Journal of Aquaculture 12 (3) : 221~228 (1999)

급격한 수온변화에 따른 양식 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 생리적 반응

박명룡 · 장영진 · 강덕영*

부경대학교 수산과학대학 양식학과

*국립수산진흥원 거제수산종묘시험장

Physiological Response of the Cultured Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*) to the Sharp Changes of Water Temperature

Myong Ryong Park, Young Jin Chang and Dŭk-Young Kang*

Department of Aquaculture, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

**Keoje Marine Hatchery, National Fisheries Research & Development Institute, Keoje 656-840, Korea*

The effects of sparp changes of water temperature (WT) on the stress response and physiological change of the cultured olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) were examined by manipulating WT (3 patterns) in a running seawater culture system. In the first group (Exp. I), the WT was decreased from 18℃ to 11℃ within 6 hours and increased back to the original WT quickly. WT was decreased from 20℃ to 11℃ within 5 hours and maintained at 11℃ for 10 hours. and then increased to 20℃ in the second group (Exp. II). In the third group (Exp. III) WT was decreased to 11℃ within 5 hours (type A) or 10 hrs. (type B).

In Exp. I and II, the level of serum cortisol was increased from 2.5±0.3 ng/ml and 2.6±0.9 ng/ml to 13.6±3.0 ng/ml and 12.4±3.2 ng/ml, respectively, with WT decrease. However, no consistent tendency in the change of serum glucose level was shown according to WT decrease. In Exp. III, the glucose level of fish in type A was decreased until 5 hours and increased at 7 hours, then decreased until 12 hours where as the glucose level in type B was decreased until 5 hours and stayed at the level of 15.7 mg/dl. The serum osmolality was reduced with WT decrease and the response of serum electrolytes in this experiment conflicted, and a tendency in total protein, AST and ALT was not found following WT decrease.

In conclusion, olive flounder responded to the stress caused by WT decrease and acclimated to this condition when the lower temperature was maintained. But there was no stress response in the blood of olive flounder when WT was increased. On the other hand, the degree of stress response in olive flounder was various according to the range and gradient of WT change.

Key words : *Paralichthys olivaceus*, Sharp temperature change, Stress, Physiology

서 론

여름철 우리나라 동해안에서 발생하는 냉수대로 인한 급격한 수온변화는 육상 양식장의 넙치(*Paralichthys olivaceus*)에게 느린 성장과 질병 발생을 초래하는 요인이 되는 것으로 알려지고 있다. 국외에서는 수온의 급변이 어체의 생리적 변화를 야기시키고 스트레스 요인으로 작용하여 (Davis and Parker, 1990; Ishioka, 1980; Strange et al., 1977), 생체내 대사(Woo, 1990)와 혈액성상

(Ryan, 1995)의 변화를 일으키는 것으로 연구된 바 있다. 그러나 이것은 실험적 수준에서 구명된 사실일 뿐, 동해안 냉수대와 같은 실제 자연 생태계에서 일어나는 현상에 대한 연구 자료는 국내외를 통하여 찾아보기 힘들다. 특히, 우리나라의 경우, 이와 관련하여 여러가지 형태의 수온변화에 따른 어류의 생리반응과 같은 기초적 실험도 이루어지지 않은 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 수온급변에 의한 어류의 스트레스 반응에 대한 기초자료를 얻고자, 우리나라 동해안에서 육상수조식으로 대량 양식되고 있는 넙치를 사용하여 실험수조내에서 몇가지 형태의 급격한 수온변화를 주면서 어체의 생리적 반응을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험어 및 사육시설

실험어는 부산시 기장군 소재 육상 넙치양식장에서 사육중인 넙치(전장 16.8~24.4 cm, 체중 55~167 g, n=160)로서 3주간 예비사육하여 안정시킨 다음 실험에 사용하였다. 실험사육시 먹이는 시판용 넙치 부상사료를 1일 2회로 나누어 만복 공급하였다.

사육시설은 Fig. 1과 같은 유수식 사육시스템이었다. 실험해수로는 자연해수를 1차로 침전조(직경 3 m, 수용적 6 ton)에서 침전 및 수온변화가 적도록 완충시킨 다음, 수온 조절조에서 설정된 실험수온으로 맞추어 수조(저면적 0.4 m^2, 수심 22.5 cm, 타원형 FRP 수조)에 공급하였다. 실험수조의 1일 환수율은 1,500%, 용존산소량은 5 ppm 이상이 되도록 조절하였다. 또한 실험어의 안정과 도피방지를 위하여 차광막을 설치하였으며, 산소공급시 공기에 의한 수온 상승을 막기위해 얼음으로 냉각시킨 공기를 주입하였다.

2. 실험방법

급격한 수온변화를 주기위한 수온조절 형태는 Fig. 2와 같다. 실험 I 에서는 18℃→11℃(소요시간 6시간)로 낮춘 다음 즉시 18℃(1시간)로 급상승시켰으며, 실험 II에서는 20℃→11℃(5시간)로 낮추어 10시간 지속시킨 다음 다시 11℃→20℃(3시간)로 되도록 하였고, 실험 III에서는 20℃→11℃(A형 5시간 및 B형 10시간)로 낮아지도록 한 다음 최종 온도가 일치되도록 하였다. 각 실험에는 새로운 실험어를 수용하여 1회성 저수온 충격이 되도록 하였다. 실험어로부터 혈액을 채취하기 위하여 실험개시 24시간 전부터 어체를 절식시켰으며, 마취하지 않은 상태에서 1분 이내에 채혈하였다.

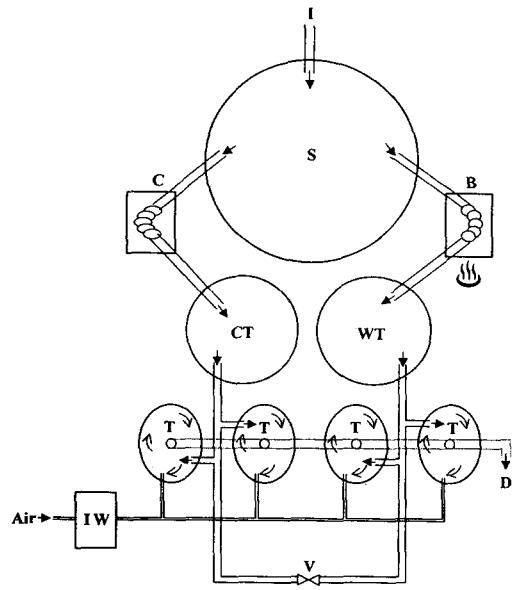

Fig. 1. Schematic diagram of running seawater system used for the experiments of olive flounder. Arrows indicate the direction of water flow. B: boiler, C: cooler, CT: cooling tank, D: drain, I: water inlet, IW: iced water, S: sedimentation tank, T: rearing tank, V: valve, WT: warming tank.

각 실험에서 채취된 혈액은 원심분리(12,000 rpm, 5분)하여 혈청을 추출한 다음, 분석시까지 -70℃에서 보관하였다. 혈청 코티졸 농도는 cortisol RIA kit (DSL, USA)를 사용하여 항원·항체 반응을 유도한 다음, Wizard 1470 γ-counter를 이용하여 radioimmunoassay (RIA)로, 글루코스 농

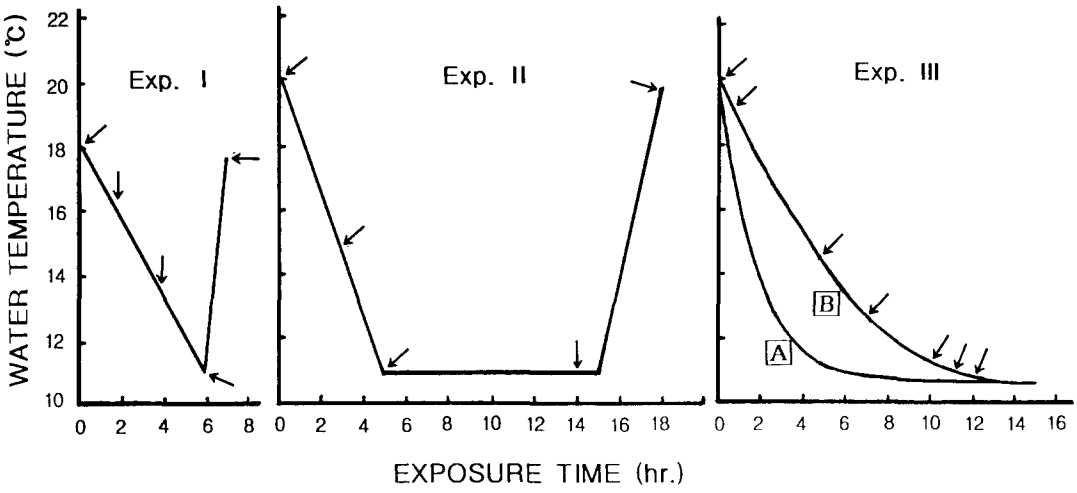

Fig. 2. Three temperature change patterns in the experiments of sharp change of water temperature. Arrows indicate the blood sampling time. [A] : water temperature change type A, [B] : water temperature change type B.

도는 Hitachi 7150을 이용하여 비색 정량법으로 측정하였다. 혈청의 삼투질 농도는 micro-osmometer로, AST(aspartate aminotransferase)와 ALT (alanine aminotransferase)는 Hitachi 7150을 이용하여 $NADH_2$의 흡광도 감소율에 의해 측정하였다. 전해질(Na^+, Cl^-, K^+, Ca^{2+}) 농도는 AVL 988-3의 electrode로, 총단백질량은 Hitachi 7150으로 분석하였다.

3. 통계처리

각 실험에서 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계패키지를 이용하여 t-test, ANOVA 및 Duncan's multiple range test에 의해 판정하였다.

결 과

각 실험에서 넙치는 수온 하강시에 체표의 반문이 보다 뚜렷해졌으나, 체표점액 분비상태의 변화는 육안이나 촉감으로 구별할 수 없었다. 어체의 운동성은 수온 하강시에 매우 둔화되다가, 수온 상승시에 다시 활발해졌다. 특히 수온의 급강하시에는 수면위로 부상하여 입을림하는 1~2개체가 관찰되기도 하였다.

실험 I : 혈청의 코티졸 농도는 개시시 수온 18℃에서 2.5±0.3 ng/ml였으나, 14℃(4시간째)에서 4.7±0.9 ng/ml로 유의하게 높아졌으며, 11℃(6시간째)에서는 13.6±3.0 ng/ml로 급격히 상승하여 최고값을 보였다($P<0.05$). 그러나 18℃(7시간째)로 급상승시켰을 때의 코티졸 농도는 오히려 개시시의 수준(3.1±0.1 ng/ml)으로 회복되었다. 글루코스 농도는 수온변화에 따른 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다(Fig. 3).

혈청의 삼투질 농도는 Table 1과 같이 실험개시시 445.0±5.3 mOsm/kg이었던 것이 16℃(2시간째)에서는 428.0±4.4 mOsm/kg으로 유의하게 감소하였지만($P<0.05$), 14℃(4시간째)에서는 회복되어 개시시에 비해 유의차가 없었다. 그러나 11℃(6시간째)에서 다시 낮아져 최저값인 412.0±11.4 mOsm/kg이었다($P<0.05$). 이후 수온의 급상승시에는 다시 회복되는 경향을 보였다.

혈청의 Na^+ 농도는 실험개시시에 181.0±1.1 mEq/L였던 것이 14℃(4시간째)로 낮아졌을 때는 169.5±1.3 mEq/L로 개시시 보다 유의하게 낮아졌으며($P<0.05$), 이후 11℃(6시간째)에서는 165.5

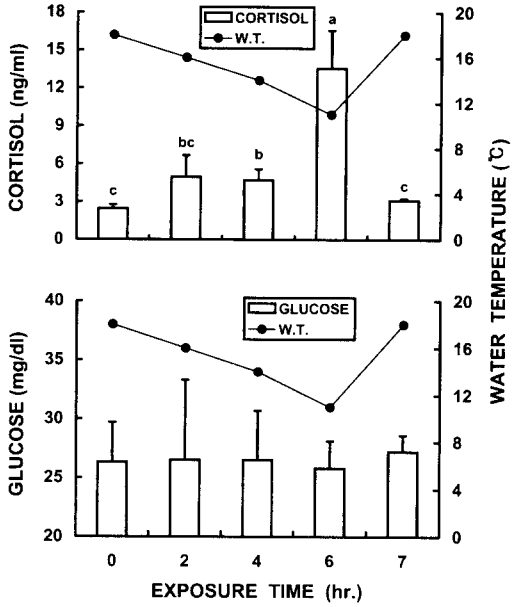

Fig. 3. Variations of cortisol and glucose levels of olive flounder serum under the sharp water temperature change during the time course of Exp. I. Different superscripts on the bars are significantly different (P<0.05).

±1.3 mEq/L로 최저값을 나타내었다. 이후 수온을 다시 18℃로 급상승시켰을 때 Na^+ 농도는 개시시 수준으로 회복되지 못하였다. Cl^-의 농도는 실험개시시 146.0±1.2 mEq/L였으나 수온이 하강함에 따라 감소하여 14℃(4시간째)에서는 142.0±0.9 mEq/L로 유의하게 낮아졌다(P<0.05). 이후 11℃(6시간째)에서는 138.5±0.4 mEq/L로 최저값을 보였다. 수온이 급상승한 18℃(7시간째)에서는 개시시 수준까지 회복되지 못하였다. 그러나 K^+ 농도는 수온변화에 따른 일정한 경향을 파악할 수 없었다. 한편 Ca^{2+} 농도는 실험개시시 5.1±0.3 mg/dl였던 것이 16℃(2시간째)에서 유의하게 높아져 6.6±0.7 mg/dl를 나타내었고, 이후 14℃(4시간째)와 11℃(6시간째)에서는 개시시 농도에 비해 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 수온이 급상승한 18℃(7시간째)에서는 6.2±0.1 mg/dl로 재상승하였다(P<0.05).

혈청의 총단백질량은 실험개시시 3.6±0.1 g/dl였으나, 이후 16℃(2시간째)에서 3.9±0.1 g/dl로 상승하였다(P<0.05). 그러나 14℃(4시간째)에서는 개시시 농도에 비하여 차이가 없었고, 11℃(6시간)에서는 3.8±0.1 g/dl로 재상승하였다(P<0.05). 이후 총단백질량은 수온이 상승함에 따라 회복되었으며, 삼투질 농도의 변화와는 반대되는 경향을 나타냈다. AST의 활성은 수온변화에 따른 일정한 경향은 없었고, ALT의 활성은 삼투질 농도와 같은 경향을 보였으나 총단백질량의 변화와는 반대되는 경향을 나타냈다(Table 1).

Table 1. Variations of physico-chemical compositions in the blood of olive flounder according to sharp changes of water temperature during the time course of Exp. I [1]

Water temperature	18℃	16℃	14℃	11℃	18℃
Exposure time (hr.)	0	2	4	6	7
Osmolality (mOsm/kg)	445.0±5.3^a	428.0±4.4^b	437.0±1.8^a	412.0±11.4^b	446.0±3.1^a
Na^+ (mEq/L)	181.0±1.1^a	174.0±4.4^{ab}	169.5±1.3^b	165.5±1.3^c	169.5±3.9^{bc}
Cl^- (mEq/L)	146.0±1.2^a	143.0±3.5^{ab}	142.0±0.9^b	138.5±0.4^c	142.0±2.6^{bc}
K^+ (mEq/L)	2.9±0.4	3.0±0.3	3.5±0.4	3.0±0.3	3.5±0.6
Ca^{2+} (mg/dl)	5.1±0.3^b	6.6+0.7^a	5.3±0.4^b	5.2±0.2^b	6.2±0.1^a
Total protein (g/dl)	3.6±0.1^b	3.9±0.1^a	3.5±0.1^b	3.8±0.1^a	3.6±0.1^b
AST(IU/L)[2]	4.0+1.3	4.5±3.1	4.5±1.3	6.5±1.3	4.5+0.4
ALT(IU/L)[3]	2.0+0.6^{ab}	1.0±0.7^b	3.0±0.4^a	1.0±0.6^b	2.5±0.4^{ab}

[1]Values are mean±SEM (n=10). The values within the same row with different alphabetic letters are significantly different (P<0.05).
[2]AST: aspartate aminotransferase.
[3]ALT: alanine aminotransferase.

실험 Ⅱ : 혈청의 코티졸 농도는 개시시 20℃에서 15℃(3시간째)로 하강했을 때 개시시 농도(2.6±0.9 ng/ml) 보다 유의하게 높은 값(6.7±2.3 ng/ml)를 나타냈으며($P<0.05$), 11℃(5시간째)에서는 최고값(12.4±3.2 ng/ml)를 보였다. 이후 11℃로 수온이 지속되는 14시간째에는 5시간째 보다는 낮아지는 경향을 보였으나 유의차는 없었고, 개시시 보다는 여전히 높은 값을 유지하고 있었다($P<0.05$). 그러나 11℃(15시간째)에서 3시간만에 사육수를 개시시 수온인 20℃로 급상승했을 때의 코티졸 농도는 개시시의 수준으로 낮아졌다. 글루코스 농도는 수온 하강에 따라 낮아지는 경향이었지만, 개시시와 차이를 보이지 않았다. 그러나 이후 10시간 동안 11℃로 수온을 유지시켰을 때 오히려 유의하게 상승하였으며($P<0.05$), 수온을 개시시 수준으로 급상승시켰을 때 다시 회복되는 경향을 보였다. 실험중 수온하강시 코티졸과 글루코스의 농도변화 사이의 상관관계는 찾아 볼 수 없었다(Fig. 4).

실험 Ⅲ : 수온을 5시간만에 11℃로 낮춘 A형 수온변화에서는 혈청의 글루코스 농도가 개시시 28.2±4.2 mg/dl에서 5시간째에 12.3±3.8 mg/dl로 낮아지다가, 7시간째에 다시 26.8±4.1 mg/dl로 급격히 높아진 다음, 11시간째에 4.4±2.8 mg/dl로 다시 낮아져 12시간째까지도 개시시 수준으로 회복되지 못하였다.

한편, 10시간만에 11℃로 낮춘 B형 수온변화에서는 개시시 글루코스 농도가 22.3±5.6 mg/dl에서 5시간째에 9.4±2.9 mg/dl로 낮아졌으나, 7시간째에 다시 상승하여 실험종료시인 12시간째까지 비슷한 값을 유지함으로써, 5시간만에 11℃로 낮춘 A형 수온변화에 비해 노출 5시간 이후에 글루코스의 농도변화가 작은 것으로 나타났다(Fig. 5).

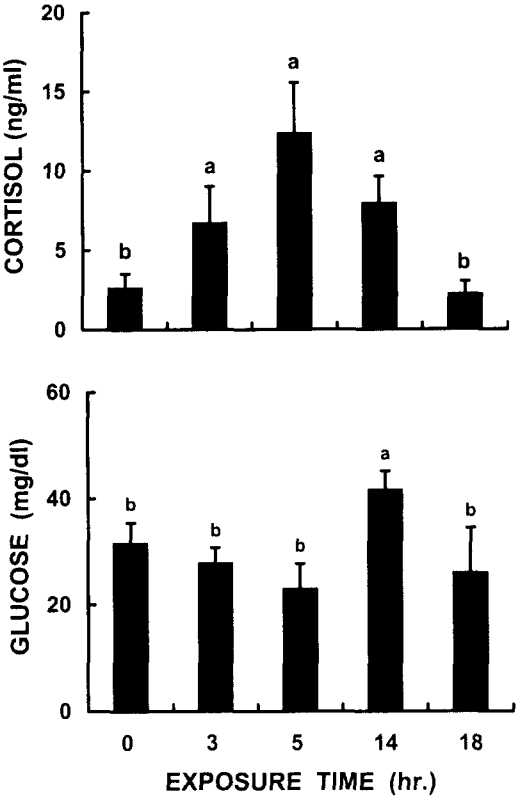

Fig. 4. Variations of cortisol and glucose levels of olive flounder serum under the sharp water temperature change during the time course of Exp. Ⅱ. Different superscripts on the bars are significantly different ($P<0.05$).

고 찰

어류는 외부환경의 변화에 따라 어느 정도 스트레스를 극복할 능력을 가지고 있으나, 임계 수준을 넘어선 스트레스는 어체의 생리활성을 떨어뜨림으로써 건강도를 약화시킬 수 있다(Barton and Iwama, 1991). 외부 스트레스에 의해 어체는 항상성을 유지하기 어렵게 되므로, 이를 극복하기 위하여 에너지를 요구하게 된다. 이로 인해 체성장과 생명유지를 위한 대사에 사용되어야 할 에너지가 필요 이상으로 소모되므로, 성장의 둔화 및 폐사율의 증가를 가져올 수 있다(Barton and Iwama, 1991; Schreck, 1982). 이러한 스트레스는 마취제 및 항생제와 같은 약제 스트레스, handling 및 수송과 같은 물리적 스트레스와 염분, 수질 및 수온 변화에 의한 환경 스트레스로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 넙치를 대상으로 위와 같은 스트레스 요인중 냉수대와 같은 수온급변에

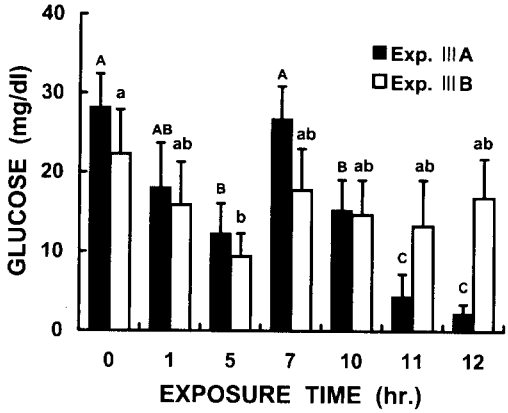

Fig. 5. Variations of glucose level of olive flounder serum under the sharp water temperature change during the time course of Exp. III. Different superscripts on the bars are significantly different (P<0.05).

따른 생리적 반응에 관하여 조사하였다.

수온급변에 따른 넙치 혈액의 생리적 반응은 현재까지 보고된 일반 급성 스트레스 반응과 다른 결과를 보였다. 즉 어체의 스트레스 지표인 코티졸과 글루코스의 농도는 서로 상관관계를 나타내면서 변화하는 것이 일반적이나, 본 연구에서는 이와 같은 현상을 찾아 볼 수 없었다. 대사와 스트레스의 지표로 이용되는 글루코스의 반응은 본 연구에서 감소 또는 정체현상을 보였다. 그러나 다른 어종과 비교해 다소 낮은 농도이지만 본 연구에서 뚜렷한 코티졸 농도의 증가를 관찰할 수 있었기 때문에, 수온의 급강하에 의해 스트레스를 받은 것으로 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고 글루코스 농도의 증가가 동반되지 않는 것은 첫째로, 에너지 소비량의 증가에 따른 혈중 글루코스를 에너지원으로 이용했던 것으로 추측해 볼 수 있다. 둘째로는, 수온 하강시 Q_{10}의 법칙에 따른 생체대사 저하에 의한 글루코스 생성 및 소비속도가 낮아지는 반면, 스트레스에 의한 글루코스 생성 및 소비속도가 빨라지므로 서로 상쇄효과에 의해 나타나는 결과일 수도 있다. 일반적으로 급성 스트레스에서는 분비된 카테콜아민과 코티졸의 단백질 이화작용으로 인하여 각각 글리코겐 분해대사(glycogenolysis)와 글루코스 신생합성(gluconeogenesis)의 효소활성이 높아짐(Barton and Iwama, 1991; Davis et al., 1985; Pickering, 1989)에 따라 대부분 고혈당 증상(hyperglycemia)을 유발한다(Robertson et al., 1987; Barton and Schreck, 1987; Ishioka, 1980). 그러므로 앞으로 이에 대한 깊이있는 논의가 넙치와 타 어종간의 연구에서 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서 혈청의 코티졸은 수온이 급격하게 하강함에 따라 유의하게 증가하였으나, 이미 보고된 다른 어류에서 나타난 결과에 비해서는 매우 낮은 농도였다. 현재까지의 스트레스 실험은 대부분 연어·송어류 등 유영성 어류를 대상으로 하였으며, 급성 스트레스 실험은 주로 높은 운동성이 요구되는 수송, 선별, 공기노출 등과 같은 조건에서 이루어졌다. 그러므로 상대적으로 운동성이 낮은 넙치를 대상으로 한 본 연구결과와 스트레스 정도를 비교하기는 어렵고, 여기에 제시한 글루코스와 코티졸의 농도 변화폭을 기존에 보고된 급성 스트레스와 비교하는 것은 무리가 있다. 또한 실험 I 의 전해질 농도 변화 역시 일반적인 스트레스 반응과 상반된 결과를 나타내어 기존의 이론으로 이 결과를 설명하기는 어렵다. 또한 지금까지 연구된 바에 의하면, 어류가 스트레스를 받았을 때 낮은 반응도를 나타내는 것은 만성 스트레스에서만 관찰할 수 있는 것으로 보고되고 있다(Robertson et al., 1987; Pickering and Stewart, 1983). 그러나 Ishioka (1980)는 참돔을 이용한 수온변화 연구를 통하여 수온충격에 따라 어체의 글루코스 농도가 변하지 않는다고 하였고, 운동성이 낮은 Antartic fish로 연구한 Ryan (1995)은 급성 스트레스에 대해 어체가 약한 스트레스 반응(낮은 젖산 생성)과 빠른 회복력을 보이는 것으로 보고하였다. 또한 striped bass로 실험한 Davis and Parker (1990)는 저수온에 대한 어체의 낮은 스트레스 반응이 높은 용존산소와 낮은 대사율 때문이라고 하였으며, Thomas and Robertson (1991)은 진정제에 노출시킨 red drum의 코티졸 농도가 상승되었으나, 글루코스 농도는 변하지 않았다는 결과를 얻어 생체내 산소 수급상태에 따

라 스트레스 반응의 차이가 있다고 하였다. 그러므로 본 연구와 같이 급성 스트레스 상태에서 넙치가 약한 스트레스 반응을 나타낸 것은 넙치의 종 특이성, 즉 서식 습성, 낮은 운동성 및 저수온 스트레스 저항력 등과 같은 요인에 의한 것으로 추측된다. 또한 각 실험 조건이 1일 이내에 1회성 수온급변을 주었던 것이므로 넙치가 스트레스 요인으로 감지하기에는 빈도가 낮은 수온충격이었을 가능성이 크다.

결론적으로, 넙치는 단시간의 1회성 저수온 충격에 강한 저항력을 나타내는 어종인 것으로 판단된다. 그러나 본 연구 조건과 달리 연속적인 수온급변 자극을 주었을 때, 본 연구와 같은 결과가 얻어질지는 미지수이다. 그러므로 앞으로는 연속적인 저수온 충격을 넙치에게 주었을 때 어체의 반응을 파악하고, 실제 여름철 동해안에 출현하는 냉수대 모델을 적용하여 넙치의 성장과 생존에 미치는 생리학적 영향에 대한 연구가 필요하다.

요 약

사육수의 급격한 수온변화에 따른 양식 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 스트레스 반응을 조사하기 위하여, 3가지 형태의 1회성 수온급변 실험을 실시하였다. 실험 I 에서는 18℃→11℃(소요시간 6시간)로 낮춘 다음 즉시 18℃(1시간)로 급상승시켰으며, 실험 II에서는 20℃→11℃(5시간)로 낮추어 10시간 지속시킨 다음 다시 11℃→20℃(3시간)로 되도록 하였고, 실험III에서는 20℃→11℃(A형 5시간 및 B형 10시간)로 낮아지도록 한 다음 최종 온도가 일치되도록 하였다. 실험 I 과 II에서 혈청의 코티졸 농도는 2.5±0.3 ng/ml와 2.6±0.9 ng/ml에서 각각 13.6±3.0 ng/ml, 12.4±3.2 ng/ml로 증가함으로써, 수온의 급강하에 의해 넙치가 스트레스를 받는 것으로 나타났다. 그러나 글루코스 농도는 유의한 변화를 보이지 않았다. 실험III에서 글루코스 농도는 A형 수온변화에서 5시간까지 감소하였으며 7시간에서는 증가한 다음 12시간까지 다시 감소하였고, B형 수온변화에서는 5시간까지 감소하였으나 그후 15.7 mg/dl 내외로 지속되어, 넙치가 수온변화 스트레스에 대응하기 위하여 체내 글루코스를 적절하게 이용하는 것으로 추측되었다. 혈청의 삼투질 농도는 수온이 하강하면서 낮아지는 경향을 보였고, 전해질은 일반적인 스트레스 반응과 상반된 결과를 나타냈다.

혈청의 총단백질량, AST 및 ALT는 일정한 변화 경향이 없었다. 결론적으로 넙치는 수온이 급격히 하강될 때 스트레스 반응을 나타내었으며, 다시 처음의 조건으로 수온을 환원하였을 때는 반응을 보이지 않았다. 스트레스 반응도는 수온변화의 폭과 속도에 비례하여 높았으며, 이후 저수온 상태를 지속시킬 때는 적응하는 경향을 보였다.

사 사

이 논문은 1997년도 교육부 학술연구조성비(수산과학: KIOS-97-F-07)에 의해 연구되었으며, 연구비를 지원하여 주신 데 대하여 깊히 감사드립니다. 또한 본 연구를 진행하기 위하여 현장 시설을 사용할 수 있도록 협조하여 주신 영진수산 직원 여러분께 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

Barton, B. A. and G. K. Iwama, 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. Annual Rev. Fish Dis., 3-26.

Barton, B. A. and C. B. Schreck, 1987. Influence of acclimation temperature on interrenal and carbohydrate stress responses in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Aquaculture, 62 : 299-310.

Davis, K. B., P. Torrance, N. C. Parker and M. A. Suttle, 1985. Growth, body composition, and hepatic tyrosine aminotransferase activity in cortisol fed channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque. J. Fish Biol., 27 : 177-184.

Davis, K. B. and N. C. Parker, 1990. Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. Aquaculture, 91 : 349-358.

Ishioka, H., 1980. Stress reactions in the marine fish. I . Stress reactions induced by temperature change. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 46 : 523-532.

Pickering, A. D., 1989. Factors affecting the susceptibility of salmonid fish to disease. Rer. Freshwater Biol. Assoc., 57 : 61-80.

Pickering, A. D. and A. Stewart, 1983. Acclimation of the interrenal tissue of the brown trout, *Salmo trutta* L., to chronic crowding stress. J. Fish Biol., 24 : 731-740.

Robertson, L., P. Thomas, C. R. Arnold and J. M. Trant, 1987. Plasma cortisol and secondary stress responses of red drum to handling, transport, rearing density, and disease outbreak. Prog. Fish-Cult., 49 : 1-12.

Ryan, S. N., 1995. The effect of chronic heat stress on cortisol levels in the Antartic fish *Pagothenia borchgrevinki*. Experientia, 51 : 768-774.

Schreck, C. B., 1982. Stress and rearing of salmonids. Aquaculture, 28 : 241-249.

Strange, R. J., C. B. Schreck and J. T. Golden, 1977. Corticoid stress responses to handling and temperature in salmonids. Trans. Am. Fish. Soc., 106 : 213-217.

Thomas, P. and L. Robertson, 1991. Plasma cortisol and glucose stress responses of red drum (*Sciaenops ocellatus*) to handling and shallow water stressors and anesthesia with MS-222, quinaldine sulfate and metomidate. Aquaculture, 96 : 69-86.

Woo, N. Y. S., 1990. Metabolic and osmoregulatory change during temperature acclimation in the red sea bream, *Chrysophrys major*: Implications for its culture in the subtropics. Aquaculture, 87 : 197-208.