수온 및 절식에 따른 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 근육의 물리화학적 특성 변화

심길보* · 이소정 · 윤호동¹ · 임치원 · 신윤경² · 정민환² · 이동길³ · 박태일⁴

국립수산과학원 식품안전과, ¹국립수산과학원 남동해수산연구소, ²국립수산과학원 양식관리과,
³국립수산과학원 시스템공학과, ⁴거제어류양식협회

Effects of Low Temperature and Starvation on the Physicochemical Characteristics of Muscle of the Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*

Kil Bo Shim*, So Jeong Lee, Ho Dong Yoon¹, Chi Won Lim, Yun Kyung Shin², Min Hwan Jeong²,
Dong Gil Lee³ and Tae Il Park⁴

Food Safety Research Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

¹Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Tongyeong 609-713, Korea

²Aquatic Animal Control Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

³Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

⁴Association of Geje Cultured Fish, Geje 656-891, Korea

The effects of low temperature and starvation on the physiochemical characteristics of the muscle of the olive flounder *Paralichthys olivaceus*, were examined. Fish were deprived of feed for 28 days at 2, 4, 6, 8, 10, 12, and 20°C in order to establish suitable conditions for live fish transportation. Throughout most of the 4 weeks of feed restriction, the physiochemical characteristics of the muscle of olive flounder were found to be dependent on the acclimation temperature. The breaking strength of muscle did not show a significant reduction during feed restriction at 2 and 4°C. With increasing temperatures, however, the breaking strength of muscle differed significantly according to the individual and feed restriction period ($P<0.05$). The moisture content in muscle acclimated at 10, 12, and 20°C increased steadily over the feed-restriction period, while the crude lipid content decreased during the same period ($P<0.05$). At water temperatures above 2-8°C, no significant differences were shown during the same period. After it reached 6, 8, 10, 12, and 20°C, the muscle had an accumulation of lactate, and a loss of ATP. There was no change in the lactate or ATP content during the feed restriction period at 2 and 4°C, although there were differences among the water temperature groups. These results clearly show that temperature can have an important influence on the of muscle of physiochemical characteristics of muscle during live fish transportation.

Key words: Olive flounder, Water temperature, Feed restriction, Breaking strength, Physiochemical characteristics

서 론

우리나라는 넙치 양식에 적합한 환경과 뛰어난 양식 기술에도 불구하고 양식장 증가 및 생산 기술 발달로 인한 급속한 생산량 증가로 과잉 공급이 우려되고 있으며, 높은 원료 가격은 가공 식품 개발에 어려움을 겪고 있다. 그리고 양식 넙치의 국내 소비량은 1인당 연간 600-800 g으로 정체되어 있는 실정이다.

다. 이러한 현상은 우리나라 양식 산업이 도입기, 성장기를 거쳐 소비량은 증가하였으나 증가율은 둔화되고 가격 하락 및 수익성은 악화되는 소비 성숙기에 진입하였기 때문이며(Hwang et al, 2008), 국내 어류 양식 산업의 발전을 위해서는 새로운 판로인 해외 소비 시장 개척과 확대가 절실한 실정이다.

우리나라의 넙치 수출량은 2011년 4,267톤으로 90% 이상인

Article history;

Received 4 August 2012; Revised 12 October 2012; Accepted 19 October 2012

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2671 Fax: +82. 51. 720. 2669

E-mail address: kilbo1221@korea.kr

Kor J Fish Aquat Sci 45(5) 430-437, October 2012

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0430>

pISSN:0374-8111

© The Korean Society of Fishereis and Aquatic Science. All rights reserved

4,126톤이 일본으로 수출되고 있으며, 141톤이 미국으로 활어 상태로 수출되고 있다(MIFAFF, 2012). 최근 수산물에 웰빙, 건강식품으로 인식되면서 전세계적으로 소비량이 증가하는 추세이며, 특히 미국은 세계의 주요 수산대국이자 수산물 소비시장을 형성하고 있다. 2010년도 미국 일인당 연간 어패류 소비량은 15.8 lb (식용기준)이며, 2000년 이후 수산물 일인당 소비량은 꾸준히 증가 추세에 있다. 특히 선어 및 동결 상태로 소비되는 양이 11.6 lb로, 전체 73%를 차지하고 있다(NOAA, 2011). 최근 국내산 양식 넙치의 미국 수출 물량이 증가하고 있는 추세이다.

일반적으로 활어 수송 방법은 저온 환경에서 활어의 대사 속도를 최소화하여 활어의 수송 밀도 증대 및 품질 수준을 향상시키는 냉각 수조 수송 방법, 이산화탄소 등 마취제와 저온을 병행하여 활어의 수송 밀도 증대 및 장기간 수송시키기 위한 마취 수송 방법, 전기쇼크를 이용하여 활동성을 저하시켜 산소 요구량 및 대사 산소의 최소화를 통한 활어의 무수 수송시키기 위한 전기쇼크 수송 방법, 빙온 영역에서 인공 동면을 유도하여 대사속도의 최소화를 통한 무수 수송시키기 위한 인공 동면 수송 방법 등이 개발되었으나 상업적 실용화 수준에는 미치지 못하고 있는 실정이다(Yoon et al., 1998; Cho et al., 1994; Kim and Cho., 1992; Yoshikawa et al., 1989; Chung, 1980; Ferreira et al., 1984; Hatting, 1977). 이러한 수송 방법 중 미국 등으로 수출되는 활어는 저온 마취 방법을 사용하여 수송되는데, 대부분 비닐 포장지에 넙치, 해수, 산소를 주입하고 스티로폼 박스에 포장하여 항공 운송 후 유통시키고 있다. 그러나 이러한 수송 방법은 수출 원가의 35%가 항공 운임이 차지하고 있다. 우리나라 양식 넙치 수출 시장은 일본 중심의 활어 수출 구조, 열악한 가격 경쟁력, 고가의 물류 비용, 해외시장 정보 부재, 안정적 물량 확보에 어려움을 겪고 있어 확대되지 못하고 있다. 따라서 활어 수출 시장 확대는 안정적인 물량 공급이 우선적으로 필요하다고 판단하였으며, 활어 수조를 갖춘 컨테이너를 활용하여 국내 양식 넙치를 대량으로 미국, 유럽 등으로 해상 수송하고자 하였다.

이를 위해서 본 연구에서는 수온에 따른 넙치 근육의 물리, 화학적인 특성 변화를 조사하여 국내 양식 넙치의 최적 대량 장거리 수송 조건을 확립하는 기초 자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

원료어, 수송 및 회복 수온

넙치(Olive flounder, *Paralichthys olivaceus*)는 남해안에서 18개월 동안 양식시킨 2 kg 내외의 개체를 사용하였으며, 수온별(2℃, 4℃, 6℃, 8℃, 10℃, 12℃, 20℃)로 3개의 원형 수조(ø 140 cm, 1,200 kg)에 50마리씩 넣어 7일 동안 순치시켰다. 수온 하강은 시간당 1℃씩 저하시켰으며, 실험하고자 하는 수온에 도달한 시점을 시작으로 7일 간격으로 각 수조에

서 5마리씩 채집하여 2-phenoxyethanol (Sigma Aldrich Co., USA)로 마취시켜 원료어로 사용하였다. 그리고 28일 절식 이후에 수온을 15℃로 설정하고 3단계(1단계: 설정 수온→15℃ (1일), 2단계: 설정 수온→8-10℃→15℃ (2일), 3단계: 설정 수온→8-10℃→12-13℃→15℃ (3일))로 나누어 수온을 상승시켰으며, 수온 도달 직후에 넙치를 채집하여 마취시켜 원료어로 사용하였다. 수온은 수온환경조절장치(Aquatron, Yuwon Co., Korea)를 이용하여 조절하였다. 이때 수온 설정은 활어의 대사 활동이 넙치 근육의 물리, 화학적 특성 변화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 대사활동이 활발한 20℃를 대조구로 설정하였으며, 활어의 저온 고밀도 수송법의 가능성을 시사한 Cho et al. (1997)이 제시한 수온과 수송 경비 및 활어의 품질을 고려하여 2-12℃까지 2℃간격으로 수온을 조절하였다. 또한 수출국 현지 수온을 고려하여 15℃로 설정하여 수온을 상승시켰다.

근육강도

Ando et al. (1991)의 방법에 따라 어육을 일정크기로 절단하여(20×20×10 mm³), 직경 10 mm cylinder plunger를 사용한 rheo meter (Compac-100, Sun, Japan)로 측정하였다.

수분 및 조지방 함량

수분은 105℃에서 상압가열 건조법, 조지방은 Soxhlet 추출법으로 각각 측정하였다(AOAC, 1995).

ATP 관련 물질

Iwamoto et al. (1987)의 방법으로 ATP 관련 물질을 추출하여 HPLC (Surveyor Plus HPLC System, USA)를 이용하여 분석하였다.

젖산(lactate)함량의 측정

Barker and Summerson (1941)의 방법에 따라, 근육 2.5 g을 10% TCA용액 22.5 mL를 가하여 균질화하고, 원심분리(398×g, 15 min, Supra 22K, Hanil, Korea) 하여 상층액 1 mL를 취하였다. 여기에, 20% CuSO₄용액 1 mL를 가하고 증류수로 10 mL가 되게 한 다음, Ca(OH)₂ 1 g을 첨가하고 30분간 방치한 후, 원심분리(398×g, 15 min) 하였다. 상층액 1 mL와 4% CuSO₄ 0.05 mL, H₂SO₄ 6 mL를 가하여 5분간 가열한 후 냉각하여 1.5% p-hydroxyphenol 0.1 mL를 넣고 37℃에서 30 분간 발색시키고 90초간 가열한 다음, 냉각하여 560 nm에서 측정하였다.

통계처리

통계 처리는 SAS 프로그램을 이용한 분산분석표를 작성하였으며, Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range

test)으로 $P<0.05$ 에서 결과간의 유의성을 검정하였다(Steel and Torries, 1980).

결 과

근육강도 변화

수온에 따라 28일 절식시킨 넙치 등과 배 근육의 근육강도의 변화를 Fig. 1과 2에 나타내었다. 절식 기간 동안 넙치 등 근육의 근육강도에 대한 변화는 수온에 따라 유의적인 차이가 있었다. 2℃에서 넙치 등 근육의 근육강도의 변화는 2℃ 도달 직후

에는 근육강도 평균값은 1.12 ± 0.31 kg이었으며, 절식 기간 동안 유의적인 차이가 없이 평균 0.91 ± 0.18 - 1.13 ± 0.20 kg 이었다($P>0.05$, Fig. 1, A). 수온이 4℃ 도달 직후 넙치 등 근육의 근육강도 평균값은 1.04 ± 0.19 kg이었으며, 2℃와 마찬가지로 28일 절식기간 동안 유의적인 차이는 없었다. 그리고 절식 기간이 지나고 수온 상승에 따른 유의적인 차이도 없었다($P>0.05$). 6℃, 8℃에서 넙치 등 근육의 근육강도의 변화는 2℃, 4℃에서 넙치 등 근육의 근육강도의 변화와는 달리 초기에는 증가하다 이후에는 수온 도달직후와 유의적인 차이는 없었다. 6℃에서는 도달 직후 1.30 ± 0.43 kg이었으나, 절식 14-21일 동안은 다소 증가하여 각각 1.46 ± 0.52 kg과 1.46 ± 0.65 kg이었다. 반

Fig. 1. Effect of water temperature on the breaking strength in dorsal muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* which were deprived of feed during 4 weeks. A, 2℃; B, 4℃; C, 6℃; D, 8℃; E, 10℃; F, 12℃; G, 20℃. Means with different superscript on the bar are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

Fig. 2. Effect of water temperature on the breaking strength in ventral muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* which were deprived of feed during 4 weeks. A, 2°C; B, 4°C; C, 6°C; D, 8°C; E, 10°C; F, 12°C; G, 20°C. Means with different superscript on the bar are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

면 8°C 도달 직후에는 1.10 ± 0.28 kg이었으며, 절식 14일 동안 다소 증가하여 1.42 ± 0.49 kg 이었다. 이후에는 절식과 수온 상승에 따른 근육강도의 유의적인 차이는 없었다($P > 0.05$). 10°C에서는 적정 수온 도달 직후에서부터 절식 21일 동안 유의적인 차이가 없었으나 절식 28일에 다소 감소하는 경향이였다. 반면 12°C는 수온 도달 직후에는 1.04 ± 0.41 kg이었으나 절식 7일 이후에는 1.22 ± 0.31 kg으로 그 이후에는 유의적인 차이가 없었다. 넙치의 대사활성이 활발히 이루어지는 20°C에 대한 수온 및 절식에 대한 근육 강도의 변화는 절식 14일까지는 유의적인 차이가 없었으나 절식 3주에 다소 높은 1.35 ± 0.39 kg이었다.

넙치 배 근육의 근육강도도 등 근육과 유사하여 수온에 따

라 유의적인 차이가 있었다($P > 0.05$). 2°C에 도달직후 근육강도는 1.05 ± 0.19 kg이었으며, 절식 28일 동안은 0.97 ± 0.18 - 1.11 ± 0.25 kg로 유의적인 차이는 없었다. 또한 절식 이후 수온 상승에 따른 근육강도의 유의적인 차이도 없었다. 4°C는 2°C와 마찬가지로 수온 도달 직후부터 28일 절식 및 수온 상승에 따른 유의적인 차이는 없었다. 6°C에서 넙치 배 근육의 근육강도 평균값은 1.26 ± 0.45 - 1.42 ± 0.64 kg으로, 2, 4°C 보다 다소 높았지만 절식 기간 및 수온 상승에 따른 유의적인 차이는 없었다. 반면 8°C에서는 절식 14일 후에는 다소 근육강도가 1.67 ± 0.64 kg으로 수온 도달 직후보다 다소 높아졌으며, 그 이후에는 절식 기간 및 수온 상승에 따른 유의적인 차이는 없

었다. 10℃, 12℃에서는 기타 수온과 마찬가지로 수온 도달 직후, 절식 기간, 수온 상승에 따른 유의적인 차이는 없었다. 대사활동이 활발한 20℃에서의 넙치 배 근육의 근육강도는 수온 도달 직후에서부터 14일까지는 유의적인 차이가 없었으나 절식 21일부터는 다소 증가하는 경향을 나타내었다.

수분 및 조지방 함량 변화

수온에 따른 28일 절식기간 동안 넙치 등과 배 근육의 수분 함량 변화를 Fig. 3, 4에 나타내었다. 절식 기간 동안 넙치 등 근육의 수분 함량의 변화는 수온에 따라 유의적인 차이가 있었다 ($P<0.05$). 2℃에서 넙치 등 근육의 수분 함량의 변화는 2℃ 도달 직후에는 76.1 g/100 g이었으며, 28일 절식 이후에는 73.8 g/100 g으로 감소하였으며, 수온 상승시 다소 증가하여 74.2-74.9 g/100 g이었다. 4℃에서는 2℃와 유사하게 75.6 g/100 g이었으나, 28일 절식 및 수온 상승 구간에서는 74.5-74.0 g/100 g으로 유의적인 차이는 없었다. 반면 6, 8℃는 절식기간은 각각 75.2-75.6 g/100 g, 74.3-75.3 g/100 g으로 수온 하강

Fig. 3. Changes of moisture content in the muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* which were deprived of feed during 4 weeks by various seawater temperature. A, dorsal muscle; B, ventral muscle.

Fig. 4. Changes of crude lipid content in the muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* which were deprived of feed during 4 weeks by various seawater temperature. (A), Dorsal muscle; (B), ventral muscle.

직후보다 변화폭은 작지만 서서히 증가하였으며, 수온 상승에 따라서는 유의적인 차이가 없었다. 10℃, 12℃는 수온 도달 직후에는 각각 73.7, 73.5 g/100 g이었지만 절식기간 동안 지속적으로 상승하여 절식 28일 후에는 각각 75.6, 75.5 g/100 g이었다. 20℃에서는 수온 도달 직후 76.4 g/100 g이었다. 배 근육의 수분 함량 변화는 등 근육과 매우 유사하였으며, 수온이 낮을수록 수분 함량은 변화가 없었다. 2℃, 4℃에서는 7일 절식까지 수분 함량이 감소하였다가 이후에는 큰 변화가 없었으며, 6℃, 8℃에서는 절식기간 동안 지속적으로 증가하였으며, 20℃에서는 수온 도달 직후에는 76.0 g/100 g이었으며, 28일 절식 후에는 73.3 g/100 g으로 감소하였다.

넙치 등 근육의 조지방 함량 변화는 수분 함량의 변화와는 다소 차이가 있었다. 2℃, 4℃에서는 절식 기간 동안 1.3-1.7 g/100 g으로 유의적인 차이가 없었으나 6℃, 8℃, 10℃, 12℃에서는 수온 도달 직후에 각각 1.8, 1.7, 2.7, 2.1 g/100 g이었으나 28일 절식 이후에는 각각 1.5, 1.5, 1.6, 1.5 g/100 g이었다. 수온이 높아질수록 절식 기간 동안 조지방 함량의 감소가 높았다. 특히 20℃에서는 수온 도달 직후에 1.3 g/100 g이었으나

28일 이후에는 0.5 g/100 g으로 변화폭이 가장 높았다. 넙치 배 근육도 조지방 함량 변화는 등 근육과 유사하였다.

젖산 및 ATP 함량 변화

수온에 따른 절식시킨 넙치 근육의 젖산 함량 변화를 살펴본 결과, 대조구인 20℃에서는 절식 기간 동안 1.8-3.1 $\mu\text{mol/g}$ 함량으로 큰 변화가 없었다. 반면, 6-12℃에서는 수온 도달 직후에 젖산 함량이 4.7-5.7 $\mu\text{mol/g}$ 로 증가하였다가 절식 기간 동안 서서히 감소하여, 28일 절식 이후에는 1.6-2.6 $\mu\text{mol/g}$ 이었다. 2-4℃에서는 수온 도달 직후와 절식 기간 동안 젖산 함량이 1 $\mu\text{mol/g}$ 내외로 큰 변화가 없었다(Fig. 5). 이는 6-12℃에서는 넙치의 대사활동은 저하되었지만 외부 충격이나 수온 자극에 의하여 활동이 유지되고 있었으나 2-4℃에서는 넙치의 대사활동이 최소화되는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 수온에 따른 넙치의 산소 소비율 변동을 조사한 결과와 동일하였다(결과

Fig. 5. Changes of lactate content in the dorsal muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* which were deprived of feed during 4 weeks by various seawater temperature.

Fig. 6. Changes of ATP content in the dorsal muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* which were deprived of feed during 4 weeks by various seawater temperature.

미제시). ATP 함량은 6-20℃에서는 수온 하강 직후에 ATP 함량이 급격히 감소하였다가 절식 1주일 이후에는 유의적인 차이가 없었으며, 젖산 함량의 변화와 마찬가지로 2, 4℃에서는 절식기간 동안 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$, Fig. 6).

고찰

본 연구는 국내산 양식 넙치의 대량 장거리 수송 조건 확립을 위하여 수온에 따른 장기간 절식이 넙치 근육에 미치는 영향을 알아보고자 근육의 강도, 수분 및 조지방 함량 변화, ATP 및 젖산 함량 변화를 중심으로 조사하였다. 그 결과, 근육강도는 수온이 낮을수록 변화폭이 적었으며, 수온이 높을수록 개체차에 따른 차이와 절식기간에 따른 유의적인 차이가 있었다(Fig. 1, 2). 이러한 결과는 수분 및 조지방 함량의 결과에서도 유사하였으며, 수온이 낮을수록 절식 기간 동안 변화폭이 적었으며, 수온이 높을수록 수분 함량은 절식 기간에 유의적으로 증가하였으며, 조지방 함량은 유의적으로 감소하였다(Fig. 3, 4). 반면에, ATP 함량과 젖산 함량은 수온이 하강한 직후에는 ATP 함량은 급격히 감소하였으며, 이때에 젖산 함량은 증가하였다(Fig. 5, 6). 그러나 이후에는 ATP 및 젖산 함량이 일정하게 유지되었다. 또한 이들 함량의 변화는 2, 4℃에서 다른 수온에 비하여 큰 변화 없이 일정하게 유지되었다.

할어 수송시 고려해야 하는 것은 수질 환경과 외적 환경 그리고 수송 전후의 환경으로 구분할 수 있으며, 수질 환경은 수온, 산소, 이산화탄소, 암모니아, 아질산, 질산 등이 있다(Cho and Kim, 1993; FAO, 1986). 이중 수송 중 어체의 생리에 가장 큰 영향을 미치는 것은 호흡이며, 특히 수온은 호흡량 감소로 수송 어류의 밀도에 직접적으로 관여하게 된다. 어류는 서식 수온 및 어종에 따라서 저온에 대한 내성이 다르지만 일반적으로 수온이 저하됨에 따라 운동량 및 호흡량이 줄어들어 신진대사율이 감소된다(Takeda et al., 1989; Ishioka, 1984; Chung, 1980). 그리고 수송 전, 중 절식은 어류의 스트레스 민감도 감소로 산소 소비량이 감소되며, 배설물 배출을 감소시킬 수 있어 할어의 저온 고밀도 수송법의 가능성을 시사하고 있다(Cho et al., 1997). 잉어를 23℃ 충분히 순치시켜 완만 또는 급강화에 의한 저온마취효과를 이용하여 4℃에서 5시간, 8-14℃에서는 24시간 생존 가능하다고 보고하고 있으며, 참돔을 이용하여 수온을 25℃에서 20℃까지 5℃ 저하시켜 수송밀도를 4배 이상 높일 뿐만 아니라 대사산물도 절반으로 감소시킬 수 있다고 보고한바 있다(Takeda et al., 1989; Yoshikawa et al., 1989). 어류를 절식시키면 근육 내의 비축되어 있는 지방 대사를 촉진시키며, 혈장내 유리지방산 수치가 증가하게 된다(Jobling, 1980; Hogendoorn, 1983; Reinitz, 1983; Leatherland and Nuti, 1981). 또한 체내 단백질은 섭이 중단 초기 단계 동안 저장된 지질로 전환되고 일부 지질은 에너지 비축을 위해 필수적인 구조 유지와 세포질의 기능을 위해 필요로 한다. 어류 근육의 강도 및 지방 함량은 생선회의 맛과 매우 밀

접한 관계가 있다(Robb et al., 2002, Shim et al., 2003). 절식을 이용하여 체내 지방함량을 감소시켜 육질의 단단함을 향상시키기도 하는데, 참돔의 운동 및 비운동시 조지방 함량이 운동 사육구가 비운동 사육구에 비하여 낮았으며, 이는 운동으로 인한 에너지 소비율이 높기 때문으로 보고하였다(Kim et al., 2004). 본 연구에서는 20℃ 수온에서 절식시 체내 지방 함량 감소는 활발한 생리 대사가 진행되기 때문이며, 기타 수온에서는 넙치의 대사 활동을 저하시켜 지방 함량 감소폭이 저하된 것으로 사료된다. 또한 개체 크기에 따라 단기 절식시 근육 중의 glycogen 및 glucose 함량은 큰 변화를 일으키며, 이는 개체의 크기 및 온도에 따른 대사율과 신진대사가 원인인 것으로 보고되었다(Kieffer and Tufts, 1998). 또한 무지개 송어를 단기 절식시 보통육 PCr 와 ATP 함량은 큰 차이가 없는 반면에 근육 내의 glycogen 및 glucose 함량은 단기 절식상에서 차이가 있는 것으로 확인이 되었으며, 개체가 클수록 15℃ 수온에서는 감소폭이 상당하였으며, 5℃에서는 감소폭이 상당히 양호하였다고 보고하였다. Sherstneva and Shabalina (1971)는 저온에 적응된 무지개 송어는 절식 55일까지 근육 중 glycogen 함량이 감소되지 않는 반면 따뜻한 수온에 적응 시에는 10일부터 glycogen을 사용하기 시작하였다고 보고하였다. 이는 본 연구에서 사용된 실험어의 평균 체중이 1.8 kg 내외로 상당한 큰 개체이기 때문에 수온 저하와 절식으로 인한 신진 대사 저하로 절식기간 동안 근육강도 및 조지방 함량의 유의적인 차이가 없는 것으로 판단된다.

그러나 수온 변화는 어류에는 큰 스트레스로 작용하여 수온이 저하되는 초기시점에서 ATP 및 젖산 함량의 변화가 이루어지는 것으로 사료된다. 어류는 매우 민감하여 어획, 취급, 온도 변화 등의 외부스트레스에 매우 민감하여, 스트레스 강도와 어류의 식품학적 품질 간의 상관 관계에 대한 연구는 오래 전부터 이루어지고 있다. 특히 스트레스는 어류의 근육 및 혈류 내에 다양한 화학 물질의 변화를 일으킨다. 근육에서는 glycogen, ATP 등의 저장 에너지원이 감소하게 되며, 혈액에서는 glucose, adrenaline이 증가한다. 때때로 부신피질호르몬이 증가하기도 하지만 어종에 따라 다르다(Love, 1988). 젖산은 심한 스트레스가 주어지면 근육 내에 생성되는데, 혈류에 생성되는 것보다 더 많은 양이 잔존하게 된다. 급격한 운동 등에 의한 스트레스 시에 adrenalin이 증가하여 혈관의 수축이나 혈류량 감소 등에 의한 저산소 분압 상태에서의 혈액 이동은 간장에 있는 glycogen의 혐기적 분해에 의해서 젖산이 생성된다고 보고하였다(Wardle, 1978, Wittenbeger et al., 1975). 또한 ATP 함량은 젖산의 축적과는 반대로 스트레스에 의하여 감소된다고 보고하고 있다(Kim et al., 1993).

이상의 결과, 넙치를 장기수송하기 위한 수온과 절식이 근육의 물리, 화학적 특성에 미치는 영향은 수온이 낮을수록 넙치 근육의 물리, 화학적 특성 변화폭은 저하되는 것으로 확인되었다. 그러나 생물 수송시 수송 경비 등 경제적인 측면, 수송 중의 수온, 산소농도 등과 같은 내부요인, 소음, 진동 등 외부요인에

의한 많은 변수가 발생할 수 있으며 넙치의 생리적인 변화가 충분히 고려되어 최종 수송 조건이 확립되어야 된다고 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원(RP-2012-FS-025)의 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Ando M, Toyohara H, Shimizu Y and Sakaguchi M. 1991. Post-mortem tenderization of fish muscle proceeds independently of resolution of rigor mortis. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57, 1165-1169.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th Ed. Association of Official Analytical Chemist, Arlington, VA.
- Barker SB and Summerson W. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J. Biol Chem* 138, 538-540.
- Cho YJ, Kim YY, Lee NG and Choi YJ. 1994. Basic studies on developing equipment for waterless transportation of live fish. *Bull Korean Fish Soc* 27, 501-508.
- Cho YJ. 1997. Studies on developing method and equipment for low temperature transportation of spiking live fish. Department of agriculture, 191-236.
- Chung KS. 1980. Cold anaesthesia of tropical fish. *Bull Japan Soc Fish* 46, 391-392.
- Ferreira J, Schoonbee T and Smith GL. 1984. The use of benzocainehydrochloride as an aid in the transport of fish. *Aquaculture* 42, 169-174.
- Hatting J. 1977. The effect of tricanemethanesulphonate (MS222) on the microhaematocrit of fish blood. *J Fish Biol* 10, 453-455
- Hogendoorn H. 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* _C. and V.: III. Bioenergetic relations of body weight and feeding level. *Aquaculture* 35, 1-17.
- Hwang GY, Ma CM, Lee NS. 2008. Analyzing trends in Korea's cultured fish consumption and policy implications. Korea Maritime institute, Seoul media group press. Korea
- Iwamoto M, Yamanaka H, Watabe S and Hashimoto K. 1987. Effects of storage temperature on rigor-mortis and ATP degradation in plaice *Paralichthys olivaceus* muscle. *J Food Sci* 52, 1514-1517.
- Jobling M. 1980. Effects of starvation on proximate chemical composition and energy utilization of plaice, *Pleuronectes platessa* L. *J Fish Biol* 17, 325-334.
- Kieffer JD and Tufts BL. 1998. Effects of food deprivation on white muscle energy reserves in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): the relationships with body size and temperature. *Fish Physiol Biochem* 19, 239-245.
- Kim JH, Lee NG, Kim YY, Lee KW and Cho YJ. 1993. Early changes after death of plaice, *Paralichthys olivaceus* muscle 3. Effect of killing method on changes in content of ATP

- and its related compounds and lactate. Bull Korean Fish Soc 26, 403-408.
- Kim TJ, Bae JH, Yeo HK, Shim KB, Jeong HJ and Cho YJ. 2004. Quality evaluation of red seabream *Pagrus major* by physicochemical method. J Aquaculture 17, 173-179.
- Kim YY and Cho YJ. 1992. Early changes after death of plaice *Paralichthys olivaceus* muscle 1. Relationship between early changes after death and temperature dependency. Bull Korean Fish Soc 25, 189-196.
- Leatherland JF, Nuti RN. 1981. Effects of bovine growth hormone on plasma FFA concentrations and liver, muscle and carcass lipid content in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J Fish Biol 19, 487-498.
- Love R. 1988. The food fishes, their intrinsic variation and practical implications. Farrand Press, London.
- MIFAFF. 2012. Yearbook of fishery products export and import statistic 2011. MIFAFF. Seoul. Korea. 21-51.
- NOAA. 2011. Fisheries of the United States 2010. Retrieved from <http://www.st.nmfs.noaa.gov/st1/fus/fus10/index.html> on September 20.
- Reinitz G. 1983. Relative effect of age, diet, and feeding rate on the body composition of young rainbow trout *Salmo gairdneri*. Aquaculture 35, 19-27.
- Robb DHF, Kestin SC, Warriss PD and Nute GR. 2002. Muscle lipid content determines the eating quality of smoked and cooked Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 205, 345-358.
- Sherstneva TA and Shabalina AA. 1971. Some aspects of carbohydrate-lipid metabolism in rainbow trout [*Salmo irideus* (Gibb.)] following lengthy starvation. J Ichthyol 13, 576-582.
- Steel RGD and Torrie JH. 1980. Principle and procedure of statistics; a biometrical approach (2nd ed.). New York, Mac-Graw-Hill.
- Takeda T, Tsuji T and Itazawa Y. 1989. Facilitation of housing capacity for red porgy by drop in water temperature. Nippon Suisan Gakkaishi 55, 1011-1015.
- Wardle C. 1978. Non-release of lactic acid from anaerobic swimming muscle of plaice. J Exp Bioi 77, 141-155.
- Wittenberger C, Coprean D and Morar L. 1975. Studies on the carbohydrate metabolism of the lateral muscles in carp (Influence of poloridzin insulin and adrenaline). J Comp Physiol 101, 161-172.
- Yoon SM, Kim CB, Cho YC and Hur BK. 1998. Study of the temperature container system for a live fish transportation. IJACR 10, 343-347.
- Yoshikawa H, Ueno S and Mitsuda H. 1989. Short and long term cold-anesthesia in Carp. Nippon Suisan Gakkaishi 55, 491-498.