

염분 변화에 따른 자바틸라피아(*Oreochromis mossambicus*)의 산소소비, 아가미 호흡수 및 암모니아 배설

이춘희 · 한상우¹ · 허준욱¹ · 이정열^{1,*}

충청남도 농림수산국, ¹군산대학교 해양생명과학부

Oxygen Consumption, Operculum Movement Number and Ammonia Excretion of Cultured Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) by Salinity Changes

Chun Hee Lee, Sang Woo Han¹, Jun Wook Hur¹ and Jeong yeol Lee^{1,*}

Provincial Office of Chungcheong Nam-Do, Daejeon 301-763, Korea

¹School of Marine Life Science, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

Abstract – The effects of salinity on oxygen consumption, operculum movement number and ammonia nitrogen excretion were examined in cultured tilapia, *Oreochromis mossambicus* (total length 10 ± 1.0 cm, total weight 17.3 ± 4.2 g). The fish were exposed to certain salinities (0, 3, 9, 15, 21, 27 and 32 psu) step by step with $3 \text{ psu} \cdot \text{d}^{-1}$ and changed rapidly from certain salinity to another salinity. The oxygen consumption of the fish which was transferred step by step showed increasing tendency in the range of 3~27 psu, but markedly appeared very low value at 32 psu. The tolerance limit in tilapia by salinity change without acclimation was shown 23.3 psu from 96-h TL_{50} . The oxygen consumption, operculum movement and ammonia nitrogen excretion of fish which was transferred rapidly from certain salinity to each salinity (0, 9, 15, 21 and 32 psu) showed a changing point at 15 psu; they showed increasing and/or decreasing pattern before 15 psu, and showed decreasing pattern after 15 psu. From these results, it was concluded that the appropriate salinity without physiological change for Java tilapia was below 15 psu.

Key words : Tilapia, *Oreochromis mossambicus*, salinity change, oxygen consumption, ammonia excretion, operculum movement

서 론

틸라피아는 Tilapia, *Sarotherodon* 및 *Oreochromis* 속으로 나누어지며, 우리나라에 들어와 있는 종은 *Oreochromis* 속의 2종으로 산란상에 낳은 알을 암컷이 입속에

품어 부화시키는 광염성 종이다(김 1993). 자바틸라피아 (*Oreochromis mossambicus*)는 40 psu에서도 잘 자라고 35 psu에서도 산란을 하며, 나일틸라피아(*O. niloticus*)는 자바틸라피아보다 낮은 13.5~29 psu에서 산란하고 35 psu까지 적응한다고 한다(김 1993).

최근 국내양식에서 광염성 해산어류인 송어(*Mugil cephalus*), 농어(*Lateolabrax japonicus*), 감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*) 등을 대상으로 삼투압조절 능력을 이용한

* Corresponding author: Jeong yeol Lee, Tel. 063-469-1834, Fax. 063-469-1834, E-mail. yjeong@kunsan.ac.kr

담수양식 기술개발에 대한 연구가 시행된 바 있다(추 등 2000; 장 등 2001, 2002). 또한 광염성 담수어류를 해수에서 사육하려는 연구도 보고되고 있다(장과 허 1999; 허와 장 1999; 허 등 2001, 2004; 이와 김 2005). 담수어류를 해수에 순화시키면 담수어류에서 나는 냄새를 쉽게 제거할 수 있을 뿐만 아니라(윤 등 1996b), 육질의 물성을 변화시켜 식감을 좋게 할 수 있다(윤 등 1996a). 또한 뱀장어(*Anguilla japonica*)를 출하 전 갯벌에 방양하여 식감이 좋은 뱀장어로 만들어 판매단가를 높이는 방법도 연구되었다(이 2005). 이러한 방법들은 어류의 삼투압조절 능력을 이용하여 상품성 또는 생산이익을 높이려는 방법으로 양식산업에서 종종 응용하고 있다. 그러나 양식생물을 본래 사육되고 있던 염분 환경에서 다른 염분 환경으로 바뀌었을 때 환경적응에 대한 대사생리의 반응에 대한 자료가 적어 광염성어류라 하더라도 종종 좋지 않은 결과를 나타낼 때가 있기 때문에 이에 대한 연구의 필요성이 제기되고 있다.

본 연구는 광염성 종으로 알려져 있는 자바틸라피아를 대상으로 염분 변화를 단계적인 변화 또는 급격한 변화를 시켰을 때 틸라피아가 나타내는 산소소비율, 아가미 호흡수 및 암모니아 배설률을 조사하여, 담수산 틸라피아를 해수에서 사육하려 할 때 기초자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

자바틸라피아는 군산대학교 부속양어장에서 종묘생산하여 사육하고 있던 체장 10.2 ± 1.0 cm, 체중 17.3 ± 4.2 g인 치어를 사용하였다. 실험어는 순환여과식으로 구성된 0.5 ton 크기의 FRP 실험수조 18개에 각 20마리씩 수용하고, 여과수조를 거쳐 나온 사육수를 공급하였다. 실험기간 동안 수온은 $25.1 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 였으며, pH는 7.1~8.0, 용존산소 $6.1 \sim 7.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 총암모니아성 질소는 $0.012 \sim 0.136 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 이었다.

담수(0 psu)에서 사육하던 자바틸라피아를 염분 0(대조구), 3, 9, 15, 21 및 32 psu로 이동하였을 때 시간경과에 따른 생존율을 조사하였다. 또한 염분변화에 대한 자바틸라피아의 생리변화를 조사하기 위하여, 단계적인 염분변화와 급격한 염분변화로 나누어 실험하였다. 단계적인 염분변화는 담수로부터 염분을 하루에 3 psu씩 증가시켜 3, 9, 15, 21 및 32 psu에 도달하면 각 염분에서 사육하면서 각 염분 도달 40시간 후 산소소비율, 아가미 호흡수 및 암모니아 배설률을 측정하였다. 급격한 변화는 각 사육 염분(0, 9, 15, 21, 32 psu)에서 각기 다른 염분으로 순

화 없이 바로 옮겨 분석하였다.

산소소비율, 아가미 호흡수 및 암모니아 배설률의 측정은 아크릴로 제작한 호흡용기($50 \times 20 \times 20$ cm)에 미공 여과($0.8 \mu\text{m}$)시킨 소정의 염분을 가진 환경수를 넣고 여기에 실험어를 수용한 후 일정 시간을 방치하였다. 산소소비율은 호흡용기내 환경수를 운동펌프(peristaltic pump)를 이용하여 산소전극(YSI-58)이 부착되어 있는 측정 셀을 통하여 순환하게 한 후 실험 전후의 용존산소량을 측정하여 다음 식에 의하여 산소소비율을 환산하였다.

$$\text{O}_2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1} = \frac{(C_1 - C_2) \times V}{t \times W}$$

C_1, C_2 : 실험시작과 종료시 용존산소량, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

V : 호흡용기내 사육수 용량, L

t : 방치시간, hour

W : 어류의 체중, kg

아가미 호흡수 측정은 10 L의 유리 수조에 실험어를 넣고 안정시킨 다음 1분 동안의 아가미 개폐수를 육안으로 측정하였다. 호흡횟수는 개체 당 5회씩 측정하여 평균치로 하였으며, 실험수조 당 10마리씩 조사하였다.

암모니아 배설량은 실험 전·후 호흡용기 내 환경수를 phenolhypochloride법(Solorzano 1969)으로 발색시켜 비색분석계(UV/VIS-200S)를 사용하여 분석하였다.

각 실험에서 얻어진 자료 값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지(SPSS 10.1)에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

결과 및 고찰

수산생물의 담수순화와 해수순화는 이들 생물의 삼투압 조절(osmoregulation)에 의한 항상성(homeostasis) 유지에 이상만 없다면, 이들의 염분 순화를 통한 기수역 활용 및 유희지 양식장의 효율적 이용으로 경제적인 이득을 창출할 수 있다(Higgs *et al.* 1982). 이중 어류의 해수순화에 대한 연구로 호르몬 처리(Higgs *et al.* 1982; Saunders *et al.* 1985)와 염분흡착 사료 투여방법(Salman and Eddy 1987; Pelletier and Besner 1992; Duston 1993; 추 등 2000)이 시도되었다. 담수어류인 틸라피아는 다른 담수어류에 비해 비교적 강한 염분내성을 가지고 있는 것으로 연구되었으며, 따라서 해수순화가 가능한 것으로 알려져 있다(DeSilva *et al.* 1986).

담수(0 psu)에서 사육하던 자바틸라피아를 순차적인

Table 1. Survival (%) of tilapia by sudden change from 0 psu to each salinity

Salinity (psu)	Number of experiment	Elapsed time (hours)			
		24	48	72	96
22	20	100	100	100	100
23	20	100	100	100	70
24	20	50	30	0	0
25	20	0	0	0	0
TL ₅₀		24.0	23.9	23.8	23.3

순화 없이 바로 3~32 psu의 염분에 옮겼을 때 급격한 염분변화에 대한 적응성을 보면 22 psu 이하에서는 96시간 동안 폐사가 없었으나, 23 psu에서는 96시간째에 30%의 폐사율을 보였고, 24 psu에서는 72시간째에 모두 폐사하였다(Table 1). 이러한 결과를 기초로 하여 자바틸라피아의 96시간 반수치사(96 hr-TL₅₀) 염분을 계산하여 보면 23.3 psu로 나타났다.

담수에 사육하던 나일틸라피아를 순화 없이 즉시 33 psu로 이동하였을 때 노출 10시간만에 전량 폐사하였다고 하였다(허 등 2004). 본 연구에 사용된 자바틸라피아와는 실험시 환경 조건 등이 달라 직접 비교하기는 어려우나, 앞서 언급하였던 *Oreochromis* 속이 광염성 종이라도 순화 없이 직접 이동시키는 것은 생존에 많은 영향을 주고 항상성 유지에 많은 영향을 주는 것으로 판단된다.

단계적 염분의 증가에 따른 자바틸라피아의 산소소비율, 아가미 호흡수 및 암모니아 배설률은 Fig. 1과 같다. 염분증가에 따라 27 psu까지 산소소비율은 높아지는 경향을 보이다가 32 psu에는 오히려 현저히 낮아지는 경향을 나타내었다. 또한 염분별 아가미 호흡수 변화도 0 psu에서 $4.8 \pm 0.1 \times 1,000$ 회 \cdot h⁻¹, 15 psu에서는 $6.8 \pm 0.1 \times 1,000$ 회 \cdot h⁻¹, 27 psu에서는 $9.2 \pm 0.2 \times 1,000$ 회 \cdot h⁻¹로 많아졌으며, 32 psu에서는 $4.0 \pm 0.3 \times 1,000$ 회 \cdot h⁻¹로 적어졌다($P < 0.05$). 암모니아 배설률은 15 psu에서 $23.0 \mu\text{g-N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 가장 높은 배설률을 보였으며, 32 psu에서는 가장 낮은 $7.4 \mu\text{g-N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 를 나타냈다.

한편, 염분 0, 9, 15, 21 및 32 psu에서 각각 순화 사육 중이던 자바틸라피아를 각기 다른 염분으로 이동시켰을 때 결과는 Fig. 2와 같다. 0 psu에 사육 중이었던 자바틸라피아를 염분 9, 15, 21, 32 psu로 각각 옮겼을 때 산소소비율은 0 psu에서 $83.3 \mu\text{g O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 9 psu에서 $117.3 \mu\text{g O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, 15 psu에서 $182.2 \mu\text{g O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 산소소비율에 증가를 보이다가 21 psu와 32 psu에서는 낮아지는 경향을 보였다. 9 psu에 순화된 것을 0, 15, 21, 32 psu로 옮긴 경우, 0 psu에서는 $87.1 \mu\text{g O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 로 가장 낮은 산소소비율을 보였으나($P < 0.05$), 15~32 psu에

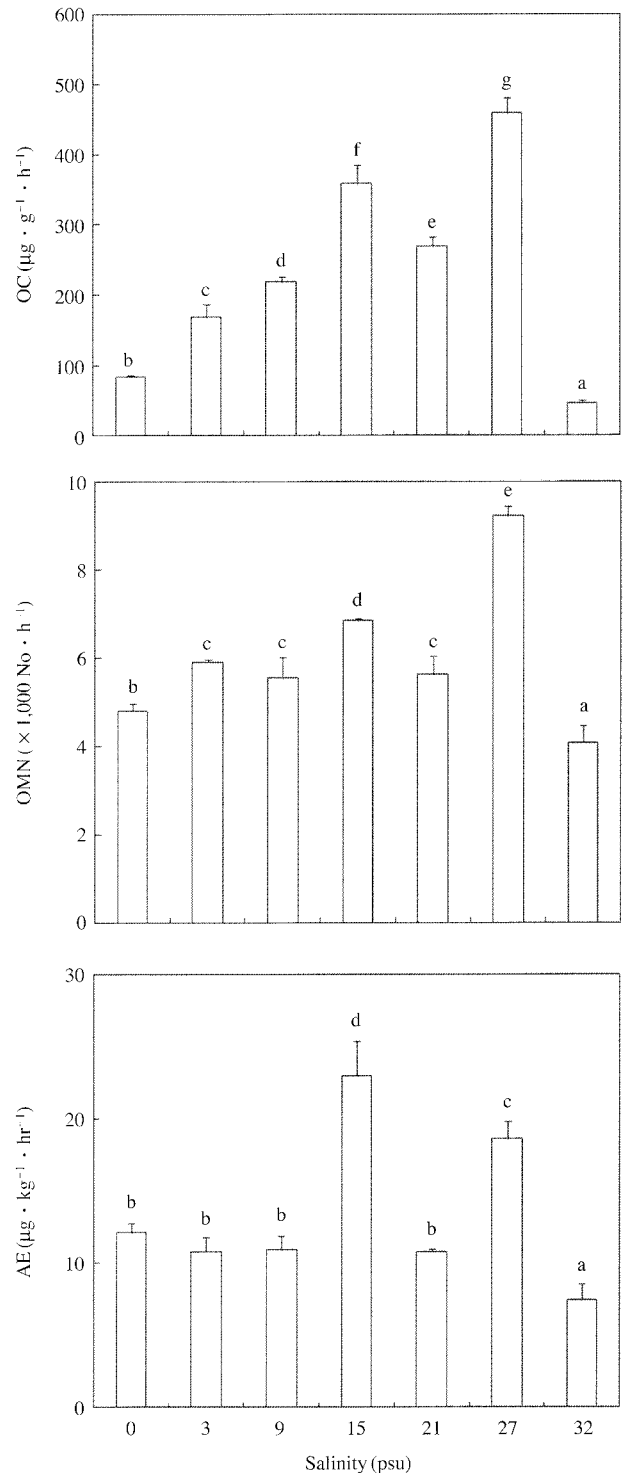


Fig. 1. Variations of oxygen consumption (OC), operculum movement number (OMN) and ammonia excretion (AE) of tilapia (*Oreochromis mossambicus*) in the different salinities. Values (mean \pm SD, $n=10$) with different letter are significantly different ($P < 0.05$).

서는 점차 높아지는 경향을 보였다. 15 psu에 순화된 것은 15 psu까지는 점차 높아지는 산소소비 경향을 보였지

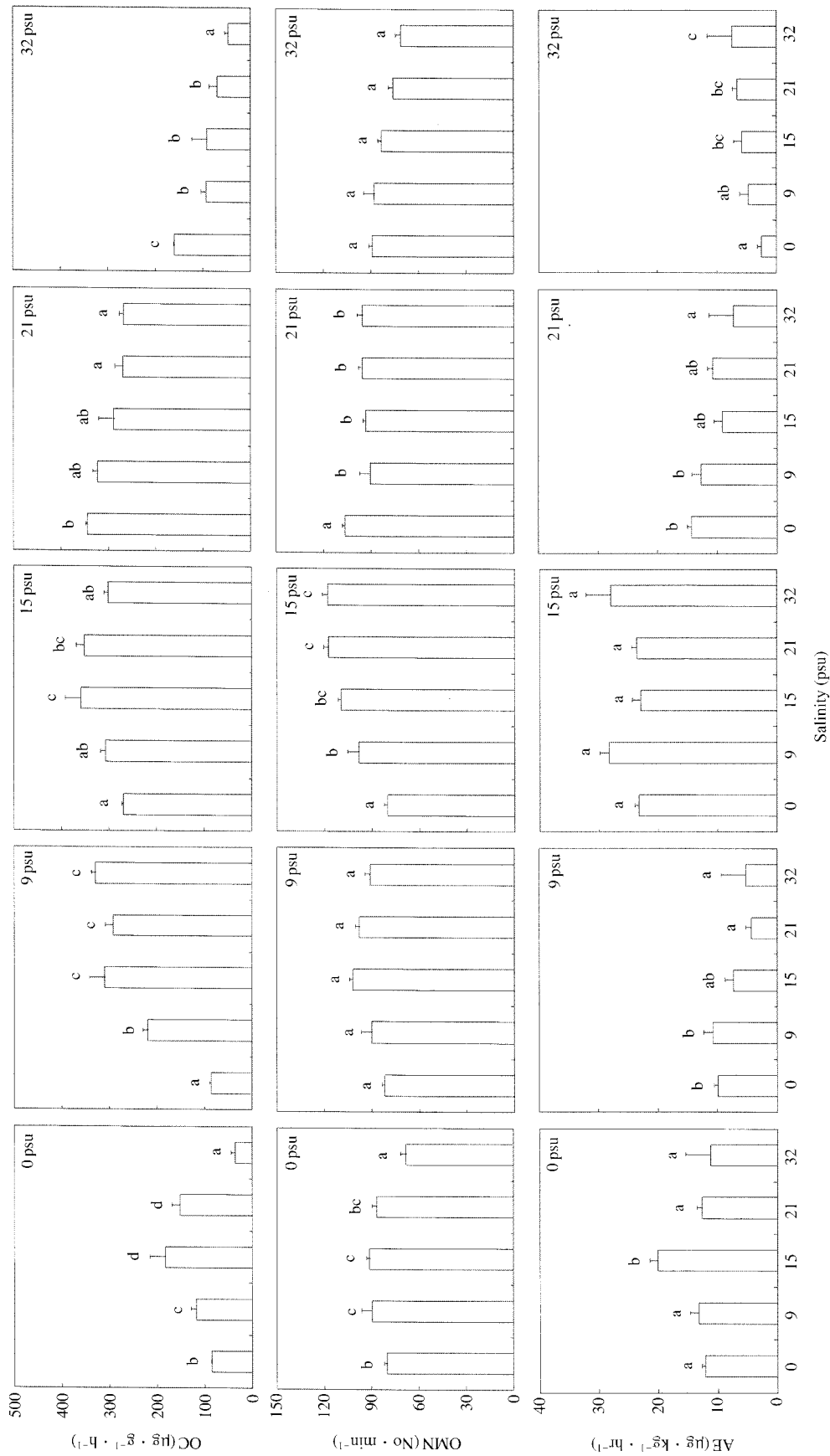


Fig. 2. Variations of oxygen consumption (OC) and operculum movement number (OMN) and ammonia nitrogen excretion (AE) of tilapia (*Oreochromis mossambicus*), which was acclimated at 0 to 32 psu and transferred rapidly to each salinity of 0 to 32 psu. Values (mean \pm SD, $n=10$) with different letter are significantly different ($P<0.05$).

만 21 psu 이후에서는 점차 낮아지는 경향을 보였다. 21 psu와 32 psu에 각각 순화된 것의 경우 염분이 높아질수록 낮은 산소소비 경향을 보였다. 특히 32 psu에서 순화시킨 자바틸라피아의 경우는 이보다 낮은 염분에서 순화시킨 경우보다 낮은 산소소비를 보였다.

아가미 호흡수는 0 psu로부터 다른 염분으로 이동하였을 때, 산소소비율과 마찬가지로 15 psu에서 $91 \text{회} \cdot \text{min}^{-1}$ 로 가장 많은 호흡수를 보였다. 순화 염분 9 psu로부터 각 염분으로 옮긴 경우에도 15 psu에서 가장 많은 호흡수를 보였다. 순화 염분 15 psu로부터 각 염분으로 옮긴 경우에는 순화 염분 15 psu보다 낮은 염분인 0과 9 psu에서는 낮은 호흡수를 보인 반면, 높은 염분으로 옮긴 경우에는 많아지는 경향을 보였다. 순화 염분 21 psu 및 32 psu에서 각 염분으로 옮긴 경우, 0 psu에서 가장 많은 호흡수를 보인 반면, 염분이 높아질수록 호흡수는 낮아지는 경향을 보였다.

본 연구에서는 담수에서 사육하던 자바틸라피아를 단계적으로 염분을 옮겼을 때 3 psu로부터 27 psu까지 염분증가에 따라 산소소비율도 높아지는 것으로 나타났다. 그러나 32 psu에서는 0 psu보다 낮아진 값을 보였다. 어류의 산소소비와 아가미 호흡수는 수온(Brett and Glass 1973), 염분(Forsberg 1994), 광주기(Withey and Saunders 1973), 어류의 크기(Brett and Glass 1973), 사료공급량(Brett and Groves 1979) 및 스트레스(Barton and Schreck 1987) 등 여러 가지 요인에 의해 변화되는 것으로 보고되었다. 산소소비가 활발한 것은 두가지 조건으로 추측하여 볼 수 있다. 첫째는 생물이 환경에 적합하여 생리활성이 좋은 조건에서 높은 산소소비를 나타내는 경우이고, 둘째는 좋지 못한 환경에 처해질 때 이를 극복하기 위하여 단계적으로 높아지는 경우이다(이와 허 2004; 이와 김 2005; 이 등 2007). 본 연구에서는 염분 증가에 따른 산소소비의 증가는 부적절한 환경에 따른 이를 극복하기 위한 자바틸라피아의 반응으로 판단된다. 그리고 32 psu에서 산소소비율이 0 psu의 것보다 낮아진 것은 이미 삼투압조절에 의해 적응할 수 있는 능력을 상실한 것으로 추측하여 볼 수 있다. 이러한 결과는 아가미 호흡수에서도 유사한 경향을 나타내어 27 psu까지 아가미 호흡수가 산소소비와 같은 경향으로 증가되다가, 32 psu에서 낮아지는 점과 96hr-TL_{50} 이 23.3 psu라는 것이 이를 증명해 준다. 또한 0 psu와 32 psu에서 사육하고 있던 자바틸라피아를 갑자기 염분 0, 9, 12, 21 및 32 psu로 이동시켰을 때, 산소소비는 다른 실험구보다 32 psu로 이동되었을 때가 훨씬 낮아져 위에서 언급한 바와 같이 삼투압 조절 능력이 급격히 상실되면서 나타나는 결과로 추측된다. 한편, 15 psu 이하에서 사육된 자바틸라피아

는 사육되던 염분 이하로 이동하면 산소소비율에 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났지만, 사육되던 염분 이상(21 psu)으로 이동할 경우에는 산소소비율이 증가되는 것으로 나타나 삼투조절에 많은 에너지가 소비되고 있는 것으로 판단된다. 이러한 경향은 아가미 호흡수에서도 유사한 경향을 나타내고 있다.

또 암모니아 배설률은 0 psu에서 사육하던 자바틸라피아를 각 염분으로 옮겼을 경우, 15 psu에서 가장 높은 배설률을 보인 반면($P < 0.05$), 나머지 염분에서는 0 psu와 큰 차이를 보이지 않았다. 순화염분 9 psu로부터 각 염분으로 옮긴 경우에는 9 psu에서 가장 높은 배설률을 보였지만 21 및 32 psu에서는 9 psu보다 낮은 값을 보였다($P < 0.05$). 순화 염분 32 psu로부터 각 염분으로 이동하였을 때는 같은 염분으로 이동한 32 psu에서 가장 높은 값을 보였다($P < 0.05$).

0 psu에서 염분을 단계적으로 상승시켰을 때 암모니아 배설량은 15 psu에서 가장 높은 배설률을 보이고 21 psu 이상에서는 불규칙한 배설률을 보이는 것은 산소소비 및 아가미 호흡수 경향과 유사하다. 암모니아 배설률이 9 psu까지는 0 psu와 큰 차이를 보이지 않는 것은, 9 psu까지는 정상적으로 항상성 유지를 위한 대사과정에 있음을 알 수 있다. 그러나 염분 15 psu 이상에서 자바틸라피아는 항상성 유지에 상당한 문제가 있음을 나타내고 있다. 일반적으로 많은 경골어류는 단백질 분해의 부산물인 암모니아(NH_3)를 아가미 및 신장을 통하여 체외로 배출한다(Evans 1993). 즉 먹이를 통해 체내로 흡수된 아미노산의 탈아미노화 작용에 의한 것으로 볼 수 있다. 먹이 섭취에 의한 암모니아 배설량 증가가 대사과정에서 통상적으로 발생하는 것으로 간주한다면, 본 연구에서는 먹이에 의한 영향을 배제하였기 때문에 먹이로부터 오는 암모니아 배설의 증가는 없는 것으로 볼 때, 15 psu 이상의 높은 염분에 노출되면 자바틸라피아는 항상성 유지에 어려움이 있는 것으로 판단된다.

광염성 어류인 송어에서 고장성 환경에서는 저삼투조절(hypo-osmoregulation), 저장성 환경에서는 고삼투조절(hyper-osmoregulation)을 한다고 보고하였다(장과 허 1999). 이러한 연구결과는 삼투압 조절 능력에 아주 우수한 어종을 제외하고는 순차적인 순화단계를 거치지 않고는 삼투압 조절을 위한 항상성에 많은 어려움이 있음을 의미한다. 본 연구에서 나타난 자바틸라피아는 광염성 종으로 보고되고 있으나, 순차적인 적응 없이는 수일 이내에 생존 및 항상성 유지에 많은 영향을 주는 것으로 나타났다.

이상의 연구결과를 종합하여 볼 때, 자바틸라피아는 광염성 어류로서 염분변화에 강한 것으로 보고하고 있

으나, 단계적으로 염분을 옮겼을 때 3 psu로부터 27 psu 까지 염분증가에 따라 산소소비율과 호흡수는 높아지는 것으로 나타났으며, 암모니아 배설량은 15 psu에서 가장 높은 배설률을 보이고 21 psu 이상에서는 불규칙한 배설률을 보여, 15 psu 이상으로 갑작스런 이동은 항상성 유지에 문제가 있는 것으로 나타났다. 따라서 자바틸라피아를 염분에 적응 사육한다고 할 때 15 psu 이하에서 단계적인 순화를 거쳐서 사육하는 것이 안전하다고 판단되어진다.

적 요

본 연구에서는 자바틸라피아(체장 10 ± 1.0 cm, 체중 17.3 ± 4.2 g)를 사용하여 염분의 변화에 따른 산소소비율, 아가미 호흡수 및 암모니아 배설률을 조사하였다. 담수(0 psu)에서 사육하던 자바틸라피아를 염분 0(대조구), 3, 9, 15, 21 및 32 psu로 이동하였을 때 시간경과에 따른 생존율을 조사하였다. 단계적인 염분변화는 담수(0 psu, 대조구)로부터 염분을 1일 3 psu씩 증가시켜 3, 9, 15, 21 및 32 psu가 되도록 조절하였다. 급격한 변화는 각 사육 염분(0, 9, 15, 21, 32 psu)에서 각각 4개의 다른 염분으로 순화 없이 바로 옮겨 조사하였다. 본 연구결과에서 나타난 갑작스런 염분변화는 96시간 반수치사농도(96 hr-TL₅₀)는 23.3 psu로 나타났다. 단계적으로 염분을 옮겼을 때 3 psu로부터 27 psu까지 염분증가에 따라 산소소비율과 호흡수는 높아지는 것으로 나타났으며, 32 psu에서는 0 psu보다 낮아지는 경향을 보였다. 암모니아 배설량은 15 psu에서 가장 높은 배설률을 보이고 21 psu 이상에서는 불규칙한 배설률을 보였다. 이러한 결과로 볼 때, 담수에서 15 psu 이상으로 갑작스런 이동은 항상성 유지에 문제가 있는 것으로 나타났으며, 염분에 적응 사육한다고 할 때 15 psu 이하에서 단계적인 순화를 거쳐서 사육하는 것이 안전하다고 판단되어진다.

참 고 문 헌

김인배. 1993. 어류양식. 신흥출판사. 부산. 361pp.
 윤호동, 김태진, 김성진, 이종호. 1996a. 해수 순치한 틸라피아 근육의 사후 변화. 한국수산학회지. 29:279-286.
 윤호동, 서상복, 김영숙, 이종호. 1996b. 해수 순치에 의한 틸라피아의 어취 제거에 관한 모델 시험. 한국수산학회지. 29:431-437.
 이정열. 2005. 고창군 내수면 5개년 개발계획 수립을 위한 연구. 군산대학교 수산과학연구소. pp. 115-143.

이정열, 김덕배. 2005. 급격한 염분변화에 따른 황복의 산소 소비와 질소배설. 한국양식학회지. 18:45-51.
 이정열, 성용식, 허준욱. 2007. 진동 스트레스에 따른 양식 자라, *Pelodiscus sinensis*의 산소소비 및 암모니아 배설. 한국양식학회지. 20:60-64.
 이정열, 허준욱. 2004. 뱀장어, *Anguilla japonica*의 산소소비, 암모니아 배설 및 혈액성상에 미치는 진동의 영향. 한국양식학회지. 17:262-267.
 장영진, 민병화, 장해진, 허준욱. 2002. 해수사육에서 담수사육으로, 담수사육에서 해수사육으로 전환된 감성돔 치어, *Acanthopagrus schlegelii*의 혈액생리학적 비교. 한국수산학회지. 35:559-600.
 장영진, 허준욱. 1999. 사육수의 급격한 염분변화에 따른 송어 (*Mugil cephalus*)와 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)의 생리적 반응. 한국수산학회지. 32:310-316.
 장영진, 허준욱, 임한규. 2001. 순환여과 사육시스템에서 해수와 담수에 사육한 송어 (*Mugil cephalus*) 치어의 성장과 생존율. 한국양식학회지. 14:29-33.
 추 청, 장영진, 허준욱. 2000. 어린 송어 (*Mugil cephalus*)의 담수사육에서 염분흡착 사료가 성장, 생존율 및 체액의 조성에 미치는 영향. 한국양식학회지. 13:317-323.
 허준욱, 민병화, 박인석, 임재현, 이정열, 장영진. 2004. 순환여과 사육시스템에서 해수노출에 따른 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)의 스트레스 반응. 한국어류학회지. 16:94-99.
 허준욱, 장영진. 1999. 사육수의 단계적 염분변화에 따른 송어 (*Mugil cephalus*)와 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)의 생리적 반응. 한국양식학회지. 12:283-292.
 허준욱, 장영진, 강덕영, 이복규. 2001. 순환여과 사육시스템에서 급격한 염분변화에 따른 송어 (*Mugil cephalus*)와 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*) 치어의 아가미 조직과 체성분 변화. 한국수산학회지. 34:51-56.
 Barton BA and CB Schreck. 1987. Influence of acclimation temperature on interrenal and carbohydrate stress responses in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Aquaculture 62:299-310.
 Brett JR and NR Glass. 1973. Oxygen consumption and critical swimming speeds of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in relation to size and temperature. J. Fish. Res. Bd. Can. 30:379-387.
 Brett JR and TDD Groves. 1979. Physiological energetics. pp. 279-352. In Fish Physiology Vol. VIII (Hoar WS, DJ Randall and JR Brett eds.). Academic Press. New York.
 DeSilva CD, S Premawansa and CN Keembiyahetty. 1986. Oxygen consumption in *Oreochromis niloticus* in relation to development, salinity, temperature and time of day. J. Fish Biol. 29:267-277.
 Duston J. 1993. Effects of dietary betaine and sodium chloride on seawater adaptation in Atlantic salmon parr (*Salmo salar L.*). Comp. Biochem. Physiol. 105:637-677.

- Evans DH. 1993. *The Physiology of Fishes*. CRC Press. Boca Raton. 592pp.
- Forsberg OI. 1994. Modelling oxygen consumption rates of post-smolt Atlantic salmon in commercial-scale land-based farms. *Aquaculture International* 2:180-196.
- Higgs DA, UHM Fagerlund, JG Eales and JR McBrid. 1982. Application of thyroid and steroid hormones as anabolic agents in fish culture. *Comp. Biochem. Physiol.* 73:143-176.
- Pelletier D and M Besner. 1992. The effect of salt diets and gradual transfer to sea water on osmotic adaptation, gill Na^+ , K^+ -ATPase activation and survival of brook charr, *Salvelinus fontinalis*, Mitchill. *J. Fish Biol.* 41:791-803.
- Salman NA and FB Eddy. 1987. Response of chloride cell numbers and gill Na^+ , K^+ -ATPase activity of freshwater rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) to salt feeding. *Aquaculture* 61:41-48.
- Saunders RL, SD McCormick, EB Henderson, JG Eales and CE Johnston. 1985. The effect of orally administered 3,5,3'-triiodo-L-thyronine on growth and salinity tolerance of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 45:143-156.
- Solorzano L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochloride method. *Limnol. Oceanogr.* 14:799-801.
- Withey KG and RL Saunders. 1973. Effect of reciprocal photoperiod regime on standard rate of oxygen consumption of postsmolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Fish. Res. Bd. Can.* 30:1898-1900.

Manuscript Received: January 9, 2008
Revision Accepted: June 23, 2008
Responsible Editor: Ju Chan Kang