

은어, *Plecoglossus altivelis*의 성장과 삼투압 조절에 미치는 염분의 영향

전민지 · 강경호* · 장영진 · 이종관**

부경대학교 양식학과

*여수대학교 양식학과

**국립수산진흥원 울진수산종묘배양장

Effect of Salinity on Growth and Osmoregulation of Sweetfish, *Plecoglossus altivelis*

Min Jee Jeon, Kyoung Ho Kang*, Young Jin Chang and Jong Kwan Lee**

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

*Department of Aquaculture, Yosu National University, Yosu 550-250, Korea

**Ulsjin Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute, Ulsjin 767-860, Korea

In order to investigate the effect of salinity on growth and osmoregulation of the sweetfish, *Plecoglossus altivelis*, the fish (post-larva, juvenile, adult) reared in seawater were directly transferred into the experimental rearing water of the different salinities (post-larva : 0‰, 5‰, 10‰, 15‰, 20‰, 30‰; juvenile : 0‰, 10‰, 20‰, 30‰; adult : 0‰, 15‰, 35‰, respectively). Fish samples were taken in time courses after transfer for blood and body fluid collection. The changes of sodium, potassium concentration and osmolality of the body fluid and plasma, muscle water content, gonadosomatic index (GSI) and hepatosomatic index (HSI) in the experimental fish were observed in time courses.

Growth rate of the post-larva in 5~25‰ were faster than in 0‰ ($P<0.05$). Survival rate was very low in 0‰ ($P<0.05$). No fish survived more than 50 days after transferred into 0‰.

The concentration of sodium, potassium and osmolality in body fluid of the juvenile sweetfish were slightly decreased at 0.25 day after the beginning of the maintainable level of sodium, potassium and osmolality were 36.4 ± 6.2 mM/ℓ, 47.5 ± 0.7 mM/ℓ, 366.3 ± 19.1 mOsm/kg, respectively.

Except potassium concentration, fish in 0‰ and 10‰ displayed the pattern of hypoosmotic regulation. Growth rate and survival rate of juveniles of 30‰ are significantly low than other groups ($P<0.05$).

The concentration of sodium, potassium and osmolality in plasma of adult sweetfish were slightly decreased at 1 day after the beginning of the maintainable level of sodium, potassium and osmolality were 159.0 ± 2.5 mM/ℓ, 5.8 ± 0.9 mM/ℓ, 338.1 ± 13.3 mOsm/kg respectively. Compared with these values, fish in 0‰ and 15‰ displayed hypoosmotic regulation. Growth and survival rate of adult in 35‰ are significantly low than other experimental groups. GSI was the highest in 15‰ after 60 days. HSI was the lowest in 35‰.

With decreased salinities, oxygen consumption was found to be decreased in the other experimental groups compared to the more than 30‰.

Key words : Sweetfish, Salinity, Osmoregulation, Growth, Gonadosomatic index

서 론

은어, *Plecoglossus altivelis*는 깔끔한 맛과 높은 시장성 및 빠른 성장때문에 중요한 양식 대상종으로 각광을 받고 있다(Nematipour, 1990). 우리나라에서는 1990년 초까지 자연산 치어를 채포하여 양식하여 왔으나, 산업화로 인한 하천의 오염과 댐 건설 등으로 자연산 은어 자원은 점차 감소되고 있는 추세이므로, 양식을 통한 은어 생산의 활성화를 위하여 양식기술의 개발 및 안정화를 위한 노력이 필요한 실정이다.

현재 은어의 양식 생산은 종묘생산과 양성으로 나누어지며, 은어의 생리·생태적 특성에 따라 종묘생산은 해수에서, 양성은 담수에서 이루어지고 있으나, 은어의 양식기간 중 해수에서 담수로의 전환 시기가 정확하게 구명되어 있지 않고, 은어의 삼투압 조절 기능의 발달 시기에 관하여도 체계적인 보고가 없는 실정이다.

은어의 삼투압 조절에 관하여는 해수 이동에 따른 혈액의 이온 농도 변화(Hasegawa et al., 1983)와 염분에 따른 아가미와 체표의 염류세포(Hwang, 1990)에 대한 보고가 있을 뿐으로, 은어의 성장단계별 삼투압 조절 능력에 관한 연구는 찾아 볼 수 없다.

어류에 있어서 삼투압 조절 기능은 아가미, 소화관 및 신장 등과 같은 여러가지 기관에 의해서 이루어지는 복잡한 과정이며, 이 중 아가미는 호흡, 삼투압 조절 및 질소 노폐물의 배설 등을 담당하고 있는 기관으로 알려져 있다(Laurent and Dunel, 1980). 어체의 삼투압 조절의 근본적인 기능은 여러 가지 다른 사육 환경에서 체내의 항상성(homeostasis)을 유지하는 데에 있으므로, 이에 관련되는 아가미 조직의 변화 외에 혈액과 체액내의 Na^+ , K^+ 와 같은 이온농도의 변화를 파악하는 것도 삼투압 조절 능력을 파악하는데 매우 중요하며 어체의 삼투압 조절에 따른 산소 소비는 대사 및 생리활성을 파악하는 기초자료로 활용될 수 있다.

따라서 본 연구는 염분별로 은어 자치어 및 성어의 성장과 생존율, 체액 및 혈액의 이온 농도

와 삼투질 농도 그리고 산소소비에 관하여 조사하였다.

재료 및 방법

1. 자어기

염분 내성과 성장 및 생존율은 국립수산진흥원 사육동에서 갯 부화되어 해수에 두었던 전장 5.31 ± 0.18 mm의 자어를 30 ℓ 원형수조에 150마리씩, 염분을 각각 0, 5, 10, 15, 20, 25 및 35‰로 조절한 사육수에 수용하여 조사하였다. 실험 기간중의 수온은 $21.4 \pm 1.1^\circ C$ 였으며, 실험어가 성장함에 따라 rotifer와 *Artemia* sp. 및 미립자 사료를 단계적으로 공급하였다. 염분별 성장과 생존율 조사는 10일 간격으로 5회 측정하였으며 사육수의 환수는 매일 15 ℓ씩 1회 실시하였다.

성장단계별 담수내성은 부화 1, 20, 40일째의 자치어를 해수에서 담수로 옮겨 3일간의 누적 폐사율을 조사하였다.

2. 치어기

염분별 성장과 체액의 이온변화는 해수에 사육중이던 전장 6.73 ± 0.17 cm, 체중 1.73 ± 0.24 g의 치어를 0, 10, 20 및 30‰로 조절된 사육수에 150마리씩 수용하여 30일간 조사하였는데, 수온 범위는 $17.8 \pm 0.4^\circ C$ 였다. 먹이로는 시판용 송어 사료를 어체중 2%로 공급하였고, 측정된 어체의 전장, 체중, 폐사개체수 및 사료공급량 등의 각 파라메타를 사용하여 비만도(Moon et al., 1994), 일간성장률(Arenesen et al., 1993) 및 사료전환효율(高木·大林, 1974)을 구하였다.

체액의 이온 및 삼투질 농도의 변화는 0, 0.25, 0.5, 1, 3, 6, 12, 20일째에 각 실험구로부터 5~10마리씩 채집하여 $-80^\circ C$ 에서 보관하여 해동시킨 후, 근육부분을 절취하여 무게를 잰 뒤, 잘게 다져서 근육무게의 2배에 해당하는 탈이온수를 넣고 교반하였다. 이후 냉동과 해동을 반복하여 체액이 용출되도록 한 다음, 원심분리하여 상등액을 채취한 후 시료로 이용하였으며 이온 농도는 flame

● 비만도	=	$\frac{\text{최종 어체 습중량}}{\text{전장}^3} \times 100$
● 일간성장률(%)	=	$\frac{\text{Ln 최종 습중량} - \text{Ln 최초 습중량}}{\text{사육일수}} \times 100$
● 일간사료섭식률(%)	=	$\frac{\text{사료공급량}}{\frac{(\text{최초중량} + \text{최종중량})}{2} \times \text{사육일수}} \times 100$
● 사료전환효율(%)	=	$\frac{\text{일간성장률}}{\text{일간사료섭식률}} \times 100$
● 증육계수	=	$\frac{\text{사료공급량}}{\text{증육량}} \times 100$

photometer (Model, 480)로, 삼투질 농도는 osmometer (Osmomette A)로 측정하였다.

3. 성어기

해수에 사육중이던 전장 10.33 ± 0.88 cm, 8.07 ± 2.12 g의 은어를 0‰, 15‰, 35‰로 조절된 수조에 수용하였는데, 단계적으로 농도를 조절하여 15일째에 각각의 실험 염분이 되게 하였다. 실험 기간은 60일로, 15일 간격으로 어체의 성장과 생존율을 조사하였고 먹이로는 시판용 송어사료를 어체중 2%로 공급하였으며 실험기간동안 수온 범위는 $19.8 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 였다. 또한 측정된 각 파라메타를 사용하여 비만도, 일간성장률, 사료전환효율 등을 구하였다.

어체의 채혈은 사육 0, 1, 2, 5, 15, 30, 60일째에 미부정맥에서 행한 후, 4°C 에서 1시간 동안 방치한 다음 원심분리후 냉동보관하였으며, 이온과 삼투질 농도의 측정은 전술한 방법과 동일하였다.

어체 근육의 수분함량은 근육조직을 절취하여 무게를 측정 한 다음, 건조기(65°C , 24시간)에서 건조시켜 습중량과 건중량의 차이로 구하였으며, 생식소중량지수(gonadosomatic index, GSI)와 간중량지수(hepatosomatic index, HSI)를 실험 종료시에 측정하였다.

4. 산소소비량

치어기와 성어기의 산소소비량을 Kim et al.

(1995)의 방법에 따라 구하였다. 실험구별로 24시간 절식시킨 실험어(각 5마리)를 호흡실에 넣어 2시간 정도 안정시킨 후, 경과시간별 용존산소량을 DO meter (YSI 58)에 의해 측정하고, 다음 식에 의해 산소소비량($\text{ml}/\text{kg} \cdot \text{hr}$)을 구하였다. 산소소비량은 각각 2회씩 조사하여 그 평균 값으로 하였다.

$$O_c = \frac{(Ca - Ct) \times V}{t \times W}$$

Oc: 산소소비량($\text{ml}/\text{kg} \cdot \text{hr}$)

Ca: 초기 용존산소량(ml/ℓ)

Ct: t시간 후의 용존산소량(ml/ℓ)

t : 측정시간(hr)

V : 호흡실의 수량(ℓ)

W : 실험어의 체중(kg)

5. 통계처리

각 실험의 결과는 one-way ANOVA를 이용하여 통계분석하였다.

결 과

1. 자어기

염분별 성장은 Fig. 1과 같이 실험 개시시에 평균전장 5.1 mm였던 것이 10일째에는 5‰구의 실험어가 11.0 ± 1.0 mm로 나타났고 20일째에는 5‰과 20‰구에서 각각 16.8 ± 0.8 mm, $15.9 \pm$

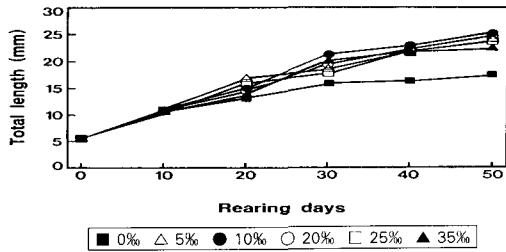


Fig. 1. Growth in total length of post-larval sweetfish with the different salinities.

0.6 mm로 자랐으나, 유의차는 인정되지 않았다. 사육 30일째에는 10‰구(21.3±0.1 mm)에서의 어체 성장이 가장 빠른 것으로 나타난 반면, 0‰구에서 성장이 가장 느렸으며, 이같은 경향은 40일째까지 지속되어 다른 실험구에서와 유의한 차이를 보였다(P<0.05).

염분별 생존율은 Fig. 2와 같이 0‰구에서 실험개시후 10일째에는 생존율이 37%로 다른 실험구에 비해 유의하게 낮은 생존율을 보였다(P<0.05). 사육 30일째에는 10‰구에서 61.6%로 다른 실험구에 비해 유의하게 높았고, 0‰구에서 7.0%로 가장 낮았으며(P<0.05) 50일째에 모두 폐사하였다.

사육일수의 경과에 따라 성장단계가 다른 자치어를 해수에서 담수로 전환시켰을 때의 폐사율은 Table 1에서와 같이, 부화 후 1일째에 담수에 바로 옮긴 경우에는 51.2%의 폐사율을 보였으며, 3일 후에는 실험어의 66.4%가 폐사하였다.

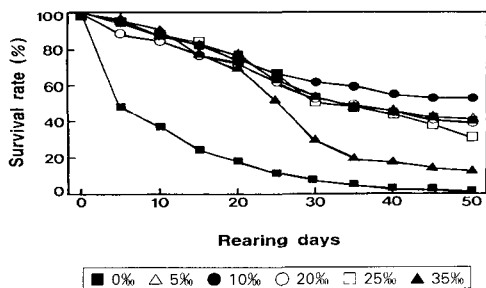


Fig. 2. Survival rate of post-larval sweetfish with the different salinities.

Table 1. Mortality (%) of sweetfish in three stages of age (days) after transfer from seawater to freshwater

Age (days)	Total length (mm)	Elapsed days		
		1	2	3
1	5.1±0.2	51.2±1.6	62.7±0.8	66.4±0.2
20	13.7±1.1	85.2±0.9	92.5±0.9	98.5±0.4
40	21.7±0.9	55.3±1.4	65.1±2.3	65.1±1.1

또한 해수사육 20일째의 어체를 바로 담수에 옮겼을 때, 실험 1일 후에 85.2%를 나타냈고, 3일 후에는 거의 모든 실험어가 폐사하였다. 그러나 해수사육 40일째의 은어 치어는 담수사육 2~3일째에 65.1%의 폐사율을 보였다.

2. 치어기

염분별 실험어의 전장성장은 Fig. 3과 같다. 실험개시시에 평균전장 6.7 cm였던 것이 10일째에는 실험구별로 성장차이를 보이지 않다가, 20일째는 0‰구의 실험어가 7.9±0.5 cm로 가장 빠른 성장을 나타낸 반면, 30‰구에서는 7.5±0.9 cm로 유의하게 느린 성장을 보였다. 또한 실험종료시인 30일째에는 0~20‰구에서 각각 8.8±0.5 cm, 8.7±0.3 cm, 8.5±0.6 cm로 나타나 서로 유의차가 인정되지 않았으나, 30‰구에서는 8.0±0.5 cm로 자라나 다른 실험구에 비해 유의하게 느린 성장을 나타냈다(P<0.05).

한편, 체중성장은 Fig. 4와 같이 실험개시시, 평균체중 2.4±0.8 g이던 것이 사육 10일째에는

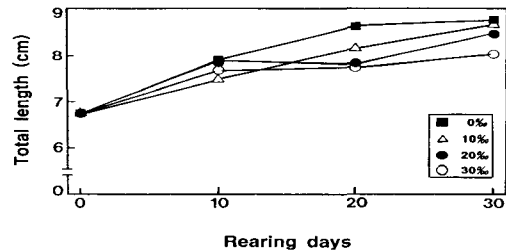


Fig. 3. Growth in total length of juvenile sweetfish with the different salinities.

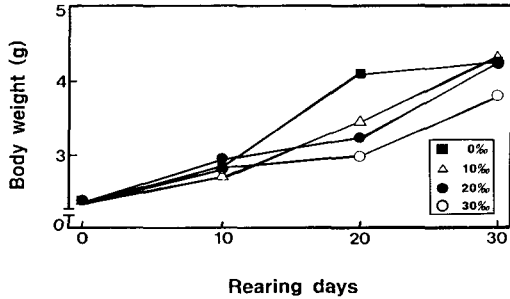


Fig. 4. Growth in body weight of juvenile sweetfish with the different salinities.

실험구별 차이가 없었으나, 실험 20일째에는 0‰ 구에서 가장 빠른 성장을 보여 4.1 ± 0.8 g으로 자라났고, 30‰구는 느린 성장을 보였다($P < 0.05$).

사육 염분 조건별 경과일수에 따른 실험어의 생존율은 Fig. 5와 같이, 실험종료시에 0‰구와 10‰구에서 각각 72.7%, 74.6%로 유의차가 인정되지 않았으며, 30‰구는 41.3%로 가장 낮았다($P < 0.05$).

실험개시시, 치어기 은어 체액의 Na^+ 농도는 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 36.4 ± 6.2 mM/ℓ였는데, 0.25일부터 30‰구를 제외한 모든 실험구에서 그 변화의 폭이 커지는 경향을 나타내었으나, 3일 이후부터 안정되는 경향을 보였다. 한편 3일 이후부터 0‰구와 10‰구의 Na^+ 농도는 실험개시 수준보다 계속 낮은 농도를 나타낸 반면, 20‰구와 30‰구에서는 실험개시시의 수준과 비슷

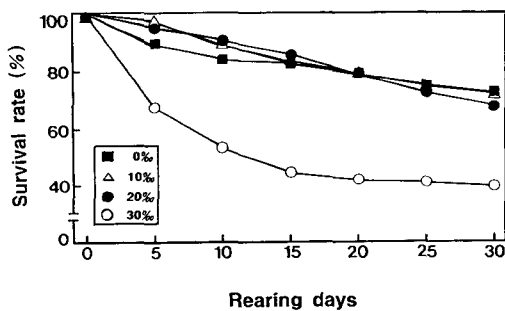


Fig. 5. Survival rate of juvenile sweetfish with the different salinities.

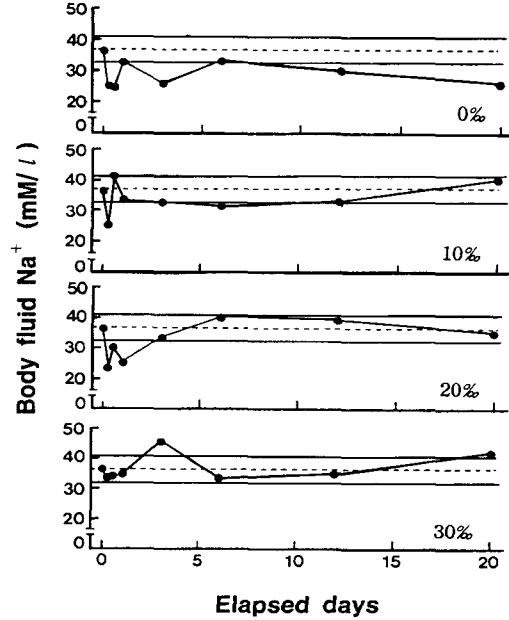


Fig. 6. Changes of body fluid Na^+ in juvenile sweetfish with the different salinities according to elapsed days.

한 농도를 유지하였으며 20일째에는 10~30‰구 사이에서 유의차가 인정되지 않았으나, 0‰구에서 26.3 ± 0.6 mM/ℓ로 유의하게 낮았다.

치어기 은어 체액의 K^+ 농도는 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 실험개시시 47.5 ± 0.7 mM/ℓ였던 것이 0.25일째부터 변화를 보이기 시작하여 3일째에 0‰구와 10‰구에서 각각 40.8 ± 0.5 , 40.4 ± 0.9 mM/ℓ로 실험개시시 보다 유의하게 낮은 수준을 나타내었으나, 3일 이후 모든 실험구에서 유의한 차이를 보이지 않았다.

은어 체액의 삼투질 농도는 실험개시시 366.3 ± 19.1 mOsm/kg이었으나 0.25일째 모든 실험구에서 약간 감소하는 경향을 보였고, 0‰~30‰구 모두 1일째부터 실험개시시의 수준보다 낮은 값을 유지하였으며($P < 0.05$), 3일째에 다른 실험구들에 비하여 0‰구에서만 243.7 mOsm/kg으로 가장 낮은 농도를 나타내었다($P < 0.05$). 또한 실험종료시인 20일째에는 30‰구부터 0‰구까지 염

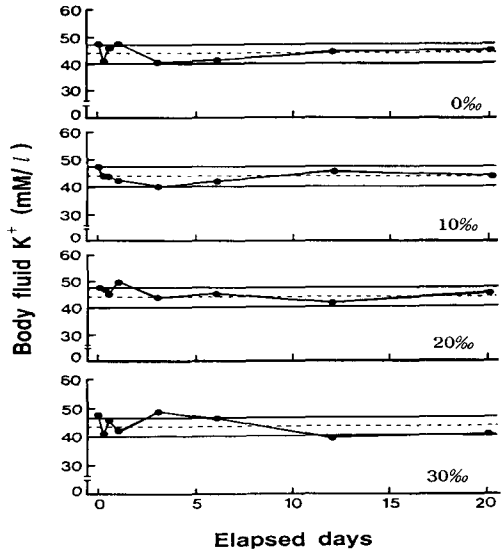


Fig. 7. Changes of body fluid K^+ in juvenile sweetfish with the different salinities according to elapsed days.

분별 체액의 삼투질 농도는 각각 300.6, 324.1, 327.5, 307.7 mOsm/kg으로 나타났다(Fig. 8).

3. 성어기

염분별 실험어의 전장성장은 Fig. 9와 같이, 실험개시시 평균전장 10.3 cm이던 것이 15일째 0%

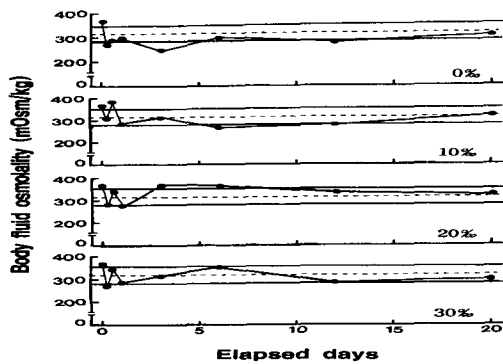


Fig. 8. Changes of body fluid osmolality in juvenile sweetfish with the different salinities according to elapsed days.

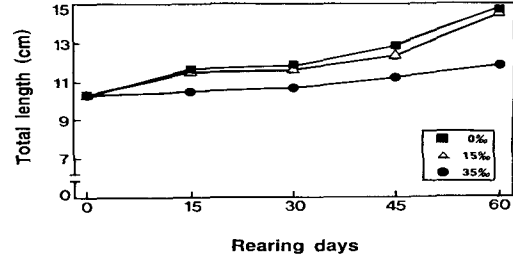


Fig. 9. Growth in total length of adult sweetfish with the different salinities.

구 11.6 ± 0.9 cm, 15‰구 11.5 ± 1.9 cm로 성장하여 유의차가 인정되지 않았으나 35‰구에서 10.5 ± 0.9 cm로 다른 실험구에 비해 느린 성장을 보였다($P < 0.05$).

체중성장은 Fig. 10에 나타낸 바와 같이 0‰, 15‰구의 실험어가 35‰구의 실험어에 비해 빠른 성장을 보였다. 또한 사육 15일째부터는 0‰구와 15‰구의 실험어가 빠르게 성장하여 실험 종료시에 0‰구가 24.4 ± 4.9 g, 15‰구는 21.9 ± 5.9 g으로 나타났으며, 35‰구에서는 12.8 ± 6.6 g로 느린 성장을 보였다($P < 0.05$).

실험기간동안 생존율은 Fig. 11과 같이 사육 15일째에 35‰구에서 80.7%로 15‰구 보다 약간 높은 것으로 나타났으나, 실험종료시인 60일째에는 35‰구의 생존율이 43.7%로 다른 저염분 실험구에 비해 낮았다($P < 0.05$).

성어기 은어의 실험구별 혈장 Na^+ 농도는 Fig. 12와 같이 실험개시시 159.0 ± 2.5 mM/l 이던 것이 1일째에는 전실험구에서 약간 상승하는 경향

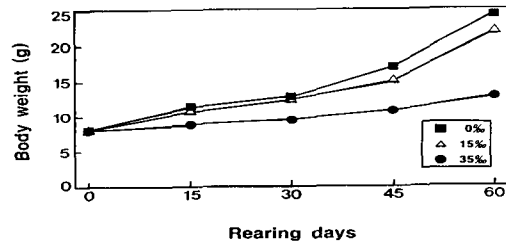


Fig. 10. Growth in body weight of adult sweetfish with the different salinities.

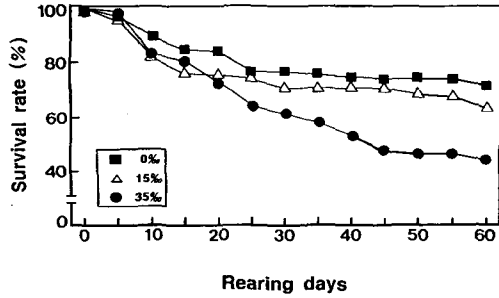


Fig. 11. Survival rate of adult sweetfish with the different salinities.

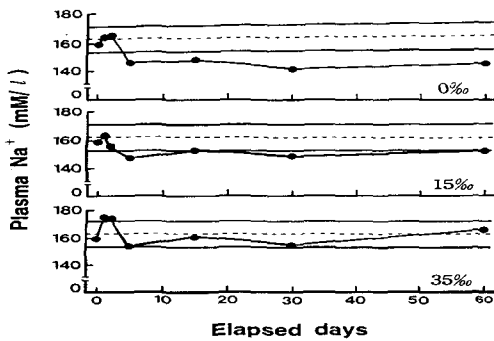


Fig. 12. Changes of plasma Na^+ in adult sweetfish with the different salinities according to elapsed days.

을 나타내었으며, 5일째에는 0‰구의 Na^+ 농도가 15‰구의 변화폭보다 크게 감소하여 146.0 ± 0.5 mM/ℓ로 매우 낮아졌다($P < 0.05$). 이에 비해 35‰구에서는 2일째까지 실험개시 수준보다 높은 농도를 보이다가 이후부터는 실험개시시의 수준으로 회복되는 경향을 보였다. 그러나 0‰구에서는 5일 이후에도 계속하여 다른 실험구보다 낮은 수준이 유지되었고($141.8 \sim 148.0$ mM/ℓ), 실험종료시인 60일째에는 35‰, 15‰, 0‰구에서 각각 166.5 mM/ℓ, 153.0 mM/ℓ, 145.8 mM/ℓ였다($P < 0.05$).

성어기 은어의 혈장 K^+ 농도 변화는 Fig. 13에 나타낸 바와 같이 최초 5.8 ± 0.9 mM/ℓ였던 것이 1일째에 35‰과 15‰구에서 각각 6.5 ± 1.3

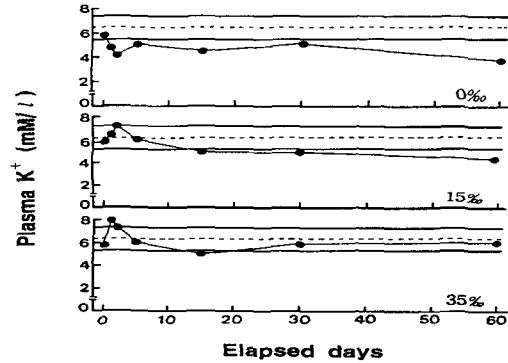


Fig. 13. Changes of plasma K^+ in adult sweetfish with the different salinities according to elapsed days.

mM/ℓ, 7.9 ± 0.9 mM/ℓ로 실험개시 수준보다 증가하였다($P < 0.05$). 그러나 0‰구에서 4.8 ± 0.8 mM/ℓ로 실험개시 수준보다 낮아졌으며, 2일째에 가장 낮은 값인 4.2 ± 0.9 mM/ℓ를 나타내었다. 또한 전 실험기간을 통하여 0‰과 15‰구는 35‰구에 비해 농도가 낮은 경향을 보였다($P < 0.05$). 특히 실험종료시 0‰구에서 3.8 ± 0.9 mM/ℓ로 가장 낮았다. 성어기 은어의 실험구별 혈장 삼투질 농도의 변화는 Fig. 14에 나타낸 바와 같이 실험개시시 338.1 ± 13.3 mOsm/kg이었던 것이 1일째 모든 구에서 약간 증가하였으나 실험종료시에는 저염분일수록 낮아지는 경향을 보였다.

염분별 성어사육시 60일째의 HSI와 GSI를 조

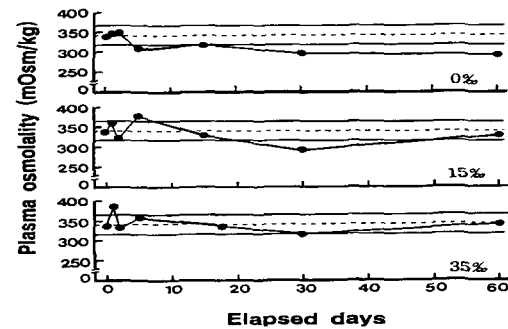


Fig. 14. Changes of plasma osmolality in adult sweetfish with the different salinities according to elapsed days.

사한 결과는 Table 2와 같다. HSI는 0‰구에서 2.2 ± 0.6으로 다른 두 실험구에 비해서 유의하게 높았으며, 15‰구 2.0 ± 0.5, 35‰구 1.6 ± 0.7의 순으로 나타났다(P < 0.05). GSI는 15‰구에서 5.1 ± 1.1, 35‰구에서 4.9 ± 1.7로 나타났으며, 다음이 0‰구로 4.1 ± 1.6이었다.

모든 실험구에서 근육의 수분함량 범위는 72.0 ~ 79.0%였는데, 0‰구에서 2일째와 5일째에 각각 78.0%, 79.0%로 약간 높아졌으나, 15일째에는 75.3%로 다시 낮아졌다. 반면에 15‰과 35‰구에서는 72.0 ~ 75.5%의 범위를 벗어나지 않았다. 또한 실험 15일째의 0‰구부터 35‰구까지 염분별 근육중 수분함량은 각각 75.3%, 75.5%, 74.0%로 서로 비슷하였다(Table 3).

치어 사육시 사료전환효율은 0‰, 10‰, 20‰구에서는 유의차가 인정되지 않았으며, 30‰구에서만 0.70 ± 0.46%로 낮았다(P < 0.05). 또한 이와 같은 경향은 일간성장률, 일간 사료섭식률에서 마찬가지로 나타났다(Table 4).

성어사육시 사료전환효율과 일간성장률은 Table

5와 같이 35‰구에서 각각 0.54 ± 0.08%, 0.73 ± 0.06%로 다른 실험구에 비하여 낮았으며, 이와 같은 경향은 일간 사료섭식률에서도 동일하였다. 그러나 비만도는 모든 실험구에서 유의차가 인정되지 않았다.

4. 산소소비량

치어기와 성어기에 있어 염분별 산소소비량은 Table 6에 나타난 바와 같이, 염분이 감소함에 따라 유의하게 낮아지는 경향을 보였다(P < 0.05). 치어실험에서 30‰의 산소소비량을 100%로 하였을 때, 0‰구에서 59%로 유의하게 낮았고, 10‰구와 20‰구에서는 각각 87%, 84%로 나타나 두 실험구 사이에는 유의차가 인정되지 않았다. 한편, 성어기의 실험에서도 치어기와 마찬가지로 35‰구에서 다른 실험구에 비해 높은 결과를 나타냈다(P < 0.05).

35‰구에서의 산소소비량을 100%로 하였을 때 0‰구에서 61.2%, 15‰구에서는 이보다 높은 89.7%를 나타내었다. 또한 치어기 때, 성어기 보다 산소를 많이 소비하였다.

Table 2. HSI and GSI of adult sweetfish with different salinities

Salinity (%)	End of experiment (day 60)			
	LW (g)	HSI	GW (g)	GSI
0	0.5	2.2 ± 0.6 ^a	0.9	4.1 ± 1.6 ^b
15	0.4	2.0 ± 0.5 ^b	1.2	5.1 ± 1.1 ^a
35	0.2	1.6 ± 0.7 ^c	0.7	4.9 ± 1.7 ^b

Data presented as mean ± SD. ¹Values within same column with different alphabetic superscripts are significantly different (P < 0.05).

LW: liver weight, GW: gonad weight.

Table 3. Changes of water content(%) in muscle of adult sweetfish with different salinities

Salinity (%)	Elapsed days			
	1	2	5	15
0	75.3 ± 3.2	78.0 ± 1.4	79.0 ± 5.7	75.3 ± 3.3
15	74.0 ± 2.5	72.0 ± 2.5	74.5 ± 2.1	75.5 ± 0.7
35	72.0 ± 2.4	-	-	74.0 ± 1.5

고 찰

은어는 가을에 기수지역에서 산란하고, 부화 자어는 강의 흐름을 따라 바다로 내려가 월동한다. 바다와 하천의 수온 차가 적어지는 봄에 하천으로 소상하여 성장하는 1년생 어류이다.

따라서 현재의 양식 형태는 담수에서 부화한 자어를 해수에 옮겨 성장시킨 후, 다시 담수로 옮겨 양식하는 방법을 취하고 있다. 그러나 이렇게 일생동안 급격한 염분 변화를 겪는 어류로 알려진 은어의 삼투압 조절에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

일반적으로 부화직후의 해산어류 자어는 넓은 범위의 염분에서 내성을 가진다고 하였다(Holiday, 1969). 본 연구에서도 갓 부화한 자어를 이용하여 여러가지 염분에서 성장과 생존율을 조사한 결과, 5 ~ 20‰에서 좋은 결과를 보였는데,

Table 4. Performance of juvenile sweetfish fed diets with different salinities¹

Salinity (‰)	FCR (%)	WGF	SGR (%)	CF	SFR
0	0.89 ± 0.01 ^a	163.75 ± 6.12 ^c	1.65 ± 0.08 ^a	0.79 ± 0.04 ^a	1.68 ± 0.07 ^a
10	1.0 ± 0.01 ^a	189.27 ± 4.35 ^b	1.61 ± 0.12 ^a	0.67 ± 0.01 ^b	1.60 ± 0.03 ^a
20	0.97 ± 0.46 ^a	172.77 ± 4.57 ^{bc}	1.60 ± 0.01 ^a	0.70 ± 0.02 ^b	1.64 ± 0.05 ^a
30	0.70 ± 0.46 ^b	219.69 ± 11.04 ^a	0.90 ± 0.15 ^b	0.57 ± 0.01 ^c	1.33 ± 0.08 ^b

Data presented as mean ± SD

¹Values within the same column with different alphabetic superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

FCR: feed conversion rate, WGF: weight gain factor, SGR: specific growth rate, CF: condition factor, SFR: specific feeding rate.

Table 5. Performance of adult sweetfish fed diets with different salinities¹

Salinity (‰)	FCR (%)	WGF	SGR (%)	CF	SFC
0	1.29 ± 0.11 ^a	112.86 ± 14.46 ^c	1.84 ± 0.08 ^a	0.75 ± 0.04 ^a	1.43 ± 0.11 ^a
15	1.21 ± 0.13 ^a	122.14 ± 19.26 ^b	1.67 ± 0.18 ^a	0.72 ± 0.06 ^a	1.38 ± 0.14 ^b
35	0.54 ± 0.08 ^b	235.08 ± 3.64 ^a	0.73 ± 0.06 ^b	0.73 ± 0.06 ^a	1.36 ± 0.19 ^b

Data presented as mean ± SD

¹Values within the same column with different alphabetic superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

FCR: feed conversion rate, WGF: weight gain factor, SGR: specific growth rate, CF: condition factor, SFR : specific feeding rate.

Table 6. Oxygen consumption of experimental fish in different salinities¹

Salinity(%)	Oxygen consumption (ml/kg · hr)	
	Juvenile	Adult
0	112.2 ± 2.8 ^c	109.2 ± 2.8 ^c
10	153.3 ± 3.5 ^b	-
15	-	160.2 ± 2.5 ^b
20	160.5 ± 3.5 ^b	-
30	190.0 ± 3.5 ^a	-
35	-	178.4 ± 2.3 ^a

Data presented as mean ± SD

¹Values within the same column with different alphabetic superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

특히 10‰에서 가장 빠른 성장을 보였고, 0‰에서는 성장과 생존율이 매우 낮았다. 이 결과는 5~20‰ 사이에는 큰 차이가 없으며, 0‰에서 가장 낮은 생존율을 나타내었다고 보고한 김(1994)의 연구 결과와 일치하였다. Young and Duenas (1993)는 rabbitfish, *Signanus guttatus* 자어를 여

리 가지 염분에 노출시켰을 때, 16‰에서 생존율이 가장 높았다고 하였으며, Tytler and Blaxter (1988)는 청어 자어의 경우, 16‰의 염분에서 체액과 가까운 삼투질 농도를 나타내기 때문에 이 조건에서는 삼투압 조절을 위한 에너지 사용이 감소된다고 하였다.

본 연구에서 사육일수의 경과에 따라 해수에서 사육한 자치어를 바로 담수에 옮겼을 때, 해수 사육 20일째의 어체는 실험 3일째에 매우 높은 폐사율을 나타내었으나, 해수 사육 40일째의 실험어는 20일째의 어체보다 폐사율이 감소하였다. Watanabe et al. (1990)은 5‰에서 부화하여 10~70일동안 사육한 Florida red tilapia 자어를 해수로 옮겼을 때, 사육일수가 증가할수록 생존율도 증가한다고 하였다. 또한 Nodile et al. (1982)은 광염성 어류인 숭어, *Mugil cephalus*의 삼투압 조절 능력이 성장함에 따라 발달한다고 하여 본 연구결과와 비슷하였으나, 삼투압 조절 능력이 향상되는 시기에서는 차이를 보였다. 본

연구에서도 사육일수가 증가함에 따라 폐사율이 감소하는 경향을 보였으나, 단기간의 적응능력 결과로 볼 때, 보다 구체적인 연구가 뒷받침되어야 할 것으로 생각된다. 해수에서 사육중이던 치어기의 은어를 염분을 달리한 실험구에 옮겨 30일간 사육한 결과, 0‰구와 10‰구의 전장 성장이 가장 빨랐다. Atlantic salmon, *Salmo salar* 치어를 이용한 연구 결과에서도 실험어의 성장이 염분 0‰, 7‰, 15‰에서는 서로 비슷하였으나, 22‰에서는 느렸다고 하였다(Saunders and Henderson, 1969). 또한 Morgan and Iwama (1991)는 무지개 송어의 성장이 담수에서 가장 빨랐으며, 염분이 증가할수록 성장률이 감소하였고, 이것은 염분 증가에 따른 대사율 증가가 성장을 저해시켰다고 보고하여, 본 연구에서 0‰과 10‰구의 은어 치어가 가장 성장이 빨랐다는 점을 뒷받침해 주고 있다. 본 연구에서 이용한 치어기는 자연 생태계에서 담수로 올라와 성장하는 시기로 알려져 있으므로, 담수사육이 가장 좋을 것으로 예상되었다. 그러나, 체액과 등장에 가까운 10‰구에서의 결과가 0‰구와 유의차 없이 좋으므로써 이 범위의 염분도에서는 삼투압조절에 에너지가 소모되지 않은 임계해수 농도인 것으로 생각되며 성장에 바로 이용될 수 있다는 보고로 뒷받침될 수 있다(Canagaratnam, 1959; Saunders and Henderson, 1969; Otto, 1971).

본 연구에서 치어기 체액의 이온 농도와 삼투질 농도의 변화는 비교적 저염분 실험구에서 다른 실험구 보다 낮은 이온 농도를 보였다. Varnavsky et al. (1991)은 담수에 사육한 pink salmon을 해수에 노출시켜 12시간 경과후 체액의 Na^+ 농도가 실험기간 동안 가장 높은 수준을 나타내었다고 보고하였다.

해수에서 사육한 성어기 개체들의 성장과 생존율은 치어기와 유사한 결과를 보였다. 전장성장은 0‰과 15‰구의 실험어가 35‰구의 실험어보다 빨랐으며, 생존율도 0‰구와 15‰구가 가장 높았다. 따라서 성어기에 있어서도 고염분의 사육조건이 성장이나 생존에 악영향을 미칠 수 있

음을 시사해 주고 있다.

여러 연구자들에 의해 어류의 성장과 대사량에 미치는 염분의 영향과 소화율과의 상호관계에 대해서 언급되어져 왔다. 이것은 어류가 사료를 섭취하면서 함께 섭취된 물이 소화관의 삼투압 조절과 소화관내의 물리·화학적 환경에 영향을 미침으로써 소화 능력이 달라질 수 있음을 의미한다(Pandian, 1967; Ferraris et al., 1986). 본 연구에서 치어기와 성어기의 사료효율을 조사한 결과, 30‰ 이상의 염분조건에 사육한 실험어의 사료효율이 낮은 수준을 보임으로써 고염분이 성장에 좋지 않은 영향을 미친다는 것을 간접적으로 뒷받침해 주고 있다.

어류의 산소소비량은 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다. 특히 물리·화학적 요인으로서 염분과 수온이 중요한 것으로 알려져 있다. 치어와 성어를 이용한 염분별 산소소비량의 결과는 치어와 성어 모두 30‰과 35‰구에서 높았다. 이러한 결과는 어체가 높아진 염분 조건에 적응하기 위하여 에너지를 필요로 하며(Febry and Lutz, 1987), 이것은 아가미, 신장, 그리고 장과 같은 삼투압 조절기관에서 사용되는 에너지의 증가에 기인하는 것(Evans, 1984)이라는 보고에 의해서 뒷받침될 수 있다. Farmer and Beamish (1969)는 틸라피아를 완전 해수에서 실험하였을 때, 가장 높은 산소소비량을 보였다고 하여 본 연구 결과와 일치하였다. 고염분에서의 이러한 에너지의 소비는 HSI의 결과에서도 나타났다. 즉 0‰과 15‰구 보다 35‰구에서 유의하게 낮은 HSI를 보였는데, Soengas et al. (1992)은 높은 염분에서 삼투압 조절을 위하여 아가미 Na^+/K^+ -ATPase의 소비가 증가할 때 간의 glycogen과 glucose 등이 동원되기 때문이라고 하여 본 연구의 HSI가 낮아진 것을 설명해 주고 있다. 그러나, GSI를 조사한 결과, 15‰, 35‰, 0‰구의 순으로 높게 관찰되어 생식소의 발달에 미치는 염분의 영향을 발견할 수 없었다.

본 연구에서 근육의 수분함량은 0‰구가 다른 실험구에 비해 약간 높은 경향을 보였다. Woo

and Fung (1981)은 저염분에 적응시킨 참돔, *Chrysophrys major*에서 염분의 감소에 따라 근육의 수분함량이 증가한다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 이온 농도의 감소와 근육수분 함량의 증가는 저염분 조건에서 어체의 수분흡수가 증가되었다는 것을 간접적으로 암시해 주고 있다.

은어는 전 생활사를 통하여 해수와 담수 사이를 이동하며 생활하는 어류로서 아주 광범위한 염분에 적응할 수 있는 삼투압 조절 능력을 소유한다고 보고된 바 있다(Hasegawa et al., 1983). 본 연구에서 갓 부화한 은어 자어를 여러 염분에서 사육하였을 때 완전해수 보다 5~25‰에서 빠른 성장과 높은 생존율이 얻어졌으며, 특히 10‰구에서 가장 양호하였다. 이에 비해 0‰에서는 가장 낮은 성장률과 생존율을 보여 자어의 담수사육 가능성이 희박한 것으로 나타났다. 그러나 치어기와 성어기에서는 0‰구에서 좋은 성장과 생존율을 나타내었고, 10~15‰에서도 이와 못지 않은 성장을 보였지만, 30‰ 이상의 염분에서는 좋지 않은 결과를 보여, 이 시기에 있어서는 고염분이 어체에 좋지 않은 영향을 미친다는 것을 보여 주고 있다. 또한 높은 산소소비량은 삼투압 조절에 많은 에너지를 소비한다는 것을 간접적으로 시사해 주고 있다. 이상의 결과들을 종합적으로 검토해 볼 때, 갓 부화한 은어 자어의 사육은 완전해수 보다는 10‰ 정도의 염분에서 사육이 바람직하며, 현재 댐 및 호수에서 육봉형의 은어가 분포한다는 점을 고려할 때 은어의 담수양식 가능성은 배제할 수 없다고 생각된다.

또한 일반적으로 치어기 이상의 은어 양식은 담수에서 양식되어 왔으며, 본 연구결과에서도 담수에서 성장이 가장 빨랐으나, 10~15‰에서의 성장과 생존율도 비교적 좋은 것으로 나타났다. 그러나 본 연구의 실험어는 해수에서 사육해 왔던 치어기와 성어기의 은어를 사용하였기 때문에 어체의 생리상태에 미치는 염분의 영향을 확실하게 알아보기 위해서는 담수에서 사육한 은어를 대상으로 한 체계적인 연구가 필요하며, 아울러 담수에서 서식하고 있는 육봉형 은어의 삼투조절

능력에 관한 연구도 함께 수행되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

은어, *Plecoglossus altivelis*의 성장과 삼투압 조절에 미치는 염분의 영향을 알아보기 위하여 자어기(전장 5.3 ± 0.2 mm), 치어기(전장 6.7 ± 0.2 cm, 체중 1.7 ± 0.2 g), 성어기(전장 10.3 ± 0.9 cm, 체중 8.1 ± 2.1 g)를 대상으로 여러가지 염분 조건에서의 성장과 생존율을 파악하고, 아울러 치어기와 성어를 이용한 실험에서는 체액과 혈장 이온 농도 및 삼투질 농도의 변화를 관찰하고, 근육의 수분함량과 산소소비량을 조사하였다.

해수에 옮긴 부화 1일된 자어를 염분을 다르게 조절한 수조(0‰, 5‰, 10‰, 15‰, 20‰, 35‰)에 수용하여 50일간 사육하였다. 실험기간중의 전장 성장과 생존율은 10‰구에서 가장 좋았다. 사육일 수별로 은어를 담수에 옮겼을 때, 해수 사육 20일이 경과한 실험어가 가장 높은 폐사율을 보였다.

실험어는 4개의 염분 조건(0‰, 10‰, 20‰, 30‰)을 달리한 실험구에 30일간 사육한 결과, 0‰과 10‰구의 실험어가 빠른 성장과 높은 생존율을 나타냈으며, 30‰구에서 가장 좋지 않은 결과를 보였다.

실험기간 중에 Na^+ , K^+ 및 삼투질 농도는 0‰구, 10‰구에서 낮게 유지되었다. 산소소비량은 30‰구가 190.0 ± 3.5 ml/kg · hr로 가장 높았다.

3개의 염분(0‰, 15‰, 35‰) 조건을 달리한 실험구에서 사육한 결과, 은어의 성장은 0‰구, 15‰구에서 빨랐으며, 생존율은 0‰구가 71.6%로 가장 좋았다. 저염분 실험구인 0‰과 15‰구에서 혈장의 이온 농도와 삼투질 농도는 35‰구에서 보다 낮았다. GSI는 15‰구가 다른 실험구에 비해 약간 높은 결과를 보였으며, HSI는 0‰구에서 높고, 35‰구에서 가장 낮았다. 염분에 따른 실험구별 근육의 수분함량은 0‰구가 약간 높은 경향이 었다. 산소소비량은 치어기에서와 마찬가지로 35‰구에서 가장 높았다.

참 고 문 헌

- Arenesen, A. M., E. H. Jorgensen and J. Malcolm, 1993. Feed intake growth and osmoregulation in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), following abrupt transfer from freshwater to more saline water. *Aquaculture* 114 : 327-338.
- Canagratanam, P., 1959. Growth of fishes in different salinities. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 16 : 121-130.
- Evans, D. H., 1984. The roles of gill permeability and transport mechanisms in euryhalinity. In *Fish Physiology*, Academic Press, New York, XB : 239-283.
- Farmer, G.J., and F.W.H. Beamish, 1969. Oxygen consumption of *Tilapia nilotica* L. in relation to swimming speed and salinity. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 26 : 2807-2821.
- Febry, R. and P. Lutz, 1987. Energy partitioning in fish: the activity-related cost of osmoregulation in euryhaline cichlid. *J. Exp. Biol.*, 128 : 63-85
- Ferraris, R. P., M. R. Catacutan, R. L. Mabelin and A. P. Jazul, 1986. Digestibility in milkfish, *Chanos chanos*: Effect of protein source, fish size and salinity. *Aquaculture*, 59 : 93-105.
- Hasegawa, S., T. Hirano, N. Kuniya., Y. Abe and K. Suzuki, 1983. Seawater adaptability of anadromous and landlocked forms of the ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Bull. Jap. Soc. sci. Fish.*, 49 : 567-575.
- Holliday, F. G. T., 1969. The effects of salinity on the egg and larvae teleost In: W. S. Hoar and D. J. Randall, *Fish Physiology*, Academic Press, New York. pp. 312-318.
- Hwang, P. P., 1990. Salinity effect on development of chloride cell in the larvae of ayu (*Plecoglossus altivelis*). *Mar. Biol.*, 107 : 1-7.
- Kim, I. N., Y. J. Chang and J. Y. Kwon, 1995. The pattern of oxygen consumption in six species of marine fish. *J. Korean Fish. Soc.*, 28 : 373-380.
- Laurent, P. and S. Dunel, 1980. Morphology of gill epithelia in fish. *Ame. J. Physiol.*, 238 : 147-159.
- Moon, H. Y., D. S. Mackenzie and D. M. Galtin, 1994. Effect of dietary thyroid hormones on the red drum, *Sciaenopes ocellatus*. *Fish Physiol. Biochem.*, 12 : 369-380.
- Morgan, J. D. and G. K. Iwama, 1991. Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow trout and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48 : 2083-2094.
- Nematipour, G. R., 1990. Nutritional studies on improvement of fish quality in ayu, *Plecoglossus altivelis*. *Fac. App. Bio. Sci. Hiroshima Univ.*, 2 : 75-76.
- Nodile, F. G., W. A. Szelistowski, and Nordile, 1982. Ontogenesis of osmotic regulation in the striped mullet, *Mugil cephalus* L. *J. Fish Biol.*, 20 : 79-86.
- Otto, R. G., 1971. Effects of salinity on the survival and growth of pre-smolt coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 28 : 343-349.
- Pandian, T. J., 1967. Intake, digestion, absorption and conversion of food in the fishes, *Megalops cyprinoides* and *Ophiocephalus striatus*. *Mar. Biol.*, 1 : 16-32.
- Saunders, R. L. and E. B. Henderson, 1969. Survival and growth of Atlantic salmon fry in relation to salinity, temperature and diet. *Fish Res. Bd. Can. Tech. Rep.*, 148 : 7 pp.
- Soengas, J. L., J. Fuentes. J. Otero, M. D. Andre and M. Aldeguande, 1992. Seasonal changes in carbohydrate metabolism in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and their relationship to changes in gill (Na^+ , K^+ -ATPase activity). *Aquaculture*, 108 : 369-380.
- Tytler, P. and J. H. S. Blaxter, 1988. The effect of external salinity on the drinking rates in the larvae of herring, plaice and cod. *J. Exp. Biol.*, 138 : 1-15.
- Varnavsky, V. S., Y. S. Basov and S. A. Rostomova, 1991. Seawater adaptability of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) fry: effects of size temperature. *Aquaculture*, 99 : 355-363.
- Watanabe, W. O., L. J. Ellingson, B. L. Olla, D. H. Ernst and R.I. Wicklund, 1990. Salinity tolerance and seawater survival vary ontogenetically Florida red tilapia. *Aquaculture*, 87 : 311-321.

- Woo, N. Y. S. and A. C. Y. Fung, 1981. Studies on biology of the red sea bream, *Chrysophrys major* II. Salinity adaptation. *Comp. Biochem. Physiol.*, 67 : 237-242.
- Young, P. S. and C. E. Duenas, 1993. Salinity tolerance of fertilized egg and yolk-sac larvae of the rabbitfish *Siganus guttatus* (Bloch). *Aquaculture*, 112 : 363-377.
- 高木後祐・大林萬鋪, 1974. 三種類の飼料により飼育したトラフグの成長と生残. 香川水試報告, 101 : 68-73.
- 김형섭, 1994. 은어(*Plecoglossus altivelis*)의 종묘 생산을 위한 난질 및 먹이생물학적 연구. 부산수산대학교 대학원 석사학위논문, 52 pp.