

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

## 2. 물리 화학적 및 물성적 특성의 온도 의존성

조영제 · 김육용

부산수산대학교 식품공학과

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

## 2. Temperature Dependency on Physicochemical and Rheological Properties

Young-Je CHO and Yuck-Yong KIM

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

To clarify the effect of storage temperature on the physicochemical and rheological properties of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle, the changes in IMP accumulation rates, rigor index, breaking strength and K-value of muscle during storage at 0°C, 5°C and 10°C were studied.

The maximum speed and content of IMP accumulation were showed in sample stored at 0°C among the all samples. The content and time reached around the maximum IMP accumulation for each samples were 6.94 μmole/g and 30hrs for samples stored at 0°C, 6.30 μmole/g and 31.5hrs for 5°C samples and 5.40 μmole/g and 45hrs for 10°C samples, respectively.

Values of breaking strength in sample stored at 5°C increased rapidly than samples at 0°C showed maximum values after 10hrs. However, In case of fresh flesh stored at 10°C, there was no increase of breaking strength during storage. The breaking strength was not closely related with rigor index.

The times reached around 5% K-value which is representative excellent freshness index of sashimi were 14hrs for samples stored at 0°C, 13hrs for 5°C samples and 4hrs for 10°C samples.

From the results above, it was suggested that the storage at low temperature(0°C~5°C) was effective in increase the IMP contents and breaking strength, and maintenance the high-freshness of fresh plaice flesh at early periods after death.

### 서 론

어육의 사후 초기에 일어나는 사후 경직 현상의 진행과 근육중에 존재하는 ATP 분해 속도와의 사이에는 밀접한 상관 관계가 있으며(Iwamoto *et al.*,

1988; Watabe *et al.*, 1991), 또 이들은 일정한 온도 의존성을 나타낸다(김·조, 1992). 사후 경직 개시 시점에서 씹을 때의 저작(咀嚼) 특성이 가장 좋지만 어체의 사후 경직도와 어육의 경도는 일치하지 않으며, 이 시점에서부터 결합 조직의 주요 성분인

collagen이 붕괴되어 어육의 연화가 진행된다고 보고(Ando *et al.*, 1982a, b; Sato *et al.*, 1986; 畑江 등, 1986)되어 있고, 최근에는 저작 특성의 지표로서 파괴 강도(breaking strength)가 가장 좋으며 그 값은 판능 검사와 깊은 상관 관계가 있음이 보고(Ando *et al.*, 1991b)되고 있다. 또, 어육의 정미 성분의 주체로서 glutamic acid와 상승 작용을 하여서 감칠맛(Umami)을 향상시키는 IMP는 저장 온도가 낮을 수록 그 축적 속도가 빨라 축적량이 많아진다는 Bito *et al.*(1983)의 보고가 있다.

본 연구에서는 즉살 초기에 회의 맛을 향상시키고, 그 맛을 일정 시간 유지시킬 수 있는 방법을 검토하기 위하여, 즉살시킨 넙치를 각종 온도에 저장하면서 사후 조기의 물리 화학적 및 물성적 변화의 온도 의존성에 대하여 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재 료

넙치(Plaice, *Paralichthys olivaceus*: 체장 25~30 cm, 체폭 12~14cm, 체고 2~3cm, 체중 500~600g, 양식 1년생)를 둔덕 수산(경남 거제군 소재)에서 활어 상태로 실험실로 운반하여 전보(김·조, 1992)와 같은 방법으로 즉살시킨 후에 0℃, 5℃ 및 10℃에 저장하면서 시료로 사용하였다.

### 2. IMP 함량, K-value 및 경직도의 측정

각종 온도에 일정 기간 저장한 시료에 대하여 전보와 같은 방법으로 측정하였다.

### 3. 파괴 강도의 측정

Ando *et al.*(1991a)의 방법에 따라서 넙치 등육을 Table 1과 같은 조건으로 측정하였다. 즉, 넙치를

Table 1. Condition employed for breaking strength profiles measurement of plaice muscle

Instrument	Instron model 1011, U.S.A.
Sample thickness	10mm <sup>a</sup>
Cylindrical plunger	8mm <sup>b</sup> in diameter
Crosshead speed	1mm/sec
Load cell	2,000g
Chart speed	10mm/min

a: Simulated a slice of "sashimi"

b: Simulated the molar tooth

밀면이 평평하게 필렛(fillet)하여 4×4×1cm 크기의 정사각형 칼집으로 육을 위에서 찍은 후에, 칼집위로 돌출한 부분을 잘라내어 육의 두께를 1cm로 균일하게 하여 측정 시료로 사용하였다. 파괴 강도값은 직경 8mm cylinder plunger를 사용하였으며, 속도 60mm/min때의 최고값을 측정하였다. 실험 결과값은 4~8회 측정하여 평균 ± 표준 편차(mean ± S.D.)로 나타내었다.

## 결과 및 고찰

### 1. IMP 축적의 온도 의존성

Fig. 1에 즉살한 넙치육을 0℃, 5℃ 및 10℃에 저장하는 동안의 IMP의 변화량을 나타내었다. IMP의 최대 축적 시간과 그때의 함량은 0℃ 저장에서 각각 30시간과 6.94 μmole/g, 5℃ 저장에서 31.5시간과 6.30 μmole/g 그리고 10℃ 저장에서 45시간과 5.40 μmole/g으로, 저장 온도가 낮을 수록 IMP의 생성 속도가 빨랐으며 최대 축적량도 많았다. 축적된 IMP는 10℃에서는 45시간 이후에 감소하였으며, 5℃ 및 0℃ 저장에서는 65시간까지 거의 일정하게 유지되었다. 그리고 각종 온도에서의 IMP 생성 속도 상수는 0℃ 0.209h<sup>-1</sup>, 5℃ 0.165h<sup>-1</sup> 그리고 10℃ 0.128h<sup>-1</sup>의 값을 나타내었다. 이상과 같이 사후 조기의 IMP의 변화는 저장 온도가 낮을 수록 생성

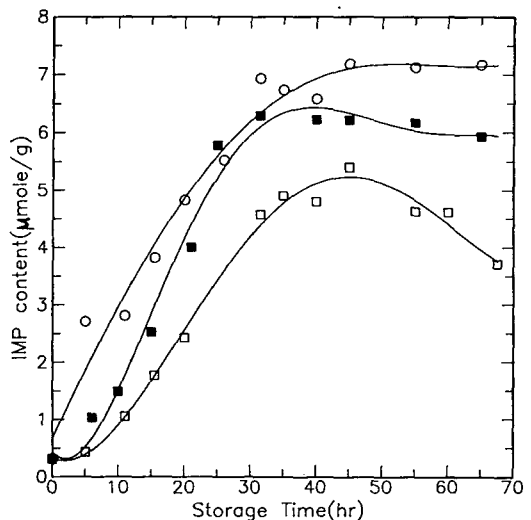


Fig. 1. Changes in content of IMP in plaice muscle during storage at 0℃(○), 5℃(■) and 10℃(□).

속도가 빠르고 최대 축적량이 높았으며 분해 속도도 지연되었는데, 이러한 결과는 IMP 함량의 증가는 AMP의 탈아미노 반응이 저온에서도 용이하게 진행되지만 IMP의 탈인산 반응은 저온에서 꽤 늦어지므로, 저온일 수록 IMP의 축적이 촉진되어 축적량이 많아진다는 Bito *et al.*(1983)의 보고와 일치하였다.

Fig. 2에 여러 온도에서 넙치육중의 IMP의 축적 속도를 Arrhenius식을 이용하여 나타내었는데, IMP 축적은 0℃에서 가장 빠르게 진행되었으며 다음으로 5℃, 10℃ 순으로, 저온일 수록 촉진되었다. 0℃~10℃ 영역에서의  $Q_{10}$ 값은 0.908, 활성화 에너지(activation energy)는 -7.537Kcal/mole이었다.

이상의 결과로 부터, 즉살 직후 넙치육중의 IMP 함량을 높이기 위해서는 0℃ 부근의 저온에 보관하는 것이 좋으며 IMP가 glutamic acid와의 상승 작용을 하여 즉살 직후보다는 맛(味覺)이 향상될 것으로 생각된다.

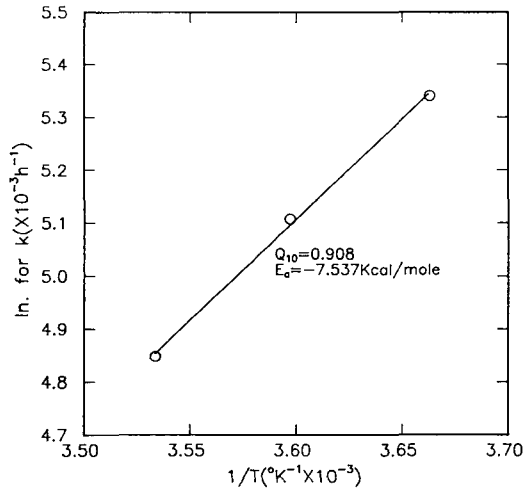


Fig. 2. Arrhenius plot of IMP accumulation rates at various temperature.

2. 파괴 강도와 사후 경직도의 변화

즉살한 넙치를 0℃에 저장하는 동안의 파괴 강도와 사후 경직도의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 즉살 직후의 파괴 강도값과 사후 경직도는 각각 1,050 ± 32.95g(mean ± S.D.)과 0%였으며, 시간의 경과와 더불어 파괴 강도값은 빠르게 증가하여 10시간 후에 최대값 1,221.57 ± 36.69g에 도달하였고 이때의 경직도는 12.51%로 경직 초기였다. 이후 경직

도의 급격한 증가와 함께 파괴 강도값도 급격히 저하하였으며 20시간후에 592.14 ± 16.47g에 도달하였으며 그때의 경직도는 59.21%를 나타내었다. 20시간 이후부터 65시간까지 파괴 강도값은 거의 일정하게 유지되었으나 사후 경직도는 30시간후에 93.6%로 완전 경직에 도달하였고, 65시간까지 완만하게 감소하였다. 5℃ 저장에서도 0℃ 저장과 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 4). 즉, 10시간후의 파괴 강도값은 1,186.29 ± 55.90g이었으며 이후에 경직도의 증가와 함께 저하하여 25시간후에는 762.57 ± 28.48g의 값을 나타내었고 이때 경직도는 25.91%였다. 최대 경직도(85%)를 나타내는 35시간후의

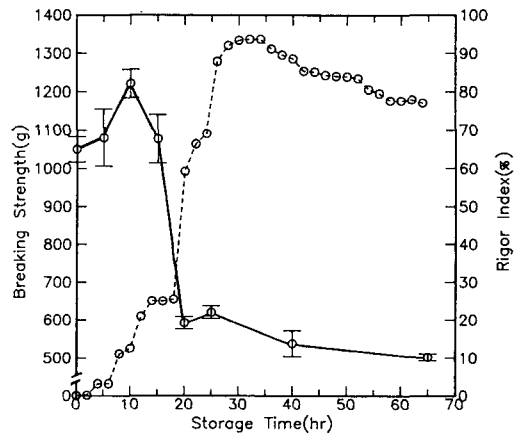


Fig. 3. Changes in breaking strength(—) and rigor index(---) of plaice muscle during storage at 0℃.

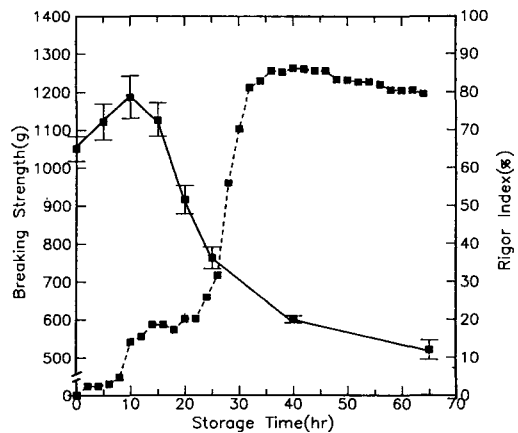


Fig. 4. Changes in breaking strength(—) and rigor index(---) of plaice muscle during storage at 5℃.

파괴 강도값은 약 670g였다. 한편 10℃ 저장에서는 0℃ 및 5℃ 저장과 다른 경향을 나타내었다(Fig. 5). 즉, 10시간후의 파괴강도값은 1,068.57 ± 36.11g으로 즉살 직후의 값과 비슷하였으며, 이후 65시간까지 다른 저장 온도에 비교하여 완만하게 감소하였다. 어체의 사후 경직 개시 시간은 14시간후였으며 이때의 파괴 강도값은 1,007.86 ± 49.69g이었다. 한편, 어체의 완전 경직 도달 시간과 경직도는 각각 52시간과 65.4%로, 다른 저장 온도에 비교하여 가장 낮은 경직도를 나타내었고 증가 속도도 완만하였다.

이상의 결과와 같이, 넙치를 각종 온도에서 저장하는 동안의 육의 파괴 강도와 사후 경직도 사이에는 일정한 상관 관계가 관찰되지 않았으며, 다만 경직 개시 전후에 파괴 강도값이 최대로 됨을 알 수 있었다. 豊原 · 志水(1988)는 일반적으로 경직된 어체는 육이 단단할 것이라고 추측되지만 어체의 사후 경직도와 어육의 경도(단단함)는 일치하지 않는다고 보고하였고, Ando *et al.*(1991c)도 어육의 연화는 어체의 사후 경직과 달리 저장 초기에 일어난다고 하였고, 岡 등(1990)은 어체의 사후 경직도와 어육의 경도 사이에는 상관 관계가 없으며 서로 다른 요인에 의하여 진행된다고 보고하였다. 또한, 豊原 · 志水(1988)는 태파어(tilapia)를 시료로 어체의 사후 경직도와 육의 파괴 강도를 비교한 결과, 병장시에 완전 경직 도달 시간과 파괴 강도가 최대값에 도달하는 시간이 일치하지 않았다고 보고하고 있으며, 본 실험의 결과도 이런 보고들과 유사하였다.

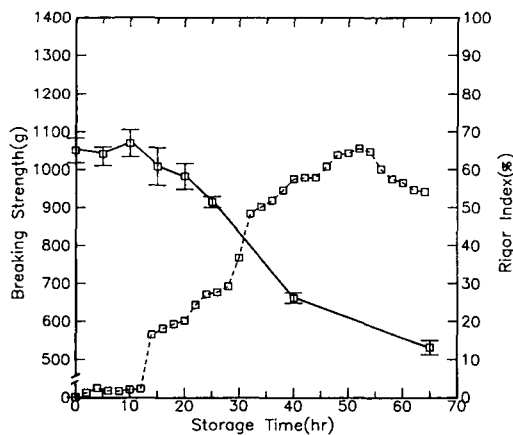


Fig. 5. Changes in breaking strength(—) and rigor index(---) of plaice muscle during storage at 10℃.

### 3. 각종 저장 온도에서의 파괴 강도의 변화

즉살한 넙치를 각종 온도에 저장하는 동안의 파괴 강도의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 즉살 직후의 파괴 강도값은 1,050.00 ± 32.95g이었으나 0℃ 저장에서 파괴 강도값은 급속히 증가하여 10시간후에 최대값 1,221.57 ± 36.69g으로 다른 저장 온도보다 높은 값을 나타내었으며, 15시간후의 값은 1,077.29 ± 63.38g으로 즉살 직후와 비슷하였다. 최고값에 도달한 후의 저하 속도는 다른 온도보다 빨랐으며 20시간후에 592.14 ± 16.47g으로 되었다. 한편, 5℃ 저장에서는 5시간후에 0℃보다 높은 1,121.14 ± 47.26g의 값이었고, 최대값은 10시간후의 1,186.29 ± 55.90g으로 0℃보다 낮은 값을 나타내었으나 15시간후에는 1,121.14 ± 47.26g의 값으로 0℃보다 높았으며, 즉살 직후보다도 높았다. 또, 15시간 이후의 감소 속도는 0℃보다는 늦었으나 10℃보다는 빨랐다. 한편, 10℃ 저장에서는 10시간까지 파괴 강도값은 1,068.57 ± 36.11g으로 거의 일정하게 유지되었으며, 이후 다른 저장 온도보다 극히 완만하게 감소하였다. 각종 저장 온도에서의 파괴 강도의 최대값은 0℃에서 1,221.57 ± 36.69g, 5℃에서 1,186.29 ± 55.90g 그리고 10℃에서 1,068.57 ± 36.11g으로 0℃에서 가장 높은 값을 나타내었으며 다음으로 5℃ 및 10℃순으로 저장 온도가 높을 수록 파괴 강도의 최대값은 낮았다. 그리고, 파괴 강도가 최대값에 도달한 이후의 저하 속도는 0℃, 5℃, 10℃의 순으로 저장 온도가 낮을 수록 급속하였다. 즉, 즉살 직후부터 파괴 강도가 최대값에 도달하는 증가 속도 상수는 0℃에서 17.15h<sup>-1</sup>, 5℃에서 13.629h<sup>-1</sup> 그리고 10℃에서 1.860h<sup>-1</sup>였으며, 최대값에 도달한 이후의 저하 속도 상수는 0℃에서 62.943h<sup>-1</sup>, 5℃에서 20.467h<sup>-1</sup> 그리고 10℃에서 13.599h<sup>-1</sup>의 값을 나타내었다.

어육의 사후 연화 기구에 대해서는 Z선의 붕괴 (Seki and Tsuchiya, 1991; Tachibana and Tsuchimoto, 1990; Goll *et al.*, 1983), actin과 myosin 사이의 결합의 약화(豊原 · 志水, 1988; Goll *et al.*, 1983; Parrish and Lusby, 1983), 탄성 단백질인 connectin의 분해(Seki and Watanabe, 1984) 그리고 결합 조직의 약화(畑江 등, 1989) 등으로 설명되고 있으나, 현재의 단계에서는 어느 것도 완전한 설명은 불가능하다. 조직의 연화에 관련한 최근의 보고들은 결합 조직의 주요 성분인 collagen이 어육의 경도에 중요한 역할을 하며(Sato *et al.*, 1986; 畑江 등, 1986), 또한 어육의 연화 과정 중에 근원 섬유내에 분자량이 38kDa인 물질의 발현이 사후 연화와 관

게가 있을 것이라는 보고(Toyohara *et al.*, 1990; Goll *et al.*, 1983; Parrish and Lusby, 1983)가 있으며, Bremner and Hallet(1985, 1986) 및 Hallet and Bremner(1988)는 어육을 저장하는 동안 근섬유와 근섬유 사이에 존재하는 섬유상 collagen의 미세 구조의 분해를 확인한 결과, 미세 구조의 분해는 어육의 연화를 일으키게 된다고 하였다. Ando *et al.* (1992a, b)이 무지개 송어에 대하여 실험한 결과에 의하면, 어육의 사후 연화는 Z선의 붕괴보다는 collagen 섬유의 붕괴때문에 일어나고 결합 조직 사이의 collagen 섬유의 배열 구조와 굵기는 파괴 강도값에 영향을 미친다고 보고하였다. 또, 어육을 저온에 저장하는 동안에 근섬유의 수축으로 인하여 근육중의 물리적 강도가 증가되어 collagen 섬유가 붕괴되고 이로 인하여 육은 점차 연화하게 된다는 보고(Ando *et al.*, 1992a; Ando *et al.*, 1991b)가 있으며, 어육의 collagen중에는 type I 과 V의 서로 다른 두가지 형태가 존재하며(Sato *et al.*, 1988; Sato *et al.*, 1989) 이들 중에서 어육의 연화에는 type V가 관여한다고 Sato *et al.*(1991)은 보고하였다.

본 실험의 결과에서 저온에 저장한 어육일 수록 파괴 강도의 최고값이 크고 그 값의 감소 속도가 빠른 것은, 저온 저장한 것일 수록 경직이 촉진되고 경직도도 크므로 경직중에 결합 조직사이의 collagen 섬유의 붕괴가 빨리 일어났기 때문으로 추측된다.

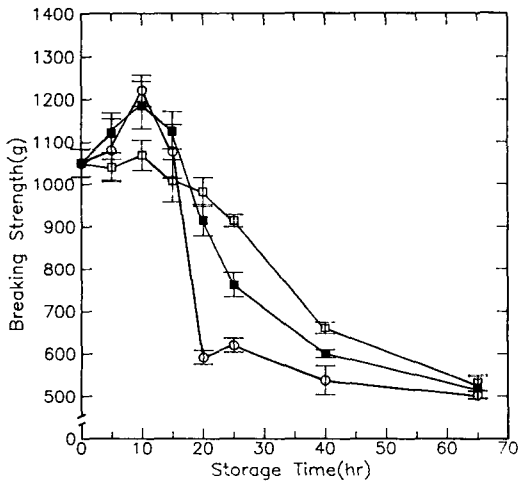


Fig. 6. Changes in breaking strength of plaice muscle during storage at 0°C(○), 5°C(■) and 10°C(□).

#### 4. K값의 변화

즉살한 넙치 근육을 각종 온도에 저장하는 동안 K값의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 10°C 저장에서는 저장 초기부터 급격히 증가하여 4시간후에 5%에 도달하였고, 5°C에서는 13시간후에, 0°C에서는 14시간후에 이 값에 도달하였다. 사후 경직 개시 시점에서 각 저장 온도에서의 K값을 비교해 보면 0°C(8시간)에서 2%, 5°C(10시간)에서 2.1%, 그리고 10°C(14시간)에서 약 15%의 값을 나타내었다. 또, 완전 경직시의 K값은 0°C에서 8.5%, 5°C에서 14.2% 그리고 10°C에서 36.6%로 뚜렷한 온도 의존성을 나타내었으며, 파괴 강도값이 가장 높은 10시간후의 K값은 0°C 4.1%, 5°C 5.4% 그리고 10°C 11.4%로 높은 신선도를 나타내었다. 그리고, 15시간후의 K값은 0°C 4.4%, 5°C 6.4% 그리고 10°C 15.8%였다.

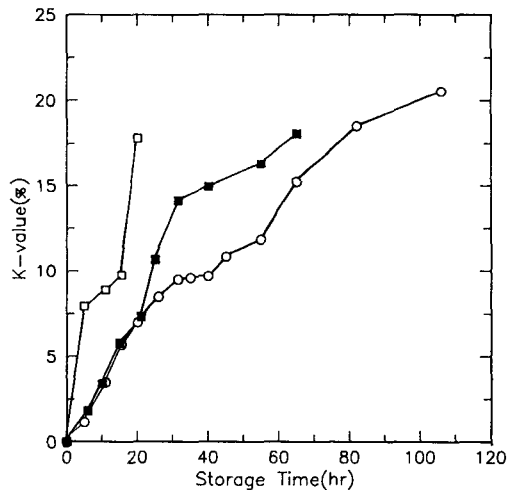


Fig. 7. Changes in K-value of plaice muscle during storage at 0°C(○), 5°C(■) and 10°C(□).

#### 요 약

즉살 어육을 여러 온도에 저장하면서 사후 초기의 물리 화학적 및 물성 변화의 온도 의존성에 대하여 검토한 결과는 다음과 같다.

1. IMP의 최대 축적 시간과 함량은 0°C에서 30시간과 6.94  $\mu\text{mole/g}$ , 5°C에서 31.5시간과 6.30  $\mu\text{mole/g}$  그리고 10°C에서 45시간과 5.40  $\mu\text{mole/g}$ 으로 IMP 축적은 저장 온도가 낮을 수록 빠르게 진행되었으며 최대 축적량도 높았다.
2. IMP 생성 속도 상수는 0°C 0.209h<sup>-1</sup>, 5°C 0.165h<sup>-1</sup>

그리고  $10^{\circ}\text{C}$   $0.128\text{h}^{-1}$ 였으며,  $Q_{10}$ 값은 0.908, 활성화 에너지( $E_a$ )는  $-7.537\text{Kcal/mole}$ 였다.

3. 어육의 파괴 강도와 어체의 사후 경직도 사이의 상관 관계는 없었으며, 사후 경직 개시기 전후부터 파괴 강도값의 저하가 진행되었다.

4. 각종 저장 온도에서 파괴 강도의 최대값은 10시간 저장후에  $0^{\circ}\text{C}$ 에서  $1,221.57 \pm 36.69\text{g}$ ,  $5^{\circ}\text{C}$ 에서  $1,186.29 \pm 55.90\text{g}$  그리고  $10^{\circ}\text{C}$ 에서  $1,068.57 \pm 36.11\text{g}$ 으로 저온일 수록 최대값이 높았으며, 저하 속도도 빨랐다.

5. 신선도 지표인 K값이 5%에 도달하는 시간은  $0^{\circ}\text{C}$  14시간,  $5^{\circ}\text{C}$  13시간 그리고  $10^{\circ}\text{C}$  4시간으로 저온에서 연장되었다.

## 참 고 문 헌

- Ando, M., H. Toyohara and M. Sakaguchi. 1992a. Post-mortem tenderization of rainbow trout muscle caused by the disintegration of collagen fibers in the pericellular connective tissue. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58(3), 567~570.
- Ando, M., H. Toyohara and M. Sakaguchi. 1992b. Three-dimensional structure of collagen fibrillar network of pericellular connective tissue in association with firmness of fish muscle. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58(7), 1361~1364.
- Ando, M., H. Toyohara, Y. Shimizu and M. Sakaguchi. 1991a. Post-mortem tenderization of fish muscle proceeds independently of resolution of rigor mortis. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57(6), 1165~1169.
- Ando, M., H. Toyohara, Y. Shimizu and M. Sakaguchi. 1991b. Validity of a puncture test for evaluating the changes in muscle firmness of fish during ice storage. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57(12), 2341.
- Ando, M., H. Toyohara, Y. Shimizu and M. Sakaguchi. 1991c. Post-mortem tenderization of rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*) muscle caused by gradual disintegration of the extracellular matrix structure. *J. Sci. Food Agric.*, 55, 589~597.
- 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. Res. Lab.*, No. 109, 89.
- Bremner, H. A. and I. C. Hallet. 1986. Muscle fiber-connective tissue junctions in the spotted trevalla(*Seriola punctata*). *J. Sci. Food Agric.*, 37, 1011~1018.
- Bremner, H. A. and I. C. Hallet. 1985. Muscle fiber-connective tissue junction in the fish blue grenadier(*Macruronus novaezelandiae*). *J. Food. Sci.*, 50, 975~980.
- Goll, D. E., Y. Otsuka, P. A. Nagainis, J. D. Shannon, S. K. Sathe and M. Muguruma. 1983. Role of muscle proteinases in maintenance of muscle integrity and mass. *J. Food Biochem.*, 7, 137~177.
- Hallet, I. C. and H. A. Bremner. 1988. Fine structure of the myocommata-muscle fiber junction in hoki(*Macruronus novaezelandiae*). *J. Sci. Food Agric.*, 44, 245~261.
- Iwamoto, M., H. Yamanaka, H. Abe, H. Ushio, S. Watabe and K. Hashimoto. 1988. ATP and creatine phosphate breakdown in spiked plaice muscle during storage, and activities of some enzymes involved. *J. Food. Sci.* 53, 1162~1165.
- Parrish, JR. F. C. and M. L. Lusby. 1983. An overview of a symposium on the fundamental properties of muscle proteins important in meat science. *J. Food Biochem.*, 7, 125~135.
- Sato, K., C. Ohashi, K. Ohtsuki and M. Kawabata. 1991. Type V collagen in trout(*Salmo gairdneri*) muscle and its solubility change during chilled storage of muscle. *J. Agric. Food Chem.*, 39, 1222~1225.
- Sato, K., R. Yoshinaka, Y. Itoh and M. Sato. 1989. Molecular species of collagen in the intramuscular connective tissue of fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, 92B, 87~91.
- Sato, K., R. Yoshinaka, M. Sato, Y. Itoh and Y. Shimizu. 1988. Isolation of Types I and V collagens from carp muscle. *Comp. Biochem. Physiol.*, 90B, 155~158.
- Sato, K., R. Yoshinaka, M. Sato and Y. Shimizu. 1986. Collagen content in the muscle of

- fishes in association with their swimming movement and meat texture. Nippon Suisan Gakkaishi, 52(9), 1595~1600.
- Seki, N. and H. Tsuchiya. 1991. Extensive changes during storage in carp myofibrillar proteins in relation to fragmentation. Nippon Suisan Gakkaishi, 57, 927~933.
- Seki, N. and T. Watanabe. 1984. Connectin content and its post-mortem changes in fish muscle. J. Biochem., 95, 1161~1167.
- Tachibana, K. and M. Tsuchimoto. 1990. Price formation and quality control of mariculture products, in "Suisangaku series" (ed. by K. Hirayama). Vol. 78, Kouseisha Kouseikaku, Tokyo, 48~54.
- Toyohara, H., M. Ando and Y. Shimizu. 1990. Appearance of a 38,000-dalton component possibly associated with the post-mortem tenderization of rainbow trout muscle. Agric. Biol. Chem., 54, 1575~1576.
- 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.
- 김육용·조영제. 1992. 넙치(*Paralichthys olivaceus*)육의 사후 조기 변화. 1. 사후 조기 변화와 온도 의존성의 관계. 한국수산학회지, 25(3), 189~196.
- 岡 弘康·大野一仁·二宮順一郎. 1990. 養殖ハマチの致死條件と冷蔵中における魚肉の硬さとの關係. 日本誌, 56(10), 1673~1678.
- 畑江敬子·李敬姬·土屋降英·島田淳子. 1989. 養殖魚と天然魚のテクスチャー特性について. 日本誌, 55(2), 363~368.
- 畑江敬子·飛松聰子·竹山まゆみ·松本重一郎. 1986. 魚肉の特性とその魚種差に對する結合組織の寄與. 日本誌, 52(11), 2001~2007.
- 豊原治彦·志水 寶. 1988. 魚體の死後硬直現象と魚肉の關係. 日本誌, 54(10), 1795~1798.

---

1992년 10월 27일 접수

1992년 12월 24일 수리