

최 중
연구보고서

감성돔 담수양식기법 개발

Technique Development for Freshwater Culture of Black
Seabream, *Acanthopagrus schlegelii*

2004. 2

주관연구기관
부경대학교

해 양 수 산 부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “감성돔 담수양식기법 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 2월

주관연구기관명 : 부경대학교
총괄연구책임자 : 장 영 진
연 구 원 : 허 준 옥
 민 병 화
 조 필 규
 김 범 광
 장 해 진

협동연구기관명 : 순천향대학교
협동연구책임자 : 방 인 철
연 구 원 : 박 상 용
 이 윤 아
 김 동 준

참여기업명 : 아산양어장
연 구 원 : 신 홍 순

요 약 문

I. 제 목

감성돔 담수양식기법 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

한국의 담수어류 양식은 틸라피아, 잉어류가 주류를 이루고 있으나 과잉생산으로 인해 경제성이 낮으며, 최근 수입개방과 환경오염으로 담수양식산업이 어려움에 처해 있는 실정이다. 따라서 내수면 양식사업자들은 토착어종인 메기, 쏘가리, 동자개 등의 양식개발에 힘을 쏟고 있으나, 아직 기술적으로 어려운 실정에 놓여있어, 새로운 고가의 양식어종 개발은 내수면 어류양식에 있어 시급히 해결해야 할 중요한 과제이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근에 송어, 농어 등 일부 광염성 해산어류의 뛰어난 삼투압 조절능력을 응용한 담수순화 양식이 시도되고 있다. 이와 같이 해수산으로서 하천을 역류하는 어류의 담수순화 연구는 진행되고 있지만, 연안 해역에 서식하는 돔류와 같은 해산어류에 있어서 저염분에 대한 적응 및 담수순화를 시도한 연구는 아직 세계적으로 이루어진 바 없다.

광염성 해산어류인 감성돔의 완전한 담수순화 양식이 가능해진다면, ①내수면 어류양식의 활성화로 담수양식의 생산증대와 소득향상, ②해수어류의 질병치료 또는 역치료 가능성, ③다른 해산어류의 염분 스트레스 및 삼투압 조절에 관한 기초자료로 활용, ④연구기관 및 양식현장에서 어류의 생산성 향상을 위한 참고자료로 활용이 가능하다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

1. 담수순화 방법 연구

염분별, 발육단계별, 수온별, 담수수원별에 따른 생존율을 조사하여 감성돔의 담수순화 양식을 위한 첫 번째 단계로 순화 방법을 구명하고자 하였다.

2. 담수순화에 따른 생리학적 연구

연구에서는 해수에서 사육된 감성돔을 단계적인 염분변화와 급격한 염분변화를 통하여 담수로 순화시키는 과정에서, 혈장 cortisol 및 글루코스 농도, 이온 및 삼투질농도 등 감성돔 어체내에서의 스트레스 반응과 삼투압 조절능력을 조사하여 이를 바탕으로 어류가 감지하는 스트레스의 수준을 제시하는 등 감성돔 담수순화 양식에 따른 생리학적 반응을 연구하였다.

3. 장기사육에 따른 생리학적 연구

감성돔의 장기간 담수사육시 어체의 스트레스 반응 및 여러 생리학적 반응을 조사하며, 또한 성숙여부를 조사함으로써 담수에서 완전양식의 가능성 여부를 구명하고자 하였다.

4. 식품가치 및 경제성 평가 연구

담수 및 해수에서 사육한 감성돔 어육의 맛, 색깔, 냄새 등을 서로 비교하여 식품가치로서의 평가를 실시하였다. 또한, 감성돔의 담수양식에 따른 치어·성어의 생산단가 및 순이익률을 조사하여 경제성을 평가하였다.

IV. 연구개발결과

1. 담수순화 방법 연구

(1) 염분별

염분농도에 따른 치어의 전장 및 체중성장에 있어서는 평균간 큰 차이를 보이지 않았다. 증중량은 15.0‰에서 가장 높은 증중량을 나타내었다. 또한 사료효율에서도 30.0‰보다 0, 7.5, 15.0, 22.5‰에서 유의하게 높게 나타났으며, 0, 7.5, 15.0, 22.5, 30.0‰ 실험구에서의 생존율은 각각 91.3%, 95.3%, 94.0%, 92.7%, 98.7%였으나, 유의한 차이는 없었다.

중형어에서 증중량은 담수에서 $69.0 \pm 6.2\%$ 으로 해수에서 54.5%과 5.0‰에서 56.8%에 비해 약 15%의 높은 성장을 나타내었다.

(2) 발육 단계별

부화후 1~3주째의 자어는 담수수용 12시간 후 전량 폐사하였으며, 평균전장 1.5~1.8 cm 미만인 4주째의 자어는 20시간까지 생존후 점진적으로 폐사율이 늘어나 26시간만에 전량 폐사하였다. 그러나 2.8 ± 0.1 cm인 6주째의 감성돔 자어는 100% 생존율을 보였으며, 사료섭취, 배설 및 활력에 있어서도 문제점이 발견되지 않았다.

치어는 담수에 수용후 24시간 이후 11.0%의 생존율을 보인 이후 계속적으로 폐사 개체수가 증가하여 48시간 후에는 전량 폐사하였다.

중형어는 즉시 담수수용후 48시간째 13.0%의 낮은 생존율을 나타내었다. 그러나 5.0‰에 수용후 순차적으로 담수순화한 실험과 해수 수용후 순차적으로 담수순화한 실험에서는 48시간 후 100%의 생존율을 나타내었다.

(3) 수온별

수온별 염분변화에 따른 생존율은 0‰에서는 1시간만에 15, 20, 25℃에서 전량 폐사하였다. 10.0, 20.0‰에서는 24시간까지 모두 생존하였지만, 35.0‰에서는 15, 20, 25℃에서 각각 91.0, 93.0, 80.5%로 나타났다. 20℃에서 여러 염분조건에 따른 생존율은 2.0, 4.0, 6.0, 8.0‰에서 24시간째에 각각 54.3, 64.0, 99.0, 99.5%로 나타났다.

(4) 담수 수원별

① 35.0‰→ 5.0‰ 지하수(6일 수용)→ 0‰ 지하수: 염분이 5.0‰까지 변화하는 동안 실험어는 모두 생존하였지만, 실험 2일째에는 실험구에서 생존율이 37.5%로 매우 낮아졌으며, 염분이 0‰로 되는 7일째에는 25.7%였다.

② 35.0‰→ 5.0, 10.0‰ 지하수, 양어장수(3일수용)→ 0‰ 지하수: 모든 실험구의 염분이 0‰로 될 때까지 생존율은 거의 비슷하였지만 실험 5일째부터는 계속 감소하여 실험종료시에는 5.0‰-지하수구, 5.0‰-양어장수구, 10.0‰-지하수구, 10.0‰-양어장수구에서 생존율이 각각 50.0, 10.0, 50.0, 20.0%였다.

③ 35.0‰→ 10.0‰ 지하수(3일수용)→ 0‰ 지하수

35.0‰→ 10.0‰ 지하수(3일수용)→ 0‰ 양어장수

35.0‰→ 10.0‰ 양어장수(3일수용)→ 0‰ 지하수

35.0‰→ 10.0‰ 양어장수(3일수용)→ 0‰ 양어장수: 실험 2일째에 지하수-지하수구, 지하수-양어장수구의 생존율은 각각 30.0, 20.0%로 매우 낮았으며, 염분이 0‰로 되는 실험 4일째에는 전량 폐사하였다. 그러나, 양어장수구-지하수구, 지하수구-지하수구에서는 실험종료시까지 실험어가 모두 생존하였다.

④ 35.0‰→ 0‰ 지하수, 양어장수: 실험 2일째에 지하수구에서는 모두 폐사하였지만 양어장수구에서는 80.0%의 생존율이 나타났으며, 실험종료시에는 생존율이 60.0%였다.

⑤ 35.0‰→ 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0 및 35.0‰ 양어장수(3일 수용)→ 0‰ 양어장수: 35.0‰구 15.0‰구에서 실험 5일째에 각각 70.0, 87.5%, 실험종료시에는 각각 67.5, 77.5%로 나타났다.

⑥ 35.0‰→ 12시간동안 일정한 담수주입→ 5.0‰ 계곡수(1일 수용)→ 0‰ 계곡수: 염분인 5.0‰인 12시간째에는 생존율이 63.0%였으며, 염분이 0‰인 36시간째에는 46.0%였다.

⑦ 35.0‰→ 12시간동안 일정한 염분변화→ 5.0‰ 계곡수(1일 수용)→ 0‰ 계곡수: 24, 48, 72와 96시간째에 각각 66.0, 35.0, 18.0과 2.0%의 생존율을 나타내었다.

2. 담수순화에 따른 생리학적 반응 연구

감성돔의 담수순화 방법으로 단계적인 염분변화(Exp. I 과 II)와 급격한 염분변화를 주었을 때(Exp. III), 또한, 담수에서 다시 해수로 전환하였을 때(Exp. IV) 감성돔의 생리적 반응을 조사하였다.

Cortisol 농도는 Exp. I 에서 실험개시시에 13.0 ± 1.4 ng/mL였던 것이 5일째 29.5 ± 14.8 ng/mL로 유의하게 증가하였지만 10일째에 19.7 ± 1.6 ng/mL로 실험개시시 수준으로 회복되었다. Exp. II 에서는 실험개시시에 34.1 ± 7.7 ng/mL였던 것이 24시간째에 유의하게 증가하여 81.9 ± 9.1 ng/mL로 최고값을 나타내었다가 36시간째에는 52.9 ± 8.4 ng/mL로 실험개시시 수준으로 회복되었다. Exp. III 에서는 실험개시시에 9.8 ± 4.5 ng/mL였던 것이 12시간째에 유의하게 증가하여 117.8 ± 53.8 ng/mL로 최고값을 나타내었다가 48시간째에는 30.6 ± 5.4 ng/mL로 실험개시시 수준으로 회복되었다. Exp. IV 에서는 유의한 차이가 없었다.

글루코스 농도는 Exp. I ~ III 에서 cortisol과 동반 상승하는 경향이 나타났지만, Exp. IV 에서는 농도변화를 보이지 않았다. 삼투질 농도는 Exp. I 에서 5일째 감소하였으나 10일째에는 실험개시시 수준으로 회복되었다. Exp. II 에서 3시간째 유의하게 감소하였으나 6시간째에는 증가하였으며, 36시간째에 다시 감소하였다가 48시간째부터 증가하였다. Exp. III 에서는 실험종료시까지 계속적으로 감소하였다. Exp. IV 에서는 유의한 차이가 없었다. Ht는 Exp. I 에서는 유의한 차이가 없었다. Exp. II 에서는 3시간째 증가하였지만, 6시간째 실험개시시 수준으로 회복하였다. Exp. III 에서는 6시간째 증가하였다가 48시간째 실험개시시 수준으로 회복하였다.

3. 장기사육에 따른 생리학적 반응 및 성성숙 연구

Cortisol 농도는 담수 및 해수사육 기간중 각각 $5.6 \pm 1.3 \sim 10.5 \pm 9.9$ ng/mL, $3.4 \pm 1.3 \sim 4.8 \pm 3.7$ ng/mL로 유의한 차이가 없었다. 글루코스 농도는 90일째에 담수와 해수에서 각각 89.7 ± 10.8 mg/dL, 64.8 ± 11.4 mg/dL로 담수에서 유의하게 높았다. 삼투질 농도는 담수 및 해수사육 기간중 유의한 차이가 없었다. AST는 30일째에 각각 47.0 ± 9.6 IU/L, 13.3 ± 3.2 IU/L와 60일째에 각각 89.5 ± 0.7 IU/L, 38.5 ± 12.2

IU/L로 담수에서 유의하게 높았다.

실험종료시 담수와 해수에서 전장은 각각 18.0 ± 1.0 cm, 17.2 ± 0.4 cm, 체중은 102.7 ± 17.3 g, 83.5 ± 5.7 g으로 담수사육이 해수사육보다 성장이 빨랐다. 증중량은 담수와 해수에서 각각 1485.5 ± 415.8 g, 786.8 ± 23.6 g으로 담수사육이 해수사육 보다 유의하게 많았다. 일간 사료섭취율, 사료효율, 증중률, 일간성장률은 담수사육이 해수사육 보다 높았으나 유의한 차이는 없었다. 체성분 조성에서도 담수와 해수사육의 유의한 차이는 없었다. 생존율은 사육 30일째에 담수와 해수에서 각각 88.8%, 92.2%로 해수에서 높았으나, 실험종료시에는 80.2%, 73.7%로 담수사육이 해수사육 보다 높았다.

담수와 해수사육한 1년생 감성돔의 정소부위에서 정모세포군, 정세포군, 정자무리 등 여러 발달단계의 정자형성 과정을 나타내고 있었으며, 난모세포의 크기는 담수와 해수에서 각각 25.2 ± 5.0 μm , 23.8 ± 2.4 μm 로 담수사육에서 약간 컸다. 담수와 해수사육한 2년생 감성돔의 생식소를 비교한 결과, 모두 생식소내 난소조직과 정소조직은 완전히 분리되었다. 산란기인 5월에 정소부분은 현저히 발달하여 정액방출이 가능하였으며, 난소부분은 염색인기, 주변인기 난모세포로 발달하였다.

4. 식품가치 및 경제성 평가 연구

감성돔의 담수양식에 따른 대한 식품가치를 세미나 및 시식회를 통해 평가한 결과, 담수 및 해수에서 사육한 감성돔 어육의 투명감은 각각 1.4, 0.8, 단단함은 1.2, 1.6, 맛은 0.9, 1.0, 냄새는 모두 -0.1로 나타났다. 또한 근육 탄력도는 각각 $9,210$ g/cm², $9,987$ g/cm²로 해수에서 다소 높게 나타났으나 유의한 차이는 없었다.

담수에서 사육한 감성돔 치어 양성시 조수입에서 지출을 제외한 순수익률은 38.4%였으며, 상품어 양성시 36.9%로 산출되었다.

V. 연구개발결과의 활용계획

1. 해산어류의 담수순화 연구를 통하여 삼투압 조절에 대한 기초 생리현상을 밝힘과 아울러, 담수양식의 가능성 및 생산성을 파악함으로써, 현재 조방적으로 양식되고 있거나 유희지로 버려진 못, 저수지, 늪 등의 담수역에서의 양식에 활용할 것이다.
2. 담수에서 성숙한 어류로부터의 인공종묘 생산기술 개발에 활용할 수 있다.
3. 내수면 양식업계의 소득증대에 적용할 것이다.
4. 본 연구를 통해 얻어진 자료는 연구기관 및 실제 양식현장에서 어류의 생산성 향상에 관한 참고자료로서 활용할 것이다.
5. 담수에서 생산된 감성돔에 대한 품질평가와 사업성을 홍보하고, 내수면 양식업계에 담수양식 기술을 보급할 것이다.

S U M M A R Y

I . Title

Technique development for freshwater culture of black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*

II . Object and importance of the study

Over the world, recently, the studies on new fish species for possible commercial production are very active. In Korea, especially, the aquaculture industry in freshwater including dam-lakes in which prohibited culture production has been suffered from the decreased production amount and the lowered fish price. Therefore, requests for the development on freshwater culture techniques of euryhaline marine teleosts such as sea bass, *Lateolabrax maculatus*, black seabream, *Acanthopagrus schlegeli* and grey mullet, *Mugil cephalus* with relatively higher fish price have increased to resume normal condition of freshwater culture industry. To answer these requests, the freshwater culture techniques on those fishes are now successfully developing in Korea (Chu et al., 2000; Chang et al., 2001). Generally, it is possible that euryhaline marine teleost is relatively easy to be an aquacultural species, because of its high adaptability to the wide ranges of salinity and water temperature and to the rearing in tank and low expense for culture production. Moreover, euryhaline species is also suitable for the laboratory animal which makes the rearing in indoor closed water tank system easy. The black seabream was also found to be able to culture in freshwater as well as brackish water by the results of our earlier studies (Chang et al., 2002; Min et al., 2003). This fish is thus accepted to be a new aquaculture resource for the possible production in freshwater as well as

seawater. Moreover, black seabream occupies an important position as a species for sports fishing in the waters of east Asian countries such as Korea, Japan and China and the ecophysiological studies on the species will be the useful informations for development of techniques on environmental friendly fishing and stocking enhancement in the sports fishing.

III. Contents and scopes of the study

1. Methods of freshwater acclimation

This work was to investigate survival of black seabream on various salinities, size and source of freshwater.

2. Physiological responses to freshwater acclimation

This work was to investigate physiological responses, such as, cortisol, glucose, Na⁺, K⁺, Cl⁻, osmolality, aspartate aminotransferase (AST) alanine aminotransferase (ALT) and hematological factors to freshwater acclimation (the step-down, acute-down in salinity)

3. Physiological conditions and maturation of the fish to long-term rearing in freshwater

This work was to investigate physiological conditions (cortisol, glucose, Na⁺, K⁺, Cl⁻, osmolality, AST, ALT and hematological factors) and maturation (GSI, gonadal states, plasma, T and E₂, physical and chemical properties of seminal fluid) of the fish to long-term rearing in freshwater.

4. Evaluation of food value and economical efficiency

For evaluation of food value, this work was to compare appearance, texture, taste, flavor and muscular hardness of black seabream cultured in freshwater and seawater through the questionnaire.

Also, for evaluation of economical efficiency, to investigate the net profit of production on juvenile and adult size of black seabream cultured in freshwater.

IV. Results of the study

1. Methods of freshwater acclimation

(1) Survival to various salinities

There was no significant differences in total length and body weight of juvenile black seabream on various salinity. Weight gain was the highest in 15.0‰. Also, Food conversion efficiency was significantly higher in 0, 7.5, 15.0 and 22.5‰ than in 30.0‰. Survival in 0, 7.5, 15.0, 22.5 and 30.0‰ were 91.3, 95.3, 94.0, 92.7 and 98.7%, respectively, but showed no significant differences.

In adult black seabream, weight gain was the highest in freshwater ($69.0 \pm 6.2\%$), as compared with seawater (54.5%) and 5.0‰ (56.8%).

(2) Survival to size

In larvae black seabream, 1~3 weeks after hatching all died within 12 hours after freshwater transfer. 4 weeks after hatching all lived until 20 hours, but survival was decreased gradually, then 0% within 26 hours freshwater transfer. Survival of 6 weeks after hatching was 100% for 14 days after freshwater transfer.

In juvenile fish, survival was 11.0% at 24 hours after freshwater transfer, and

0% at 48 hours.

In adult fish, survival was 13.0% at 48 hours after immediately freshwater transfer, but 100% at 48 hours after gradually freshwater transfer, including from 5.0‰ to freshwater.

(3) Survival to various temperatures

Survival of larvae were 0% within 1 hour at 15, 20, 25°C in 0‰. Larvae survived until 24 hours in 10.0 and 20.0‰, but in 35.0‰, survival were 91.0, 93.0 and 80.5% at 15, 20, 25°C, respectively. Also, at 20°C, survival of fish in 2.0, 4.0, 6.0, 8.0‰ were 54.3, 64.0, 99.0, 99.5% at 24 hours, respectively.

(4) Survival to source of freshwater

① 35.0‰ → 5.0‰ underground water (UW) (keep 6 days) → 0‰ UW: black seabream survived until 5.0‰. But survival of fish was 37.5% at 2 days, 25.7% at 7 days (0‰).

② 35.0‰ → 5.0, 10.0‰ UW, culture farm water (CW) (keep 3 days) → 0‰ UW: survival were similar until 0‰ in all experimental group. But, it were decreased at 5 days, and then 50.0, 10.0, 50.0 and 20.0% in 5.0‰-UW, 5.0‰-CW, 10.0‰-UW, 10.0‰-CW, respectively, at end of the experiment.

③ 35.0‰ → 10.0‰ UW (keep 3 days) → 0‰ UW

35.0‰ → 10.0‰ UW (keep 3 days) → 0‰ CW

35.0‰ → 10.0‰ CW (keep 3 days) → 0‰ UW

35.0‰ → 10.0‰ CW (keep 3 days) → 0‰ CW: survival of fish of UW-UW and UW-CW were 30.0, 20.0%, respectively, at 2 days, all fish of these group died. But, all fish survived in CW-UW and CW-CW at end of the experiment.

④ 35.0‰ → 0‰ UW, CW: survival were 0, 80.0% in UW, CW respectively, at 2 days. At end of the experiment, 60.0% in CW.

⑤ 35.0‰→ 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0 and 35.0‰ CW (keep 3 days)→ 0‰ CW: survival were 70.0, 87.5% at 5 days, and 67.5, 77.5% at end of the experiment in 35.0, 15.0‰ respectively.

⑥ 35.0‰→ regular pouring of freshwater (for 12 hours), 5.0‰ valley water (VW) (keep 1 day)→ 0‰ VW: survival were 63.0% at 12 hours (5.0‰), 46.0% at 36 hours (0‰)

⑦ 35.0‰→ regular salinity change (for 12 hours), 5.0‰ VW (keep 1 day)→ 0‰ VW: survival were 63.0, 35.0, 15.0, 2.0% at 24, 48, 72 and 96 hours respectively.

2. Physiological responses to freshwater acclimation

Physiological responses (cortisol, glucose, Na⁺, K⁺, Cl⁻, osmolality, aspartate aminotransferase (AST) alanine aminotransferase (ALT), hematological factors) were investigated in the conditions of the step-down (Exp. I and II), acute-down (Exp. III) in salinity and transfer from freshwater (FW) to seawater (SW)(Exp. IV) of black seabream.

In Exp. I of step-down salinity, plasma cortisol levels was significantly increased from 13.0 ± 1.4 ng/mL at the beginning to 29.5 ± 14.8 ng/mL at 5 days and recovered to the basal level (19.7 ± 1.6 ng/mL) at 10 days. In Exp. II, its level was significantly increased from 34.1 ± 7.7 ng/mL at the beginning to 81.9 ± 9.1 ng/mL at 24 hours and recovered to the basal levels (52.9 ± 8.4 ng/mL) at 36 hours. In Exp. III of acute-down salinity, cortisol level was significantly increased from 9.8 ± 4.5 ng/mL at the beginning to 117.8 ± 53.8 ng/mL at 12 hours and recovered to the basal level (30.6 ± 5.4 ng/mL) at 48 hours. However, cortisol level was showed no significant difference in Exp. IV. Glucose showed a tendency of co-increase with cortisol in Exp. I ~ III, but there are no significant difference in Exp. IV. In Exp. I, osmolality was significantly decreased at 5 days, but recovered to the basal level at 10 days. In Exp. II, osmolality was significantly decreased at 3 hours, but increased 6 hours. Then, this was again

decreased at 36 hours, but began to recover at 48 hours. In Exp.III, osmolality continually decreased until the end of experiment. However, osmolality showed no significant difference in Exp.IV. Hematocrit (Ht) showed no significant difference in Exp. I. In Exp.II, Ht was increased at 3 hours, but decreased at 6 hours, then recovered to basal level at 48 hours.

3. Physiological conditions and maturation of the fish to long-term rearing in freshwater

Cortisol level was no significant difference during rearing in FW and SW. Glucose was significantly higher in FW than in SW at 90 days (FW: 89.7 ± 10.8 mg/dL, SW: 64.8 ± 11.4 mg/dL). Osmolality was no significant difference during rearing in FW and SW. AST was higher in FW than in SW at 30 days (FW: 47.0 ± 9.9 IU/L, SW: 64.8 ± 11.4 IU/L) and 60 days (FW: 89.5 ± 0.7 IU/L, SW: 38.5 ± 12.2 IU/L). At the end experiment, the growth in FW was higher than that in SW (total length: FW, 18.0 ± 1.0 cm, SW, 17.2 ± 0.4 , body weight: 102.7 ± 17.3 g, 83.5 ± 5.7 g). Weight gain in FW was significantly higher than that in SW (FW: 1485.5 ± 415.8 g, 786.8 ± 23.6 g). Body composition (protein, lipid, moisture, ash) showed no significant difference in FW and SW. Survival rate in SW was higher than that in FW (FW: 88.8%, SW: 92.9%) at 30 days, but it was higher in FW than in SW (FW: 80.2%, SW: 73.7%) at 60 days.

Spermatogenesis including spermatocytes, spermatids and spermatozoa stage was shown in testis of 1 year-black seabream reared in freshwater and seawater, size of oocytes were slightly bigger those of freshwater (25.2 ± 5.0 μm) than seawater (23.8 ± 2.4 μm). Gonad of 2 year-black seabream in freshwater and seawater were completely separated to testis and ovary part. In testis part, it was very ripe, and sperm was released in may as spawning period. Also, oocytes of the perinucleous stage and chromatin-nucleolus stage were observed in ovary part.

4. Evaluation of food value and economical efficiency

When the flesh of black seabream cultured in freshwater was compared with those cultured in seawater through the questionnaire, there were no significant difference between freshwater and seawater in appearance, texture, taste and flavor. Also, hardness of muscle was slightly higher in seawater (9,987 g/cm²) than in freshwater (9,210 g/cm²).

Economical efficiency from inland culture of black seabream (*Acanthopagrus schlegelli*) was analyzed. Main factors influence to deciding of productivity analyzing for economical efficiency were gross production, purchasing cost of seedling, feed efficiency, survival rate, depreciation of facilities and other production cost. The net profit of first year from seedling and second year from 100 g weight to marketable size in inland culture of black seabream were 38.4% and 36.9%, respectively.

V. Practical use

1. The results of this study can be used for freshwater culture in pond, stream, reservoir as well as swamp.
2. The development of artificial seeding production can be used from a matured black seabream in freshwater.
3. The income can be expected to increase in the inland aquaculture industry.
4. The results of this study can be used for practical data in real educational field.
5. We will inform fishery person about evaluation of fish quality and a economical efficiency of cultured black seabream in freshwater, and will supply the technique which is freshwater culture of the fish to the inland aquaculture industry.

Contents

Chapter 1. Introduction	1
1. Necessities of the research	1
2. Objective of the research	4
Chapter 2. Technical status of domestic and foreign states	5
Chapter 3. Contents and results of the research	6
1. Methods of freshwater acclimation	6
2. Physiological responses to freshwater acclimation	35
3. Physiological conditions and Maturation of the fish to long-term rearing in freshwater	73
4. Evaluation of economical efficiency and food value	98
Chapter 4. Achievement and expectable effects of the research	112
Chapter 5. Application plans of the results	114
Chapter 6. References	118

목 차

제1장 연구개발 과제의 개요	1
제1절 연구개발의 필요성	1
1. 기술적 측면	1
2. 경제·산업적 측면	2
3. 사회·문화적 측면	3
제2절 연구개발의 목표	4
제2장 국내외 관련기술 개발현황	5
제3장 연구개발 수행내용 및 결과	6
제1절 담수순화 방법	6
1. 서 론	6
2. 재료 및 방법	7
가. 염분별 생존율 및 성장	7
(1) 치어	7
(2) 중형어	8
나. 발육단계별 생존율 및 성장	8
(1) 자어	8
(2) 치어 및 중형어	8
다. 체성분 분석 및 지방산 조성	9
라. 수온별 생존율	9
마. 담수 수원별 생존율	9
3. 결 과	14
가. 염분별 생존율 및 성장	14
(1) 치어	14

(2) 중형어	14
나. 발육단계별 생존율 및 성장	18
(1) 치어	18
(2) 치어 및 중형어	22
다. 체성분 분석 및 지방산 조성	22
라. 수온별 생존율	23
마. 담수 수원별 생존율	27
4. 고 찰	31
제2절 담수순화에 대한 생리적 반응	35
1. 서 론	35
2. 재료 및 방법	36
가. 실험어	36
나. 염분변화 방법	37
(1) 단계적 염분변화	37
(2) 급격한 염분변화	37
다. 혈액의 채취와 분석	37
라. 아가미의 조직학적 관찰	39
(1) 광학현미경 관찰	39
(2) 전자현미경 관찰	39
마. 통계 분석	39
3. 결 과	40
가. 단계적 염분변화에 대한 생리적 반응	40
(1) 혈장의 cortisol 및 글루코스 농도	40
(2) 혈장의 이온(Na^+ , K^+ 및 Cl) 농도	43
(3) 혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT	46
(4) 혈액의 일반성상(Ht, RBC 및 Hb)	49

(5) 아가미의 구조	52
(6) 생존율	53
나. 급격한 염분변화에 대한 생리적 반응	54
(1) 혈장의 cortisol 및 글루코스 농도	54
(2) 혈장의 이온(Na^+ , K^+ 및 Cl^-) 농도	57
(3) 혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT	60
(4) 혈액의 일반성상(Ht, RBC 및 Hb)	63
(5) 아가미의 구조	66
(6) 생존율	67
4. 고 찰	69
제3절 장기간 담수사육에 따른 생리적 반응 및 성 성숙	73
1. 서 론	73
2. 재료 및 방법	74
가. 실험어 및 사육조건	74
나. 혈액의 채취와 분석	76
다. 정액의 채취와 분석	76
라. 산소소비량 측정	77
마. 아가미, 근육 및 생식소의 조직학적 관찰	77
바. 어체의 일반성분 분석	77
사. 성장 및 생존율 조사	78
아. 통계 분석	78
3. 결 과	79
가. 혈장의 cortisol 및 글루코스 농도	79
나. 혈장의 이온(Na^+ , K^+ 및 Cl^-) 농도	79
다. 혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT	81
라. 혈액의 일반성상(Ht, RBC 및 Hb)	81

다. 아가미와 근육의 구조	81
바. 생식소의 발달	85
사. 산소소비량	89
아. 어체의 일반성분 조성	89
자. 성장 및 생존율	90
4. 고 찰	93
제4절 담수사육에 따른 감성돔의 식품가치 및 경제성	98
1. 서 론	98
2. 재료 및 방법	99
가. 식품가치 평가	99
(1) 근육의 탄력도 및 강도	99
(2) 식품가치 평가를 위한 설문조사	99
나. 경제성 분석	104
3. 결 과	104
가. 식품가치 평가	104
(1) 근육의 탄력도 및 강도	104
(2) 식품가치 평가를 위한 설문조사	106
나. 경제성 분석	107
(1) 치어(중간종묘)	107
(2) 상품어(육성어)	107
4. 고 찰	110
제4장 목표달성도 및 기대효과	112
1. 연도별 연구개발 목표 및 달성도	112
가. 1차년도	112
나. 2차년도	112

다. 3차년도	112
2. 기대효과	112
가. 기술적 측면	112
나. 경제·산업적 측면	113
제5장 연구개발 결과의 활용계획	114
1. 활용방안	114
2. 연구성과 활용	114
가. 산업재산권	114
나. 국내외 전문학술지 게재	114
다. 국내 및 국제 학술회의	115
라. 교육 및 세미나 활용	116
마. 홍보실적	116
3. 활용계획 모식도	117
제6장 참고문헌	118

제1장 연구개발 과제의 개요

제1절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

우리나라의 장마기간은 보통 6~7월 중순이며, 이 기간이 지나면 많은 비를 동반한 태풍이 8월경에 여러 차례 찾아오는 실정이다. 장마기간중 집중호우로 인한 연안해역의 급격한 저염분 현상은 많은 양식장에서 이미 경험한 바 있고, 실제 양식생산에 있어 좋지 않은 결과를 초래할 수 있다. 환경수의 변화중 염분변화는 어체의 삼투압의 변화를 유도하고, 이때 어류는 염분변화에 대처하기 위하여, 항상성(homeostasis) 유지측면의 삼투압 조절을 한다. 이러한 환경수의 염분변화에 따라 어류는 일정한 체내 삼투압 유지를 위하여 수분과 세포내 염류 및 영양물질의 농도를 조절하려고 한다(Morgan and Iwama, 1991).

이러한 측면에서 해산어류의 담수순화에 관한 연구는 일부 광염성 어종에 대해 수행되어 왔으나 극히 미비한 실정이다. 담수순화에 관한 연구들은 아가미 구조적 연구, 내분비학적 연구 등이 연어과 어류의 회유시에 밝혀진 바 있으나(Chen and Lin., 1994; Kaiser, 1992; Olsen et al., 1993), 다른 해산어류의 양식에 대한 생리학적 연구는 부족하여 산업적으로 응용 할 수 있는 자료는 없다. 그러므로 이러한 삼투압 조절능력 등이 실제 산업에 이용되려면 각각의 양식유용종에 대한 상세한 연구가 필요하다. 즉 각 어종의 염분내성, 삼투압 조절능력, 염분변화에 따른 생존 및 성장 그리고 삼투압 조절기능을 향상시키기 위한 물리적, 화학적, 생리학적 연구 등이 먼저 선행되어야 할 것이다. 이러한 문제에 대한 연구 결과가 도출된 이후에 산업적 응용의 길을 모색하여야 할 것이다.

따라서, 담수순화에 관한 연구는 유용 양식종의 생리학적 성질에 관한 기초자료를 제공하고, 이러한 자료를 바탕으로 양식현장에 응용함으로써, 유향 내수면 및 기수

성 양식장에서 광염성 해수어류인 감성돔을 사용하여 담수양식이 가능한지를 검토할 필요성이 있다. 이러한 광염성 어류의 담수양식 기술이 개발된다면, 침체된 담수양식 산업의 새로운 활로가 개척될 수 있다.

2. 경제·산업적 측면

우리나라의 양식산업은 그 동안 패류와 해조류의 생산에 큰 비중이 주어져 왔으나, 1980년대부터 어류양식으로의 전환이 활발하게 시도되어 왔다. 어류양식은 해산어류와 담수어류의 양식으로 나뉘어지는데, 해산어류 양식에서는 그동안 육·해상에서 원활하게 성장하며 생존율도 높은 넙치의 양식이 이미 산업화되었고, 뒤이어 조피볼락(우럭)의 양식 또한 경제성이 있는 단계로까지 접어들었다.

그러나, 최근에 와서는 양식현장에서 새로운 양식품종의 개발에 대한 수요가 급증하고 있어 양식관련 연구계 및 산업계에서는 넙치, 조피볼락 이외의 어종개발에 많은 관심을 쏟고있는 실정이다. 새로운 양식대상 어종으로는 능성어, 농어, 숭어 및 감성돔 등이 부각되고 있는데, 능성어류는 성숙 및 채란이 매우 어려워 그 개발이 지연되고 있으나, 농어, 숭어 및 감성돔은 양식방법이 비교적 간편하여 대량 종묘생산의 단계까지 진입하고 있다. 특히, 농어, 숭어 및 감성돔은 삼투압 조절이 우수한 광염성 어류로서 우리나라의 연안환경에 비교적 알맞은 적정 양식대상 어종이다.

한편 담수어류 양식에서는 그동안 자연산 종묘의 채포에 의한 뱀장어의 양식을 위시하여 외국 도입종인 이스라엘잉어(향어)와 틸라피아의 양식이 내륙의 댐호, 저수지 및 탱크사육 시설에 의해 실시되어 왔다. 그러나 댐호에서의 담수어 양식은 수질오염의 원인이 된다하여 그 생산이 위축되고 있음은 물론, 가격마저도 크게 하락하여 채산성이 맞지 않는 등 여러 가지 문제점이 노정되어 왔다. 따라서 내수면 양식사업자들은 국산 토착어종인 메기, 쏘가리, 동자개 등의 양식개발에 힘을 쏟고 있으나, 아직 기술적으로 어려운 실정에 놓여있어, 생산력이 잉어류에 버금가면서도 고급어류로 인정받는 새로운 양식대상종의 선택에 크게 부심하고 있다.

최근 우리나라에서는 전술한 광염성 어류의 우수한 삼투압 조절능력을 활용하여 담수양식을 시도하려는 움직임이 있음을 볼 때, 이들 광염성 어류를 사용하여 담수

순화에 관한 기초자료를 얻는 것이 매우 중요하다. 따라서 담수순화 양식을 위한 삼투압 조절기구를 활용한 담수순화 양식기술에 관한 연구개발을 시행하여 내수면 양식산업의 활성화에 도움을 줄 필요성이 제기된다.

3. 사회·문화적 측면

최근 국내의 담수어류 양식산업은 댐호의 가두리 양식장 철거와 수입개방에 의한 중국산 담수어류의 대량 반입으로 내수면 양식산업의 경쟁력이 떨어져 존폐위기에 처해있다. 이에 대한 대책의 일환으로 광염성 해수어류를 유향 내수면 및 기수성 양식장에서 담수 및 기수순화 양식하려는 시도가 이루어지고 있다.

이러한 광염성 어류의 삼투압 조절능력을 응용하여 담수어를 해수순화 양식하려는 움직임은 틸라피어나 송어, 연어 등에서 연구되고 있다. 틸라피아의 경우, 해수사육에 의해 얻을 수 있는 장점은 내병성과 육질의 개선에 있다. 또한 국내 일부 양식사업가는 무지개송어를 해수 순화하여 양식함으로써, 틸라피아와 같은 장점을 얻고자 해수양식을 시도한 바 있다. 그러나 이들 담수어류의 해수순화 양식에 있어 순화 방법, 사육기술 및 사료개발의 측면에서 그 연구결과는 거의 발표된 바 없어 체계적인 해수순화 양식기술의 개발이 요구되는 실정이다.

그러므로, 앞서 서술한 광염성 어류들은 우리나라의 해양환경에 적합한 양식종이므로 국민들의 식량자원으로 중요한 위치를 점할 수 있다. 이러한 광염성 어류를 인위적으로 담수에 순화하여 양식하는 기술이 개발된다면, 어류의 횡감소비에 새로운 자원으로 등장할 가능성이 높다. 아직 담수양식한 어류의 육질, 맛 등을 평가할 수 없지만, 해산 어류에 비해 맛이 떨어지지 않는다면, 국민의 식문화 패턴에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

제2절 연구개발의 목표

광염성 어류의 우수한 삼투압조절 기능을 응용하여 유용 해산 양식어종인 감성돔의 생리활성에 영향을 미치지 않는 체계적 담수순화 방법을 구명하고, 나아가 양식 현장에서 적용할 수 있는 담수양식 기법을 체계적으로 연구함으로써, 양식장 축소 및 저가어류의 생산 등으로 어려운 여건에 놓인 내수면 양식산업에 새로운 양식어종을 개발·보급하는 기틀을 제공하는 데 목표를 두었다.

제2장 국내외 관련기술 개발현황

국외의 삼투압 조절을 응용한 연구는 연어과 어류와 일부 담수어류에서 생물학적인 기초연구만 수행되고 있으며 특히, 해수적응에 따른 아가미 염류세포의 미세구조적 연구 및 혈장 호르몬과 이온 등의 변화와 그것에 미치는 내분비학적 연구들이 그 대부분을 차지한다(Bakke et al., 1991; Foo and Lam, 1993; Madesen and Naamansen, 1989; Mancera et al., 1993; Martine et al., 1993; Mcleese et al., 1994; Richman et al., 1987; Soengas et al., 1992; Thomas et al., 1991; Williams and Wigham, 1994). 그러나 담수순화 양식기술은 매우 취약한 단계에 있으며, 삼투압 조절능력을 바탕으로 산업현장에서의 해산어류의 담수순화 응용은 현실적으로 이루어지지 않고 있는 실정이다.

한편 국내에서는 광염성 해산어류의 담수순화 양식에 관한 기초연구는 송어를 대상으로 염분별 사육실험을 일부 실행하고 있으며(Chang and Hur, 1999; Hur and Chang, 1999), 담수어류인 틸라피아를 해수에 순화시켜 육질을 향상시킴으로써 상품의 질을 향상시킨 사례와 무지개송어를 해수에 순화시켜 사육한 사례가 있으나 기반 지식의 부족으로 이렇다할 성과는 얻지 못한 실정이다. 특히 삼투압 조절기구를 응용하여 체계적인 해산어류의 담수양식은 국내·외적으로 산업적 실용화를 꾀한 사례는 아직 없다.

제3장 연구개발 수행내용 및 결과

제1절 담수순화 방법

1. 서론

해산어류의 담수순화시 사육수의 염분변화는 삼투압 조절에 영향을 미침으로써, 이온과 수분 평형에 혼란을 일으키며 어체의 생리조건 악화 및 성장지연을 초래하는 것으로 알려져 있다(Singly and Chavin, 1971). 어류는 환경수의 염분변화에 대처하기 위해 삼투압 조절로 체내의 항상성을 유지하려고 한다(Morgan and Iwama, 1991). 어류의 삼투압 조절과 관련하여 툴라피아(Fontainhas- Fernandes et al., 2001)와 연어과 어류(Lasserre et al., 1978)에서 염분변화에 따른 아가미 염류세포의 구조적 변화, Na^+ , K^+ -ATPase 활성과 삼투질 농도의 변화 및 삼투압 조절능력을 향상시키기 위한 성장호르몬, 갑상선호르몬 등의 내분비학적 연구가 이루어진 바 있다. 또한, 사육수의 급격한 염분변화는 어체의 스트레스 반응을 초래하여 질병에 대한 저항력, 성장 및 생존율을 감소시키는 원인이 되기도 한다. 따라서, 해산어류의 담수순화시 그 대상으로 염분내성에 강한 어종의 생리·생태를 파악하는 생물학적 연구, 스트레스를 최소화할 수 있는 염분변화의 방법을 파악하는 물리학적 연구, 수질 등을 파악하는 화학적인 연구가 선행되어야 할 것이다. 광염성 해산어류의 완전한 담수순화 양식이 가능해진다면, ①내수면 어류양식의 활성화로 담수양식의 생산증대와 소득향상, ②적조, 태풍 등의 자연재해로 인한 해수어류 공급부족시 보충효과, ③해수어류의 질병치료 또는 역치료 가능성, ④다른 해산어류의 염분 스트레스 및 삼투압 조절에 관한 기초자료로 활용, ⑤연구기관 및 양식현장에서 어류의 생산성 향상을 위한 참고자료로 활용이 가능하다.

한국에서 감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*)은 송어, 농어와 함께 유용양식 대상어류이자 광염성 해산어류 알려져 있으며, 최근 담수순화 양식을 위한 연구가 진행되고 있기는 하나, 염분변화에 따른 생리상태, 담수순화의 방법, 사육환경 등 아직까지 담

수양식 기법개발을 위한 기반지식이 확립되어 있지 않은 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 염분별, 발육단계별, 수온별, 담수 수원별에 따른 생존율을 조사하여 감성돔의 담수순화 양식을 위한 첫 번째 단계로 담수순화 방법을 구명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 염분별 생존율 및 성장

(1) 치어

본 실험에 사용된 감성돔 자치어 종묘생산은 순천향대학교 해양수산연구소 육상수조(φ 7 m)에 수정란을 수용하여 부화하였다. 부화된 감성돔 자치어의 사육은 영양 강화한 로티퍼, *Artemia nauplius* 및 배합사료를 공급하면서 사육하였다(Table I-1).

감성돔 치어를 염분도별 성장효과 및 사료효율을 실험하기 위하여 순천향대학교 해양수산연구소에서 생산된 감성돔 치어(전장 5.9 ± 0.1 cm)를 0, 7.5, 15.0, 22.5, 30.0‰의 실험구를 설정한 후, 각 실험구별로 50마리씩 3반복으로 10주간 실험하였다. 2주 간격으로 실험구별로 20마리씩 무작위로 선별하여 전장, 체장 및 체중을 측정하였다. 성장자료를 이용하여 증중량, 사료효율, 일간성장률, 일간 사료섭취량을 아래와 같이 계산하였다.

● 증중량(Weight gain, %)

$$= \frac{\text{최종총체중(g)} - \text{최초총체중(g)}}{\text{최초총체중(g)}} \times 100$$

● 사료효율(Feed efficiency, %)= 증중량(g)×100/사료섭취량(g)

● 일간성장률(Daily growth rate, %)

$$= \frac{\text{증중량(g)} \times 100}{[(\text{최초총체중} + \text{최종총체중}) \times \text{사료공급일수} / 2]}$$

● 일간 사료섭취량(Daily feeding intake, %)

$$= \frac{\text{사료공급량(g)} \times 100}{[(\text{최초총체중} + \text{최종총체중}) \times \text{사료공급일수} / 2]}$$

(2) 중형어

순천향대학교 해양수산연구소 육상수조에서 사육한 감성돔 중형어(전장 20.2 ± 1.5 cm, 체중 142.0 ± 3.9 g)를 사용하여 0, 5.0, 30.0‰의 염분농도별 실험구를 설정한 후, 각 실험구별로 50마리씩 3반복으로 8주간 실험하였다. 실험구별로 20마리씩 무작위로 선별하여 전장, 체장 및 체중을 2주간격으로 측정하여 증중량, 사료효율, 일간성장률, 일간 사료섭취량을 분석하였다.

Table I-1. Proximate composition on the black seabream feed* used for growth and survival to various salinities

	Ingredients (%)						
	Crude protein	Crude lipid	Crude fiber	Crude ash	Crude calcium	Crude phosphorus	Vitamine premix
Proximate composition	> 42.0	> 5.0	< 4.0	< 17.0	> 1.0	< 2.7	0.7

*Provided by Korea Speical Feed Meal Co., Ltd., Inchon, Korea.

나. 발육단계별 생존율 및 성장

(1) 자어

급격한 염분변화에 대한 내성을 발육단계별로 조사하기 위하여 부화 후 1, 2, 3, 4, 5, 6주째의 감성돔 자어를 염분농도 0, 7.5, 15.0, 22.5, 30.0‰의 실험구에서 4주간 실험하였다. 각 실험구별 생존율은 실험개시시와 실험종료시 생존 개체수를 계수하여 산출하였다. 또한 모든 실험에서 염분농도 이외에는 모든 사육 조건을 동일하게 유지하였다.

(2) 치어 및 중형어

해수에서 종묘 생산된 감성돔 치어(전장 8.6 ± 1.2 cm, 체중 10.7 ± 1.2 g) 및 만 1년 된 중형어 감성돔(전장 20.2 ± 1.5 cm, 체중 142.0 ± 3.9 g) 300마리를 사용하여 3가지

담수순화 방법을 실험하였다. 첫째 해수에서 즉시 담수로 옮겨졌을 때, 둘째 해수에서 5.0‰로 옮겨 24시간동안 유지한 다음 24시간만에 순차적으로 담수로 전환했을 때, 셋째 해수에서 순차적으로 48시간만에 담수로 전환했을 때로 설정하여 24시간 및 48시간 후 생존율을 조사하였다.

다. 체성분 분석 및 지방산 조성

다양한 염분도에 따른 성장실험 후 각 실험구별로 5마리씩 무작위로 추출하여 일반 체성분과 지방산을 분석하였다. 실험어의 체성분 분석은 AOAC (1995)의 방법에 따라 수분은 상압가열건조법(105℃, 4시간), 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법($N \times 6.25$), 조지방은 Soxhlet 추출법, 조회분은 직접회화법을 이용하였다.

지방산 분석은 Folch et al. (1957)의 방법으로 총지질을 추출하였고, Juaneda와 Rocquelin (1985)의 방법에 따라 SEP-PAK silica cartridge (Waters Associates, milford, MA)를 사용하여 총지질을 chloroform과 methanol로 비극성 지질과 극성지질로 분리 비교하였다.

라. 수온별 생존율

다양한 염분농도에 따른 감성돔의 수온별 생존율을 조사하기 위하여 감성돔 치어(전장 2.3 ± 0.5 cm, 체중 0.5 ± 0.2 g)를 사용하여 15, 20, 25℃에서 각각 0, 10.0, 20.0, 35.0‰로 염분농도를 설정하여 24시간 동안 생존율을 조사하였으며, 또한 20℃에서 2.0, 4.0, 6.0, 8.0‰의 염분별 생존율을 조사하였다.

마. 담수 수원별 생존율

담수 수원별에 따른 감성돔의 생존율을 조사하기 위해 감성돔 치어(전장 5.9 ± 0.5 cm, 체중 5.6 ± 1.4 g) 600마리를 사용하여 Exp.①~⑦로 구분하여 실험하였다. 실험에 사용한 지하수와 양어장수의 수질은 Table I-2와 같다.

①은 실험어를 해수에서 즉시 5.0‰ 지하수(underground water: UW)에 수용하여 6일 후에 0‰의 지하수로 옮겨 32일간 사육하였다(Fig. I-1).

②는 실험어를 해수에서 즉시 5.0%와 10.0%의 지하수와 양어장수(culture farm water: CW)에 수용하여 3일 후에 0%의 지하수로 옮겼다(Fig. I -2).

③은 해수에서 즉시 10.0%의 지하수와 양어장수로 수용하여 3일 후에 다시 0%의 지하수와 양어장수로 옮겼다(Fig. I -3).

④는 해수에서 즉시 0%의 지하수와 양어장수로 옮겼다(Fig. I -4).

⑤는 해수에서 즉시 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 25.0 및 35.0%의 지하수로 수용하여 3일 후에 다시 0%의 지하수로 옮겼다(Fig. I -5).

⑥과 ⑦은 해수에 사육하던 어류를 각각 일정한 담수주입과 일정한 염분변화를 주어 12시간만에 5.0% 계곡수(valley water)로 염분을 낮추었으며, 다시 24시간 후에 0%의 계곡수가 되도록 하였다(Fig. I -6, 7).

Table I-2. Water quality of underground water and culture farm water

Items	Underground water	Culture farm water
pH	6.2	7.3
Ammonia (ppm)	0.01	0.3
Nitrite (ppm)	0.021	0.057
Nitrate (ppm)	4.8	8.6

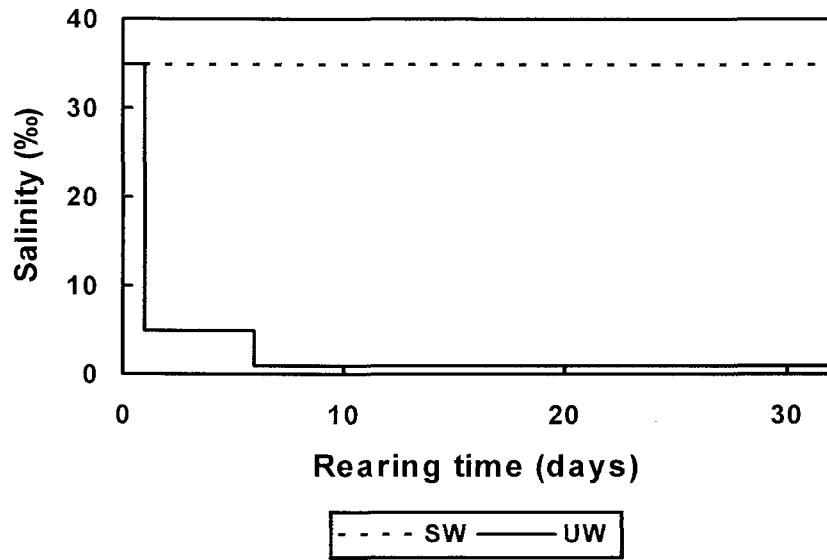


Fig. I-1. Salinity changes designed with underground water in Exp.①.

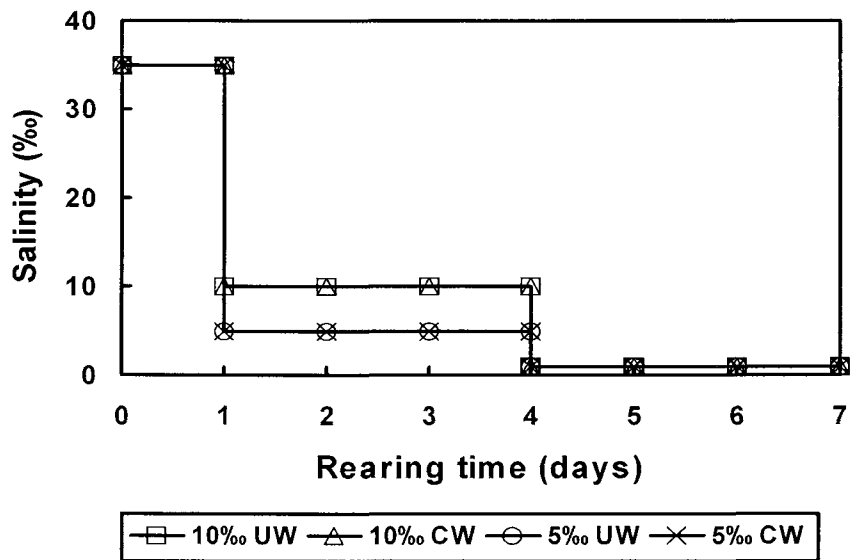


Fig. I-2. Salinity changes designed with underground water and culture farm water in Exp.②.

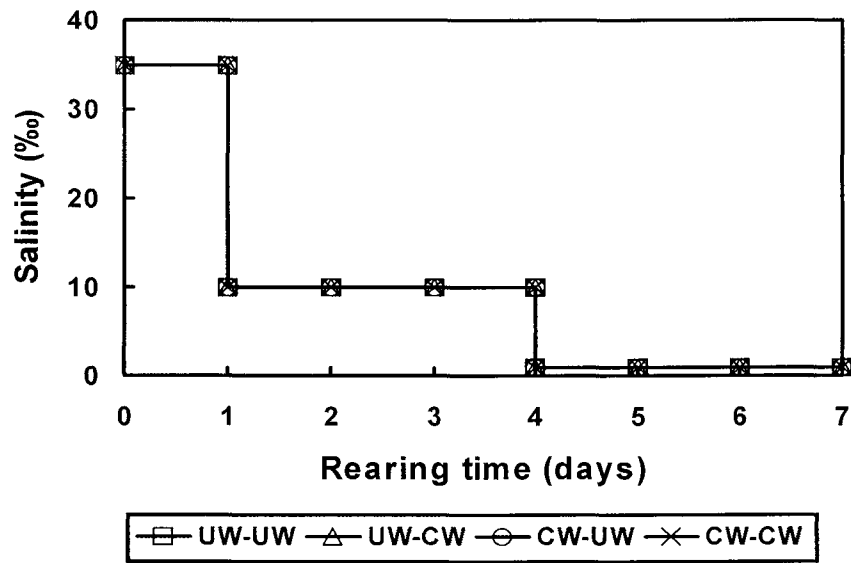


Fig. I-3. Salinity changes designed with underground water and cultur farm water in Exp.③.

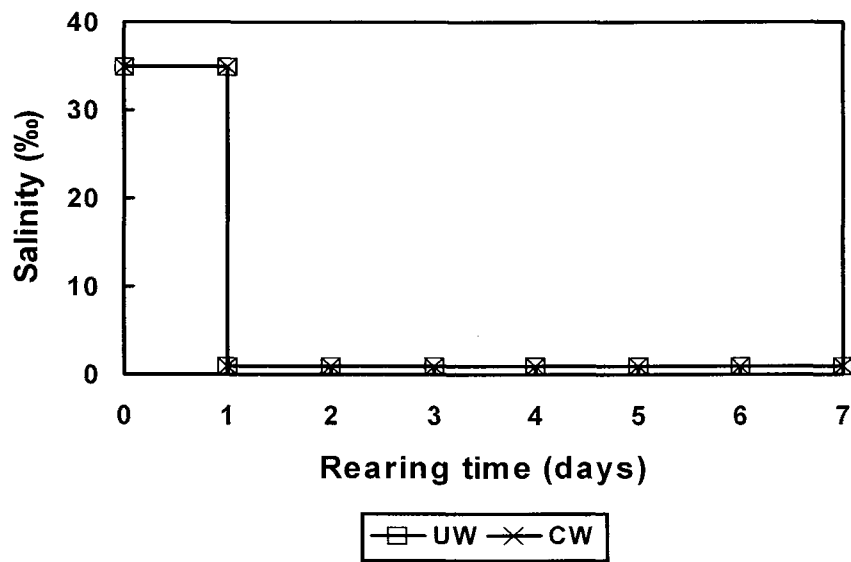


Fig. I-4. Salinity changes designed with underground water and culture farm water in Exp.④.

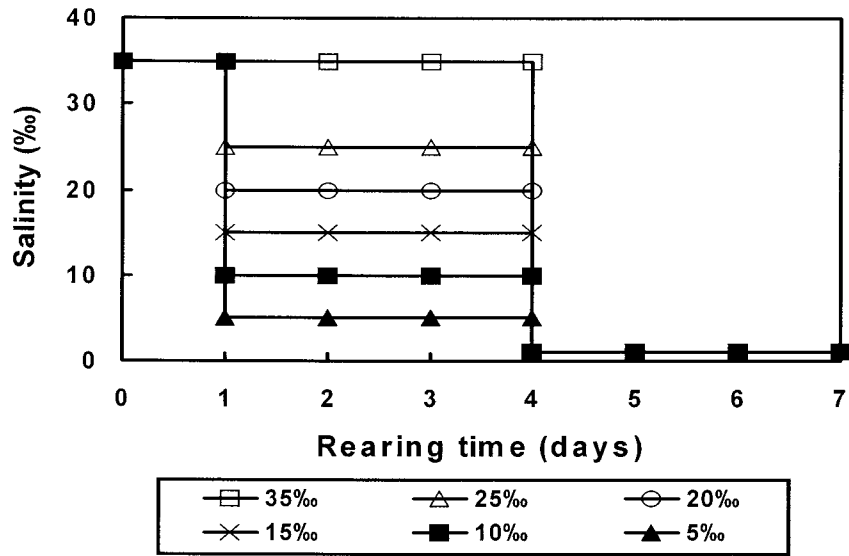


Fig. I-5. Salinity changes designed with underground water in Exp.⑤.

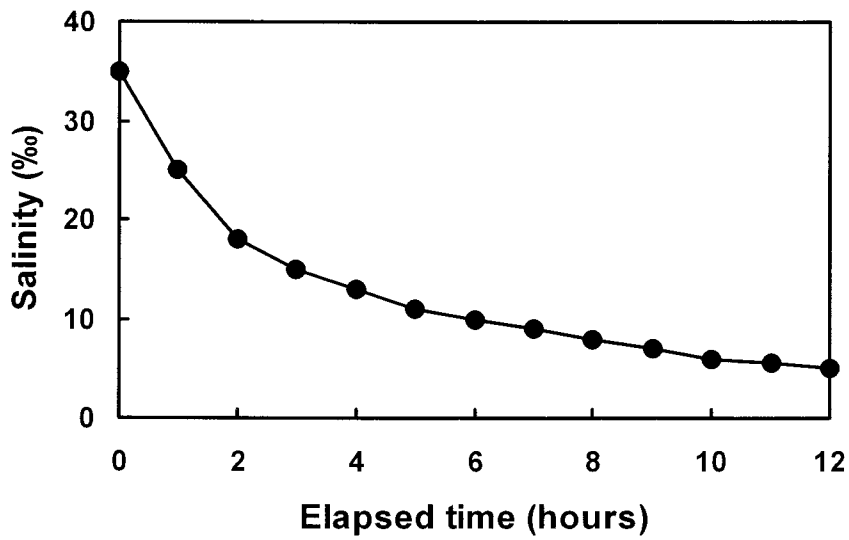


Fig. I-6. Salinity changes designed with valley water in Exp.⑥.

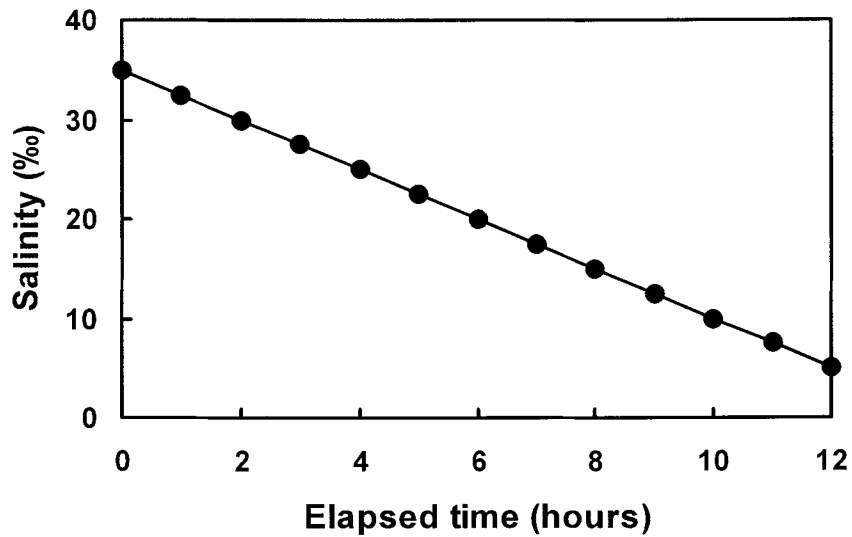


Fig. I -7. Salinity changes designed with valley water in Exp.⑦.

3. 결 과

가. 염분별 생존율 및 성장

(1) 치어

실험종료후 각 실험구의 평균체중에서는 큰 차이를 보이지 않았으나 ($P>0.05$)(Fig. I -8), 증중량은 30.0‰비해 0, 7.5, 15.0, 22.5‰에서 높게 나타났으며, 15.0‰에서 가장 높았다($P<0.05$). 또한 사료효율에서도 30.0‰보다 0, 7.5, 15.0, 22.5‰에서 유의하게 높게 나타났으며($P<0.05$)(Table I -3), 실험기간 동안의 생존율은 0, 7.5, 15.0, 22.5, 30.0‰에서 각각 91.3, 95.3, 94.0, 92.7, 98.7%를 보였으나, 유의한 차이는 없었다 ($P>0.05$)(Fig. I -8).

(2) 중형어

0, 5.0 및 30.0‰의 사육환경에서 감성돔 중형어의 성장 및 생존율을 8주까지 실험한 결과, 증중량은 0‰에서 $69.0 \pm 6.2\%$ 으로 5.0‰에서 56.8%, 30.0‰에서 54.5%에 비해 약 15%의 높은 성장을 나타내었으며, 사료효율 및 일간성장률에 있어서도 0‰에서 다소 높게 나타났다(Table I -4). 또한 실험기간 동안 전장 및 체중의 변화에 있어 유의한 차이는 없었다($P>0.05$)(Fig. I -9).

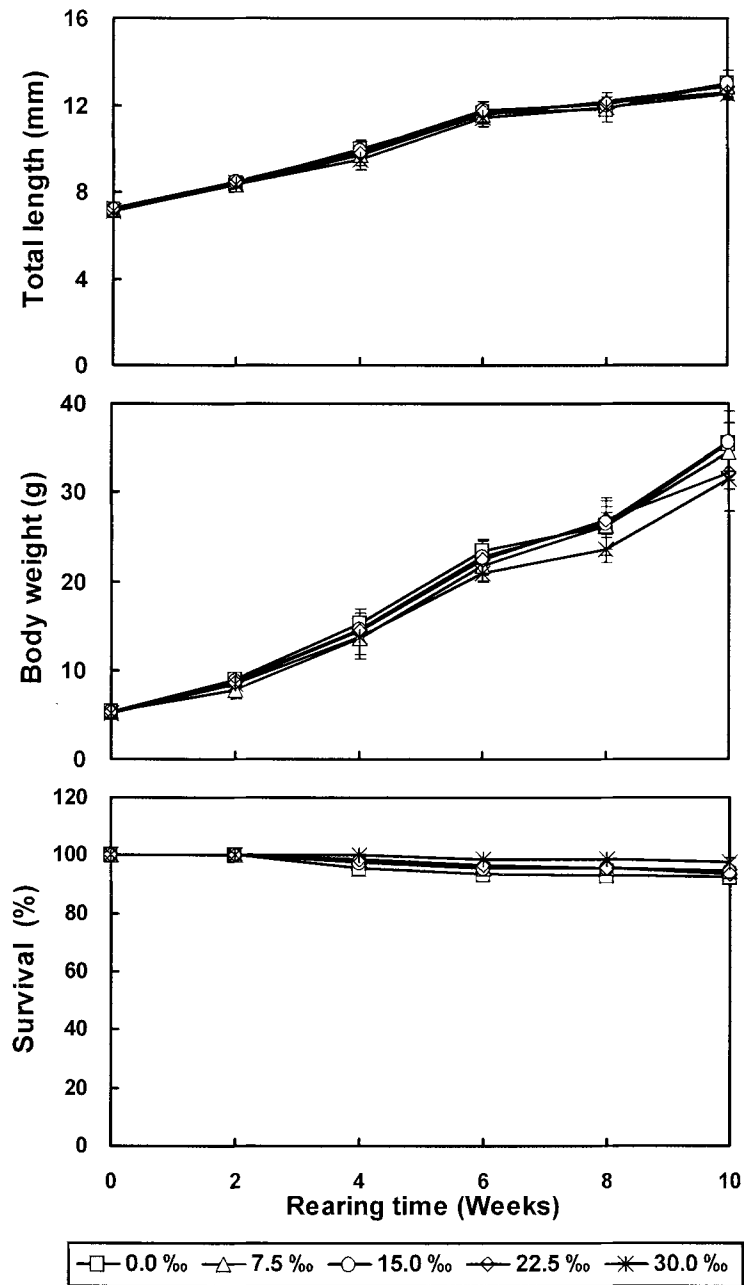


Fig. I-8. Effects of various salinities in growth of total length, body weight, and survival in juvenile black seabream during 10 weeks.

Table I-3. Growth performance of juvenile black seabream seedlings reared various salinities for 10 weeks

	Salinity (‰)				
	0	7.5	15.0	22.5	30.0
Initial mean weight (g)	5.5±0.1 ^a	5.6±0.1 ^a	5.5±0.1 ^a	5.6±0.1 ^a	5.6±0.1 ^a
Final mean weight (g)	35.6±0.6 ^a	34.6±3.2 ^a	35.7±3.4 ^a	32.3±1.8 ^a	31.5±3.7 ^a
Weight gain (%)	476.7±10.1 ^b	521.0±21.8 ^c	541.4±20.0 ^c	477.2±20.6 ^b	435.9±2.9 ^a
Food conversion efficiency (%)	122.4±4.0 ^b	129.5±3.5 ^b	129.5±4.8 ^b	123.1±4.1 ^b	111.7±3.7 ^a
Daily growth rate (%)	2.01±0.01 ^{ab}	2.06±0.02 ^b	2.09±0.02 ^b	2.01±0.03 ^{ab}	1.96±0.00 ^a
Daily feeding intake (%)	1.65±0.04 ^{ab}	1.59±0.03 ^b	1.73±0.10 ^{ab}	1.75±0.05 ^a	1.78±0.10 ^{ab}

The values are mean±SD (n=50). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P > 0.05$).

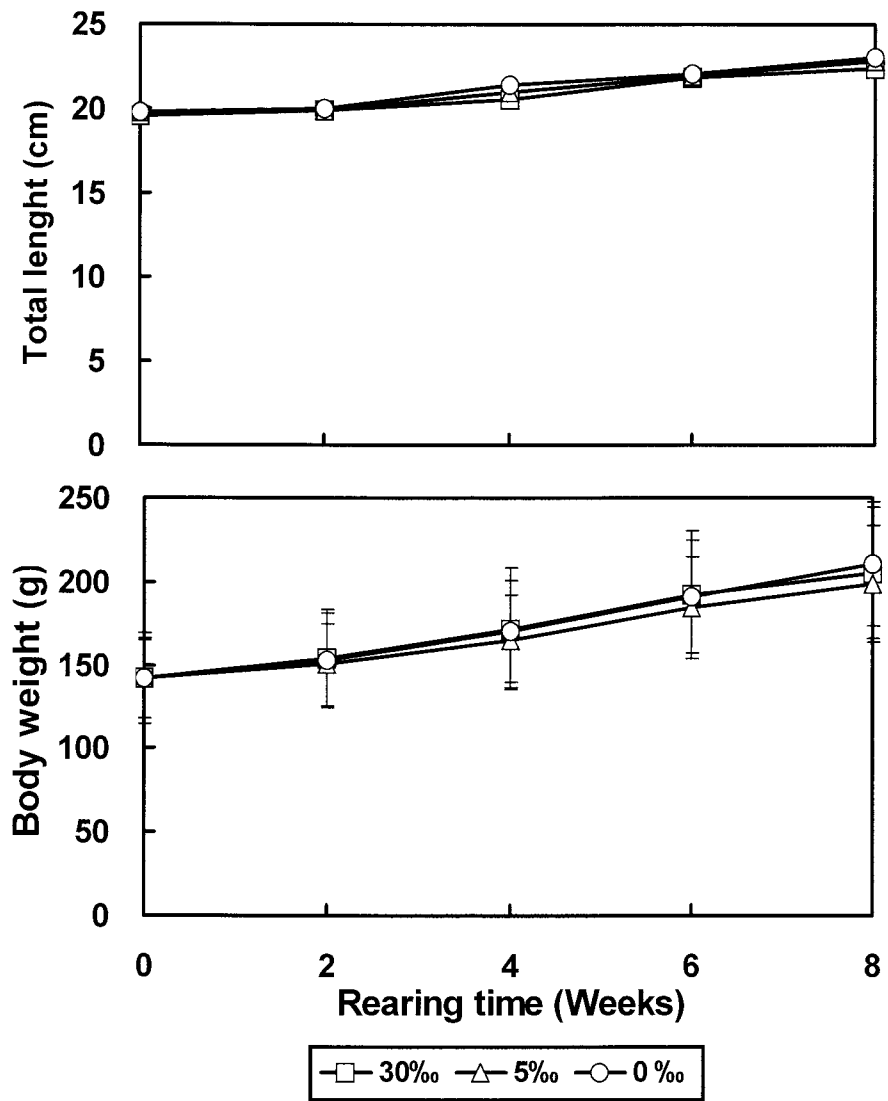


Fig. I-9. Effects of various salinities in growth of total length and body weight in juvenile black seabream during 8 weeks.

Table I-4. Growth performance of adult black seabream reared at three different salinities reared for 8 weeks

	Salinity (‰)		
	0	5.0	30.0
Initial mean weight (g)	141.9±7.1	141.6±4.9	141.7±4.1
Final mean weight (g)	210.9±10.8	198.4±11.3	195.2±0.6
Weight gain (%)	69.0±6.2	56.8±3.1	54.5±3.2
Food conversion efficiency (%)	52.6±3.7	44.9±2.1	48.1±2.2
Daily growth rate (%)	0.19±0.01	0.16±0.01	0.16±0.01
Daily feeding intake (%)	1.43±0.06	1.43±0.04	1.30±0.03

The values are mean±SD (n=50). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P>0.05$).

나. 발육단계별 생존율 및 성장

(1) 자어

감성돔 자어를 직접 담수에 수용하여 염분내성을 14일 동안 관찰한 결과, 부화 7일(전장 0.34 cm)된 자어는 0‰에서 실험개시 후 6시간만에 전량 폐사하였으며, 7일째 7.5, 15.0, 22.5, 30.0‰에서 생존율은 각각 25.0, 70.0, 78.3, 98.0%였다(Fig. I -10).

부화 14일(전장 0.74 cm)된 자어는 0‰에서 실험개시후 12시간만에 전량 폐사하였으며, 실험종료시에 7.5, 15.0, 22.5, 30.0‰에서 생존율은 각각 24.0, 65.0, 77.3, 85.0%였다(Fig. I -11).

부화 21일(전장 1.23 cm)된 자어는 0‰에서 실험개시후 12시간만에 전량 폐사하였

으며, 실험종료시에 7.5, 15.0, 22.5, 30.0‰에서 생존율은 각각 33.0, 62.7, 91.7, 98.0% 였다(Fig. I -12).

부화 28일(전장 1.72 cm)된 자어는 0‰에서 실험개시후 26시간만에 전량 폐사하였 으며, 실험종료시에 7.5, 15.0, 22.5, 30.0‰에서 생존율은 각각 84.0, 91.0, 88.0, 87.7% 였다(Fig. I -13).

부화 41일(전장 2.83 cm)된 자어는 실험종료시에 0, 7.5, 15.0, 22.5, 30.0‰에서 생 존율은 각각 96.7, 100, 98.7, 100, 98.3%였다(Fig. I -14).

담수 내성실험결과 부화후 1~3주째의 자어에서는 담수수용 12시간 후 전량 폐사 되었으며, 평균전장 1.5~1.8 cm 미만인 4주째의 자어는 20시간까지 생존후 점진적 으로 폐사율이 증가하여 26시간째 전량 폐사하였다. 그러나 2.8 ± 0.1 cm인 6주째의 감성돔 자어는 100% 생존율을 보였으며, 사료섭취, 배설 및 활력에 있어서도 문제점 이 발견되지 않았다.

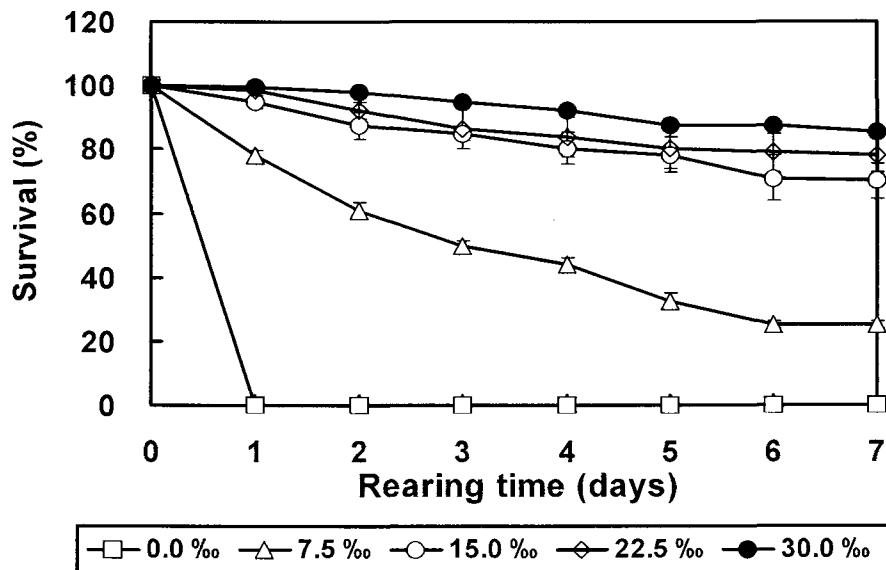


Fig. I -10. Effects of various salinities in survival of black seabream (7 days old, total length: 0.34 cm) during 7 days.

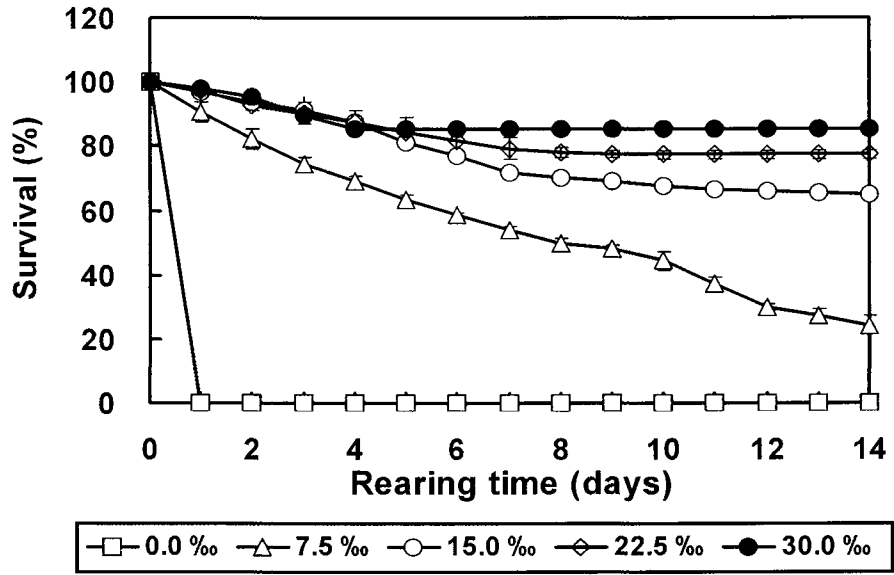


Fig. I -11. Effects of various salinities in survival of black seabream (14 days old total length: 0.74 cm) during 14 days.

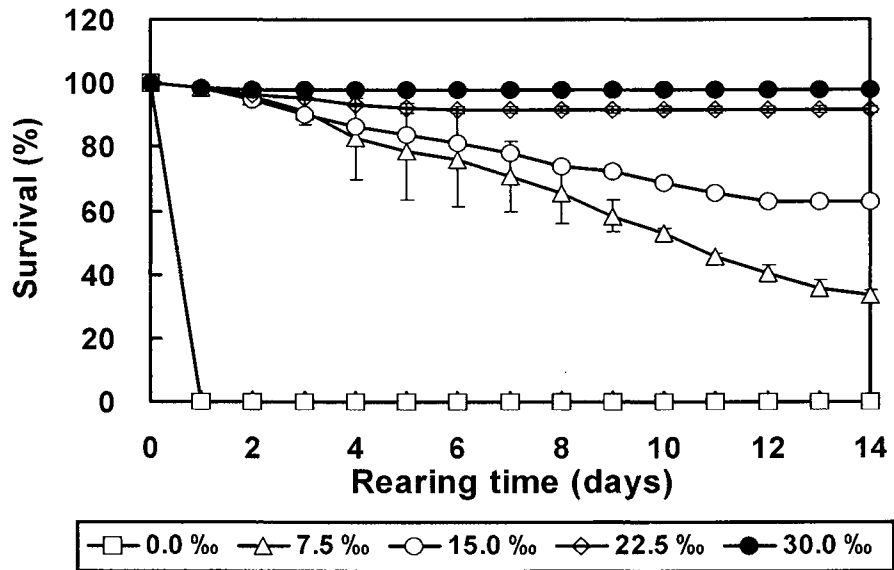


Fig. I -12. Effects of various salinities in survival of black seabream (21 days old total length: 1.23 cm) during 14 days.

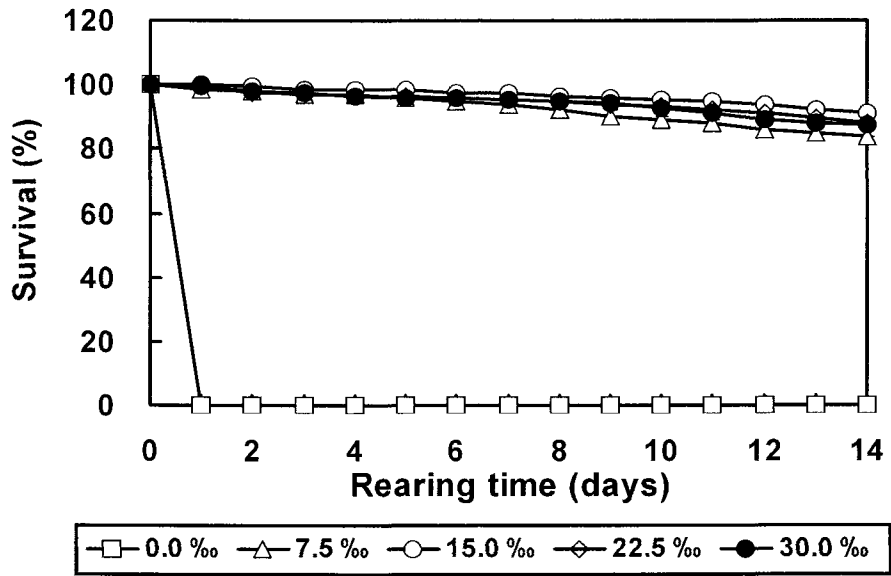


Fig. I -13. Effects of various salinities in survival of black seabream (28 days old total length: 1.72 cm) during 14 days.

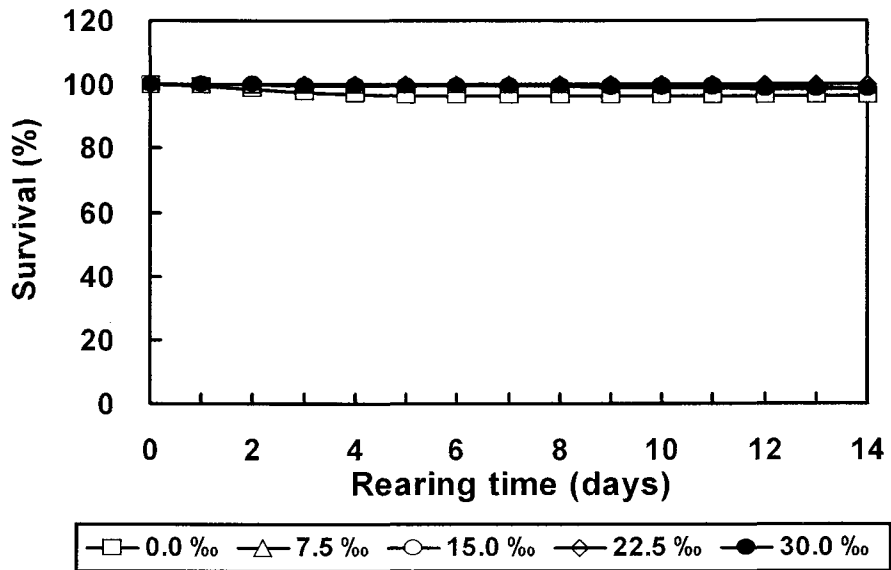


Fig. I -14. Effects of various salinity in survival of black seabream (41 days old total length: 2.83 cm) during 14 days.

(2) 치어 및 중형어

해수에서 사육된 치어(전장 8.6 ± 1.2 cm, 체중 10.7 ± 1.2 g)와 중형어(전장 20.2 ± 1.5 cm, 체중 142.0 ± 3.9 g)를 대상으로 담수순화 실험을 한 결과, 치어는 담수 수용 후 24시간째 11.0%의 생존율을 보인 이후 계속적으로 폐사 개체수가 증가하여 48시간째에는 전량 폐사하였다. 또한 중형어에서도 48시간째 13.0%의 낮은 생존율이 나타났다. 그러나 5.0‰ 수용후 순차적으로 담수순화 했을 때와 해수에서 순차적으로 담수순화했을 때에는 48시간째 100%의 생존율을 나타내었다(Table I -5).

Table I -5. Effects of various freshwater adaptation methods on survival rates of juvenile and adult black seabream

Fish size	Survival (%)					
	SW→ FW (abrupt down)		SW→ 5.0‰ (keep 24 h) → FW		SW→ FW (step down for 48 h)	
	24 h	48 h	24 h	48 h	24 h	48 h
Juvenile	11.0	0	98.0	100	99.0	100
Adult	52.0	13.0	97.0	100	100	100

FW: freshwater, SW: seawater

다. 체성분 분석 및 지방산 조성

다양한 염분농도에 따른 감성돔 어체의 일반 성분을 분석한 결과, 회분함량분석에서는 7.5, 15.0, 22.5‰이 0, 30.0‰보다 유의하게 높았으나($P < 0.05$), 수분함량, 단백질 및 지질함량 조성에서는 염분농도에 있어 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$)(Table I -6).

극성 지질의 n-3 HUFA (high unsaturated fatty acid) 함량은 $23.9 \pm 0.39 \sim 25.8 \pm$

0.93%, SAT (saturated fatty acid) 함량은 $28.2 \pm 0.30 \sim 29.2 \pm 0.39\%$, 또한 EPA+DHA 함량은 $20.8 \pm 0.40 \sim 22.5 \pm 0.74\%$ 로 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 그러나 염분농도에 따라 stearic acid (18:0), linoleic acid (18:2 n-6), erucic acid (22:1 n-9) 및 docosahexaenoic acid (22:6 n-3)의 함량이 그룹간에서 유의한 차이를 보였다 ($P < 0.05$)(Table I -7).

라. 수온별 생존율

수온별 염분변화에 따른 생존율은 0‰에서는 1시간만에 15, 20, 25℃에서 전량 폐사하였다. 10.0, 20.0‰에서는 24시간까지 모두 생존하였지만, 35.0‰에서는 15, 20, 25℃에서 각각 91.0, 93.0, 80.5%로 나타났다(Fig. I -15).

20℃에서 여러 염분조건에 따른 생존율은 2.0, 4.0, 6.0, 8.0‰에서 24시간째에 각각 54.3, 64.0, 99.0, 99.5%로 나타났다(Fig. I -16).

Table I -6. Effects of various salinities on the whole body proximate composition of black seabream

Salinity (‰)	Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Ash (%)
0	69.9 ± 0.80	17.8 ± 0.42	7.4 ± 0.80	4.3 ± 0.07^a
7.5	70.8 ± 0.40	17.4 ± 0.14	5.9 ± 0.36	4.6 ± 0.19^{ab}
15.0	71.0 ± 1.04	17.3 ± 0.31	7.3 ± 1.24	4.6 ± 0.16^{ab}
22.5	69.5 ± 1.09	17.4 ± 0.42	5.8 ± 0.31	4.7 ± 0.07^{ab}
30.0	69.5 ± 1.24	16.9 ± 0.28	7.7 ± 0.55	4.8 ± 0.08^b

The values are mean \pm SD (n=10). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P > 0.05$).

Table I-7. Effects of various salinities on fatty acid composition (%) of total lipids of whole body in black seabream

fatty acids	Salinity (‰)				
	0	7.5	15.0	22.5	30.0
12:0	0.8±0.09	0.7±0.10	0.7±0.01	0.7±0.03	0.8±0.03
14:0	3.5±0.03	3.5±0.15	3.4±0.10	3.6±0.19	3.7±0.05
16:0	17.8±0.19	17.5±0.37	17.4±0.18	17.6±0.03	18.0±0.16
16:1n	7.8±0.14	7.4±0.13	7.3±0.33	7.4±0.22	8.0±0.48
18:0	4.9±0.04 ^{ab}	4.9±0.09 ^{ab}	5.0±0.13 ^{ab}	5.1±0.12 ^b	4.7±0.16 ^a
18:1n-9	19.2±0.39	18.5±0.23	18.7±0.65	18.7±0.22	19.2±0.51
18:2n-6	6.4±0.05 ^{ab}	6.6±0.13 ^{ab}	6.4±0.06 ^{ab}	6.2±0.14 ^a	6.6±0.05 ^b
18:3n-3	0.7±0.03	0.7±0.01	0.7±0.02	0.7±0.01	0.8±0.09
18:4n-3	0.9±0.04	0.9±0.02	0.9±0.05	0.9±0.01	0.8±0.03
20:1n-9	3.8±0.13	3.7±0.18	3.8±0.15	3.9±0.21	3.9±0.19
20:2n-6	0.2±0.02	0.3±0.01	0.2±0.04	0.3±0.09	0.2±0.04
20:3n-6	0.3±0.02	0.3±0.01	0.4±0.01	0.4±0.00	0.4±0.02
20:4n-6	1.0±0.01	1.1±0.01	1.1±0.04	1.1±0.07	1.0±0.09
20:4n-3	0.6±0.01	0.6±0.01	0.6±0.02	0.6±0.03	0.5±0.05
20:5n-3	9.7±0.04	9.8±0.05	9.8±0.14	9.3±0.56	9.6±0.16
22:1n-9	2.2±0.26 ^b	1.9±0.04 ^{ab}	1.7±0.08 ^a	1.6±0.12 ^a	1.8±0.05 ^{ab}
22:3n-6	0.5±0.09	0.5±0.08	0.4±0.08	0.3±0.01	0.5±0.17
22:4n-3	0.2±0.01	0.2±0.01	0.2±0.02	0.2±0.02	0.2±0.03
22:5n-3	2.2±0.03	2.4±0.01	2.5±0.09	2.5±0.16	1.9±0.34
22:6n-3	11.2±0.38 ^a	11.8±0.11 ^{ab}	12.5±0.55 ^{bc}	13.2±0.18 ^c	12.3±0.32 ^{abc}
SAT	29.2±0.39	28.5±0.66	28.2±0.30	28.6±0.19	29.0±0.08
EPA+DHA	20.8±0.40	21.6±0.09	22.4±0.68	22.5±0.74	21.8±0.48
n-3HUFA	23.9±0.39	24.7±0.12	25.7±0.75	25.8±0.93	24.5±0.37

The values are mean±SD (n=10). Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P>0.05$).

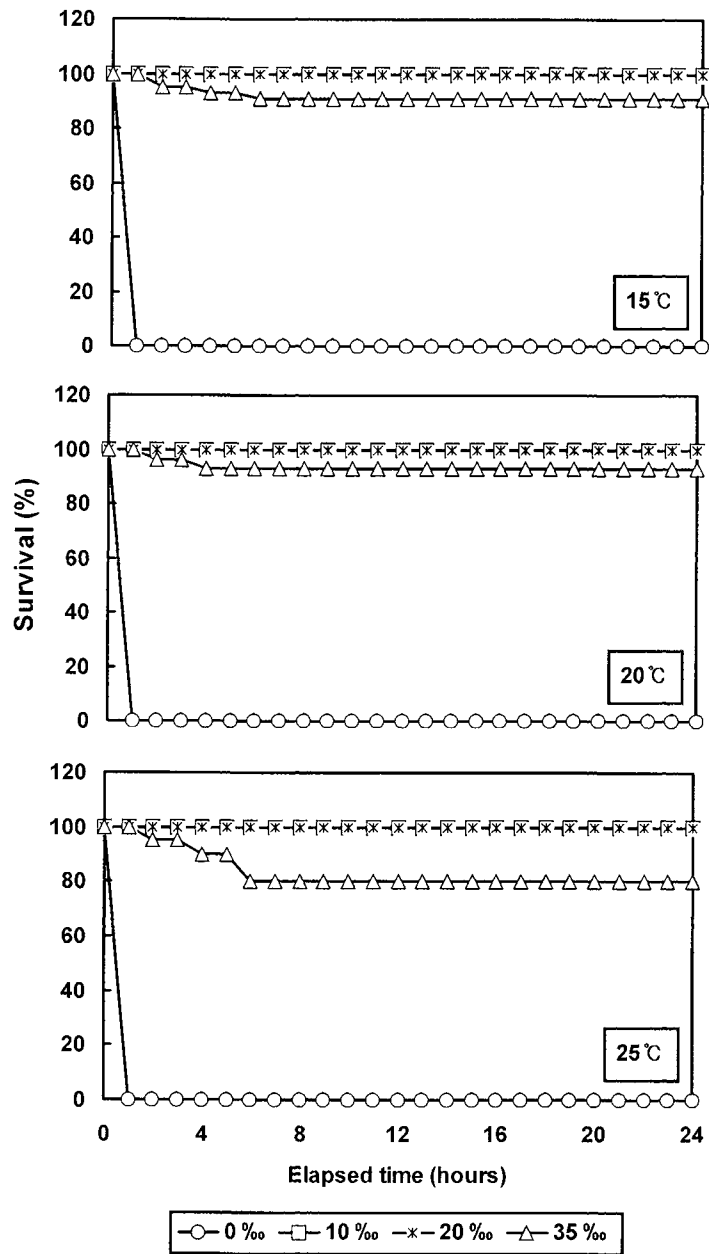


Fig. I-15. Survival rate of black seabream in different salinities at various temperatures.

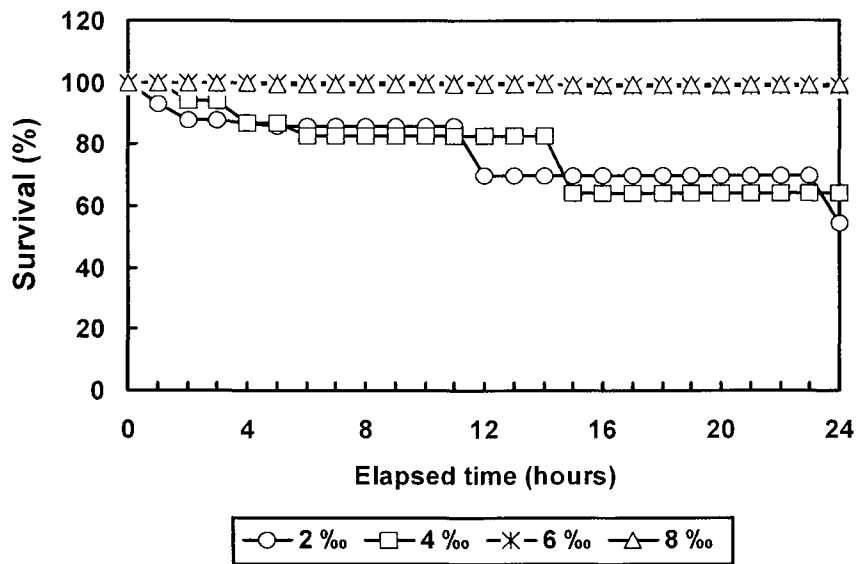


Fig. I -16. Survival rate of black seabream in different salinities at 20°C.

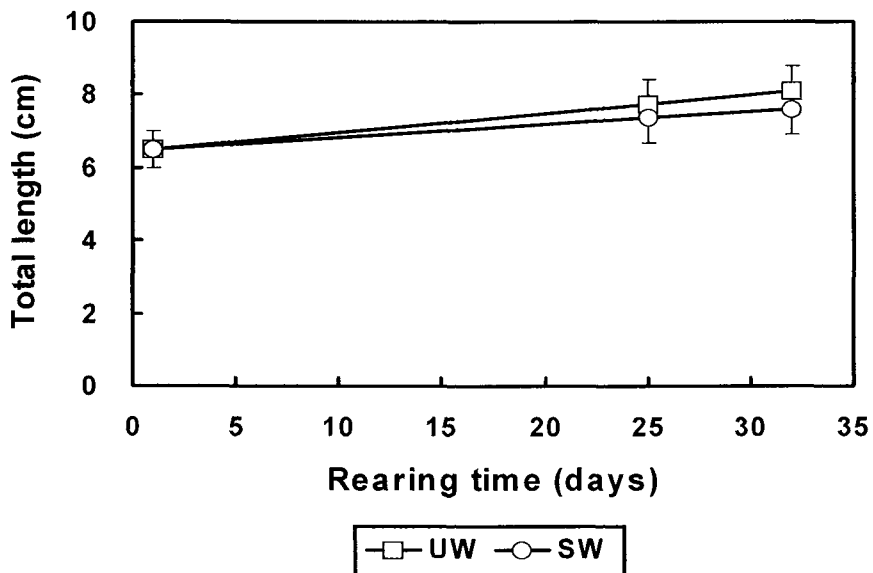


Fig. I -17. Growth of total length of black seabream reared in different salinities in Exp.①. SW: seawater, UW: underground water.

마. 담수 수원별 생존율

Exp.①에서 실험종료시까지 성장은 뚜렷한 차이가 없었다(Fig. I -17). 염분이 5.0%까지 변화하는 동안 실험어는 모두 생존하였지만, 실험 2일째에는 실험구에서 생존율이 37.5%로 매우 낮아졌으며, 염분이 0%로 되는 7일째에는 25.7%였다. 하지만, 이후부터 실험종료시까지 생존율의 변화는 거의 없었다(Fig. I -18). Exp.②에서는 모든 실험구의 염분이 0%로 될 때까지 생존율은 거의 비슷하였지만 실험 5일째부터는 계속 감소하여 실험종료시에는 5.0%-UW구, 5.0%-CW, 10.0%-UW구, 10.0%-CW구에서 생존율이 각각 50.0, 10.0, 50.0, 20.0%였다(Fig. I -19). Exp.③에서는 실험 2일째에 UW-UW구, UW-CW구의 생존율은 각각 30.0, 20.0%로 매우 낮았으며, 염분이 0%로 되는 실험 4일째에는 모두 폐사하였다. 하지만, CW-UW구, CW-CW구에서는 실험종료시까지 실험어가 모두 생존하였다(Fig. I -20). Exp.④에서는 실험 2일째에 UW구에서는 모두 폐사하였지만 CW구에서는 80.0%의 생존율이 나타났다. 실험종료시에는 생존율이 CW구에서 60.0%였다(Fig. I -21). Exp.⑤에서는 염분이 0%로 되는 실험 4일째에 모든 실험구의 실험어는 대부분 생존하였다. 35.0%구 15.0%구에서 실험 5일째에 각각 70.0, 87.5%, 실험종료시에는 각각 67.5, 77.5%로 나타났다. 나머지 실험구에서의 생존율은 뚜렷한 변화가 없었다(Fig. I -22). Exp.⑥은 실험 7시간째부터 폐사어가 관찰되기 시작하여 염분인 5.0%인 12시간째에는 생존율이 63.0%였으며, 염분이 0%인 36시간째에는 46.0%였다. 이후부터 실험종료시까지의 생존율에는 변화가 없었다(Fig. I -23). Exp.⑦은 실험 12시간(5.0%)까지는 모두 생존하였으나, 12시간 이후로는 폐사가 관찰되기 시작하여 24, 48, 72와 96시간째에 생존율은 각각 66.0, 35.0, 18.0과 2.0%였다(Fig. I -24).

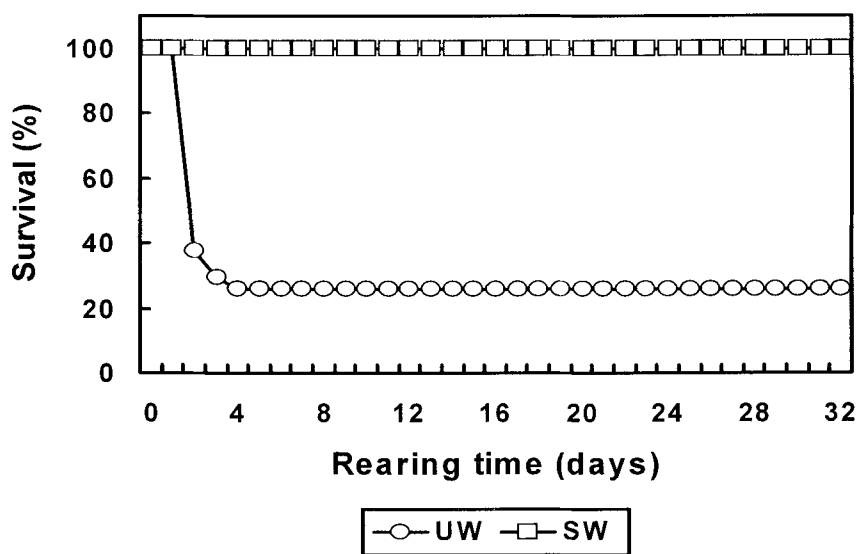


Fig. I-18. Survival of black seabream reared in different salinities in Exp.①. SW seawater, UW: underground water.

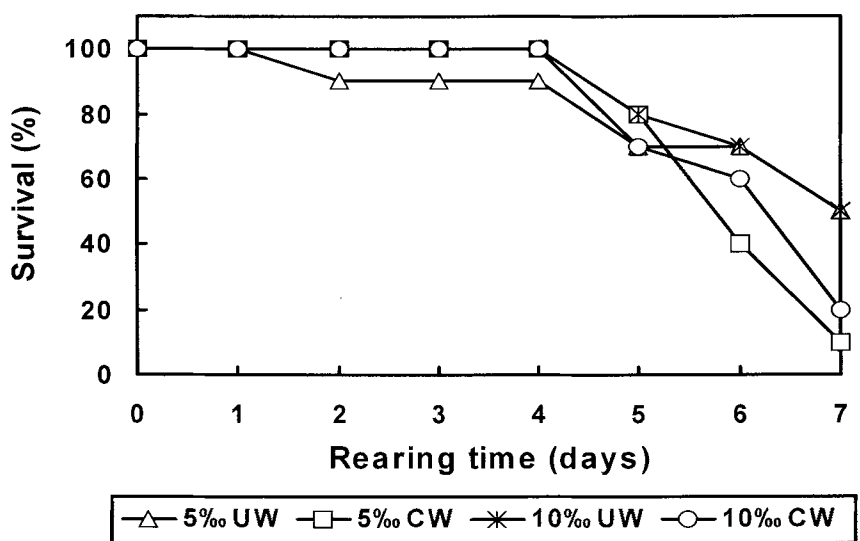


Fig. I-19. Survival of black seabream reared in different salinities in Exp.②. CW culture farm water, UW: underground water.

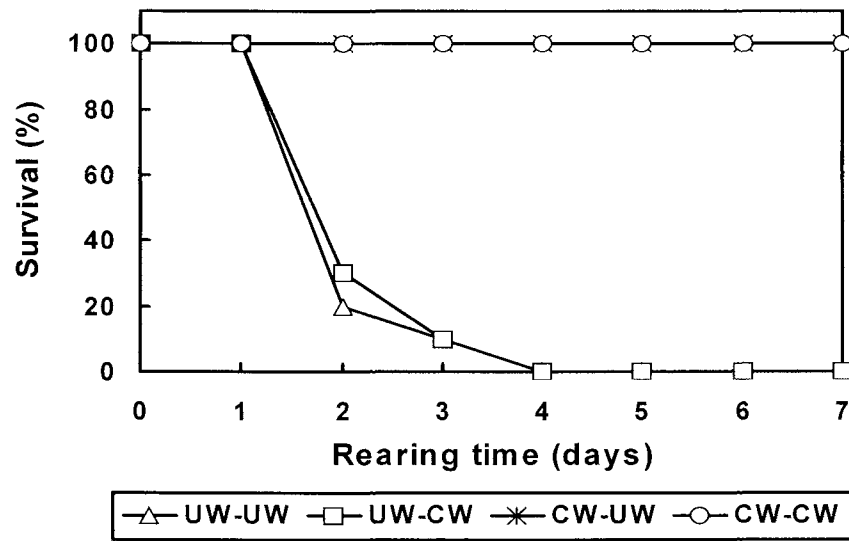


Fig. I -20. Survival of black seabream reared in different salinities in Exp.③. CW culture farm water, UW: underground water.

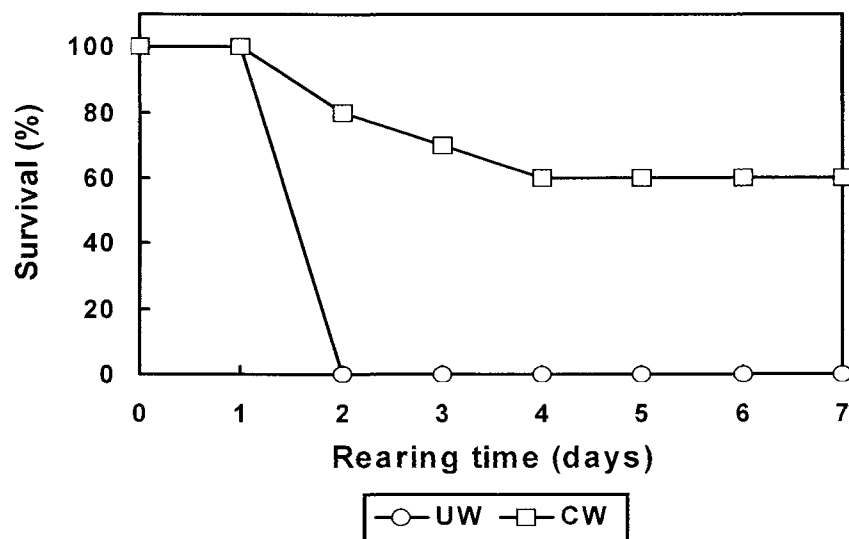


Fig. I -21. Survival of black seabream reared in different salinities in Exp.④. CW culture farm water, UW: underground water.

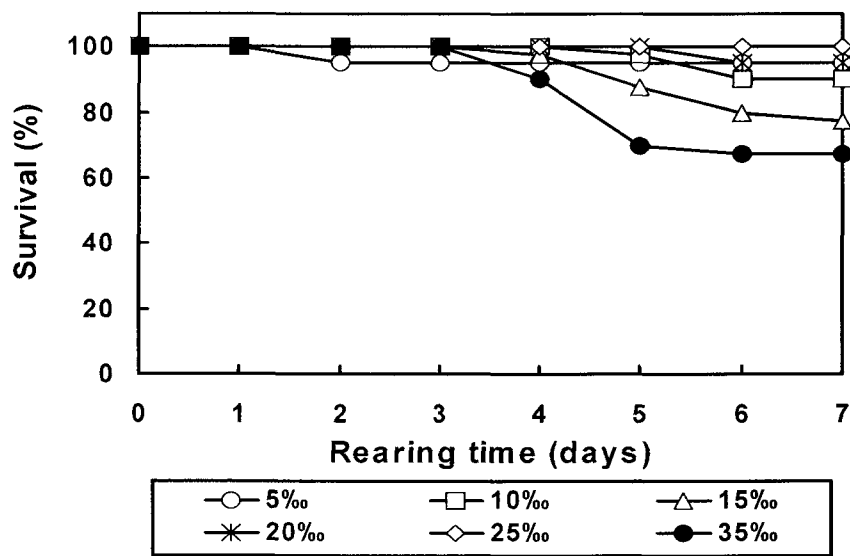


Fig. I -22. Survival of black seabream reared in different salinities in Exp.⑤

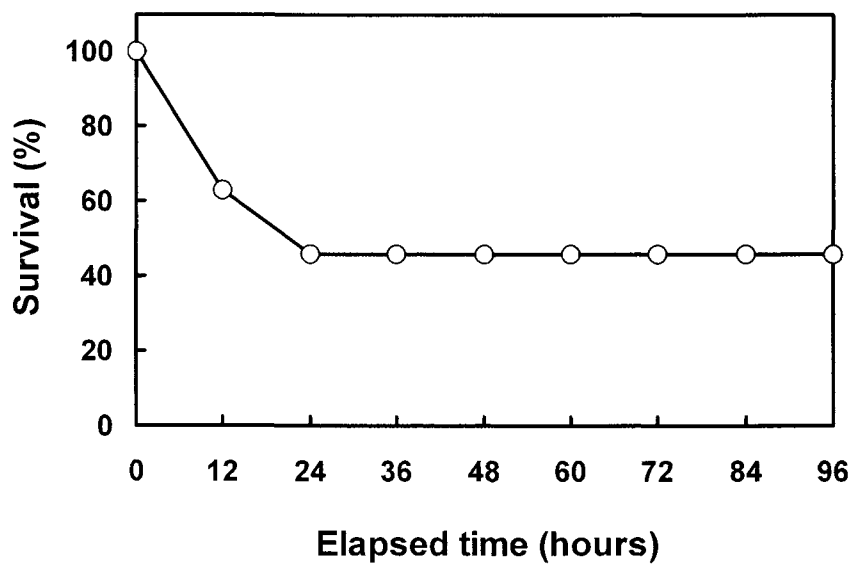


Fig. I -23. Survival of black seabream reared in different salinities in Exp.⑥

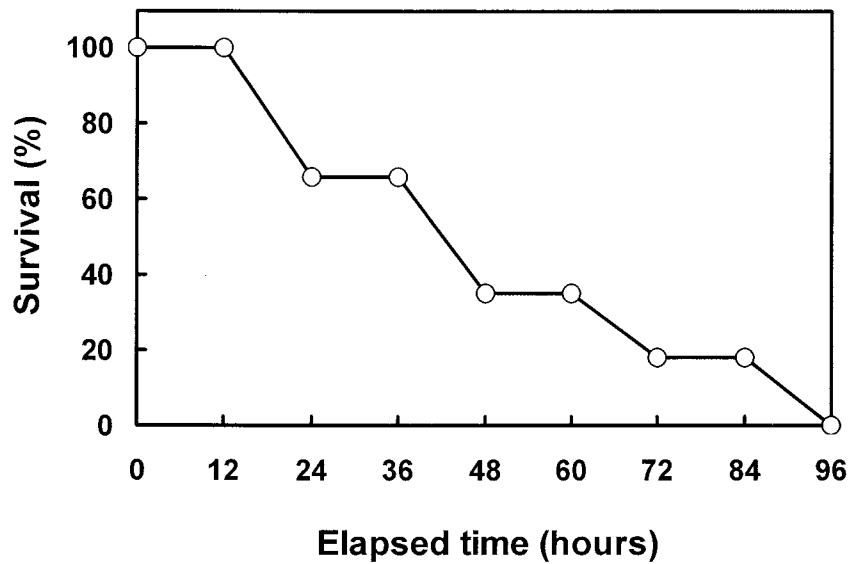


Fig. I-24. Survival of black seabream reared in different salinities in Exp.⑦.

4. 고찰

염분은 해양생태계에서 해양생물의 생리적 변화에 영향을 미치는 환경요인 중의 하나이다. 어류에 있어 염분은 대사활동, 삼투조절 및 생체리듬 등에 영향을 주기 때문에 연어과 같은 회유성 어류 및 기수지역에 서식하는 광염성 어류의 생활사에 있어서 대단히 중요한 요인으로 작용한다. 따라서 염분에 대한 어류의 내성 및 적응 기구 등을 구명하기 위하여 광염성 어류를 대상으로 이들의 삼투조절 및 기타 생리학적인 관점에서 많은 연구들이 수행되어 왔다(Handeland et al., 1998; Mortensen and Damsgard, 1998; Claireaux and Audet, 2000; Handeland et al., 2000). 염분에 따른 어류의 저항성은 그들의 서식지역에 따라 다양한 내성을 나타낸다. 즉 하구역 등의 기수지역에 서식하는 어류는 담수 혹은 해수지역에 한정되어 서식하는 어류보다 넓은 범위의 염분에서도 강한 내성을 나타내며 삼투압조절이 가능하다(Otto, 1971; Blaber, 1974; Martin, 1990). 감성돔은 주로 내만의 모래질 및 펄질에 서식하며, 해수지역을 비롯하여 하구나 염분도가 낮은 기수지역에도 종종 출현하는 광염성 어류로 알려져 있다(Deacon and Hecht, 1999).

본 연구에서는 광염성 경골어류인 감성돔의 담수양식의 가능성의 파악하기 위해 일차적으로 담수에서의 생존여부와 이를 위한 담수순화 방법에 따른 어체의 염분내성을 조사하였다.

일반적으로 해산어를 비교적 낮은 염분에서 사육할 때 사료효율이 높게 나타난다는 결과가 atlantic cod (*Gadus morhua*)와 seabream (*Sparus aurata*)에서 보고된 바 있으며(Lambert et al., 1994; Conides et al., 1997), 염분도는 사료섭취량과 증중량에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Arunachalam and Reddy, 1979; Dendrinis and Thorpe, 1985; Lambert et al., 1994; Conides et al., 1997). 또한 염분농도가 30‰ 이상인 일반 해수보다 15‰이하의 낮은 염분농도에서 광염성 어류의 성장이 높게 나타난다는 연구결과들이 터봇, 송어, 농어, 가자미류 등에서 보고되고 있다(Perter, 1971; De Silva and Perera, 1976; Dendrinis and Thorpe, 1985; Lambert et al., 1994; Conides et al., 1997; Imstrand et al., 2001; Chang et al., 2001). 본 연구의 염분별 내성에서 치어의 경우 생존율은 0~30‰의 염분 범위에서 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나, 7.5, 15‰구가 다른 실험구(0, 22.5, 30.0‰)보다 사료효율 및 증중량이 높게 나타났다. 이는 어류의 성장에 있어 염분의 영향은 흔히 수온 및 이온조절에 소비되는 에너지가 가장 적게 이용되는 염분에서 가장 양호한 성장을 할 수 있다. 즉, 등장액의 환경조건에서 삼투조절에 소비되는 에너지가 가장 작게 소모되는 염분범위가 성장에 최적조건이라는 것을 의미한다(Morgan and Iwama, 1998). 지금까지의 보고에 의하면 하구역 등에 서식하는 광염성 어류에 있어 성장에 필요한 최적 염분 농도는 종에 따라 상이하다. 즉, 광염성 어류의 성장에 있어 최적 염분 범위는 grey mullet (*Mugil cephalus*)는 20‰ (De Silva and Perera, 1976), brown spotted grouper (*Epinephelus tauina*)는 25‰ (Akatsu et al., 1983), european sea bass (*Dicentrarchus labrax*)는 25‰ (Dendrinis and Thorpe, 1985), european flounder (*Platichthys flesus*)는 5~15‰ (Gutt, 1985), atlantic cod (*Gadus morhua*)는 7~14‰ (Lambert et al., 1994), spotted (*Pomadasys commersonnii*)는 12~35‰ (Deacon and Hecht, 1999), gobidae (*Favonigobius gymnauchen*)는 13~34‰ (Kang et al., 2000)로 나타나고 있으며, 본 연구에 사용된 감성돔 치어의 경우 7.5~15.0‰가

최적 염분 농도일 것으로 판단된다. 그러나, 중형어의 경우 0, 5.0, 30.0‰에서 유의한 차이는 없으나 증중량은 5.0, 30.0‰보다 0‰에서 15%정도 높은 것으로 나타나 최적 염분 농도가 0~30.0‰로 치어에 비해 염분에 대한 내성이 강하다는 것을 알 수 있다.

부화 1~6주된 감성돔 자어를 대상으로 0, 7.5, 15.0, 22.5 및 30.0‰에서 급격한 염분변화에 대한 발육단계별 염분내성을 실험한 결과, 전장 2 cm 미만(부화후 1~5주)의 경우 담수에서 24시간 이내에 전량 폐사하였다. 그러나 전장 2 cm 이상인 부화후 6주된 자어는 0‰를 포함한 모든 실험구에서 98% 이상의 생존율을 나타내었다. 또한 치어(전장 8.6 cm)와 중형어(전장 20.2 cm)에서는 직접 담수에 수용했을 때 48시간째 각각 0, 13.0%로 매우 낮은 생존율을 보인 반면, 단계적으로 염분변화를 주었을 때는 97~100%의 생존율이 나타났다. 따라서 2 cm 미만인 감성돔 자어, 치어 및 중형어의 경우 직접 담수에 수용할 경우 급격한 염분변화로 인해 삼투압 조절 능력을 상실하여 폐사한 것으로 생각된다. 그러므로 감성돔 담수순화시 어체의 크기는 2 cm 이상인 것을 사용하는 것이 적절하며 급격한 염분변화보다는 어체가 저삼투압조절에서 고삼투압조절 작용을 할 수 있는 단계적인 염분변화가 필요하다고 판단된다.

또한, 본 연구에서 담수 수원별 염분 내성을 조사한 결과, 감성돔 담수순화시 해수에서 담수로 즉시 염분변화를 주었을 때 담수원이 지하수인 경우 2일후에 모두 폐사한 반면, 담수원이 양어장수일 때는 7일째까지 60.0%가 생존하였다. 또한 단계적인 염분변화시 지하수를 사용했을 경우 0‰로 도달했을 때 모두 폐사하였지만, 양어장수를 사용했을 때에는 모두 개체가 생존하였다. 지하수와 양어장수의 암모니아 농도는 0.01, 0.3 ppm, 아질산염은 0.021, 0.057 ppm, 질산염은 4.8, 8.6 ppm으로 각각 나타나 지하수보다 양어장수가 수질오염 정도가 심하지만, 생존율은 오히려 양어장수에서 훨씬 높게 나타난 것은 양어장수에는 어류들이 삼투압 조절시 항상성 유지에 필요한 이온들이 충분히 포함되어 있었기 때문으로 생각된다. 따라서, 담수사용에 있어 담수원의 용존산소량, pH, 수온뿐만 아니라 이온함량을 조사하여, 담수순화를 실시하는 것이 바람직하다고 판단된다.

본 연구에서 다양한 염분농도에 따른 사육된 감성돔의 일반 체성분을 분석한 결

과 수분함량은 69.5~71.0%로 나타나 실험군간 유의한 차이는 없었다. Dendrinos and Thorpe (1985)는 염분농도가 각각 다른 곳에서 1년간 유럽산 농어(*Dicentrarchus labrax*)의 수분 함량을 조사한 결과 해수보다 담수에서 약간 낮은 것으로 보고하였으나, Hur and Chang (1999)은 송어와 틸라피아를 대상으로 체성분을 분석한 결과 담수와 해수간 유의한 차이가 없었다고 하였다. 또한 단백질 및 지질함량 조성에서도 본 실험에서는 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 감성돔의 담수양식을 위해 담수순화시 어체의 크기는 2 cm 이상인 개체를 사용하며, 염분변화로써 어체의 원활한 삼투압 조절을 위해 5~10‰에서 일정기간동안 유지시키는 방법, 그리고 이온이 풍부한 담수원을 선택하는 것이 생존율을 향상시키는데 바람직하다고 판단된다.

제2절 담수순화에 대한 생리적 반응

1. 서론

감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*)은 수컷의 생식소가 먼저 나타나는 인접적 자웅동체(consecutive hermaphrodite) 어류로서 연안의 암반주위에 서식하여 낚시어종으로 인기를 끌고 있으며, 경제성이 높은 양식대상 어종인 것으로 알려져 있다. 또한 감성돔은 송어(*Mugil cephalus*), 농어(*Lateolabrax japonicus*)와 함께 염분 내성이 강한 광염성 어종으로서(Kimura and Tanaka, 1991), 최근 본 종의 이러한 특성인 강한 염분내성을 이용하여 담수순화 양식을 위한 연구가 진행되어져 오고 있다(Chang et al., 2002). 감성돔의 담수순화 양식이 가능해진다면 내수면 어류양식의 활성화를 기대할 수 있을 뿐만 아니라, 적조로 인한 피해 감소, 질병의 역치료 등 여러 가지 잇점을 내다 볼 수 있다.

이러한 해산어류의 담수순화 양식에서는 담수순화 방법, 어체의 건강상태, 크기 및 사육 환경 등이 중요한 요인으로 작용한다. 이러한 요인들 중 담수순화 방법 즉, 사육수의 인위적인 염분변화는 어체의 생리반응에 큰 영향을 미치는 요인이 되며, 어류가 감지하는 가장 큰 스트레스 요소 중의 하나로서 어류의 혈중 cortisol 농도를 상승시키는 역할을 한다(Chang and Hur, 1999). 어류가 지속적으로 스트레스에 노출되게 되면, 어병에 대한 저항성이 감소하게 되고, 어류의 성장 및 번식능력이 떨어지는 것으로 알려져 있다(Wedemeyer and Yasutake, 1977; Pickering et al., 1987). 어류가 스트레스를 감지하게 되면, 시상하부-뇌하수체-간신선축으로의 정보전달을 통하여 cortisol이 혈중으로 분비된다(Specker et al., 1989). 시상하부와 뇌하수체는 cortisol을 조절하는 기관으로, 특히 뇌하수체 전엽의 간신세포로부터 분비되는 부신피질 자극호르몬(adrenocorticotropic, ACTH)은 cortisol 분비와 합성을 조절하는 호르몬으로 알려져 있다(Sumpster et al., 1994). 또한 어류에서의 cortisol은 어체의 항상성 유지를 위해 글루코스 신생합성(gluconeogenesis)을 통하여 글루코스의 혈중 분비를 증가시킨다(Chang and Hur, 1999).

현재까지 감성돔의 담수순화에 관한 연구로는 급격한 염분변화에 따른 혈장

cortisol, 이온변화 등 스트레스와 연관된 혈액생리화학적 측면의 실험결과가 보고되어 있을 뿐(Chang et al., 2002), 아직 국내외적으로 담수순화 방법과 담수사육에 대한 체계적인 연구결과가 얻어지지 않은 실정이다.

본 연구에서는 해수에서 사육된 감성돔을 단계적인 염분변화를 통하여 담수로 순화시키는 과정에서, 혈장 cortisol 및 글루코스 농도 등 감성돔 어체내에서의 생리학적 반응을 조사하여 어류가 감지하는 스트레스의 수준을 제시하고, 이를 기초로 감성돔 담수순화 양식을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험어

담수순화시 염분변화의 방법(Exp. I ~ IV)에 따른 감성돔의 스트레스 반응 및 생리조건의 변화를 알아보기 위하여 실험에 사용된 어류의 크기는 Table II-1에 나타내었다. Exp. I, III, IV와 담수 및 해수사육 실험은 순환여과 사육시스템으로 구성된 4개의 FRP 원형수조(수용적 220 ℓ)에서, Exp. II는 유수식 사육시스템으로 구성된 4개의 FRP 원형수조(수용적 350 ℓ)에서 실험하였다.

Table II-1. Size of black seabream used in experiments of salinity changes

Experimental condition		Total length (cm)	Body height (cm)	Body weight (g)
SW→FW	Exp. I	12.1±0.7	4.1±0.7	30.6±6.5
	Exp. II	20.3±1.0	7.2±0.3	153.0±18.7
	Exp. III	13.4±0.9	4.6±0.3	41.1±7.2
FW→SW	Exp. IV	13.5±2.1	4.2±0.6	37.6±11.9

FW: freshwater, SW: seawater.

나. 염분변화 방법

담수순화의 방법에 대하여는 단계적 염분변화(Exp. I 과 II)와 급격한 염분변화(Exp. III)로 나누어 실험하였으며, 또한 담수에서 해수로의 급격한 염분변화(Exp. IV) 실험을 하였다.

(1) 단계적 염분변화

Exp. I : 해수(35%) 사육중인 실험어 120마리를 사용하여 실험구에는 60마리의 실험어를 수용하여 염분을 시간당 2%씩 염분을 낮추어 12시간만에 10%이 되도록 하여 72시간 동안 유지한 다음, 단계적으로 염분을 낮추어 12시간만에 0% 담수가 되도록 하였다(SW→FW). 대조구의 60마리는 그대로 35% 해수에 두면서 사육하였다(SW). 혈액은 0, 12, 84, 96시간째, 5, 10, 20일째에 채취하였다(Fig. II-1, Exp. I).

Exp. II : 해수(30%) 사육중인 실험어 100마리를 사용하여 50마리는 즉시 5%로 옮겼으며, 이후 24시간동안 유지한 다음, 즉시 0%의 담수로 옮겼다(FW→SW). 대조구의 50마리로 그대로 30% 해수에 두었다(SW). 혈액은 0, 3, 6, 12, 24, 36 및 48시간째에 채취하였다(Fig. II-1, Exp. II).

(2) 급격한 염분변화

Exp. III : 해수(35%) 사육중인 실험어 120마리를 사용하여 실험구의 어류 60마리는 즉시 0% 담수로 옮겼으며(SW→FW), 대조구의 60마리는 그대로 35% 해수에 두었다(SW). 혈액은 0, 6, 12, 24, 48 및 72시간째에 채취하였다(Fig. II-1, Exp. III).

Exp. IV : 해수로부터 단계적인 염분하강에 의해 24시간만에 담수로 전환하였다. 이후 60일간 담수사육하면서 완전히 담수에 적응된 실험어 120마리를 즉시 해수에 수용하였다. 혈액은 0, 3, 24시간째 30일 및 60일째에 채취하였다(Fig. II-1, Exp. IV).

다. 혈액의 채취와 분석

각 실험에서 실험어 6마리로부터 heparin sodium 처리 주사기(1 mL)를 사용하여 마취없이 미부혈관에서 30초 이내에 혈액을 채취하였다. 실험어로부터 혈액을 채취하기 이전에 공급한 먹이가 어체의 혈액성상에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 채혈 24

시간전부터 절식시켰다. 채취한 혈액의 일부를 상온에서 10분 이상 방치한 다음, 원심분리($5,600 \times g$, 5분)하여 얻은 혈장은 분석전까지 -72°C 에 보관하면서 분석시 사용하였다. 혈장의 cortisol 농도는 Donaldson (1981)의 방사면역측정법(RIA)에 따라 cortisol RIA kit (DSL, USA)로 항원과 표지항원이 항체에 경쟁적으로 반응하도록 유도한 다음, Hewlett Packard Gamma Counter (Cobra II 5010, Packard Co., USA)로 측정하였다. 혈장 글루코스, Na^+ , K^+ , Cl^- 농도, AST (aspartate aminotransferase) 및 ALT (alanine aminotransferase) 분석을 위하여 생화학 자동분석기(Advid 1650, JEOL Co., Japan)를 사용하였다. 혈장 삼투질 농도는 micro-osmometer (3MO plus, Advanced Instruments Inc., USA)를 사용하여 분석하였다. 나머지 혈액에 대하여는 채혈 직후에 자동혈액분석기(Excell 500, USA)를 사용하여, 전혈에 대한 적혈구용적(hematocrit, Ht), 적혈구수(red blood cell, RBC), 혈액소농도(hemoglobin, Hb)를 분석하였다.

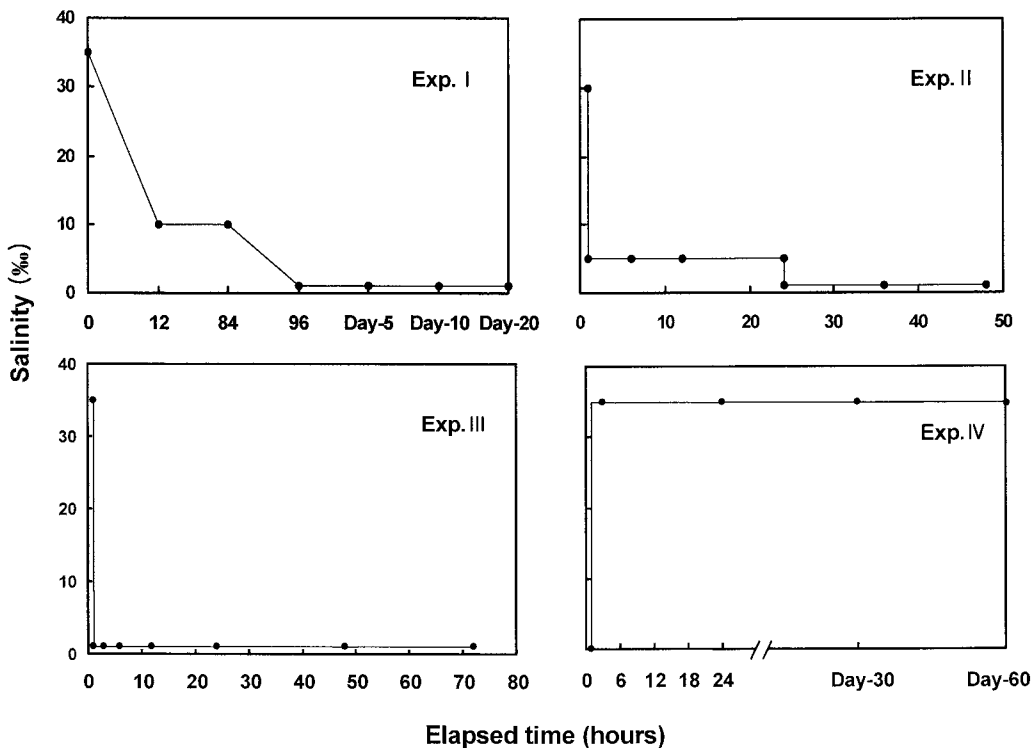


Fig. II-1. Salinity changes designed for the experiment I ~ IV. Points indicate the blood sampling time.

라. 아가미의 조직학적 관찰

(1) 광학현미경 관찰

사육수의 염분변화 실험인 Exp. I ~ IV에서 감성돔의 아가미 조직학적 관찰을 조사하기 위해 혈액 샘플후 조직을 Bouin액에 고정한 다음, 상법에 따라 파라핀으로 포매된 조직을 5 μm 두께로 연속절편하고, haematoxylin-eosin으로 대비 염색하여 광학현미경 아래에서 관찰하였다.

(2) 전자현미경 관찰

아가미 조직의 전자현미경적 관찰을 위해 아가미를 절취하여 0.1 M phosphate buffer solution (PBS, pH 7.2)으로 완충시킨 2.5% glutaraldehyde 용액(4°C)에 2시간 동안 1차 고정하였다. 고정이 끝난 재료는 PBS로 10분간 세척한 후, 1% osmium tetroxide (OsO_4) (4°C)에 2시간 동안 2차 고정하였다. 고정이 끝난 재료는 PBS로 세척하고 50%에서 100%까지의 단계별 ethanol에서 15분씩 탈수하였다. 탈수후 propylene oxide와 Epon의 혼합물에 넣어 Epon 812로 포매하였다. 0.5 μm 로 절편된 시료를 toluidine blue로 염색하여 관찰부위를 결정한 다음, 다시 70 nm 두께로 절편하였다. 이후 uranylacetate와 lead citrate 용액으로 이중 염색하여 투과전자현미경 (JEM 1200 EX-II, 60~80 Kv, JEOL, Japan) 관찰을 실시하였다.

마. 통계 분석

각 실험결과로부터 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지 (version 9.0)에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

3. 결 과

가. 단계적 염분변화에 대한 생리적 반응

(1) 혈장의 cortisol 및 글루코스 농도

Exp. I 에서 cortisol과 글루코스의 변화는 Fig. II-2와 같다. cortisol의 농도는 실험구에서 실험개시시에 13.0 ± 1.4 ng/mL였던 것이 5일째 29.5 ± 14.8 ng/mL로 유의하게 증가하였으나($P < 0.05$), 10일째부터 감소하기 시작하여 실험종료시(20일째)에는 7.5 ± 2.3 ng/mL로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $9.1 \pm 1.9 \sim 11.6 \pm 3.3$ ng/mL로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). 글루코스 농도는 실험구에서 실험개시시에 52.3 ± 7.2 mg/dL였던 것이 5일째까지 변화가 없었지만, 10일째 74.0 ± 1.4 mg/dL로 유의하게 증가하여($P < 0.05$) 실험종료시에는 66.5 ± 0.7 mg/dL로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $51.5 \pm 0.7 \sim 63.5 \pm 6.4$ mg /dL로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Exp. II 에서 cortisol과 글루코스 변화는 Fig. II-3과 같다. cortisol의 농도는 실험구에서 실험개시시에 34.1 ± 7.7 ng/mL였던 것이 12시간째부터 유의하게 증가하기 시작하여($P < 0.05$), 24시간째 81.9 ± 9.1 ng/mL로 최고값을 나타내었다가 이후에 감소하여 실험종료시에는 39.2 ± 12.7 ng/mL로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $35.8 \pm 10.0 \sim 49.5 \pm 19.2$ ng /mL로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). 글루코스 농도는 실험구에서 6시간째까지 약간 증가하여 12시간째에 감소하였다가 24시간째부터 다시 증가하기 시작하여 36시간째 최고값을 나타내었으며, 이후에 감소하는 경향을 나타내었다. 실험개시시부터 종료시까지 $40.3 \pm 5.0 \sim 55.5 \pm 6.9$ mg/dL로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). 또한, 대조구에서도 실험개시시부터 종료시까지 $45.3 \pm 3.0 \sim 53.3 \pm 4.5$ mg/dL로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

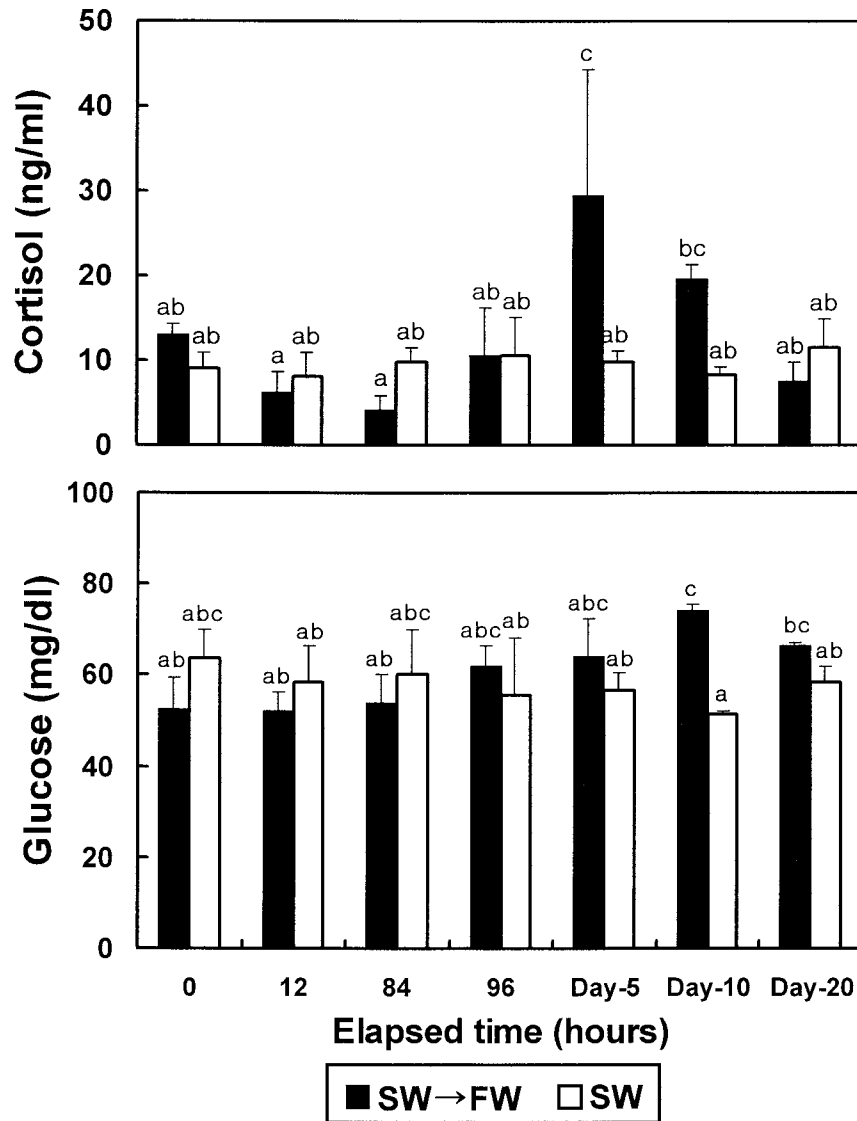


Fig. II-2. Variations of cortisol and glucose levels in plasma of black seabream in Exp. I. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

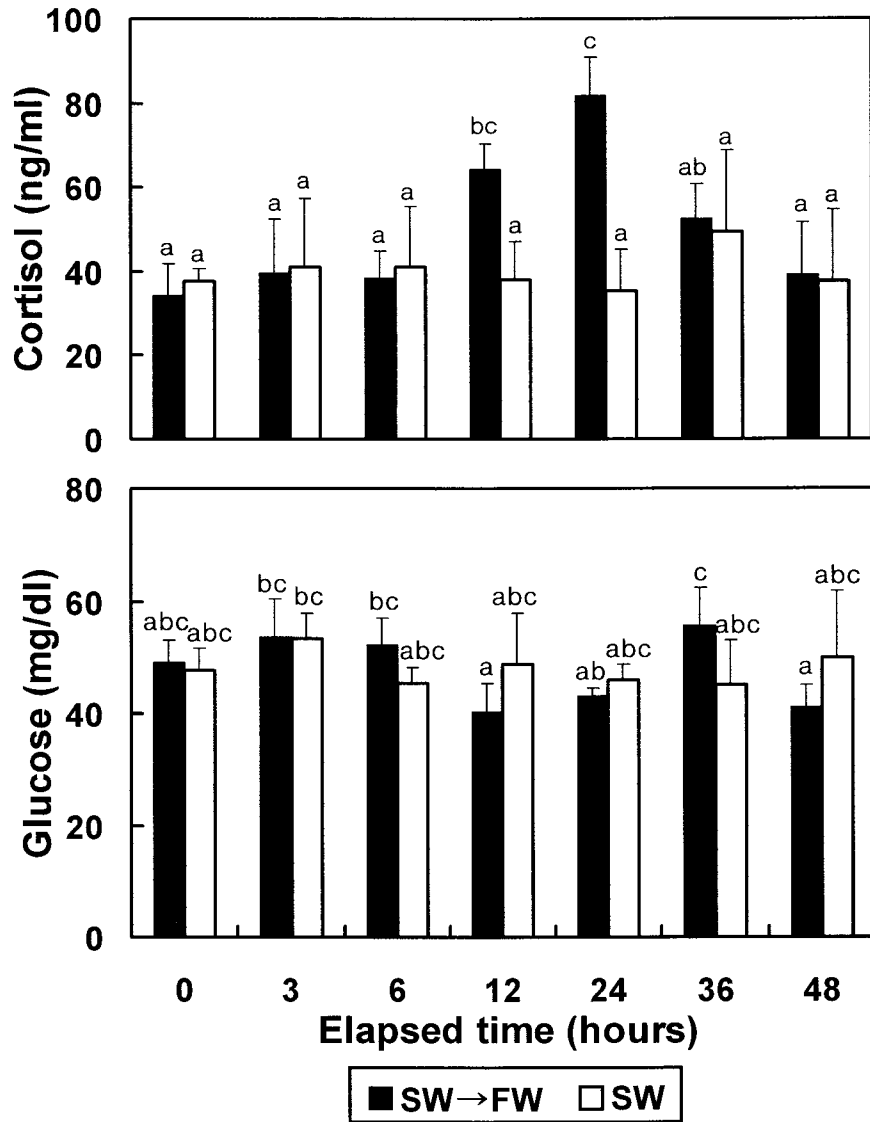


Fig. II-3. Variations of cortisol and glucose levels in plasma of black seabream in Exp. II. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

(2) 혈장의 이온(Na^+ , K^+ 및 Cl^-) 농도

Exp. I 에서 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 의 변화는 Fig. II-4와 같다. Na^+ 의 농도는 실험구에서 실험개시시에 176.7 ± 3.8 mEq/L였던 것이 5일째에 111.8 ± 38.0 mEq/L로 유의하게 감소하였으나($P < 0.05$), 10일째부터 증가하기 시작하여 실험종료시에는 175.3 ± 1.5 mEq/L로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $173.7 \pm 4.1 \sim 180.7 \pm 3.8$ mEq/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). K^+ 의 농도는 실험구와 대조구에서 실험개시시부터 종료시까지 각각 $2.9 \pm 0.6 \sim 5.8 \pm 0.1$ mEq/L, $3.9 \pm 0.7 \sim 5.7 \pm 0.8$ mEq/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). Cl^- 의 농도는 실험구에서 실험개시시에 152.7 ± 1.5 mEq/L였던 것이 5일째에 73.5 ± 26.5 mEq/L로 유의하게 감소하였으나($P < 0.05$), 10일째부터 증가하기 시작하여 실험종료시에는 146.7 ± 6.8 mEq/L로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $152.5 \pm 4.9 \sim 161.5 \pm 2.7$ mEq/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Exp. II에서 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 의 변화는 Fig. II-5와 같다. Na^+ 의 농도는 실험구에서 실험개시시에 182.0 ± 4.2 mEq/L였던 것이 36시간째에 166.0 ± 3.3 mEq/L로 유의하게 감소하였으나($P < 0.05$), 실험종료시에는 175.0 ± 1.4 mEq/L로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $180.0 \pm 4.4 \sim 191.0 \pm 4.5$ mEq/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). K^+ 의 농도는 실험구에서 실험개시시에 4.0 ± 0.3 mEq/L였던 것이 6시간과 12시간째에 3.1 ± 0.3 mEq/L로 유의하게 감소하였으나($P < 0.05$), 24시간째에는 3.9 ± 0.3 mEq/L로 실험개시시 수준으로 회복하였다. 그러나, 36시간째와 실험종료시에 각각 3.2 ± 0.4 mEq/L, 3.2 ± 0.2 mEq/L로 다시 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $3.9 \pm 0.3 \sim 4.2 \pm 0.3$ mEq/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). Cl^- 의 농도는 실험구에서 실험개시시에 142.0 ± 2.7 mEq/L였던 것이 3시간과 6시간째에 각각 132.7 ± 4.9 mEq/L, 134.5 ± 1.7 mEq/L로 유의하게 감소하였으나($P < 0.05$), 이후에 24시간까지 실험개시시 수준으로 회복되었다. 그러나, 36시간째와 실험종료시에 각각 126.0 ± 2.4 mEq/L, 132.5 ± 3.5 mEq/L로 다시 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $140.0 \pm 4.9 \sim 144.3 \pm 2.5$ mEq/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

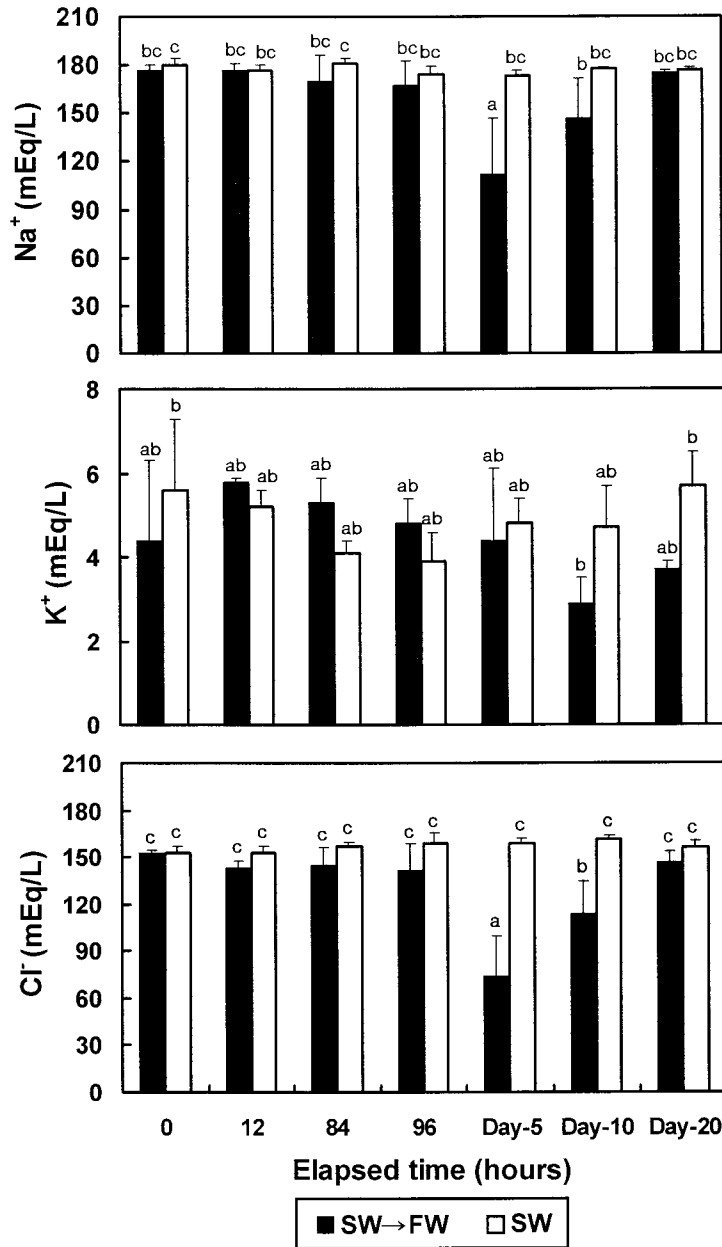


Fig. II-4. Variations of Na⁺, K⁺ and Cl⁻ levels in plasma of black seabream in Exp. I. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

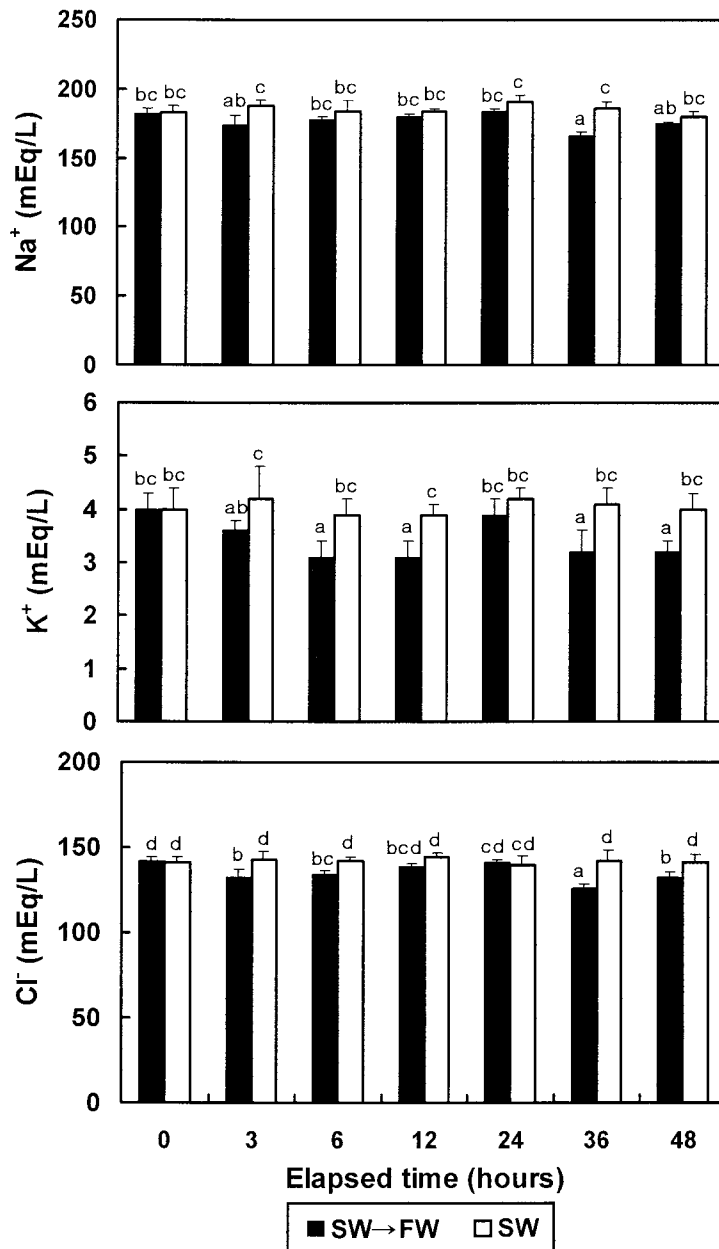


Fig. II-5. Variations of Na⁺, K⁺ and Cl⁻ levels in plasma of black seabream in Exp. II. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

(3) 혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT

Exp. I 에서 삼투질 농도, AST 및 ALT 변화는 Table II-2와 같다. 삼투질 농도는 실험구에서 실험개시시에 387.0 ± 2.0 mOsm/kg이었던 것이 5일째에 333.7 ± 27.2 mOsm/kg으로 유의하게 감소하였으나($P < 0.05$), 10일째에는 361.3 ± 23.2 mOsm/kg으로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $383.0 \pm 15.6 \sim 388.7 \pm 35.0$ mOsm/kg으로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). AST는 실험구에서 실험개시시에 35.7 ± 8.1 IU/L였던 것이 12시간째에 50.0 ± 2.8 IU/L로 유의하게 증가하였지만($P < 0.05$), 이후로는 실험개시시보다 유의하게 낮게 나타났다($P < 0.05$). 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $30.5 \pm 6.4 \sim 41.5 \pm 10.6$ IU/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). ALT는 실험구와 대조구에서 실험개시시부터 종료시까지 각각 $1.5 \pm 0.7 \sim 3.8 \pm 0.5$ IU/L, $1.5 \pm 0.2 \sim 2.1 \pm 0.6$ IU/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Exp. II 에서 삼투질 농도, AST 및 ALT 변화는 Table II-3과 같다. 삼투질 농도는 실험구에서 실험개시시에 348.5 ± 2.1 mOsm/kg이었던 것이 3시간째에 335.7 ± 2.1 mOsm/kg으로 유의하게 감소하였으나($P < 0.05$), 340.7 ± 2.1 mOsm/kg으로 실험개시시 수준으로 하였다. 그러나, 36시간째에는 319.0 ± 1.4 mOsm/kg으로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $346.7 \pm 2.5 \sim 353.5 \pm 7.8$ mOsm/kg으로 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). AST는 실험구에서 실험개시시에 17.0 ± 4.6 IU/L였던 것이 36시간까지는 유의한 차이가 없었으나($P > 0.05$), 실험종료시에는 48.0 ± 1.4 IU/L로 유의하게 증가하였다($P < 0.05$). 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $17.3 \pm 2.1 \sim 21.0 \pm 7.1$ IU/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). ALT는 실험구와 대조구에서 실험개시시부터 종료시까지 각각 $4.3 \pm 1.2 \sim 5.5 \pm 1.3$ IU/L, $4.3 \pm 1.2 \sim 5.3 \pm 2.6$ IU/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Table II-2. Variations of osmolality, AST and ALT levels in plasma of black seabream in Exp. I

Elapsed time (hours)	Osmolality (mOsm/kg)		AST (IU/L)		ALT (IU/L)	
	SW→FW	SW	SW→FW	SW	SW→FW	SW
0	387.0±2.0 ^b	382.5±16.3 ^b	35.7±8.1 ^b	32.3±4.7 ^{ab}	2.3±0.6 ^{ab}	1.8±0.3 ^a
12	374.0±30.4 ^b	372.5±20.5 ^b	50.0±2.8 ^c	31.7±6.5 ^{ab}	3.8±0.5 ^b	1.9±0.3 ^a
84	369.0±16.0 ^b	370.0±1.4 ^b	21.7±4.5 ^a	39.2±3.3 ^{bc}	2.3±1.5 ^a	1.7±0.5 ^a
96	357.0±18.0 ^{ab}	385.5±17.7 ^b	22.0±2.0 ^a	37.0±9.9 ^{bc}	2.4±0.5 ^{ab}	1.9±0.3 ^a
Day-5	333.7±27.2 ^a	384.7±11.4 ^b	20.5±0.7 ^a	30.4±5.2 ^{ab}	2.8±1.0 ^{ab}	2.0±0.7 ^a
Day-10	361.3±23.2 ^{ab}	382.3±7.2 ^b	20.0±6.6 ^a	39.5±6.4 ^{bc}	2.0±1.4 ^a	1.6±0.5 ^a
Day-20	353.7±12.4 ^{ab}	386.0±2.8 ^b	21.5±9.2 ^a	33.5±4.9 ^{ab}	1.5±0.7 ^a	1.5±0.2 ^a

The values are mean±SD. Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P>0.05$). AST: aspartate aminotransferase, ALT: alanine aminotransferase, FW: freshwater, SW: seawater.

Table II-3. Variations of osmolality, AST and ALT levels in plasma of black seabream in Exp. II

Elapsed time (hours)	Osmolality (mOsm/kg)		AST (IU/L)		ALT (IU/L)	
	SW→FW	SW	SW→FW	SW	SW→FW	SW
0	348.5 ± 2.1 ^{de}	346.7 ± 2.5 ^{de}	17.0 ± 4.6 ^{abc}	19.5 ± 2.1 ^{abc}	4.5 ± 1.0	4.3 ± 1.2
3	335.7 ± 2.1 ^{bc}	350.3 ± 3.1 ^e	12.7 ± 0.6 ^{ab}	18.0 ± 6.7 ^{abc}	4.3 ± 1.2	4.8 ± 1.7
6	340.7 ± 0.6 ^{cd}	350.7 ± 4.0 ^e	16.5 ± 3.5 ^{abc}	21.0 ± 7.1 ^{bc}	4.8 ± 0.5	5.3 ± 2.3
12	344.7 ± 2.1 ^{de}	347.3 ± 4.0 ^{de}	12.0 ± 1.4 ^{ab}	15.5 ± 6.4 ^{abc}	5.2 ± 1.8	5.3 ± 0.6
24	349.0 ± 2.8 ^{de}	353.5 ± 7.8 ^e	8.5 ± 1.3 ^a	16.7 ± 11.0 ^{abc}	5.5 ± 1.3	4.3 ± 1.5
36	319.0 ± 1.4 ^a	351.7 ± 3.1 ^e	24.0 ± 7.1 ^c	17.7 ± 3.2 ^{abc}	5.0 ± 1.4	5.3 ± 0.6
48	328.0 ± 2.8 ^b	351.0 ± 5.3 ^e	48.0 ± 1.4 ^d	17.3 ± 2.1 ^{abc}	5.0 ± 0.0	4.7 ± 2.1

The values are mean ± SD. Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P > 0.05$). AST: aspartate aminotransferase, ALT: alanine aminotransferase, FW: freshwater, SW: seawater.

(4) 혈액의 일반성상(Ht, RBC 및 Hb)

Exp. I 에서 Ht, RBC 및 Hb의 변화는 Table II-4와 같다. Ht는 실험구와 대조구에서 실험개시시부터 종료시까지 각각 $19.6 \pm 0.8 \sim 22.7 \pm 3.2\%$, $19.7 \pm 1.9 \sim 22.0 \pm 1.3\%$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). RBC는 실험구와 대조구에서 실험개시시부터 종료시까지 각각 $2.5 \pm 0.1 \sim 3.0 \pm 0.1 \times 10^6 \text{ cell}/\mu\text{l}$, $2.8 \pm 0.1 \sim 3.1 \pm 0.1 \times 10^6 \text{ cell}/\mu\text{l}$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). Hb는 실험구에서 실험개시시에 $15.6 \pm 1.1 \text{ g/dL}$ 였던 것이 5일째에는 $19.1 \pm 1.1 \text{ g/dL}$ 로 유의하게 증가하였지만($P < 0.05$), 10일째에는 $16.3 \pm 1.3 \text{ g/dL}$ 로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $17.0 \pm 2.3 \sim 19.5 \pm 0.7 \text{ g/dL}$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Exp. II 에서 Ht, RBC 및 Hb의 변화는 Table II-5와 같다. Ht는 실험구에서 실험개시시에 $20.2 \pm 0.8\%$ 였던 것이 3시간째에는 $23.4 \pm 4.0\%$ 로 유의하게 증가하였으나($P < 0.05$), 6시간째에는 $20.4 \pm 3.1\%$ 로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $20.3 \pm 1.8 \sim 21.9 \pm 1.6\%$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). RBC는 실험구와 대조구에서 실험개시시부터 종료시까지 각각 $2.6 \pm 0.4 \sim 3.1 \pm 0.5 \times 10^6 \text{ cell}/\mu\text{l}$, $2.6 \pm 0.4 \sim 2.8 \pm 0.9 \times 10^6 \text{ cell}/\mu\text{l}$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). 또한 Hb에서도 실험구와 대조구에서 실험개시시부터 종료시까지 각각 $16.0 \pm 2.1 \sim 19.4 \pm 0.5 \text{ g/dL}$, $16.9 \pm 0.9 \sim 18.0 \text{ g/dL}$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Table II-4. Variations of hematocrit, red blood cell and hemoglobin levels in plasma of black seabream in Exp. I

Elapsed time (hours)	HT (%)		RBC ($\times 10^6$ cell/ μ l)		Hb (g/dL)	
	SW→FW	SW	SW→FW	SW	SW→FW	SW
0	21.0 \pm 1.6 ^{ab}	20.2 \pm 2.3 ^{ab}	2.9 \pm 0.4 ^{abc}	2.8 \pm 0.3 ^{abc}	15.6 \pm 1.1 ^{abc}	17.0 \pm 2.3 ^{bcde}
12	22.7 \pm 3.2 ^b	22.0 \pm 1.3 ^{ab}	2.9 \pm 0.2 ^{abc}	3.1 \pm 0.1 ^c	13.5 \pm 1.5 ^a	20.3 \pm 2.6 ^f
84	19.5 \pm 1.8 ^a	21.7 \pm 2.3 ^{ab}	2.6 \pm 0.2 ^{ab}	2.9 \pm 0.2 ^{abc}	16.4 \pm 1.2 ^{abcd}	18.5 \pm 1.1 ^{cdef}
96	20.2 \pm 1.4 ^{ab}	20.8 \pm 2.7 ^{ab}	2.6 \pm 0.2 ^{ab}	3.0 \pm 0.5 ^{bc}	15.6 \pm 1.8 ^{abc}	17.3 \pm 2.0 ^{cdef}
Day-5	21.0 \pm 0.4 ^{ab}	21.7 \pm 0.6 ^{ab}	3.0 \pm 0.1 ^{bc}	2.8 \pm 0.1 ^{abc}	19.1 \pm 1.1 ^{def}	17.9 \pm 1.5 ^{cdef}
Day-10	19.8 \pm 0.4 ^{ab}	19.7 \pm 1.9 ^a	2.5 \pm 0.1 ^a	2.8 \pm 0.1 ^{abc}	16.3 \pm 1.3 ^{abcd}	17.5 \pm 0.4 ^{cdef}
Day-20	19.6 \pm 0.8 ^a	20.8 \pm 1.1 ^{ab}	2.5 \pm 0.2 ^a	2.9 \pm 0.1 ^{abc}	14.2 \pm 2.5 ^{ab}	19.5 \pm 0.7 ^{ef}

The values are mean \pm SD. Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P>0.05$). Ht: hematocrit, RBC: red blood cell, Hb: hemoglobin, FW: freshwater, SW: seawater.

Table II-5. Variations of hematocrit, red blood cell and hemoglobin levels in plasma of black seabream in Exp. II

Elapsed time (hours)	HT (%)		RBC ($\times 10^6$ cell/ μ l)		Hb (g/dL)	
	SW→FW	SW	SW→FW	SW	SW→FW	SW
	0	20.2±0.8 ^a	20.3±3.1 ^a	2.8±0.2 ^{ab}	2.6±0.4 ^a	17.2±0.5 ^{ab}
3	23.4±4.0 ^b	21.5±4.4 ^{ab}	3.1±0.5 ^b	2.8±0.5 ^{ab}	17.6±1.6 ^{abc}	17.1±1.7 ^{ab}
6	20.4±3.1 ^{ab}	21.9±1.6 ^{ab}	2.7±0.4 ^a	2.7±0.2 ^{ab}	18.7±1.6 ^{bc}	17.8±0.7 ^{abc}
12	19.5±3.1 ^a	21.2±3.0 ^{ab}	2.6±0.4 ^a	2.7±0.3 ^a	19.4±0.5 ^c	17.6±2.3 ^{abc}
24	19.8±1.3 ^a	20.3±1.8 ^a	2.8±0.2 ^{ab}	2.8±0.3 ^{ab}	16.7±0.6 ^{ab}	18.0±1.9 ^{abc}
36	20.9±3.0 ^{ab}	21.4±3.4 ^{ab}	2.9±0.4 ^{ab}	2.8±0.4 ^{ab}	16.0±2.1 ^a	17.1±0.8 ^{ab}
48	21.0±2.6 ^{ab}	21.1±4.2 ^{ab}	2.9±0.4 ^{ab}	2.8±0.9 ^{ab}	17.9±0.1 ^{abc}	16.9±0.6 ^{ab}

The values are mean±SD. Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P>0.05$). Ht: hematocrit, RBC: red blood cell, Hb: hemoglobin, FW: freshwater, SW: seawater.

(5) 아가미의 구조

Exp. I 에서 아가미 관찰시 84시간째에는 2차새변(gill lamella)의 형태가 실험개시시(Fig. II-6, A)와 비슷하였지만(Fig. II-6, B), 5일째에는 2차새변의 구부러진 구조와 팽창된 현상을 관찰할 수 있었으며, 새변(filament)내의 세포들이 용출된 현상을 관찰할 수 있었다(Fig. II-6, C). 20일째에는 2차새변의 손상된 부분을 다소 관찰할 수 있었지만 실험개시시와 비슷한 구조가 관찰되었다(Fig. II-6, D).

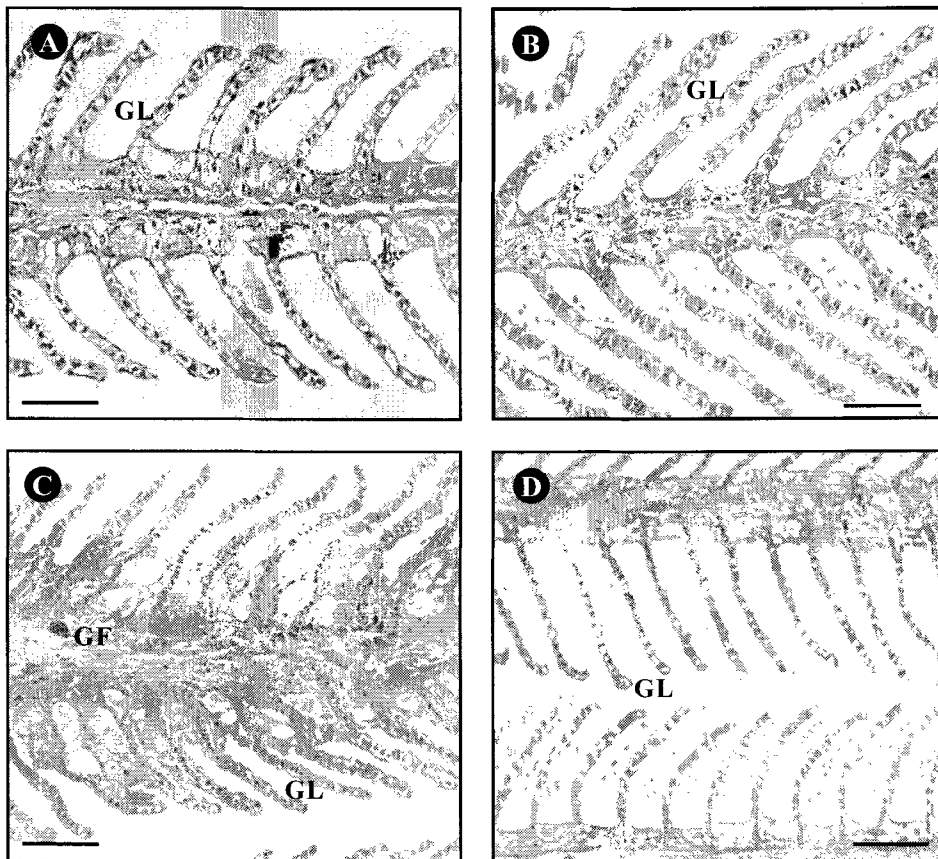


Fig. II-6. Photomicrographs of gill filaments and lamellae of black seabream in Exp. I. A: control, B: 84 hour, C: Day-5, D: Day-20. GF: gill filament, GL: gill lamella. Bar=50 μ m.

(6) 생존율

단계적인 염분변화 실험인 Exp. I 에서 실험기간중 실험구에서의 감성돔의 생존율은 0‰ 염분농도였던 실험개시 4일째에 90%로 감소하기 시작하여, 5일째에 86.7%, 20일째에는 83.3%로 나타났다. 대조구에서는 실험종료시인 20일째에 96.7%로 나타났다(Fig. II-7).

Exp. II 에서는 실험기간(48시간)동안 실험구와 대조구의 생존율은 100%로 차이를 보이지 않았다.

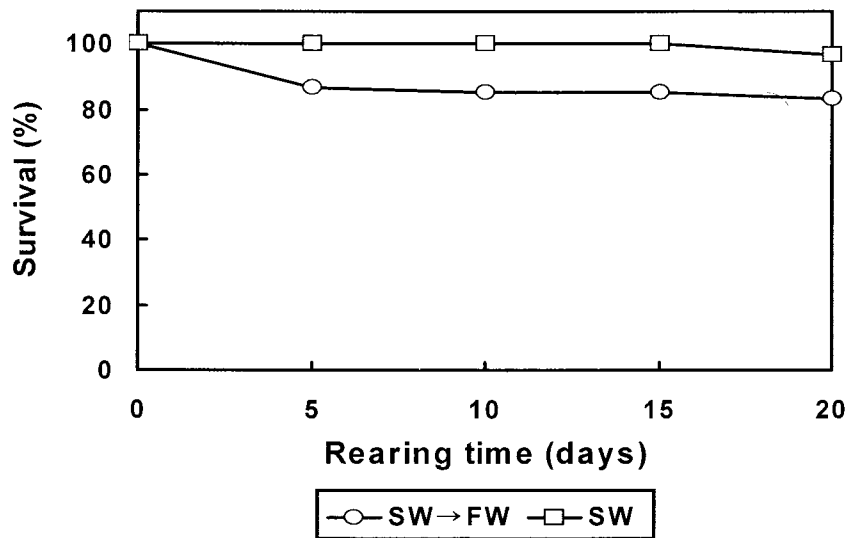


Fig. II-7. Changes of survival rate of black seabream in the step-down salinity changes during experimental period in Exp. I. FW: freshwater, SW: seawater.

나. 급격한 염분변화에 대한 생리적 반응

(1) 혈장의 cortisol 및 글루코스 농도

Exp.III에서 cortisol과 글루코스 변화는 Fig.II-8과 같다. cortisol의 농도는 실험구에서 실험개시시에 9.8 ± 4.8 ng/mL였던 것이 6시간째와 12시간째에 각각 63.0 ± 24.3 ng/mL, 117.8 ± 53.8 ng/mL로 유의하게 증가하였으며($P < 0.05$), 24시간째부터 감소하기 시작하여 72시간째에는 10.6 ± 4.6 ng/mL로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $6.8 \pm 2.4 \sim 13.3 \pm 6.1$ ng/mL로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). 글루코스 농도는 실험구에서 실험개시시에 53.8 ± 3.5 mg/dL였던 것이 6시간째와 12시간째에 각각 123.5 ± 26.2 mg/dL, 150.0 ± 55.2 mg/dL로 유의하게 증가하였으나($P < 0.05$) 24시간째에는 69.8 ± 22.7 mg/dL로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $51.5 \pm 3.5 \sim 63.5 \pm 0.7$ mg/dL로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Exp.IV에서 cortisol과 글루코스 변화는 Fig.II-9와 같다. 담수에서 해수로 옮겼을 때 cortisol과 글루코스 농도는 실험개시시부터 종료시까지 각각 $22.2 \pm 20.5 \sim 86.5 \pm 24.6$ ng/mL와 $55.9 \pm 10.0 \sim 96.1 \pm 24.8$ mg/dL로 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$).

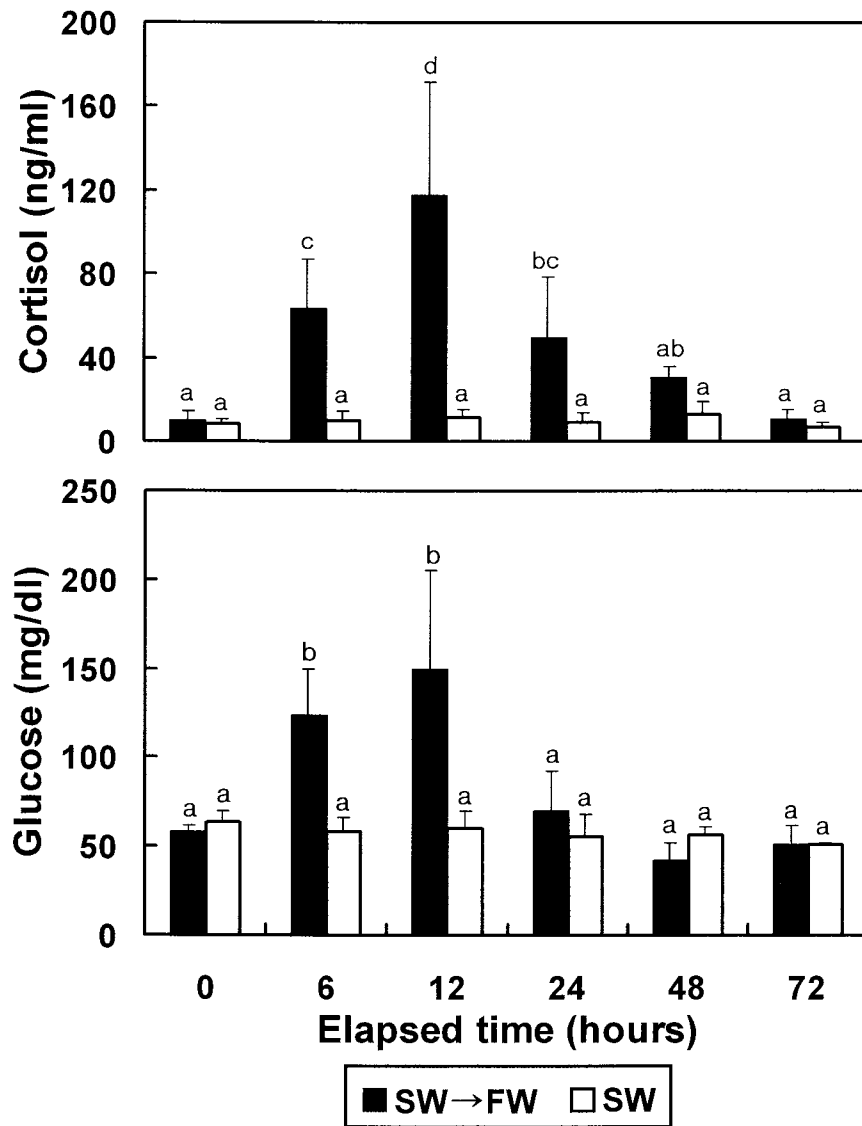


Fig. II-8. Variations of cortisol and glucose levels in plasma of black seabream in Exp.III. Same alphabetic letters are not significantly different ($P>0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

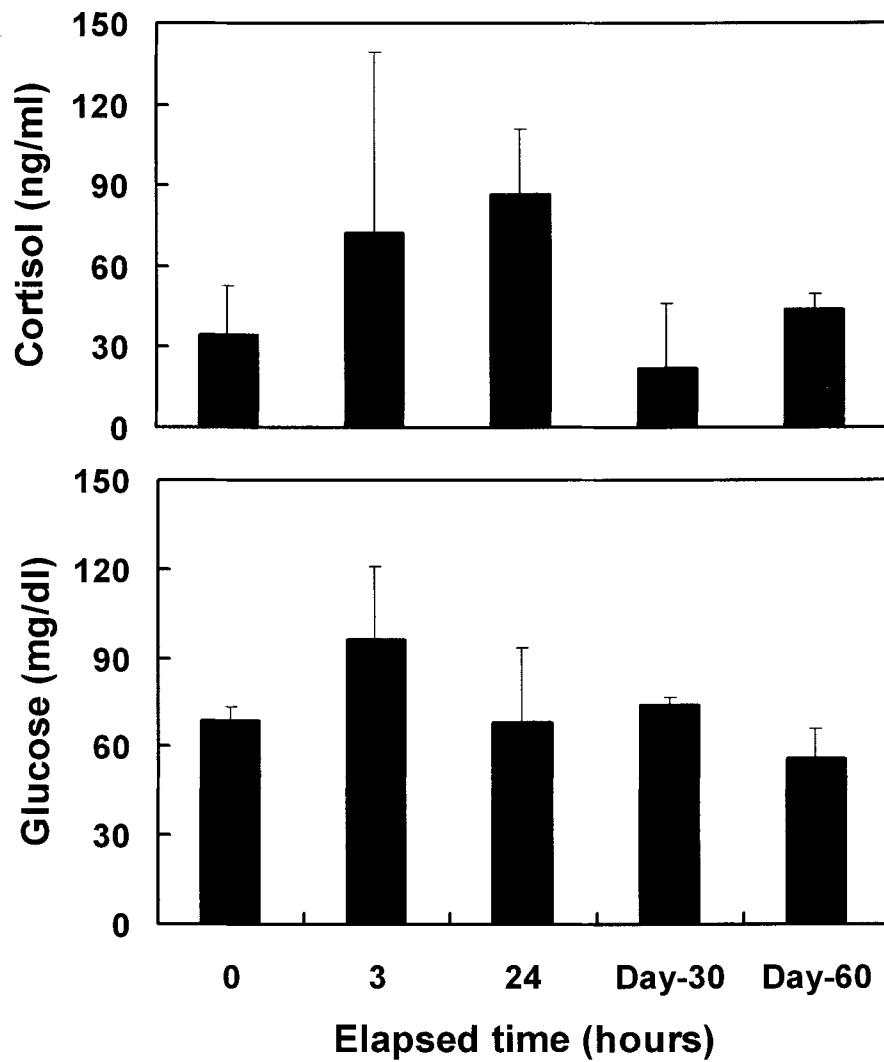


Fig. II-9. Variations of cortisol and glucose levels in plasma of black seabream in Exp.IV.

(2) 혈장의 이온(Na^+ , K^+ 및 Cl^-) 농도

Exp.III에서 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 의 변화는 Fig.II-10과 같다. Na^+ 의 농도는 실험구에서 실험개시시에 177.0 ± 11.3 mEq/L였던 것이 6시간째부터 유의하게 감소하기 시작하여($P < 0.05$), 실험종료시에는 125.0 ± 2.5 mEq/L로 실험개시시 수준으로 회복되지 않았다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $169.2 \pm 7.7 \sim 180.6 \pm 3.8$ mEq/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). K^+ 의 농도는 실험구와 대조구에서 실험개시시부터 종료시까지 각각 $4.0 \pm 2.1 \sim 11.4 \pm 5.3$ mEq/L, $3.9 \pm 0.9 \sim 6.8 \pm 3.7$ mEq/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). Cl^- 의 농도는 실험구에서 실험개시시에 156.0 ± 4.2 mEq/L였던 것이 6시간째부터 유의하게 감소하기 시작하여($P < 0.05$), 실험종료시에는 98.5 ± 5.9 mEq/L로 실험개시시 수준으로 회복되지 않았다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $147.4 \pm 17.1 \sim 161.5 \pm 3.1$ mEq/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Exp.IV에서 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 의 변화는 Fig.II-11과 같다. 담수에서 해수로 옮겼을 때 Na^+ 와 K^+ 는 실험개시시부터 종료시까지 각각 $163.0 \pm 9.9 \sim 187.8 \pm 10.1$ mEq/L와 $3.3 \pm 0.1 \sim 4.0 \pm 0.4$ mEq/L로 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). Cl^- 은 실험개시시에 151.5 ± 2.1 mEq/L였던 것이 3시간째 177.0 ± 10.4 mEq/L로 유의하게 증가하였으나($P < 0.05$), 24시간째에 168.3 ± 19.4 mEq/L로 실험개시시 수준으로 회복하였다.

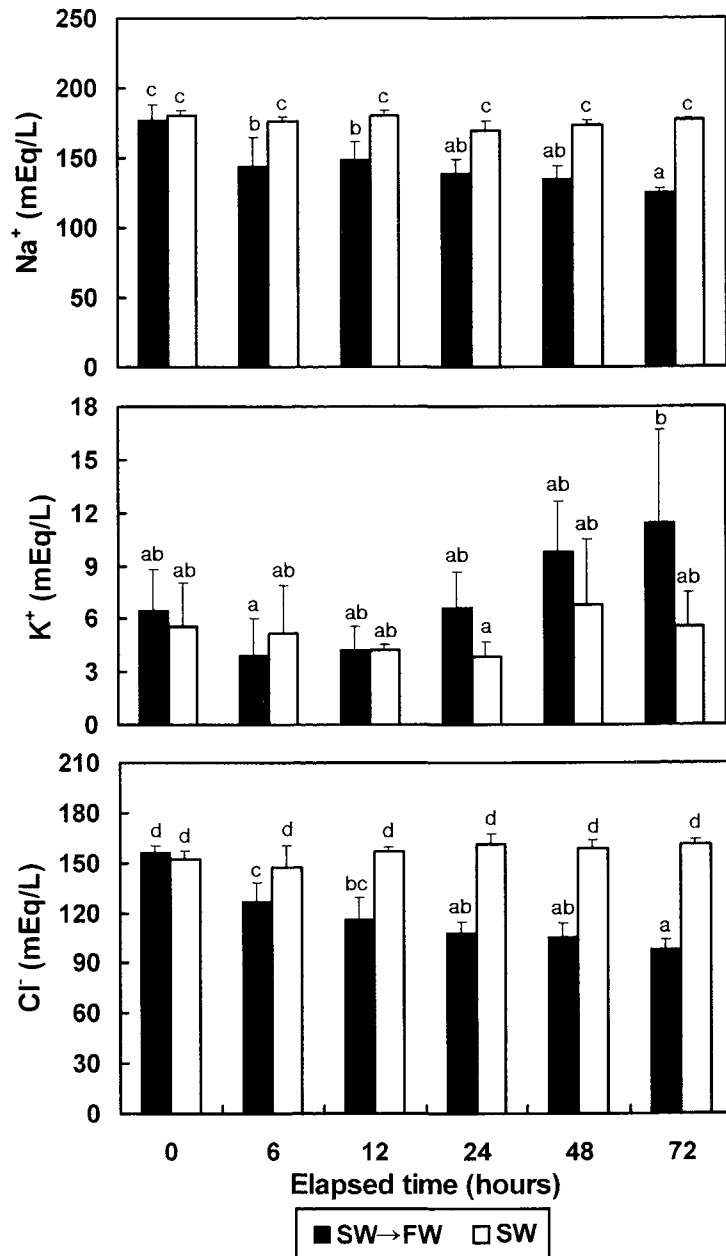


Fig. II-10. Variations of Na⁺, K⁺ and Cl⁻ levels in plasma of black seabream in Exp.III. Same alphabetic letters are not significantly different (P>0.05). FW: freshwater, SW: seawater.

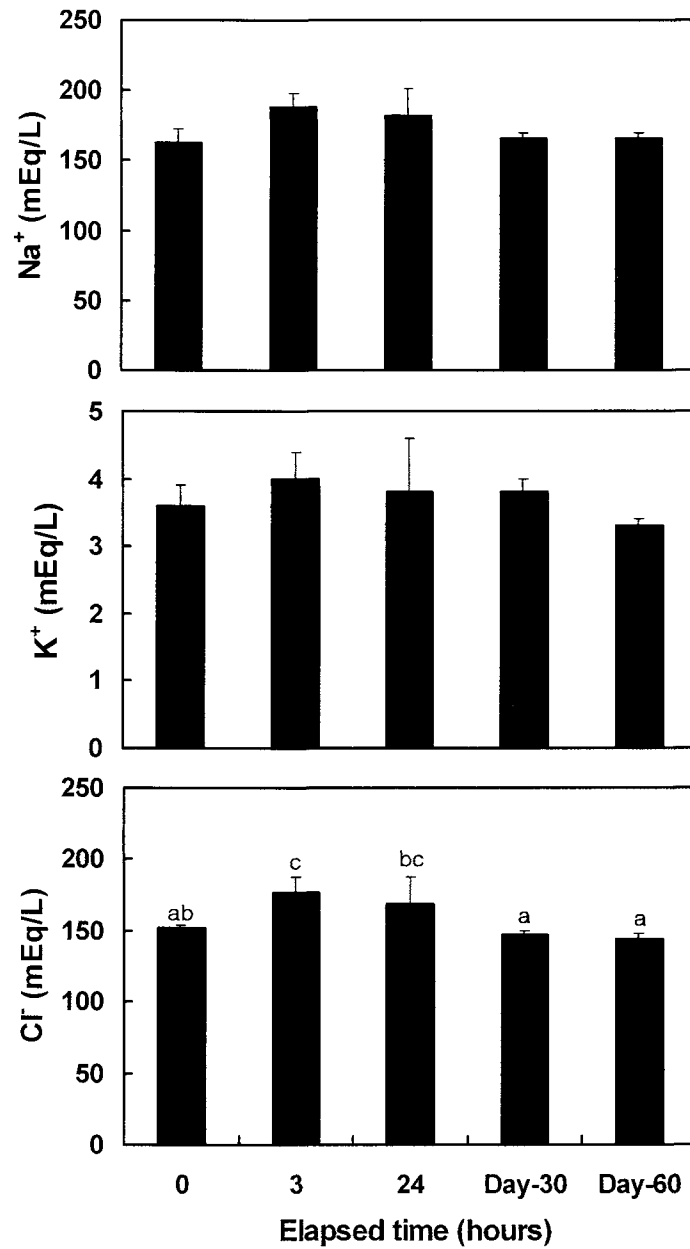


Fig. II-11. Variations of Na⁺, K⁺ and Cl⁻ levels in plasma of black seabream in Exp. IV. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$).

(3) 혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT

Exp.III에서 삼투질 농도, AST 및 ALT 변화는 Table II-6과 같다. 삼투질 농도는 실험구에서 실험개시시 348.0 ± 32.5 mOsm/kg이었던 것이 48시간째에 294.5 ± 9.2 mOsm/kg으로 유의하게 감소하였으며($P < 0.05$), 실험종료시까지 회복되지 않았다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $383.0 \pm 15.6 \sim 388.7 \pm 35.0$ mOsm/kg으로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). AST는 실험구에서 실험개시시 33.5 ± 4.9 IU/L였던 것이 6시간째에 128.0 ± 21.2 IU/L로 유의하게 증가하였으나($P < 0.05$), 실험종료시까지 실험개시시 수준으로 회복되지 않았다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $30.5 \pm 6.4 \sim 52.0 \pm 11.3$ IU/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). ALT는 실험구에서 실험개시시 1.5 ± 0.2 IU/L였던 것이 48시간째에 2.8 ± 0.9 IU/L로 유의하게 증가하였으나($P < 0.05$), 실험종료시까지 실험개시시 수준으로 회복되지 않았다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $1.7 \pm 0.2 \sim 2.3 \pm 0.8$ IU/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Exp.IV에서 삼투질 농도, AST 및 ALT 변화는 Table II-7과 같다. 담수에서 해수로 옮겼을 때 삼투질 농도는 실험개시시부터 종료시까지 $342.5 \pm 5.7 \sim 358.5 \pm 8.3$ mOsm/kg로 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). AST는 실험개시시에 22.0 ± 18.4 IU/L였던 것이 24시간째 42.5 ± 7.8 IU/L로 증가하였다가 30일째에는 15.0 ± 5.7 IU/L로 감소하였으나 실험기간동안 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$). ALT는 실험개시시에 2.5 ± 0.7 IU/L였던 것이 4.8 ± 0.5 IU/L로 유의하게 증가하였다가($P < 0.05$), 30일째에는 2.7 ± 1.2 IU/L로 실험개시시 수준으로 회복되었다.

Table II-6. Variations of osmolality, AST and ALT levels in plasma of black seabream in Exp.III

Elapsed time (hours)	Osmolality (mOsm/kg)		AST (IU/L)		ALT (IU/L)	
	SW→FW	SW	SW→FW	SW	SW→FW	SW
0	348.0±32.5 ^b	378.7±13.3 ^b	33.5±4.9 ^a	30.5±6.4 ^a	1.5±0.2 ^a	1.9±0.1 ^{ab}
6	353.3±17.2 ^b	383.7±24.2 ^b	128.0±21.2 ^d	36.8±11.5 ^a	1.8±0.3 ^{ab}	2.3±0.8 ^{ab}
12	348.0±36.8 ^b	388.7±35.0 ^b	138.5±51.6 ^d	41.5±10.6 ^a	1.8±0.1 ^{ab}	2.1±0.6 ^{ab}
24	338.0±2.8 ^{ab}	378.0±31.2 ^b	98.5±44.5 ^{cd}	52.0±11.3 ^{abc}	2.2±0.4 ^{ab}	1.7±0.6 ^{ab}
48	294.5±9.2 ^a	383.0±15.6 ^b	92.7±19.5 ^{bcd}	32.7±4.7 ^a	2.8±0.9 ^b	1.7±0.2 ^{ab}
72	274.0±20.8 ^a	384.5±25.8 ^b	94.0±33.9 ^{bcd}	49.5±7.8 ^{ab}	2.8±1.5 ^b	1.7±0.6 ^{ab}

The values are mean±SD. Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P>0.05$). AST: aspartate aminotransferase, ALT: alanine aminotransferase, FW: freshwater, SW: seawater.

Table II-7. Variations of osmolality, AST and ALT levels in plasma of black seabream in Exp.IV

Elapsed time (hours)	Osmolality (mOsm/kg)	AST (IU/L)	ALT (IU/L)
0	342.5±5.7	22.0±18.4 ^{ab}	2.5±0.7 ^a
3	358.5±8.3	28.0±1.4 ^{ab}	3.7±0.6 ^{ab}
24	355.0±10.2	42.5±7.8 ^b	4.8±0.5 ^b
Day-30	343.7±14.5	15.0±5.7 ^a	2.7±1.2 ^a
Day-60	349.0±7.1	13.5±3.1 ^a	2.5±0.6 ^a

The values are mean±SD. Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P>0.05$). AST: aspartate aminotransferase, ALT: alanine aminotransferase.

(4) 혈액의 일반성상(Ht, RBC 및 Hb)

Exp.Ⅲ에서 Ht, RBC 및 Hb의 변화는 TableⅡ-8과 같다. Ht는 실험구에서 실험개시시에 $20.8 \pm 1.1\%$ 였던 것이 6시간째에 $25.5 \pm 4.6\%$ 로 유의하게 증가하였다가($P < 0.05$), 48시간째에 $20.1 \pm 1.7\%$ 로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $19.7 \pm 1.9 \sim 23.5 \pm 3.7\%$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). RBC는 실험구에서 실험개시시에 $2.9 \pm 0.1 \times 10^6 \text{cell}/\mu\text{l}$ 였던 것이 6시간째에 $3.3 \pm 0.8 \times 10^6 \text{cell}/\mu\text{l}$ 로 유의하게 증가하기 시작하여 24시간까지 유지되다가 48시간째에 $3.9 \pm 0.1 \times 10^6 \text{cell}/\mu\text{l}$ 로 다시 증가하였으며($P < 0.05$), 48시간째에는 $3.1 \pm 0.2 \times 10^6 \text{cell}/\mu\text{l}$ 로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $2.8 \pm 0.1 \sim 3.0 \pm 0.5 \times 10^6 \text{cell}/\mu\text{l}$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). Hb는 실험구에서 실험개시시 $19.5 \pm 0.7 \text{ g/dL}$ 였던 것이 24시간째에 $25.0 \pm 1.9 \text{ g/dL}$ 로 유의하게 증가하였으나($P < 0.05$), 48시간째에는 $20.5 \pm 2.5 \text{ g/dL}$ 로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $17.3 \pm 2.0 \sim 20.3 \pm 2.6 \text{ g/dL}$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Exp.Ⅳ에서 Ht, RBC 및 Hb의 변화는 TableⅡ-9와 같다. 담수에서 해수로 옮겼을 때 Ht는 실험개시시에 $16.2 \pm 2.2\%$ 였던 것이 24시간째에 24.9 ± 3.1 로 유의하게 증가하였다가($P < 0.05$), 30일째에 $20.7 \pm 2.4\%$ 로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 그러나 60일째에는 $28.3 \pm 8.2\%$ 로 유의하게 증가하였다($P < 0.05$). RBC는 Ht와 비슷한 경향을 나타내었다. Hb는 실험개시시에 $12.8 \pm 0.9 \text{ g/dL}$ 였던 것이 24시간째에 $16.7 \pm 1.6 \text{ g/dL}$ 로 유의하게 증가하였다가($P < 0.05$), 30일째에는 $12.9 \pm 1.4 \text{ g/dL}$ 로 실험개시시 수준으로 회복되었다.

Table II-8. Variations of hematocrit, red blood cell and hemoglobin levels in plasma of black seabream in Exp.III

Elapsed time (hours)	HT (%)		RBC ($\times 10^6$ cell/ μ l)		Hb (g/dL)	
	SW→FW	SW	SW→FW	SW	SW→FW	SW
0	20.8 \pm 1.1 ^{abc}	21.4 \pm 3.1 ^{bc}	2.9 \pm 0.1 ^{ab}	3.0 \pm 0.4 ^{abc}	19.5 \pm 0.7 ^{ab}	17.8 \pm 0.5 ^a
6	25.5 \pm 4.6 ^d	22.5 \pm 1.6 ^{bcd}	3.3 \pm 0.8 ^c	3.1 \pm 0.1 ^{abc}	19.5 \pm 1.9 ^{ab}	20.3 \pm 2.6 ^{ab}
12	23.0 \pm 2.3 ^{bcd}	21.5 \pm 2.3 ^{bc}	3.3 \pm 0.2 ^{bc}	2.9 \pm 0.2 ^{abc}	21.3 \pm 1.2 ^b	19.5 \pm 2.2 ^{ab}
24	25.4 \pm 2.1 ^d	22.4 \pm 3.3 ^{bcd}	3.9 \pm 0.1 ^d	3.0 \pm 0.5 ^{abc}	25.0 \pm 1.9 ^c	17.3 \pm 2.0 ^a
48	20.1 \pm 1.7 ^{ab}	23.5 \pm 3.7 ^{cd}	3.1 \pm 0.2 ^{abc}	2.9 \pm 0.1 ^{abc}	20.5 \pm 2.5 ^{ab}	17.9 \pm 1.5 ^a
72	17.8 \pm 3.5 ^a	19.7 \pm 1.9 ^{ab}	2.7 \pm 0.5 ^a	2.8 \pm 0.1 ^a	17.8 \pm 2.8 ^a	17.6 \pm 0.4 ^a

The values are mean \pm SD. Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P > 0.05$). Ht: hematocrit, RBC: red blood cell, Hb: hemoglobin, FW: freshwater, SW: seawater.

Table II-9. Variations of hematocrit, red blood cell and hemoglobin levels in plasma of black seabream in Exp.IV

Elapsed time (hours)	HT (%)	RBC ($\times 10^6$ cell/ μ l)	Hb (g/dL)
0	16.2 \pm 2.2 ^a	2.1 \pm 0.3 ^a	12.8 \pm 0.9 ^{ab}
3	19.1 \pm 3.4 ^a	2.4 \pm 0.2 ^a	14.3 \pm 2.4 ^b
24	24.9 \pm 3.1 ^{bc}	3.1 \pm 0.4 ^b	16.7 \pm 1.6 ^c
Day-30	20.7 \pm 2.4 ^{ab}	2.3 \pm 0.3 ^a	12.9 \pm 1.4 ^{ab}
Day-60	28.3 \pm 8.2 ^{cd}	3.2 \pm 1.0 ^b	12.4 \pm 1.3 ^a

The values are mean \pm SD. Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P > 0.05$). Ht: hematocrit, RBC: red blood cell, Hb: hemoglobin.

(5) 아가미의 구조

Exp.Ⅲ에서 24시간째 아가미는 새변의 팽창과 공포화, 2차새변의 불규칙한 굴곡현상이 관찰되었다(Fig.Ⅱ-12, A). 72시간째는 2차새변의 배열은 정상적으로 나타났으나, 새변과 2차새변이 융합된 현상과 손상이 관찰되었다(Fig.Ⅱ-12, B). 또한, Exp.Ⅲ에서 해수 사육된 감성돔의 아가미는 염류세포 개구부(apical pit)가 열려져 있는 형태를 나타내고 있으며, 염류세포 개구부 주변에 핵과 미토콘드리아가 관찰되었다(Fig.Ⅱ-13, A). 담수사육 12시간째(Fig.Ⅱ-13, B)에는 피개세포(pavement cell)가 관찰되지 않았으며, 염류세포 개구부의 형태는 닫혀지는 조직상을 보여주었다. 해수에 비해 핵이 피개세포 가까이 위치하였으며, 미토콘드리아와 중앙에 적혈구를 관찰할 수 있었다. 담수사육 24시간째(Fig.Ⅱ-13, C)에는 염류세포 개구부는 닫혀지는 조직상을 보였는데, 12시간째와는 특이하게 피개세포가 덮혀지는 것으로 관찰되었다. 또한 미토콘드리아 수는 12시간째 보다 밀도가 적어지는 것으로 나타났다. 담수사육 72시간째(Fig.Ⅱ-13, D)에는 염류세포 개구부가 완전히 닫혀진 모양을 나타냈고 피개세포에 의한 덮혀진 모양을 보였다.

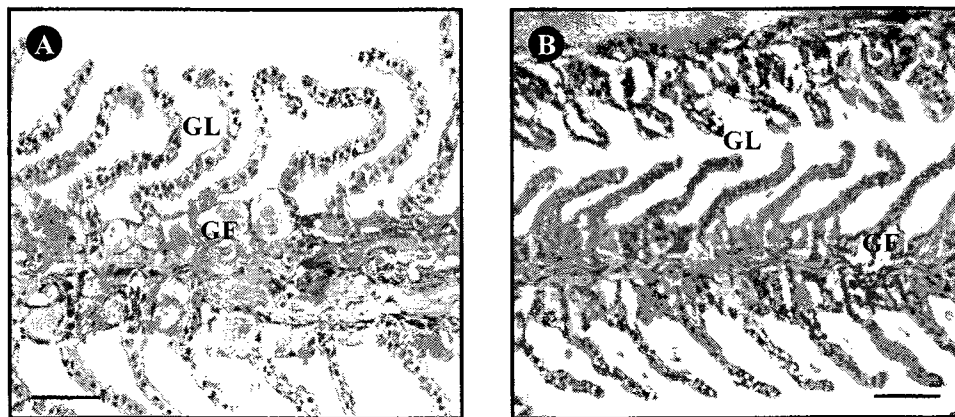


Fig. Ⅱ-12. Photomicrographs of gill filaments and lamellae of black seabream in Exp.Ⅲ. A: 24 hours, B: 72 hours. Bar=50 μ m.

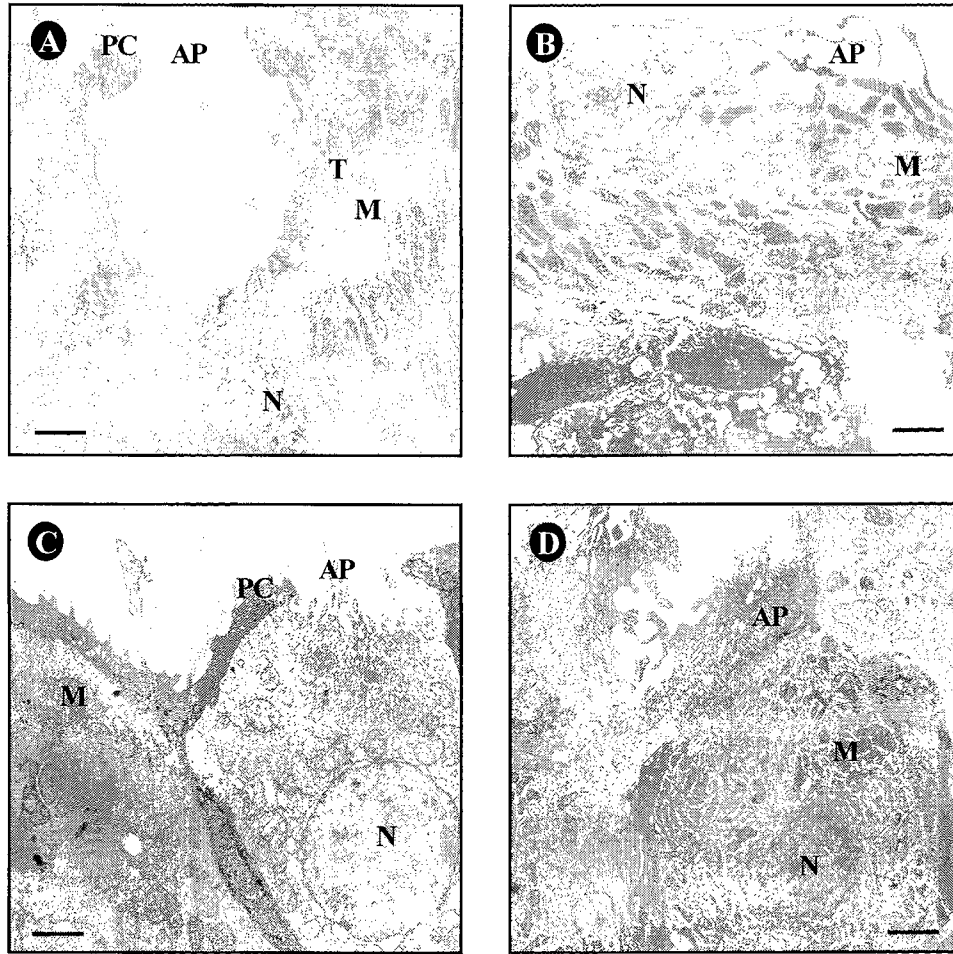


Fig. II-13. Electron micrographs of chloride cell of black seabream in Exp.III. A: seawater, B: 12 hours, C: 24 hours, D: 72 hours. Bars: A: 1 μm , B, C and D: 2 μm . AP: apical pit, M: mitochondria, N: nucleus, PC: pavement cell, T: tubular system.

(6) 생존율

급격한 염분변화 실험인 Exp.III에서 실험기간중 실험구에서의 감성돔의 생존율은 실험개시 5일째에 86.6%로 감소하기 시작하여, 10일째에 85.0% 감소하였으며, 실험 종료시인 20일째에는 83.3%로 나타났다. 대조구에서는 실험종료시인 20일째에 98.3%로 나타났다(Fig. II-14).

담수사육중인 감성돔을 다시 해수로 옮겨 실험한 Exp.IV에서는 30, 60일째에 각각 93%, 85%로 나타났다(Fig. II-15).

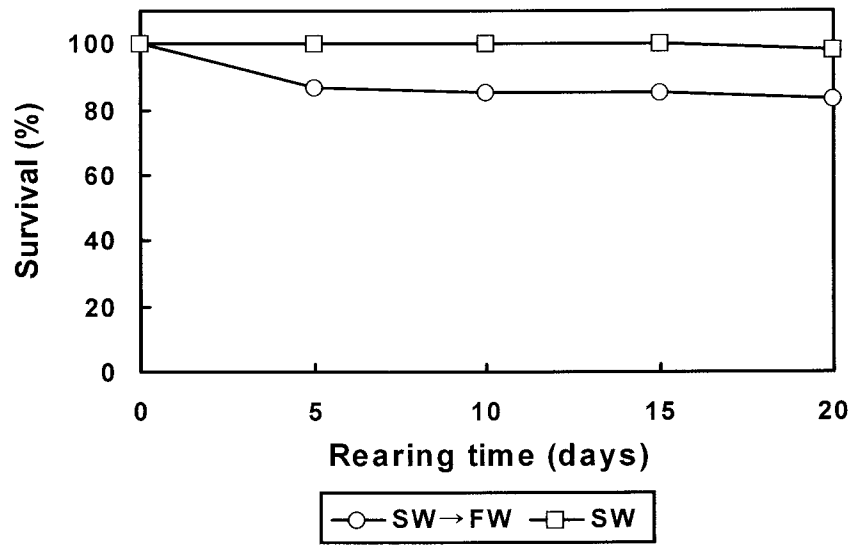


Fig. II-14. Changes of survival rate of black seabream in the abrupt-down salinity changes during experimental period in Exp.III. FW: freshwater, SW: seawater.

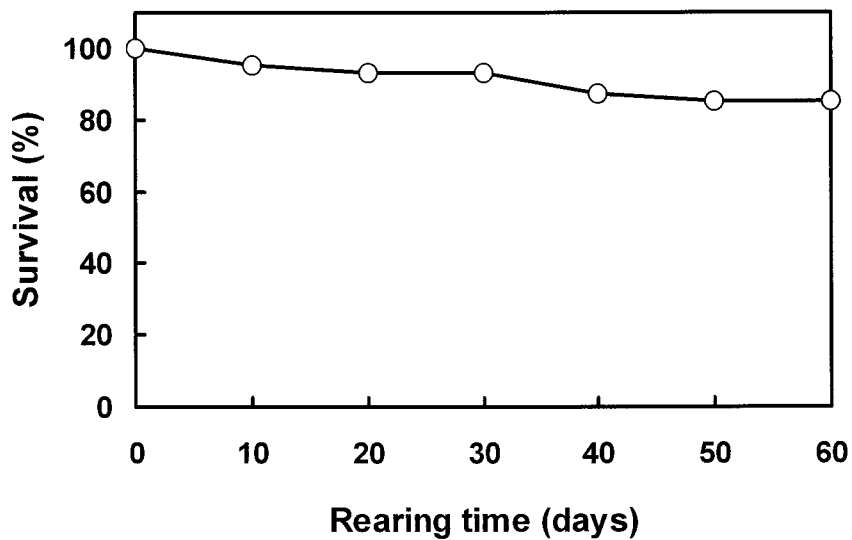


Fig. II-15. Changes of survival rate of black seabream in the abrupt-up salinity changes during experimental period in Exp.IV.

4. 고 찰

사육수의 염분변화는 어체의 스트레스 요인으로 작용하여 삼투압 조절이 불안정해지며(Mazeaud et al., 1977), 혈중 카테콜아민(Schreck, 1982)과 cortisol (Chang and Hur, 1999) 수준을 상승시킨다. 어류는 이러한 스트레스가 지속되면 어병에 대한 저항성이 감소되며(Wedemeyer and Yasutake, 1977), 또한 성장과 번식에도 영향이 미치게 된다. 어류가 스트레스에 노출되면 뇌-교감신경-크롬친화성세포축(Perry and Reid, 1993)과 뇌-뇌하수체-간신선축(Specker et al., 1989)의 두계의 활성이 높아져 카테콜아민과 cortisol을 혈중으로 빠르게 방출되게 하여, 결과적으로 글루코스 신생합성(gluconeogenesis)을 통한 글루코스의 혈중 분비를 증가시킨다. 이러한 체내 대사과정에 의해 나타나는 cortisol과 글루코스는 어체가 받은 스트레스 지표로 인정된다(Wedemeyer and Yasutake, 1977). 또한 혈액의 젖산, 지질, 단백질, 전해질, Ht, Hb 및 간 글리코겐의 양적 변화도 스트레스와 어체의 생리활성 평가의 지표로 이용된다(Wedemeyer and McLeay, 1981).

Barton and Iwama (1991)는 어류에게 스트레스를 주었을 때, 어종에 따라 혈중 cortisol 농도의 급상승에 이르는 소요시간과 상승속도가 다르게 나타난다고 하였으며, Einarsdottir and Nilssen (1996)은 대서양 연어(*Salmo salar*)의 경우, 수심감소에 따른 cortisol의 농도는 실험 1시간 이내에 최고값을 나타내고 이후 2시간째부터는 실험개시시와 차이를 보이지 않았던 것으로 보고한 바 있다. 또한 red drum의 핸들링 스트레스에 따른 cortisol 농도는 최고 1시간째 나타났고, 3시간 이후에는 안정값으로 회복하였으며(Robertson et al., 1987), Foo and Lam (1993)은 틸라피아에서 핸들링 스트레스의 반응으로 cortisol이 4분 이내에 증가하기 시작하여 30분에 최고수준에 달한다고 보고하였다. 본 연구에서는 해수에서 담수까지 단계적인 염분변화를 주었을 때 5일째(Exp. I)와 24시간째(Exp. II)에 cortisol이 증가한 반면 급격한 염분변화를 주었을 때 6시간째 증가하기 시작하여 12시간째 최고값이 나타났으며, 또한 Exp. I 과 II에서 cortisol의 최고값이 안정시보다 각각 2.3, 2.4배 정도 높았지만 Exp. III에서는 12배 정도 높았다. 위의 이러한 결과로 볼 때 해수에서 담수로의 급격한 염분변화는 단계적인 염분변화보다 스트레스 반응이 빨리 나타나며, 스트레스를

많이 받음을 알 수 있다. 그러나, 이미 해수에 적응된 감성돔을 해수로 다시 옮겼을 때 유의한 차이는 없었지만 cortisol의 농도가 증가하는 두가지 측면에서 설명할 수 있다. 첫째, 급격한 염분변화에 따른 스트레스 반응일 수가 있으며, 둘째, 어류에서 cortisol의 효과는 대사, 삼투조절, 면역과 연관이 있으며(Pickering, 1987), 뱀장어 (*Anguilla anguilla*)와 같은 광염성 어류에서 cortisol은 해수와 담수에서 매우 중요한 삼투조절 호르몬이다(Mayer et al., 1967). 특히, 아가미의 염류세포의 Na^+, K^+ -ATPase 활성화, Na^+, K^+ -ATPase α -subunit의 발현 발달을 촉진을 자극하여 해수적응과 염분내성을 증가시킨다(Pickford et al. 1970). 따라서, 본 연구에서 감성돔을 담수에서 해수로 옮길 때 cortisol의 증가는 아가미 염류세포의 활성을 향상시키는 작용으로도 볼 수 있다.

일반적으로 어류양식에 있어 스트레스 요인으로는 염분변화, 선별, 가두기, 포획, 공기노출 및 이송, 수질 오염 등이 있을 수 있다. 본 연구에서 감성돔을 장기간 담수 및 해수에서 사육한 결과 유의한 차이는 없었지만 담수에서 90일째에 cortisol 농도가 증가하였는데 이것은 염분변화에 의한 만성적인 결과로도 볼 수 있다. 그러나, Le Ruyet et al. (1998)은 사육수의 고농도 암모니아에 노출되었을 때 turbot과 seabream 치어에서 cortisol 농도가 급격히 상승한다고 보고한 바 있다. 그러나, 해수사육에서는 cortisol의 변화가 거의 일정한 것으로 보아 암모니아나 수온 등 외부 환경변화에 따른 스트레스 반응이 해수에서는 나타나지 않지만 담수사육시에는 나타날 수도 있음을 알 수 있다.

일반적으로 글루코스는 스트레스에 의해 증가되며, Barton and Iwama (1991)는 cortisol 농도가 높아짐에 따라 글루코스 농도가 높아지는 현상은 스트레스에 의한 호르몬 반응을 뒤따른 2차반응의 결과라고 하였다. 이러한 결과는 송어, *Mugil cephalus* (Chang and Hur, 1999), pejerrey, *Odontesthes bonariensis* (Tsuzuki et al., 2001)등 많은 경골어류에도 보고되고 있다. 이러한 결과는 본 연구에서도 일치하고 있으나, 이전 연구(unpublished data)에서는 급격한 염분변화시 cortisol의 농도는 증가한 반면 글루코스 농도는 변화가 없었는데, 이것은 cortisol에 의해 글루코스 신생합성이 일어나기 전에 글루코스가 항상성 유지를 위해 에너지원으로 급격히 사용되

었거나, cortisol과 동반 상승하여 cortisol 보다 빠른 시간 이내에 스트레스 이전의 농도로 회복되었을 가능성도 있다. 이와 같은 결과는 수온 급하강시 넙치에서도 보고되고 있다(Park et al., 1999).

어류는 환경수의 삼투질 농도가 체내보다 높으면 삼투압에 의해 이온은 유입되며 물은 빠져나가게 되므로 체내의 일정한 삼투질 농도를 유지하기 위하여 이온은 방출하며 물은 흡수하는 저삼투압조절(hypo-osmoregulation)을 한다. 반대로 환경수의 삼투질 농도가 체내보다 낮으면 이온은 빠져나가며 물은 유입되므로 이온은 흡수하며 물은 방출하는 고삼투압조절(hyper-osmoregulation)을 한다. 본 연구에서는 해수에서 담수로 염분변화는 어류가 체액보다 낮은 저장액(hypotonic solution)에 노출되어 삼투압 조절의 혼란에 의해 Na^+ , K^+ , Cl^- 이 어체에서 배출되었지만 단계적인 염분변화에서는 실험종료시까지 대부분 정상적으로 회복된 반면, 급격한 염분변화에서는 회복되지 않았다. 그러나 담수에서 다시 해수로 옮겼을 때에는 다소 혼란은 나타났지만 24시간내에 회복됨을 알 수 있었다. 체내의 삼투질 농도에서는 Exp.Ⅱ의 경우 실험종료시에 정상적으로 회복되지는 않았지만 48시간째부터 증가하는 것으로 보아 정상적인 수준으로 회복되고 있음을 알 수 있지만, 급격한 염분변화에서는 실험종료시까지 계속적으로 감소하는 것으로 보아 Na^+/K^+ 펌프 작동에 문제로 인해 삼투압 조절이 제대로 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다. 그러나, 담수에서 해수로의 급격한 염분변화에서는 유의한 변화가 없었다.

경골어류의 삼투압 조절은 아가미, 근육, 소화관 및 신장에서 이루어진다. 이 중 아가미는 호흡, 삼투압조절 및 질소 노폐물의 배설 등을 담당하는 복잡한 기관이며 (Laurent and Dunel, 1980; Maina, 1990), 또한 그 표면적이 다른 기관보다 넓기 때문에 환경변화에 가장 민감한 부위로 알려져 있다. 환경 변화에 따른 아가미의 1차적인 반응은 아가미 2차새변 호흡상피의 박리와 공포화를 유발하며, 이로 인한 2차적인 반응으로서 호흡상피세포의 과도한 증생으로 인한 유착 및 괴사가 일어나 아가미에 의한 호흡효율의 감소를 초래하게 되고 심할 경우 폐사로 이어진다. Lee (1996)는 송어에서 염분이 낮아질수록 2차새변의 괴사 및 공포화 현상이 현저하게 나타난다고 보고한 바 있으며, 본 연구에서도 해수에서 담수로의 급격한 염분 변화 시 2차새변의 손상이 단계적인 염분변화보다 심하였으며 그 회복 속도도 늦다는 것

을 알 수 있었다. 이러한 결과들은 염분변화의 농도와 속도는 2차세변의 손상 정도에 크게 좌우됨을 시사한다.

어체 혈액의 AST, ALT는 모두 아민기 전이효소의 일종으로 간, 비장 등의 세포에 분포하고 있는데, 어체가 건강할 때는 혈중의 활성이 낮다가 조직의 괴사가 일어나거나, 병적 증상이 나타날 때는 세포외로 방출됨으로써 혈중의 활성이 높아지게 된다(池田 등, 1986). 본 연구에서는 염분변화시 모든 실험에서 AST의 증가가 나타났으며, AST의 최고값과 안정시일 때 차이가 단계적인 염분변화에서는 14.3~31 IU/L인 반면 급격한 염분변화에서는 94.5 IU/L로 나타났다. 이것은 염분변화의 정도가 스트레스로 작용하여 간, 비장 등 기관의 세포가 생리적 부담을 받고 있음을 시사한다.

Ht, RBC 및 Hb 등의 혈액 인자는 생체의 산소 운반 능력을 나타낸다. Davis and Parker (1990)는 해산어류에 있어 스트레스는 일반적으로 Ht, RBC 및 Hb 등을 증가시킨다고 하였다. 본 연구에서도 이러한 결과가 단계적인 염분변화의 Exp.Ⅱ와 급격한 염분변화에서 모두 나타났지만, 단계적인 염분변화는 급격한 염분변화보다 그 회복속도가 빠른 것으로 보아 염분변화에 대한 스트레스를 덜 받는 것으로 보인다.

감성돔을 해수에서 담수로 순화하는 방법중 급격한 염분변화는 어체의 많은 스트레스를 주는 것으로 나타났다. 이것은 삼투압 조절의 혼란, 여러 조직의 괴사 등을 유발하며 체내의 항상성 유지에 많은 에너지를 소모하게 하므로, 성장 지연이나 질병에 대한 저항력 감소를 초래하여 결국 폐사에 이르게 한다. 그러나 단계적인 염분변화는 스트레스의 정도가 작으며, 또한 그 회복 속도가 빠른 것으로 나타났다. 또한, 이미 적응된 감성돔은 원래의 해수환경으로 가는 급격한 염분변화에 대하여 스트레스를 적게 받으며 항상성을 잘 유지하는 것으로 보이므로, 담수사육중 수질오염, 질병 등의 발생에 대한 대책으로서 해수사육으로의 전환도 가능하다고 할 수 있다.

앞으로는 담수순화시 스트레스를 최소화 할 수 있는 염분변화의 방법뿐만 아니라 담수에 적응되었을 때 인위적인 스트레스나, 환경적인 변화에 따른 생리적 반응을 조사해야 될 것으로 생각된다.

제3절 장기간 담수사육에 따른 생리적 반응 및 성 성숙

1. 서론

한국의 내수면 어류양식은 틸라피아, 잉어류가 주류를 이루고 있으나 과잉생산으로 인해 경제성이 낮으며, 최근 수입개방과 환경오염으로 담수양식 산업이 어려움에 처해 있는 실정이다. 따라서 새로운 고가의 양식어종 개발은 내수면 어류양식에 있어 시급히 해결해야 할 중요한 과제이다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근에 송어, 농어 등 일부 광염성 해산어류의 뛰어난 삼투압 조절능력을 응용한 담수순화 양식이 시도되고 있으며, 그 기초연구로서 사육수의 염분변화에 따른 혈액성상, cortisol, 글루코스, 삼투질 및 이온농도 등이 보고된 바 있으며(Chang and Hur, 1999; Min et al., 2003), 이와 같은 생리학적 변화는 염분변화시와 그 이후의 단기간내에서 주로 연구되어져 왔다. 그러나, 감성돔의 장기간 담수사육에 따른 어체의 생리적 반응은 아직 밝혀지 있지 않은 실정이며, 특히 스트레스 반응, 삼투압 조절의 조사는 담수양식을 위해서 우선시 연구 되어져야 할 것으로 판단된다.

감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*)은 웅성선속어로 4~5년생부터 암·수로 분리되며 5~6월에 산란하는 어종이다(Chyung, 1990). 감성돔의 성과 관련된 연구로는 국내의 경우 성분화(Lee et al., 1994) 및 배우자 보존(Chang et al., 1995; Lim and Chang, 1996; Lim et al., 1997) 등이 있으며, 국외에서는 성전환과 관련하여 호르몬의 양상(Lee et al., 2001) 및 처리(Du et al., 2001)에 관한 연구가 대부분이다. 그러나, 담수양식에 따른 감성돔의 성 성숙과 관련한 연구는 아직 세계적으로 이루어진 바가 없으며, 담수에서 감성돔의 성 성숙 여부는 매우 흥미로운 과제이자 담수에서의 종묘생산의 가능성을 결정짓는 중요한 요인이라 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 감성돔의 장기간 담수사육시 어체의 스트레스 반응 및 여러 생리학적 반응을 조사하며, 또한 성숙여부를 조사함으로써 담수에서의 완전양식의 가능성 여부를 구명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험어 및 사육조건

담수 및 해수 사육한 감성돔의 여러 생리학적 반응 및 성 성숙을 조사하기 위해 실험을 Exp. I ~ IV으로 나누어 실험하였다. 각 실험의 조사 항목은 Table III-1과 같다.

Exp. I: 담수 및 해수 사육한 감성돔의 스트레스 반응, 생리조건, 성장 및 생존율을 비교·조사하기 위하여 담수순화 시킨후 114일 지난 감성돔 80마리(전장 14.3 ± 0.4 cm, 체중 51.0 ± 6.0)와 해수에서 사육중인 감성돔 74마리(전장 14.4 ± 0.2 cm, 체중 48.6 ± 0.6)를 사용하여 담수 및 해수에서 120일간 사육하였다. 사육은 순환여과 사육 시스템으로 구성된 4개의 FRP 원형수조(수용적 220 l)에서 실시하였다. 혈액은 0, 30, 60 및 90일째에 채취하였다. 사육기간중 사료는 돔육성용 사료(조단백 42%, 조지방 7%, 조섬유 4%, 조회분 17%, 칼슘 1.2%, 인 2.7%)를 매일 체중당 3%를 기준으로 공급하였으며, 사료공급후 남은 사료량을 측정하였다. 사육환경으로 수온은 Fig. III-1에 나타내었다. 환수량은 매일 총 사육수의 0.7~1.3%씩으로 하였다.

Exp. II: 부화된지 173일 경과된 전장 13.5 ± 0.8 cm, 체중 42.4 ± 8.8 g인 감성돔을 담수 및 해수에서 87일간 순환여과시스템으로 사육하였으며, 사육종료시(2001년 12월 30일)에 성숙 여부를 조사하기 위해 GSI 조사 및 조직학적 관찰을 실시하였다.

Exp. III: 부화된지 60일 경과된 전장 4.5 ± 0.2 cm, 체중 3.4 ± 0.3 g인 감성돔을 담수 및 해수에서 689일간 유수식 사육시스템으로 사육하였으며, 사육종료시(2003년 5월 30일)에 성숙 여부를 조사하기 위해 GSI 조사, 조직학적 관찰, 정액채취, 혈장의 T, E₂, 정상 삼투질 및 이온농도를 조사하였다.

Exp. IV: 담수 및 해수 사육한 감성돔의 산소소비량을 조사하기 위하여 담수순화 시킨후 108일 지난 감성돔 5마리(전장 11.8 ± 0.3 cm, 체중 24.6 ± 1.6 g)와 해수에서 사육중인 감성돔 5마리(전장 12.4 ± 0.8 cm, 체중 30.1 ± 0.7 g)를 사용하였다.

Table III-1. Investigated items of cultured black seabream in freshwater and seawater in each experiments

Experimental conditions	physiological responses	Investigated items
Exp. I	stress, osmoregulation	plasma cortisol, glucose, Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , osmolality, AST, ALT, Ht, RBC, Hb, gill, muscle, growth, survival rate
Exp. II III	maturation	plasma T, E ₂ , seminal fluid pH, Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , osmolality, GSI, gonadal structure
Exp. IV	metabolism	oxygen consumption

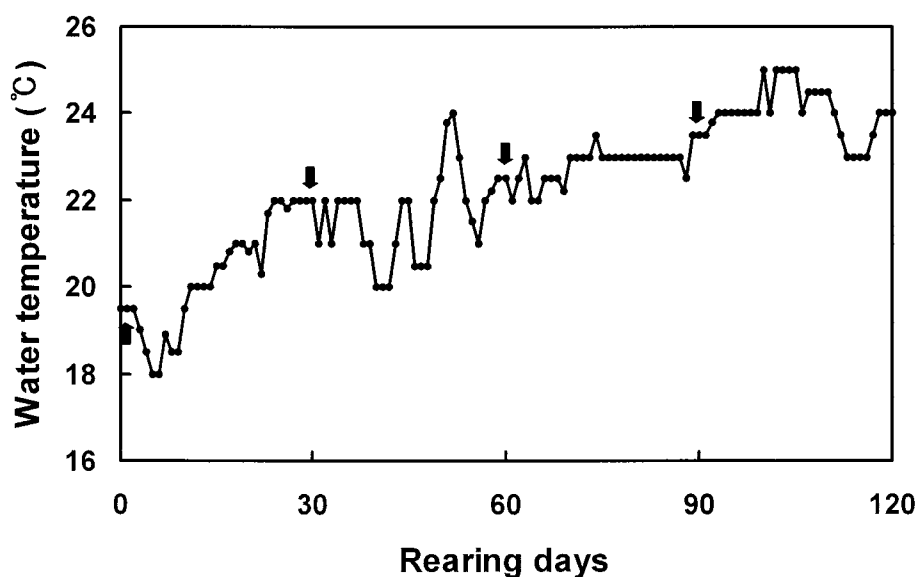


Fig. III-1. Daily variations of water temperature in tanks of freshwater and seawater rearing in Exp. I . Arrows indicate the blood sampling time.

나. 혈액의 채취와 분석

Exp. I 에서 담수 및 해수 사육한 실험어 6마리로부터 heparin sodium 처리 주사기 (1 mL)를 사용하여 마취없이 미부혈관에서 30초 이내에 혈액을 채취하였다. 실험어로부터 혈액을 채취하기 이전에 공급한 먹이가 어체의 혈액성상에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 채혈 24시간전부터 절식시켰다. 채취한 혈액의 일부를 상온에서 10분 이상 방치한 다음, 원심분리(5,600×g, 5분)하여 얻은 혈장은 분석전까지 -72℃에 보관하면서 분석시 사용하였다. 혈장의 cortisol 농도는 Donaldson (1981)의 방사면역측정법(RIA)에 따라 cortisol RIA kit (DSL, USA)로 항원과 표지항원이 항체에 경쟁적으로 반응하도록 유도한 다음, Hewlett Packard Gamma Counter (Cobra II 5010, Packard Co., USA)로 측정하였다. 혈장 글루코스, Na⁺, K⁺, Cl⁻ 농도, AST (aspartate aminotransferase) 및 ALT (alanine aminotransferase) 분석을 위하여 생화학 자동분석기(Advid 1650, JEOL Co., Japan)를 사용하였다. 혈장 삼투질 농도는 micro-osmometer (3MO plus, Advanced Instruments Inc., USA)를 사용하여 분석하였다. 나머지 혈액에 대하여는 채혈 직후에 자동혈액분석기(Excell 500, USA)를 사용하여, 전혈에 대한 적혈구용적(hematocrit, Ht), 적혈구수(red blood cell, RBC), 혈색소농도(hemoglobin, Hb)를 분석하였다.

다. 정액의 채취 및 분석

Exp. III에서 2003년 5월 3일에 담수 및 해수 사육한 2년생 감성돔 5마리로부터 복부를 가볍게 압박하여 정액의 유출 여부를 조사하였다. 실험어로부터 정액을 채취하기 위하여 실험어를 200 ppm의 MS-222에 마취한 다음, 비뇨생식공 주위를 가볍게 눌러 오줌과 배설물물을 미리 제거하였다. 이후 마른 가아제로 비뇨생식공 주위를 깨끗이 닦은 다음, 복부를 여러번 가볍게 문질러 채정하였다. 채취된 정액을 즉시 원심분리(15,000 ×g, 10분)한 후 정장의 일부를 사용하여 pH를 측정하였으며, 나머지 정장은 분석시까지 -72℃에 보관하였다. 정장의 pH와 삼투질 농도는 각각 pH측정기(pH/Ion meter EP-880)와 micro-osmometer (3MO plus, Advanced Instruments Inc., USA)를 사용하여 분석하였다. 또한 정장 Na⁺, K⁺ 및 Cl⁻ 농도 분석을 위하여 생화학 자동분석기(Advid 1650, JEOL Co., Japan)를 사용하였다.

라. 산소소비량 측정

Exp. IV에서 담수 및 해수 사육중인 실험어 5마리씩(전장 11.8 ± 0.3 cm, 체중 24.6 ± 1.6 g)을 12시간 절식 시킨후, 산소소비측정 장치내 호흡실로 옮겨 12시간동안 안정시킨 후 Multi Data Logger System (Oxyguard, Denmark)을 사용하여 72시간 동안 산소소비 일주리듬 및 산소소비량을 조사하였다. 산소소비량 측정시 환경조건으로 수온은 20℃, 광주기는 12L:12D, 조도는 1032 Lux였다. 산소소비량은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

- 단위체중당 산소소비량 (OC_w mg/kg/hr) = $(C_i - C_o) \times F \times 60 / W$
- 개체당 산소소비량 (OC_i mg/fish/hr) = $(C_i - C_o) \times F \times 60 / N$
- 호흡당 산소소비량 (OC_b mg/breath fish) = $(C_i - C_o) \times F \times 60 / (N \times R)$

이때, C_i : 유입수의 용존 산소량, mg/ℓ, C_o : 유출수의 용존 산소량, mg/ℓ

F : 유량, ℓ/min, W : 어체중량, kg, N : 개체수, R : 호흡수/hr

마. 아가미, 근육, 생식소의 조직학적 관찰 및 GSI

Exp. I, II, III에서 담수 및 해수사육한 감성돔의 아가미, 근육 및 생식소의 조직학적 관찰을 조사하기 위해 혈액 샘플후 조직을 Bouin액에 고정한 다음, 상법에 따라 파라핀으로 포매된 조직을 5 μm 두께로 연속절편하고, haematoxylin-eosin으로 대비 염색하여 광학현미경 아래에서 관찰하였다. 생식소중량지수(gonadosomatic index, GSI)는 생식소중량×100/체중으로 산출하였다.

바. 어체의 일반성분 분석

Exp. I에서 담수 및 해수에서 사육한 감성돔의 체성분을 알아보기 위하여 실험종료시인 120일째에 수조당 3마리씩을 무작위 포획하여 전어체를 분쇄한 후 분석전까지 -72℃에서 보관하였다. 이후 각 시료를 AOAC (1995) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법, 조단백은 Kjeldahl 질소정량법, 조지방은 Soxhlex 추출법, 조회분은 직접회화법으로 분석하였다.

사. 성장 및 생존율 조사

Exp. I 에서 담수 및 해수에서 사육한 감성돔의 성장도는 30일 간격으로 조사하였으며, 전장은 1 mm 눈금의 계측판을, 체중은 전자저울(Navigator, Switzerland)을 이용하여 1/10 g까지 습중량으로 측정하였다. 증중량, 증중률, 사료효율, 일간 성장률 및 일간사료섭취율은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

실험기간중 각 실험구에서 매일 폐사개체를 파악하여 폐사율을 구하고, 이로부터 생존율을 역산하였다.

- 증중량(g)=(W₂+W₃)-W₁
- 증중률(%)= $\{(W_2+W_3)-W_1/W_1\} \times 100$
- 사료효율(%)=(I/B) × 100
- 일간성장률(%)= $[G/\{(W_1+W_2+W_3/2) \times D\}] \times 100$
- 일간사료섭취율(%)= $[F/\{(W_1+W_2+W_3/2) \times D\}] \times 100$

이때, B: 일간사료섭취율, D: 사육일수, F: 총사료공급량, G: 증중량, I: 일간성장률, W₁: 사육개시시 어류 총중량, W₂: 사육종료시 어류 총중량, W₃: 사육기간 폐사어 총중량

아. 통계 분석

각 실험결과로부터 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지 (version 9.0)에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test와 student's t test로 검정하였다.

3. 결 과

가. 혈장의 cortisol 및 글루코스 농도

Exp. I 에서 담수 및 해수사육한 감성돔의 cortisol과 글루코스 변화는 Fig.Ⅲ-2와 같다. 담수에서 사육한 감성돔의 cortisol 농도는 실험개시시부터 90일까지 $5.6 \pm 1.3 \sim 10.5 \pm 9.9$ ng/mL였으며, 해수사육에서는 $3.4 \pm 1.3 \sim 4.8 \pm 3.7$ ng/mL로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). 담수사육시 글루코스 농도는 실험개시시에 45.8 ± 3.3 mg/dL였던 것이 90일째에는 89.7 ± 10.8 mg/dL로 유의하게 증가하였다($P < 0.05$). 해수사육시 실험개시시에 57.3 ± 10.8 mg/dL였던 것이 60일째에는 42.2 ± 7.7 mg/dL로 유의하게 낮아졌으나($P < 0.05$), 90일째에는 64.8 ± 11.4 mg/dL로 실험개시시 수준으로 회복되었다.

나. 혈장의 이온(Na^+ , K^+ 및 Cl^-) 농도

Exp. I 에서 담수 및 해수사육한 감성돔의 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 의 변화는 Fig.Ⅲ-3과 같다. 담수 및 해수사육한 감성돔의 Na^+ 농도는 실험개시시에 각각 174.4 ± 2.7 mEq/L, 174.8 ± 3.2 mEq/L로 유의한 차이가 없었으나, 90일째에는 각각 171.5 ± 3.0 mEq/L, 176.8 ± 2.1 mEq/L로 해수사육이 담수사육보다 유의적으로 높았다($P < 0.05$). K^+ 농도는 실험개시시에 각각 3.8 ± 0.5 mEq/L, 4.0 ± 1.8 mEq/L였던 것이 60일째와 90일째에 각각 4.9 ± 0.4 mEq/L, 3.3 ± 0.5 mEq/L와 5.3 ± 0.9 mEq/L, 4.3 ± 0.4 mEq/L로 담수사육이 해수사육보다 유의적으로 높았다($P < 0.05$). Cl^- 농도는 실험개시시에 각각 170.0 ± 8.7 mEq/L, 153.7 ± 2.5 mEq/L, 30일째에 각각 183.0 ± 11.3 mEq/L, 154.3 ± 1.9 mEq/L, 60일째에 각각 168.0 ± 3.7 mEq/L, 158.0 ± 1.6 mEq/L로 담수사육이 해수사육보다 유의하게 높았으나($P < 0.05$), 90일째에는 차이가 없었다.

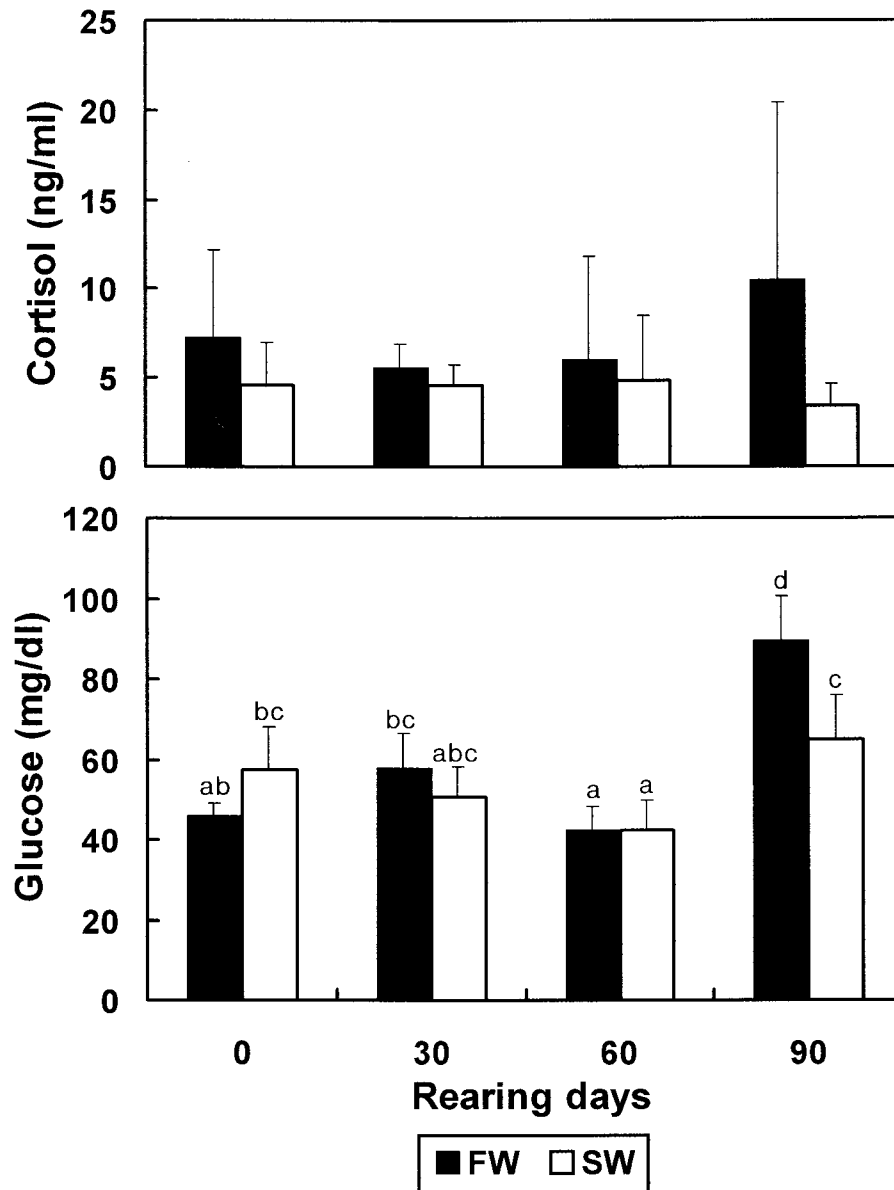


Fig. III-2. Variations of cortisol and glucose levels in plasma of black seabream reared in freshwater and seawater (Exp. I). Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

다. 혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT

Exp. I 에서 담수 및 해수사육한 감성돔의 삼투질 농도, AST 및 ALT 변화는 Table III-2와 같다. 담수와 해수사육에서 삼투질 농도는 실험개시시부터 90일까지 각각 $346.7 \pm 4.6 \sim 356.5 \pm 2.1$ mOsm/kg, $350.0 \pm 2.0 \sim 357.0 \pm 22.6$ mOsm/kg으로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). AST는 담수에서 실험개시시에 17.7 ± 2.3 IU/L였던 것이 30일째에는 47.0 ± 9.6 IU/L로 유의하게 증가하였지만($P < 0.05$), 60일째에는 13.3 ± 2.1 IU/L로 실험개시시 수준과 차이가 없었다. 그러나, 90일째에 89.5 ± 0.7 IU/L로 유의하게 증가하였다($P < 0.05$). 해수에서는 21.7 ± 6.4 IU/L였던 것이 90일째에는 38.5 ± 12.2 IU/L로 유의하게 증가하였다($P < 0.05$). AST는 담수와 해수사육에서 실험개시시부터 90일째까지 각각 $3.3 \pm 1.3 \sim 7.0 \pm 2.8$ IU/L, $2.7 \pm 1.2 \sim 6.7 \pm 2.9$ IU/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

라. 혈액의 일반성상(Ht, RBC 및 Hb)

Exp. I 에서 담수 및 해수사육한 감성돔의 Ht, RBC 및 Hb의 변화는 Table III-3과 같다. 담수와 해수에서 Ht와 RBC는 실험개시시부터 90일까지 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). Hb는 90일째에 담수에서 19.6 ± 1.2 g/dL로 해수에서 15.7 ± 3.3 g/dL보다 유의하게 높았다($P < 0.05$).

마. 아가미와 근육의 구조

Exp. I 에서 장기간 담수사육시 2차새변의 배열은 해수사육에 비해 새변과 수직에 가까운 상태를 나타내었으며, 2차새변이 길게 늘어진 모습을 관찰할 수 있었다. 그러나 조직의 괴사나 손상은 관찰되지 않았다(Fig. III-4, A, B).

피부의 조직학적 모습은 Fig. III-5에 나타내었다. 표피의 두께는 각각 17.8 ± 1.3 μm , 25.1 ± 8.9 μm 로, 진피는 86.1 ± 9.3 , 105.7 ± 47.3 μm 로 해수에서 두꺼웠다. 지방층의 두께는 각각 24.5 ± 16.3 μm , 17.4 ± 7.6 μm 으로 담수사육시 더 두꺼웠다.

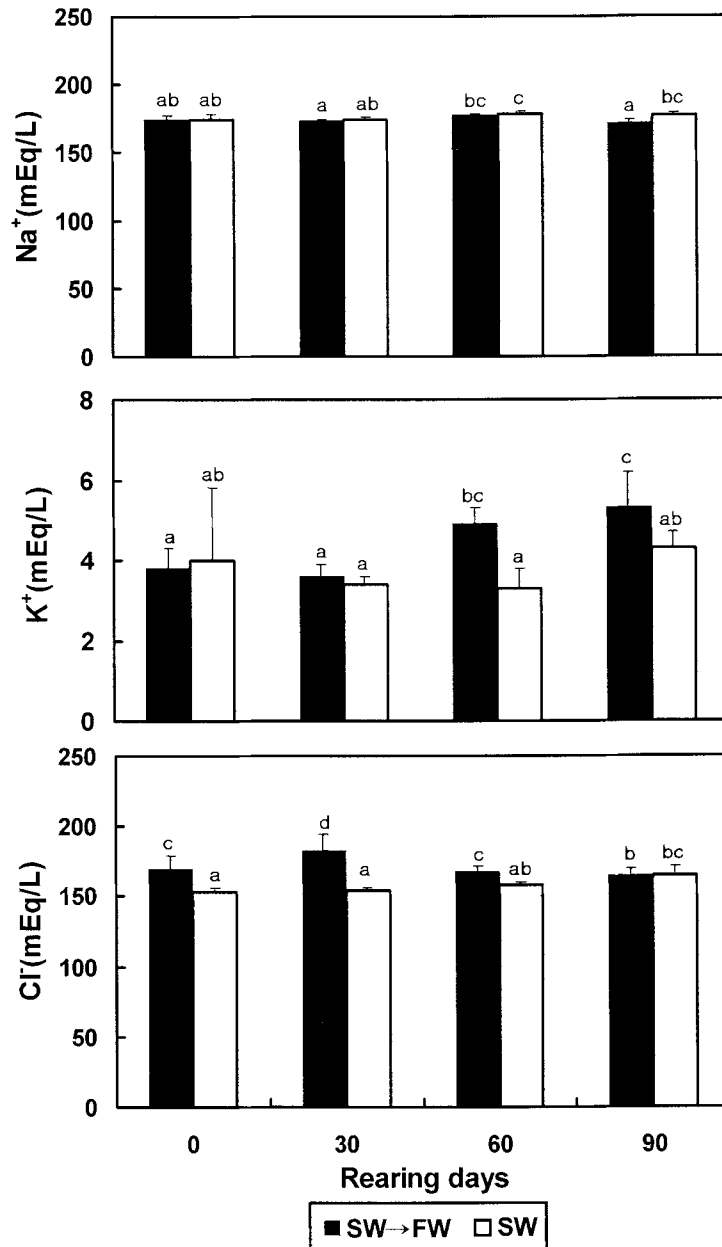


Fig. III-3. Variations of Na⁺, K⁺ and Cl⁻ levels in plasma of black seabream reared in freshwater and seawater (Exp. I). Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

Table III-2. Variations of osmolality, AST and ALT levels in plasma of black seabream reared in freshwater and seawater (Exp. I)

Rearing days	Osmolality (mOsm/kg)		AST (IU/L)		ALT (IU/L)	
	FW	SW	FW	SW	FW	SW
	0	349.0±2.0	350.0±2.0	17.7±2.3 ^a	21.7±6.4 ^a	3.3±1.3 ^{ab}
30	346.7±4.6	353.0±2.6	47.0±9.6 ^b	13.3±3.2 ^a	5.8±2.5 ^{ab}	2.7±1.2 ^a
60	354.3±6.1	357.0±22.6	13.3±2.1 ^a	16.7±2.5 ^a	4.5±2.1 ^{ab}	5.3±2.1 ^{ab}
90	356.5±2.1	354.0±5.3	89.5±0.7 ^c	38.5±12.2 ^b	7.0±2.8 ^b	6.7±2.9 ^b

The values are mean±SD. Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P>0.05$). AST: aspartate aminotransferase, ALT: alanine aminotransferase, FW: freshwater, SW: seawater.

Table III-3. Variations of hematocrit, red blood cell and hemoglobin levels in plasma of black seabream reared in freshwater and seawater (Exp. I)

Rearing days	HT (%)		RBC ($\times 10^6$ cell/ μ l)		Hb (g/dL)	
	FW	SW	FW	SW	FW	SW
	0	19.8±0.6 ^{ab}	18.5±0.7 ^{ab}	2.5±0.1 ^{ab}	2.2±0.1 ^{ab}	16.4±0.7 ^{abcd}
30	19.9±1.2 ^{ab}	19.8±4.4 ^{ab}	2.4±0.1 ^{ab}	2.3±0.6 ^{ab}	13.3±0.7 ^a	16.1±0.5 ^{abc}
60	17.9±2.1 ^a	22.9±1.5 ^{ab}	2.2±0.2 ^a	2.8±0.2 ^{ab}	18.3±0.2 ^{cd}	17.8±1.3 ^{bcd}
90	21.2±3.1 ^{ab}	23.7±1.5 ^b	2.9±0.3 ^b	2.6±0.1 ^{ab}	19.6±1.2 ^d	15.7±3.3 ^{abc}

The values are mean±SD. Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P>0.05$). Ht: hematocrit, RBC: red blood cell, Hb: hemoglobin, FW: freshwater, SW: seawater.

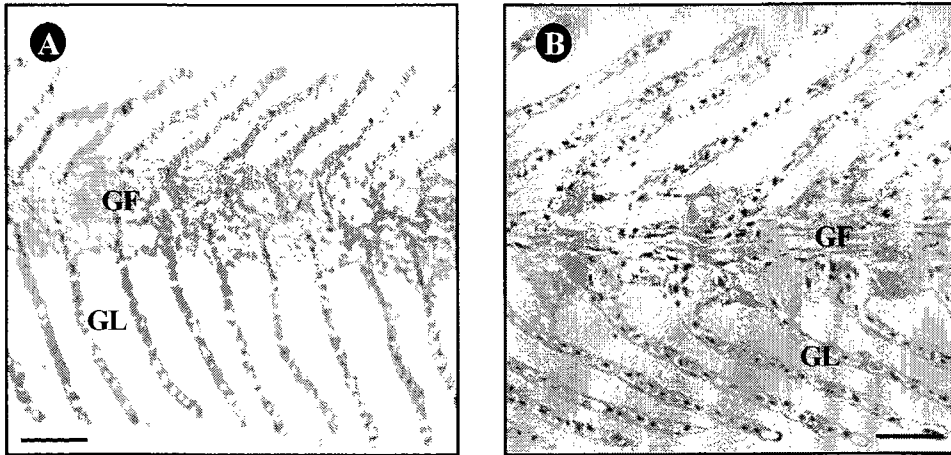


Fig. III-4. Photomicrographs of gill filaments and lamella of black seabream reared in freshwater and seawater (Exp. I). A: freshwater, B: seawater. Bar=50 μ m.

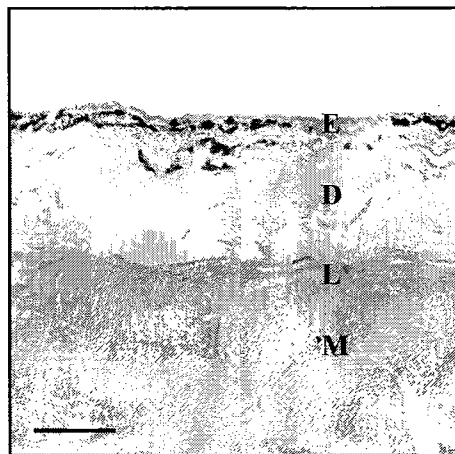


Fig. III-5. Cross section of skin showing the epidermis, dermis, lipid and muscle layer. E: epidermis, D: dermis, L: lipid layer, M: muscle layer. Bar=50 μ m.

바. 생식소의 발달

Exp.Ⅱ에서 담수와 해수사육한 감성돔의 생식소를 비교한 결과, 생식소는 복강 후면의 척추골에 따라 1쌍의 대칭을 이루고 있었다. 생식소는 섬유성 간층조직에 의해 정소와 난소가 명확히 분리된 응성선숙형 자웅동체형인 것으로 판명되었다(Fig.Ⅲ-6, A, B). 생식소내 정소와 난소의 비율(%)은 80:20이었다. GSI는 담수와 해수에서 각각 0.07 ± 0.02 , 0.07 ± 0.01 로 차이가 없었다. 담수와 해수사육한 정소부위에서 정모세포군, 정세포군, 정자무리 등 여러 발달단계의 정자형성 과정을 나타내고 있었으며(Fig.Ⅲ-6 C, D), 난소부위에서는 소수의 염색인기를 포함한 주변인기 단계의 난모세포가 관찰되었다(Fig.Ⅲ-6, E, F). 난모세포의 크기는 담수와 해수에서 각각 $25.2 \pm 5.0 \mu\text{m}$, $23.8 \pm 2.4 \mu\text{m}$ 로 담수사육에서 약간 컸지만 유의차는 없었다.

Exp.Ⅲ에서 담수와 해수사육한 감성돔의 생식소를 비교한 결과, 모두 생식소내 난소조직과 정소조직은 완전히 분리되었다(Fig.Ⅲ-7, A). 산란기인 5월에 정소부분은 현저히 발달하여 정액이 방출되어졌으며(Fig.Ⅲ-7, B, D), 난소부분은 염색인기, 주변인기 난모세포로 발달하였다(Fig.Ⅲ-7, C). 또한 GSI는 각각 8.81 ± 1.23 , 10.15 ± 1.74 로 해수에서 높게 나타났다.

Exp.Ⅲ에서 혈장내 스테로이드 호르몬인 T, E₂의 농도는 Fig.Ⅲ-8에 나타내었다. 산란기인 5월에 담수 및 해수사육한 감성돔의 혈장 T는 각각 $0.18 \pm 0.06 \text{ ng/ml}$, $0.62 \pm 0.23 \text{ ng/mL}$, 혈장 E₂는 각각 $0.18 \pm 0.06 \text{ pg/mL}$, $0.62 \pm 0.23 \text{ pg/mL}$ 로 해수사육이 담수사육보다 유의적으로 높았다($P < 0.05$). 감성돔 정액을 원심분리하여 얻은 정장의 물리·화학적 특성은 TableⅢ-4와 같다. 담수 및 해수사육한 감성돔 정장의 pH는 각각 7.7 ± 0.3 , 8.1 ± 0.1 였으며, Na⁺는 $165.8 \pm 13.2 \text{ mEq/L}$, $176.6 \pm 3.9 \text{ mEq/L}$, K⁺는 $20.7 \pm 6.1 \text{ mEq/L}$, $15.2 \pm 2.0 \text{ mEq/L}$, Cl⁻는 $172.0 \pm 17.2 \text{ mEq/L}$, $176.6 \pm 4.8 \text{ mEq/L}$, 삼투질농도는 $371.8 \pm 13.0 \text{ mOsm/kg}$, $372.6 \pm 5.5 \text{ mEq/L}$, 총단백질량은 $122.8 \pm 10.6 \text{ mg/dL}$, $146.8 \pm 24.9 \text{ mg/dL}$ 로 나타났으나 담수 및 해수사육간의 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$).

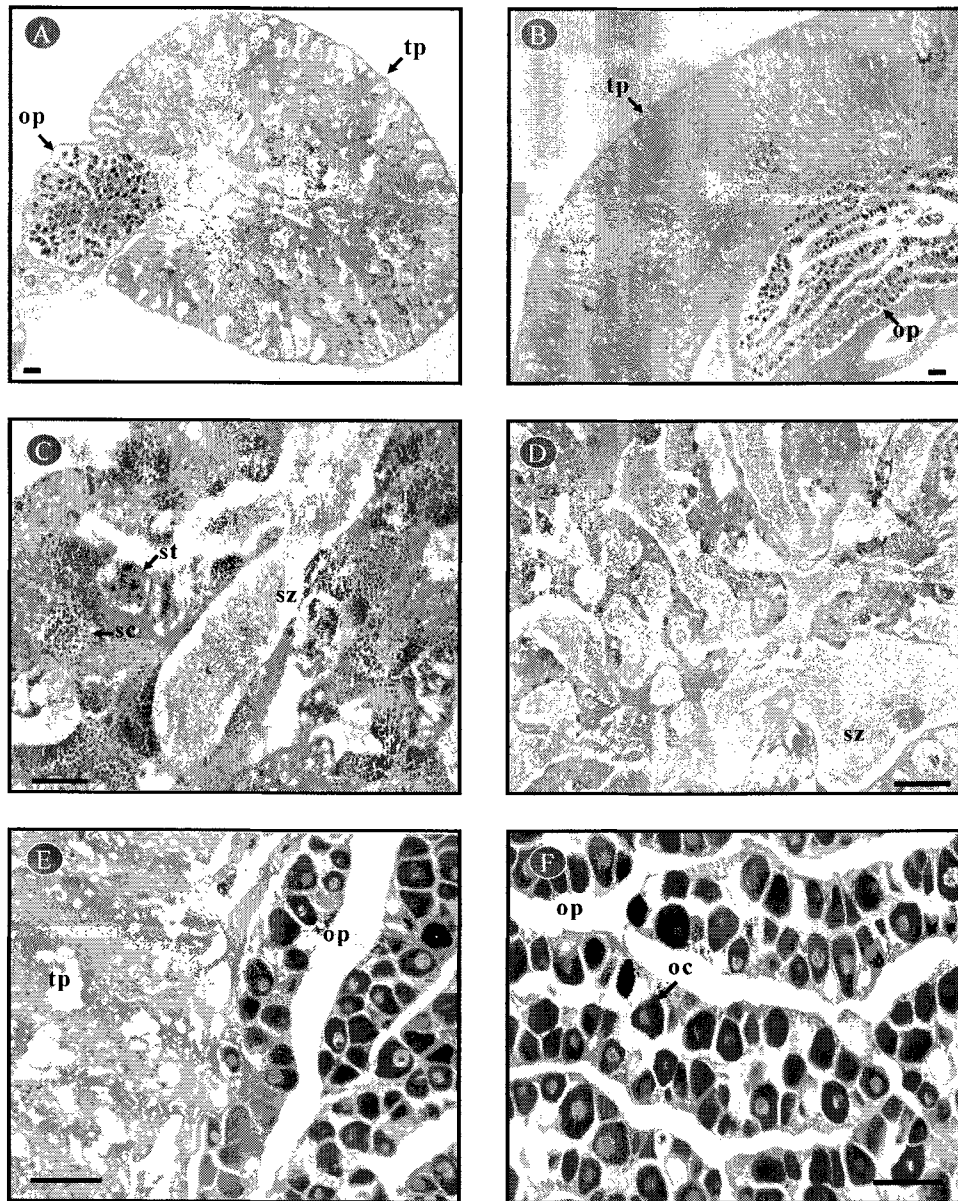


Fig. III-6. Photomicrographs of hermaphroditic gonads protandric in black seabream (1 year) reared in freshwater (A, C, E) and seawater (B, D, F) (Exp. II). op: ovary part, sc: spermatocytes, st: spermatids, sz: spermatozoa, tp: testis part, Bars=100 μ m.

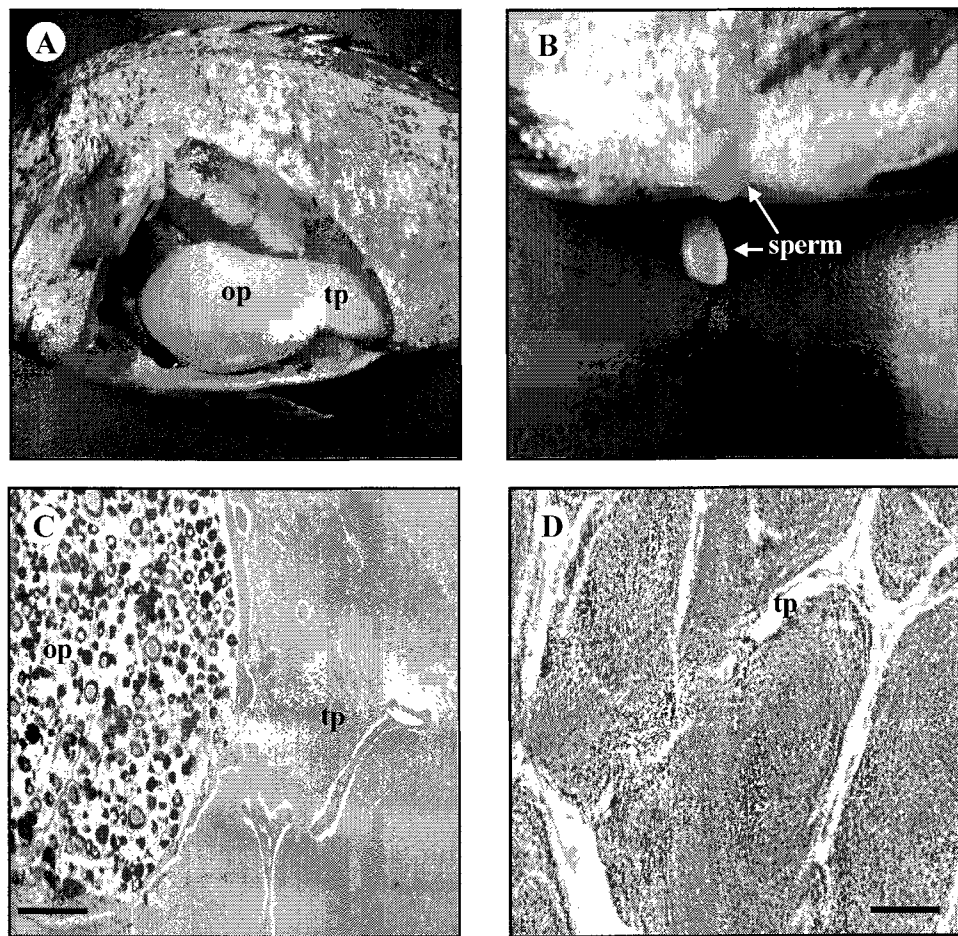


Fig. III-7. External morphology (A, B) and transverse section of gonad (C, D) in black seabream (2 year) reared in freshwater and seawater (Exp.III). op: ovary part, tp: testis part, Bars=100 μ m.

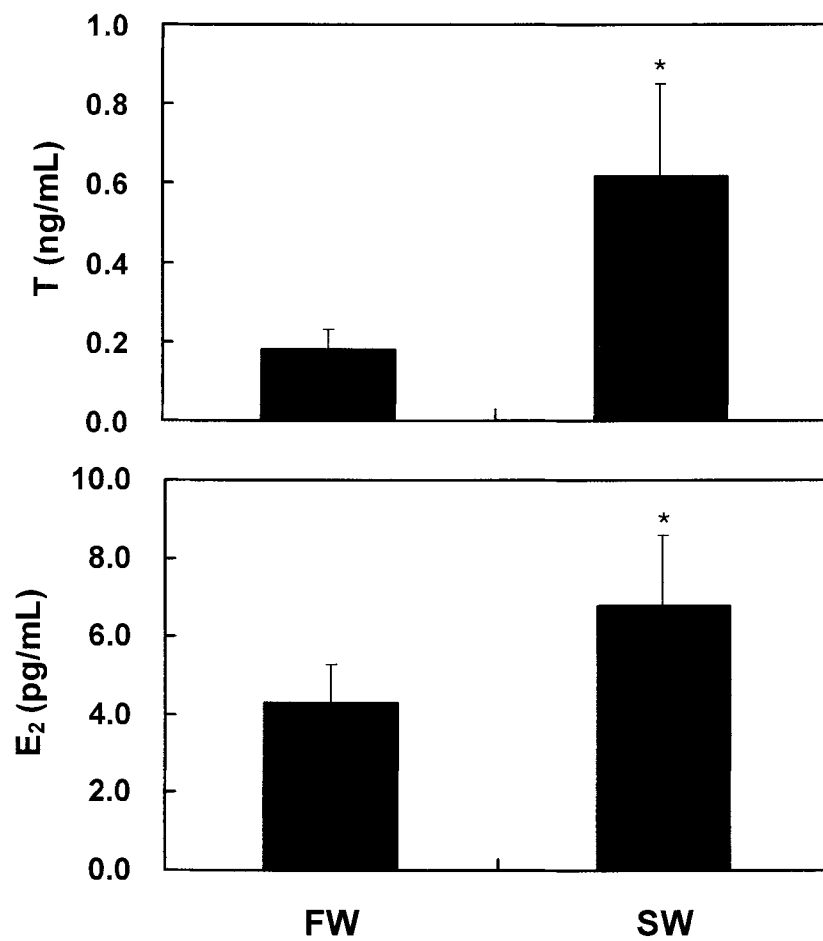


Fig. III-8. T and E₂ in plasma of black seabream reared in freshwater and seawater (Exp.III). Asterisk indicates significantly different (P<0.05). FW: freshwater, SW: seawater.

Table III-4. Physical and chemical properties of seminal fluid of black seabream reared in freshwater and seawater (Exp.III)

Property	Seminal fluid	
	Freshwater	Seawater
pH	7.7±0.3	8.1±0.1
Na ⁺ (mEq/L)	165.8±13.2	176.6±3.9
K ⁺ (mEq/L)	20.7±6.1	15.2±2.0
Cl ⁻ (mEq/L)	172.0±17.2	176.2±4.8
Osmolality (mOsm/kg)	371.8±13.0	372.6±5.5
Total protein (mg/dL)	122.8±10.6	146.8±24.6

The values are mean±SD.

사. 산소소비량

Exp.IV에서 담수 및 해수 사육중인 감성돔의 산소소비 일주리듬은 Fig.III-9와 같다. 담수와 해수에서 단위체중당 산소소비량은 각각 207.42 mg/kg/hr., 293.14 mg/kg/hr., 개체당 산소소비량은 각각 4.53 mg/fish/hr., 7.44 mg/fish/hr., 호흡당 산소소비량은 0.0007 mg/breadth fish, 0.0014 mg/breadth fish로 해수에서 산소소비량이 많았다.

아. 어체의 일반성분 조성

Exp. I 에서 체성분 조성에 있어 수분함량은 담수와 해수사육에서 각각 67.4±0.2%, 69.8±0.2%, 조단백은 17.8±0.1%, 18.1±0.2%, 조지방은 10.0±0.6%, 7.8±1.5%, 조회분은 5.8±0.2%, 6.5±0.5%로 나타났으나 유의한 차이는 인정되지 않았다(P>0.05)(TableIII-5).

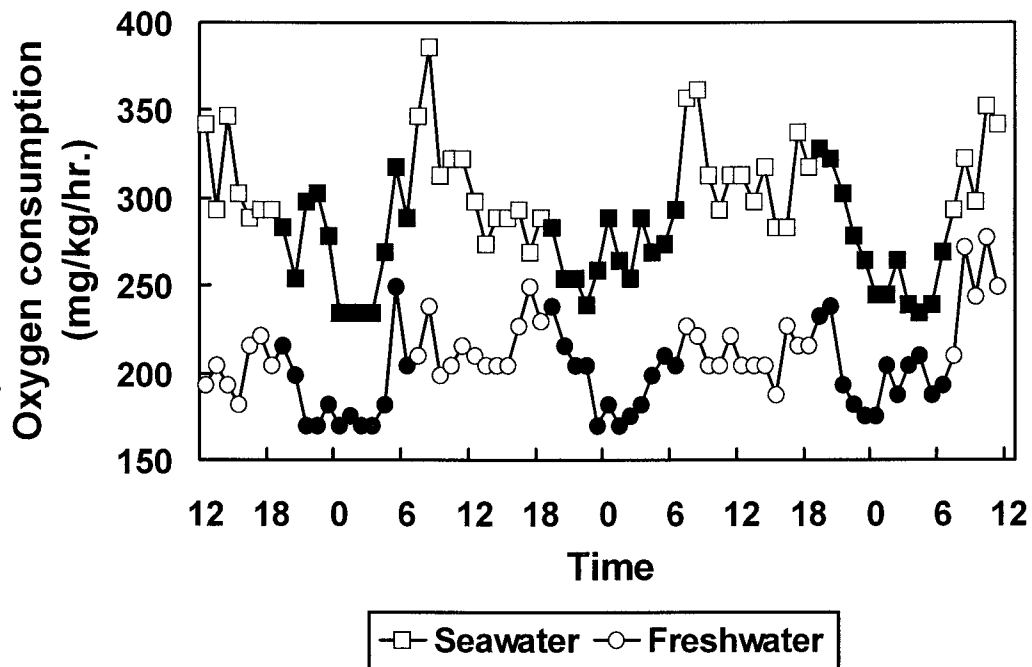


Fig. III-9. Daily rhythm of oxygen consumption of black seabream in freshwater and seawater (Exp.IV). White and black points indicate the day and night respectively.

자. 성장 및 생존율

Exp. I 에서 전장 성장은 실험개시시에 담수사육과 해수사육에서 각각 14.3 ± 0.4 , 14.4 ± 0.2 cm였던 것이 30, 60, 90, 120일째에 각각 15.1 ± 0.7 , 16.0 ± 0.9 , 17.0 ± 1.1 , 18.0 ± 1.0 cm와 14.6 ± 0.1 , 15.1 ± 0.6 , 16.2 ± 0.4 , 17.2 ± 0.4 cm로 나타나, 담수사육이 해수사육보다 빠른 성장을 보였다. 체중은 각각 51.0 ± 6.0 g, 48.6 ± 0.6 g이었던 것이 30, 60, 90, 120일째에 각각 59.8 ± 10.6 , 72.4 ± 14.7 , 88.2 ± 22.0 , 102.7 ± 17.3 g과 50.7 ± 1.2 , 51.8 ± 2.4 , 69.1 ± 6.1 , 83.5 ± 5.7 g으로 나타나, 담수사육이 해수사육 보다 성장이 빨랐다(Fig.III-10). 사육종료시(120일째) 증중량은 담수와 해수에서 각각 1485.5 ± 415.8 g, 786.8 ± 23.6 g으로 담수사육이 해수사육 보다 유의하게 많았다($P < 0.05$). 일간 사료섭취율은 $1.2 \pm 0.3\%$, $1.2 \pm 0.2\%$ 였으며, 사료효율은 $44.1 \pm 4.3\%$, $37.8 \pm 11.0\%$,

증중률은 각각 $71.9 \pm 6.8\%$, $44.3 \pm 15.2\%$, 일간성장률은 $0.6 \pm 0.1\%$, $0.4 \pm 0.1\%$ 로 담수 사육이 해수사육 보다 높았으나 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$)(Table III-6). 생존율은 사육 30일째에 담수와 해수에서 각각 88.8%, 92.2%로 해수에서 높았으나, 실험종료 시에는 80.2%, 73.7%로 담수사육이 해수사육보다 높았다(Fig. III-10).

Table III-5. Body composition of black seabream reared in freshwater and seawater (Exp. I)

Rearing water	Moisture (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Ash (%)
FW	67.4 ± 0.2	17.8 ± 0.1	10.0 ± 0.6	5.8 ± 0.2
SW	69.8 ± 0.2	18.1 ± 0.2	7.8 ± 1.5	6.5 ± 0.5

FW: freshwater, SW: seawater.

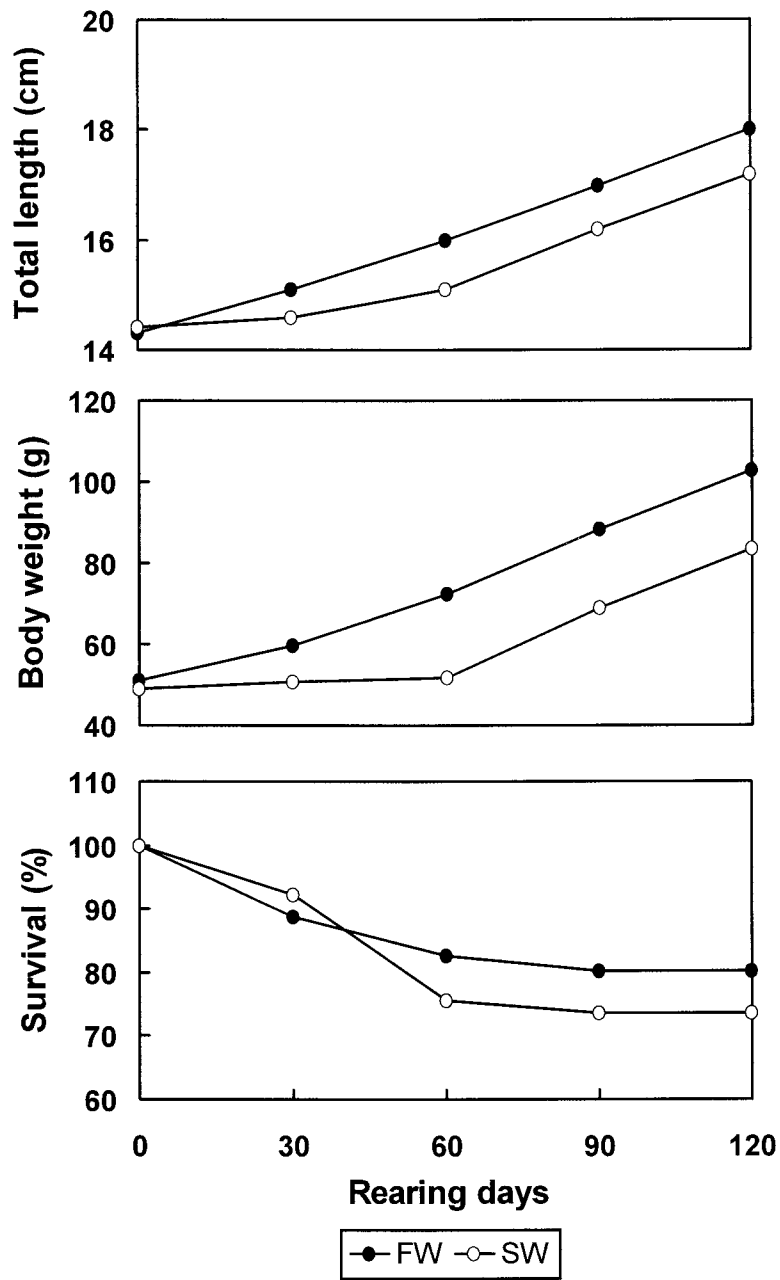


Fig. III-10. Total length, body weight and survival rate of black seabream reared in freshwater and seawater (Exp. I). FW: freshwater, SW: seawater.

Table III-6. Growth factor of black seabream reared in freshwater and seawater (Exp. I)

Rearing water	FI (%)	FE (%)	WG (g)	WGR (%)	SGRW (%)
FW	1.2±0.3 ^a	44.1±4.3 ^a	1485.5±415.8 ^a	71.9±6.8 ^a	0.6±0.1 ^a
SW	1.2±0.2 ^a	37.8±11.0 ^a	786.8±23.6 ^b	44.3±15.2 ^a	0.4±0.1 ^a

Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different ($P>0.05$). FI: daily feed intake, FE: feed efficiency, WG: weight gain, WGR: weight gain rate, SGRW: specific growth rate, FW: freshwater, SW: seawater.

4. 고찰

성공적인 감성돔 담수양식을 위해서는 담수순화시 염분변화의 방법뿐만 아니라 장기간 담수사육을 통한 어체의 생리상태를 파악되어져 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 장기간 담수 및 해수사육시 감성돔의 혈장 cortisol 및 글루코스 농도 등 감성돔 어체내에서의 생리학적 반응을 조사하여 어류가 감지하는 스트레스의 수준을 비교하며, 성숙여부를 파악하여 감성돔 종묘생산의 가능성을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

해수에서 담수로의 사육수의 인위적인 염분변화는 어체의 생리반응에 큰 영향을 미치는 요인이 되며, 어류가 감지하는 가장 큰 스트레스 요소 중의 하나로서 어류의 혈중 cortisol 농도를 상승시키는 역할을 한다(Chang and Hur, 1999; Chang et al., 2002; Min et al., 2003). 어류가 지속적으로 스트레스에 노출되게 되면, 어병에 대한 저항성이 감소하게 되고, 어류의 성장 및 번식능력이 떨어지는 것으로 알려져 있다(Wedemeyer and Yasutake, 1977; Pickering et al., 1987). 어류가 스트레스를 감지하게 되면, 시상하부-뇌하수체-간신선축으로의 정보전달을 통하여 cortisol이 혈중으로

분비된다(Specker et al., 1989). 시상하부와 뇌하수체는 cortisol을 조절하는 기관으로, 특히 뇌하수체 전엽의 간신세포로부터 분비되는 부신피질 자극호르몬(adrenocorticotropic, ACTH)은 cortisol 분비와 합성을 조절하는 호르몬으로 알려져 있다(Sumpter et al., 1994). 또한 어류에서의 cortisol은 어체의 항상성 유지를 위해 글루코스 신생합성(gluconeogenesis)을 통하여 글루코스의 혈중 분비를 증가시킨다(Chang and Hur, 1999). Cortisol은 대사 에너지, 물-이온평형, 산소 uptake, 면역 능력을 조절하는 기능을 갖고 있으며(Wendelaar Bonga, 1997), 이러한 조절기능으로 인하여 어류가 스트레스 요인에 대하여 적응할 수 있게 되는 것으로 알려져 있다(Barton and Iwama, 1991). 또한, 스트레스로 인한 혈장 cortisol의 증가는 어체에 유해한 영향을 미치게 되어, 성장억제 및 성성숙을 지연시킨다는 보고도 있다(Pickering et al., 1987). Cortisol 합성에 미치는 스트레스 요인의 영향은 porgy, *Sparus aurata* (Mosconi et al., 1998; Rottland et al., 2001; Sunyer et al., 1995), red porgy, *Pargus pargus* (Rotlland and Tort, 1997) 및 rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Contreras-Sanchez et al., 1998; Ruane et al., 1999) 등에서 보고된 바와 같이 담수 및 해수어종 모두에서 나타나고 있다.

본 연구에서 담수 및 해수사육시 90일째까지 cortisol 농도가 $5.6 \pm 1.3 \sim 10.5 \pm 9.9$ ng/mL로 해수사육시인 $3.4 \pm 1.3 \sim 4.8 \pm 3.7$ ng/mL에 비해 다소 높은 것으로 나타났다. 그러나, 연어과 어류의 안정시 cortisol 수준은 Pickering and Pottinger (1989)가 스트레스를 받지 않은 상태에서 30~40 ng/mL 또는 정상적인 상태에서 5 ng/mL로 밝힌 바 있으며, 또한 Chang et al. (2002)은 해수에서 감성돔의 안정시 cortisol 농도는 34.2 ± 28.6 ng/mL로 보고한 바 있다. 따라서 본 연구에서 나타난 cortisol의 농도는 일반적으로 정상적인 범위에 포함되므로, 장기간 담수사육시 감성돔은 스트레스를 받지 않고 있음을 말해준다.

일반적으로 어류는 환경수의 삼투질 농도가 체내보다 높으면 삼투압 조절에 의하여 이온은 유입되며 물은 빠져나가게 되므로, 어류는 체내의 일정한 삼투질 농도를 유지하기 위하여 이온은 방출하며 물은 흡수하는 저삼투압조절(hypo-osmoregulation) 능력과, 반대로 환경수의 삼투질 농도가 체내보다 낮으면 이온은

빠져나가며 물은 유입되므로 어류는 체내의 항상성을 유지하기 위하여 이온은 체내로 흡수되고 물은 체외로 방출하는 고삼투압조절(hyper-osmoregulation) 능력을 갖고 있다. 본 연구에서는 해수에서 담수로 전환하여 장기간 사육할 경우 어류는 체액보다 고장액에서 저장액으로 노출되게 되므로 어체는 저삼투압조절에서 고삼투압조절로 전환하게 된다. 또한 혈중 삼투질농도는 담수 및 해수에서 각각 $349.0 \pm 2.0 \sim 356.5 \pm 2.1$ mOsm/kg, $350.0 \pm 2.0 \sim 357.0 \pm 22.6$ mOsm/kg로 차이가 나타나지 않은 것으로 나타나 아가미, 근육 등 여러 삼투압 조절 기관을 통해 정상적인 고삼투압조절이 정상적으로 이루어지고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 볼 때 감성돔은 저삼투압조절에서 고삼투압조절로의 전환능력이 뛰어난 어종임을 알 수 있다.

어류의 피부는 개체와 수서환경 사이에 물과 이온교환을 위한 1차적인 장벽을 이루어, 외부 환경으로부터 개체를 보호하여 개체내부의 환경을 일정하게 유지하는 기능을 한다. 따라서, 어류는 서식장소의 염분농도에 따라 삼투조절 기능뿐만 아니라 표피세포를 다르게 발현시킴으로써 체내 항상성을 한다고 보고 된 바 있다(Leonard and Summres, 1976). Lee (1996)는 염분이 감소할수록 피부의 지방층이 두꺼워진다고 송어에서 보고한바 있다. 본 연구에서는 장기간 담수사육을 통해 피부의 두께를 측정된 결과 유의한 차이는 없었지만, 담수사육이 해수사육보다 지방층이 두꺼운 것으로 나타났다. 이것은 체내가 외부의 환경수보다 삼투질 농도가 높기 때문에 외부로부터의 물의 확산을 차단하기 위한 것이라고 생각된다.

어체 혈액의 AST, ALT는 모두 아민기 전이효소의 일종으로 간, 비장 등의 세포에 분포하고 있는데, 어체가 건강할 때는 혈중의 활성이 낮다가 조직의 피사가 일어나거나, 병적 증상이 나타날 때는 세포외로 방출됨으로써 혈중의 활성이 높아지게 된다(池田 등, 1986). Kwon and Chang (1996)은 감성돔이 고농도 암모니아에 노출되었을 때 AST, ALT의 증가한다고 보고 한 바 있다. 본 연구에서 장기간 담수사육시 30, 90일째에 AST의 증가는 염분변화에 따른 만성적인 반응으로 생각해 볼 수 있으나 60일째에 안정적인 수준으로 나타난 것으로 보아 염분에 의한 반응보다는 외부 환경, 특히 순환여과 사육시스템에서 암모니아의 축적과 같은 수질 오염에 의한 스트레스 반응으로 보여진다.

감성돔은 도미과(Fujii, 1971)나 양태과(Moyer and Nakazono, 1978)의 어류에서 관찰되는 것처럼 수컷에서 암컷으로 성이 바뀌는 옹성선숙형(protandry) 어류이다(Kinoshita, 1936; Okada, 1965). 본 연구에서 담수 및 해수 사육한 감성돔의 정자형성 여부를 파악하기 위하여 조사된 연령 2년어의 생식소는 모두 정소부분과 난소부분이 공존하는 자웅동체형을 나타냈다. 산란기인 5월에 난소부분은 염색인기나 주변인기의 난모세포 단계에서 더 이상 발달하지 않았지만, 정소부분은 대부분 정자로 가득 차 있었다.

담수 사육한 감성돔의 정자형성 및 방정은 담수에서 감성돔의 생식소 발달이 정상적으로 이루어지고 있음을 알 수 있으며, 이러한 정액의 물리·화학적 특성을 파악하는 것은 종묘생산의 가능성 여부를 결정짓는 중요한 요인으로 볼 수 있다. 정액의 특성 중 물리적 특성으로는 정장의 pH와 삼투질농도로, 화학적 특성으로는 정장의 이온농도, 총단백질량 등으로 구분하고 있다(Lim, 1998). 본 연구에서 담수 및 해수 사육한 감성돔 정장의 pH는 각각 7.7 ± 0.3 , 8.1 ± 0.1 로 담수보다 해수에서 높게 나타났으며, 모두 약 알칼리성을 나타냈다. 그러나, Lim (1998)은 해수에서 감성돔의 정장 pH를 8.3 ± 0.1 로 보고한 바 있다. turbot은 7.3 (Suquet et al., 1993), 송어는 7.4 (Chao et al., 1975), 대서양연어는 8.3 (Hwang and Idler, 1969), 기수성 어류인 Pejerrey는 8.3 (Strussmann et al., 1994), 잉어과 어류는 8.1~8.5 (Lahnsteiner et al., 1994)으로 보고되고 있다. 또한 Chao et al. (1987)은 틸라피아, *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus*, *O. niloticus* 및 *Tilapia zilli*의 정장 pH가 6.2~8.2로 어종에 따라 다양한 값을 가진다고 하였다. 이처럼 정액이나 정장의 pH는 어종에 따라 다양하며, 심지어 같은 어종일지라도 차이가 있는 것으로 나타났다.

해수어류 정장의 삼투질농도는 일반적으로 담수어류보다 높다. 무지개송어의 삼투질농도는 297 mOsm/kg이고, 금붕어, *Carassius auratus*와 잉어, *Cyprinus carpio*는 각각 317, 302 mOsm/kg 였다(Morisawa, 1985). 그러나 해수어류인 복섬, *Fugu niphobles*과 감성돔에서는 각각 342 mOsm/kg, 359 mOsm/kg으로 담수어류에 비해 약 40 mOsm/kg 정도 높다(Morisawa, 1985). 본 연구에서 담수 및 해수사육한 감성돔 정장의 삼투질농도는 각각 371.8 ± 13.0 mOsm/kg, 372.6 ± 5.5 mOsm/kg로 담수

와 해수간의 유의한 차이는 나타나지 않았으며, Morisawa (1985)의 연구결과와 비슷한 수준을 보였다.

어류 정액에서 정자의 보호역할(Cruea, 1969)을 하는 것으로 추정되는 단백질은 어류가 포유류처럼 정장 단백질을 만드는 부속선이 없다는 점(Billard, 1970)에서 혈액으로부터 전이되거나 정자로부터 기원하는 것으로 알려지고 있다(Loir et al., 1990). 즉 분해되는 정자가 정장 단백질의 근원중 하나가 된다. 본 연구에서 담수 및 해수 사육한 감성돔 정장의 총 단백질농도는 각각 122.8 ± 10.6 mg/dL, 146.8 ± 24.6 mg/dL로, 무지개송어 128 mg/dL, whitefish 146 mg/dL (Ciereszko and Dabrowski, 1994), 잉어 130 mg/dL (Kruger et al., 1984)와 비슷한 수준이었다. 그러나 Lim (1998)에 따르면 감성돔의 정장의 총 단백질농도는 890 mg/dL으로 본 연구결과와 큰 차이를 나타내었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 장기간 담수사육한 감성돔에서 스트레스 반응은 나타나지 않았으며, 정상적인 고삼투압조절을 하고 있음을 알 수 있다. 또한 이로 인해 정상적인 성장과 생존이 확인되었으며, 특히 정자 및 정액의 생성은 담수에서 감성돔 종묘생산의 가능성을 나타내었다. 그러나 이를 위해서는 앞으로 정자의 물리·화학적 특성과 수컷에서 암컷으로의 정상적인 성전환뿐만 아니라 난소발달, 산란 및 수정까지 폭 넓은 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

제4절 담수산육에 따른 감성돔의 식품가치 및 경제성

1. 서 론

감성돔은 도미과(sparidae)에 속하는 내만성 어종으로 우리나라의 전 연안해역, 일본 홋카이도 남부, 동중국해 및 대만 연안에서 분포하며, 주로 해조류가 밀생하는 연안에서 서식하고 있다. 감성돔은 육질 맛이 우수하여 횃감, 구이 등 기호식품으로 선호되고 있을 뿐만 아니라 낚시인들에게 최고로 인기가 있어 식품 및 낚시 자원으로 그 수요가 나날이 증가하고 있는 실정이다. 또한 최근에는 감성돔의 인공종묘 생산이 가능해짐에 따라 연간 감성돔의 양식 총생산량이 해마다 급증하고 있으며, 2002년에는 685톤으로 넙치(23,343톤), 조피볼락(16,548톤), 송어(3,898톤), 농어(2,006톤), 참돔(960톤)에 이어 양식생산량 6위를 차지하게 되어(해양수산부 통계자료, 2002) 우리나라에서 중요한 양식 대상종으로 자리잡게 되었다.

최근, 광염성 어류의 우수한 삼투압조절 능력을 응용한 감성돔의 담수양식이 시도되고 있는 실정이며, 이를 위한 연구로서는 담수순화시 염분변화에 따른 스트레스반응 및 삼투압조절 등(Chang et al., 2002; Min et al., 2003) 주로 어체의 생리학적 반응에 관해서 보고된 바 있다.

감성돔의 담수양식이 성공적으로 이루어진다면, 잉어류, 틸라피아 등에 비해 시장성이 높은 고급 담수 양식어종으로 주목받을 수 있을 뿐만 아니라 이로 인해 현재 어려운 실정에 놓여 있는 내수면 양식업계에 소득증대에 도움을 줄 것으로 생각된다. 그러나, 담수양식시 어체의 맛, 탄력 등 식품으로서의 가치가 해수산육한 감성돔에 비해 떨어지거나, 생산성, 경제성이 다른 담수어종에 비해 낮다면 실제 양식현장에서는 감성돔의 담수양식을 회피하는 현상이 나타날 것으로 보이므로, 식품가치 및 경제성 분석을 통한 감성돔 담수양식의 가능성을 미리 타진해 보아야 할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 담수양식에 따른 감성돔의 식품적 가치를 해수에서 사육한 감성돔과 함께 비교·평가하며, 또한 치어 및 상품어 단계의 경제성 분석을 실시하여 감성돔 담수양식을 위한 자료로 활용하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 식품가치 평가

(1) 근육의 탄력도 및 강도

중형어를 대상으로 담수, 5‰ 및 해수에서 12주간 사육한 실험어의 근육 탄력도(hardness)와 강도(strength)를 측정하였다.

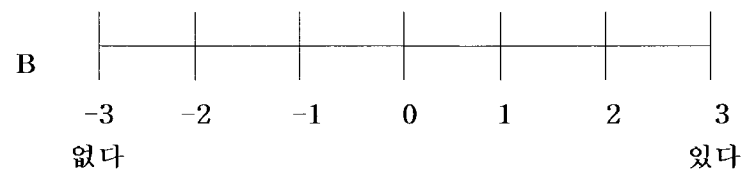
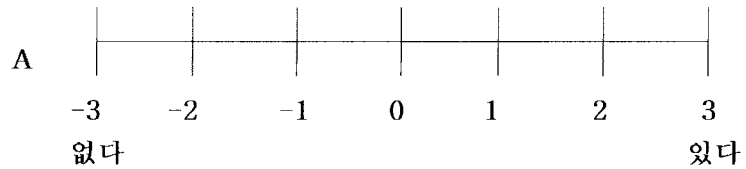
본 실험에 사용한 측정기기는 Rheometer (CR-100D, Sun Science Co. Ltd., Japan)를 사용하였으며 어육편(20 mm×20 mm×5 mm)의 절단면에 직경 20 mm의 구형 plunger를 사용하여 하중량 2 kg, 3 mm/min 속도로 어편이 파열될 때까지 상승시킨 후, 이때 plunger에 가해진 하중량(g/cm^2)을 측정하였다.

(2) 식품가치 평가를 위한 설문조사

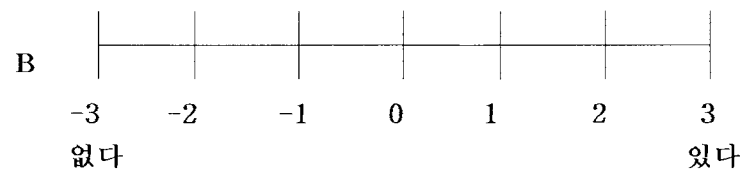
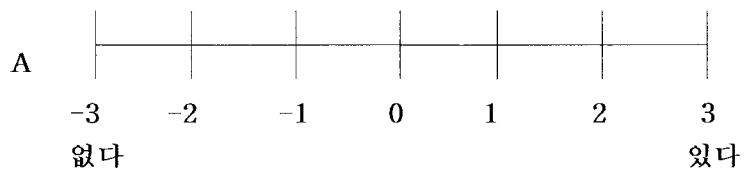
담수 및 해수에서 사육한 감성돔(체중 200~250 g)의 어육을 횡감과 구이로 나누어 각각 따로 준비한 다음 식품가치 평가세미나를 실시하였다. 세미나 종료후 참석 한 해양수산관련 기관에 소속 연구자 및 대학원생 30명을 대상으로 설문 조사하여 담수사육한 감성돔에 대한 식품으로서의 가치를 평가하였다. 설문평가 내용은 다음과 같다.

2. 질감(Texture)

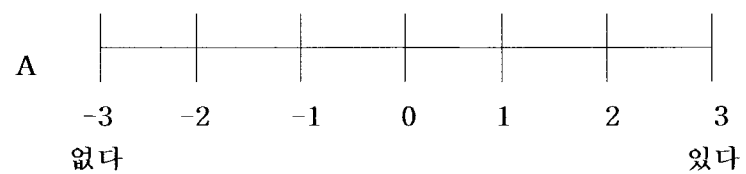
1) 단단함(경도)



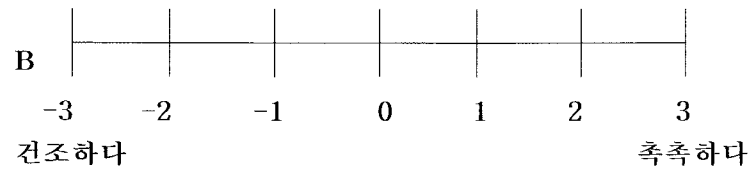
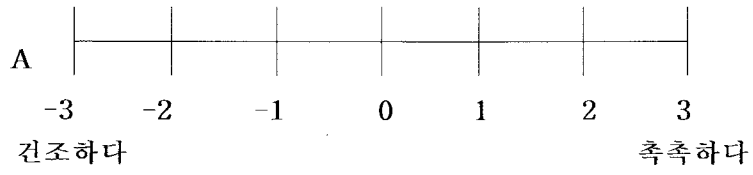
2) 탄력성



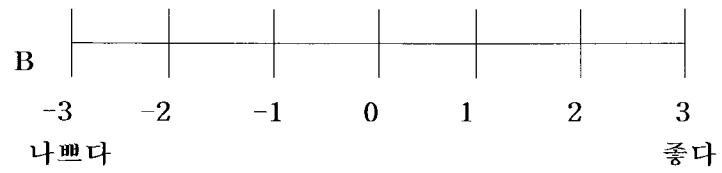
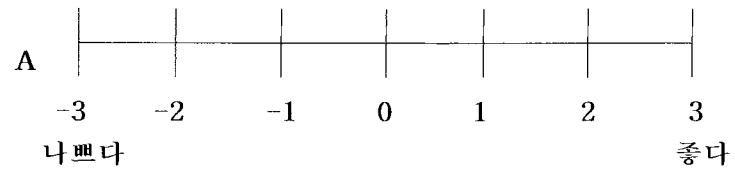
3) 점성



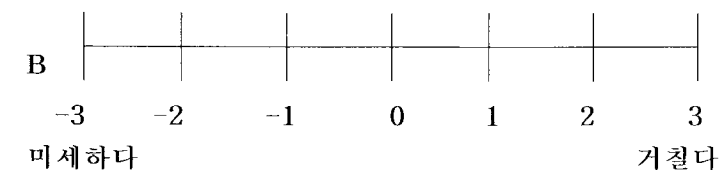
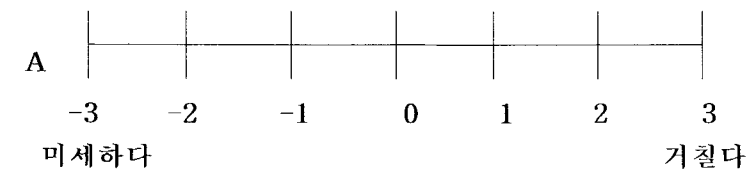
4) 축축한 정도



5) 썩힘성

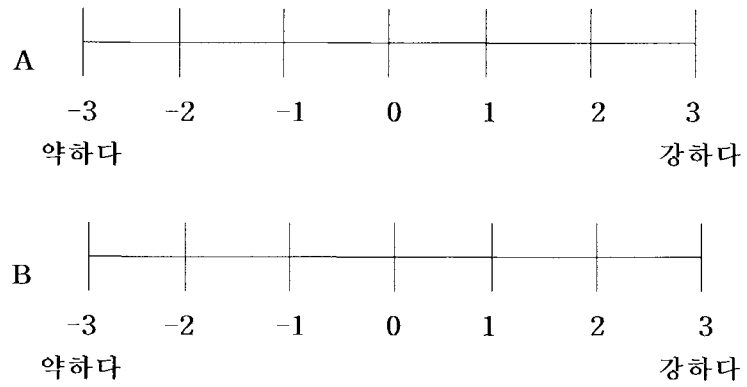


6) 육질의 결



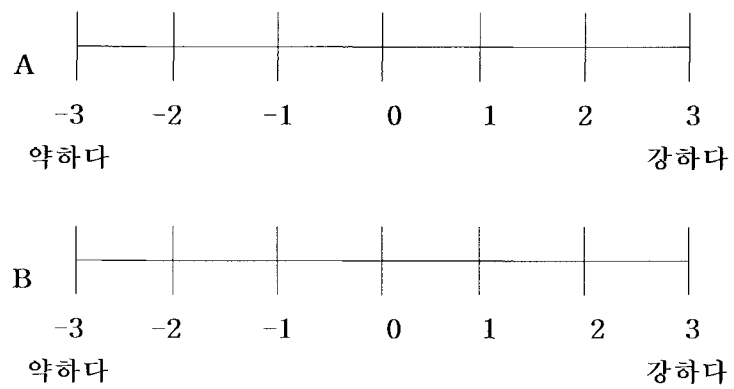
3. 맛(Taste)

1) 단맛



4. 냄새(Flavor)

1) 비린내



나. 경제성 분석

실험양식장(아산양어장, 충남 아산시소재)의 사육수조는 사각 콘크리트(200평과 500평)로 축조된 것을 사용하여 중간종묘사육 및 육성어 사육을 통해 나타난 손익자료를 이용하여 수익성을 분석하였다. 수익성 분석 방법은 매출이익율(순이익/매출(수익) $\times 100$)을 이용하여 수익성을 비교하였다.

감성돔 종묘선정은 육상수조에서 생산된 개체는 생산업체에 따라 기형률이 매우 다양하여 평균 50% 정도를 나타내고 있어 기형개체는 상품가치가 없으므로, 축제식양식장에서 생산된 평균전장 7 cm, 평균체중 5.5 g인 건강종묘(기형률 0.4% 이하)를 이용하였다. 감성돔 사육시 사용된 사료는 상품사료(주식회사 우성, 한국)로, 단백질 45.0%이상, 조지방 8.0%이상, 칼슘 1.2%이상, 인 1.0%이상, 조섬유 4.0%이상, 조회분 17.0%이상인 부상사료(1,500원/kg)를 사용하여 3~4회 공급하였다.

3. 결 과

가. 식품가치 평가

(1) 근육의 탄력도 및 강도

염분농도 0, 5.0 및 30.0‰에서 12주 동안 사육된 감성돔 근육 탄력성을 측정한 결과, 근육 탄력도의 경우 0‰구는 9,210 g/cm², 5‰구는 8,808 g/cm², 30‰구는 9,987 g/cm²로 실험구간 평균값에서 다소 차이가 있었지만 유의한 차이는 없었다 ($P>0.05$)(Fig.IV-1). 또한 근육 강도의 경우 0‰구는 30,692 g/cm², 5‰구는 29,447 g/cm², 30‰구는 31,930 g/cm²로 나타났으며, 실험구간 유의한 차이는 없었다 ($P>0.05$)(Fig.IV-1).

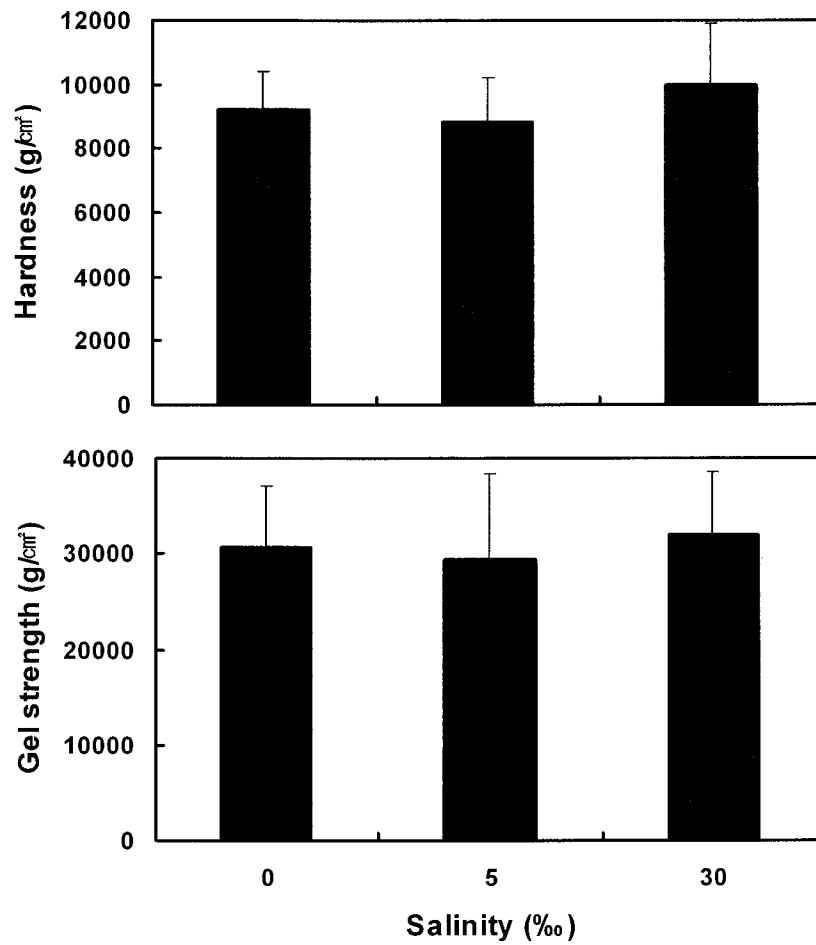


Fig. IV-1. Effects of three different salinities in hardness and gel strength of black seabream.

(2) 식품가치 평가를 위한 설문조사

어육의 외관상은 육색의 투명감과 육질의 광택으로 평가하였으며, 담수 및 해수에서 육색의 투명감은 각각 1.4, 0.8, 육질의 광택은 각각 1.3, 0.8로 담수에서 더 나은 것으로 나타났다. 어육의 질감은 단단함, 탄력성, 점성, 촉촉한 정도, 씹힘성 및 육질의 질로 평가하였으며, 담수 및 해수에서 단단함은 각각 1.2, 1.6, 탄력성은 1.2, 1.4, 점성은 1.1, 1.1, 촉촉한 정도는 1.6, 1.4, 씹힘성은 1.6 1.8, 육질의 질은 0.7, 0.7로 나타났다. 맛은 단맛으로 평가하였으며, 담수 및 해수에서 각각 0.9, 1.0으로 나타났다. 냄새는 비린내로 평가를 하였으며, 담수 및 해수 모두에서 -0.1로 나타났다(Table IV-1).

Table IV-1. Comparison of fish flesh of black seabream cultured in freshwater and seawater

Items		Freshwater	Seawater
Appearance	transparency	1.4	0.8
	luster	1.3	0.8
Texture	hardness	1.2	1.6
	elasticity	1.2	1.4
	viscosity	1.1	1.1
	moisture	1.6	1.4
	chewiness	1.6	1.8
	quality	0.7	0.7
	Taste	sweetness	0.9
Flavor	fishy smell	-0.1	-0.1

나. 경제성 분석

(1) 치어(중간종묘)

육상수조 200평 규모에서 감성돔 치어 10만마리(전장 7 cm, 체중 5.5 g)를 100g까지 담수에서 중간육성시 사육기간은 약 10개월이 소요되는 것으로 나타났으며, 최종 생존율은 약 80%, 사료효율은 약 55%를 기록하였다. 조수입에서 지출을 제외한 순수익은 38.4%(약 3,000만원)였으며 종묘구입 비용이 총 지출경비의 43%, 인건비가 26%, 사료소비가 13%, 주부식비가 11%, 전기료가 5% 순으로 지출된 것으로 나타났다(TableIV-2).

(2) 상품어(육성어)

감성돔 중간 종묘(체중 100 g)를 약 500평규모에서 5만마리를 입식하여 평균 400g 정도의 육성어로 사육시 생존율 80%를 기준으로 생산성 평가시 순수익이 36.9%(약 5천3백만원)의 순수익률이 산출되었다. 본 연구에서는 중간종묘 구입비가 총 지출경비의 45%를 차지하여 가장 많은 지출을 보였으며, 공급사료가 32%, 인건비 지급이 13%, 주부식비가 6%, 전기료가 3%의 순으로 지출되었다. 감성돔 육성어의 조수입은 최종 생존율을 65%로, 총생산량은 12,800 kg로 판매단가를 11,400원/kg으로 계산시 약 1억 4천만원정도의 수익성이 있는 것으로 나타났다(TableIV-3).

Table IV-2. Evaluation of economical efficiency of juvenile black seabream (100 g) in freshwater

항 목	품 목	산 출 내 역			산출기준	
		단가(원)	EA	금액(원)		
조수입	중간육성어 판매(100 g)	1,000	80,000	80,000,000	800,000마리×1,000원	
지출	합 계			49,250,000		
	소 계			46,750,000		
	중 요	200	100,000	20,000,000	100,000마리×200원	
	사 료	1,500	4,000	6,000,000	1,500원/kg×4,000 kg (사료효율 50%)	
	인 건 비	1,200,000	10	12,000,000	1인×1,200,000원×10월	
	전 기 료	250,000	10	2,500,000	200,000원×10월	
	소 모 품	100,000	10	1,000,000	10종×10,000원	
	주,부식비	500,000	10	5,000,000	1인×500,000원×10월	
	약 품 비	25,000	10	250,000	25,000원×10월	
	기타	소 계			2,500,000	
		시설 감가 상가	250,000	10	2,500,000	총시설비(하우스,수조): 25,000,000×1/10
순수익	조수입 - 지출	80,000,000원 - 49,250,000원 = 30,750,000원 (38.4%)				

Table IV-3. Evaluation of economical efficiency of adult black seabream (400 g) in freshwater

항 목	품 목	산 출 내 역			산출기준	
		단가(원)	EA	금액(원)		
조수입	상품어판매 (400 g)	11,400	32,000	364,800,000	32,000×400 g=12,800 kg 12,800×11,400=145,920,000	
지출	합 계			92,050,000		
	소 계			89,550,000		
	운영비	종 묘	800	50,000	40,000,000	50,000마리×800원
		사 료	1,500	19,200	28,800,000	1,500원/kg×19,200 kg (사료효율 50%)
		인 건 비	1,200,000	10	12,000,000	1인×1,200,000원×10월
		전 기 료	250,000	10	2,500,000	200,000원×10월
		소 모 품	100,000	10	1,000,000	10종×10,000원
		주,부식비	500,000	10	5,000,000	1인×500,000원×10월
		약 품 비	25,000	10	250,000	25,000원×10월
		소 계			2,500,000	
기타	시설 감가 상가	250,000	10	2,500,000	총시설비(하우스,수조): 25,000,000×1/10	
	소 계			2,500,000		
순수익	조수입 - 지출	145,920,000원 - 92,050,000원 = 53,870,000원 (36.9%)				

4. 고 찰

광염성 어종인 틸라피아는 담수에서 양식되어 소비단계에 일시 해수 순화시킴으로서 근육의 변화를 통해 식감 개선을 위해 시도되고 있다(Jeon et al., 1990a; Jeon et al., 1990b). 따라서 본 연구에서 담수 양식한 감성돔의 육질조직을 핏감으로서 상품성을 판단하기 위해 육질의 gel strength와 hardness를 분석한 결과 담수에서 다소 낮게 나타났으나, 실험구간별 평균간 유의차는 없었다. 따라서 본 종을 담수 양식하여 핏감으로 이용하는데 있어 큰 무리는 없을 것으로 판단되나 육질의 맛을 좌우하는 유리아미노산과 핵산 물질 등의 분석을 통해 이를 입증하여야 할 것이다. 한편 염분변화에 의해 생리학적 변화와 더불어 근육의 물성 및 근원섬유의 생화학적 양상도 현저한 변화를 나타내므로 이와 관련된 어류의 삼투조절능력에 중요한 역할을 하는 것으로 알려진 염세포와 근원섬유 ATPase 활성이 담수순화 및 낮은 염분도에서 사육된 감성돔 근육에 어떠한 영향을 미치는지 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

감성돔을 담수에서 양식시 수익성에 주요 요인으로 생산량, 판매단가, 종묘구입비 및 사료비등을 기준으로 순수익 비율을 검토하였다. 그 결과 순수익에 큰 영향을 미치는 것은 판매단가, 종묘매입가, 사료비, 인건비, 주부식비의 순으로 나타났다. 따라서 담수 양식의 경제성을 높이기 위해서는 주요 요인의 변화에서 오는 수익률 감소를 방지하는 것이다.

양식어류의 판매단가는 시장상황에 의해 결정된다. 그러나 월동이 불가능한 해역의 해상가두리 양식장의 경우 출하시기를 조절할 수 없는 문제가 있지만, 담수에서 감성돔 양식시 사육특성상 출하시기를 임의로 조절이 가능하므로 홍수출하 시점의 출하를 피하고 수요가 많고 가격이 높게 형성되는 시점에 출하할 수 있으므로 가두리양식장보다 수익성이 높을 것으로 판단된다.

본 연구결과 감성돔을 담수양식시 생존율이 80 및 65%를 나타내었지만 생존율을 높이기 위한 방법으로는 주기적인 예찰과 양식기술에 큰 영향을 받을 것이다. 따라서 건강한 종묘의 선택, 사료공급방법, 어병 예방과 영양제의 적절한 공급 그리고 최적 사육 밀도의 유지로 어류에게 최고의 사육환경을 제공함으로써 90%이상의 높은 생존율을

유지한다면 수익성이 더욱 증대될 수 있을 것이다. 또한, 감성돔 양식시 운영비중 가장 큰 영향을 주는 종묘단가의 부담을 줄이기 위해 값싼 치어를 구입해야 한다. 육상수조에서 생산된 감성돔 종묘는 기형률이 매우 높으므로 이러한 문제점을 보완하기 위해 축제식 양식장에서 생산된 종묘를 입식하면 기형문제와 종묘구입단가를 낮출 수 있어 상대적으로 순수익이 증대될 것이다.

제4장 목표달성도 및 기대효과

1. 연도별 연구개발 목표 및 달성도

가. 1차년도

감성돔의 담수양식을 위한 순화방법과 삼투압조절 능력을 구명하기 위해, 염분별, 발육단계별, 수온별, 담수 수원별에 따른 성장 및 성장률을 조사하는데 그 목표를 두었으며, 본 연구개발 목표를 100% 달성하였다.

나. 2차년도

감성돔의 담수순화와 장기사육시 어체에 미치는 생리학적 반응을 조사하여 담수 양식의 가능성을 조사하기 위해, 첫째, 중형어의 염분별 성장 및 생존을 비교, 둘째, 염분별 스트레스반응 및 삼투압조절 능력 비교, 셋째, 장기사육을 통한 성숙여부를 파악하는데 그 목표를 두었으며, 본 연구개발 목표를 100% 달성하였다.

다. 3차년도

감성돔의 담수양식에 따른 경제성과 식품으로서의 가치를 평가하기 위해, 첫째, 실제 육상 어류양식장에서 담수양식을 통해 상품어 판매시 생산단가를 조사하며, 둘째, 담수 및 해수사육한 감성돔의 맛, 색깔, 냄새에 대한 시식회 및 설문조사를 하는데 그 목표를 두었으며, 본 연구개발 목표를 100% 달성하였다.

2. 기대효과

가. 기술적 측면

- (1) 광염성 어류 및 양측성 회유어류의 삼투압 조절기구에 관한 생리적 현상을 연구하는 데 기초자료로 활용될 수 있다.
- (2) 담수에서의 해산어류 양식이 가능해 짐으로써, 다양한 양식기법이 보급될 수 있을 것이다.

(3) 담수에서 양식할 수 있는 어종의 다양화로 담수양식 산업에 새로운 활로가 개척될 수 있다.

나. 경제 · 산업적 측면

(1) 해수어류의 담수양식을 시행함으로써, 다양한 양식기법이 보급되어 양식어류의 생산증대와 소득향상에 이바지할 수 있다.

(2) 어가의 하락 등으로 불황을 겪고있는 내수면 양식산업의 활성화에 도움을 줄 것이다.

(3) 적조, 태풍 등의 자연재해로 인한 해수어류 공급 부족시 이를 보충해 줄 수 있다.

제5장 연구개발 결과의 활용계획

1. 활용 방안

- 가. 해산어류의 담수순화 연구를 통하여 삼투압 조절에 대한 기초 생리현상을 밝힘과 아울러, 담수양식의 가능성 및 생산성을 파악함으로써, 현재 조방적으로 양식되고 있거나 유힬지로 버려진 못, 저수지, 늪 등의 담수역에서 양식에 활용할 것이다.
- 나. 담수에서 성숙한 어류로부터의 인공종묘 생산기술 개발에 활용할 수 있다.
- 다. 내수면 양식업계의 소득증대에 적용할 것이다.
- 라. 본 연구를 통해 얻어진 자료는 연구기관 및 실제 양식현장에서 어류의 생산성 향상에 관한 참고자료로서 활용할 것이다.
- 마. 담수에서 생산된 감성돔에 대한 품질평가와 사업성을 홍보하고, 내수면 양식업계에 기술 보급할 것이다.

2. 연구성과 활용

가. 산업재산권 : 1건

유형	상태	기술명	출원국	출원일	출원번호	출원자	발명자
특허	출원중	감성돔 담수양식 방법	한국	20020524	10-2002-0028879	부경대학교 총장	장영진 방인철

나. 국내외 전문학술지 게재 : 2건

연구자	연구 제목	학술지명	권,호	게재일시	발행기간
장영진, 민병화 장해진, 허준욱	해수사육에서 담수사육으로, 담수사육에서 해수사육으로 전환된 감성돔의 혈액생리학 적 비교	한국수산학회지	35, 6	2002 1216	한국수산학회
민병화, 김범광 허준욱, 방인철 변순규, 최철영 장영진	감성돔, <i>Acanthopagrus schlegeli</i> 의 담수순화 과정에서 나타나는 생리학적 반응	한국어류학회지	15, 4	2003 1215	한국어류학회

다. 국내 및 국제학술회의 : 11건

발 표 자	발표 제목	학술 회의명	발표 일시	발표 장소
장영진, 장해진 조성근, 허준욱	사육수의 염분변화에 따른 감성돔 (<i>Acanthopagrus schlegeli</i>)의 성장과 혈액성상의 변화	2001년도 춘계 수산관련학회 공동학술대회	2001 0511	국립수산 과학원
장영진, 민병화 허준욱, 장해진 방인철	사육수 염분변화에 따른 감성돔 (<i>Acanthopagrus schlegeli</i>)의 생리 적 반응	2001년도 추계 수산관련학회 공동학술대회	2001 1019	강릉 대학교
민병화, 허준욱 장영진	염분 및 사육수 조건에 따른 감성돔 (<i>Acanthopagrus schlegeli</i>)의 생존율	2001년도 추계 수산관련학회 공동학술대회	2001 1019	강릉 대학교
방인철, 박상용 최운수, 장영진	염분농도별 감성돔, <i>Acanthopagrus schlegeli</i> 의 성장 및 생존율	2001년도 한국양식학회 추계학술발표회	2001 1102	한국해양 연구소
방인철, 박상용 최운구, 장영진	감성돔, <i>Acanthopagrus schlegeli</i> 자, 치어의 일령별 담수순화 및 염분농 도별 생존율에 관한 연구	2001년도 한국양식학회 추계학술발표회	2001 1102	한국해양 연구소
민병화, 장영진 허준욱	담수와 해수에서 사육한 감성돔 (<i>Acanthopagrus schlegeli</i>)의 혈액성상 과 생식소 발달상태 비교	2002년도 전기 한국발생생물 학회 학술대회	2002 0208	연세 대학교
민병화, 김범광 허준욱, 방인철 변순규, 장영진	Physiological responses of black seabream(<i>Acanthopagrus schlegeli</i>) during the process freshwater acclimation	2002 한일 증양식심포지움	2002 1011	군산 대학교
장영진, 김범광 민병화, 명정인 오봉세	담수와 해수 사육한 감성돔 (<i>Acanthopagrus schlegeli</i>)의 성장과 체성분 비교	2002년도 한국양식학회 추계학술발표회	2002 1011	군산 대학교
장영진, 김범광 민병화	해수와 담수 사육한 감성돔 (<i>Acanthopagrus schlegeli</i>)의 공격행동 과 생리적 변화	2002년도 한국양식학회 추계학술발표회	2002 1011	군산 대학교
방인철, 박상용 이상민, 장영진	다양한 염분농도에서 사육된 감성돔 의 일반 체성분 및 지방산 조성	2002년도 한국양식학회 추계학술발표회	2002 1011	군산 대학교
민병화, 장영진 허준욱, 방인철 강덕영	담수순화 방법에 따른 감성돔 (<i>Acanthopagrus schlegeli</i>)의 스트레스 반응과 삼투압조절 능력	2003년도 춘계 수산관련학회 공동학술대회	2003 0516	부산 BEXCO컨 벤션센터

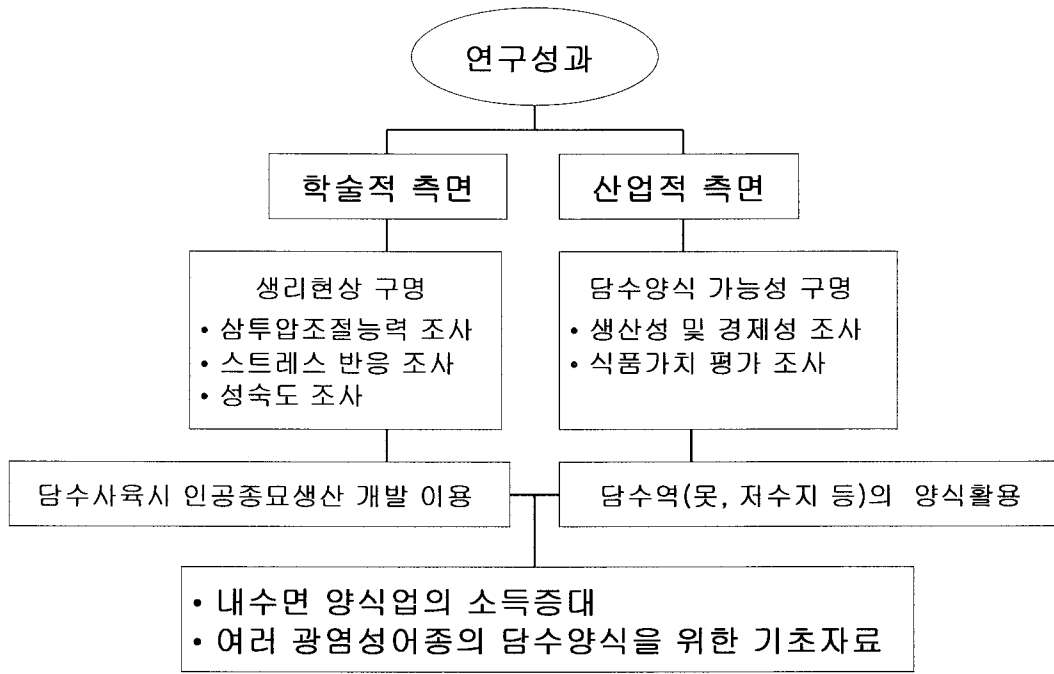
라. 교육 및 세미나 활용 : 3건

교육명	주요 내용	기대 효과	교육 일시	교육 장소
해산어 담수양식 세미나	해산어와 담수어의 삼투압 조절과 응용	삼투압 조절 능력을 응용한 해산어류의 담수양식	2001 0427	청평내수면 연구소
내수면 양식기술 교육	내수면 양식을 위한 해산어류의 담수순화	감성돔의 담수순화양식	2002 0329	진해내수면 연구소
감성돔 담수양식 기법 및 식품가치 평가 세미나	감성돔 담수양식에 따른 경제성 및 식품가치 평가	감성돔 담수양식시 경제성 효과기대	2003 0110	부경대학교

마. 홍보 실적 : 4건

홍보 유형	매체명	제목	홍보 내용	일시
중앙일간지	중앙일보	감성돔 민물양식 성공	감성돔 담수양식 국내 처음 성공	20020111
중앙방송	KBS 뉴스광장	감성돔 민물양식 가능	감성돔 담수양식	20020114
지방방송	부산 MBC	바다의 날 특집	감성돔 담수양식	20020531
월간잡지	우리양식	감성돔 담수양식 기법 개발	감성돔 담수양식시 생리학적 변화	20030201

3. 활용 계획 모식도



제6장 참고 문헌

- Akatus, S., A. Abdul, K.M. Elah and S. Teng, 1983. Effects of salinity and water temperature on the survival and growth of brown spotted grouper (*Epinephelus tauvina*, Serranidae) Larvae. J. World Mar. Soc., 14, 624~634.
- AOAC. 1995. Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington. Virginia, virginia, USA.
- Arunachalam, S. and S.R. Reddy, 1979. Food intake, growth, food conversion, and body composition of catfish exposed to different salinities. Aquaculture, 16, 163~171.
- Bakke, H., V. Bjercknes and A. Øvreeide. 1991. Effects of rapid changes in salinity on the osmorgulation of postsmolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture, 96, 375~382.
- 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. Annu. Rev. Fish Dis., 1, 3~26.
- Billard. R. 1970. Ultrastructure compare de spermatozoides de quelques poissons teleosteens. In 'Comparative spermatology' (ed. B. Baccetti) Academic press, New York, 71~79.
- Blaber, S.J.M., 1974. Osmoregulation in juvenile *Rhabdosargus holubi* [Steindacher (Teleostei: Sparide)]. J. Fish Biol., 6, 797~800.
- Chang, Y.J., B.H. Min, H.J. Chang and J.W. Hur. 2002. Comparison of blood physiology in black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) cultured in converted freshwater from seawater and seawater from freshwater. J. Korean Fish. Soc., 35, 595~600 (in Korean).
- Chang. Y.J., H.K. Lim, K.H. Kho. 1995. Properties of semen and sperm motility in black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*. J. Aquaculture, 8, 149~157.
- Chang, Y.J. and J.W. Hur. 1999. Physiological responses of grey mullet (*Mugil*

- cephalus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by rapid changes in salinity of rearing water. J. Korean Fish. Soc., 32, 310~316 (in Korean).
- Chang, Y.J., J.W. Hur and H.K. Lim. 2001. Growth and survival of juvenile grey mullet (*Mugil cephalus*) in rearing system with recirculated seawater and freshwater. J. Aquaculture, 14, 29~33 (in Korean).
- Chao, N.H., H.P. Chen and I.C. Liao. 1975. Study on cryogenic preservation of grey mullet sperm. Aquaculture, 5, 389~406.
- Chao, N.H., W.C. Chao, K.C. Liu and I.C. Liao. 1987. The properties of tilapia sperm and its cryopreservation. J. Fish Biol., 30, 107~118.
- Chen, J.C., Lin, J.L., 1994. Osmolality and chloride concentration in the hemolymph of subadult, *Penaeus chinensis* subjected to different salinity levels. Aquaculture, 125, 167~174.
- Chyung, M.K., 1990. The fishes korea., Il Ji Sa. Publishing Co., Seoul. 357~363 pp.
- Ciereszko, A. and K. Dabrowski. 1994. Relationship between biochemical constituents of fish semen and fertility: the effect of short-term storage. Fish Physiol. Biochem., 12, 357~367.
- Claireaux, G. and C. Audet, 2000. Seasonal changes in the hypo- osmoregulatory ability of brook charr : The role of environmental factors. J. Fish Biol., 56, 347~373.
- Conides, A.J., A.R. Parpoura and G. Fotis. 1997. Study on the effects of salinity on the fry of the euryhaline species gillthead sea bream (*Sparus aurata* L.). J. of Aquacult. in the Tropics, 12, 297~303.
- Contreras-Sanchez, W.M., C.B. Schreck, M.S. Fitzpatrick and C.B. Pereira. 1998. Effects of stress on the reproductive performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Biol. Reprod., 58, 439~447.
- Cruea, D.D., 1969. Some chemical and physical characteristic of fish sperm. Trans. Ame. Fish. Soc., 98, 785~788.

- Davis, K.B and N.C. Parker. 1990. Physiological stress in striped bass: Effect of acclimation temperature. *Aquaculture*, 91, 349~358.
- Deacon, N. and T. Hecht, 1999. The effects of reduced salinity on growth, food conversion and protein efficiency ration in juvenile spotted grunter, *Pomadasy commersonii*. *Aquacult. Res.*, 30, 13~20.
- Dendrinos P. and J.P. Thorpe, 1985. Effects of reduced salinity o growth and body composition in the european bass, *Dicentrarchus labrax* (L.). *Aquaculture*, 49, 338~358.
- De Silva, S.S. and P.A.B. Perera, 1976. Studies on the grey mullet, *Mugil cephalus* L. I. Effects of salinity on food intake, growth and food conversion. *Aquaculture*, 7, 327~338.
- Donaldson, E.M. 1981. The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. Academic Press, London, 11 pp.
- Du, J., C. Lee, P. Tacon, Y. Lee, F. Yen, H. Tanaka, S. Dufour and C. Chang. 2001. Estradiol-17 beta Stimulates Gonadotropin II Expression and Release in the Protandrous Male Black Porgy *Acanthopagrus schlegeli* Bleeker: a Possible Role in Sex Change. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 121, 135~145.
- Einarsdottir, I.E. and K.J. Nilssen. 1996. Stress responses of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) elicited by water level reduction in rearing tanks. *Fish Physiol. Biochem.*, 15, 395~400.
- Folch, J., M. Lees and G.H. Sloane Stanley, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226, 497~509.
- Fontainhas-Fernandes A., F. Russell-Pinto, E. Gomes, M.A. Reis-Henriques and J. Coimbra. 2001. The effect of dietary sodium chloride on some osmoregulatory parameters of the teleost, *Oreochromis niloticus*, after transfer from freshwater to seawater. *Fish Physiol. Biochem.*, 23, 307~316.
- Foo, J.T.W. and T.J. Lam. 1993. Serum cortisol response to handling stress and

- the effect of cortisol implantation on testosterone level in the tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture*, 115, 145~158.
- Fujii, T. 1971. Hermaphroditism and sex reversal in fishes of the Platycephalidae. II. *Kumococius* and *Inegocia japonica*. *Japan. J. Ichthyol.*, 18, 109~117.
- Gutt, J. 1985. The growth of juvenile flounders (*Platichthys flesus* L.) at salinities of 0, 5, 15 and 35 ppt. *Z. Angew. Ichthyol./J. appl. Ichthtol.*, 1, 17-26 pp.
- Handeland, S. O., A. Berge, B. Bjornsson and S. O. Stefansson, 1998. Seawater adaptation by out-of-season Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts at different temperature. *Aquaculture*, 181, 377~396.
- Handeland, S. O., A. Berge, B. Bjornsson and S. O. Stefansson, 2000. Seawater adaptation by out-of-season Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts at different temperature. *Aquaculture*, 181, 377~396.
- Hur, J.W, and Y.J. Chang. 1999. Physiological responses of grey mullet (*Mugil cephalus*) and nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by gradual change in salinity of rearing water. *J. Aquaculture*, 12, 283~292 (in Korean).
- Hwang, P.C. and D.R. Idler. 1969. A study of major cations, osmotic pressure, and pH in seminal components of atlantic salmon. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 26, 413~419.
- Imsland, A.K., A. Foss, S. Gunnarsson, M.H.G. Berntssen, R. Fitzgerald, S. Bonga, W. van Ham, G. Navdal, and S.O. Stefansson, 2001. The interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 198, 353~367.
- Jeon. J.K., D.S. Joo, C.W. Park, H.T. Huh and E.H. Lee. 1990a. Studies on the food components of tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in seawater 1. Comparison of taste compounds with freshwater cultured tilapia. *J. Korean Fish. Soc.*, 23, 334~338 (in Korean).
- Jeon. J.K., J.S. Kim, C.W. Park, M.S. Han, H.T. Huh and E.H. Lee. 1990b. Studies on the food components of tilapia *Oreochromis niloticus* cultured in seawater 2.

- Comparison of lipid components of tilapia with freshwater cultured tilapia. J. Korean Fish. Soc., 23, 339~344 (in Korean).
- Juaneda, P. and G. Rocquelin, 1985. Rapid and convenient separation of phospholipids and non phosphorus lipids from rat heart using silica catridge. Lipids 20 (1), 40~41.
- Kaiser, M.J., 1992. The ontogeny of predatory mechanisms in the fifteen-spined stickleback, *Spinachia spinachia* (L). J. Fish Biol., 40, 485~487.
- Kang, J.C, P. Chin, J.S. Lee, Y.K. Shin and K.S. Cho. 2000. Effects of Salinity on Survival, Growth and Oxygen Consumption rates of the Juvenile gobiid, *Favonigobius gymnauchen*. J. Korean Fish. Soc., 33, 408~412 (in Korean).
- Kimura, R. and M. Tanaka. 1991. Prolactin production during larval and early juvenile periods of euryhaline marine fish, black sea bream *Acanthopagrus schlegeli*. Nippon suisan gakkaiishi/bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 57, 1833~1837.
- Kinoshita, Y. 1936. On the conversion of sex in *Sparus longispinis*. J. Sci. Hiroshima Univ. Ser. B4, 69~79.
- Kruger, J.C.De W., G.L. Smit, J.H.J. Van Vuren and J.T. Ferreira. 1984. Some chemical and physical characteristics of semen of *Cyprinus carpio* L. and *Oreochromis mossambicus* (Petter). J. Fish. Biol., 24, 263~272.
- Kwon, J.Y. and Y.J. Chang. 1996. Effects of ammonia concentration on histological and physiological status in black seabream (*Acanthopagurus schlegeli*). J. Korea Fish. Soc., 29, 828~836.
- Lahnsteiner, F., R.A. Patzner and T. Weismann. 1994. The testicular main ducts and the spermatic ducts in some cyprinid fishes. II. Composition of the seminal fluid. J. Fish Biol., 44, 459~467.
- Lasserre, P., G. Boeuf and Y. Harache. 1978. Osmotic adaptation of *Oncorhynchus kisutch* Walbaum. I. Seasonal variations of gill Na⁺,K⁺-ATPase activity in coho salmon, 0⁺-age and yearling, reared in freshwater. Aquaculture, 14, 365~382.

- Lambert, Y., J. Dutil and J. Munro, 1994. Effects of intermediate and low salinity conditions on growth rate and food conversion of Aquatic cod (*Gadus morhua*). Can. J. Fish. Aquatic Sci., 51, 1569~1576.
- Laurent, P. and S. Dunel. 1980. Morphology of gill epithelia in fish. Ame. J. Physiol., 238, 147~159.
- Lee, Y.C. 1996. Osmoregulation and growth of juvenile grey mullet, *Mugil cephalus* in different salinities. Master Thesis, Nat. Pusan Fisheries. Uni.
- Lee Y.D., B.S. Kang and J.J. Lee. 1994. Sex differentiation of the black seabream, *Acanthopagrus schlegeli* (Bleeker). Korean J. Ichthyo. 6, 237~243 (in Korean).
- Lee, Y., J. Du, W. Yueh, B. Lin, J. Huang, C. Lee, M. Lee, E. Lau, F. Lee, Morrey, C., Y. Nagahama, C. Chang. 2001. Sex change in the protandrous black porgy, *Acanthopagrus schlegeli*: a review in gonadal development, estradiol, estrogen receptor, aromatase activity and gonadotropin. J. Exp. Zool., 290, 715~726.
- Leonard, J.B and R.G. Summer. 1976. The ultrastructure of the integument of the American eel, *Anguilla rostrata*. Cell Tissue Res., 1971, 1~30.
- Le Ruyet, J.P., G. Boeuf, J. Zambonino Infante, S. Helgason and A. Le Roux. 1998. Short-term physiological changes in turbot and sea bream Juveniles exposed to exogenous ammonia. Comp. Biochem. Physiol., 119, 511~518.
- Lim. H.K. 1998. Physiological properties of the sperm and gamete preservation in black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*. Doctor Thesis, Nat. Pukyong Uni.
- Lim, H.K., K.H. Kho and Y.J. Chang. 1997. Effect of diluents on the short-term storage of sperm in black seabream, *Acanthopagrus schlegeli*. J. Korean Fish. Soc., 30, 211~215 (in Korean).
- Lim. H.K. and Y.J. Chang. 1996. Physicochemical changes in black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) milt during the spermiation period. J. Korean Fish. Soc., 29, 474~480 (in Korean).
- Loir, M., C. Labbe, G. Maise, A. Pinson, G. Boulard, B. Mourot and F. Chambeyron. 1990. Proteins of seminal fluid and spermatozoa in the trout

- (*Oncorhynchus mykiss*): partial characterization and variation. *Fish Physiol. Biochem.*, 8, 485~495.
- McLeese, J.M., J. Johnsson, F.M. Huntley, W.C. Clarke and M. Weisbart. 1994. Seasonal changes in osmoregulation, cortisol, and cortisol receptor activity in the gills of parr/smolt of seelhead trout and steelhead-rainbow trout hybrids, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 93, 103~113.
- Madsen, S.S. and E.T. Naamansen. 1989. Plasma ionic regulation and gill $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ changes during rapid transfer to sea water of yearling rainbow trout, *Salmo gairdneri*: time course and seasonal variation. *J. Fish Biol.*, 34, 829~840.
- Maina, J.N. 1990. A study of the morphology of the gills of an extreme alkalinity and hyperosmotic adapted teleost *Oreochromis alcalicus, grahami* (Boulenger) with particular emphasis on the ultrastructure of the chloride cells and their modifications with water dilution. A SEM and TEM study. *Ana. Embryol.*, 181, 83~98.
- Mancera, J.M., P. Fernandez-Llebrez, and J.M. Grondona. 1993. Influence of environmental salinity corticotropic cells in the Gilthead sea bream (*Saprus aurata* L.). *Gen. Comp. Endocrinol.*, 90, 220~231.
- Martin, T.J., 1990. Osmoregulatory in three species of Ambassidae (Osteichthyes : Perciformes) from estuaries in Natal. *South African J. Zool.*, 25, 229~234.
- Martine, A., Y. Grahamm, P. Patrick and B.S. Carl. 1993. Plasma prolactin and cortisol concentrations during salinity challenges of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) at smolt and post-smolt stages. *Aquaculture*, 91, 359~372.
- Mayer, N., J. Maetz, D.K.O. Chan, M. Forster and I. Chester Jones. 1967. Cortisol, a sodium excreting factor in the eel (*Anguilla anguilla* L.) adapted to sea water. *Nature*, 214, 1118~1120.
- Mazeaud M., F. Mazeaud and E.M. Donaldson. 1977. Primary and secondary effects

- of stress in fish: Some new data with a general review. *Trans. Ame. Fish. Soc.*, 106, 201~212.
- Min. B.H., B.K. Kim, J.W. Hur, I.C. Bang, S.K. Byun, C.Y. Choi and Y.J. Chang. 2003. Physiological responses during freshwater acclimation of seawater-cultured black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*). *Korean J. Ichthyo.* 15, 224~231 (in Korean).
- Morgan, J.D and G.K. Iwama. 1991. Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow trout and steel head trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48, 2083~2094.
- Morgan J.D. and G.K. Iwama, 1998. Salinity effects on oxygen consumption, gill Na^+ K^+ -ATPase and ion regulation in juvenile coho salmon. *J. Fish Bio.*, 53, 1110~1119.
- Morisawa, M. 1985. Initiation mechanism of sperm motility at spawning in teleosts. *Zool. Sci.*, 2, 605~615.
- Mortensen, a. and B. Damsgard, 1998. The effect of salinity on desmodification in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 168, 407~411.
- Mosconi, G., A. Gallinelli, A.M. Polzonetti-Magni and F. Facchinetti. 1998. Acetyl salmon endorphin-like and interrenal stress response in male gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Neuroendocrinology*, 68, 129~134.
- Moyer, J.T. and A. Nakazono. 1978. Protandrous hermaphroditism in six species of the anemonefish genus *Amphiprion* in Japan. *Jap. J. Ichthyol.*, 25, 101~106.
- Okada, Y.K. 1965. Bisexuality in sparid fish. II. Sex segregation in *Mylio macrocephalus*. *Proc. Japan. Acad.*, 41, 300~304.
- Olsen, Y.A., L.J. Reitan and K.H. Røed. 1993. Gill Na^+ , K^+ -ATPase activity, plasma cortisol level, and non-specific immune response in Atlantic salmon (*Salmo salar*) during parr-smolt transformation. *J. Fish Biol.*, 43, 559~573.
- Otto R.G., 1971. Effects of salinity on the survival and growth of pre-smolt coho

- salmon (*Oncorhynchus kisutch*). J. of the Fisheries Research Board of Canada, 28, 343~349.
- Park, M.R., Y.J. Chang and D.Y. Kang. 1999. Physiological response of the cultured olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) to the acute changes of water temperature. J. Aquaculture, 12, 221~228 (in Korean).
- Perry, S.F. and S.D. Reid. 1993. β -adrenergic signal transduction in fish : interactive effects of catecholamines and cortisol. Fish. Physiol. Biochem., 11, 195~203.
- Peters, D. S., 1971. Growth and energy utilization of juvenile flounder, *Paralichthys denatus* and *Palichthys lethostigma*, as affected by temperature, salinity and food availability. Ph. D. Thesis. North Carolina State University, Raleigh, NC, 69 pp.
- Pickering, A.D. 1987. Stress responses and disease resistance in farmed fish. Fish Diseases, a treat to the International Fish Farming Industry. Conference 3, Aqua Nor, Trondheim, Norway.
- Pickering, A.D. and T.G. Pottinger. 1989. Stress responses and disease resistance in salmonid fish: Effect of chronic elevation of plasma cortisol. Fish Physiol., Biochem., 7, 253~258.
- Pickering, A.D., T.G. Pottinger, J. Carragher and J.P. Sumpter. 1987. The effects of acute and chronic stress on the levels of reproductive hormones in plasma of mature male brown trout, *Salmo trutta* L. Gen. Comp. Endocrinol., 68, 249~259.
- Pickford, G.E., P.K.T. Pang, E. weinstein, J. Torreti, E. Hendler and F.H. Epstein. 1970. The response of hypophysectomized cyprinodont, *Fundulus heteroclitus*, to replacement therapy with cortisol: effects on blood serum and sodium-potassium activated adenosine triphosphatase in the gills, kidney and intestinal mucosa. Gen. Comp. Endocrinol., 14, 524~534.
- Richman, N.H., S. Tai de Diaz, R.S. Nishioka, P. Prunet and H.A. Bern. 1987.

- Osmoregulatory and endocrine relationships with chloride cell morphology and density during smoltification in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture*, 60, 265~285.
- 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.
- Rotlland, J. and L. Tort. 1997. Cortisol and glucose responses after acute stress by net handling in the sparid red porgy previously subjected to crowding stress. *J. Fish Biol.*, 51, 21~28.
- Rottland, J., P.H. Balm, J. Perez-Sanchez, S.E. Wendelaar-Bonga and L. Tort. 2001. Pituitary and interrenal function in gilthead seabream (*Sparus aurata* L., Teleostei) after handling and confinement stress. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 121, 333~342.
- Ruane, N.M., S.E. Wenderlaar-Bonga and P.H. Balm. 1999. Differences between rainbow trout and brown trout in the regulation of the pituitary-interrenal axis and physiological performance during confinement. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 115, 210~219.
- Schreck, C.B. 1982. Stress and rearing of salmonids. *Aquaculture*, 28, 241~ 249.
- Singley, J.A and W. Chavin. 1971. Cortisol levels of normal goldfish, *Carassius auratus* L., and response to osmotic change. *Ame. Zool.*, 11, 653 pp.
- Soengas, J.L., J. Fuentes, J. Otero, M.D. Andres and M. Aldegunde. 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.
- Specker, C.B., C.S. Bradford, M.S. Fitzpatrick and R. Patino. 1989. Regulation of the interrenal of fishes: Non-classical control mechanism. *Fish Physiol. Biochem.*, 7, 259~265.
- Strussmann, C.A., P. Renard, H. Ling, F. Takashima. 1994. Motility of pejerrey,

- Odontesthes bonariensis* spermatozoa. Fish. Sci., 60, 9~13.
- Sumpter, J.P., T.G. Pottinger, M. Rand-Weaver and P.M. Campbell. 1994. The wide-ranging effects of stress on fish. In: Davey, K.G., R.E. Peter, S.S. Tobe (Eds.), Perspectives in Comparative Endocrinology. National Research Council of Canada, Ottawa, 535~538 pp.
- Sunyer, J.O., E. Gomez, V. Navarro, J. Quesada and L. Tort. 1995. Physiological response and depression of humoral components of the immune system in gilthead sea-bream (*Sparus aurata*) following daily acute stress. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 52, 2339~2346.
- Suquet, M., M.H. Omnes, Y. Normant and C. Fauvel. 1992. Assessment of sperm concentration and motility in turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture, 101, 177~185.
- Thomas M.H., D.M. Stephan and A.B. Howard. 1991. Effects of prolactin on chloride cells in opercular membrane of seawater-adapted tilapia. Gen. Comp. Endocrinol., 83, 283~289.
- Tsuzuki, M.Y., K. Ogawa, C.A. Strussmann, M. Maita and F. Takashima. 2001. Physiological responses during stress and subsequent recovery at different salinities in adult pejerrey *Odontesthes bonariensis*. Aquaculture, 200, 349~362.
- Wedemeyer, G.A. and D.J. McLeay. 1981. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. In *Stress and Fish* (Ed. by A.D. Pickering), Academic Press, London, 247~275.
- Wedemeyer, G.A. and W.T Yasutake. 1977. Clinical methods for the assessment of the effects of environmental stress on fish health. U.S. Fish and Wildlife Service Technical Paper, 89, 18 pp. Washington D.C.
- Wendelaar Bonga, S.E. 1997. The stress response in fish. Physiol., Rev. 77, 591~625.
- Williams, A.J. and T. Wigham. 1994. The regulation of prolactin cells in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Gen. Comp. Endocrinol., 93, 398~405.
- 池田彌生, 尾崎久雄, 瀬崎哲次郎. 1986. 魚類血液圖鑑. 緑書房, 東京, 361 pp.