

## 활어의 무수 수송 장치 개발을 위한 기초적 연구

조영제 · 김육용 · 이남걸 · 최영준\*

부산수산대학교 식품공학과 · \*통영수산전문대학 수산가공과

### Basic Studies on Developing Equipment for Waterless Transportation of Live Fish

Young-Je CHO, Yuck-Yong KIM, Nam-Geoul LEE and Yeung-Joon CHOI\*

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

*\*Department of Marine Food Science and Technology, Tong-Yeong Fisheries College, Chungmu 650-160, Korea*

This study was undertaken to get basic data for the cold-waterless transportation of live fish. The optimal cold temperature of plaice, *Paralichthy olivaceus* was determined by checking the changes of dissolved oxygen and ammonia in the sea water and the survival times during storage at various temperatures. After determination of optimal temperature for transportation, the changes of serum components and muscle components of live plaice were also carried out during storage at cold(5℃)-waterless conditions and the recovery conditions(10% density at 15℃).

At higher storage temperature, decreases in dissolved oxygen and the increases in ammonia in seawater were observed. In addition, the survival time was short at low temperature(0℃ and 3℃).

Almost all of the serum components(hemoglobin, glucose, LDH, GOT and GPT) of live plaice gradually increased during storage in cold-waterless conditions, and then those values decreased to the initial levels after 3~10hrs storage in conditions of recovery.

The concentration of ATP in the muscle steadily decreased during storage in cold-waterless conditions. The contents of ADP and IMP seemed to be directly related to the extent of ATP breakdown. ADP and IMP thus showed a gradual increase during storage.

The level of lactate in the muscles gradually increased during these storage times, also. On the other hand, the levels of those components in the muscle entirely recovered to their original levels within 3~6hrs storage after they were returned to conditions of recovery.

The ratio of ATP to the ATP and its related compounds{ATP/(ATP+ADP+AMP+IMP) × 100} in the muscle showed 45% after 18hrs storage in cold-waterless conditions. Otherwise, ratios returned to their original levels within 3~6hrs of storage in recovery conditions.

---

이 연구는 한국과학재단지정 우수공학연구센터인 해양산업개발연구소의 연구비지원(93-1213-05-1)에 의해 수행되었음.

## 서 론

활어의 수송에 관한 연구로는 현재 보편화되어 있는 활어조에 의한 수송법(Yoshikawa *et al.*, 1989; Ferreira *et al.*, 1984; Chung, 1980; Hatting, 1977), CO<sub>2</sub> 또는 마취약제로 마취시킨 후에 수송하는 방법(Yoshikawa *et al.*, 1989), 저온 고밀도 수송법(조·김, 1994), 즉살 활어 수송법(김·조, 1992) 등이 있다.

어류는 서식 수온 및 어종에 따라서 저온에 대한 내성이 다르지만, 일반적으로 주위 환경의 수온이 저하함에 따라서 운동량 및 호흡량이 줄어들어서(Ishioka, 1984; Chung, 1980), 피로가 억제되므로(Takeda *et al.*, 1989) 고밀도 수송이 가능하다. 또, 공기중에는 산소 용존량이 물의 약 30배이고(Dejours, 1975) 산소 분압의 확산 속도가 물의 약 30만배이므로(Schmidt-Nielsen, 1975) 활어의 저온 고밀도 수송법의 가능성을 시사하고 있다.

현재, 보편화되어 있는 활어조에 의한 활어 수송법은 불필요한 물을 대량(전체 중량의 약 80~85%) 수송하기 때문에 비경제적이다. 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하여 물 대신에 활어만을 대량 수송할 수 있는 방법으로서 무수 수송 장치를 개발하기 위한 기초 연구로, 넙치의 저온 한계온도를 찾고, 저온·무수 상태 및 회복시에 혈액 성분 및 근육 성분의 변화에 대하여 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시 료

넙치(*Paralichthys olivaceus*, 약 600~700g)를 축양장에서 실험실로 운반하여, 수송중에 받은 stress를 회복시키기 위하여 약 6시간 동안 15℃의 수조에 방치하여 회복시킨 후에 시료로 사용하였다.

### 2. 수송을 위한 최적 수온

수송을 위한 최적 저온의 수온을 결정하기 위하여, 넙치를 10% 밀도(100g/1000ml)로 하여 각종 온도(0℃, 3℃, 5℃, 7℃, 15℃)로 조정된 수조에 저장하면서 해수중의 용존 산소량의 감소 및 암모니아 생성량의 측정 그리고 치사시간을 관찰하였다. 해수 중의 용존 산소량은 D. O. Meter(YSI model 57, Yellow Spring Instrument Co., Inc., U. S. A.)를 사용하여 측정하였으며, 암모니아 생성량은 Solorzano(1969)의 방법에 따라서 검량선을 작성하여

측정에 사용했다.

### 3. 저온 및 무수 저장

5℃로 조정된 저장고에 무수 상태로 넙치를 넣고 약 15분마다 5℃의 해수를 약 30초간 분무하면서 18시간 저장하는 동안의 혈액 성분(hemoglobin, glucose, LDH, GOT, GPT) 및 근육 성분(ATP관련 물질, 유산)의 변화를 경시적으로 측정하였다.

#### 1) 혈액 성분 변화의 측정

혈액 성분의 변화는 경시적으로 시료를 끄집어 내어서 주사기로 혈액을 채취하여, hemoglobin은 응고되지 않은 전혈을 cyanmethemoglobin법을 이용한 측정용 시액(형식 AM503-K, (주)아산제약, 한국)으로 측정하였다. 또한, 채취한 혈액을 5℃ 냉장고에서 1시간 방치하여 응고시킨 후에 3000rpm에서 15분 동안 원심분리하여 혈청을 조제한 다음에, glucose는 glucose oxidase의 효소를 이용한 측정용 시액(형식 AM201-K, (주)아산제약, 한국), LDH(lactate dehydrogenase)는 tetrazolium염법을 이용한 측정용 시액(형식 IWS-125, (주)인화제약, 한국), 그리고 GOT(glutamic oxaloacetic transaminase)와 GPT(glutamic pyruvic transaminase)는 Reitman and Frankel(1957)법을 이용한 측정용 시액(형식 AM101-K, (주)아산제약, 한국)을 사용하여 각각 측정하였다.

#### 2) 근육성분 변화의 측정

혈액성분을 측정할 동일 시료를 사용하여 ATP 관련 물질을 Iwamoto *et al.*(1987)의 방법으로, 유산량은 Barker and Summerson(1941)의 방법에 따라서 측정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 수송을 위한 최적 수온

각종 온도(0℃, 3℃, 5℃, 7℃ 및 15℃)로 조정된 일정량의 해수중에 넙치(밀도; 100g/1000ml)를 넣고서 폭기하지않고 저장하면서 해수중의 용존 산소량의 저하 정도를 측정한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 저장 온도가 높을 수록 해수중의 용존 산소량의 저하가 빨랐다. 즉, 15℃, 7℃ 및 5℃ 저장시에 용존 산소량이 1ppm 부근까지 저하하였으며, 이값에 도달한 얼마후에 치사하였다. 즉, 15℃에서는 360분, 7℃에서는 460분, 그리고 5℃에서는 590분 후에 넙치는 치사하였다. 한편, 3℃ 저장에서는 D. O.값이 약 2.3ppm까지 저하하여 520분 후에 치사

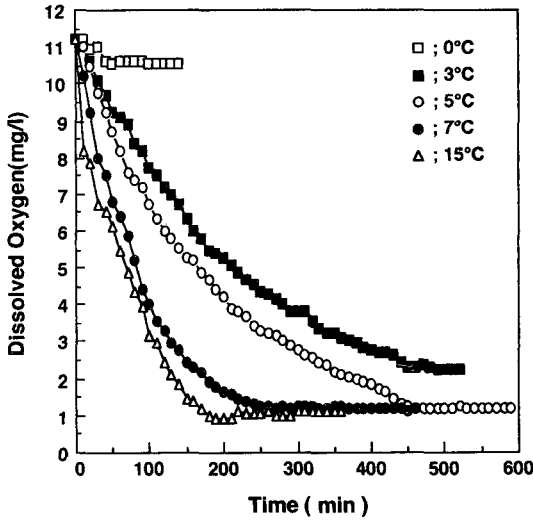


Fig. 1. Changes on dissolved oxygen in seawater with non-aeration during storage at various temperatures.

The density of plaice in seawater is 100g/1000ml (10%).

하였고, 0°C 저장에서는 D. O.값의 저하가 거의 관찰되지 않았으나 저장 140분후에 치사하였다. 이와 같이 0°C 저장에서 용존 산소량의 저하가 거의 없는데 반하여 치사시까지의 시간이 가장 짧은 결과는 저온 쇼크에 의한 치사로 생각되며, 3°C 저장에서도 어느 정도의 저온 쇼크의 영향을 받는 것으로 생각된다. 한편, 5°C, 7°C 및 15°C 저장에서는 용존 산소의 부족 때문에 치사한 것으로 판단된다. 그리고, 각종 온도에서 해수중의 용존 산소감소 속도 상수는 15°C에서는  $0.0593\text{min}^{-1}$ , 7°C에서는  $0.0498\text{min}^{-1}$ , 5°C에서는  $0.0230\text{min}^{-1}$ , 3°C에서는  $0.0199\text{min}^{-1}$ , 0°C에서는  $0.0089\text{min}^{-1}$ 이었다. 그리고, 5~15°C 영역에서의  $Q_{10}$ -value는 2.58이었으며,  $E_a$ 는  $-19.02\text{Cal/mole}$ 을 나타내었다(Fig. 2).

상기의 각종 온도로 조정된 일정량의 해수에 넙치(밀도; 100g/1000ml)를 넣고 폭기하면서 저장중에 해수중의 암모니아의 변화를 측정된 결과를 나타내었다(Fig. 3). 저장온도가 높을 수록 해수중의 암모니아의 생성 속도가 빨랐다. 전 저장온도에서 암모니아 생성량이 약 30mg/l에 도달한 얼마후에 넙치는 치사하였으며, 15°C에서는 124시간, 7°C에서는 165시간, 그리고 5°C에서는 205시간 후에 치사하였다. 이러한 결과는, 해수중의 암모니아 화합물의 독성에 대하여 川本(1977)는 어종에 따라서

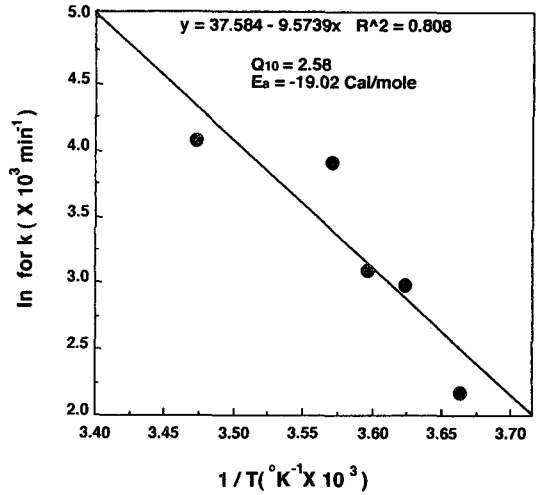


Fig. 2. Arrhenius plot of dissolved oxygen decreases at various temperatures.

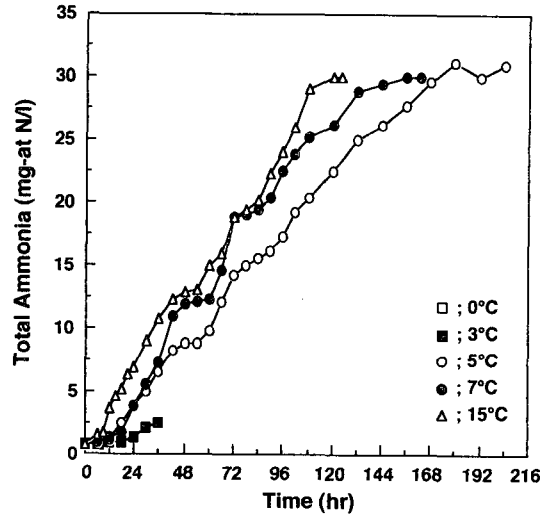


Fig. 3. Changes on total ammonia in seawater with aeration during storage at various temperatures. The density of plaice in seawater is 100g/1000ml (10%).

다르지만 일반적으로 수산 동물에 대하여 30mg/l 정도가 되면 치사한다는 보고와 일치하였다. 한편, 3°C 저장에서는 암모니아 생성량이 약간 관찰되었으며 36시간 후에 치사하였고, 0°C 저장에서는 암모니아 생성량이 없었으며 10시간 후에 치사하였는데, 이러한 결과는 저온 쇼크에 의한 것으로 생

각된다.

이상의 결과로 부터 넙치를 활어 상태로 저온 수송하기 위해서는 5℃가 최적의 온도인 것으로 판단된다.

2. 저온·무수 저장 그리고 회복 기간중에 혈액 성분의 변화

5℃로 조정된 냉장고에 무수 상태로 넙치를 넣고 약 15분마다 5℃의 해수를 약 30초간 분무하면서 18시간 저장하는 동안 그리고 그 후에 15℃의 수조(넙치밀도; 100g/1000ml)에서 회복 기간중의 혈액 성분(hemoglobin, glucose, LDH, GOT 및 GPT) 및 근육 성분(ATP관련물질, 유산)의 변화를 측정한 결과는 Fig. 4~10과 같다.

혈액 중의 hemoglobin(Fig. 4)은 저장 전에 약 5.1g/100ml였으며 저온·무수 저장의 초기에는 변화가 거의 관찰되지 않았으나 10시간 이후부터 급격히 증가하여, 18시간 후에는 약 9.8g/100ml의 값을 나타내었다. 한편, 15℃ 수조로 옮긴 2시간후부터 혈중의 hemoglobin값이 저하하기 시작하여 약 10시간 후에는 본래의 값까지 감소하였다. 이러한 결과는 Wedemeyer(1973)가 송어를 시료로 조사한 결과와 유사하였다.

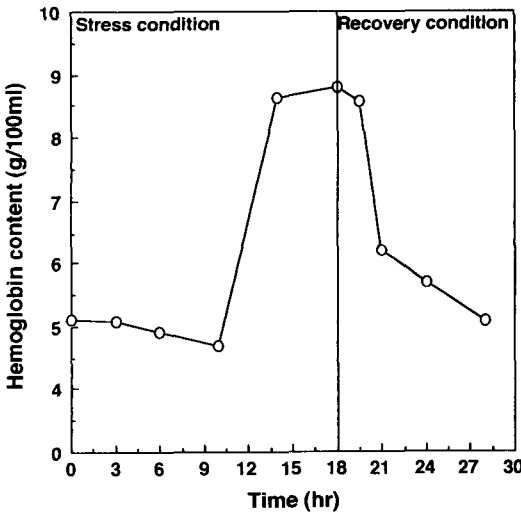


Fig. 4. Changes on hemoglobin content in serum of live plaice during storage in stress conditions (5℃, waterless) and recovery conditions(15℃, sea water).

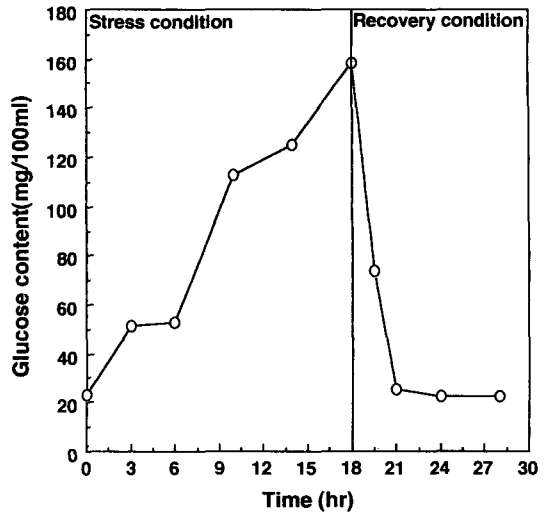


Fig. 5. Changes on glucose content in serum of live plaice during storage in stress conditions(5℃, waterless) and recovery conditions(15℃, sea water).

혈액중의 glucose(Fig. 5)는 저장전에 22mg/100ml의 값을 나타내었으며, 저온·무수 저장 기간중에 서서히 증가하여 18시간 후에 154mg/100ml의 값을 나타내었고, 15℃ 수조에서의 회복 기간중에 급격히 저하하여 약 3시간후에 최초의 값까지 감소하였으며, hemoglobin보다 회복에 걸리는 시간이 짧았다. Stress시에 혈액중의 glucose 농도의 증가에 대하여 Birnbaum *et al.*(1976)과 Hayashi and Ooshiro(1977)는 부신 수질에서 adrenalin이 과다 분비되어 간장중의 glucose를 glycogen으로의 생합성이 억제되며, 근육조직중의 glycogen에서 glucose로의 분해를 촉진한다고 하였다. 또, Ottolenghi *et al.*(1982)이 stress시에 췌장으로부터 insulin의 분비가 억제되어서 혈당이 상승한다고 보고하고 있다.

혈액중의 유산탈수소효소(LDH)의 활성(Fig. 6)은 저장 초기에 급격히 증가하여, 18시간후에는 약 3300이였으며, 15℃ 수조에서의 회복조건에서 약 2시간후에 최초의 값까지 저하하였다. 이와 같이 저온·무수 저장중에 혈액중의 LDH의 증가는 혈중 유산량의 증가때문으로 생각된다. Wardle(1978)은 급격한 운동 등에 의한 stress시에 adrenalin이 증가하여 혈관의 수축이나 혈류량 감소 등에 의한 저산소 분압 상태에서의 혈액 이동은 간장에 있는 glycogen의 혐기적 분해에 의하여 유산의 생성을 촉진시킨다고 보고하였다.

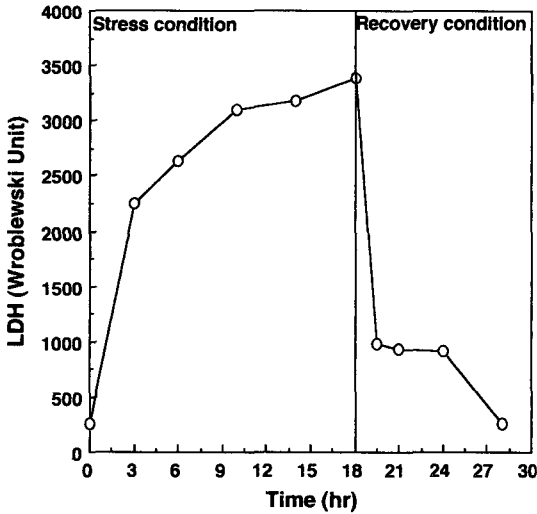


Fig. 6. Changes on LDH in serum of live plaice during storage at stress conditions(5°C, waterless) and recovery conditions(15°C, sea water).

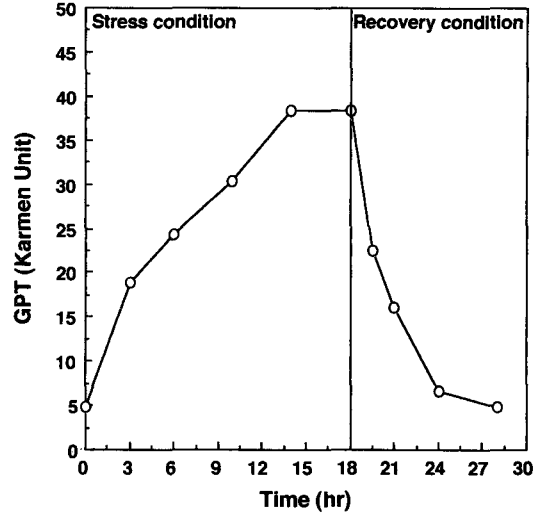


Fig. 8. Changes on GPT in serum of live plaice during storage in stress conditions(5°C, waterless) and recovery conditions(15°C, sea water).

혈액중의 GOT(Fig. 7) 및 GPT(Fig. 8)값의 변화도 상기의 혈액 성분들의 변화와 유사한 경향을 나타내었다. 즉, 저온·무수 저장중에 서서히 증가하였으며, 15°C 수조에서 6시간 이내로 최초의 값까지 저하하였다. GOT와 GPT의 증가에 대하여 清水(1970)는 아미노산에서 glycogen의 생합성에 관여하는 고도의 기질 특이성을 가지는 다수의 전

이 효소가 간장에 포함되어 있는데, stress시 아미노산 대사에 이상을 일으켜서 전이 효소의 활성이 증가하기 때문이라고 보고하였다.

어류의 stress 반응시의 대사 변화를 일으키는 원인에 대하여 Ishioka(1984)는 stress에 의한 생체 조직의 직접적인 장애, 자율신경계와 내분비계 반응에 따른 특이적 공통 반응 및 이 두가지의 복합적인 결과에 의한 2차적 기능의 저하때문이라고 하였다. 또, Mazeud *et al.*(1977)은 어류의 공통적인 stress 반응은 내분비계의 반응으로서 탄수화물 대사의 이상, 삼투압 조절 기능의 저하, 혈액 성상의 변화, 자율 신경 지배하의 제반응의 변화, 그 외에 행동 변화 및 면역 변화 등을 초래한다고 보고하고 있다.

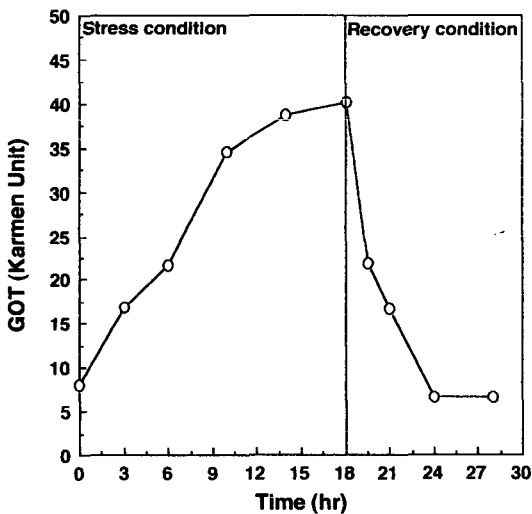


Fig. 7. Changes on GOT in serum of live plaice during storage in stress conditions(5°C, waterless) and recovery conditions(15°C, sea water).

### 3. 저온·무수 저장 및 회복 기간중에 근육 성분의 변화

사후 어육중에 ATP 관련 물질 및 유산의 증감에 대한 보고는 많지만(岩本·山中, 1986; 김·조, 1992), 활어 상태에서 stress 반응에 따른 이들 성분의 변화에 대한 보고는 Tomlinson *et al.*(1961)이 휴식어 및 피로어에 대하여, 山光·板澤(1988)가 급격한 수온의 저하가 잉어의 심전도 및 호흡기능에 미치는 영향에 대하여, 古庄 등(1988)이 보리새우 저장중의 변화에 대하여, 조·김(1994)이 저온 고밀도 수송시의 변화에 대하여 검토한 것 등이 있다.

저온·무수 저장중의 유산 함량의 변화(Fig. 9)는 저장 직전에 근육중에 12  $\mu\text{mole/g}$ 이 함유되어 있었으며 저장 기간을 통하여 서서히 증가하여 18시간 후에는 40  $\mu\text{mole/g}$ 까지 상승하였다. 한편, 15 $^{\circ}\text{C}$  수조로 옮긴 후부터 그 값은 저하하기 시작하여, 6시간 후에 최초의 값까지 감소하였다. 이와 같이 저온·무수 저장시에 근육중의 유산이 축적되는 것은 이 저장 기간중에 근육중에 산소의 공급이 충분하지 못하기 때문인 것으로 생각된다. Stress 시의 근육중의 유산량의 증가에 대하여 Wittenberger *et al.*(1975)이 조직중에서 혐기적 해당이 촉진되어서 유산의 생성이 빨라짐을 보고하고 있다.

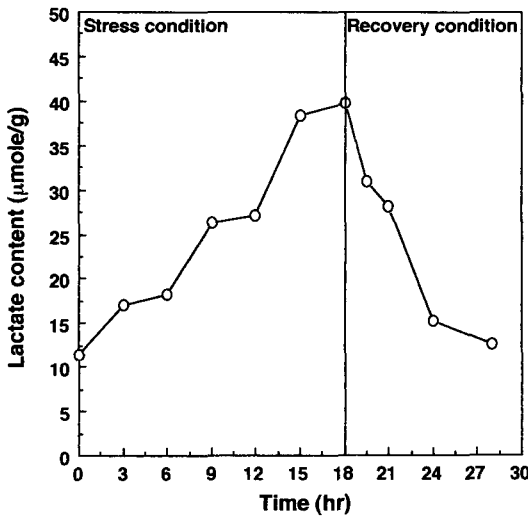


Fig. 9. Changes on content of lactate in live plaice muscle during storage in stress conditions(5 $^{\circ}\text{C}$ , waterless) and recovery conditions(15 $^{\circ}\text{C}$ , sea water).

근육중의 ATP 관련 물질의 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 최초의 ATP 함량은 5.5  $\mu\text{mole/g}$ 이었으며, 저온·무수 저장기간을 통하여 서서히 저하하여 저장 18시간 후에 3.7  $\mu\text{mole/g}$ 까지 감소하였다. 한편, 15 $^{\circ}\text{C}$  수조로 옮긴 후에는 함량이 차츰 증가하여 6시간 후에는 최초의 값까지 상승하였다. 그리고, ADP 및 IMP의 변화는 ATP의 변화와 반대의 경향을 나타내었고, 전 저장 기간을 통하여 AMP의 변화는 관찰되지 않고 일정한 값을 유지하였다. 古庄 등(1988)이 보리 새우의 활력 지표로 사용한  $\{ \text{ATP} / (\text{ATP} + \text{ADP} + \text{AMP} + \text{IMP}) \times 100 \}$  값의 변화도 저온·무수 저장시에 ATP의 저하 속도와 비례적으

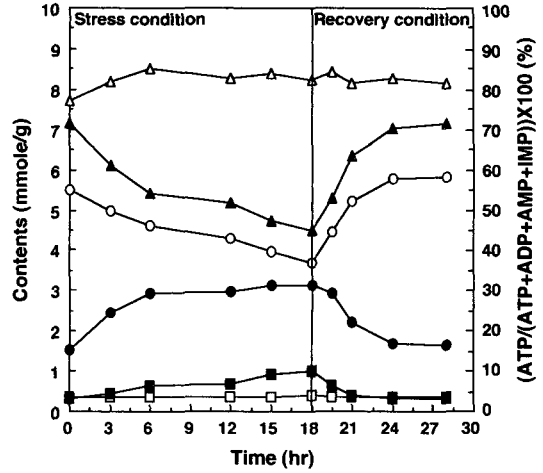


Fig. 10. Changes on ATP and its related compound and ATP/total rates in live plaice muscle during storage in stress condition(5 $^{\circ}\text{C}$ , waterless) and recovery conditions(15 $^{\circ}\text{C}$ , sea water).

○; ATP    □; AMP    △; Total  
●; ADP    ■; IMP    ▲; ATP/total

로 저하하여, 저장 18시간후에 45%가 되었다. 그 후 15 $^{\circ}\text{C}$  수조에 옮긴 후에는 빠르게 증가하여 약 6시간후에 최초의 값으로 회복되었다. 저온·무수 저장시에 ATP가 감소되는 것은 김 등(1993)이 고민시에 근육중의 ATP가 분해된다고 보고한 바와 같이 저온·무수의 stress 때문에 감소된 것으로 생각된다.

## 요 약

활어의 무수 수송 장치 개발을 위한 기초 연구로, 넙치를 시료로 하여서 저온 한계 온도를 찾고, 저온·무수 상태 및 회복시에 stress에 의한 혈액 성분 및 근육 성분의 변화에 대하여 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 저장온도가 높을 수록 해수중의 용존 산소량의 감소, 그리고 ammonia 생성 속도가 빨랐다.
2. 5 $^{\circ}\text{C}$  저장에서 넙치의 생존 기간이 가장 길었으며, 0 $^{\circ}\text{C}$  및 3 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 저온 shock 때문에 그리고 5 $^{\circ}\text{C}$ , 7 $^{\circ}\text{C}$ , 15 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 해수중에 축적된 ammonia의 독성 때문에 치사한 것으로 생각된다.
3. 저온(5 $^{\circ}\text{C}$ )·무수 저장중에 혈액 성분(hemo-

globin, glucose, LDH, GOT, GPT)은 증가하여 18시간 후에 최고값을 나타내었으며, 그 후 15℃ 저밀도(10%)의 회복 조건에서는 약 3~10시간 후에 이들 모든 성분들이 본래의 값으로 회복되었으며, 치사하는 것은 없었다.

4. 저온·무수 저장중의 ATP 관련 물질의 변화는 ATP의 감소와 더불어서 ADP 및 IMP가 증가하였으며, 저장 18시간 후에 활력 지표값이 45%까지 감소하였다. 또, 15℃의 수조로 옮긴 3~6시간 후에 본래의 값으로 회복되었다.

5. 근육중의 유산량의 변화도 저온·무수 저장 기간중에 증가하였으며, 15℃ 회복 조건에서 6시간 후에 본래의 값으로 저하하였다.

이상의 결과에 의하면, 저온 수송을 위한 녀치의 한계 온도는 5℃이며, 5℃에서 무수 상태로 18시간 까지 치사하지 않으므로, 본 실험의 결과를 기초로 하여서 무수 수송 장치를 만들면 충분히 실용화가 가능할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- Barker, S. B. and W. Summerson. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Biol. Chem.*, 138, 538~540.
- Birnbaum, M. J., J. Schultz and J. N. Fain. 1976. Hormone-stimulated glycogenolysis in isolated goldfish hepatocytes. *Am. J. Physiol.*, 231, 191~197.
- Chung, K. S. 1980. Cold anaesthesia of tropical fish. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 46(3), 391~392.
- Dejours, P. 1975. Principles of comparative respiration physiology. North-Holland Publ. Comp., Amsterdam, 253~265.
- Ferreira, J. T., Schoonbee and G. L. Smith. 1984. The use of benzocainehydrochloride as an aid in the transport of fish. *Aquaculture*, 42, 169~174.
- Hatting, J. 1977. The effect of tricranemethanesulphonate(MS222) on the microhaematocrit of fish blood. *J. Fish Biol.*, 10, 453~455.
- Hayashi, S. and Z. Ooshiro. 1977. Gluconeogenesis in perfused eel liver-effect of starvation, aminooxyacetate, D-malate and hormones. *Mim. Fac. Fish. Kagoshima Univ.*, 24, 89~95.
- Ishioka, H. 1984. Physiological and biochemical studies on the stress responses of the red seabream. *Pagrus major*(Temminck et Schlegel). *Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab.*, No. 17, 76~116.
- Iwamoto, M., H. Yamanaka, S. Watabe and K. Hashimoto. 1987. Effects of storage temperature on rigor-mortis and ATP degradation in plaice, *Paralichthy olivaceus* muscle. *J. Food Sci.*, 52, 1514~1517.
- Mazeaud, M., F. Mazeaud and E. M. Donaldson. 1977. Primary and secondary effects of stress in fish - Some new data with a general review. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 106(3), 201~218.
- Ottolenghi, C., C. Puviani, A. Baruffaldi and L. Bli-ghenti. 1982. "in vivo" effects of insulin on carbohydrate metabolism of catfish(*Ictalurus mel- las*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 72A, 35~41.
- Schmidt-Nielsen, K. 1975. *Animal Physiology-Adap- tation and Evolution*. Cambridge U. Press, London, 699~714.
- Solorzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol-hypochloride meth- od. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 799~801.
- Takeda, T., T. Tsuji and Y. Itazawa. 1989. Facilita- tion of housing capacity for red porgy by drop in water temperature. *Nippon Suisan Gakkai- shi*, 55(6), 1011~1015.
- Tomlinson, N., E. S. Arnold, E. Roberts and S. E. Geiger. 1961. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 17, 321~336.
- Wardle, C. S. 1978. Non-release of lactic acid from anaerobic swimming muscle of plaice, *Pleuro- nectes platessa* L.: A stress reaction. *J. Exp. Biol.*, 77, 141~155.
- Wedemeyer, G. 1973. Some physiological aspects of sublethal heat stress in the juvenile steelhead trout(*Salmo gairdneri*) to handling and crowd- ing stress in the intensive fish culture. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 30, 831~834.
- Wittenberger, C., D. Coprean and L. Morar. 1975. Studies on the carbohydrate metabolism of the lateral muscles in carp(Influence of poloridzin, insulin and adrenaline). *J. Comp. Physiol.*, 101, 161~172.
- Yoshikawa, H., S. Ueno and H. Mitsuda. 1989.

- Short and long term cold-anesthesia in Carp. Nippon Suisan Gakkaishi, 55(3), 491~498.
- 김육용 · 조영제. 1992. 넙치(*Paralichthy olivaceus*) 육의 사후 조기 변화. 1. 사후 조기 변화와 온도 의존성의 관계. 한수지, 25(3), 189~196.
- 김재현 · 이남걸 · 김육용 · 이근우 · 조영제. 1993. 넙치(*Paralichthy olivaceus*)육의 사후 조기 변화. 3. 치사방법이 ATP관련 물질과 유산 함량의 변화에 미치는 영향. 한수지, 26(5), 403~408.
- 조영제 · 김육용. 1994. Tilapia(*Oreochromis niloticus*)의 저온 고밀도 수송에 관한 기초 연구. 냉동공조공학회지, 13(2), 31~40.
- 岩本宗昭 · 山中英明. 1986. 天然ならびに養殖マダイにおける死後硬直の顕著な差異. 日水誌, 52, 275~279.
- 川本信之. 1977. 魚類生理. 恒星社厚生閣. 東京. 306~317.
- 清水盟行. 1970. 病態營養學雙書 - 血液病代謝異常. 日本營養士會篇, 169~289.
- 古庄眞喜 · 梅崎祐二 · 石田宏一 · 本田 彰. 1988. おがく詰め活きクルマエビにおける筋肉中のATP關聯物質および乳酸の量的變化. 日水誌, 54(7), 1209~1212.
- 山光後一 · 板澤靖男. 1988. 急激な水溫の低下がコイ心電圖および呼吸機能に及ぼす影響. 日水誌, 54(5), 751~759.
- 
- 1994년 8월 6일 접수  
1994년 9월 10일 수리