

넙치(*Paralichthys olivaceus*)육의 사후 초기 변화

1. 사후 초기 변화와 온도 의존성의 관계

김육용 · 조영제

부산수산대학교 식품공학과

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

1. Relationship between Early Changes after Death and Temperature Dependency

Yuck-Yong KIM and Young-Je CHO

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

To know the extension effect of storage temperature on the pre-rigor period of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle, the relationship between early changes after death and temperature dependency was studied. Killed plaices instantly with spiking at the brain were stored at -3°C, 0°C, 5°C and 10°C, used in studying the changes in rigor index, ATP and its related compounds, lactate contents and K-value.

The most shortest onset time of rigor-mortis and full rigor was revealed in the sample stored at -3°C among the all samples, where rigor-mortis began at 4hrs after spiking and maximum tension was attained after 28hrs. However, in case of fresh plaice muscle stored at 10°C, the onset of rigor-mortis and full rigor were retarded to 14hrs and 52hrs after spiking.

ATP in sample stored at 5°C and 10°C were decomposed slowly than sample at 0°C and -3°C, within 35hrs storage. The fastest rate and the maximum content of lactate accumulation were showed in sample stored at -3°C among the all samples.

The correlation coefficient(r) between the rate of rigor mortis and ATP breakdown, rigor mortis and lactate accumulation, and ATP breakdown and lactate accumulation were -0.981946, 0.965044, and -0.964728, respectively.

Freshness of -3°C stored samples was maintained for the longest time compared with other stored samples. The times reached around 20% of K-value were 240hrs for samples stored at -3°C, 96hrs for 0°C samples, 71hrs for 5°C samples, and 22hrs for 10°C samples.

Samples stored at -3°C and 0°C were showed higher temperature dependency on rate of rigor-mortis, ATP breakdown, and lactate accumulation than 5°C and 10°C stored samples, but those samples have a lower temperature dependency on K-value.

서 론

근육은 사후에 단단하게 되는 사후 경직 현상이 일어나게 된다. 사후 경직이 진행되는 동안의 근육

중의 생화학적 변화에 대하여 연구한 보고는 많으며, Pate와 Brokaw(1980)은 근원 섬유 단백질중의 myosin과 actin 사이의 불가역적 가교결합으로 인하여 경직이 일어나며, Iwamoto 등(1988)과 Wa-

tabe 등(1991)은 근육중의 ATP 분해와 사후 경직 사이에는 밀접한 상관관계가 있다고 보고하고 있다.

근육의 사후 경직 개시 시간은 경직전의 근육의 상태가 중요한 인자가 되는데, 영양 상태가 불량하거나(Watabe 등, 1991; Iwamoto 등, 1987) 고민사한 것(Boyd 등, 1984; Bito 등, 1983)이 사후 경직 개시까지의 시간이 짧으며, 양식어보다 천연어쪽이 더 연장됨이 알려져 있다(巖本 등, 1990).

어육의 사후 경직과 저장 온도와의 관계는 어종에 따라 다르며 규칙성이 없다. 즉, Yamamoto 등(1964)은 만새기와 벤자리등에서, Bito 등(1983)은 고등어에서 각각 저온에 저장한 쪽이 경직 개시 시간이 지연된다고 보고하였으나, Yamamoto 등(1964)은 복숭어와 복어, Poulter 등(1981)은 역돔, 巖本 등(1985)은 참돔, 그리고 Yamamoto 등(1966)은 방어를 실험한 결과, 0℃보다 고온에 저장한 쪽이 경직 개시 시간이 지연된다고 보고하는 등 어종에 따라 서로 다른 온도 의존성을 나타내고 있으나, 사후 경직의 지속 시간은 전어종에서 저온에 저장할수록 길어진다고 알려져 있다.

본 연구에서는 고급 횡감으로 많이 소비되고 있는 넙치의 사후 초기 변화에 미치는 저장 온도의 영향을 검토하여 횡감의 신선도 연장을 위한 최적의 조건을 찾고자, 경직도, 핵산 관련 물질 및 유산량 변화의 온도 의존성과 이들 상호 관계에 대하여 검토하였다.

재료 및 방법

1. 재료

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 15℃ 해수에서 약 6시간 정도 피로를 완전히 회복시킨 후에 두부를 강타하여 즉살시켜서 혈액을 제거하고 -3℃, 0℃, 5℃ 및 10℃에 저장하면서 시료로 사용하였다.

2. 경직도의 측정

Bito 등(1983)의 방법에 따라서 측정하였다.

3. ATP 관련 물질의 측정

Iwamoto 등(1987)의 방법으로 핵산 관련 물질을 추출하여 추출액을 -25℃ 동결고에 동결 보관하였다. 측정시에 증류수로서 10배 희석하여 0.45μm

membrane filter로 여과후 HPLC에 주입하였다. Column 이동층에는 0.05M KH₂PO₄와 0.05M K₂HPO₄의 인산 완충 용액(pH 6.78)을 사용하였고 핵산 관련물질 표준품은 Sigma사의 표품을 사용하여 조제하였다. 장치는 PHILIPS사제 PYE UNICAM 고속액체 chromatograph 자동분석 system을 사용하였고 column은 Waters사제의 μ-Bondapak C₁₈, 300×3.9mm의 역상 분배 column이었으며, 측정 조건은 시료주입량 25μl, 이동층 유량 1.4ml/min, column 온도 25℃, 흡수 파장 254nm, peak 면적 적산법, 분석 시간 30분이었다.

4. 유산량의 측정

제단백 추출액을 사용하여 Barker-Summerson (1941)의 방법에 따라 측정하였다.

5. K-value의 환산

HPLC 분석법으로 ATP 분해 물질들의 mole 농도를 구하여 Uchiyama 등(1970)의 식으로 환산하였다.

결과 및 고찰

1. 경직도의 변화

즉살한 넙치육을 각종 온도에 저장하는 동안 사후 경직도의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 경직 개시 시간과 완전 경직에 도달하는 시간이 -3℃에서

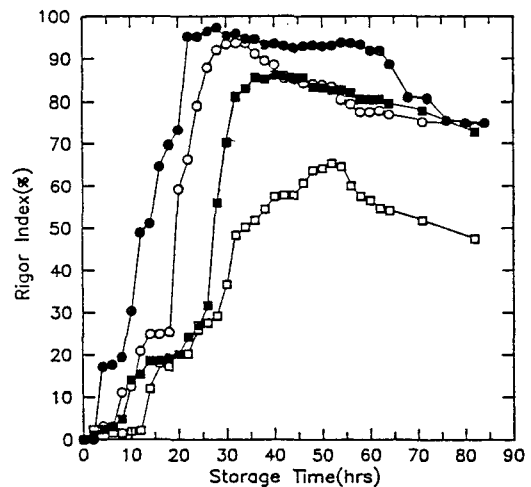


Fig. 1. Changes in rigor index of plaice muscle during storage at -3℃(●), 0℃(○), 5℃(■), and 10℃(□).

저장한 경우가 제일 짧았으며 그 다음이 0℃였고 5℃ 및 10℃ 순으로 연장됨을 알 수 있었다. 즉, 각 저장 온도에서의 경직 개시 시간과 완전 경직 도달 시간은 각각 -3℃에서 4시간과 28시간, 0℃에서 8시간과 30시간, 5℃에서 10시간과 36시간 그리고 10℃에서 14시간과 52시간이었다. 한편, 경직 지속 시간은 -3℃가 약 40시간으로 가장 길었고 0℃와 5℃는 유사한 반면, 10℃에서는 경직도 65%에 달한 후에 급속히 저하하는 경향을 보였다. 본 실험의 결과는 Yamamoto 등(1964)의 복상어와 복어, Poulter 등(1981)의 렉돔, 巖本 등(1985)의 참돔, 그리고 Yamamoto 등(1966)이 방어를 시료로 한 실험의 결과, 0℃보다는 5~10℃의 고온에서 사후 경직 개시 시간이 연장되며, 완전 경직의 유지 시간은 저온에 저장한 쪽이 더 길어진다는 보고와 일치하였다. 또, 각저장 온도별의 최대 경직도도 저장 온도가 낮을수록 큰 것을 알 수 있었다. 즉, -3℃에서는 97.4%, 0℃에서는 93.6%, 5℃에서는 86.2%, 10℃에서는 65.4%였으며, 저장 온도별에 따른 최대 경직도의 상이는 후술하는 ATP 분해 속도의 온도의존성과 상관이 깊은 것으로 추측된다.

근육의 사후 경직은 ATP 분해에 의하여 actin과 myosin의 불가역적 가교 결합에 의하여 일어남이 알려져 있으며(Pate 등, 1980; Whiting, 1980; Watabe 등, 1989), 이 반응의 온도 의존성에 대하여 Iwamoto 등(1988)은 ATP와 creatine phosphate의 분해를 촉매하는 ATPase와 creatine kinase와 같은 효소 활성은 보통 고온(5~10℃)에서 높은 활성을 나타내는데, 0℃에서 ATP 함량의 소실이 현저한 이유는 근형질중의 Ca²⁺ 농도에 의존하며 어체는 이 0℃로 저하함에 따라서 근세포체의 Ca²⁺ 수용력이 저하하게 되어 근형질중의 Ca²⁺ 농도가 높아지므로, Mg²⁺-ATPase 활성이 부활되어 ATP의 분해가 촉진되기 때문이라고 보고하고 있다. 본 실험의 결과에서도 -3℃와 0℃ 저장에서 사후 경직 개시까지의 시간이 단축되는 결과는 저온에 의한 근세포체의 Ca²⁺ 수용 능력의 저하 때문이라고 생각되어지며, 또, -3℃ 저장에서는 빙결정의 생성으로 인하여 근세포체가 파괴되어 근세포체내의 Ca²⁺이 근형질중으로 많이 방출되기 때문에 저온의 영향과 더불어 ATP 분해가 더 촉진된 것으로 추측된다.

Fig. 2는 각저장 온도에 따른 경직 진행의 의존성을 Arrhenius식을 이용하여 나타내었는데, 상술과 같이 경직의 진행은 저온일수록 촉진된다는 것을 알 수 있다. -3℃보다 10℃에서 약 2배 이상 경직 진행의 반응 속도가 느렸으며, -3℃에서 현저히 촉진되었다.

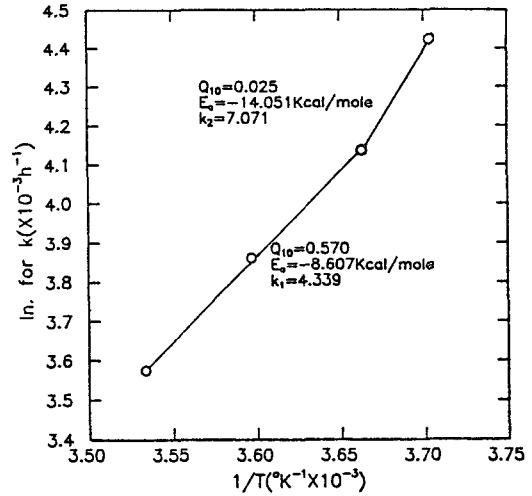


Fig. 2. Arrhenius plot of rigor index changes at various temperature.

진되었다. 즉 0℃~10℃ 영역에서의 Q₁₀은 0.570, 활성화 에너지(이하 E_a로 약함)는 -8.607kcal/mole 그리고 반응 속도 상수는 4.339였으며, -3℃~0℃ 영역에서의 Q₁₀은 0.025, E_a는 -14.051kcal/mole 그리고 반응 속도 상수는 7.071로, 온도가 높을수록 경직의 진행 속도는 느렸으나 반대의 경우에는 촉진되었다. 그리고, 0℃에서 굴곡이 나타나는 원인은 -3℃에서 경직이 더 촉진되었기 때문으로 추측되며, 遠藤(1989)의 보고와 같이 동결점 이하의 온도역인 최대 빙결정 생성대에서 사후 경직의 진행, glycogen의 분해, ATP의 분해 그리고 pH 저하등이 촉진된다는 보고와 일치하였다.

2. ATP의 분해

즉살한 넙치육을 각각의 온도에 저장하는 동안의 ATP의 분해 정도를 Fig. 3에 나타내었다.

즉살 직후의 넙치육의 ATP 함량은 5.50μmole/g으로 근육중의 전ATP 관련물질의 69%를 차지하였으며, ADP는 1.53μmole/g, AMP는 0.35μmole/g, IMP는 0.31μmole/g이었고 inosin(HxR)과 hypoxanthine(Hx)은 검출되지 않았다. ATP 분해 속도는 -3℃에서 가장 빨랐으며, 다음으로 0℃였고 5℃와 10℃는 유사한 경향을 보였다. -3℃에서 ATP는 저장 초기부터 급격히 감소하였고 완전 분해 시간은 저장 후 23시간으로 다른 저장 온도보다 극히 짧았으며, 이때에 근육은 완전 경직에 도달하였고 유산의 축적량도 최대에 도달했으며 K값은 3.1%로 고신선도를 나타내었다. 0℃에서의 ATP의 완전 소실

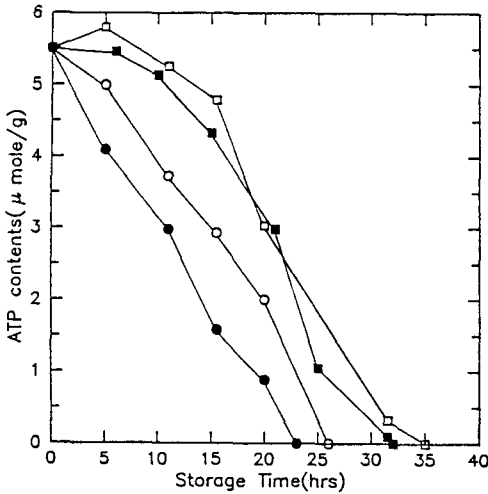


Fig. 3. Changes in content of ATP in plaice muscle during storage at -3°C(●), 0°C(○), 5°C(■), and 10°C(□).

시간은 26시간으로 -3°C보다 연장되었으며, 이때의 경직도는 85%였고 유산의 축적량도 최대에 달했으며 K값은 8.5%를 나타내었다. 5°C에서의 ATP의 분해 속도는 -3°C와 0°C에 비해 저장 초기에는 일정하게 유지되었으며 완전 분해 시간은 32시간으로 10°C보다 약간 단축되었고, 이때에 경직도 86%, K값 14.2% 그리고 유산의 축적량도 최대에 달했다. 또한, 10°C에서의 ATP 분해 속도는 초기에는 거의 일정하게 유지되다가 이후 완만하였으며 완전 분해 시간은 35시간으로 다른 저장 온도보다 연장되었다. 그러나 이때의 경직도는 51%로 가장 낮은 값을 나타내었고 K값도 36.3%로 다른 저장 온도에 비해 극히 높은 값을 나타내었다. ATP 분해의 일반적인 경향은 저장 온도가 낮을수록 초기부터 빨랐으며, 저장 온도가 높을수록 초기에는 거의 일정하게 유지되다가 이후 완만히 감소함을 나타내었다.

ATP 완전 소실 시간은 -3°C 23시간, 0°C 26시간,

5°C 32시간 그리고 10°C 35시간으로 5°C 및 10°C 저장에서 지연되었는데, 이는 巖本 등(1985)이 참돔을 시료로 실험한 결과와 유사하였다. 또, -3°C 및 0°C 저장에서 ATP의 분해 속도가 빨랐는데, 이러한 결과는 Bito 등(1983)이 고등어를 -2.5°C에 저장할 때 그리고 Matsumoto 등(1990)이 참깨 근육을 -1°C 저장할 때 ATP의 분해 속도가 빨랐다는 보고와 일치하였다. 5°C 및 10°C 저장에서 사후 일정 기간 동안 ATP 함량이 일정하게 유지되었는데, 이는 Watabe 등(1991)의 보고에 의하면 creatine phosphate가 ADP에게 인산기를 공급하기 때문이며, 巖本 등(1985)의 혐기적 조건에서 glycogen이 분해되어 해당계에서 ATP가 재합성되기 때문에 저장의 극히 초기에 ATP가 일정하게 유지되다가 급격히 감소한다는 보고와 유사한 것으로 생각된다.

어육에 대한 ATP 분해와 사후 경직도의 관계에 대한 연구는 많으며(巖本 등, 1985; Yamamoto 등, 1966; Saito 등, 1966; Bito 등, 1983), 대부분의 경우 ATP의 완전 소실 시간과 완전 경직 도달 시간이 일치한다고 보고하였다. Iwamoto 등(1988)과 Watabe 등(1991)은 근육중의 ATP 소실과 사후 경직 사이에는 밀접한 상관 관계가 있으며, 사후 경직 개시는 ATP 함량이 소실할 때부터 시작되고 1μmole/g 이하에 달했을 때 완전 경직에 도달한다고 보고하였다. 본 실험의 결과에서, 사후 경직과 ATP 소실과의 상관 관계(r)는 -0.981946의 값을 나타내었다(Table 1).

Fig. 4에 각저장 온도에 따른 ATP 분해 속도의 온도 의존성을 Arrhenius식을 이용하여 나타내었다. 경직 진행의 온도 의존성과 유사한 경향을 나타내었으며, 5°C 및 10°C보다 -3°C 및 0°C에서 반응이 촉진되었다. 즉, 0°C~10°C 영역에서의 Q₁₀은 0.874, E_a는 -2.071kcal/mole 그리고 반응 속도 상수는 1.043였으며, -3°C~0°C 영역에서의 Q₁₀은 0.669, E_a는 -5.727kcal/mole 그리고 반응속도 상수는 2.884 이었다.

Table 1. The correlation coefficient of the relationship between various indices(rigor index, lactate contents and ATP contents)

Temp.	rigor index : ATP cont.	rigor index : lactate cont.	ATP cont. : lactate cont.
-3°C	-0.998767	0.972076	-0.974002
0°C	-0.976277	0.946863	-0.983202
5°C	-0.962462	0.970112	-0.932765
10°C	-0.990278	0.971125	-0.968940
Mean	-0.981946	0.965044	-0.964728

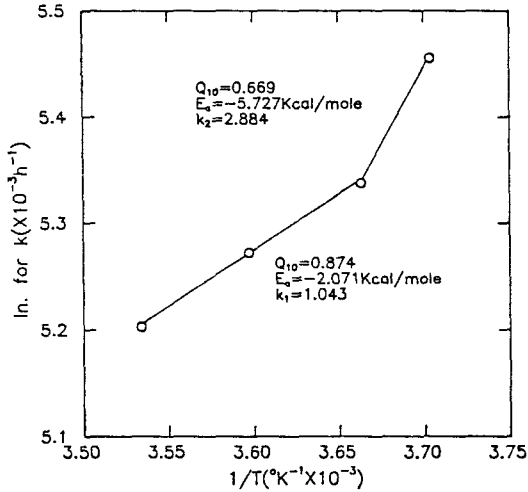


Fig. 4. Arrhenius plot of ATP breakdown rates at various temperature.

경직의 진행과 ATP 분해 속도의 온도 의존성을 비교해 보면 경직 진행의 온도 의존성이 ATP 분해의 온도 의존성보다 더 큼을 나타내었다. 0℃에서의 굴곡은 -3℃에서 ATP 분해가 촉진되기 때문이며, 이러한 결과는 상술의 遠藤(1989)의 보고와 일치하였다.

3. 유산량의 변화

즉살한 넙치를 각종 온도에 저장하는 동안 근육 중에 축적되는 유산량의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 즉살 직후의 유산량은 9.65 μmole/g이었으며, 경직이 진행되는 동안 증가하는 경향을 보여, -3℃에서의 유산 축적량은 다른 저장 온도에 비해 현저히 증가되었으며, 저장 초기부터 급격히 증가하다가 완전 경직 시간인 저장 28시간후에 최대치(61.1 μmole/g)에 달한후 일정하게 유지되다가 78시간째부터 감소하였다. 0℃에서는 완전 경직시인 저장 30시간후에 유산 축적량은 44.26 μmole/g으로 -3℃에 비해 낮은 값을 나타내었으며 저장 70시간째부터 감소하였다. 5℃에서 유산의 축적이 가장 완만하였고 최대 축적량 또한 가장 적었으며, 저장 36시간후에 최대치(34.84 μmole/g)를 나타내었다. 10℃는 5℃보다 유산의 축적이 촉진되었고 저장 52시간째에 최대(39.93 μmole/g)로 되었다.

-3℃ 저장에서 유산량의 급격한 증가는 최대 병결정 생성대에서는 병결정의 생성 및 한냉 수축등으로 인하여 혐기적 조건에서의 해당이 촉진되기 때문에 ATP의 감소, 경직의 진행 그리고 최종 생성물인 유산의 축적이 현저해진다는 보고(遠藤,

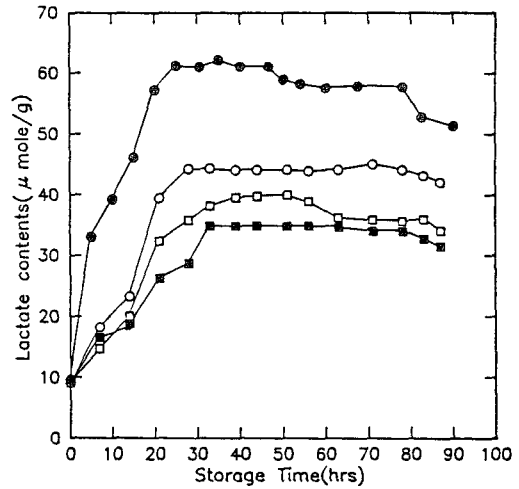


Fig. 5. Changes in contents of lactate in plaice muscle during storage at -3℃(●), 0℃(○), 5℃(■), and 10℃(□).

1989; 松本 등, 1991)와 일치하였다. 또한 10℃ 저장에서의 유산의 증가폭이 5℃보다 높는데, 이는 고온에 의한 해당의 촉진 때문이라는 보고(遠藤, 1989)와 일치하는 것으로 생각된다.

Watabe 등(1991)은 고등어에서 유산의 축적과 ATP 분해와는 깊은 상관 관계($r=-0.995$)를 가지며 경직도 사이에도 밀접한 상관 관계($r=0.989$)를 나타내었다고 보고하고 있으며, 본 실험의 결과에서도 유산량의 증가, 경직도 그리고 ATP의 감소 사이의 상관 관계는 Table 1에 나타낸 바와 같이, 사후 경직의 진행과 유산량의 증가는 깊은 상관 관계($r=0.965044$)를 나타내었고 ATP의 감소와 유산량 증가의 상관 계수(r)는 -0.964728 이었다.

유산 축적의 온도 의존성을 arrhenius식을 이용하여 Fig. 6에 나타내었는데, 경직의 진행과 ATP 분해 속도의 온도 의존성과 약간 상이한 결과를 나타내었다. 즉, 5℃~10℃ 영역에서는 Q_{10} 은 1.405, E_a 는 5.416 kcal/mole 그리고 반응 속도 상수 2.727, 0℃~5℃ 영역에서는 Q_{10} 은 0.578, E_a 는 -8.417 kcal/mole 그리고 반응 속도 상수 4.238, -3℃~0℃ 영역에서는 Q_{10} 은 0.208, E_a 는 -22.405 kcal/mole 그리고 반응 속도 상수 11.282이었다. 0℃와 5℃에서의 굴곡은 -3℃와 10℃에서 반응이 촉진된 결과이며, -3℃에서는 병결정 생성(遠藤, 1989; 松本 등, 1991) 그리고 10℃에서는 고온에 의한 해당의 촉진(遠藤, 1989)때문에 반응이 촉진된 것으로 생각된다.

4. K-value의 변화

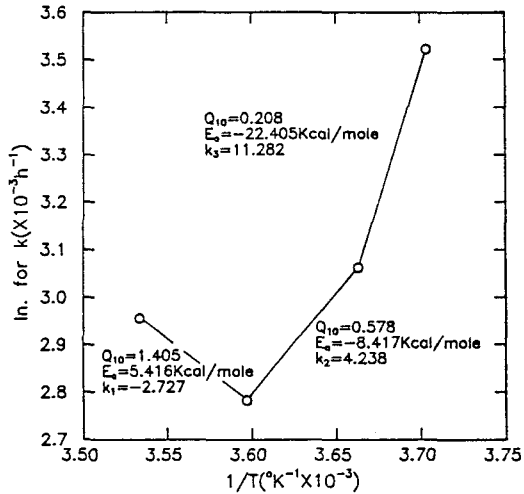


Fig. 6. Arrhenius plot of lactate accumulation rates at various temperature.

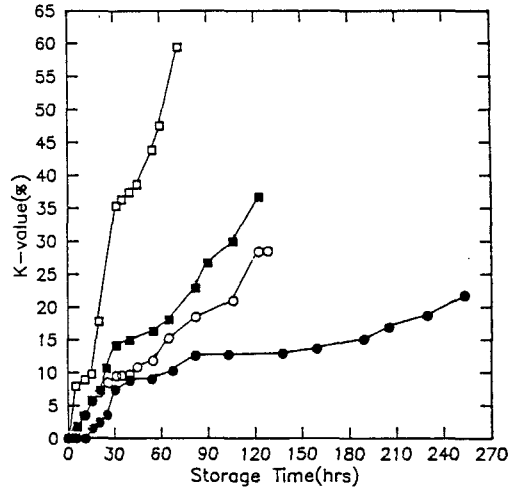


Fig. 7. Changes in K-value of plaice muscle during storage at -3°C (●), 0°C (○), 5°C (■), and 10°C (□).

즉살한 넙치 근육을 각종 온도에 저장하는 동안 신선도의 지표인 K값의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 10°C 저장에서는 저장 초기부터 급격히 증가하여 저장 65시간후에 50%에 도달하였고, -3°C 의 경우는 K값의 증가는 상당히 억제되었으며 240시간후에 20%에 달했다.

사후 경직 개시 시점에서 각저장 온도에서의 K값을 비교해 보면, -3°C (4시간)에서는 0%로 inosine과 hypoxanthine이 검출되지 않았으며, 0°C (8시간) 2%, 5°C (10시간) 2.1% 그리고 10°C (14시간) 약 15%의 값을 나타내었다. 또, 완전 경직시의 K값은 -3°C 에서 3.1%, 0°C 에서 8.5%, 5°C 에서 14.2% 그리고 10°C 에서 36.3%로, 뚜렷한 온도 의존성을 나타내었다. 횡감으로 이용 가능한 K값 20%에 도달하는 시간은 10°C 22시간, 5°C 71시간, 0°C 96시간 그리고 -3°C 에서는 240시간으로 현저히 연장되었다. 이러한 결과는 Iwamoto 등(1987)이 넙치를 시료로 실험한 결과에 의하면 0°C 에서 저장 48시간째에 K값은 6% 이내로 가장 낮았고 5°C 와 10°C 에서도 20% 이내로 고신선도를 나타내었으며, 15°C 와 20°C 저장에서 K값은 급속히 증가하였다는 보고와 유사한 경향을 보였다.

K값의 온도 의존성을 Arrhenius식을 이용하여 Fig. 8에 나타내었다. $0^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ 영역에서 Q_{10} 은 2.193, E_a 는 12.041kcal/mole 그리고 반응 속도 상수 -6.063 , $-3^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ 영역에서 Q_{10} 은 7.326, E_a 는 27.809 kcal/mole 그리고 반응 속도 상수 -14.003 이었다. 이러한 결과는 趙(1991)가 돈육을 시료로 실험한 결과, $2^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 영역에서 Q_{10} 은 2.78, E_a 는 15.54kcal/

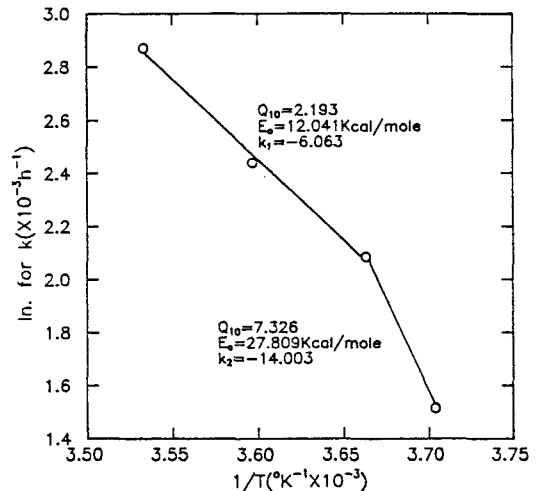


Fig. 8. Arrhenius plot of K-value changes at various temperature.

mole, 그리고 $-3^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 영역에서 Q_{10} 은 15.55, E_a 는 38.48kcal/mole의 값과 유사하였다.

요 약

고급 횡감으로 많이 소비되고 있는 넙치의 사후 초기 변화의 온도 의존성을 검토하여 횡감의 신선도 연장을 위한 최적의 조건을 찾아서 산업에 이

용하고자, 각종 저장 온도에 넙치를 저장하면서 사후 경직도, 근육중의 ATP 관련 물질의 분해 및 유산의 축적 정도 그리고 K값 등의 온도 의존성 및 이들의 상관 관계에 대하여 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 사후 경직의 개시 시간은 0℃ 및 -3℃ 저장보다 5℃ 및 10℃에서 연장되었고, 저장 온도가 낮을수록 경직도가 높았으며 완전 경직의 유지 시간도 길었다.

2. ATP 분해 속도는 -3℃에서 가장 빨랐으며 다음으로 0℃였고, 5℃ 및 10℃에서는 ATP 분해 속도가 상당히 억제되어 약 35시간을 전후하여 전부 분해되었다.

3. 유산 축적량의 온도 의존성은 ATP 분해 속도의 온도 의존성과 약간 다른 경향을 나타내었다. 즉, -3℃ 저장에서 가장 높은 반면, 5℃ 저장에서 가장 낮았다.

4. 경직의 진행과 ATP의 분해, 경직의 진행과 유산의 축적 그리고 ATP의 분해와 유산의 축적사이의 상관 계수(r)는 각각 -0.981946, 0.965044 및 -0.964728이었다.

5. 신선도 지표인 K값이 20%에 달하는 시간은 저장 온도별로 10℃ 22시간, 5℃ 71시간, 0℃ 96시간 그리고 -3℃ 240시간으로, ATP 분해 속도의 온도 의존성과 반대의 결과였다.

6. 경직의 진행 속도, ATP 분해 속도, 유산의 축적 그리고 K값의 온도 의존성을 Arrhenius식을 이용하여 구한 결과, 반응 속도는 -3℃에서 현저히 촉진되었으며, 다음으로 0℃ 그리고 5℃ 및 10℃에서 지연되었으나 K값의 반응 속도는 이와 반대였다.

7. Arrhenius식에서 구한 Q₁₀값, 활성화 에너지(Ea) 및 반응 속도 상수를 비교해 볼 때, 경직의 진행 속도, ATP 분해 속도 및 유산 축적의 온도 의존성은 K값의 온도 의존성과 상반되었다.

謝 辭

본 연구를 지원해 주신 (株)屯德水産 鄭尙郁 사장님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

Barker, S. B. and W. Summerson. 1941. 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.

Boyd, N. S., N. D. Nilson, A. R. Jernett and B. I. Hall. 1984. Effect of brain destruction on post harvest muscle metabolism in the fish kahawai (*Arripis trutta*). J. Food Sci. 49, 177.

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.

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.

Pate, E. F. and C. J. Brokaw. 1980. Cross-bridge behavior in rigor muscle. Biophys. Struct. Mech. 7, 51.

Poulter, R. G., C. A. Curran and J. G. Disney. 1981. in "Advances in Technology in the Chilling, Freezing, Processing, Storage and Transport of fish, Especially Underutilized Species" (ed. by International Institute of Refrigeration). Paris. 111~123.

Uchiyama, H., S. Ehira, H. Kobayashi and W. Shimizu. 1970. Significance in measuring volatile base and trimethylamine nitrogen and nucleotides in fish muscle as indices of freshness of fish. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 36, 177.

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 Mg²⁺-ATPase Activity and Ca²⁺ uptake by Sarcoplasmic Reticulum. J. Food Sci. 54, 1107~1115.

- Whiting, R. C. 1980. Calcium Uptake by Bovine Muscle Mitochondria and Sarcoplasmic Reticulum. *J. Food Sci.* 45, 288~292.
- 松本美鈴 · 山中英明. 1991. クルマエビの死後便直に関する研究. *日本誌* 57, 2121~2126.
- 巖本宗昭 · 山中英明. 1986. 天然ならびに養殖マダイにおはる死後便直の顕著な差異. *日本誌* 52, 275~279.
- 巖本宗昭 · 山中英明 · 渡部終五 · 橋本周久. 1990. 天然および養殖ヒラメの死後便直の進行の比較. *日本誌* 56, 101~104.
- 巖本終昭 · 井岡 久 · 齊藤素子 · 山中英明. 1985. マダイの死後便直と貯藏温度の関係. *日本誌* 51, 443~446.
- 遠藤金次. 1989. 凍結点周辺の温度域におはる魚の貯藏. *日本食品工業學會誌* 36, 428~423.
- 趙永濟. 1991. Time-temperature Indicator에 의한 豚肉의 鮮度 判定에 관한 研究. *冷凍 · 空調工學* 10(6), 405~411.
-
- 1992년 4월 2일 접수
1992년 5월 2일 수리