

마취사 및 무방혈이 넙치육의 사후조기의 물리·화학적변화에 미치는 영향

조영제·조민성·김상무*·최영준**

부경대학교 식품공학과, *강릉대학교 수산자원개발학과, **경상대학교 수산가공학과

Effect of Anesthesia Killing and non-Bleeding on Physicochemical Properties of Plaice, *Paralichthys olivaceus* Muscle at early Period after Death.

Young-Je CHO, Min-Sung CHO, Sang-Moo KIM* and Yeung-Joon CHOI**

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

*Department of Fisheries Resources Development, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea

**Department of Marine Food Science and Technology, Gyeongsang National University, Tongyong 650-160, Korea

This study was performed to clarify the effect of anesthesia killing and non-bleeding on the physicochemical and rheological properties of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle at early period after death.

Live plaice was killed by the two different methods: spiking at the brain instantly with bleeding and dipping in seawater containing anesthetic (2,000 ppm ethyl-aminobenzoate) for 10 min without bleeding. These samples were stored at 0°C and used in checking rigor-mortis, ATP breakdown, the content of ATP and its related compounds, breaking strength, and lactate accumulation through storage.

The rigor-mortis, ATP breakdown, and lactate accumulation was faster in samples killed by spiking than in samples killed by anesthesia. ATP in samples killed by anesthetic showed little breakdown until 22.5 hrs, but it was decomposed completely after 30 hrs storage.

Breaking strength of samples killed by spiking at the brain instantly with bleeding decreased steadily and showed the maximum value over 10 hrs (2207.3 ± 60.2 g). However, in case of the dipping fresh flesh without bleeding in seawater containing anesthetic, the value and time reached around the maximum breaking strength were 2147.8 ± 29.0 g and 13 hrs respectively, but it maintained constantly until 20 hrs passed.

From these results, it could be suggested that anesthesia killing and non-bleeding is more effective in maintaining firmness of fresh plaice muscle than spiking killing with bleeding at the early period after death.

Key words : anesthesia, spiking, bleeding, rigor-mortis, breaking strength

서 론

근육의 사후 energy 대사에 영향을 미치는 요인으로서 생전의 생리조건, 치사조건, 그리고 사후의 저장온도 등을 들 수 있다. 생리조건으로는 영양상태가 불량하거나 피로한 것이 glycogen 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 생식수온의 변화도 사후경직의 진행에 영향을 미친다는 보고도 있다 (Hwang et al., 1991). 사후의 저장온도의 영향은 저장온도가 낮을 수록 근소포체의 Ca 수용능력의 저하로 세포내로의 Ca의 유출이 많아져서 ATP 분해가 빨라지므로 근육의 수축, 사후경직, 그리고 유산축적이 빨라진다 (Kim and Cho, 19

92: Cho and Kim, 1993). 한편, 고민사 보다 안락상태에서 즉살시킨 것이 energy 소모가 적고 경직의 진행이 늦다 (Johnston and Moon, 1980). Cho et al., (1994)은 활넙치를 전기자극시키면 사후경직의 진행, ATP의 분해, 근육수축, 그리고 유산축적 등 사후조기의 물리화학적 및 조직화학적 변화가 즉살시킨 경우보다 촉진되며, 한편 마취사시키면 이들 변화가 억제됨을 보고하였다. 또, 활어를 -1°C 해수중에 침지하여 치사시킨 경우도 물리화학적 변화가 촉진된다는 보고도 있다 (Mochizuki and Sato, 1996).

활어를 즉살시킬 때는 방혈을 하는데, 이 조작은 어육의 신선도를 유지시키는 데 효과가 있다고 알려져 있지만 구체적인 연구 예는 거의 없으며, 최근 들어서 安藤 (1996)이 대표적인 6종의 양식어에 대하여 방혈이 육질의

본 논문은 농림부에서 시행한 농림수산특정연구사업 (현장예로)지원에 의한 연구결과와 일부임

연화에 미치는 영향을 검토하여 회유성 어종인 방어, 전갱이 등은 방혈시키므로서 연화가 늦어지는 효과가 있으나, 저서성 어종인 돔, 넙치, 뱀어 등은 연화억제 효과가 없음을 보고하고 있다.

본 연구에서는 활어의 사후조기의 물리화학적 변화를 억제시켜서 신선도의 유지시간을 연장시킬 목적으로, 마취사 및 무방혈이 사후조기의 핏감용 넙치육의 물리화학적 및 물성적 변화에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

1. 재료

넙치 (plaice, *Paralichthys olivaceus*: 체장 37~42 cm, 체폭 17~20 cm, 체고 2.5~3.0 cm, 체중 700~800 g, 양식 1년생)를 공수수산(부산시 기장군 소재)에서 활어 상태로 실험실로 운반하여, 20°C의 해수에서 약 6시간 정도 피로를 완전히 회복시킨 후에, 즉살(두부의 급소를 감타)후 방혈 그리고 마취사(2000 ppm ethyl aminobenzoate의 마취액에 10분간 침지)후 무방혈 상태로, 0°C로 조정된 냉장고(LG전자, Model FS-2408, Korea)에 저장하면서 시료로 사용하였다.

2. 경직도의 측정

Bito et al. (1983)의 방법에 따라서 측정하였다. 즉, 체장의 절반을 수평대 위에 올려 고정시킨 후에 꼬리 지느러미가 시작되는 부분까지의 거리를 백분율로 나타내었다.

3. ATP관련물질의 측정

Iwamoto et al. (1987)의 방법으로 핵산관련물질을 추출하여 추출액을 -25°C 동결고에 동결보관하였다. 측정시에 증류수로서 10배 희석하여 0.45 μ m membrane filter로 여과후 HPLC에 주입하였다. Column 이동층에는 0.05M KH₂PO₄와 0.05M K₂HPO₄의 인산완충용액(pH 6.78)을 사용하였고, 핵산관련물질 표준은 Sigma사의 표준을 사용하여 조제하였다. 장치는 Waters사제 고속액체 chromatography 자동분석 system을 사용하였고, column은 Waters사제의 μ -Bondapack C₁₈, 300 \times 3.9 mm의 역상분배 column이었으며, 측정 조건은 시료 주입량 5 μ l, 이동층 유량 0.8 ml/min, column온도 37°C, 흡수파장 254 nm, peak면적 적산법, 분석시간 30분이었다.

4. 파괴강도의 측정

Ando et al. (1991)의 방법에 따라서 넙치 등육을 Table 1과 같은 조건으로 측정하였다. 즉, 넙치를 밑면이 평평하게 필렛(fillet)하여서 20 \times 20 \times 10 mm³ 크기의 정사각형 칼집으로 육을 위에서 찍은 후에, 칼집위로 돌출한 부분을 잘라내고 육의 두께를 10 mm로 균일하게 하여 측정시료로 사용하였다. 파괴강도값은 직경 10mm cylinder plunger를 사용하여 속도 60 mm/min때의 최고값을 deformation을 60%로 하여 측정하였다. 실험 결과값은 6~8회 측정하여 평균 \pm 표준편차(mean \pm S. D.)로 나타내었다.

Table 1. Conditions employed for breaking strength profile measurement of plaice muscle

Instrument	SUN RHEOMETER (Compac-100, Japan)
Sample thickness	10 mm ¹
Cylindrical plunger	10 mm ² in diameter
Crosshead speed	1 mm/sec
Load cell	10,000 g
Chart speed	60 mm/min

¹Simulated a slice of "sashimi".

²Simulated the molar tooth.

5. 유산량의 측정

제단백 추출액을 사용하여 Barker and Summerson (1941)의 방법에 따라 측정하였다. 즉, 등육 2.5 g을 취하여 22.5 ml의 냉각된 trichloroacetic acid로 균질화하여 단백질을 제거한 후 원심분리하여, 그 상층액 1 ml 와 20% CuSO₄ 1 ml로서 유산을 구리와 치환하고 증류수로 10 ml로 정용하였다. 여기에 Ca(OH)₂ 1 g을 첨가 당류를 제거한 다음 5,000 rpm에서 원심분리 후에 상층액 1 ml와 4% CuSO₄ 0.05 ml로 잔류유산을 재취환하였다. 여기에 진한 황산 6 ml를 가하여 액중의 Ca(OH)₂를 분해시키고 20°C로 냉각후에 1.5% *p*-hydroxyphenol 0.1 ml로 발색시킨후, 100°C의 수조에서 90초간 *p*-hydroxyphenol을 용해시킨 후에 560 nm에서 비색정량하였다.

결과 및 고찰

1. 경직도의 변화

어육도 측육과 마찬가지로 사후에 근육이 수축하여 단단하고 불투명하게 되는 현상이 일어나는데 이것을 사후 경직이라고하며, 사후의 어육에서는 근소포체로 부터 Ca이 유리하여 ATP가 어느정도 분해되면 경직이 시작되고 ATP의 소실과 더불어서 경직은 최대로 된다. 경직 개시시간 및 경직 지속시간은 어류의 종류(Bito et al.,

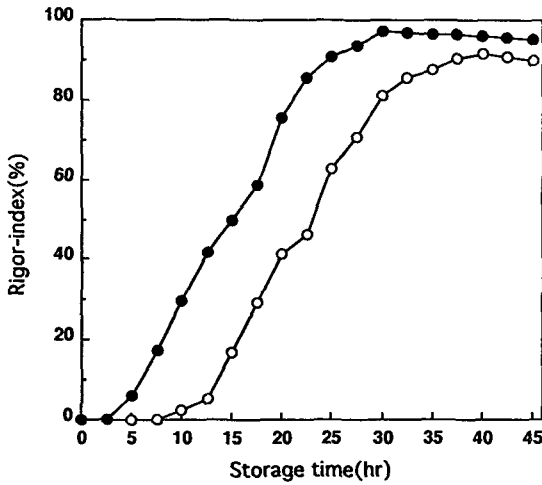


Fig. 1. Effect of anesthesia killing and non-bleeding on changes in rigor-index of plaice muscle during storage at 0°C.

- ; Spiking at the brain instantly with bleeding
- ; Dipping in seawater containing anesthetic (2,000 ppm of ethyl aminobenzoate for 10 min) without bleeding

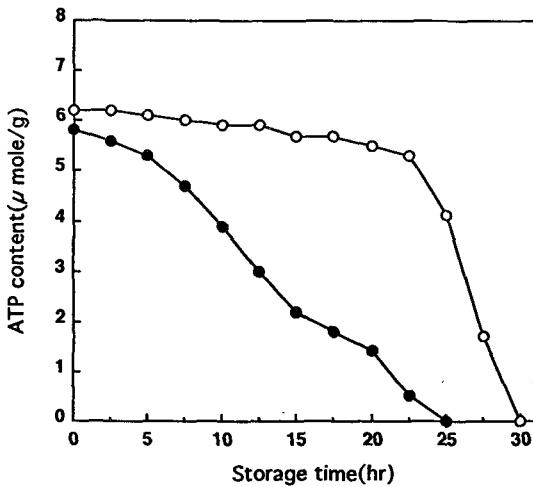


Fig. 2. Effect of anesthesia killing and non-bleeding on changes in ATP breakdown of plaice muscle during storage at 0°C. Symbols are the same as Fig. 1.

1983), 치사조건 (Kim et al., 1993), 저장온도 (Kim and Cho, 1992) 등의 영향을 받는다.

마취사 및 무방혈이 사후경직의 변화에 미치는 영향을 검토하기 위하여 즉살·방혈 및 마취사·무방혈 상태의 시료 넙치를 0°C에 저장하는 동안에 사후 경직도의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 즉살·방혈구는 저장 5시간 후에

이미 경직이 시작되어 저장중에 경직의 진행이 빨랐으며, 30시간 후에 98%의 최고 경직도를 나타내었다. 한편, 마취사·무방혈구는 경직의 진행이 억제되어 저장 12.5시간까지 5.4%의 낮은 경직도를 유지하다가 그후에 증가하여 40시간 후에 91.4%의 최고 경직도를 나타내었다. 이와 같이 마취사·무방혈이 즉살·방혈보다 경직의 진행이 느릴 뿐만 아니라 최고경직도가 낮은 결과는, Cho et al. (1994)의 보고와 같이 마취사시킨 넙치육에서 ATP의 분해가 느려서 경직의 진행이 지연된다는 보고와 일치하는 것으로 생각되며, 또 방혈유무가 어육의 사후 경직에 미치는 영향을 조사한 보고는 없었지만, ATP분해의 실험결과와 관련시켜서 보면 혈액이 근육중의 ATP농도를 일정시간 유지시켜서 ATP농도 저하가 억제되는 실험결과와 깊은 관계가 있는 것으로 추측된다.

2. ATP 분해

어류 근육중의 ATP 함량은 5~10μmole/g의 범위이며, 사후 얼마 동안은 근육중의 ATP가 일정한 값을 유지하는 데, 이것은 ATP 재생의 반응계가 존재하기 때문이다. ATP의 분해속도는 저장온도 및 치사조건 등에 영향을 받으며 저장온도가 낮을수록 분해가 촉진되며 (Kim and Cho, 1992), 치사조건은 고민사가 안락사보다 분해가 촉진됨이 알려져 있다 (Kim et al., 1993). 그러나, 방혈유무에 따른 ATP분해속도에 대한 연구는 거의 없으며, 특히, 횡간용 생선의 무방혈시에 ATP분해에 대한 연구는 처음 시도되었다.

즉살·방혈 및 마취사·무방혈의 시료 넙치를 0°C에 저장하는 동안에 ATP의 분해정도를 Fig. 2에 나타내었다. 즉살·방혈에서는 치사직후에 5.8μmole/g을 나타내었으며, 저장기간이 길어짐에 따라서 감소하여 저장 25시간 후에 완전히 분해되었다. 한편, 마취사·무방혈에서는 즉살·방혈과는 달리 저장 22.5시간까지 ATP의 분해가 약간 관찰되다가 그 이후로 급속히 분해되어 저장 30시간 후에는 완전히 분해되었다. 즉, 치사직후에 6.2μmole/g이던 것이 저장 22.5시간후에 5.3μmole/g로 분해가 상당히 억제되다가, 그 이후로 갑자기 분해되었다.

이와 같이 마취사·무방혈시에 사후 22.5시간까지 ATP의 분해가 억제되는 결과는, 마취로 인한 근소포체로의 Ca방출 신경전달계의 차단에 의한 ATP분해의 지연뿐만 아니라, 혈액으로부터 ATP가 재생되는 것으로 판단된다. ATP의 분해속도 상수는 즉살·방혈에서는 -0.249h⁻¹이었으며, 마취사·무방혈에서는 저장 22.5시간까지는 -0.0385h⁻¹ 그리고 22.5시간 이후는 -0.820h⁻¹으로, 2단계로 분해되었다.

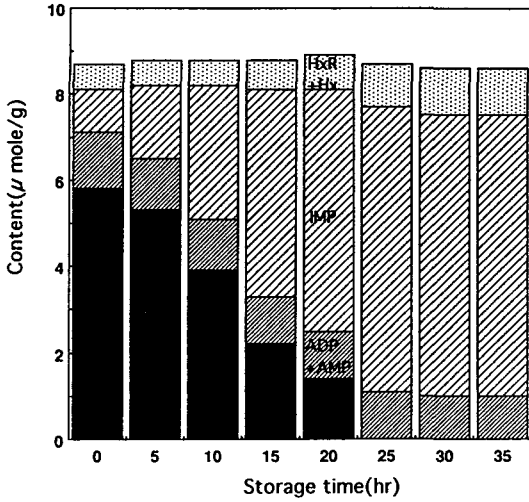


Fig. 3. Changes in contents of ATP and its related compounds in plaice muscle during storage at 0°C after spiking at the brain instantly with bleeding.

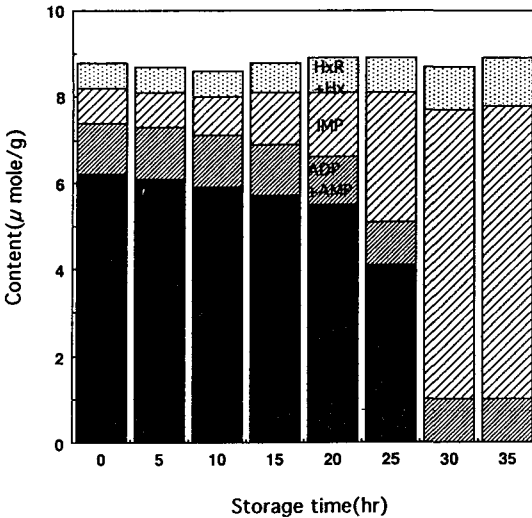


Fig. 4. Changes in contents of ATP and its related compounds in plaice muscle during storage at 0°C after dipping in seawater containing anesthetic without bleeding.

3. ATP관련 물질의 변화.

마취사 및 무방혈이 넙치육의 ATP 관련물질의 변화에 미치는 영향을 검토한 결과, 즉살·방혈 (Fig. 3)에서는 치사직후에 ATP함량은 5.8μmole/g으로 근육중의 전 ATP관련물질의 67%를 차지하였으며, ADP+AMP는 1.3 μmole/g, IMP는 1.0μmole/g, HxR+Hx는 0.6μmole/g 이었다. ATP는 저장기간이 길어짐에 따라서 감소하여 25 시간 후에 완전히 분해되었고, ADP+AMP는 저장기간을

통하여 일정한 값을 유지하였다. 한편, IMP는 ATP의 감소와 더불어서 증가하였으며 ATP가 완전히 분해된 25시간 후에 6.6μmole/g 까지 상승하였고 그후 35시간까지 일정한 값을 나타내었다. HxR+Hx는 저장기간이 길어짐에 따라 약간 상승하여 저장 35시간 후에 1.1μmole/g을 나타내었다. 한편, 마취사·무방혈 (Fig. 4)에서는 치사직후에 ADP+AMP는 1.2μmole/g, IMP는 0.8μmole/g, HxR+Hx는 0.6μmole/g으로, 즉살·방혈과 큰 차이는 없었다. 그러나, ATP의 변화는 즉살·방혈과는 달리 치사직후에 6.3μmole/g으로 전 ATP 관련물질의 71%였으며, 또 저장기간중에 분해가 억제되어 저장 22.5시간까지 5.3 μmole/g의 값을 유지하였으며, 그후에 급속히 분해되어 저장 30시간 후에 완전히 분해되었다. IMP는 ATP의 감소와 더불어서 증가하였다. 즉, 저장 22.5시간 후에도 1.6 μmole/g을 나타내었으며, 그후 급속히 증가하여 저장 30 시간후에는 6.7μmole/g까지 상승하여 일정한 값을 유지하였다. 한편, ADP+AMP 및 HxR+Hx 값을 저장기간을 통하여 변화가 거의 관찰되지 않았다.

4. 파괴강도의 변화

육질의 단단함에는 collagen의 함량 및 분포 형태에 따라서 결정되어지는 background toughness (어중에 따른 고유 단단함)와 사후 근육중의 ATP의 분해에 따른 myosin과 actin의 결합에 의하여 actomyosin복합체 형성으로 발생하는 actomyosin toughness (근육 수축에 의한 단단함)로 나누어진다 (山本·丸山, 1988). Background toughness는 사후조기에 collagen matrix의 붕괴에 의하여 서서히 저하하는 반면에 actomyosin toughness는 살아있는 근육의 이완시에는 생성되지 않지만, 사후조기에 ATP의 분해에 의하여 actomyosin복합체가 형성되므로 서서히 발생하게 된다. 사후에 어육의 단단함의 변화는 어종, 신선도, 치사방법 및 조리후의 저장조건등에 영향을 받음이 알려져 있으며, 육질이 단단한 어종일수록 고 급횡감으로 취급된다.

마취사 및 무방혈이 육의 파괴강도의 변화에 미치는 영향을 검토하기 위하여 즉살·방혈 및 마취사·무방혈의 시료 넙치를 0°C에 저장하는 동안에 육의 파괴강도변화를 Fig. 5에 나타내었다. 치사직후의 파괴강도는 1736.2 ± 65.4 g이었으나, 즉살·방혈에서는 저장기간중에 서서히 증가하여 저장 10시간 후에 2207.3 ± 60.2 g을 나타내어, 치사직후보다 27.1% 상승하였으며 그 이후로 급속하게 감소하였다. 한편, 마취사·무방혈에서는 파괴강도의 증가속도가 완만하였을 뿐만 아니라 최고값도 낮았으며 저장 20시간까지 그 값이 유지되었다. 즉, 저장 13시간

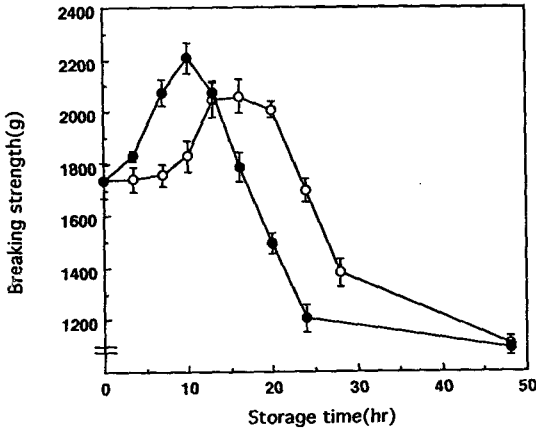


Fig. 5. Effect of anesthesia killing and non-bleeding on changes in breaking strength of plaice muscle during storage at 0°C. Symbols are the same as Fig. 1.

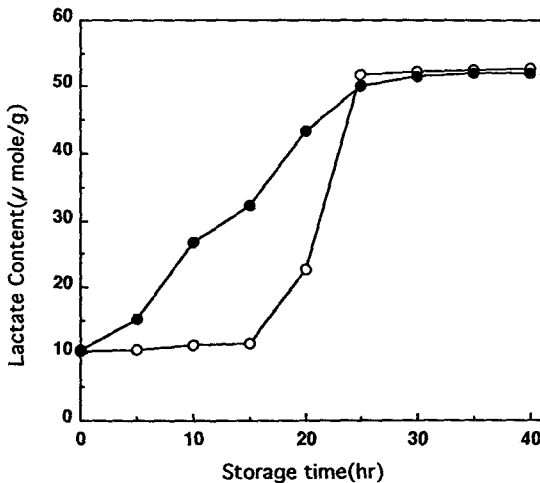


Fig. 6. Effect of anesthesia killing and non-bleeding on changes in lactate accumulation of plaice muscle during storage at 0°C. Symbols are the same as Fig. 1.

후에 2046.8 ± 67.4 g을 나타내어 치사직후보다 17.9% 상승하였으며, 이후 큰 감소가 없이 일정하게 유지되어 저장 20시간 후에는 2085.5 ± 27.2 g값을 나타내었다.

축육은 물론이고 어육도 치사 후 방혈시키지 않으면 선도저하가 촉진됨이 알려져 있으며, 선도보존을 위해서는 치사직후에 바로 방혈시키는 것을 원칙으로 하고 있다. 한편, 安藤(1996)는 방어, 전갱이 등 회유어는 혈액이 육질의 연화에 관여하지만, 돔, 넙치등의 저서어는 혈액이 육질의 연화에 관계가 없음을 보고하고 있다. 본 실험의 마취사·무방혈시에 육질의 단단함의 상승이 즉

살·방혈보다 늦은 것은 마취로 인한 근소포체로의 Ca 방출 신경전달계의 차단뿐만 아니라 ATP분해 억제에 따른 근육의 이완으로 수축이 지연되는 것으로 생각된다. 또, 상승된 파괴강도의 저하가 늦은 것은 근육수축의 지연 및 약화에 의한 collagen matrix의 damage가 최소화되기 때문인 것으로 사료된다.

이상의 결과로부터, 즉살·방혈보다는 마취사·무방혈상태로 0°C에 보존하면서 수송하면 즉살·방혈수송보다는 육질의 단단함의 보존기간이 연장되므로, 활어수송 산업에 유용할 것으로 생각된다.

5. 유산량의 변화

즉살·방혈 및 마취사·무방혈의 시료 넙치를 0°C에 저장하는 동안에 유산량의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 치사직후의 유산함량은 $10 \mu\text{mole/g}$ 이었으며, 즉살·방혈에서 저장초기에 유산 축적이 빨라 저장 20시간 후에 약 $50 \mu\text{mole/g}$ 까지 상승한 후에 일정한 값을 나타내었다. 한편, 마취사·무방혈에서는 15시간까지 유산축적이 거의 관찰되지 않다가, 그후로 갑자기 상승하여 저장 25시간 후에 $51.7 \mu\text{mole/g}$ 로 최대값을 나타내었다. 유산축적의 반응속도상수는 즉살·방혈은 1.291h^{-1} , 마취사·무방혈은 저장 15시간까지는 0.086h^{-1} , 저장 15시간에서 25시간까지는 4.01h^{-1} 의 값으로, ATP분해와 같이 두단계로 증가하였다. 이러한 결과는, ATP분해에 따른 해당작용의 진행으로 유산의 축적이 진행되므로 ATP분해와 유산축적이 상관이 있다는 보고(Watabe et al, 1991)와 일치하였으며, 마취사·무방혈시에 유산축적이 현저히 지연되는 결과는 마취사·무방혈시에 ATP분해가 억제되기 때문에 해당작용이 억제된 결과로 추측된다.

요 약

횃감으로 많이 생식되고 있는 넙치육의 사후조기의 물리화학적 변화를 억제시켜서 신선도의 유지기간을 연장시킬 목적으로, 마취사 및 무방혈이 사후조기의 넙치육의 물리화학적 변화에 미치는 영향에 대하여 실험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 사후 넙치육의 경직개시 시간 및 완전경직 도달시간은 마취사·무방혈이 즉살·방혈보다 늦었으며, 최고 경직도도 마취사·무방혈이 낮은 값을 나타내었다.

2. ATP 분해도 마취사·무방혈이 즉살·방혈 보다 억제되었다. 즉, 즉살·방혈에서는 저장기간 동안에 꾸준히 감소하여 25시간 후에 완전히 분해되었지만, 마취사·무방혈에서는 저장 22.5시간까지 분해가 억제되다가, 그후

로 급속히 분해되었다.

3. 육의 파괴강도는 즉살·방혈에서 저장 10시간 후에 최대값을 나타내고 그후로 급속히 저하하였으며, 마취사·무방혈에서는 저장 13시간 후에 최고값에 도달한 후에 20시간까지 거의 일정하게 유지되다가 그후로 급속히 저하하였다.

4. 유산의 축적은 즉살·방혈에서는 저장기간을 통하여 꾸준히 증가하여 저장 20시간 후에는 최고값에 도달하였으며, 마취사·무방혈에서는 저장 15시간까지 유산의 생성이 억제되다가, 그후로 급격히 증가하여 저장 25시간 후에 최고값에 도달하였다.

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 calorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Biol. Chem.*, 138, 538~542.
- Bito, M., K. Yamada, Y. Mikumo and K. Amano. 1983. Studies on the rigor mortis of fish-1. Difference in the mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified cutting's method. *Bull. Tokai Reg. Lab.*, 109, 89~94.
- Boyd, N. S., N. D. Willson, A. R. Jerrett and B. I. Hall. 1984. Effect of brain destruction on post harvest muscle metabolism in the fish kahawai (*Aripistrua*). *J. Food Sci.*, 49, 177~179.
- Cho, Y. J. 1992. Relationship between temperature dependency and breaking strength of plaice muscle during low temperature storage. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25, 322~323
- 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., N. G. Lee, Y. Y. Kim, J. H. Kim, Y. J. Choi, K. B. Kim and K. W. Lee. 1994. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle. 4. Effect of killing methods on rigor index and breaking strength of muscle. 27, 41~46 (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).
- Hwang, G. C., H. Vshino, S. Watabe, M. Iwamoto and K. Hashimoto. 1991. The effect of carp stored at different temperature. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57, 541~548.
- Iwamoto, M., H. Yamaka, 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, Y. Y. and Y. J. Cho. 1992. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle. 1. Early changes after death and temperature dependency. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 25, 189~196 (in Korean).
- 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).
- Mochizuki, S. and A. Sato. 1996. Effects of various killing procedures on post-mortem changes in the muscle of chub mackerel and round scad. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 62, 453~457 (in Japanese).
- 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
- 安藤正史. 1996. 魚類筋肉の死後における軟化機構に関する研究. *日本誌*. 62, 555~558.
- 山本啓一・丸山工作. 1988. 筋肉(生明現象への化学的アフロチ). *化学同人*, 45~50.

1997년 3월 3일 접수

1997년 6월 30일 수리