긴시간의 전기자극이 원인이 되어서 취약화되기 때문으로 추측된다. 이와 같은 결과는 우육의 전기자극시에 결합조직의 주요성분인 collagen의 미세구조가 빠르게 파괴되어서 연화가 촉진된다는 보고들 (Cross et al., 1979; Savell et al., 1979; Cho et al., 1994)과 일치하며, 또, Miller et al. (1987)도 우육을 전기자극시키면 proteolytic (lysosomal)효소의 활성은 높아지고 강한 수축작용에 의하여 일부의 fiber structure 파괴가 일어나서 연화가 개선된다고 보고하고 있다.

## 요 약

횡감용 활어의 육질을 향상시키는 새로운 방법을 개발하기 위한 기초연구로서, 전기자극 처리가 사후 초기의 횡감용 어육의 물리화학적 및 물성적 변화에 미치는 영향에 대하여 검토한 결과는 다음과 같다.

전기자극시킨 경우에 사후경직의 진행이 촉진되었으나, 전기자극 시간에 따른 사후경직 진행속도에는 큰 차이가 없었다. 한편, 전기자극 시간이 길어질수록 최고 경직 이후의 저하속도가 빨랐다.

치사직후의 어육 중의 ATP함량은 즉살에서 가장 높았으며, 전기자극 시간이 길어질 수록 ATP분해는

촉진되었다. ATP가 완전히 분해되는 시간은 전기자극 15초에서 16시간, 전기자극 35초에서 11시간, 전기자극 60초에서 5시간, 그리고 즉살에서 32시간이었다. 또, 분해속도 상수는 각각 0.244hr<sup>-1</sup>, 0.358hr<sup>-1</sup>, 0.479hr<sup>-1</sup>, 0.195hr<sup>-1</sup>이었다.

어육 중의 유산량도 전기자극시키므로써 그 값이 급격히 증가하였으며, 전기자극시간이 길어질수록 유산 축적량이 최대로 되는 시간이 짧았다. 유산 축적의 반응속도 상수는 15초 전기자극에서 1.171hr<sup>-1</sup>, 35초 전기자극에서 1.392hr<sup>-1</sup>, 60초 전기자극에서는 1.635hr<sup>-1</sup>, 그리고 즉살에서는 0.534hr<sup>-1</sup>이었다.

즉살시킨 경우의 치사직후의 파괴강도는 1050.30 ± 50.23g이었으며, 파괴강도가 최고값에 도달하는 시간과 그 값은 각각 15초 전기자극에서 2시간과 1264.43 ± 35.76g, 35초 전기자극에서 0시간과 1357.68 ± 22.50g이었다. 한편, 60초 전기자극에서는 치사직후에 1012.18 ± 57.36g으로 즉살보다 그 값이 낮았다. 그리고, 전기자극시간이 길수록 최고값에 도달한 후의 파괴강도의 저하속도가 빨랐다.

## 참 고 문 헌

- Ando, M., H. Toyohara, Y. Shimizu and M. Sakaguchi. 1991. Post-mortem tenderization of fish muscle proceeds independently resolution of rigor mortis. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 1165~1169.
- Barker, S. B. and W. H. Summerson. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Food Sci.*, 138, 538~542.
- Bito, M., K. Yamada, Y. Mikumo and K. Amano. 1983. Studies on the rigor mortis of fish-I. Difference in the mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified cutting's method. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, 109, 89~94.
- Calkins, C. R., T. R. Dutson, G. C. Smith and I. L. Carpenter. 1982. Concentration of creatine phosphate, adenosine nucleotides and their derivatives in electrically stimulated and nonstimulated beef muscle. *J. Food Sci.*, 47, 1350~1353.

- Carse, W. A. 1973. Meat quality and the acceleration of postmortem glycolysis by electrical stimulation. *J. Food Tech.*, 8, 163~168.
- Cho, Y. J. and Y. Y. Kim. 1993. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle. 2. Temperature dependency on physicochemical and rheological properties. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 26, 1~7. (in Korean)
- Cho, Y. J. and K. W. Lee. 1994. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle. 5. Effect of storage temperature on morphological changes of myofibrils and histological changes of muscle. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27, 114~120. (in Korean)
- Cho, Y. J., N. G. Lee, Y. Y. Kim, J. H. Kim, K. W. Lee, G. B. Kim and Y. J. Choi. 1994. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle. 6. Effect of killing methods on morphological changes of myofibrils and histological changes of muscle. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27, 327~334. (in Korean)
- Cross, H. R. 1979. Effect of electrical stimulation on meat tissue and muscle properties-a review. *J. Food Sci.*, 44, 509~514.
- Fleming, J. R., T. Crockford, J. D. Altringham and I. A. Jhonston. 1990. Effect of temperature acclimation on muscle relaxation in the carp: A mechanical, biochemical, and ultra structural study. *J. Exp. Zool.*, 255, 286~290.
- Iwamoto, M. H. Yamanaka, S. Watabe and K. Hashimoto. 1987. Effect of storage temperature on rigor-mortis and ATP degradation in plaice *Paralichthys olivaceus* muscle. *J. Food Sci.*, 52, 1514~1517.
- Johnston, I. A. and T. W. Moon. 1980. Exercise training in skeletal muscle of brook trout. *J. Exp. Biol.*, 87, 177~194.
- Kim, J. H., N. G. Lee, Y. Y. Kim, K. W. Lee and Y. J. Cho. 1993. 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. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 26, 403~408. (in Korean)
- Kim, Y. Y. and Y. J. Cho. 1992. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle. 1. Relationship between early changes after death and temperature dependency. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25, 189~196. (in Korean)
- Knos, A. C. and D. G. Taylor. 1987. Effect of electrical stimulation and temperature on biochemical changes in beef muscle. *Meat Sci.*, 19, 207~216.
- Lawlis, T. L., R. F. Plimpton, H. W. Ockerman and N. A. Parrett. 1992. Electrical stimulation tumbling affect pre-rigor cured, sectioned and formed ham roasts. *J. Food Sci.*, 57, 564~568.
- Miller, M. F., Cross, H. R. and Buyck, M. J. 1987. Bovine longissi-mus dorsi muscle glycogen and color response as affected by dietary regimen and post-mortem electrical stimulation in young bulls. *Meat Sci.*, 19, 253~257.
- 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.
- Savell, J. W., G. C. Smith, Z. L., Carpenter and F. C. Jr. Parrish. 1979. Influence of electrical stimulation on certain characteristics of heavy weight beef carcasses. *J. Food Sci.*, 44, 911~915.
- 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.
- Watabe, S., H. Ushio, M. Iwamoto, H. Yamanaka and K. Hashimoto. 1989. Temperature-dependency of rigor-mortis of fish muscle: Myofibrillar  $Mg^{2+}$ -ATPase activity and  $Ca^{2+}$  uptake by sarcoplasmic reticulum. *J. Food Sci.*, 54, 1107~1115.
- 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 de-  
lay-chilled bovine muscle. J. Food Sci., 44, 16  
46~1648.

---

1994년 10월 28일 접수

1995년 1월 5일 수리