

수송밀도가 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 근육의 물리화학적 변화에 미치는 영향

심길보* · 윤호동¹

국립수산물연구원 식품안전과, ¹국립수산물연구원 남동해수산연구소

Effect of Transport Stocking Density on the Physicochemical Characteristics of Muscle from Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*

Kil Bo Shim* and Ho Dong Yoon¹

Food and 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

The effects of transport stocking density (500, 600 and 700 kg of olive flounder *Paralichthys olivaceus*/per water tank) on the physicochemical characteristics of muscle were investigated. Transport of the animals took, on average, 10 days from Busan, Korea, to Long Beach, CA, USA. There was no significant difference in the breaking strength of muscle among the three groups. There was also no significant difference in the ATP, lactate, or glycogen content of muscle from the 500 and 600 kg/tank stocking density groups at the beginning and after transport. However, the ATP content decreased sharply while the lactate content increased in muscle from fish transported at a density of 700 kg/tank at the beginning of transport, and the ATP and lactate contents in this group were stable after transport.

Key words: *Paralichthys olivaceus*, Olive flounder, Transport stocking density, Breaking strength, Physicochemical characteristics

서 론

우리나라 양식산 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 생산량은 연간 2013년 36,944톤이며, 전체 양식산 어류 생산량인 73,065톤의 50.6%를 차지하고 있다. 그 중 활어로 수출되는 물량은 2011년 4,267톤, 2013년에는 3,370톤으로 다소 감소하였다. 양식산 넙치는 대부분은 일본으로 수출되며, 그 수출량은 2011년 4,126톤, 2013년에는 2,967톤에 이른다. 일본 외에는 중국과 미국에 수출되고 있으며, 특히 미국 수출량은 2011년 141톤에서 2013년 345톤으로 약 1.4배 증가하였다(MOF, 2014). 최근 양식산 활넙치의 총 수출량은 다소 감소했지만, 미국으로의 수출량은 점차 증가하고 있다. 이처럼 우리나라 양식산 넙치는 수출 물량 감소와 국내 소비량 정체로 과잉 공급되고 있는 실정이다(Shim et al., 2012; Hwang et al., 2008). 과잉생산물량 해소를 위해서는 보다 적극적인 소비시장 개척이 필요하며, 그 대상국가는 미국, 유럽 등으로 다양화할 필요가 있다. 해외 소비시장

확대를 위해서는 활어상태의 넙치를 안정적인 공급하여 가격 경쟁력을 갖추어야 하며, 이를 위해서는 대량 수송과 물류비용이 저렴한 선박을 이용한 해상수송이 필요하지만 긴 수송시간으로 인하여 수송과정에서 폐사를 최소화시켜야만 한다(Shim et al., 2012).

해상장거리 대량수송장치는 활어의 양식산 넙치를 저온 및 절식에 의하여 대사활동을 최소화하여 수송하는 원리이다. 이러한 시스템은 생물을 수송하기 때문에 반드시 수조내에 해수를 넣어 생물을 운송하게 된다. 따라서 수온은 활어 수송에 매우 중요한 인자이다. 낮은 수온은 해수 중 pH 유지와 활어의 대사활동을 감소시킨다. 일반적으로 여름철 냉수성 어종의 최적 수송 수온은 6-8℃이며, 온수성 어종은 10-12℃이다. 봄과 가을철은 각각 3-5℃과 5-6℃, 겨울철은 1-2℃로 알려져 있다(Berka, 1986). 컨테이너 내부에 수조, 냉각기, 산소발생기, 여과장치, 전기장치 등을 갖추고 있어 수송 중 온도와 산소를 일정하게 조절하고, 생물의 대사활동으로 발생하는 대사산물을 여

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0707>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Kor J Fish Aquat Sci 47(6) 707-712, December 2014

Received 16 September 2014; Revised 28 October 2014; Accepted 4 November 2014

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

E-mail address: kilbo1221@korea.kr

과조를 거쳐 안정적으로 수송할 수 있는 조건을 확립하였으며, 수송온도와 절식이 넙치 근육의 물리, 화학적 변화를 연구하였다(Shim et al., 2012).

따라서 본 연구에서는 해상장거리 대량수송장치에서 수송밀도에 따른 양식산 활넙치의 물리화학적 변화를 조사하여 안정적인 수송을 위한 최적 조건을 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

원료어

넙치(*Paralichthys olivaceus*)는 남해안에서 18개월 동안 양식시킨 2 kg 내외의 개체를 사용하였다. 대량장거리 해상수송은 컨테이너 내부에 4개의 수조로 구성되어 있으며, 이 수조의 크기는 200×200×90 cm이다(Fig. 1). 또한 수송밀도를 높이기 위하여 수조 내 중간에 틀을 설치하여 상단과 하단에 각각 넙치를 실어서 수송한다. 따라서 500 kg, 600 kg, 700 kg의 넙치를 상단과 하단에 각각 나누어 넣고, 수송직후와 10일 경과 후에 넙치를 수조에서 꺼내어 실험어로 사용하였다. 이때 수온 및 산소 농도는 각각 $8.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $15 \pm 3 \text{ mg/L}$ 로 유지시켰다.

근육강도

Ando et al. (1991)의 방법에 따라 어육을 일정크기로 절단하여($20 \times 20 \times 10 \text{ mm}^3$), 직경 10 mm cylinder plunger를 사용한 rheo meter (Compac-100, Sun, Japan)로 측정하였다.

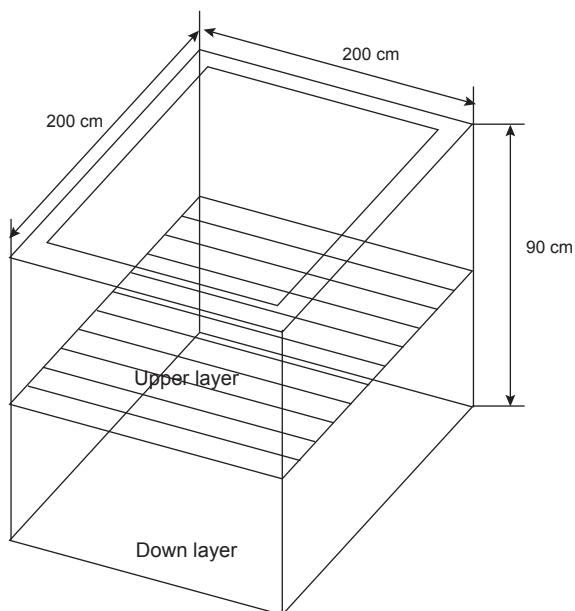


Fig. 1. The water tank size of transporting system for live fish with container.

ATP 함량

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

Lactate 함량

Barker and Summerson (1941)의 방법에 따라, 근육 2.5 g을 10% TCA용액 22.5 mL을 가하여 균질화하고, 원심분리(398 g, 15 min, Supra 22K, Haniil, Korea) 하여 상층액 1 mL를 취하였다. 여기에, 20% CuSO_4 용액 1 mL를 가하고 증류수로 10 mL가 되게 한 다음, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 1 g을 첨가하고 30분간 방치한 후, 원심분리(398 g, 15 min) 하였다. 상층액 1 mL와 4% CuSO_4 0.05 mL, H_2SO_4 6 mL를 가하여 5분간 가열한 후 냉각하여 1.5% p -hydroxyphenol 0.1 mL를 넣고 37°C 에서 30분간 발색시키고 90초간 가열한 다음, 냉각하여 560 nm에서 측정하였다.

글리코겐 함량

글리코겐 함량은 시료 0.5 g에 30% KOH 5 mL를 첨가하여 95°C 에서 20분간 증탕하고 포화 Na_2SO_4 용액 0.5 mL와 ethanol 5 mL를 첨가하여 95°C 에서 다시 15분간 증탕한 후 원심분리(1,259 g, 10 min) 하였다. 침전물에 2 mL 탈이온수와 2.5 mL ethanol을 첨가하고 원심분리(1,259 g, 10 min) 후, 5 M HCl 2 mL를 넣고 완전히 녹인 다음 0.5 M NaOH로 중화하여 50 mL로 정용하여 시료액으로 사용하였다. 시료용액 5 mL에 0.2% anthron-sulfate solution을 10 mL를 가하고 95°C 에서 10분간 증탕 후 냉각하여 분광광도계(UV mini-1240, Shimadzu, Japan)를 이용하여 620 nm에서 흡광도를 측정하였다(Click and Engin, 2005).

조지방 함량

조지방은 AOAC법에 따라 Soxhlet 추출법으로 측정하였다(AOAC, 1995).

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).

결과 및 고찰

근육강도

수송밀도에 따른 등 근육이 배 근육에 비하여 근육강도 값이 다소 높았으며, 500 kg을 제외하고는 수송 기간에 따른 유의적인 차이는 없었다($P > 0.05$). 수송 밀도 500 kg에서는 수송 직

후, 등 근육의 근육강도 값은 1.26 ± 0.31 kg이었으며, 10일 경과 후에는 상단과 하단이 각각 1.08 ± 0.24 , 1.09 ± 0.23 kg이었다(Fig. 2, $P < 0.05$). 배 근육은 수송 직후 1.32 ± 0.31 kg이었으나 수송 10일 경과 후에는 1.13 ± 0.22 , 1.13 ± 0.19 kg으로, 수송직후보다는 10일 경과 후에 근육강도 값이 다소 낮았으나 유의적인 차이는 없었다(Fig. 2, $P > 0.05$). 상단과 하단의 수송위치에 따른 근육강도 값도 유의적인 차이가 없었다($P < 0.05$). 수송 밀도 600 kg에서는 수송 직후에 1.28 kg이었으며, 수송 5 일에는 1.18 ± 0.30 kg, 10일 경과 후에는 상단과 하단이 각각 1.18 ± 0.26 kg, 1.19 ± 0.30 kg이었다(Fig. 3). 수송 밀도 700 kg에서는 등 근육의 근육강도 값이 수송 직후에 1.31 ± 0.40

kg이었으며, 5일 경과 후에는 1.16 ± 0.24 kg, 10일 경과 후에는 상단과 하단이 각각 1.22 ± 0.25 kg, 1.19 ± 0.31 kg으로, 수송 기간에 따른 근육강도 값의 유의적인 차이는 없었다(Fig. 4, $P > 0.05$). Shim et al. (2012)은 10°C 이하 수온에서는 절식기간 동안 근육강도의 유의적인 차이는 없으며, 이는 저온에 의하여 대사활동이 최소화되기 때문이라고 보고하였다. 일반적으로 넙치가 사료를 섭취하는 온도범위는 $8\text{--}25^\circ\text{C}$ 알려져 있으며, 10°C 이하 또는 25°C 이상이면 먹이 섭취가 급격히 저하된다(Yasunage et al., 1980). 수온에 따른 산소소비량은 3°C 에 순응한 넙치는 $6.9\text{ mL O}_2/\text{kg}$ 이었으며, 10.6°C 에서는 $18.7\text{ mL O}_2/\text{kg}$ 으로 증가하였으며, 14°C 에서는 $124.2\text{ mL O}_2/\text{kg}$ 으로 안정

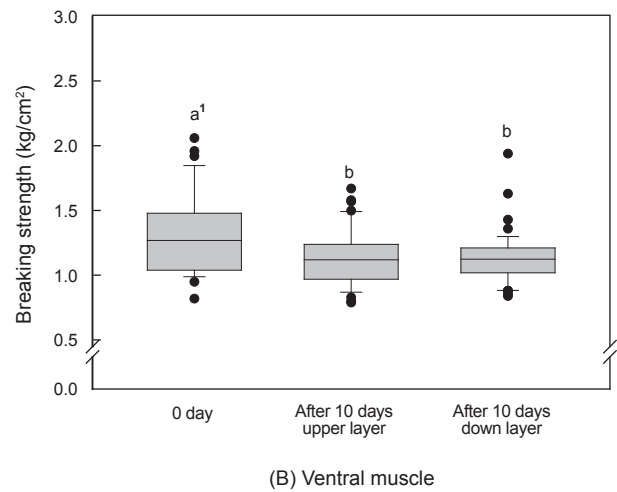
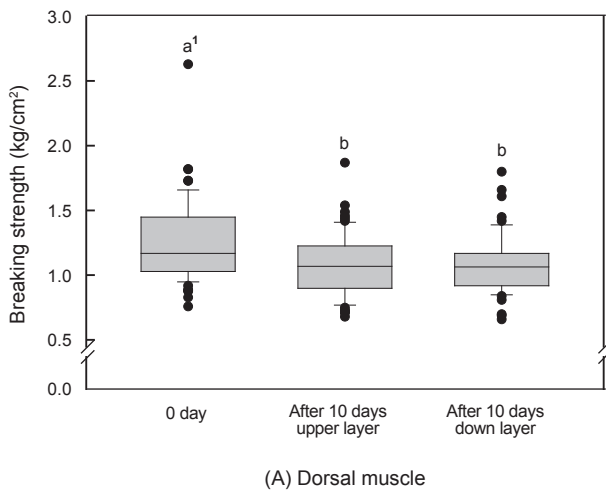


Fig. 2. The changes of breaking strength on the muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* in 500 kg transport stocking density at the beginning and after transport. ¹Means upper the bar with different superscripts are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

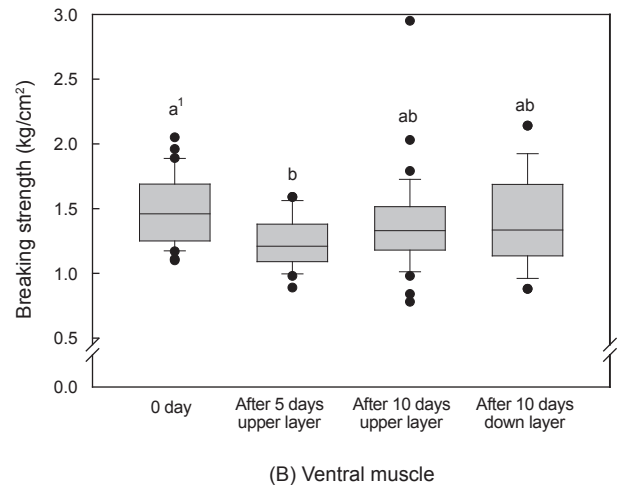
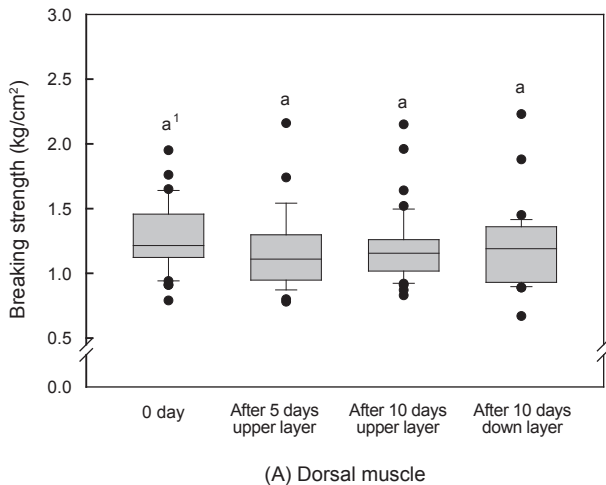


Fig. 3. The changes of breaking strength on the muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* in 600 kg transport stocking density at the beginning and after transport. ¹Means upper the bar with different superscripts are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

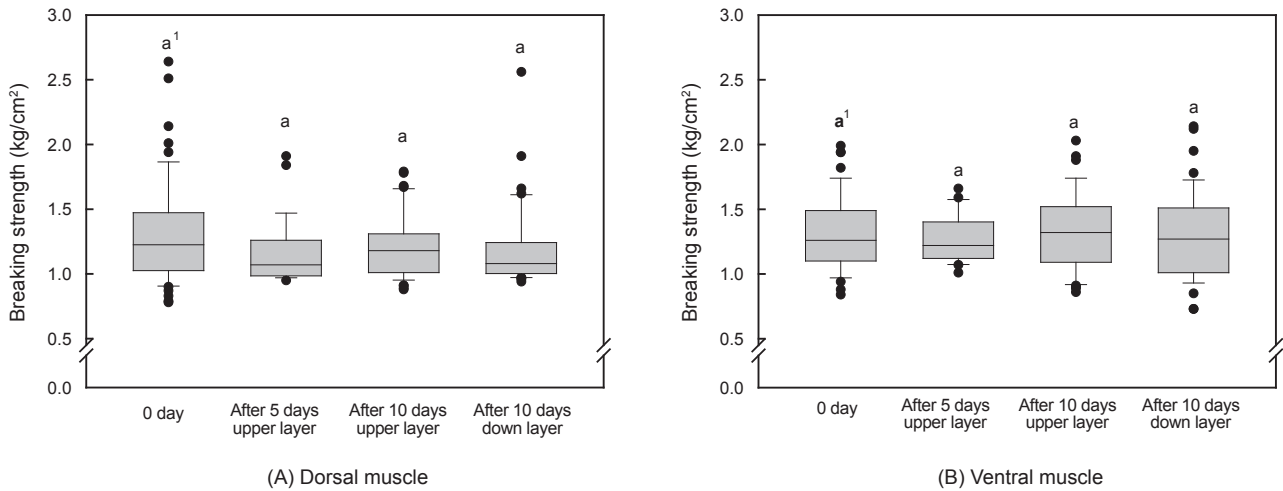


Fig. 4. The changes of breaking strength on the muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* in 700 kg transport stocking density at the beginning and after transport. ¹Means upper the bar with different superscripts are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

화된다고 보고하였다(Kim et al., 2005). 따라서 낮은 수송온도에서 넘치는 산소소모량이 감소하고 대사활동이 최소화된다. 그리고 수송 기간 동안 수송온도에 적응한 넘치는 절식에 의한 단편적인 스트레스 반응은 지속적으로 가해지지만, 본 연구에서 해상에서 직접 수송한 것이 아니라, 정지되어 있는 컨테이너 수조에서 행한 실험으로 외기의 충격 등으로 인한 스트레스가 주어지지 않기 때문에 수송밀도와 수송기간에 따른 근육강도 값의 유의적인 차이는 없는 것으로 사료된다.

ATP 및 lactate 함량

수송 밀도에 따른 넘치 등 근육의 ATP 및 lactate 함량은 Fig. 5와 6에 나타내었다. 수송 밀도 500 kg에서는 수송 직후에 34.8 $\mu\text{mol/g}$ 이었으나 10일 경과 후에는 상단과 하단에 각각 39.1 및 34.9 $\mu\text{mol/g}$ 로 수송기간에 따른 유의적인 차이는 없었다. 수송 밀도 600 kg에서는 수송 직후에 500 kg 수송밀도 보다는 다소 낮은 함량인 29.04 $\mu\text{mol/g}$ 이었으며, 수송 5일과 10에는 다소 증가하여 각각 33.8, 32.1, 31.7 $\mu\text{mol/g}$ 이었다. 반면 수송 밀도 700 kg에서는 높은 수송밀도로 인하여 ATP 함량이 기타 수송 밀도에 비하여 감소하여 14.9 $\mu\text{mol/g}$ 이었으며, 이후 수송기간 동안 증가하여 32.1-35.3 $\mu\text{mol/g}$ 이었다(Fig. 5).

Lactate 함량은 수송 밀도에 따른 ATP 함량 변화와 유사하였으며, 수송 밀도 500, 600 kg에서는 수송 전과 10일 경과 후에 각각 2.0-2.6 및 1.9-2.6 $\mu\text{mol/g}$ 이었다. 반면 수송 밀도 700 kg에서는 수송 전에 급격히 증가하여 4.7 $\mu\text{mol/g}$ 이었으며, 수송 기간 동안 기타 수송밀도와 유사한 lactate 함량을 나타내었다(Fig. 6).

수송직후에 근육 내의 ATP 소모와 lactate 축적의 변화가 큰 것은 수송온도 및 수송밀도에 의한 스트레스로 인한 것으로

사료되며, 특히 수송밀도가 700 kg에서 이들 성분의 변화 폭이 큰 것은 수송밀도의 증가로 인한 어류가 받는 스트레스가 증가하는 것으로 사료된다. 일반적으로 스트레스를 받은 어류의 근육은 죽기 전에 많은 양의 에너지를 소비하게 되며, 이로 인하여 해당과정에서 ATP 소모와 lactate 축적이 이루어지게 되며, 스트레스를 받지 않은 어류는 스트레스를 받은 어류에 비하여 초기 ATP소모는 크지 않았다(Nakayama et al., 1992). 따라서 수송온도에 적응한 넘치는 대사활동은 저하되었지만 고밀도의

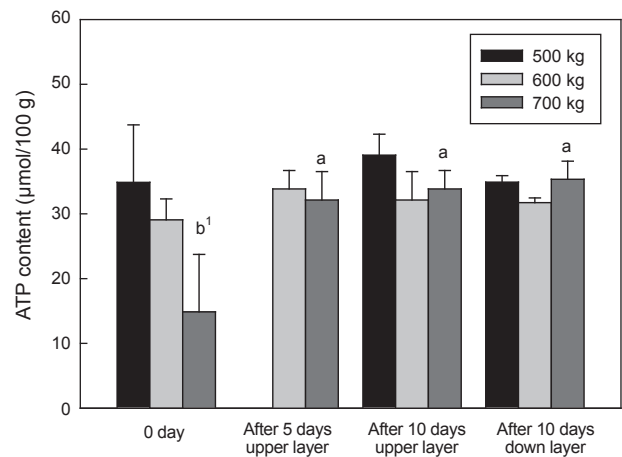


Fig. 5. The changes of ATP content on the muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* in transport stocking density group at the beginning and after transport.

¹Means upper the bar with different superscripts for each transport stocking density are significantly different by Duncan's multiple range test ($P < 0.05$).

수송 조건에서 활어에 스트레스가 주어지게 되어 나타나는 현상으로 사료된다. 또한 넙치 혈액 중 glucose 함량이 700 kg 수송 밀도에서는 수송 전보다 수송 후에 증가하였다(결과 미제시). 수송밀도의 증대는 대사활동에 의한 대사산물이 수질악화를 초래하게 되고, 이는 스트레스로 작용하여 체내에 에너지원인 glycogen을 소비하게 되고, 이로 인하여 혈액 내에 glucose 함량이 증대된 것으로 사료된다(Lupatsch et al., 2010; Yosif,

2002).

Glycogen 및 조지방 함량

수송밀도에 따른 넙치 근육의 glycogen 함량은 수송 직전보다는 수송 후에 glycogen 함량이 감소하였다. 특히 700 kg 수송 밀도에서는 4.37 g/100 g이었으나 수송 5일에는 1.95 g/100 g으로 감소하였으며, 수송 10일에는 상단과 하단에 각각 1.07 및 0.88 g/100 g으로, glycogen 함량이 감소하였다(Fig. 7). 어류

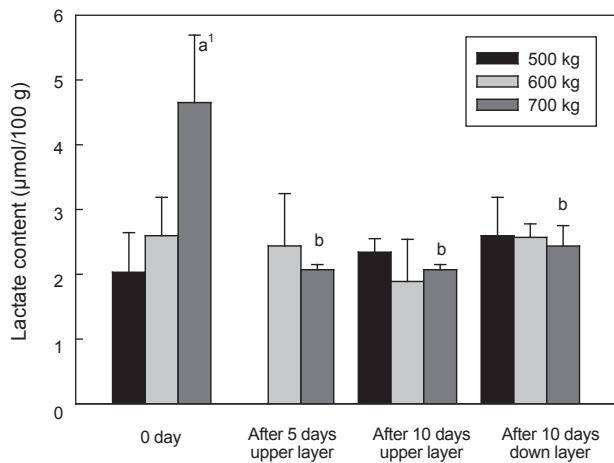


Fig. 6. The changes of lactate content on the muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* in transport stocking density group at the beginning and after transport.

¹Means upper the bar with different superscripts for each transport stocking density are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

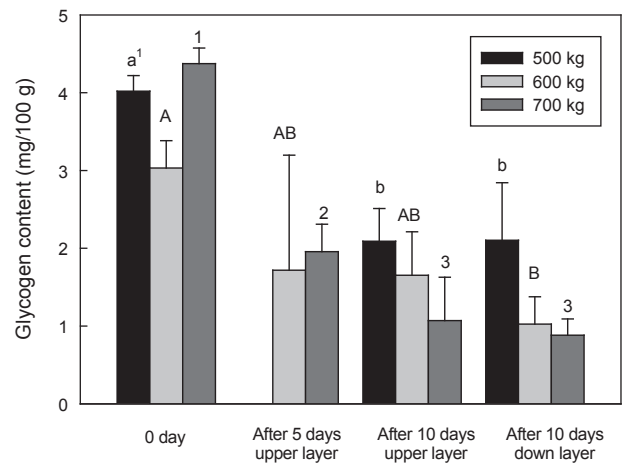


Fig. 7. The changes of glycogen content on the muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* in transport stocking density group at the beginning and after transport.

¹ Means upper the bar with different superscripts for each transport stocking density are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

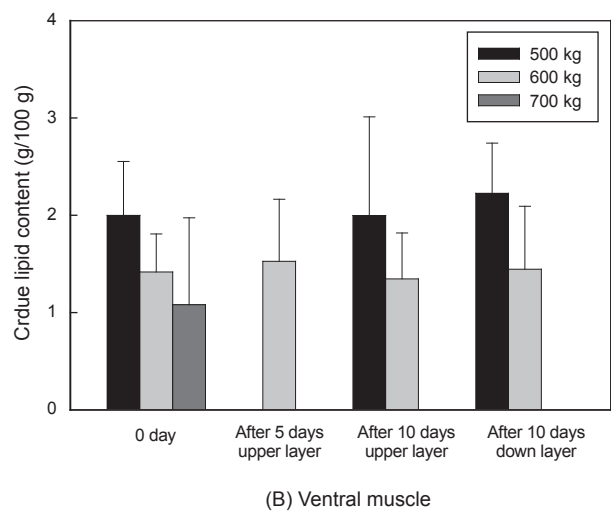
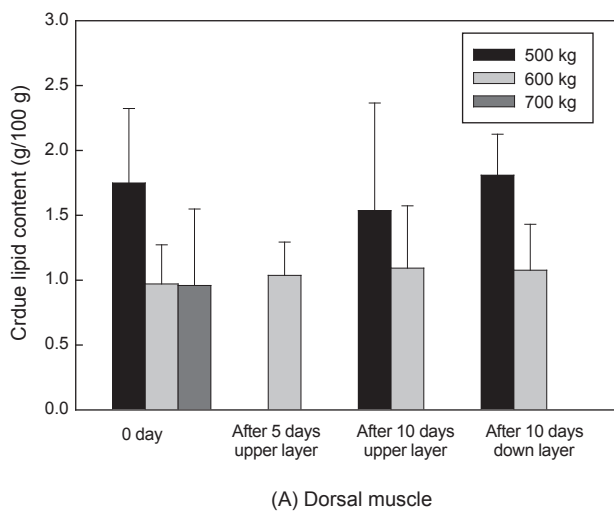


Fig. 8. The changes of crude lipid on the muscle of olive flounder *Paralichthys olivaceus* in transport stocking density group at the beginning and after transport. Means upper the bar with different superscripts for each transport stocking density are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

근육내의 glycogen 함량은 단기 절식상에서 개체가 크고 수온이 높을수록 큰 폭으로 감소하며, 온도가 낮을수록 감소폭은 양호한 것으로 보고되었다(Sherstneva and Shabalina, 1971). 본 연구에서는 8℃ 수송온도에서 에너지원인 glycogen 함량은 크지 않았지만, 수송밀도의 증가는 근육 내의 glycogen이 감소폭이 큰 것으로 확인되었다.

어류는 대사활동 후 근육내의 glycogen은 lactate와 전환되며, 근육내의 pH가 감소하게 된다. 포유류는 급격하게 형성된 lactate를 간에서 pyruvate로 전환시키지만, 어류는 이러한 과정 없이 체내에 lactate를 축적하게 된다(Hall, 1997). 따라서 체내에 축적된 lactate 함량과 glycogen 함량의 감소는 수송밀도에 의한 어류의 스트레스 정도를 간접적으로 확인할 수 있을 것으로 사료된다.

그러나 수송밀도와 수송기간에 따른 조지방 함량은 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$). 500 kg 수송밀도에서 넙치 등 근육의 조지방 함량은 수송 직후에는 1.75 g/100 g이었으나 10일 경과 후에는 상단과 하단에 각각 1.54 및 1.81 g/100 g이었다. 배 근육의 조지방 함량은 수송 직후에는 2 g/100 g이었으며, 10일 경과 후에는 상단과 하단이 각각 2.05, 2.28 g/100 g이었다. 등과 배 근육의 조지방 함량은 차이가 있었으나, 수송기간에 따른 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$, Fig. 8).

수송밀도에 따른 넙치 근육의 물리·화학적 변화를 조사한 결과, 근육의 물리·화학적 변화는 미미하였다. 그러나 수송기간 10일 동안은 최소 대사에 필요한 에너지원으로 지방질보다는 glycogen을 이용되는 것으로 확인되었으며, 수송밀도의 증가는 glycogen 함량의 큰 변화가 나타났다. 따라서 한 개의 수조 내 활어상태 넙치의 안정적인 수송이 가능한 최적 수송밀도는 500 kg, 600 kg이다. 그러나 수송밀도가 증대될수록 스트레스가 증가하고 이로 인한 대사활동과 대사산물은 수조내의 수질 상태 악화로 활어의 폐사를 초래할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원의 지원(RP-2014-FS-022)으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- 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., U.S.A.
- Barker SB and Summerson W. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *J Biol Chem* 138, 538-540.
- Berka R. 1986. The transport of live fish. A review. EIFAC Tech Pap, FAO, Rome, Italy.
- Cicik B and Engin K. 2005. The Effects of Cadmium on Levels of Glucose in Serum and glycogen Reserves in the Liver and Muscle Tissues of *Cyprinus carpio*. *Turk J Vet Anim Sci* 29, 113-117.
- Hall GM. 1997. *Fish Processing Technology*. Edition: 2, Springer, London, U.K.
- 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. Seoul, 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.
- Kim WS, Yoon SJ, Kim JM, Gil JW and Lee TW. 2005. Effects of temperature changes on the endogenous rhythm of oxygen consumption in the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. *Fish Sci* 71, 471-478.
- Lupatsch I, Santos GA, Schrama JW and Verreth JAJ. 2010. Effect of stocking density and feeding level on energy expenditure and stress responsiveness in European sea bass *Dicentrarchus labrax*, *Aquaculture* 298, 245-250. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.007>.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF). 2014. 2013 yearbook of fishery products export and import statistics. MOF, Sejong City, Korea.
- Nakayama T, Liu DJ and Ooi A. 1992. Tension change of stressed and unstressed carp muscles in isometric rigor contraction and resolution. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58, 1517-1522.
- 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.
- Shim KB, Lee SJ, Yoon HD, Lim CW, Shin YK, Jeong MH, Lee DG and Park TI. 2012. Effects of low temperature and starvation on the physicochemical characteristics of muscle of the olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Kor J Fish Aquat Sci* 45, 430-437.
- Steel RGD and Torrie JH. 1980. Principle and procedure of statistics; a biometrical approach (2nd ed.). MacGraw-Hill Book Company, New York, U.S.A.
- Yasunaga Y and Koshiishi Y. 1980. Basic studies of problems on the propagation of plaice, *Paralichthys olivaceus*. I. Acclimation to low salinity, feeding and gathering behaviour. *Bull Jap Sea Reg Fish Res La* 31, 17-31.
- Yosif OM. 2002. The effects of stocking density, water exchange rate, feeding frequency and grading on size hierarchy development in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Emir J Agric Sci* 14, 45-53.

Berka R. 1986. The transport of live fish. A review. EIFAC Tech