

해수순치한 틸라피아 근육의 사후변화

윤호동 · 김태진 · 김성준 · 이종호*
국립수산진흥원 이용가공연구소 · 경상대학교 식품영양학과*

Postmortem Changes in Muscle of Sea Water Acclimated Tilapia, *Oreochromis niloticus*

Ho-Dong YOON, Tae-Jin KIM, Seong-Jun KIM and Jong-Ho LEE*

Utilization Research Laboratory of National Fisheries Research & Development Agency,
Shirang-ri, Kijang-up, Kijang-gun, Pusan 619-900, Korea

*Dept. of Food Science and Nutrition, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

Cultivated tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the fresh water were acclimated to the sea water to improve palatability of the fish meat. Physicochemical properties in the rigor mortis of those fish meats were investigated during storage at 0°C, 10°C and 20°C. The faster onset of rigor mortis was occurred in acclimated meat than fresh water cultivated meat. Both meats stored at 0°C showed faster rigor mortis than at 10°C and 20°C. Significant difference was not observed between the breaking strength and the rigor index. The breaking strength reached maximum over 12hrs after death and then gradually declined, and the rigor index was slowly increased and reached maximum over 18 hrs after postmortem. Low temperature and acclimation to the sea water affected the degradation of adenosine triphosphate (ATP), accumulation of inosine monophosphate (IMP) or lactate. These results suggest that the palatability of tilapia muscle cultivated in the fresh water could be improved by acclimation to the sea water which induces the prerigor at the early state of postmortem and the physical changes of fish muscle.

Key words : tilapia, rigor mortis, postmortem, ATP, IMP, acclimation, lactate, breaking strength, rigor index

서 론

어류의 사후 경직은 근소포체에서 Ca²⁺ 이온이 방출되어 세포질속으로 유리되면서 ATP의 소실로 인하여 actin과 myosin이 불가역적인 결합으로 점점 actomyosin의 결합을 형성하여 근육이 수축하는 현상을 말하며 (Watabe et al., 1989), 사후 초기에 근육은 물리적으로 탄력이 저하되면서 creatine phosphate, ATP 및 혐기적 해당작용 등의 이화학적인 변화와 함께 경직이 시작된다 (Ando et al., 1991). 사후 경직이 개시되어 해경까지의 소요 시간에 영향을 미치는 요인은 어종, 생리적 조건, 치사 전의 취급 상태, 어체 크기, 경직 중의 취급 및 저장 온도 등을 들 수 있으며, 대

체로 회유성 어종, 산란 직후의 어류, 어획시 피로 정도가 큰 어류, 그리고 대형어보다 소형어가 경직 개시 시간이 빠른 것으로 밝혀져 있다 (Amano et al., 1953; Borgstrom, 1961; Fujimaki and Koji, 1953; Kim and Cho, 1992; Noguchi and Yamamoto, 1955; Partmann, 1954; Iwamoto and Yamanaka, 1986; Iwamoto et al., 1990). 특히 저장 온도는 경직 개시 시간 및 경직 지속 시간을 지배하는 가장 중요한 요인으로 지적되고 있는데, 어종에 따라서 저장온도가 낮을 때 경직의 진행이 늦고, ATP의 분해가 완만한 경우와 고온 저장한 것일수록 경직의 진행이 늦어 경직에 도달하는 시간이 길어지는 경우가 있다 (Yamamoto and Noguchi, 1964; Saito and Arai, 1957; Poulter et al., 1981; Iwa-

moto et al., 1985). 또한 사후경직에 영향을 주는 요인으로서 어류의 서식환경 가운데 염분농도도 어류의 생존, 성장 및 재생산을 수정함은 물론 분포까지도 제한하는 중요한 환경인자이므로 어류를 해수에 순치함으로써 생리학적 변화 이외에 근육의 물리화학적 변화를 일으켜 어류 근육의 식감개선에 영향을 미칠 것으로 판단되어 (Hwang et al., 1993), 최근에 담수 양식 어종으로서 각광을 받고 있고, 광범위한 환경조건에서 내성을 지니고 있는 광온 및 광염성 어류인 틸라피아를 해수에 순치시켜 저장온도별로 사후 경직 중에 나타나는 근육의 물리적 화학적 변화를 검토하였다.

재료 및 방법

1. 재 료

국립수산진흥원 진해내수면연구소의 실내 수조에 서 양식한 틸라피아 (체중 807 ± 154.2 g), *Oreochromis niloticus*를 약 180l 및 300l 수조에 넣고 일정온도 (23℃)로 유지하여 안정시킨 다음, 하루에 5%씩 염도를 증가시켜 10일간 해수에 순치한 틸라피아를 즉살한 후, 0℃, 10℃ 및 20℃에 저장하면서 사후경직 중 근육의 물성과 생화학적 변화에 관하여 실험하였다.

2. 사후 경직도 (Rigor index)

사후 경직도는 Bito et al. (1983)의 방법에 따라서 측정하였다. 즉, 어체를 편평한 판에 올려놓고, 표준 체장의 1/2길이 만큼 꼬리지느러미의 늘임정도를 측정할 수 있도록 위치하여 고정시켜서 경직 중 사후변화의 지표로 삼았다. 사후 경직도는 평판의 수평면과 꼬리지느러미까지의 수직거리를 시간경과 중 이동거리의 변화를 다음의 식에 따라 백분율로 나타내었다.

$$\text{Rigor index} = (L_0 - L) / L_0 \times 100$$

L_0 : 최초의 길이

L : 시간경과 중 변화한 이동거리

3. 물 성

담수 사육 및 해수 순치한 틸라피아에 대한 사후경직 중 근육의 물성측정은 등육을 가로로 폭이 5mm

되게 절편을 만들어서 밑면이 편평한 강도 측정용 원주형 plunger (직경 10 mm)를 부착한 Fudoh Kogyo사의 Rheo meter에 의하여 6cm/min의 test speed로써 근육의 물성을 측정하였다.

4. 핵산 관련물질

핵산관련물질의 정량은 Iwamoto et al. (1988)의 방법을 일부 개량하여 분석하였다. 즉, 3g의 보통육을 10% HClO₄를 가하여 10ml 원심관에 넣고 균질화한 다음, 원심분리하여 (1,000×g, 5분) 상정액을 다른 원심관에 이행하고, 잔사는 동일 조작으로 1회 반복 추출하였다. 모은 상정액은 KOH 용액으로 pH 6.5~6.8로 조정된 후 원심분리하여 (1,000×g, 5분) 침전물을 제거하고, 10% 중성 HClO₄ 용액 (pH 7.0)으로 25ml 정용하여 분석시액으로 사용하였다. 분석기기는 Hitachi L-6200 HPLC를 사용하였으며 Shenshu pak 칼럼 (Sax-1201-N, 4.6×200 mm)으로 55℃에서 0.8 ml/min의 유속으로 이동상 A액 (0.1 M KH₂PO₄ 10% methanol, pH 2.8)과 B액 (0.5 M KH₂PO₄ 10% methanol, pH 2.8)을 이용하여 초기의 5분간까지 100% A액을 25분 후에 60%로 조정하고, 35분부터 45분까지 다시 100%로 용리시켜 분석하였다.

5. 젖 산

Barker and Summerson (1954)의 방법에 의하여 어육 5g에 10% TCA 용액 45ml를 가하여 균질화한 후 원심분리한 상정액 1ml를 원심관에 넣고 20% CuSO₄ 용액 1ml를 가하여 증류수로서 10ml 되게 한 다음, 분말 CaO 1g을 넣고 유리막대로 혼합하여 30분간 방치한 후, 원심분리하였다 (1,000×g, 5분). 상정액 1ml를 취하여 4% CuSO₄ 용액 0.05 ml, H₂SO₄ 6ml를 가하여 5분간 가열한 후 냉각하여 1.5% p-hydroxydiphenyl 용액 0.1ml를 넣고 30℃에서 30분간 발색시키고 90초간 가열한 다음, 냉각하여 560 nm에서 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 사후 경직도의 변화

Fig. 1은 담수 사육 및 해수 순치 후, 틸라피아를

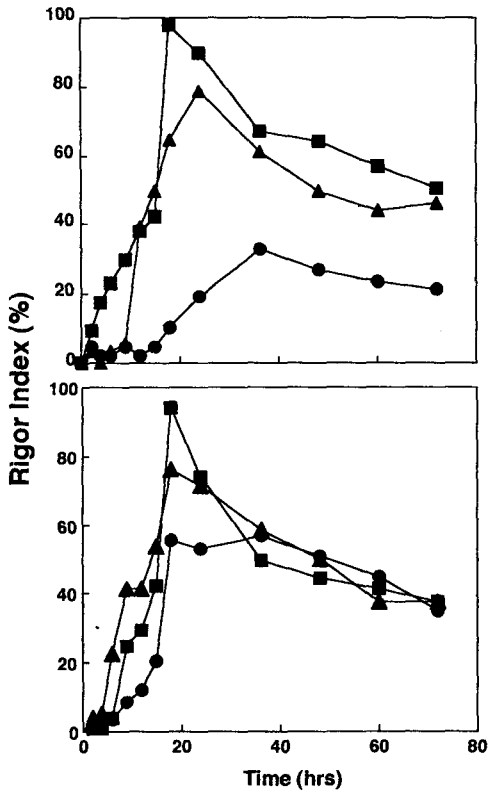


Fig. 1. Changes of rigor indexes in tilapia reared in fresh water(above) and acclimated into sea water(below) during storage at 0°C (■), 10°C (▲) and 20°C (●).

즉살시켜 0°C, 10°C 및 20°C에서 저장하면서 사후 경직도를 측정함으로써 담수 사육어 및 해수 순치어 모두 최대 경직에 도달하는 시간은 18~30시간 범위였다. 해수 순치한 틸라피아의 저장 중 최대 사후 경직도는 0°C에서 94%, 10°C에서 76%, 20°C에서 63%를 나타내었으며, 20°C에 저장하였을 때 최대 경직에 도달하는 시간은 24시간이었고, 0°C와 10°C는 18시간으로 저장 온도가 낮을수록 경직이 빠르게 진행됨을 알 수 있었다. 담수 사육어에서도 0°C에서는 100%(18시간), 10°C와 20°C에서는 각각 78%(24시간), 53%(30시간)의 사후 경직도를 나타내어 해수 순치어와 마찬가지로 저장 온도가 낮을수록 최대 경직에 도달하는 시간이 빨랐으나, 해수 순치어에 비하여 최대 경직에 도달하기까지 약 6시간 지연되었다. 저장 온도별 경직 속도

에 대한 온도 감수성 (Q_{10})을 살펴본 결과, 해수에 순치한 경우, 0~10°C 및 10~20°C 사이의 Q_{10} 은 각각 0.9890, 0.9368이었으며, 담수에 사육한 것은 각각 0.9841, 0.7086으로써 저온에 저장할수록 온도 의존성이 큰 것으로 나타났다. 그리고 해수 순치어의 경직 속도가 0°C, 10°C 및 20°C에서 각각 8.43, 8.34 및 7.81 ($10^{-3} \times h^{-1}$)으로써, 담수 사육어의 8.38, 8.24 및 5.84 ($10^{-3} \times h^{-1}$)에 비해 속도상수가 크게 나타나, 담수에 사육한 것보다 해수에 순치한 것이 저장온도의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 이와같이 생육조건이나 사후 저장온도가 경직개시시간, 최대 경직도, 경직 속도 및 온도 의존성 등에 많은 영향을 미치는 요인인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 넙치, 틸라피아, 참돔 및 새우의 경우, 0°C보다 10°C에서 저장하는 것이 사후경직을 지연시키고 고온에서 사후경직 개시시간이 연장되었으며, 완전경직의 유지시간은 저온에 저장한 쪽이 길었다고 하는 보고 (Iwamoto et al., 1988; Kim and Cho, 1992; Matsumoto and Yamanaka, 1991)와 유사하였다. 또한 각 저장 온도별 최대 사후 경직도는 저장 온도가 낮을 수록 크다는 보고 (Kim and Cho, 1992; Hwang et al., 1991)와도 일치하였다. 어류를 0°C에 저장했을 때 사후경직이 촉진되는 것은 근소포체의 Ca^{2+} 흡수능이 저하되어 Mg^{2+} -ATPase활성이 부활되면서 ATP가 급격히 분해되기 때문이며 (Watabe et al., 1989; 1991), 또한 저온에서는 근소포체의 Ca^{2+} 수용능이 억제되어 근세포내 Ca^{2+} 농도가 급속히 상승하여 actin과 myosin간의 결합에 의한 actomyosin complex를 지속시킴으로써 ATP가 급속히 분해되기 때문에 사후경직이 저온에서 빨리 진행되는 것으로 밝혀져 있다 (Linthicum and Carey, 1972).

2. 파괴강도의 변화

담수 사육 및 해수 순치한 틸라피아를 즉살시켜 0°C에서 저장하면서 사후경직 중 경직도와 파괴강도와의 관계를 살펴보면 경직도는 18시간 후에 담수 사육어 및 해수 순치어에서 각각 100%, 94%의 최대 경직도를 나타낸 반면에 파괴강도는 즉살 직후부터 증가하기 시작하여 12시간 후에 각각 987.5g와 1630g의 최대 강도에 도달하였다가 그 이후로 감소하는 경향을 보였다. 10°C에서 저장하면서 사후 경직 중 파괴강도는 두 시료간에 유사한 경향을 보였는데, 저장

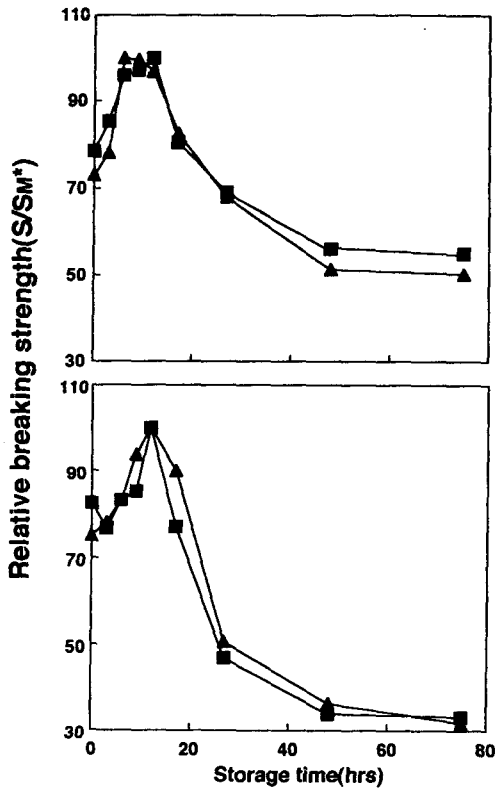


Fig. 2. Changes of relative breaking strength in tilapia muscle reared in fresh water (above) and acclimated into sea water (below) during storage at 0°C (■) and 10°C (▲).
 *S, Breaking strength; S_M , maximum breaking strength

12시간 후에 각각 1027 g와 1795 g로서 최대로 증가하였다가 그 이후로는 저하되었다 (Fig. 2). 담수 사육어와 해수 순치어의 저장 중 사후 경직도는 저장 18~30시간까지 지속적으로 증가되지만, 파괴강도는 저장 12시간까지 증가하다가 그 이후 부터는 급격히 저하되었다. 이는 사후 저장초기부터 어육의 연화가 진행되므로 최대 경직시기에는 이미 육의 연화가 일어나 파괴강도와 경직도 사이에 특별한 상관 관계를 찾아볼 수 없었다. 이러한 결과는 넘치를 각종 온도에 저장하는 동안의 육의 파괴강도와 사후경직도 사이에는 일정한 상관관계가 관찰되지 않았다는 보고 (Kim and Cho, 1993)와 유사하였다. 파괴강도의 저하요인인 어육의 연화는 근섬유의 Z-disk 붕괴, actomyosin complex 해리 및 collagen 섬유의 약화 등에 의하여 육의

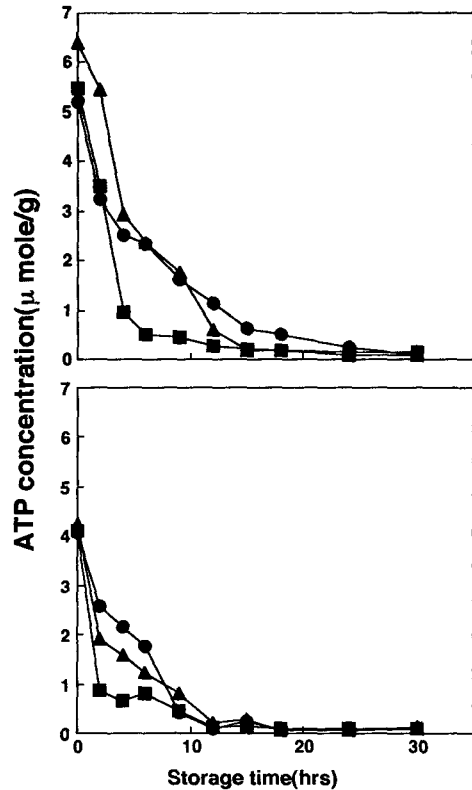


Fig. 3. Changes in the breakdown of ATP in tilapia muscle reared in fresh water(above) and acclimated into sea water(below) during storage at 0°C (■), 10°C (▲) and 20°C (●).

연화를 설명하고 있으며, 사후 경직 중의 연화기구에 대하여는 아직 불명한 점이 많지만 사후 경직 pH영역에서 활성이 강한 근육 분해 효소의 작용과 사후 경직시의 pH와 온도가 상호 밀접한 관계가 있는 것으로 보고된 바 있다 (Ando et al., 1991; Hatori, 1986; Robbins et al., 1979; Suyama and Konosu, 1987).

3. ATP 관련 물질의 함량변화

담수 사육한 틸라피아를 0°C, 10°C 및 20°C에 저장하면서 사후 경직 중 생성되는 ATP 함량은 즉살 직후 각각 5.46, 6.40 및 5.21 (μmole/g)으로써 ATP 관련 화합물 중 ATP가 차지하는 비율은 즉살 후, 2시간 이내에 급격히 분해하기 시작하여, 0°C 12시간 저장한

후 0.27 $\mu\text{mole/g}$ 이 잔존하여 83%에서 3.4%로, 10 $^{\circ}\text{C}$ 15시간 저장한 후에 0.17 $\mu\text{mole/g}$ 이 잔존하여 85%에서 2.6%로, 20 $^{\circ}\text{C}$ 24시간 저장한 후 0.25 $\mu\text{mole/g}$ 이 잔존하여 66.9%에서 3.4%로 저하되었다. 해수에 순치한 것은 즉살한 직후 ATP 함량이 0 $^{\circ}\text{C}$, 10 $^{\circ}\text{C}$ 및 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 4.09, 4.26 및 4.10 ($\mu\text{mole/g}$)으로써, ATP 관련 화합물 중 ATP가 차지하는 비율은 저장 12시간 후 0 $^{\circ}\text{C}$ 에서 0.10 $\mu\text{mole/g}$ 이 잔존하여 1.4%를 차지하였으며, 10 $^{\circ}\text{C}$ 및 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 0.2 $\mu\text{mole/g}$ 및 0.13 $\mu\text{mole/g}$ 이 잔존하여 각각 2.4% 및 6.1%로 감소되었다 (Fig. 3). ATP의 분해 속도는 담수 사육어에서와 마찬가지로 저온에 저장할수록 빠르게 일어났으며, 특히 저장 2시간 이내에 급격히 분해되어 12시간 후에는 거의 대부분이 분해되었다. 그리고 저장 2시간 동안의 해수 순치어의 ATP 분해 속도 ($10^{-3}\times\text{h}^{-1}$)는 저장온도 0 $^{\circ}\text{C}$, 10 $^{\circ}\text{C}$ 및 20 $^{\circ}\text{C}$ 에서 각각 6.99, 6.74 및 6.50로써 담수 사육어의 6.89, 6.19 및 5.81에 비하여 빠르게 진행되었다.

어류 근육 중의 IMP는 사후초기에 ATP가 분해되면서 생성되는데, 저장온도에 따른 IMP의 축적량은 Fig. 4에 나타낸 바와 같다. 즉살 직후 0 $^{\circ}\text{C}$, 10 $^{\circ}\text{C}$ 및 20 $^{\circ}\text{C}$ 에 저장한 담수 사육어의 IMP 함량은 각각 0.34, 0.34 및 0.44 ($\mu\text{mole/g}$)이었던 것이 저장 12시간 만에 급격히 증가하여 각각 7.06, 6.85 및 5.27 ($\mu\text{mole/g}$)으로 축적되었고, 해수 순치어는 즉살 직후 각각 1.27, 1.54 및 1.57 ($\mu\text{mole/g}$)이었던 것이 저장 12시간만에 7.32, 6.51 및 5.42 ($\mu\text{mole/g}$)으로 축적되었다. 0 $^{\circ}\text{C}$ 에서 저장한 담수 사육 및 해수 순치한 근육에서의 IMP 축적 속도 상수 ($10^{-3}\times\text{h}^{-1}$)는 각각 6.26 및 6.42로써 담수 사육어보다 해수 순치어에서 빠른 것으로 나타났다. 저장온도 10 $^{\circ}\text{C}$ 와 20 $^{\circ}\text{C}$ 에 비해 0 $^{\circ}\text{C}$ 에 저장하는 것이 IMP의 축적속도가 빨랐다. 어류를 해수에 순치하면 해수적응에 중요한 역할을 하는 것으로 추측되는 아가미의 염세포에 존재하고 있는 Na^{+} , K^{+} -ATPase가 해수 순치에 따라 활성이 증가하여 혈청과 해수 환경 사이에 삼투농도구배를 유지하기 위한 반응으로서 일어나는 Na/K pump 효율과 관련되는 적응 특성으로 알려지고 있으며 (Zaugg and McInain, 1970; Forrest et al., 1973; Folmar and Dickhoff, 1979; Valverde et al., 1982; Luge et al., 1989), 이와같은 서식 환경에 적응하기 위한 생리적 변화 이외에도 근육을

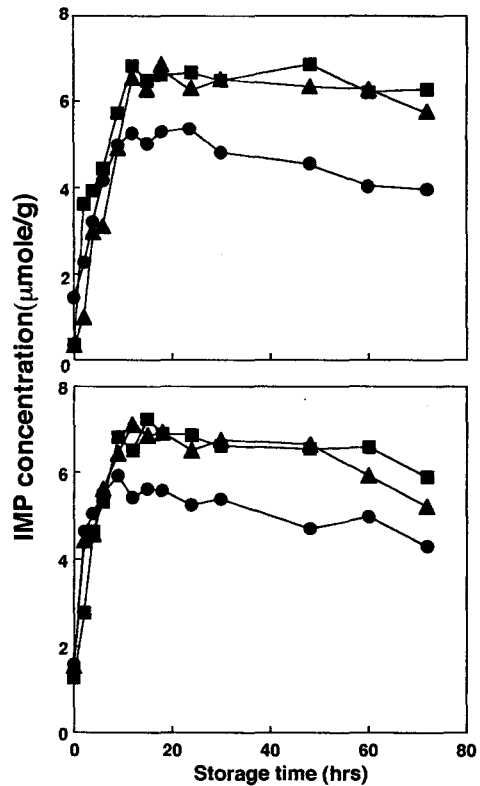


Fig. 4. Changes of IMP in tilapia muscle reared in fresh water (above) and acclimated into sea water (below) during storage at 0 $^{\circ}\text{C}$ (■), 10 $^{\circ}\text{C}$ (▲) and 20 $^{\circ}\text{C}$ (●).

구성하고 있는 단백질의 특성이 바뀌어지기 때문에 인위적으로 근육의 물리화학적 변화를 조절할 수 있다. Watabe et al. (1990)은 잉어 근육을 slice하여 온수로 처리하였을 때 근원섬유의 Mg^{2+} -ATPase 활성이 증가한다고 보고하였으며, 틸라피아를 해수 순치함에 따라 근원섬유의 ATPase 활성이 증가하고 (Hwang et al., 1993), 또한 넙치의 경우 치사방법에 따라서 ATP의 분해속도 및 IMP의 축적속도가 다르다고 보고하였다 (Kim and Cho, 1993; Kim et al., 1993).

본 연구에서도 담수 사육어와 해수 순치어의 사후 경직 중 ATP분해속도, IMP 함량 및 경직도 등의 차이는 담수산 어류인 틸라피아가 해수에 적응하기 위한 근원섬유의 ATPase 활성변화와 밀접한 관계가 있을 것으로 사려된다.

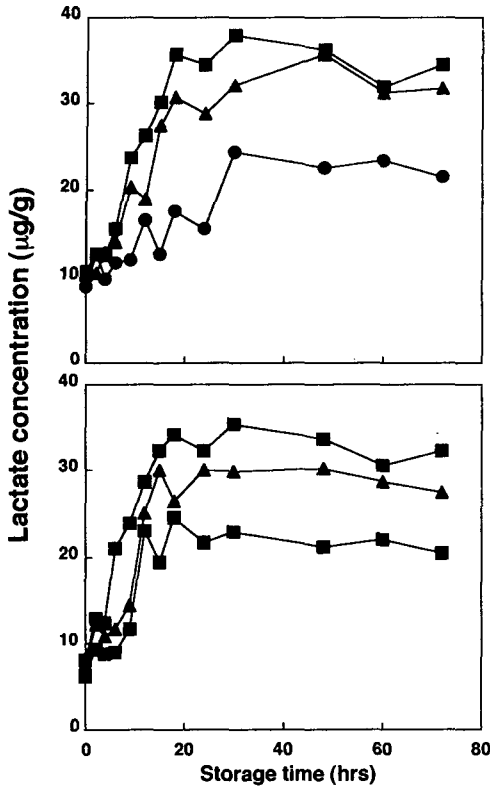


Fig. 5. Changes in the contents of lactate in tilapia muscle reared in fresh water(above) and acclimated into sea water(below) during storage at 0°C (■), 10°C (▲) and 20°C (●).

이와같이 저장온도, 저장시간 및 해수순치에 의해서 맛 성분의 하나인 IMP의 축적량을 최대로 축적할 수 있도록 조절한다면, 어류 근육을 보다 효과적으로 이용할 수 있을 것으로 추측된다.

4. 젖산의 함량변화

담수 사육 및 해수 순치한 틸라피아를 죽살시킨 직후의 근육 중의 젖산 함량은 각각 8.88~10.58, 6.25~8.00 ($\mu\text{mole/g}$)이었으며, Fig. 5에 나타낸 바와 같이 젖산의 축적은 저장 초기에 빠르게 진행되었다. 담수 사육어에서는 사후 약 30시간 후에 저장 온도 0°C, 10°C 및 20°C에서 각각 37.94, 32.09 및 24.48 ($\mu\text{mole/g}$)으로써 최대의 축적량을 나타내었으며, 저장 온도가

낮을수록 젖산의 축적량이 많았다. 해수 순치어에서는 약 18시간 만에 각각 34.15, 30.08 및 24.56 ($\mu\text{mole/g}$)으로써 최대의 축적량을 나타내어, 담수 사육어보다 빠른 속도로 젖산이 축적되고 있음을 알 수 있었다. 젖산의 축적에 의한 저장온도의 의존성을 Arrhenius 식에 의하여 나타내었는데, 담수 사육어의 경우, 0~10°C와 10~20°C에서의 Q_{10} 은 각각 0.9711, 0.8402이었으며, 해수 순치어는 각각 0.9738, 0.9761이었다. 담수 사육어와 해수 순치어의 젖산의 축적속도를 비교하여 보면 담수 사육어의 경우 0°C, 10°C 및 20°C에 저장한 것은 각각 7.28, 7.07 및 5.94 ($10^{-3} \times \text{h}^{-1}$)이었으며, 해수 순치어는 각각 7.32, 7.12 및 6.95 ($10^{-3} \times \text{h}^{-1}$)으로 나타났다. 이 실험 결과에서 근육 중의 젖산의 축적은 저장 온도가 낮을수록 빠르게 일어나고, 담수 사육어보다 해수 순치어가 온도의 영향을 더 크게 받는다는 것을 알 수 있었다. 젖산이 해수 순치어의 사후 초기에 근육 중에 급격히 축적되는 것은 고민사한 어류나 피로도가 많은 어류 등의 ATP분해 속도가 정상어류보다 빠른 것으로 미루어 보아 젖산의 축적과 상관이 있다고 하겠다 (Kim et al., 1993; Amano et al., 1953; Watabe et al., 1991).

요 약

틸라피아를 해수에 순치하여 근육의 물성 및 식감을 개선하기 위하여 해수에 순치한 틸라피아를 0°C, 10°C 및 20°C에 저장하면서 사후경직 중에 나타나는 근육의 물리적, 화학적 변화를 조사하였다. 사후경직은 10°C와 20°C에서보다 0°C에서 빠르게 진행되었으며, 담수 사육한 것보다 해수 순치한 것이 경직개시 시간이 빨랐다. 사후경직 중 파괴강도와 사후 경직도와와의 상관 관계는 없었으며, 파괴강도는 사후 12시간만에 최대로 되었고, 그 이후로는 육의 연화가 일어남으로 인하여 급격하게 저하된 반면에, 사후 경직도는 계속해서 증가하여 18시간 후에 최대치를 나타내었다. ATP 분해속도는 담수 사육어보다 해수 순치어에서 빨랐으며, 저장온도에 따른 분해속도는 10°C와 20°C에 비하여 0°C에 저장한 시료에서 빠르게 나타났다. IMP 및 젖산은 저장온도가 낮을수록 축적속도가 빨랐고, 담수 사육어보다 해수 순치어에서 빠르게 나타났다.

이상의 결과로부터 답수어인 틸라피아를 해수에 순치 시킴으로써 사후초기에 경직을 유도하고 근육의 물성을 변화시켜 식감을 증진시킬 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Amano, K., M. Bito and T. Kawabata. 1953. Handling effect upon biochemical change in the fish muscle immediately after catch. I. Difference of glycolysis in the frigate mackerel killed by various methods. Bull. Japan. Soc. Sci. Fisheries, 19(4), 487~498.
- Ando, M., H. Toyohara, Y. Shimizu and M. Sakaguchi. 1991. Postmortem tenderization of fish muscle proceeds independently resolution of rigor mortis. Nippon Suisan Gakkaishi, 57(60), 1165~1169.
- Barker, S. B. and W. H. Summerson. 1954. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. J. Biol. Chem., 138, 538.
- 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., No.109, 89~93.
- Borgstrom, G. 1961. Fish as food vol. I. Academic press. New York and London, pp 385~409.
- Folmar, L. C. and W. W. Dickhoff. 1979. Plasma thyroxine and gill Na-K-ATPase changes during sea water acclimation of cohosalmon, *Onchorynchus kisutch*. Comp. Biochem. Physiol., 63A, 329.
- Forrest, J. N. Jr., A. D. Cohen, D. A. Schon and F. H. Epstein. 1973. Na transport and Na-K-ATPase in gills during adaptation to sea water: effects of cortisol. Am. J. Physiol., 224(3), 709.
- Fujimaki, M. and K. Koji. 1953. Handling effect upon biochemical change in the fish muscle immediately after catch. Bull. Japan. Soc. Sci. Fisheries, 19(4), 499~504.
- Hatori, A. 1986. Aging of meat. Kagaku To Seibutsu (Chemistry and Biology), 24, 789 pp.
- Hwang, G. C., H. Ushio, S. Watabe, H. Iwamoto and K. Hashimoto. 1991. The effect of thermal acclimation on rigor mortis progress of carp stored at different temperatures. Nippon Suisan Gakkaishi, 57(3), 541~548.
- Hwang, G. C., H. D. Yoon, C. I. Ji, J. H. Park and S. J. Kim. 1993. Physicochemical changes in tilapia *Oreochromis niloticus* muscle induced by acclimation to sea water. Korean J. Food Sci. Technol., 25(2), 185~190.
- Iwamoto, M., H. Ioka, M. Saito and H. Yamanaka. 1985. Relation between rigor of sea bream and storage temperatures. Bulletin of the Japanese of Scientific Fisheries, 51(3), 443~446.
- Iwamoto, M. and H. Yamanaka. 1986. Remarkable differences in rigor mortis between wild and cultured specimens of the red sea bream *pagrus major*. Bulletin of the Japanese of Scientific Fisheries, 52(2), 275~279.
- 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.
- Iwamoto, M., H. Yamanaka, S. Watabe and K. Hashimoto. 1990. Comparison of rigor-mortis progress between wild and cultured plaices. Nippon Suisan Gakkaishi, 56(1), 101~104.
- 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(3), 189~196.
- Kim, Y. Y. and Y. J. Cho. 1993. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus*, muscle- 2. Temperature dependency on physicochemical and rheological properties. Bull. Korean Fish.

- Soc., 26(1), 189~196.
- 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(5), 403~408.
- Linthicum, D. S. and F. G. Carey. 1972. Regulation of brain and eye temperatures by the bluefin tuna. Comp. Biochem. Physiol., 43a, 425.
- Luge, C., B. Skaramuca and J. Sanko. 1989. Na, K-ATPase activity and acclimation of the fish *Sa-*lema Sarpa Salpa* L. to diluted sea water. Periodicum Biologorum, 91(2), 231.*
- Matsumoto, M. and H. Yamanaka. 1991. Studies on rigor-mortis of kuruma prawn muscle. Nippon Suisan Gakkaishi, 57(11), 2121~2126.
- Noguchi, E. and J. Yamamoto. 1955. Studies on the "arai" phenomenon (the muscle contraction caused by perfusing water)-III. Change in the amount of ATP, free SH-group in muscle of fish shortly after the death. Bull. Japan Soc. Sci. Fisheries, 20(11), 1020~1022.
- Partmann, W. 1954. The first post-mortem changes in the muscular tissue of fish. Arch. Fischereiwiss, 5, 159~170.
- Poulter, R. G., C. A. Curran and J. G. Disney. 1981. Chill storage of tropical and temperate water fish differences and similarities. "In advances in technology in the chilling, freezing, processing, storage and transport of fish, especially under utilized species" (International Institute of Refrigeration, ed.), Paris, pp 111~123.
- Robbins, F. M., J. E. Walker, S. H. Cohen and S. Charterjee. 1979. Action of proteolytic enzymes on bovine myofibrils. J. Food. Sci., 44, 1672.
- Saito, T. and K. Arai. 1957. Studies on the organic phosphates in muscle of aquatic animals-III. Effects of storing temperature upon the adenosine polyphosphate content of carp muscle. Bull. Japan Soc. Sci. Fisheries, 22(9), 569~573.
- Suyama M. and A. Konosu. 1987. A Postmortem changes of fish and shellfish. In Marine Food Science (Suisan Shokuhin-Gaku). koseisha. koseikaku Tokyo, pp 855~107.
- Valverde, Y. R., O. F. Arbex and M. V. Castro Farea. 1982. Adaptative reponse of (Na, K) ATPase from gills and intestine of *Plecostomus ancistroides* and *Tilapia rendalli* to a gradual increase in water salinity. Rev. Brasil. Biol., 42(1), 129.
- Watabe, S., H. Ushio, M. Iwamoto, H. Yamanaka and K. Hashimoto. 1989. Temperature-dependence of rigor-mortis of fish muscle-Myofibrillar Mg-ATPase activity and Ca uptake by sarcoplasmic reticulum, J. Food Sci., 54, 1107~1115.
- Watabe, S., G. C. Hwang, H. Ushio, K. Hatae, H. Yamanaka and K. Hashimoto. 1990. Acceleration of physicochemical change in carp muscle by washing in either chilled or heated water. J. Food Sci., 55(3), 674~677.
- 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.
- Yamamoto, J. and E. Noguchi. 1964. Studies on the freshness of fish XIV. Effect of temperature on the duration of rigor mortis. Bulletin of the Japanese of Scientific Fisheries, 22(9), 569~573.
- Zaugg, W. S. and L. R. McClain. 1970. Adenosine triphosphatase activity in gills of salmoids: seasonal variations and salt water influence in coho-salmon, *Onchorynchus kisutch*. Comp. Biochem. Physiol., 35, 587.

1995년 12월 18일 접수

1996년 5월 4일 수리