

넙치의 저온·고밀도 저장에서의 생존시간과 용존산소, 암모늄이온 및 질산이온 농도사이의 함수관계

조영제·김종보*·허병기**

부경대학교 식품공학과, *인하대학교 기계공학과, **인하대학교 생물공학과

Functional Relationships between Survival Time and the Concentrations of Dissolved Oxygen, Ammonium Ion and Nitrite Ion in the High Density Storage of Live Olive Flounder, *Paralichthys olivaceous* a 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

Functional relationships between not only the storage time of olive flounder, *Paralichthys olivaceous* and the concentration of dissolved oxygen in seawater under non-aeration but also the time and the production rates of ammonium and nitrite ions under aeration were investigated at various storage temperatures. When the dissolved oxygen was reduced from 12 mg/L to 1 mg/L, the olive flounder died at 5°C, 7°C and 15°C of storage temperature. At 3°C, the concentration of dissolved oxygen was as low as 2.3 mg/L. The diffusivity of dissolved oxygen from seawater to olive flounder increased with the increase of storage temperature and ranged from 0.0054(L/100 g) to 0.017(L/100 g). The production rates of ammonium and nitrite ions increased according to the rise of storage temperature. For the concentrations of ammonium ion higher than 30 mg/L and of nitrite ion higher than 30mg/L and of nitrite ion higher than 265 µg/L, the fish died regardless of storage temperature, which ranged from 3°C to 15°C. The storage temperature where the fish had the longest survival time was 5°C, both at the aeration condition and the non-aeration condition.

Key words: olive flounder, aeration and non-aeration, survival time, dissolved oxygen, diffusivity

서 론

현대인의 식생활 문화가 향상되면서 대도시의 중심가에 서 산지의 활어와 동일한 맛, 향 및 신선도를 지닌 생선을 요구하는 소비자가 증대하게 되었다. 이들 수요를 충족시키기 위하여 일본을 중심으로한 선진국에서는 활어 수송을 위한 특수 컨테이너가 개발되어 활용되고 있다(Japan Airlines Co. Ltd., 1992). 그러나 아직까지는 재래식 물차에 의한 수송방법이 일반적이다(조 등, 1998). 특히 단거리 활어 수송에는 중소형 트럭의 활어조에 물 80%와 활어 약 20%를 적재하고 산소 분배로부터 산소를 공급하는 방법이 널리 이용되고 있으나 수송경비가 비싸다는 단점이 있다. 이 경우 수송경비가 활어값의 상당 부분을 차지하게 된다. 따라서 한국과 일본 등 생선회를 선호하는

국가에서는 수송경비를 절감할 뿐만 아니라 활어의 신선도를 산지에서와 같이 유지시키는 수송 컨테이너 시스템의 개발에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다(김 등, 1998).

활어 수송시에는 저장조의 수온, 활어의 수용밀도, 용존산소 및 암모니아 농도 등의 환경조건이 활어 수명과 스트레스에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 혈액성분 및 근육성분의 변화와 같은 생리적 변화에도 직접적인 원인이 되고 있다(Stauness, 1994). 활어의 스트레스를 줄이기 위하여 틸라피아에 마취제인 benzocaine-hydrochloride 나 M-222를 사용하는 실험결과가 보고되어 있다(Fer-reira et al., 1984; Gue et al., 1995). 이외에 활어를 즉살시키는 방법에 의하여 산지의 맛과 신선도를 유지시키는 수송법도 활용되고 있다(Iwamoto et al., 1987). 저온·고밀도 활어의 수송을 위한 소형경량의 저온·컨테이너 시스템 개발에는 각 저장온도에서 저장시간에 따른 수질의 환경변화에 대한 자료가 필수적으로 요구된다. 본 연구에서는 저온·

컨테이너 내의 수온을 3°C, 5°C, 7°C, 15°C로 고정시키고 저장시간에 따른 용존산소농도, 암모니아 이온농도 및 아질산 이온농도의 변화를 실험과 수학적 해석을 통하여 구명하였다.

재료 및 방법

실험장치 및 방법

Figs. 1, 2는 본 연구를 위해 제작한 저온 유수 컨테이너이고 Figs. 3, 4는 본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도이다. 저온 유수 컨테이너 내에는 활어를 겹쳐 넣을 수 있도록 서랍형태의 수납적재대를 만들었다. 또한 워터 칠러(water chiller)는 저온 컨테이너의 온도를 일정한 저온으로 유지시키며 다양한 온도로 실험을 할 수 있도록 온도조절이 가능하게 하였다. 공기공급의 유무상태를 확인할 수 있는 개폐밸브를 설치하였다.

Fig. 5는 본 연구를 위해 제작한 워터 칠러이고 주요 기능부위는 다음과 같다. 설정온도 또는 현재온도를 설정할 수 있는 버튼(button, 2)이 있고, (4)번 다이얼(dial)은 설정온도를 변환시키는 장치이다. (11)번 스위치는 히터(heater)를 작동시키고자 할 때 사용하고, (15)번은 워터 칠러 내의 수위가 낮아지면 경고음이 울리면서 가열이 중지되도록 되어 있는 안전장치이다. (16)번 펌프는 워터 칠러 내부를 강력하게 교반하여 주고 외부 기기에 항온액을 공급하여 주기도하는 펌프이다. (22)번 펌프량 조절 스위치를 시계방향으로 돌리면 (13)번의 콘센트에 펌프량을 조절하여 사용할 수 있으며, 반시계 방향으로 돌리면 일정하게 펌핑한다. (28)번은 220 V 전원의 연결구이며, (29)번은 냉동기 전원스위치이다.

일반적으로 어류는 수온이 저하됨에 따라 운동량 및 호흡량이 줄어든다는 것을 기초로 본 실험은 행해졌다.

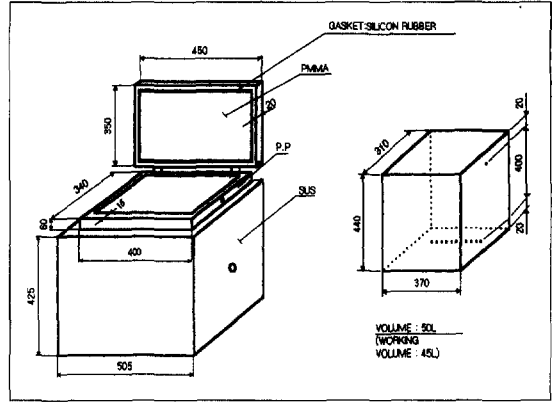


Fig. 2. Low temperature container.

따라서 어종 및 온도 강하속도에 따라서 다소 차이는 있겠지만 어느 정도의 일정온도, 즉 한계온도 이하로 내려가면서 저온 충격을 피하고 최대의 생존시간을 갖는 온도를 찾고자 하였다. 해수중 넙치의 밀도는 10%(100 g/L)로 하였고, 해수온도를 3°C, 5°C, 7°C, 15°C로 변화시키며 넙치가 치사할 때까지 각각의 용존산소량, 암모니아 및 질산염 생성량, 그리고 치사시간 등을 측정하였다.

측정방법

무포기 상태에서 저장시간에 따른 용존산소는 OXI 91 용존산소 질량계를 사용하여 매 10분 간격으로 600 분까지 측정하였으며 포기 상태에서의 시간에 따른 NH_4^+ 농도는 Phenali법을 NO_2^- 농도는 sulfanilamide와 N-(1-naphthyl)-ethylene-diamino dichloride법(APHA · AWWA · WPCF, 1985)을 사용하여 24 시간까지는 매 3 시간 간격으로 24 시간부터 204 시간까지는 6 시간 또는 12 시간 간격으로 측정하였다.

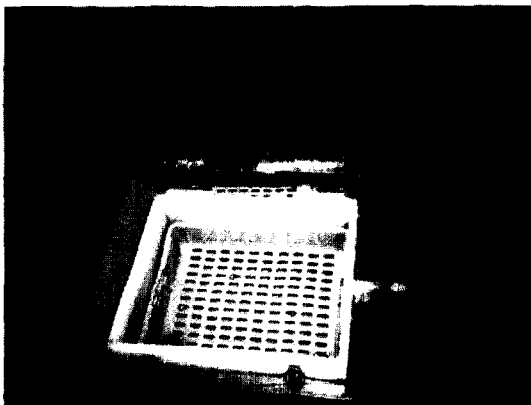


Fig. 1. Photographic view of Low temperature container in experimental apparatus.

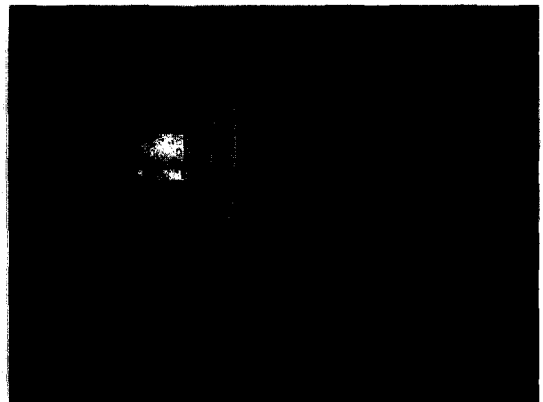


Fig. 3. Photographic view of the experimental apparatus.

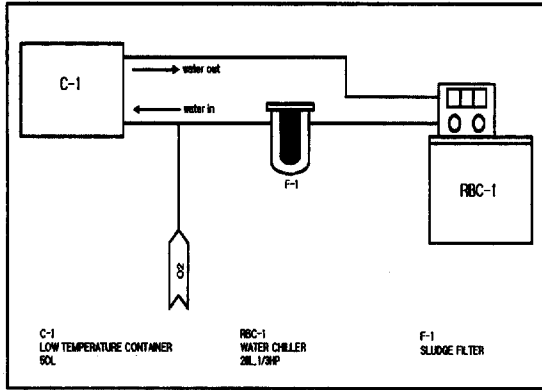


Fig. 4. Schematic diagram of experimental apparatus.

결과 및 고찰

저장시간에 따른 용존산소 농도의 변화

온도가 3°C, 5°C, 7°C 및 15°C로 고정된 해수 중에 무포기 상태에서 넙치를 저장하고 저장 시간에 따라서 측정된 용존산소의 농도를 Fig. 6에 나타내었다. 저온 컨테이너 내의 해수온도가 높을수록 저장시간에 따른 용존산소의 감소량이 크게 나타났다. 저장온도가 5°C, 7°C 및 15°C인 경우에는 초기 용존산소가 12 mg/L에서부터 1 mg/L까지 감소된 후 활어는 치사하였고 산소농도는 더 이상 감소되지 아니하였다. 저장온도가 3°C인 경우에는 12 mg/L였던 초기 산소량이 2.3 mg/L까지 감소된 후 활어는 치사하였고 산소농도는 더 이상 감소되지 아니하였다.

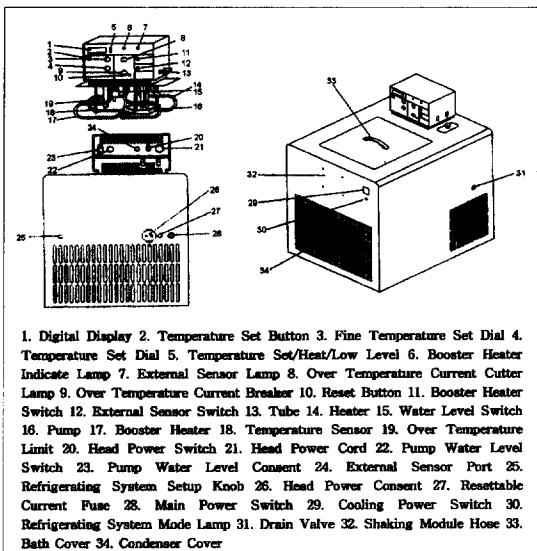


Fig. 5. Water chiller

각 온도에서 시간에 따른 용존산소의 농도 변화특성과 넙치 100 g당의 산소 섭취량을 규명하기 위하여 저장해수의 용존산소량에 대한 물질 수식을 세우면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 & \left[\text{분당 1L의 해수에} \right] - \left[\text{분당 1L의 해수로부터 넙치} \right] \\
 & \left[\text{유입되는 산소량} \right] - \left[\text{100 g으로 이동하는 산소량} \right] \\
 & = \left[\text{분당 1L의 해수중} \right] \\
 & \left[\text{의 산소변화량} \right] \tag{1}
 \end{aligned}$$

용존산소 변화량에 대한 실험은 폐쇄계에서 수행되었으므로 식(1)에서 분당 해수로 유입되는 산소량에 대한 항은 없어지게 된다. 또한 분당 해수로부터 물고기로 이동하는 산소량은 넙치 100 g이 분당 섭취하는 산소량과 동일하게 되어 식 (1)은 식 (2)와 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 & \left[\text{분당 1L의 해수로부터 물} \right] = \left[\text{분당 1L의 해수중의} \right] \\
 & \left[\text{고기로 이동하는 산소량} \right] = \left[\text{산소 변화량} \right] \\
 & = \left[\text{분당 100 g의 넙치가} \right] \\
 & \left[\text{섭취하는 산소량} \right] \tag{2}
 \end{aligned}$$

해수로부터 넙치로 이동하는 산소는 확산에 의하여 이동하므로 식 (2)를 수식으로 표현하면 다음 식과 같이 된다.

$$-\left[-D \frac{dC}{dx} \right] = \frac{d}{dt} [VC_w(t)] \tag{3}$$

식 (3)에서는 왼편항의 D는 용존산소의 확산계수를, dC는 해수와 넙치의 혈액 사이의 산소 농도차이, dx는 확산경계층의 두께를, V는 해수의 부피를, Cw(t)는 임의의 시간 t에서 해수내의 산소농도를 나타낸다. 식 (3)을 단순화시키기 위하여 확산경계층의 두께가 일정하다고 가정하고, Fig. 6의 실험결과를 이용하여 넙치 혈액 내의 산소농도를 해수온도 3°C인 경우에는 2.3 mg/L, 해수온도 5°C, 7°C 및 15°C인 경우에는 1 mg/L라고 가정하면 식 (3)은 다음 식과 같이 된다.

$$-\bar{D} [C_w(t) - C_0] = \frac{d}{dt} [VC_w(t)] \tag{4}$$

식 (4)에서 \bar{D} 는 D/dx 를, 각 저장온도에서 넙치 혈액내의 산소농도를 나타내며 V의 값은 1 L가 된다. 식(4)의 미분방정식을 풀고 초기조건 t=0일 때 Cw(0)= 12 mg/L를 적용하면 식 (5)를 얻게 된다.

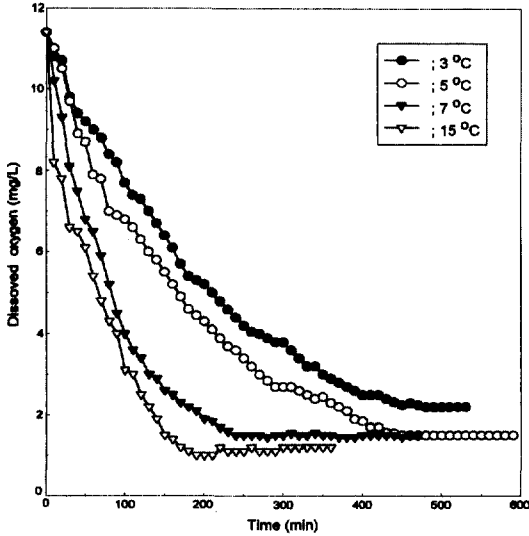


Fig. 6. The amount of dissolved oxygen in seawater versus storage time at various temperatures. The density is 100 g/L Non-aeration condition.

$$\ln \frac{C_w(t) - C_0}{12 - C_0} = -\frac{\bar{D}}{V} t = -D_r t \quad (5)$$

Fig. 6의 실험결과를 식(5)에 적용하면 Fig.7의 결과를 얻게 된다. Fig. 7 그래프의 직선의 기울기로부터 D_r 값을 구하여 저장 해수 온도와의 함수 관계를 Fig. 12에 도시하였다. 식(2), (3) 및 (4)로부터 넙치 100 g이 분당 섭취하는 산소량을 도출하면 식 (6)과 같이 된다.

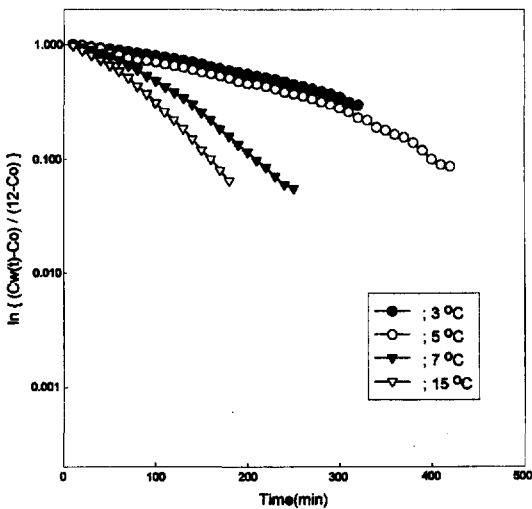


Fig. 7. Changes in dimensionless concentration of dissolved oxygen with the storage time at various temperatures. Non-aeration condition.

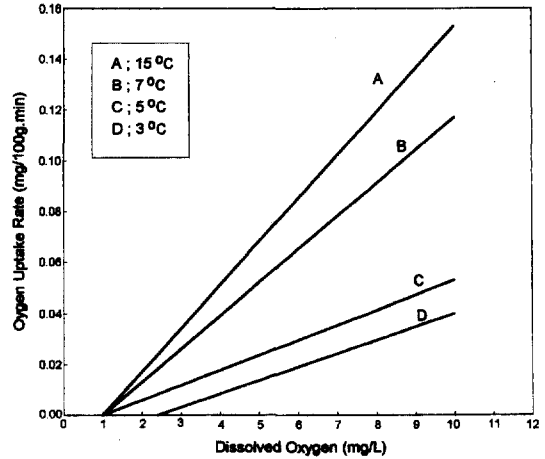


Fig. 8. Oxygen uptake rate of olive flounder of 100 g according to the concentration of dissolved oxygen.

$$\begin{aligned} \left[\text{넙치 100 g 이 분당} \right] &= D_r [C_w(t) - C_0] & (6) \\ \left[\text{섭취하는 산소량} \right] &= D_r (12 - C_0) e^{-D_r t} & (7) \end{aligned}$$

식 (6)을 이용하여 해수의 각 저장온도에서 용존 산소 농도와 넙치 100 g이 분당 섭취하는 산소량 사이의 함수 관계를 구하면 Fig. 8과 같다. 용존산소의 농도가 높으면 넙치가 분당 섭취하는 산소량도 크고 동일한 산소농도에서는 해수의 온도가 높을수록 분당 산소 섭취량은 크게 된다. 식 (7)를 이용하여 해수의 각 온도에서 저장 시간에 따라서 넙치 100 g이 분당 섭취하는 산소량을

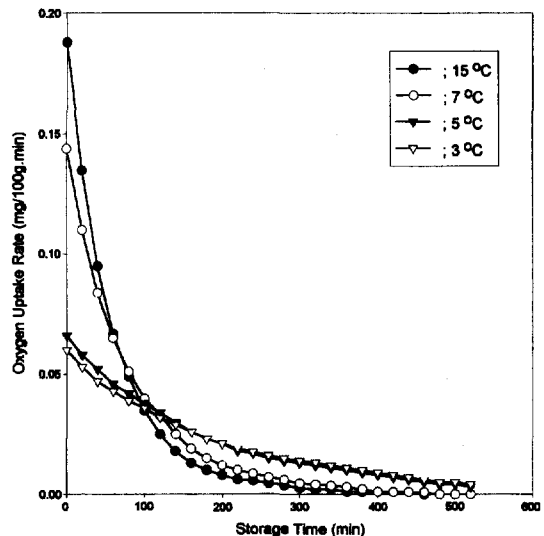


Fig. 9. Oxygen uptake rate of plaice 100 g according to the storage time.

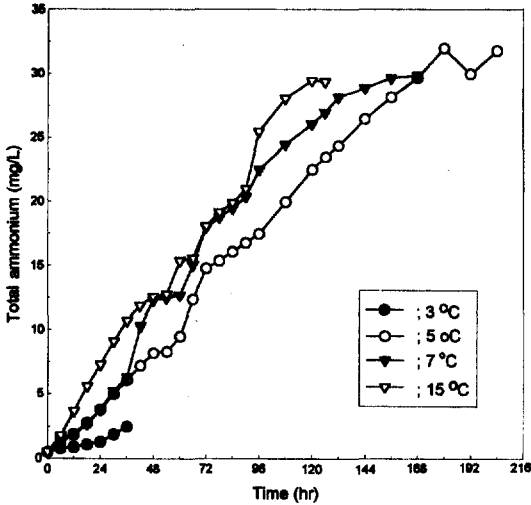


Fig. 10. Changes in the concentration of ammonium ion in seawater with storage time at various temperature. Air supplying condition. Fish density is 10%.

나타내면 Fig. 9와 같이 된다. 저장 시간이 길어질수록 넘치 100 g이 분당 섭취하는 산소량은 점점 감소함을 알 수 있다.

암모니움 이온 및 아질산 이온의 농도 변화

저온 컨테이너내의 해수온도를 3°C, 5°C, 7°C 및 15°C로 고정시키고 포기하면서 저장시간에 따른 발생 암모니움 이온의 농도 및 아질산 이온의 농도를 측정하여 Fig. 10 및 Fig. 11에 도시하였다. 저장온도가 높을수록 넘치 100 g이 단위시간당 생성하는 암모니움 이온과 아

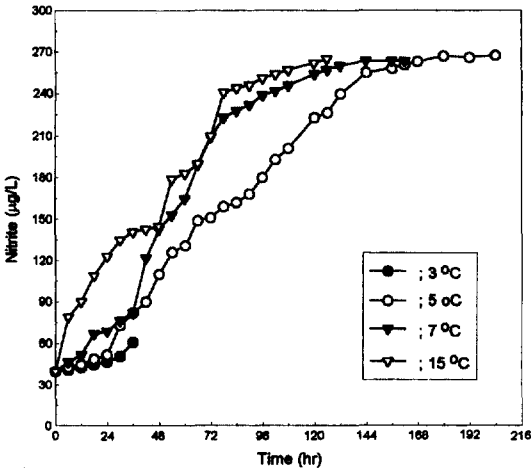


Fig. 11. Change in the concentration of nitrite ion in seawater with storage time at various temperatures. Air supplying condition. Fish density is 10%.

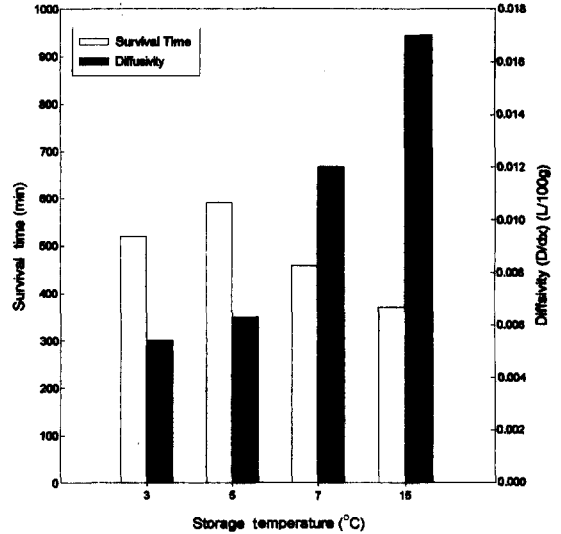


Fig. 12. Effects of storage temperature on the survival time of olive flounder and the diffusivity of oxygen under non-aeriation condition.

질산 이온량이 증가하였다. 해수의 온도에 관계없이 암모니움 3가 265 µg/L가 되면 넘치가 치사하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 해수 중 암모니움 이온의 독성에 대한 반응은 어종에 따라서 다르게 반응하나 일반적으로 수산동물에게는 30 mg/L가 되면 치사한다는 보고와 일치하였다(川本, 1977).

암모니움 이온의 농도가 30 mg/L이 되고 아질산이온의 농도가 265 µg/L가 되는데 소요되는 시간 즉 넘치가 치사하는 시간은 15°C에서는 124 시간, 7°C에서는 165 시간 그리고 5°C에서는 205 시간이었다. 3°C인 경우에는 저장시간이 경과함에 따라 암모니움 이온 및 아질산 이온의 농도가 약간 증가하였으나 36 시간 이내에 치사하였다. Fig. 10의 실험결과로부터 넘치 100 g이 시간당 생성하는 암모니움 이온의 생성속도를 저장온도의 함수로 구하여 Fig. 13에 도시하였다.

최적 저장온도

비포기 상태에서 저장 해수온도와 넘치 수명 및 산소 확산계수사이의 함수관계가 도시된 Fig. 12에 의하면 넘치의 수명은 3°C 보다 5°C인 경우가 길었으나 5°C이상에서는 해수온도상승에 따라 넘치의 수명은 감소하였다. 3°C에서부터 15°C사이의 범위에서는 산소의 확산계수는 온도 상승에 따라 증가하였다. 이런 결과는 해수온도 5°C에서는 온도에 의한 쇼크 현상이 야기하는 수명단축보다는 온도 상승에 따라 넘치의 산소 흡입속도가 증가하여 해수 내에 존재하는 용존산소가 고갈되는 시간이 단축되기 때문인 것으로 해석된다.

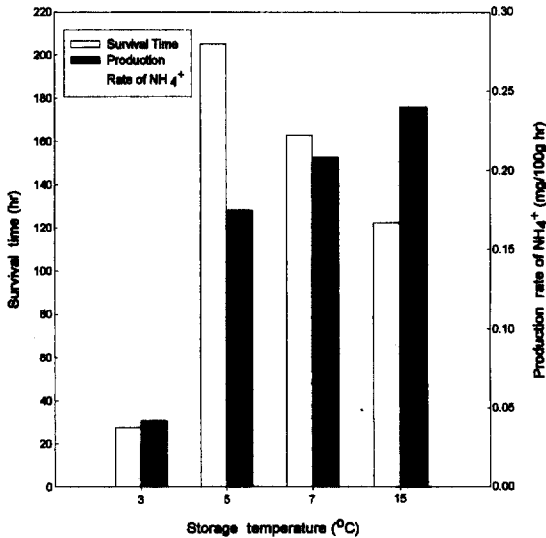


Fig. 13. Effects of storage temperature on the survival time of olive flounder on the production rate of ammonium ion under aeration condition.

포기 상태에서 저장 해수온도와 넙치의 수명 및 넙치 100 g이 분당 생성하는 암모니아 이온의 생성속도 사이의 함수관계가 도시된 Fig. 13의 결과에 의하면 넙치의 수명은 저장온도 5°C를 중심으로 저장온도가 낮아지거나 높아지면 모두 5°C의 넙치수명보다 줄어들었다. 암모니아 이온의 생성속도는 해수의 온도가 상승할수록 증가하였다. 비포기 상태의 경우와 같이 저장온도 3°C에서는 암모니아 이온의 독성에 의한 넙치의 치사보다는 온도의 쇼크에 의한 치사 영향이 큰 반면 저장온도 5°C 이상에서는 온도에 의한 쇼크보다는 암모니아 이온의 독성에 의하여 넙치가 치사함을 알 수 있었다.

요 약

넙치의 저온 고밀도 저장에서 해수온도를 3°C, 5°C, 7°C 및 15°C로 고정하고 비포기 상태에서 저장시간과 용존 산소농도 사이의 함수관계를 규명하였을 뿐만 아니라 포기 상태에서 넙치 100 g이 생성하는 암모니아 이온량과 아질산 이온량을 시간의 함수로 규명하여 다음 결과를 얻을 수 있었다.

1. 해수온도가 5°C, 7°C 및 15°C인 경우에는 산소농도가 초기 12 mg/L에서 1 mg/L까지 감소한 후 치사하였

으며 해수온도가 3°C인 경우에는 2.3 mg/L까지 감소한 후 치사하였다.

2. 해수로부터 넙치로 이동하는 용존산소의 확산계수 (D/dx) 값은 온도가 상승할수록 증가하였으며 그 값은 0.0054 내지 0.017 범위에 존재하였다.

3. 포기 상태에서 넙치 100 g이 분당 생성하는 암모니아 이온과 아질산 이온의 생성량은 해수의 온도가 상승할수록 증가하였으며 해수 내의 암모니아 이온농도가 30 mg/L, 아질산 이온농도가 265 µg/L에 도달하면 저장 해수온도(3°C, 5°C, 7°C, 15°C)에 상관없이 치사하였다.

4. 해수온도와 넙치의 수명시간 사이의 함수관계로부터 넙치의 수명이 가장 긴 해수온도는 포기 상태와 비포기 상태 모두 5°C이었다.

감사의 글

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

문 헌

Japan Airlines Co. Ltd. 1992. Method of conveying live fish and container used therefor. Patent DCT/JP91/01035

조영제, 김종보, 허병기. 1998. 활어의 저온·고밀도 저장 중의 혈액 성분 및 근육 성분의 변화. *산업식품공학* 2(2): 90-95

윤석만, 김종보, 조영제, 허병기. 1998. 활어 수송용 저온 컨테이너 시스템 연구. *공기조화·냉동공학* 10(3): 343-347

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

Ferreira, J.T., Schoonbee and G.L. Smith. 1984. The use of benzocaine-hydrochloride as an aid in the transport of fish. *Aquaculture* 42: 169-174

Guo, F.C., L.H.T and T.W. Chen. 1995. Effect of anesthetics on the water parameters in Aimulated transport experiment of platfish, *Xiphophrus maculatus* (Gunter). *Aquacul. Res.* 26: 265-271

Iwamoto, M., H. Yamanaka, S. Watabe and K. Hasegami. 1987. Effect of storage temperature on rigor-mortis and ATP degradation in plaice *Paralichthys olivaceus* muscle. *J. Food. Sci.* 52: 1514-1517

APHA · AWWA · WPCF. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater, 16th ed. APHA. Washington. pp373-406

川本信誌. 1977. 魚類生理, 恒星社 厚生閣. 동경. pp306-317