

어린 숭어(*Mugil cephalus*)의 염분농도별 성장과 생존율 비교*

장영진 · 이영춘 · 이복규**

부경대학교 양식학과, **동의대학교 생물학과

Comparison of Growth and Survival Rates of Juvenile Grey Mullet (*Mugil cephalus*) in Different Salinities*

Young Jin Chang, Young Choon Lee and Bok Kyu Lee**

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

**Department of Biology, Dong Eui University, Pusan 614-714, Korea

In order to compare the growth and survival rates of grey mullet (*Mugil cephalus*) juveniles in different salinities, the fish reared in seawater (SW) abruptly were transferred to each experimental rearing water of 0% SW (0‰), 25% SW (7.7‰), 50% SW (16.1‰) and 100% SW (32.8‰).

Growth rates in total length and body weight of fish in 25% SW, 50% SW and 75% SW were greater than that in 0% SW ($P < 0.05$). Decreased salinity appeared to have an acute, but appetite depressive effect in short term in the experimental groups. Survival rate was low in 0% SW ($P < 0.05$), although those were more than 81% in all salinities.

There were no differences in thickness of epidermis and dermis layers in fish skin among the all experimental groups at the end of experiment. But the thickness of lipid layer in 0% SW fish showed the significant differences to those in 50% SW and 100% SW ($P < 0.05$).

With decreased salinities, oxygen consumption was found to be decreased in the other experimental groups compared to the group in 100% SW. The levels of lethal dissolved oxygen in 0% SW to 100% SW were 1.18, 0.30, 0.28 and 0.31 ppm, respectively.

Key words : Grey mullet, *Mugil cephalus*, Different salinities, Growth, Survival rate, Oxygen consumption

서 론

숭어, *Mugil cephalus*는 수 많은 경골어류들 중에서 가장 광범위한 지리적 분포를 나타낸다 (Thomson, 1963). 이 종은 잡식성으로 영양 단계가 낮고 염분 급변에 견딜 수 있는 삼투조절 능력을 가지므로 선호도 높은 양식대상종으로 알려져 있으며 (Odum, 1970 ; Nash and She-

haden, 1980), 개발도상국의 식량자원으로서 산업적 가치가 높은 것으로 제시된 바 있다 (Nash and Koningsberger, 1981). 최근, 우리나라에서는 염전, 가두리 및 축제식에 의한 양식이 시도되고 있으며, 담수유입이 많은 강의 하구에서 어린 시기를 보낸다는 특성을 바탕으로 종묘생산 단계부터 저염분에 순치시킨 어린 숭어를 바로 담수에서 사육하는 기술에 비상한 관심이 모아

* 이 논문은 1995년도 교육부 학술연구조성비(해양·수산과학 분야)에 의하여 연구되었음.

지고 있다.

송어의 양식을 위한 종묘생산 연구로는 호르몬 처리에 의한 인위적인 산란유도(Lee et al., 1987; Liao et al., 1971; Kuo et al., 1973), 산란유도 및 부화에 미치는 염분의 영향(Lee et al., 1992; Walsh et al., 1991), 자어 대량사육에 미치는 환경요인(Eda et al., 1990) 및 송어의 종묘생산 방법(金 等, 1993) 등 국내외적으로 활발히 이루어져 왔으나, 담수순치 과정에서 어린 송어의 성장, 생존율 및 삼투조절 기구를 설명할 수 있는 연구결과는 그다지 찾아보기 어렵다.

어류의 피부는 개체와 환경수 사이에서 일차적인 장벽을 이루어 개체를 보호하며, 외부환경으로부터 물과 이온의 교환을 통하여 체내의 생리적 조건을 일정하게 유지하는 기능을 수행한다(Leonard and Summer, 1976). 그러나, 어체는 수중에서 생활하므로 표피세포와 환경수 사이에 일어나는 삼투압의 불균형에 쉽게 노출된다. 따라서 어류는 서식장소가 달라짐에 따라 삼투조절 기능뿐만 아니라 표피세포를 다르게 발달시킴으로써 체내 항상성을 유지하는 것으로 알려지고 있으나, 염분변화와 관련하여 송어의 표피세포를 포함한 피부의 변화에 대해서는 거의 연구된 바 없다.

어류의 산소소비는 생명유지를 위한 에너지 대사의 지표로 흔히 사용된다. Farmer and Beamish (1969)는 틸라피아의 산소소비가 염분이 높아질수록 증가하며, 체액과 등장의 염분에서 가장 낮은 산소소비를 나타낸다고 하였다. 또, 이러한 산소소비의 증가는 삼투조절에 많은 에너지가 필요하기 때문으로, 삼투조절과 에너지 대사간에 밀접한 관련성이 있다고 지적하였다. 그러므로 삼투조절과 관련한 염분농도별 산소소비량을 파악하는 것은 어체의 생리활성뿐만 아니라 에너지 대사를 파악할 수 있는 간접적 지표로 이용될 수 있다. 더욱이, 염분농도가 서로 다른 환경수에서의 어류는 성장에 차이를 보이고 있어(Canagaratnam, 1959) 낮은 염분농도에서 송

어의 성장과 생존율이 어떻게 달라지는지 파악해 볼 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 송어의 담수순치 사육에 관한 기초자료를 얻고자, 여러가지 염분농도에서 사육한 어린 송어의 성장 및 생존율을 파악하고, 아울러 염분농도별 산소소비량을 측정하여 어체 활성을 서로 비교하였다.

재료 및 방법

1. 실험조건

1차실험

담수이외의 염분농도에서 실험어의 성장 및 생존율을 파악하기 위하여, 50 ℓ container box에 여과기(mesh size 5 μm)를 거친 해수(SW)를 흘러주면서 사육한 전장 4.8±0.6 cm, 체중 1.0±0.3 g의 실험어를 8개의 수조에 각각 100개체씩 수용한 다음 일정기간 안정시켰다. 실험어가 수용후 안정을 되찾고 섭식활동이 활발해졌을 때, 각수조에 담수를 첨가하여 각각 25% SW (7.3±0.9%), 50% SW (15.2±0.7%), 75% SW (23.2±0.9%) 및 100% SW (32.0±0.2%)로 3개의 급격한 염분 변화구와 대조구를 2반복으로 설정하였다.

사육기간은 15일간으로, 매일 어체중 3~5%의 시판용 잉어사료를 3회로 나누어 공급하였고, 3회째 사료공급 2시간 후에 사육수를 전량 환수하였다. 실험기간중 사육환경으로서 모든 실험구의 수온은 27.1±0.6~28.0±0.5°C, 사육수의 용존산소량은 3.6±0.2~3.7±0.2 ppm으로 유지하였다(Table 1).

2차실험

여러가지 염분농도에서 실험어의 성장, 생존율 및 담수순치 사육 가능성을 파악하기 위하여, 50 ℓ container box에 여과기(mesh size 5 μm)를 거친 100% SW에서 사육한 전장 13.6±0.2%, 체중 20.0±0.5 g의 실험어를 8개의 수조에 각각 60개체씩 수용한 다음 일정기간 안정시켰다. 실험구는 각각 0% SW (0%), 25% SW (7.7±0.5%), 50% SW (16.1±0.2%) 및 100% SW (32.8±0.2%)로 3개의 급격한 염분 변화구와 대조구

어린 송어(*Mugil cephalus*)의 염분농도별 성장과 생존율 비교

Table 1. The environmental factors in each experimental unit

Treatment	W.T. (°C)	Salinity (‰)	D.O. (ppm)	pH
Experiment I				
25% SW	27.1±0.6	7.3±0.9	3.7±0.2	—
50% SW	27.3±0.6	15.2±0.7	3.7±0.2	—
75% SW	27.6±0.5	23.2±0.9	3.6±0.2	—
100% SW	28.0±0.5	32.0±0.2	3.6±0.2	—
Experiment II				
0% SW	22.6±2.2	0	5.5±0.9	8.5±0.3
25% SW	22.8±2.2	7.7±0.5	4.1±0.9	8.1±0.3
50% SW	22.7±2.2	16.1±0.2	4.3±0.9	8.1±0.3
100% SW	22.7±2.3	32.8±0.2	4.3±0.9	7.9±0.3

D.O. : dissolved oxygen, SW : seawater, W.T. : water temperature

를 2반복으로 설정하였다. 각 실험구에는 airlift를 이용한 스폰지 여과장치를 설치하여 사료찌꺼기 및 배설물이 제거되도록 하였다. 사육기간은 60일간으로, 매일 어체중 3~5%의 시판용 잉어사료를 2회로 나누어 공급하였고, 2회째 사료공급 2시간 후에 사육수를 전량 환수하였다. 실험기간중 사육환경으로서 모든 실험구의 수온은 22.6±2.2~22.8±2.2°C, 사육수의 용존산소량은 4.1±0.9~5.5±0.9 ppm으로 유지하였다(Table 1).

2. 조사 및 분석

1차실험에서는 사육 5일, 10일 및 15일째에, 2차실험에서는 10일 간격으로 실험어의 성장을 측정하고, 이때 채취한 근육조직을 분석에 이용하였다.

사육기간중 각 실험구별 성장을 파악하기 위한 송어의 전장은 어체 측정판을 사용하여 1 mm 단위까지 계측하고, 체중은 전자저울을 사용하여 0.01 g까지 측정하였다. 실험종료시 측정된 값들을 이용하여 식육(Bromley and Smart, 1981), 일간사료섭식률, 사료전환효율, 일간성장률(高木·大林, 1974) 및 condition factor (Moon et al., 1994) 등을 구하였다.

각 실험구에서 어체의 근육을 절취하여 Bouin 액에 고정하고, 파라핀 상법으로 조직표본을 제작하여 광학 현미경하에서 표피, 진피 및 지방층의 두께를 측정하였다.

염분농도에 따른 어체의 기초대사 변화 및 생

리적 활성을 파악하기 위하여, 위·장(1976)의 방법에 따라 실험종료시에 각 실험구별로 산소 소비량과 폐사산소량을 구하였다. 이때 용존산소량은 DO meter (YSI 58)를 사용하여 측정하였다.

실험어의 산소소비량에 관하여는 실험종료후 염분농도별로 24시간 절식시킨 송어를 각각 5개 체씩 호흡실(5.56 l)에 넣고 2시간 이상 안정시킨 다음, 유입수와 유출수의 용존산소량을 측정하여 다음의 식에 의해 구하였다. 실험은 2반복으로 실시하였으며 수온은 20°C 내외로 유지하였다.

$$O_c = \frac{(C_i - C_o) \times E}{W}$$

O_c : 산소소비량(ml/kg · hr.)

C_i : 유입수의 용존산소량(ml/l)

C_o : 유출수의 용존산소량(ml/l)

E : 단위시간당 환수량(l/hr.)

W : 실험어의 체중(kg)

실험어의 폐사산소량을 구하기 위하여는 실험종료후 염분농도별로 24시간 절식시킨 송어를 각각 3개체씩 호흡실(5.56 l)에 넣은 다음, 외부로부터의 산소유입을 막기 위하여 호흡실 입구를 parafilm으로 밀봉하였다. 어체를 수용한 직후부터 연속적으로 용존산소량을 측정하면서 실험어의 행동을 관찰하여, 어체가 움직이지 않고 아가미 뚜껍의 개폐가 멈추어진 때의 용존산소

량을 폐사산소량으로 판정하였다. 실험은 2반복으로 실시하였으며 수온은 24°C 내외로 유지하였다.

각 실험의 분석결과들에 대하여는 일원 분산 분석(one-way ANOVA)과 Duncan의 다중검정(Zar, 1984)을 실시하였다.

결 과

1. 성장

염분농도에 따른 실험어의 전장성장은 Fig. 1과 같다. 1차실험에 있어서는 실험개시 5일까지는 25% SW~75% SW의 어린 송어가 100% SW에서의 성장 보다 빠른 것으로 나타났으나 유의한 차이는 없었다. 이러한 경향은 사육 10일째까지 이어졌으나, 그 이후는 75% SW에서 빠른 성장을 보였다. 사육 15일째의 각 실험구별 전장성장은 75% SW에서 6.3±0.5 cm로 가장 빨랐고, 다른 실험구는 서로 같은 성장경향을 나타냈다. 2차

실험에서는 실험개시시 전장이 13.6±0.2 cm이었던 어린 송어가, 사육 40일째는 25% SW와 50% SW에서 각각 15.3±1.0 cm, 15.2±0.8 cm로 자라나 0% SW (14.4±0.9 cm)와 100% SW (14.9±1.0 cm)의 송어에 비해 빠른 성장을 보였으며, 0% SW에 대하여는 유의차를 보였다. 이러한 경향은 실험종료시인 사육 60일째까지도 이어져 25% SW (16.7±1.2 cm)와 50% SW (16.5±0.9 cm)의 전장성장이 100% SW (16.1±1.1 cm)에 비해 유의차를 보이지 않은 반면, 0% SW (15.5±1.3 cm)에 비하여는 유의하게 빠른 것으로 나타났다(P<0.05).

염분농도에 따른 실험어의 체중성장은 Fig. 2와 같다. 1차실험에 있어서는 실험개시 5일까지는 25% SW와 50% SW의 어린 송어가 75% SW와 100% SW에서의 성장 보다 다소 빠른 것으로 나타났으나 유의한 차이는 없었다. 이후부터는 모든 실험구에서 비슷한 성장경향을 나타내, 사육 15일째의 체중성장은 25% SW 1.9±0.4 g,

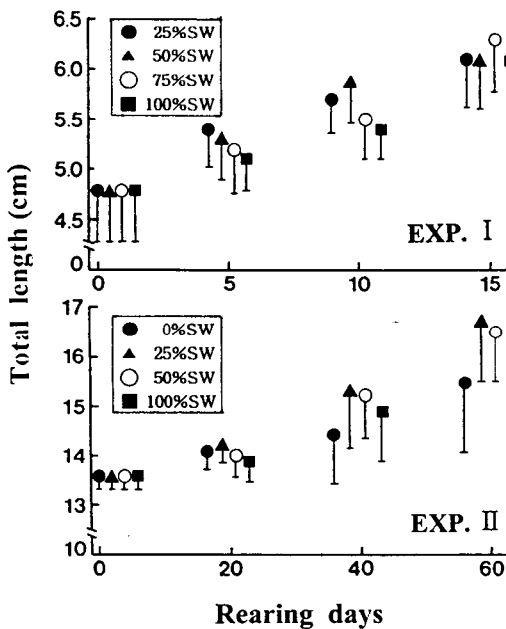


Fig. 1. Growth of total length in grey mullet juveniles in different salinities.

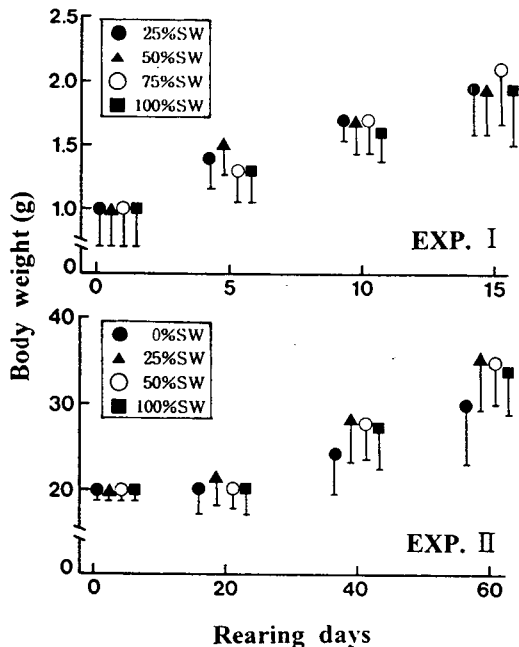


Fig. 2. Growth of body weight in grey mullet juveniles in different salinities.

50%SW 1.9±0.4 g, 75%SW 2.1±0.5 g, 100%SW 1.9±0.5 g으로 각 실험구 사이에 차이없는 성장을 보였다. 2차실험에서는 실험개시시의 체중이 20.0±0.5 g이었던 어린 송어가, 사육 20 일째는 25%SW에서 21.6±3.7 g으로 자라나 0%SW (19.3±3.3 g), 50%SW (20.1±2.9 g) 및 100%SW (19.8±3.6 g)의 송어에 비해 다소 빠르게 성장하였으나 유의차는 인정되지 않았다. 그러나, 이후부터는 0%SW를 제외한 모든 실험구에서 빠른 성장을 보여, 실험종료시인 60일째에는 25%SW (35.4±7.0 g), 50%SW (35.1±6.1 g) 및 100%SW (34.0±6.5 g)의 체중성장이 0%SW (30.0±7.5 g)에 비해 유의하게 빠른 것으로 나타났다(P<0.05).

2. 식욕 사료효율

1차실험에서 송어의 식욕은 실험구별로 유의차 없이 서로 비슷하였다. 비만도는 100%SW에서 0.9±0.0으로 가장 높았으며, 25%SW, 50%SW 및 75%SW에서는 모두 0.8로 같은 값을 나타냈으나, 100%SW와는 유의한 차이를 보이지 않았다. 일간사료섭식률은 모든 실험구에서 3.3±0.1~3.6±0.1로 서로 비슷하였다. 일간성장률은

은 75%SW에서 5.7±0.2%로 가장 높았으며, 다른 실험구는 5.0±0.0~5.2±0.1%로 다소 낮았다. 사료전환효율 역시 75%SW에서 169.4±7.0%로 가장 높았으며, 다른 실험구는 139.7±2.5~147.9±3.5%로 낮은 편이었다(Table 2).

2차실험에서 송어의 식욕은 50%SW의 실험구가 180.8±1.8%로 가장 높았으며, 0%SW의 실험어는 121.8±11.5%로 다른 실험구들에 비해 유의하게 낮은 값을 나타냈다(P<0.05). 일간사료섭식률은 25%SW (3.6±0.8%)가 다른 실험구에 비해 다소 높았으나 유의한 차이는 없었다. 일간성장률은 25%SW에서 가장 높아 2.7±0.9%였으며, 그 다음으로 50%SW, 100%SW, 0%SW의 순이었다. 사료전환효율은 25%SW에서 85.0±7.9%로 가장 높았으며, 50%SW와 100%SW에서는 서로 비슷한 값을 나타냈고, 0%SW에서는 62.0±9.6%로 다른 실험구에 비해 낮은 편이었다(Table 3).

3. 피부의 두께

실험종료시 염분농도에 따른 어린 송어의 표피, 진피 및 지방층의 두께는 Fig. 3에 나타난 조직상을 기준으로 구분하여 측정하였다. 각 염분

Table 2. Performance of grey mullet juveniles fed diets in different salinities of experiment I

Treatment	Appetite (%)	SFR (%)	FCE (%)	SGR (%)	CF
25% SW	562.7±4.1	3.6±0.0	139.7± 2.5	5.0±0.0	0.8±0.0
50% SW	559.6±1.0	3.6±0.0	147.9± 3.5	5.2±0.1	0.8±0.0
75% SW	560.2±2.3	3.3±0.1	169.4± 7.0	5.7±0.2	0.8±0.0
100% SW	563.4±0.3	3.6±0.1	143.8±12.6	5.1±0.3	0.9±0.0

SFR : specific feeding rate, FCE : feed conversion rate, SGR : specific growth rate, CF : condition factor, SW : seawater.

Table 3. Performance of grey mullet juveniles fed diets in different salinities of the experiment II¹

Treatment	Appetite (%)	SFR (%)	FCE (%)	SGR (%)	CF
0% SW	121.8±11.5 ^b	1.8±0.1	62.0±9.6	1.1±0.2	0.8±0.0
25% SW	172.3± 0.0 ^a	3.6±0.8	85.0±7.9	2.7±0.9	0.8±0.0
50% SW	180.8± 1.8 ^a	3.2±0.9	81.2±1.8	2.6±0.7	0.8±0.0
100% SW	157.8± 4.9 ^a	2.1±0.0	77.0±3.6	1.6±0.1	0.8±0.0

SFR : specific feeding rate, FCE : feed conversion rate, SGR : specific growth rate, CF : condition factor, SW : seawater.

¹Values within the same column with different alphabetic superscripts are significantly different (P<0.01).

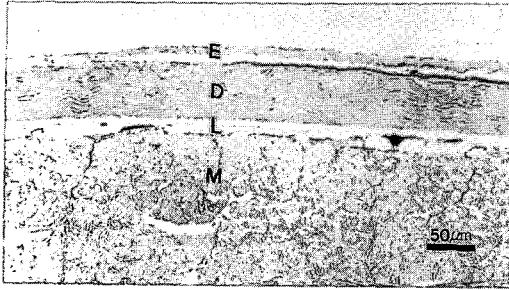


Fig. 3. Cross section of skin showing the epidermis, dermis, lipid and muscle layers in grey mullet juveniles in the control salinity (100% SW). E : epidermis, D : dermis, L : lipid, M : muscle layer. H-E stain.

농도별로 표피와 진피 두께는 Table 4와 같이 서로 유의한 차이가 인정되지 않았으나, 염분농도가 낮아질수록 지방층의 두께는 두꺼워지는 경향을 나타내, 0% SW 실험어의 지방층은 50% SW 및 100% SW의 어체 보다 유의하게 두꺼운 것으로 나타났다(P<0.05). 한편, 25% SW의 지방층 두께는 50% SW에서와 차이가 없었지만 100% SW에서의 지방층에 비해서는 유의하게 두꺼웠다(P<0.05).

4. 산소소비량 · 폐사산소량

실험종료시 어린 송어의 염분농도에 따른 산

소소비량은 Table 5와 같이 염분농도가 감소함에 따라 유의하게 낮아지는 경향을 나타냈다. 100% SW의 산소소비량을 100으로 하였을 때, 50% SW는 88.5%, 25% SW는 83.6% 였으며, 0% SW에서는 가장 낮은 73.4%로 나타났다. 그리고 0% SW~50% SW의 실험어와 100% SW 실험어의 산소소비량 사이에는 유의한 차이가 인정되었다(P<0.05).

한편, 염분농도별 폐사산소량은 25% SW, 50% SW 및 100% SW에서 0.3 ppm으로 모두 같은 값을 보였다. 그러나, 0% SW의 폐사산소량은 1.2 ± 0.3 ppm으로서 다른 실험구들에 비하여 유의하게 높아 저산소에 대한 내성이 약한 것으로 나타났다(P<0.05).

5. 생존율

염분농도에 따른 실험어의 생존율은 Fig. 4와 같다. 1차실험에서는 모든 실험구에서 93.3~98.6%의 생존율을 보임으로써, 25% SW~100% SW에서는 송어의 생존율에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나, 2차실험에서는 실험종료시인 사육 60일째에 있어 송어의 생존율은 25% SW와 50% SW에서 각각 100%로 가장 높았으며, 그 다음으로 100% SW에서 93.3%였다. 한편, 0% SW

Table 4. The skin thickness of grey mullet juveniles in different salinities

Treatment	Epidermis (μm)	Dermis (μm)	Lipid (μm) ¹
0% SW	27.3±7.8	96.6±21.3	21.4±7.0 _c
25% SW	15.8±1.9	81.3±12.4	19.7±4.1 _{bc}
50% SW	18.9±1.9	81.0±12.3	15.5±4.2 _{ab}
100% SW	18.9±4.9	85.4±12.7	12.2±5.4 _a

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

Table 5. Oxygen consumption and lethal dissolved oxygen of grey mullet juveniles in different salinities¹

	Treatment			
	0% SW	25% SW	50% SW	100% SW
Oxygen consumption (ml/kg · hr)	115.6±5.0 _c	131.6±6.1 _{bc}	139.3±0.8 _b	157.4±4.8 _a
Lethal dissolved oxygen (ppm)	1.2±0.3 _b	0.3±0.0 _a	0.3±0.0 _a	0.3±0.0 _a

¹Values within the same row with different alphabetic superscripts are significantly different (P<0.05). SW : seawater.

에서는 생존율이 81.7%로 다른 실험구에 비해 유의하게 낮았다($P < 0.01$). 더욱이, 0% SW에서는 실험개시후 7일째에 3개체가 최초로 폐사하였는데, 이들 모두에서 복수증(hydroperitoneum)이 관찰되었으며, 그중 1개체는 안구돌출(exophthalmus)까지 동반하였다. 이후 0% SW에서는 14일째까지 복수증으로 폐사하는 개체가 관찰되었으며, 총 폐사개체의 22.7%를 차지하였다.

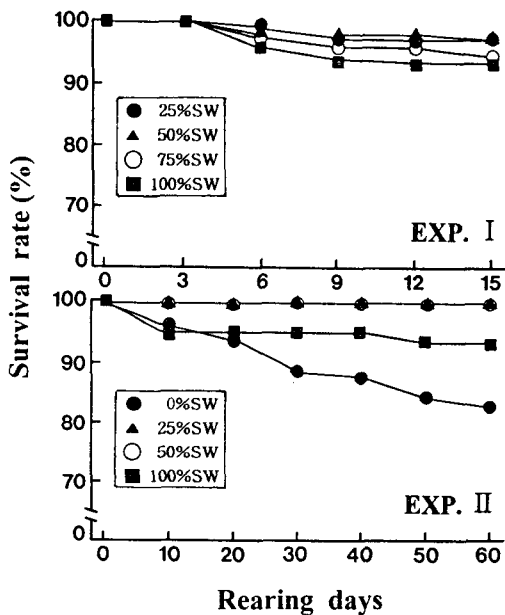


Fig. 4. Survival rate of grey mullet juveniles in different salinities.

고찰

본 연구에서 사용한 송어는 염분변화가 심한 기수지역에 주로 서식하는 어류로서 매우 광범위한 염분농도에서도 생존이 가능한 것으로 보고되어 있다(Odum 1970; Nash and Shehaden, 1980). 부화후 2개월된 어린 송어를 재료로 사용한 1차실험의 결과, 모든 실험구에서 90% 이상의 생존율을 나타냈고, 2차실험에서도 50% SW와 25% SW가 대조구인 100% SW에 비해 높은 생존율을 기록하여 1차실험과 비슷한 결과를

얻었다. 성장률에 있어서는 0% SW를 제외한 1, 2차실험의 모든 실험구에서 유의한 차이를 보이지 않았으며, 1차실험에서는 75% SW에서, 2차실험에서는 25% SW 및 50% SW에서 비교적 높은 성장률을 나타냈다. 이러한 결과들은 다른 어류의 성장(Canagaratnam, 1959; Saunders and Henderson, 1969; Otto, 1971) 및 대사량(Rao, 1968)에 미치는 염분의 영향에 대한 연구들에 의해서도 뒷받침되는데, 체액과 등장의 매질에서 삼투조절에 에너지가 가장 적게 소모되기 때문에, 절약된 에너지만큼이 성장에 이용될 수 있음을 의미한다.

또한, 연구자들은 어류가 사료를 섭취하면서 함께 섭취된 물이 소화관의 삼투조절 역할과 소화관내의 물리, 화학적 환경들에 영향을 미침으로써, 어체의 소화능력이 달라질 수 있음을 보고하였다(Pandian, 1967; Ferraris et al., 1986). 이와 같이 섭취된 물은 소화관내의 pH를 변화시키며, 이에 따라 소화효소의 활성도 달라질 수 있다. 이러한 사실은 삼투조절과 관련된 이온의 능동수송이 소화관에 의한 영양물질의 흡수에도 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. Arnesen et al.(1993)은 염분의 급격한 변화에 따른 삼투적 스트레스는 식욕감퇴를 초래한다고 지적하였는데, 본 연구의 실험초기에 나타난 낮은 식욕도 이러한 스트레스의 영향일 수 있다. 본 연구에서 0% SW의 송어들에서 수용후 1주일만에 복수증을 나타내는 개체가 관찰되었다. 이는 어체가 해수로부터 단계적인 염분농도에 적응되지 않고 바로 담수에 수용됨으로써, 급격한 삼투조절 압력에 크게 스트레스를 받아 장관의 수분배출 및 이온 조절에 실패한 결과로 추측되며, 이에 따라 식욕감퇴, 사료효율의 저하, 성장도 저하 및 폐사 등의 부정적인 영향이 발생한 것으로 추정된다. 그러나, 장 등(미발표)은 단계적인 저염분 순차 과정을 거쳐 담수에 적응시킨 전장 9.6 cm, 체중 7.9 g의 어린 송어를 60일간 사육한 결과, 생존율은 86.7~92.2%로 나타나, 대조구인 100% SW의 89.1%와 차이없이 높은 생존율을 보였

다고 하였다. 그러므로, 극단적인 염분농도의 차이를 가진 사육수로의 어체수용이 폐사율을 증가시킨 데 기인하는 것으로 판단된다.

본 연구에서 실험종료시 0%SW 실험어의 지방층은 50%SW 및 100%SW의 어체 보다 유의하게 두꺼워져, 염분농도가 낮아질수록 지방층의 두께는 두꺼워지는 경향을 나타냈는데, 이는 저염분에서 삼투조절 과정에서 환경수가 체벽을 통하여 침투하는 것을 극력 억제하기 위한 송어의 생체내 반응인 것으로 추정된다.

어류의 산소소비는 운동, 삼투압 조절 및 생명유지에 필요한 제반 활동들과 관련된 에너지 소비 즉, 에너지 대사의 중요한 지표로 사용된다. 산소소비는 많은 요인들에 의해 영향을 받는데, 특히, 염분 및 수온은 산소소비에 영향을 미치는 주된 요인으로 알려져 있다. 염분 및 수온에 따른 산소소비를 알아보는 것은 양식생산과 관련하여 생각하여 볼 때, 탱크 사육시 산소공급량을 결정하거나 방양밀도를 조절하는 데 매우 유용하다. 본 연구에서는 일정한 수온범위에서 어체의 산소소비를 각 염분농도별로 측정된 결과, 100%SW가 가장 높은 산소소비를 보였으며, 이는 Farmer and Beamish (1969)의 틸라피아에 대한 연구결과와도 부합된다. 이와 같이 100%SW에서 가장 높은 산소소비를 보인 것은 어체가 높은 염분농도에서 비교적 더 많은 에너지를 소비한다는 것을 의미한다. 그러나, 0%SW에서 송어의 산소소비가 가장 낮았지만 이와 함께 성장도도 다른 실험구들에 비해 유의하게 낮았다. 이는 0%SW에서의 사료전환효율, 일간성장률 및 식욕 등이 다른 실험구 보다 낮았고 저산소에 대한 내성도 약했다는 점을 함께 고려해 볼 때, 주어진 환경에 어체가 충분히 적응하지 못하여 생리기능 및 대사활성의 저하를 초래했기 때문인 것으로 추측된다.

이상의 결과들을 종합하여 볼 때, 송어는 삼투조절 능력이 우수하여 어린 시기 동안에는 사육수의 염분농도가 낮더라도 안정된 성장이 가

능할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 25%SW 까지 성장 및 생리활성에 큰 영향을 받지 않는 것으로 밝혀졌지만, 담수에서도 81% 이상의 생존율을 보였기 때문에, 앞으로는 단계적인 저염분 순치과정을 거친 담수산육으로 생존율을 더욱 높이고, 아울러 담수산육용 사료를 개발하는 등 보다 심층적인 연구가 진행된다면 담수에서의 송어양식 및 잉어류와의 혼합양식도 가능할 것으로 판단된다.

요 약

어린 송어, *Mugil cephalus*에 대한 저염분 해수 및 담수 사육의 가능성을 알아보기 위하여, 전장 4.8 ± 0.6 cm, 체중 1.0 ± 0.3 g 및 전장 13.6 ± 0.2 cm, 체중 20.0 ± 0.5 g의 2군을 대상으로 염분농도별 성장과 생존율을 조사하고, 산소소비량 및 피부의 두께 등을 측정하여 생리활성을 서로 비교하였다.

1, 2차 실험 모두에서 25~75%SW의 저염분구가 성장과 생존에 있어 100%SW 보다 좋은 편이었다. 그러나, 단계적 순치과정을 거치지 않고 100%SW로부터 0%SW로의 급격한 염분변화는 어체의 성장 및 생존율을 감소시키는 요인이 되었다.

일간사료섭식률은 25%SW에서 $3.6 \pm 0.8\%$ 로 가장 높았다. 식욕에 있어서는 50%SW에서 가장 높았다. 일간성장률은 25%SW에서 가장 좋았고 ($2.7 \pm 0.9\%$), 다음으로 50%SW, 100%SW, 0%SW의 순으로 나타났다.

염분에 따른 각 실험구별 어체의 표피와 진피의 두께에는 유의차가 없었으나, 지방층은 0%SW의 실험어에서 50%SW 및 100%SW의 송어 보다 유의하게 두꺼웠다.

송어의 산소소비량은 염분농도가 감소함에 따라 유의하게 낮아지는 경향을 나타냈다. 염분농도별 송어의 저산소 내성은 0%SW에서 비교적 약한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Arnesen, A. M., E. H. Jorgensen and J. Malcolm, 1993. Feed intake, growth and osmoregulation in arctic charr, *Salvelinus alpinus*, following abrupt transfer from freshwater to more saline water. *Aquaculture*, 114 : 327-338.
- Bromley, P. J. and G. Smart, 1981. The effect of the major food categories on growth, composition and food conversion in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Aquaculture*, 23 : 325-326.
- Canagaratnam, P., 1959. Growth of fishes in different salinities. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 16 : 121-130.
- Eda, H., R. Murashige, Y. Oozeki, A. Hagihara, B. Eastham, P. Bass, C.S. Tamaru, and C.S. Lee, 1990. Factors affecting intensive larval rearing of striped mullet, *Mugil cephalus*. *Aquaculture*, 91 : 281-294.
- Farmer, G. J. and F. W. H. Beamish, 1969. Oxygen consumption of *Tilapia nilotica* in relation to swimming speed and salinity. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 26 : 2807-2821.
- Ferraris, R. P., M. R. Catacutan, R. L. Mabelin and A. P. Jazul, 1986. Digestibility in milkfish, *Chanos chanos* : Effects of protein source, fish size and salinity. *Aquaculture*, 59 : 93-105.
- Kuo, C. M., C. E. Nash and Z. H. Shehaden, 1973. Induced spawning of captive grey mullet, *Mugil cephalus* females by injection of human chorionic gonadotropin. *Aquaculture*, 1 : 429-432.
- Lee, C. S., C. S. Tamaru, C. D. Kelley, A. Moriwake, and G. T. Miyamoto, 1992. The effect of salinity on the induction of spawning and fertilization in the striped mullet, *Mugil cephalus*. *Aquaculture*, 101 : 289-296.
- Lee, C. S., C. S. Tamaru, C. D. Miyamoto, and C. D. Kelley, 1987. Induced spawning of grey mullet, *Mugil cephalus* by LHRHa. *Aquaculture*, 62 : 327-336.
- Leonard, J. B and R. G. Summer, 1976. The ultrastructure of the integument of the American eel, *Anguilla rostrata*. *Cell Tissue Res.*, 171 : 1-30.
- Liao, I. C., Y. J. Lu, T. L. Huang and M. C. Lin, 1971. Experiments on induced breeding of the grey mullet, *Mugil cephalus* Linnaeus. *Fish. Ser. Chin. -Am. jt Comm. rur. Reconstr.*, 11 : 1-29.
- Moon, H. Y., D. S. MacKenzie and D. M. Gatlin, 1994. Effect of dietary thyroid hormones on the red drum, *Sciaenops ocellatus*. *Fish. Physiol. Biochem.*, 12 : 369-380.
- Nash, C. E. and R. M. Koningsberger, 1981. Artificial propagation. In *Aquaculture of Grey Mulletts* (O.H. Oren, eds.), International Biological Programme, Cambridge University Press, New York. pp. 265-312.
- Nash, C. E. and Z. H. Shehaden, 1980. Review of breeding and propagation techniques for grey mullet, *Mugil cephalus*. *ICLARM Studies and Reviews* 3, Int. Cent. Living Aquatic Resources Management, Manila, pp. 87.
- Odum, W. E., 1970. Utilization of the direct grazing and plant detritus food chains by the striped mullet, *Mugil cephalus*. In *Marine Food Chains* (J.J. Steele, eds.), Oliver and Boyd, Edinburgh, pp. 222-240.
- Otto, R. G., 1971. Effects of salinity on the survival and growth of pre-smolt coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 28 : 343-349.
- Pandian, T. J., 1967. Intake, digestion, absorption and conversion of food in the fishes, *Megalopos cyprinoides* and *Ophiocephalus striatus*. *Mar. Biol.*, 1 : 16-32.
- Rao, G., 1968. Oxygen consumption of rainbow trout in relation to activity and salinity. *Can. J. Zool.*, 46 : 781-786.
- Saunders, R. L. and E. B. Henderson, 1969. Survival and growth of Atlantic salmon fry in relation to salinity and diet. *Fish. Res. Bd. Canada, Tech. Rep.*, 147 : 5 p.
- Thomson, J. M., 1963. Synopsis of biological data on the grey mullet, *Mugil cephalus*. *Fish. Synop. Div. Fish. Oceanogr. C.S.I.R. O. Australia*, (1)
- Walsh, W. A., C. Swanson, and C. S. Lee, 1991. Combined effects of temperature and salinity on development and hatching of striped mullet, *Mugil cephalus*. *Aquaculture*, 97 : 281-289.
- Zar, J. H., 1984. *Biostatistical Analysis*. 2nd.

- Prentice-Hall. pp. 718.
- 金善雄 · 徐亭喆 · 姜熙雄, 1993. 송어 種苗生産 技術開發試驗. 國立水産振興院 研究報告, 101 : 68 - 73.
- 위종환 · 장영진, 1976. 활어수송에 관한 기초적 연구 (I). 國立水産振興院 研究報告, 15 : 91 - 108.
- 高木俊祐 · 大林萬鋪, 1984. 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, 21 : 47 - 61.