

활어의 저온·고밀도 저장중의 혈액성분 및 근육성분의 변화

조영제* · 김중보** · 허병기***

*부경대학교 식품공학과, **인하대학교 기계공학과,

***인하대학교 생물공학과

The Changes of Serum and Muscle Components of Live Fish during High Density Storage at Low Temperature

Y. J. Cho*, C. B. Kim** and B. K. Hur***

*Department of Food Science and Technology, Pukyong University

**Department of Mechanical Engineering, Inha University

***Department of Biological Engineering, Inha University

Abstract

To achieve the low temperature-high density transportation conditions of live fish, the optimal low temperature of live plaice, *Paralichthys olivaceus* was investigated by the change of dissolved oxygen in the sea water and the survival times during storage at various temperatures. The changes of serum components (LDH and GPT), muscle components (lactate and ATP and to related compounds) and breaking strength in the muscle were also studied during storage at the conditons of stress (5°C-10% and 50% density) and recovery (18°C-5% density). The optimal temperature for the low temperature-high density transportation of live plaice was found to be 5°C. Serum components of live plaice gradually increased during storage under the condition of low temperature-high density, and these values then decreased to the initial levels after 6~10 hrs of storage time recovery condition. The level of lactate in the muscle gradually increased in stress conditions, and then these values also decreased in recovery condition. The ratios of ATP to ATP and its related compounds {ATP/(ATP+ADP+AMP+IMP)} × 100 in the muscle showed 42% after 18hrs storage in stress condition (5°C-50%). Otherwise, the ratios returned to their original levels within 6 hrs of storage time in recovery conditions. The level of breaking strength in the muscle was higher than initial levels up to 12 hrs storage, but these values were decreased to the original levels after 18 hrs storage time in stress conditions (5°C-50%).

Key words: low temperature container, live fish transportation, optimal temperature, long-term transportation

서 론

생활수준의 향상에 따른 생선회 소비량의 증가로 활어수송산업이 활성화되고 있으나, 아직까지도 재래식 물차에 의한 수송방법이 일반적이다. 활어 수송시에는 수송조건에 따라서 활어에 스트레스(stress)를 줄 수 있을 뿐만 아니라 고밀도로 장거리 운반시에는 폐사하는 경우도 있다(Staurness, 1994). 활어수송에 관한 연구로는 활어조에 의한 수송법과 마취제를 사용한 수송법등이 있다. 마취제를 사용하는 수송법에는 텔라피아에 Benzocaine-Hydrochloride를 사용한 경우와 MS-222를 사용한 경우가 보고되고 있다(Ferreira

et al., 1984; Guo et al., 1995). 이외에도 즉살활어 수송법이 있다(Iwamoto et al., 1987). 현재 일반적인 단거리 활어 수송 방법은 증소형 트럭의 활어조에 물 약 80%와 활어 약 20%를 적재하고 산소 불배(bomb)로부터 산소를 공급하면서 운반하는데, 이런 형태의 수송 방법은 수송경비가 매우 비싸다. 따라서 수송경비를 절감할 수 있는 활어 수송 방법의 개선이 절실한 실정이다. 일반적으로 어류는 주위 환경조건(수온, 수용밀도, 용존산소 및 암모니아)등이 변함에 따라서 스트레스를 받으며, 그 결과 혈액성분 및 근육성분의 변화와 같은 생리적 변화가 발생된다고 알려져있다.

본 연구는 고밀도 활어 수송을 위한 소형 경량의 저온 무수 컨테이너 시스템 개발을 위한 기초연구이다. 우선 저온 유수 컨테이너(Fig. 2)를 사용하여 Fig. 1과

Corresponding author: C. B. Kim, Professor, Mechanical Engineering, Inha University, Nam-ku, 253, Incheon, 402-751

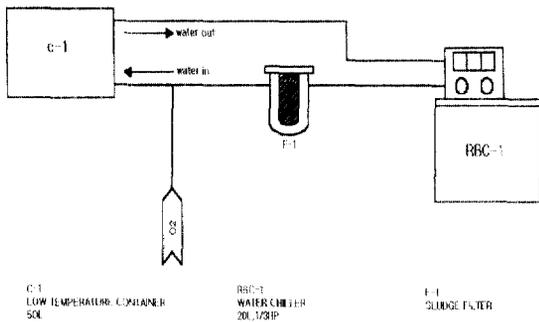


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

같은 실험장치로 활어의 저장온도와 저장시간에 따른 용존 산소 농도사이의 함수관계로부터 활어 수송시의 최적온도가 5°C라는 것을 규명하였다. 이 결론이 타당한 것인가를 판단하기 위하여 5°C로 조정된 저장고를 사용하여 활어가 저온 고밀도에서 가사상태로 수송되는 동안과 회복시에 활어가 받는 스트레스 정도의 변화를 혈액성분 및 근육성분의 변화 그리고 육질의 단단함을 나타내는 파괴강도를 측정하여 활어의 상태를 확인하였다.

실험 방법

넙치(*Paralichthys olivaceus*, 약 600~700 g)를 축양장에서 실험실로 운반하여 15°C 수조에 넣고, 약 6시간 수송중에 받은 스트레스를 회복시킨 다음에 시료로 사용하였다. 실험실에서 안정시킨 활어를 10% 및 50% 밀도로 하여 5°C로 조정된 저장고에 무수상태로 넙치를 넣고 약 15분마다 해수를 약 30초간 분무하면서 약 18시간 저장하는 동안과 15°C (밀도 5%)에서 회복하는 동안의 혈액성분(LDH, GPT) 및 근육성분(ATP관련물질, 유산) 그리고 육질의 단단함의 정도를 나타내는 파괴강도의 변화를 측정하였고 각각의 측정방법은 다음과 같다.

혈액성분 변화의 측정

채혈중 시료에 자극을 주지않기 위해서 아미노안식향산에틸(Benzocaine)을 안전마취 수준으로 하여, 마취액에 침지하여 마취시켰다. 혈액의 채취는 상법에 따라 항문과 꼬리에서 머리쪽으로 45° 정도 비스듬하게 하여 주사기바늘이 등뼈에 닿을 때까지 찔러서, 등뼈에 닿으면 1~2 mm정도 들어가게 하여 채혈하였다. 채취한 혈액을 5°C 냉장고에서 1시간 방치하여 응고시킨후 3000 rpm에서 15분 동안 원심분리하여 혈청을 조제한 다음에, LDH (Lactate Dehydrogenase)는

Tetrazolium염법을 이용한 측정용 시액(형식IWS-125, (주)인화제약, 한국)을, 그리고 GPT (Glutamic Pyruvic Transaminase)는 Reitman and Frankel법을 이용한 측정용 시액(형식 AM101-K, (주)아산제약, 한국)을 사용하여 각각 측정하였다.

근육성분 변화의 측정

혈액성분을 측정한 동일 시료를 사용하여 ATP관련 물질은 Iwamoto 등의 방법으로(Iwamoto *et al.*, 1987), 유산량은 Barker and Summerson의 방법에 따라서 측정하였다(Barker and Summerson, 1941).

파괴강도의 측정

Ando 등의 방법에 따라서 넙치 등육을 Table 1과 같은 조건으로 측정하였다(Ando *et al.*, 1991). 즉, 넙치를 밑면이 평평하게 필렛(fillet)하여서 20×20×10 mm³ 크기의 장사각형 칼집으로 고기를 위에서 썬 후에, 칼집위로 돌출한 부분을 잘라내고 고기의 두께를 10 mm로 균일하게 하여 측정시료로 사용하였다. 파괴강도값은 직경 10mm Cylinder Plunger를 사용하여 속도 60 mm/min때의 최고값을 변형량(deformation) 60%로 하여 측정하였다. 실험 결과값은 6~8회 측정하여 평균으로 나타내었다.

결과 및 고찰

수송을 위한 최적 온도

본 실험은 실험실에서 진행되어진 연구결과로서 Fig. 1은 실험 장치의 개략도이고, Fig. 2는 저온 유수 컨테이너이다. 각종온도(0, 3, 5, 7, 15°C)로 조정된 해수중에 넙치를 저장하면서 측정된 용존 산소량을 Fig. 3에 나타내었다. 저장온도가 높을수록 해수중의 용존 산소량의 저하가 빨랐으며, 15, 7, 5°C저장에서는 용존 산소량이 1 mg/L까지 도달한 뒤 얼마후에 치사하였다. 산소 공급을 중단한 이 경우의 치사시간은 15°C에

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

Instrument	SUN RHEOMETER (Compac-100, Japan)
Sample thickness	10 mm ³
Cylindrical plunger	10 mm ³ in diameter
Crosshead speed	1 mm/sec
Load cell	10,000 g
Chart speed	60 mm/min

^aSimulated a slice of "sashimi".

^bSimulated the molar tooth.

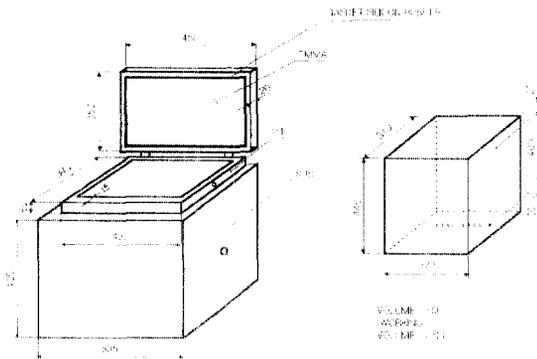


Fig. 2. Low temperature container.

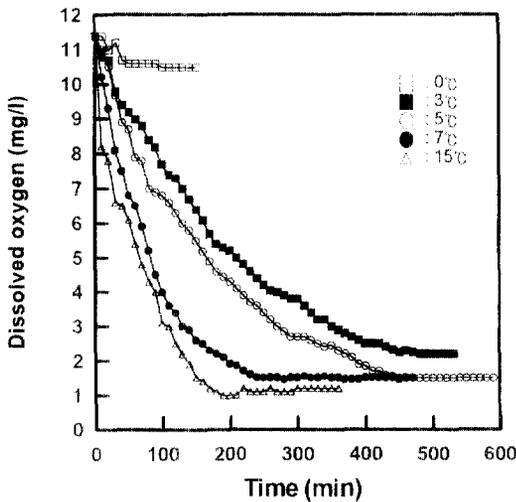


Fig. 3. Changes in dissolved oxygen in seawater with non-aeration during storage at various temperature. The density of plaice in sea water is 100 g/100 mL (10%).

서는 360분, 7°C에서는 460분, 그리고 5°C에서는 590분이었다. 한편, 3°C저장에서는 용존 산소량이 약 2.3 mg/L까지 저하한후 520분에 치사하였고, 0°C저장에서는 용존 산소량의 저하가 약간 관찰되었으나, 160분 후에 치사하였다.

이상의 결과로부터, 넙치를 활어 상태로 수송하기 위한 최적온도는 산소소모량이 가장적고 치사시간이 연장되며 저온쇼크를 거의 받지않는 5°C인 것으로 판단하였다.

저온 고밀도 저장 그리고 회복기간중에 혈액 성분의 변화

5°C로 조정된 저장고에 넙치를 50%의 고밀도 및 10% 저밀도로 각각 넣은 후 가사상태로 18시간 저장하는 동안, 그리고 15°C로 조절된 저장고(넙치밀도

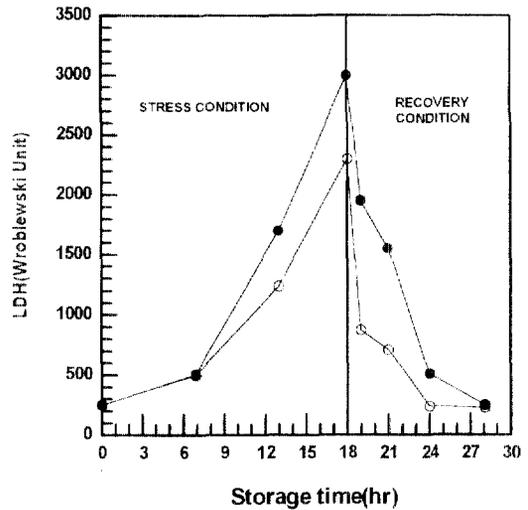


Fig. 4. Changes in LDH (lactate dehydrogenase) in serum of live plaice storage under stress condition [5°C-10% (○) or 50% (●) density] and recovery condition (15°C-5%).

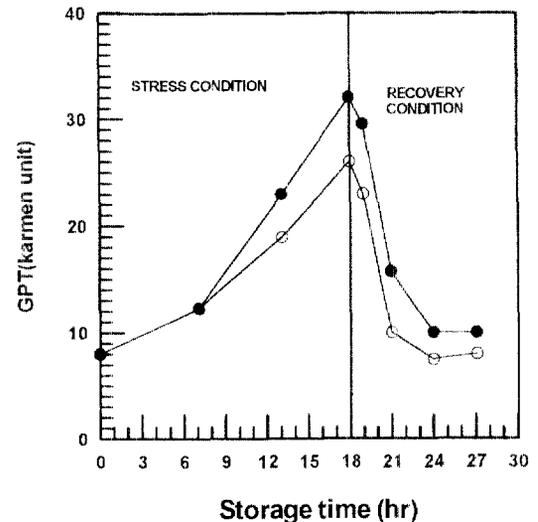


Fig. 5. Changes in GOT (glutamic pyruvic transaminase) in serum of live plaice storage under stress condition [5°C-10% (○) or 50% (●) density] and recovery condition (15°C-5%).

5%)에서 회복기간중의 혈액성분(LDH, GPT)의 변화를 측정된 결과는 Fig. 4, 5와 같다.

혈액중의 유산탈수소 효소(LDH)의 활성변화(Fig. 4)는 저온고밀도 수용직후에 약간 증가하였으나, 그 이후로 급격히 증가하여 18시간 후에는 50% 수용시 3030, 10% 수용시 2260의 값을 나타내었다. 그리고, 15°C-5% 밀도로 회복시 고밀도(50%) 및 저밀도(10%) 모두 6시간 후에 최초의 값까지 저하하였다. 이와같

이, 10% 저밀도·저온 수용시에도 LDH 값이 고밀도 수용시보다는 낮지만 저장기간이 길어짐에 따라서 증가하는 것은 5°C 저온에 의한 스트레스로 판단되며, 저장기간이 길어지면 치사할 것이다. 이와같이 스트레스에 의하여 LHD가 증가된다는 결과는 Wardle의 연구에서도 찾아볼 수 있다. Wardle은 급격한 운동에 의하여 스트레스를 받게 되면 혈액내의 아드레날린 (Adrenalin)량이 증가할 뿐만 아니라 혈관의 수축이나 혈류량의 감소에 의한 혈액의 저분압 산소 상태가 유발되어 간장에 있는 글리코겐이 혐기적으로 분해됨으로써 유산의 생성이 촉진된다고 보고하였다(Wardle, 1978).

아미노산에서 글리코겐의 생합성되는 경로에 관여하는 기질특이성의 전이효소 다수가 간장에 존재한다. 활어가 스트레스를 받으면 아미노산 대사에 이상을 일으키게 되어 이를 전이효소의 활성이 증가하여 혈액중의 GPT 농도를 증가시킨다고 보고되어 있다(清水盟行, 1970). 혈액중의 GPT (Fig. 5) 값의 변화도 LDH의 변화와 유사한 경향을 나타내었다. 즉, 저온고밀도 수용시에 저장 7시간까지는 약간 증가하였으나, 그 이후로 급격히 증가하여 18시간 후에는 50% 수용시에는 32.4, 10% 수용시에는 26.8의 값을 나타내었다. 그리고, 15°C·5% 밀도로 회복시에는 6시간 이후에 최초의 값까지 저하하였다.

이상과 같이, 고밀도 및 저밀도로 저온(5°C) 저장시에 저장기간이 길어짐에 따라서 혈액중의 LDH 및 GPT 값이 모두 증가하는 결과는, 고밀도 및 저밀도에 따른 차이는 있지만 저온도 스트레스에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서, 활어를 5°C로 수송하는 것은 저온에 의한 스트레스 때문에 저장기간이 길어지면 치사하게 될 것이다. 그러나, 본 실험에서와 같이 저장 18시간 동안에 치사하는 것은 없었으므로, 활어를 저온 고밀도로 수송할 때 활어가 어느정도 스트레스는 받겠지만 치사하는 것은 없을 것으로 판단된다.

저온·고밀도 저장 그리고 회복시에 근육성분의 변화

저온·고밀도 수용중에 유산함량의 변화(Fig. 6)는 저장직전에 11.2 $\mu\text{mole/g}$ 이던 것이 저온 저장중의 밀도에 따른 차이도 있었으며, 저장기간이 길어짐에 따라서 유산함량이 증가하여 18시간 저장후에 50% 밀도에서는 45.8 $\mu\text{mole/g}$, 10% 밀도에서는 40.2 $\mu\text{mole/g}$ 의 값까지 증가하였다. 그리고, 15°C·5% 밀도로 회복시에는 저장 6시간 이후에 최초의 값으로 회복되었다. 활어가 스트레스를 받을 때에 근육중에 유산량의 증가에 대하여 Wittenberger은 조직중에서 혐기적 해방

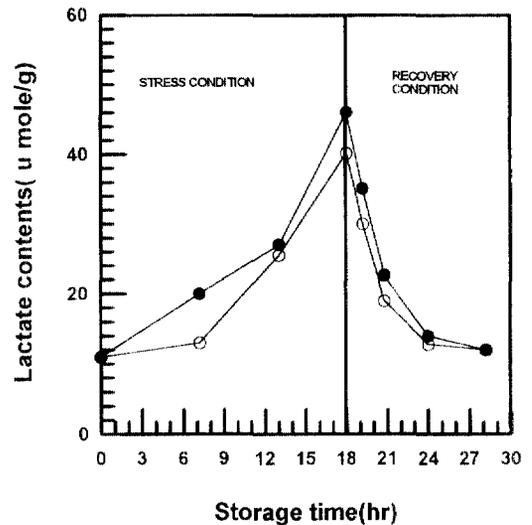


Fig. 6. Changes in lactate contents in muscle of live plaice during storage under stress conditions [5°C-10% (○) or 50% (●) density] and recovery condition (15°C-5%).

이 촉진되어서 유산의 생성이 빨라진다고 보고하고 있다(Wittenberger et al., 1975).

근육중의 ATP 관련물질의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. 최초의 ATP 함량은 5.5 $\mu\text{mole/g}$ 이었으며, 저온·고밀도 저장기간이 길어짐에 따라서 서서히 감소하여 저장 18시간후에는 3.0 $\mu\text{mole/g}$ 까지 감소하였다. ADP는 ATP와 반대로 저장기간중에 서서히 증가하여 저장

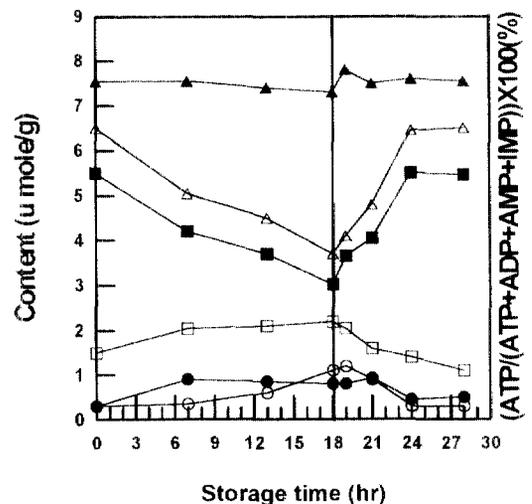


Fig. 7. Changes in ATP and its related compound and ATP/total rate in live plaice muscle during storage under stress conditions (5°C-50%) and recovery condition (15°C-5%). ■—■: ATP, □—□: ADP, ●—●: AMP, ○—○: IMP, ▲—▲: TOTAL, △—△: ATP/TOTAL.

18시간후에는 2.4 $\mu\text{mole/g}$ 이었으며, AMP는 거의 변화가 없었고, IMP도 ADP와 유사하게 약간 증가하였다. 한편, 15°C, 5% 밀도의 회복조건에서는 저장 6시간후에 최초의 값으로 회복되었다. 古庄 등이 사용한 활력지표값은 저온·고밀도 18시간 저장후에 약 42%까지 저하하였다(古庄眞喜 등, 1988).

저온·고밀도 저장 그리고 회복시에 육의 파괴강도의 변화

육질의 단단함에는 근육중의 Collgen의 함량 및 분포형태에 따라서 결정되어지는 Background Toughness (어종에 따른 고유의 단단함)와 사후근육중의 ATP의 분해에 따른 미오신(myosin)과 악틴(actin)의 결합에 의하여 악토미오신(actomyosin)복합체 형성으로 발생하는 Actomyosin Toughness (근육수축에 의한 단단함)로 나눈다(山本啓一 등, 1988). 활어 상태에서 어떤 자극이나 운동시에 근육의 수축현상이 일어나는데 이것은 ATP의 분해에 의한 악토미오신복합체 형성에 의한 것으로 사후 근육의 수축 원리와 동일하다. 그러나, 활어상태에서는 근육의 수축후에 ATP의 재생으로 인한 근육의 이완이 일어나게된다.

저온·고밀도 수용중에 육질의 단단함의 정도를 나타내는 파괴강도의 변화는 Fig. 8에 나타내었다. 저장 직전에 1783±23.7 g·cm이던 것이 저온·고밀도에 수용시에 저장 6시간후에 2438.5±32.0 g·cm의 값까지 증가하였으며, 12시간 저장후에는 2312.5±36.4 g·cm을 나타내었고 저장 18시간 후에는 저장직전과 거의

비슷한 값을 나타내었다. 그리고, 회복시간에도 큰 변화는 없었다.

저온·고밀도 저장 초기에 파괴강도의 급격한 상승은 저온 및 고밀도 환경에 의한 스트레스 때문에 미오신과 악틴의 결합에 의한 악토미오신복합체 형성으로 발생하는 Actomyosin Toughness 상승으로 파괴강도가 증가한 것으로 판단되며, 또 저장후기에 저장직전 값과 비슷한 값을 나타내는 것은 저온에 대한 순응으로 근육이 이완된 것으로 판단된다. 이와 같이 활어 육질의 단단함이 증가하는 현상은 회맛을 향상시키는 데에 응용할 수 있을 것이다.

결 론

활어의 저온 고밀도 수송을 위한 실용화 기술개발의 기초연구로서, 넙치를 시료로 하고 저온 수송을 위한 최적 온도 5°C를 이용하여, 저온 고밀도 수용 및 회복시에 혈액 및 근육성분 그리고 육질의 단단함인 파괴강도의 변화에 대하여 실험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 저온 고밀도로 18시간 수용중에 혈액성분(LDH, GPT)은 증가하였으며, 15°C-5% 밀도의 회복조건에서는 약 6~10시간 후에 최초의 값으로 회복되었으며, 치사하는 것은 없었다.

2. 저온 고밀도 저장중에 ATP활력지표값이 감소하였으며, 유산량은 증가하였다. 그리고 회복조건(15°C-5% 밀도)에서는 약 6~10시간 후에 최초의 값까지 회복되었다.

3. 저온 고밀도로 저장중에 육의 파괴강도의 변화는 저장직후에 급격히 증가하였으나, 저장중에 서서히 감소하여 18시간 후에는 최초의 값까지 저하하였다.

이상의 결과로 부터 저온 고밀도수송을 위한 넙치의 최적온도는 5°C가 타당하다고 판단되며, 5°C-50% 밀도로 18시간 저장중에 치사하는 것은 없었으므로, 활어의 저온 고밀도 수송의 실용화가 가능한 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 과기처 지정 황해권 수송시스템 연구센터 연구과제(과제번호 4-3)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사의 뜻을 표합니다.

문 헌

古庄眞喜, 梅崎祐二, 石田宏一, 本田 彰, 1988. おがく 詰め

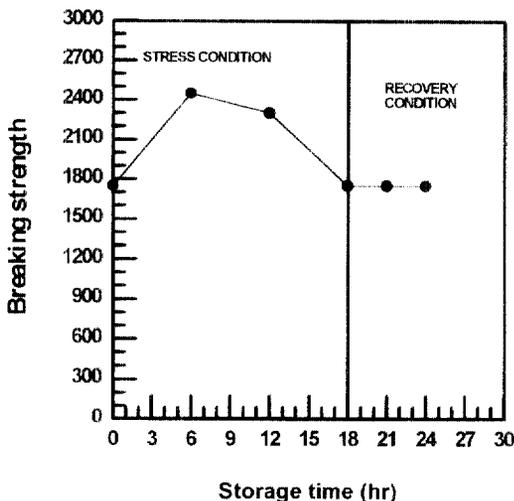


Fig. 8. Change in breaking strength of live plaice muscle during storage under stress condition (5°C-50% density) and recovery condition (15°C-5% density).

- 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.
- 山本啓一 丸山工作. 1988 筋肉(生命現象への化學的アプローチ). 化學同人, pp.45-50.
- 清水盟行. 1970. 病態營養學雙書-血液病代謝異常. 日本營養士會編, pp.169-289.
- 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.
- Barker, S.B. and W.H. Summerson, 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Biol. Chem.*, **138**, 538-540.
- 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.
- Guo, F.C., L.H. Teo and T.W. Chen. 1995. Effect of anesthetics on the water parameters in simulated transport experiment of platfish, *Xiphophorus maculatus* (Günther). *Aquacul. Res.*, **26**, 265-271.
- Iwamoto, M., H. Yamanaka, S. Watabe and K. Hasegimoto. 1987. Effect of storage temperature on rigor-mortis and ATP degradation in plaice *Paralichthys olivaceus* muscle. *J. Food. Sci.*, **52**, 1514-1517.
- Staurness, M., T. Sigholt, H.P. Pedersen and T. Rustad. 1994. Physiological effects of simulated high-density transport of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*, **119**, 381-391.
- Wardle, C.S. 1978. Non-release of lactic acid from anaerobic swimming muscle of plaice, *Pleuronectes platessa* L.: A stress reaction. *J. Exp. Biol.*, **77**, 141-155.
- 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.