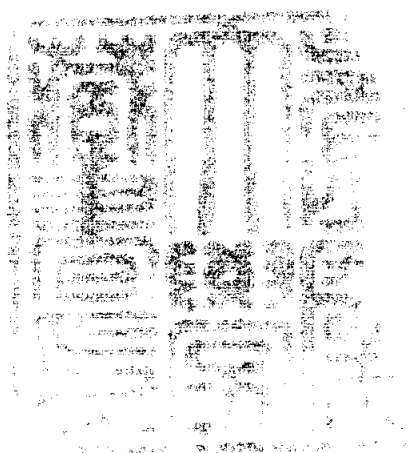


수산학석사 학위논문

담수순화에 따른 감성돔, *Acanthopagrus*
*schlegeli*의 생리학적 반응



2003 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 생 물 학 과

민 병 화

수산학석사 학위논문

담수순화에 따른 감성돔, *Acanthopagrus*
*schlegeli*의 생리학적 반응

지도교수 장 영 진

이 논문을 수산학석사 학위논문으로 제출함

2003 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

수 산 생 물 학 과

민 병 화

민병화의 수산학석사 학위논문을 인준함

2002 년 12 월 26 일

주 심 이 학 박 사 조 재 윤



위 원 수 산 학 박 사 남 윤 권



위 원 농 학 박 사 장 영 진



목 차

Abstract	iii
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 실험어와 실험시설	3
2. 담수순화 및 장기사육	4
1) 담수순화	4
2) 장기사육	5
3. 혈액의 채취와 분석	6
4. 아가미와 근육의 조직학적 관찰	7
5. 체성분 분석	7
6. 성장 및 생존율 조사	8
7. 통계처리	8
III. 결 과	9
1. 담수순화시 생리학적 변화	9
1) 혈장의 cortisol 및 글루코스 농도	9
2) 혈장의 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 농도	15
3) 혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT	21
4) 혈액의 Ht, RBC 및 Hb	26
5) 아가미의 조직학적 변화	31
2. 담수와 해수에서 장기사육시 생리조건 비교	33
1) 혈장의 cortisol 및 글루코스 농도	33
2) 혈장의 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 농도	33
3) 혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT	36

4) 혈액의 Ht, RBC 및 Hb	36
5) 아가미와 근육의 조직학적 변화	38
6) 체성분 조성	38
7) 성장 및 생존율	38
IV. 고 찰	43
V. 요 약	49
감사의 글	51
참고문헌	52

Physiological Responses of Black Seabream, *Acanthopagrus schlegeli* to Freshwater Acclimation

Byung Hwa Min

*Department of Fisheries Biology, Graduate School,
Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

Abstract

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 (*Acanthopagrus schlegeli*), and long-term rearing in freshwater and seawater.

1. Physiological responses of fish in freshwater acclimation

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.

2. Physiological conditions and growth of fish to long-term rearing in freshwater and seawater

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.

I. 서론

한국의 담수어류 양식은 틸라피아, 잉어류가 주류를 이루고 있으나 과잉생산으로 인해 경제성이 낮으며, 최근 수입개방과 환경오염으로 담수양식산업이 어려움에 처해 있는 실정이다. 따라서 내수면 양식사업자들은 토착어종인 매효, 쏘가리, 동자개 등의 양식개발에 힘을 쏟고 있으나, 아직 기술적으로 어려운 실정에 놓여있어, 생산력이 잉어류에 버금가면서도 고급어류로 인정받는 새로운 양식대상종의 선택에 크게 부심하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근에 광염성 해산어류의 뛰어난 삼투압 조절능력을 응용한 담수순화 양식이 시도되고 있다. 이와 관련하여서 단계적인 염분변화에 따른 송어의 생리적 반응(Chang and Hur, 1999), 담수에서 사육한 송어의 성장과 생존율(Chang et al., 2001) 등이 연구된 바 있다.

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 틸라피아(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 대상종으로 염분내성에 강한 어종의 생리·생태를 파악하는 생물학적 연구, 스트레스를 최소화할 수 있는 염분변화

의 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 숭어, 농어와 함께 유용양식 대상 어류이자 광염성 해산어류 알려져 있으며, 최근 담수순화 양식을 위한 연구가 진행되고 있기는 하나, 염분변화에 따른 생리상태, 담수순화의 방법, 사육환경 등 아직까지 담수양식 기법개발을 위한 기반지식이 확립되어 있지 않은 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 감성돔을 사용하여 여러가지 염분변화에 따른 생리적 반응과 장기간 담수 및 해수사육에 따른 생리적 반응, 성장 및 생존율을 조사하여 감성돔의 담수순화 양식의 가능성을 위한 기초자료를 제공하자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험어와 실험시설

담수순화시 염분변화의 방법(Exp. I ~ IV)과 담수 및 해수에서 장기사육에 따른 감성돔의 스트레스 반응 및 생리조건의 변화를 알아보기 위하여 실험에 사용된 어류의 크기는 Table 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 1. Size of black seabream used in experiments of salinity changes

Experimental condition		Total length (cm)	Body height (cm)	Body weight (g)
Freshwater acclimation	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
	Exp. IV	13.5 ± 2.1	4.2 ± 0.6	37.6 ± 11.9
Long-term rearing	Freshwater	14.3 ± 0.4	5.1 ± 0.3	51.0 ± 6.0
	Seawater	14.4 ± 0.2	5.2 ± 0.5	48.6 ± 0.6

2. 담수순화 및 장기사육

1) 담수순화

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

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. 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. 1, Exp. II).

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. 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. 1, Exp. IV).

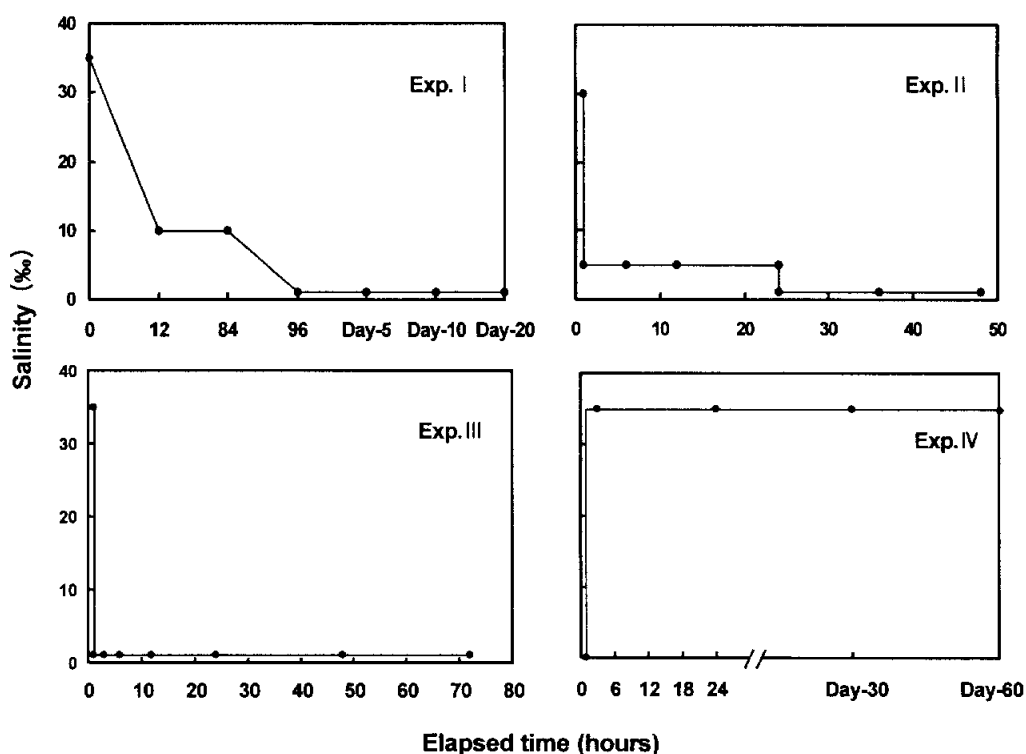


Fig. 1. Salinity changes designed for the experiment I ~ IV. Points indicate the blood sampling time.

2) 장기사육

담수 및 해수사육한 감성돔의 스트레스 반응, 생리조건, 성장 및 생존율을 비교·조사하기 위하여 담수순화 시킨후 114일 지난 감성돔 80마리와 해수에서 사육중인 감성돔 74마리를 사용하여 담수 및 해수에서 120일간 사육하였으며, 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 측정하였

다. 사육환경으로 수온은 Fig. 2에 나타내었다. 환수량은 매일 총 사육수의 0.7~1.3%씩으로 하였다.

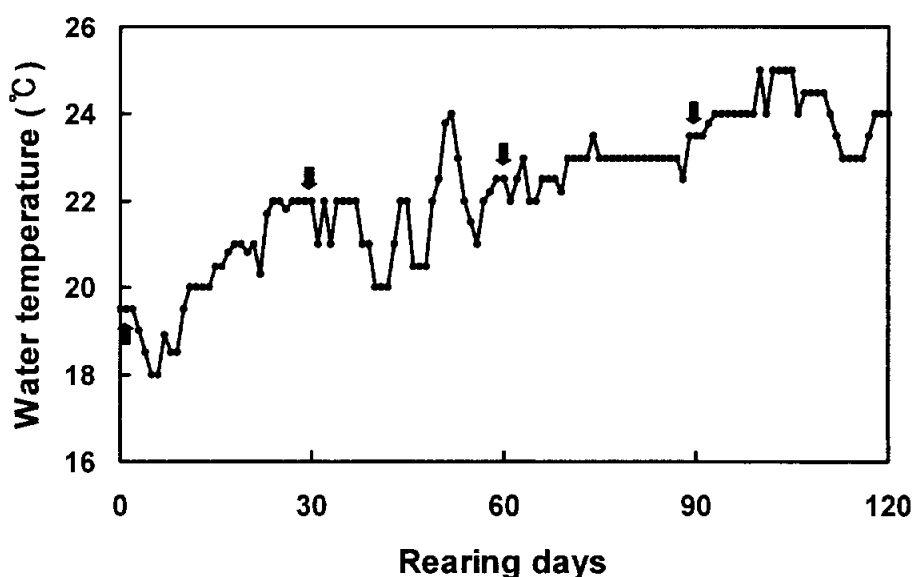


Fig. 2. Daily variations of water temperature in tanks of freshwater and seawater rearing. Arrows indicate the blood sampling time.

3. 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 24시간전부터 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), 혈색소농도(hemoglobin, Hb)를 분석하였다.

4. 아가미와 근육의 조직학적 관찰

사육수의 염분변화 실험인 Exp. I ~ IV와 담수 및 해수사육한 감성돔의 아가미, 근육의 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.

5. 체성분 분석

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

6. 성장 및 생존율 조사

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, 일간성장률 및 일간사료섭취율은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

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

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

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

7. 통계처리

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

III. 결 과

1. 담수순화시 생리학적 변화

1) 혈장의 cortisol 및 글루코스 농도

Exp. I 에서 cortisol과 글루코스의 변화는 Fig. 3과 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. II에서 cortisol과 글루코스 변화는 Fig. 4와 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 종

료시까지 $45.3 \pm 3.0 \sim 53.3 \pm 4.5$ mg/dL로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$). Exp.Ⅲ에서 cortisol과 글루코스 변화는 Fig. 5와 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. 6과 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($P > 0.05$).

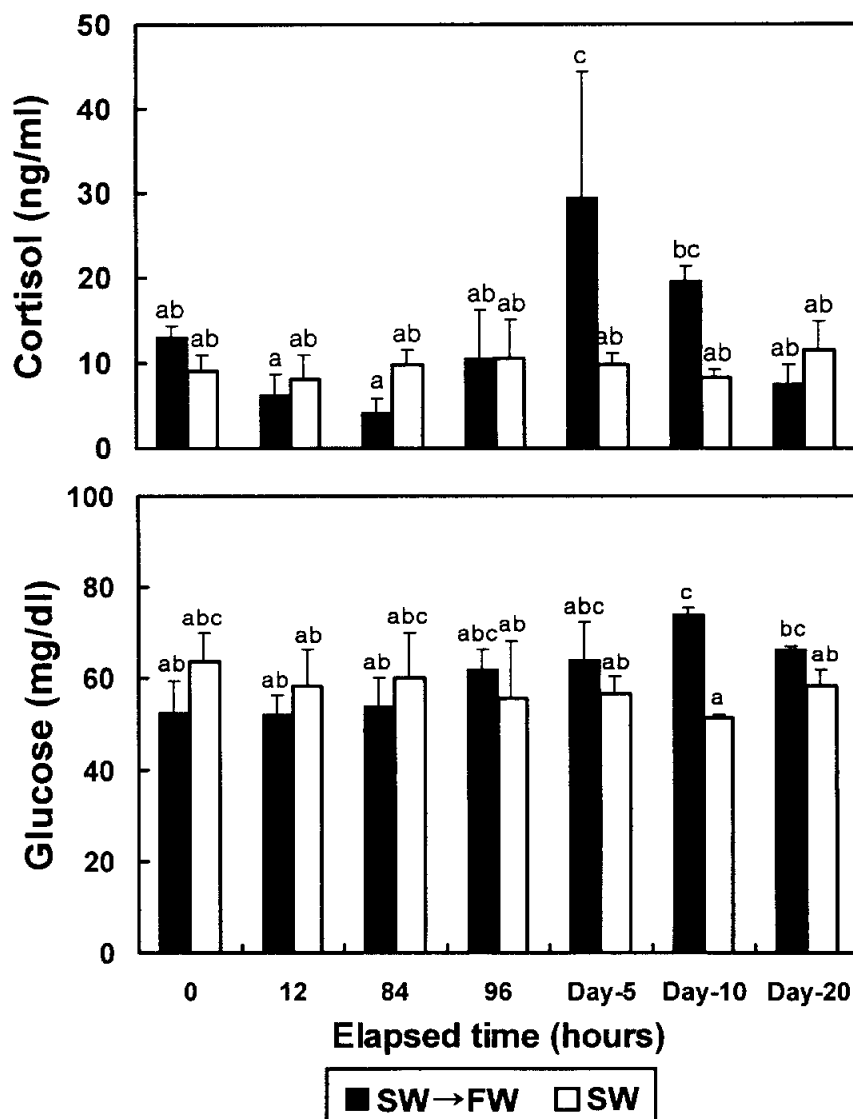


Fig. 3. Variations of cortisol and glucose levels in plasma of black seabream in experiment I. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

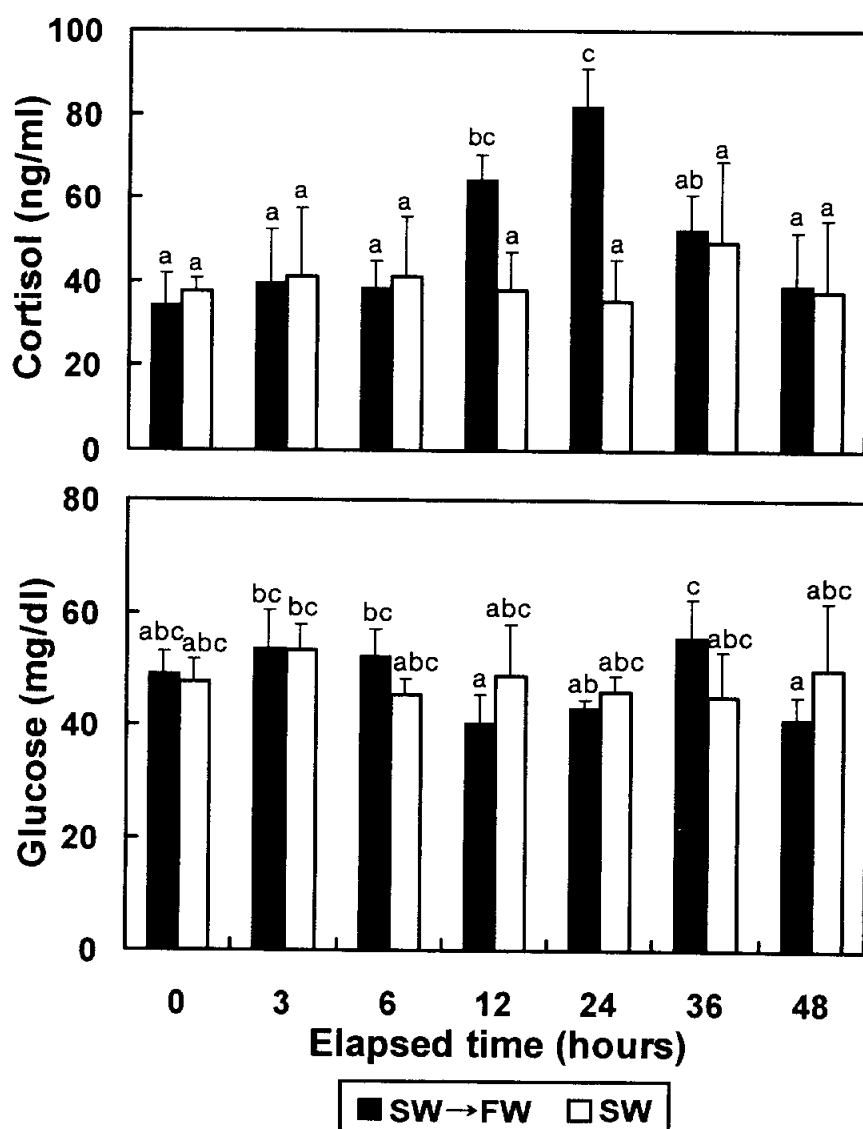


Fig. 4. Variations of cortisol and glucose levels in plasma of black seabream in experiment II. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

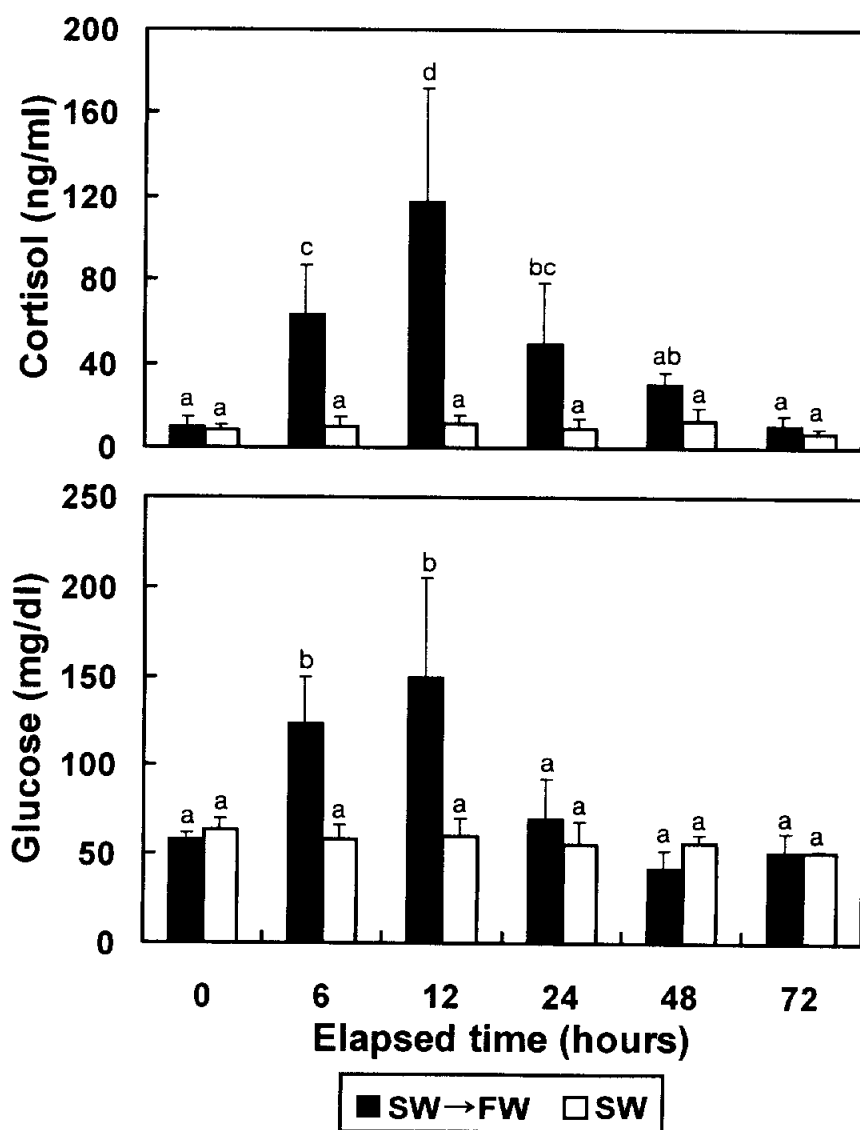


Fig. 5. Variations of cortisol and glucose levels in plasma of black seabream in experiment III. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

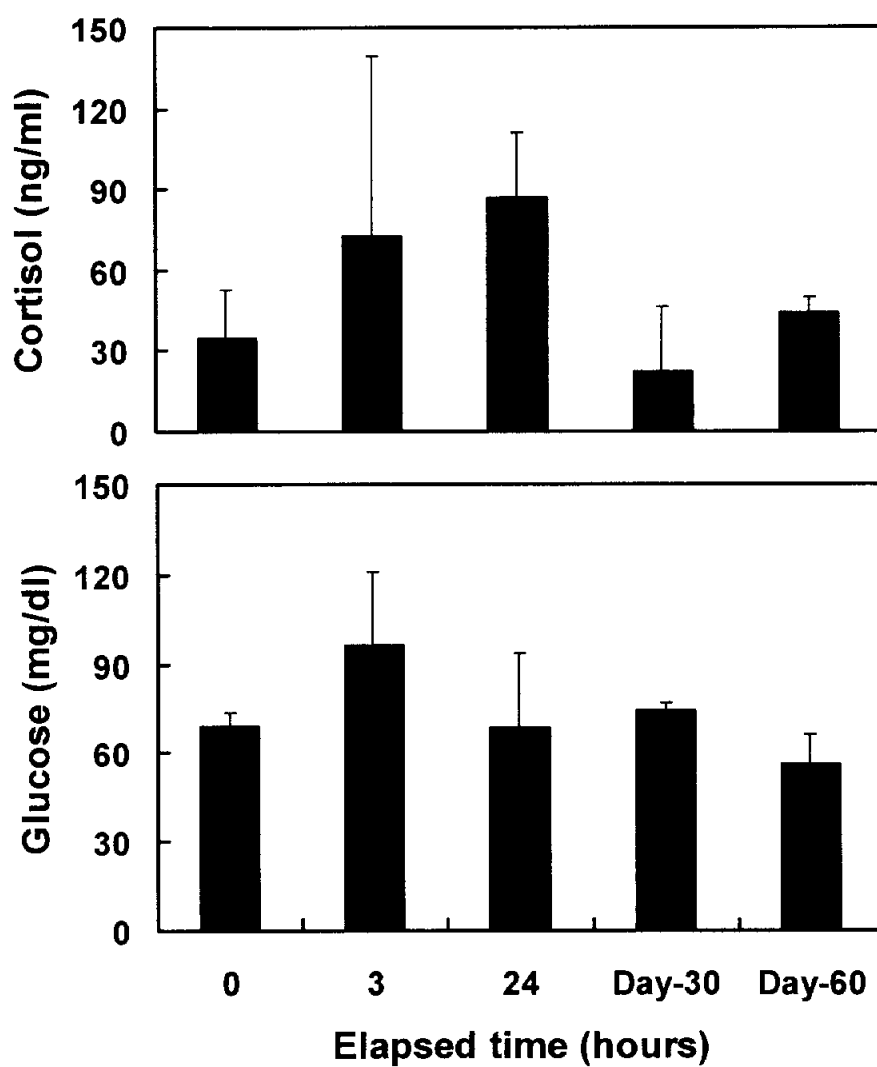


Fig. 6. Variations of cortisol and glucose levels in plasma of black seabream in experiment IV.

2) 혈장의 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 농도

Exp. I 에서 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 의 변화는 Fig. 7과 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. 8과 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 $142.0 \pm$

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 ~ 144.3 $\pm$ 2.5 mEq/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Exp.Ⅲ에서 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 의 변화는 Fig. 9와 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. 10과 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.

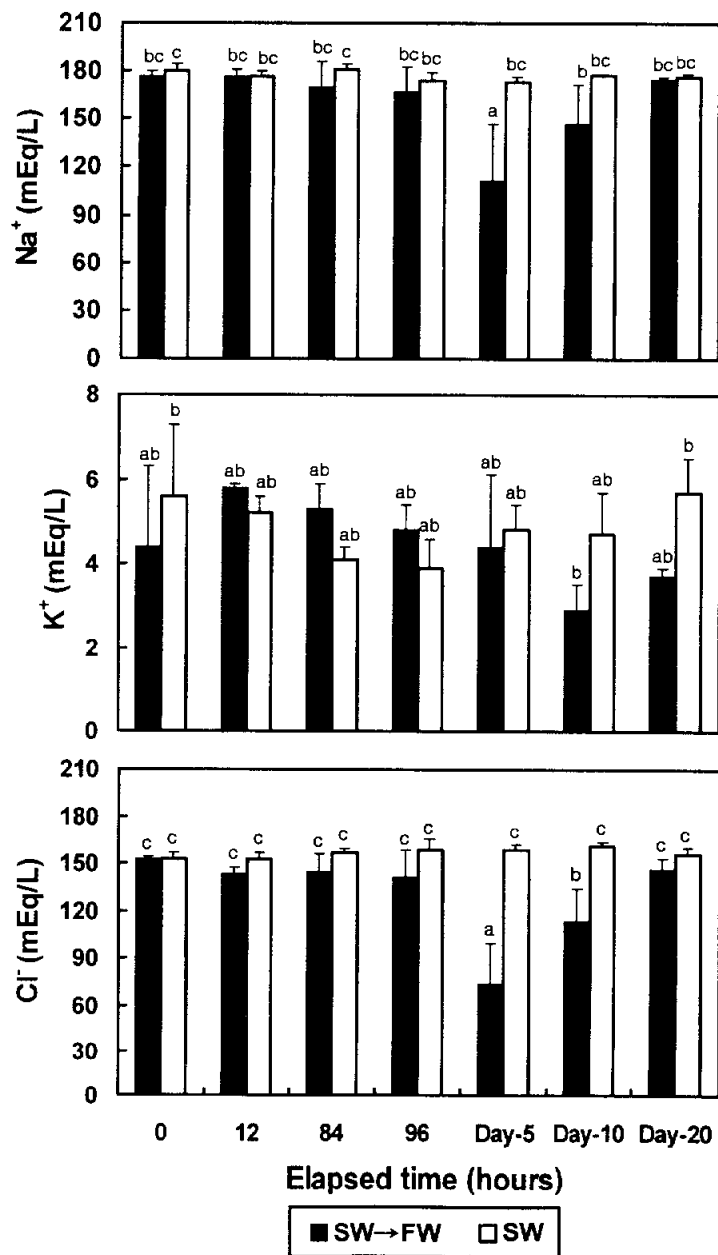


Fig. 7. Variations of Na^+ , K^+ and Cl^- levels in plasma of black seabream in experiment I. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

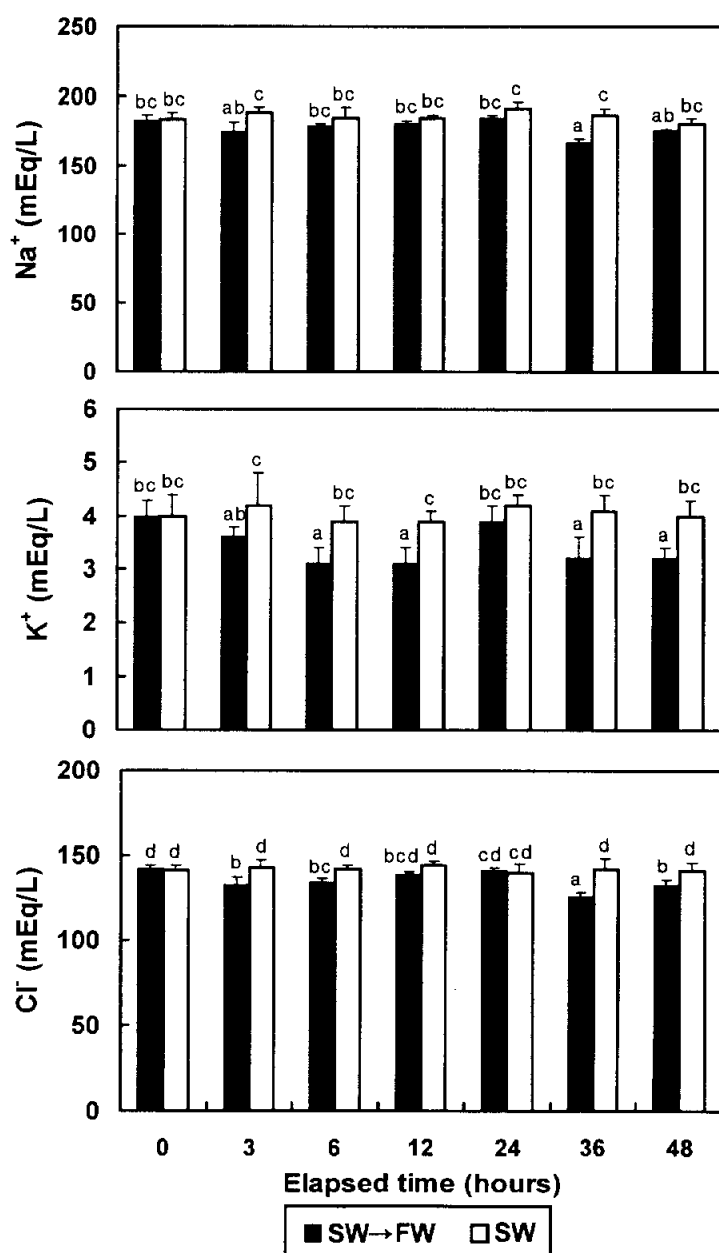


Fig. 8. Variations of Na^+ , K^+ and Cl^- levels in plasma of black seabream in experiment II. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

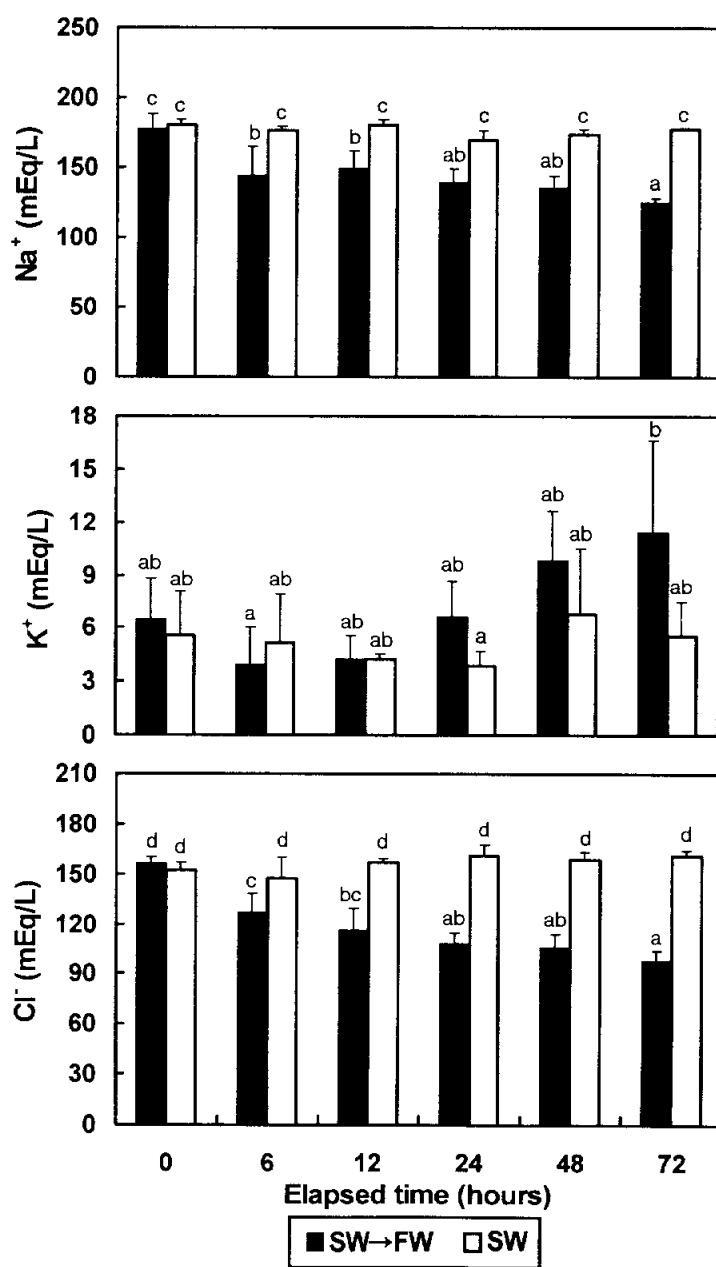


Fig. 9. Variations of Na⁺, K⁺ and Cl⁻ levels in plasma of black seabream in experiment III. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

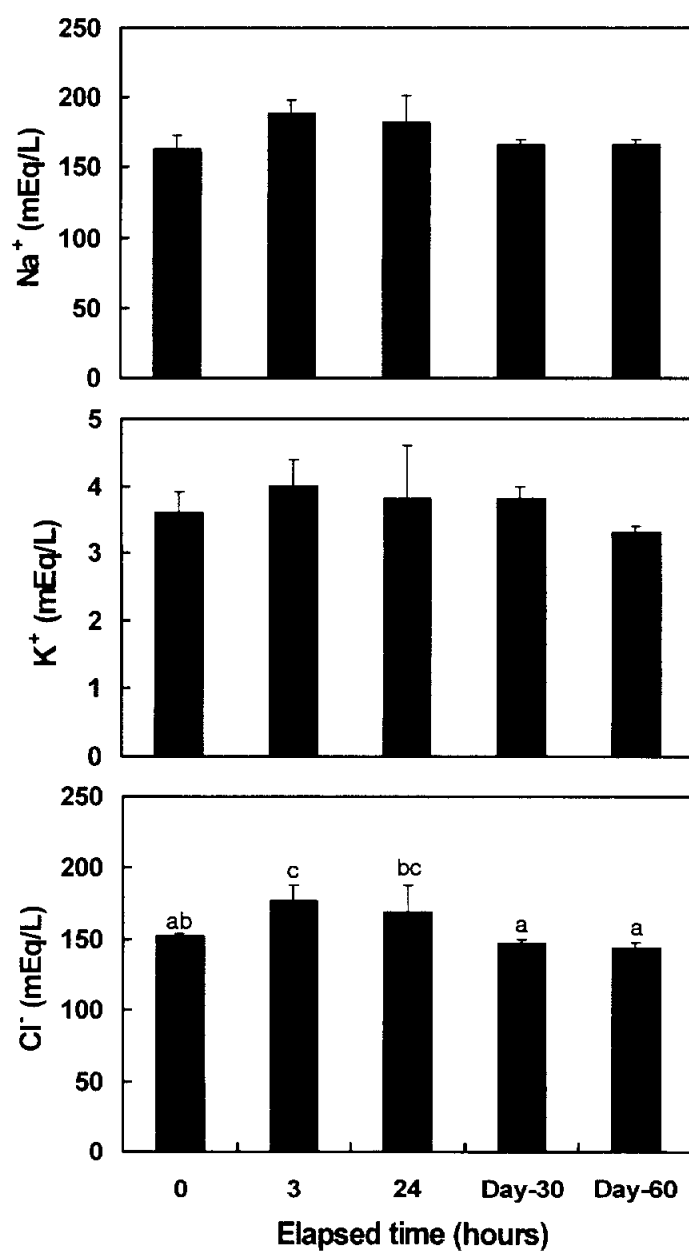


Fig. 10. Variations of Na⁺, K⁺ and Cl⁻ levels in plasma of black seabream in experiment IV. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$).

3) 혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT

Exp. I 에서 삼투질 농도, AST 및 ALT 변화는 Table 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. II에서 삼투질 농도, AST 및 ALT 변화는 Table 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, $4.3 \pm 1.2 \sim 5.3$

± 2.6 IU/L로 유의한 변화를 보이지 않았다($P > 0.05$).

Exp.III에서 삼투질 농도, AST 및 ALT 변화는 Table 4와 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 5와 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 2. Variations of osmolality, AST and ALT levels in plasma of black seabream in experiment 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 3. Variations of osmolality, AST and ALT levels in plasma of black seabream in experiment 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.

Table 4. Variations of osmolality, AST and ALT levels in plasma of black seabream in experiment 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 5. Variations of osmolality, AST and ALT levels in plasma of black seabream in experiment 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 Ht, RBC 및 Hb

Exp. I 에서 Ht, RBC 및 Hb의 변화는 Table 6과 같다. Ht는 실험구와 대조구에서 실험개시시부터 종료시까지 각각 $19.6\pm0.8\sim22.7\pm3.2\%$, $19.7\pm1.9\sim22.0\pm1.3\%$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P>0.05$). RBC는 실험구와 대조구에서 실험개시시부터 종료시까지 각각 $2.5\pm0.1\sim3.0\pm0.1\times10^6\text{cell}/\mu\text{l}$, $2.8\pm0.1\sim3.1\pm0.1\times10^6\text{cell}/\mu\text{l}$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P>0.05$). Hb는 실험구에서 실험개시시에 $15.6\pm1.1\text{ g/dL}$ 였던 것이 5일째에는 $19.1\pm1.1\text{ g/dL}$ 로 유의하게 증가하였지만($P<0.05$), 10일째에는 $16.3\pm1.3\text{ g/dL}$ 로 실험개시시 수준으로 회복되었다. 대조구에서는 실험개시시부터 종료시까지 $17.0\pm2.3\sim19.5\pm0.7\text{ g/dL}$ 로 유의한 변화를 보이지 않았다($P>0.05$).

Exp. II 에서 Ht, RBC 및 Hb의 변화는 Table 7과 같다. Ht는 실험구에서 실험

험개시시에 $20.2 \pm 0.8\%$ 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($P > 0.05$).

Exp.Ⅲ에서 Ht, RBC 및 Hb의 변화는 Table 8과 같다. Ht는 실험구에서 실험개시시에 $20.8 \pm 1.1\%$ 였던 것이 6시간째에 $25.5 \pm 4.6\%$ 로 유의하게 증가하였다($P < 0.05$), 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 Table 9와 같다. 담수에서 해수로 옮겼을 때 Ht는 실험개시시에 $16.2 \pm 2.2\%$ 였던 것이 24시간째에 24.9 ± 3.1 로 유의

하게 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 ± 0.9 g/dL였던 것이 24시간째에 16.7 ± 1.6 g/dL로 유의하게 증가하였다가($P < 0.05$), 30일째에는 12.9 ± 1.4 g/dL로 실험개시시 수준으로 회복되었다.

Table 7. Variations of hematocrit, red blood cell and hemoglobin levels in plasma of black seabream in experiment 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	21.0 ± 1.6^{ab}	20.2 ± 2.3^{ab}	2.9 ± 0.4^{abc}	2.8 ± 0.3^{abc}	15.6 ± 1.1^{abc}	17.0 ± 2.3^{bcde}
12	22.7 ± 3.2^b	22.0 ± 1.3^{ab}	2.9 ± 0.2^{abc}	3.1 ± 0.1^c	13.5 ± 1.5^a	20.3 ± 2.6^f
84	19.5 ± 1.8^a	21.7 ± 2.3^{ab}	2.6 ± 0.2^{ab}	2.9 ± 0.2^{abc}	16.4 ± 1.2^{abcd}	18.5 ± 1.1^{cdet}
96	20.2 ± 1.4^{ab}	20.8 ± 2.7^{ab}	2.6 ± 0.2^{ab}	3.0 ± 0.5^{bc}	15.6 ± 1.8^{abc}	17.3 ± 2.0^{cdet}
Day-5	21.0 ± 0.4^{ab}	21.7 ± 0.6^{ab}	3.0 ± 0.1^{bc}	2.8 ± 0.1^{abc}	19.1 ± 1.1^{det}	17.9 ± 1.5^{cdet}
Day-10	19.8 ± 0.4^{ab}	19.7 ± 1.9^a	2.5 ± 0.1^a	2.8 ± 0.1^{abc}	16.3 ± 1.3^{abcd}	17.5 ± 0.4^{cdet}
Day-20	19.6 ± 0.8^a	20.8 ± 1.1^{ab}	2.5 ± 0.2^a	2.9 ± 0.1^{abc}	14.2 ± 2.5^{ab}	19.5 ± 0.7^{et}

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 8. Variations of hematocrit, red blood cell and hemoglobin levels in plasma of black seabream in experiment II

Elapsed time (hours)	HT (%)		RBC ($\times 10^6$ cell/ $\mu\ell$)		Hb (g/dL)	
	SW→FW	SW	SW→FW	SW	SW→FW	SW
0	20.2 $\pm$ 0.8 ^a	20.3 $\pm$ 3.1 ^a	2.8 $\pm$ 0.2 ^{ab}	2.6 $\pm$ 0.4 ^a	17.2 $\pm$ 0.5 ^{ab}	17.7 $\pm$ 0.9 ^{abc}
3	23.4 $\pm$ 4.0 ^b	21.5 $\pm$ 4.4 ^{ab}	3.1 $\pm$ 0.5 ^b	2.8 $\pm$ 0.5 ^{ab}	17.6 $\pm$ 1.6 ^{abc}	17.1 $\pm$ 1.7 ^{ab}
6	20.4 $\pm$ 3.1 ^{ab}	21.9 $\pm$ 1.6 ^{ab}	2.7 $\pm$ 0.4 ^a	2.7 $\pm$ 0.2 ^{ab}	18.7 $\pm$ 1.6 ^{bc}	17.8 $\pm$ 0.7 ^{abc}
12	19.5 $\pm$ 3.1 ^a	21.2 $\pm$ 3.0 ^{ab}	2.6 $\pm$ 0.4 ^a	2.7 $\pm$ 0.3 ^a	19.4 $\pm$ 0.5 ^c	17.6 $\pm$ 2.3 ^{abc}
24	19.8 $\pm$ 1.3 ^a	20.3 $\pm$ 1.8 ^a	2.8 $\pm$ 0.2 ^{ab}	2.8 $\pm$ 0.3 ^{ab}	16.7 $\pm$ 0.6 ^{ab}	18.0 $\pm$ 1.9 ^{abc}
36	20.9 $\pm$ 3.0 ^{ab}	21.4 $\pm$ 3.4 ^{ab}	2.9 $\pm$ 0.4 ^{ab}	2.8 $\pm$ 0.4 ^{ab}	16.0 $\pm$ 2.1 ^a	17.1 $\pm$ 0.8 ^{ab}
48	21.0 $\pm$ 2.6 ^{ab}	21.1 $\pm$ 4.2 ^{ab}	2.9 $\pm$ 0.4 ^{ab}	2.8 $\pm$ 0.9 ^{ab}	17.9 $\pm$ 0.1 ^{abc}	16.9 $\pm$ 0.6 ^{ab}

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 9. Variations of hematocrit, red blood cell and hemoglobin levels in plasma of black seabream in experiment III

Elapsed time (hours)	HT (%)		RBC ($\times 10^6$ cell/ $\mu\ell$)		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 10. Variations of hematocrit, red blood cell and hemoglobin levels in plasma of black seabream in experiment IV

Conditions	HT (%)	RBC ($\times 10^6$ cell/ $\mu\ell$)	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) 아가미, 근육의 조직학적 관찰

염분변화에 따른 감성돔의 아가미의 조직상은 Fig. 11~12에 나타내었다. Exp. I 에서 아가미 관찰시 84시간째에는 2차새변(gill lamella)의 형태가 실험 개시시(Fig. 11, A)와 비슷하였지만(Fig. 11, B), 5일째에는 2차새변의 구부러진 구조와 팽창된 현상을 관찰할 수 있었으며, 새변(filament)내의 세포들이 용출된 현상을 관찰할 수 있었다(Fig. 11, C). 20일째에는 2차새변의 손상된 부분을 다소 관찰할 수 있었지만 실험개시시와 비슷한 구조가 관찰되었다(Fig. 11, D). Exp.Ⅲ에서 24시간째 아가미는 새변의 팽창과 공포화, 2차새변의 불규칙한 굴곡현상이 관찰되었다(Fig. 12, A). 72시간째는 2차새변의 배열은 정상적으로 나타났으나, 새변과 2차새변이 융합된 현상과 손상이 관찰되었다(Fig. 12, B).

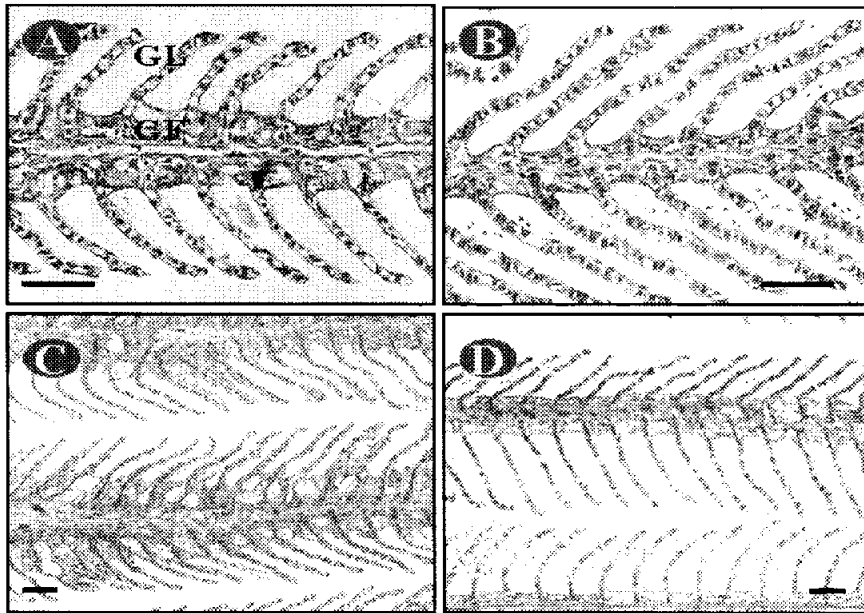


Fig. 11. Photomicrographs of gill filaments and lamella of black seabream in Exp. I. A: control, B: 84 hour, C: Day-5, D: Day-20. Bar=50 μm .

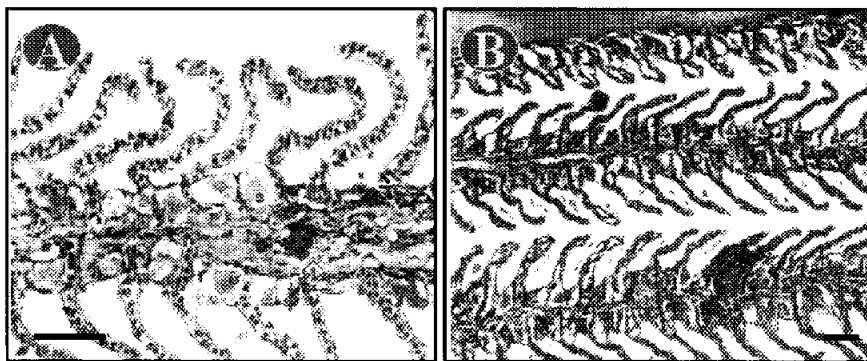


Fig. 12. Photomicrographs of gill filaments and lamella of black seabream in Exp.III. A: 24 hours, B: 72 hour. Bar=50 μm .

2. 담수와 해수에서 장기사육시 생리조건 비교

1) 혈장의 cortisol 및 글루코스 농도

담수 및 해수사육한 감성돔의 cortisol과 글루코스 변화는 Fig. 13과 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.

2) 혈장의 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 농도

담수 및 해수사육한 감성돔의 Na^+ , K^+ 및 Cl^- 의 변화는 Fig. 14와 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.

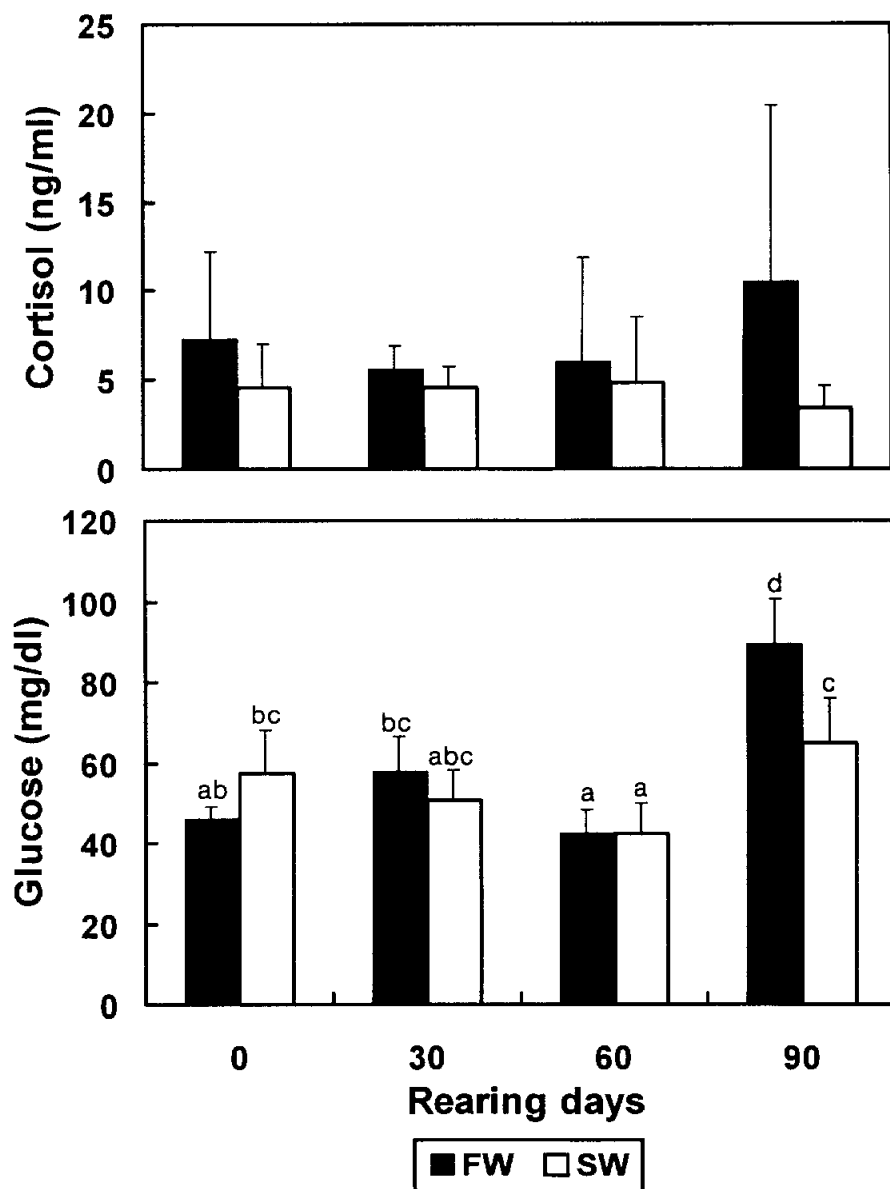


Fig. 13. Variations of cortisol and glucose levels in plasma of black seabream reared in freshwater and seawater. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

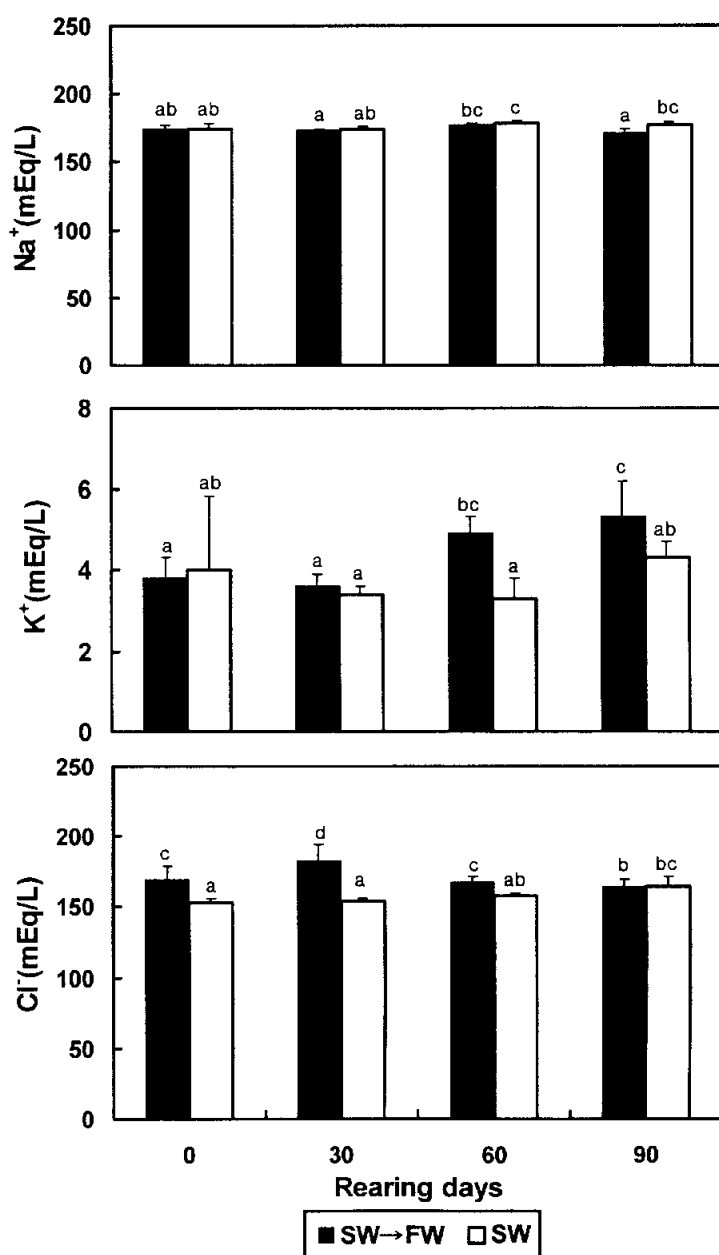


Fig. 14. Variations of Na^+ , K^+ and Cl^- levels in plasma of black seabream reared in freshwater and seawater. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$). FW: freshwater, SW: seawater.

3) 혈장의 삼투질 농도, AST 및 ALT

담수 및 해수사육한 감성돔의 삼투질 농도, AST 및 ALT 변화는 Table 11과 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($P > 0.05$).

4) 혈액의 Ht, RBC 및 Hb

담수 및 해수사육한 감성돔의 Ht, RBC 및 Hb의 변화는 Table 12와 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($P < 0.05$).

Table 11. Variations of osmolality, AST and ALT levels in plasma of black seabream reared in freshwater and seawater

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}	6.0±0.8 ^{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 12. Variations of hematocrit, red blood cell and hemoglobin levels in plasma of black seabream reared in freshwater and seawater

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}	14.5±0.5 ^{ab}
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.

5) 아가미와 근육의 조직학적 변화

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. 15, A and B).

피부의 조직학적 모습은 Fig. 16에 나타내었다. 표피의 두께는 각각 $17.8 \pm 1.3 \mu\text{m}$, $25.1 \pm 8.9 \mu\text{m}$ 로, 진피는 86.1 ± 9.3 , $105.7 \pm 47.3 \mu\text{m}$ 로 해수에서 두꺼웠다. 지방층의 두께는 각각 $24.5 \pm 16.3 \mu\text{m}$, $17.4 \pm 7.6 \mu\text{m}$ 으로 담수사육시 더 두꺼웠다.

6) 체성분 조성

체성분 조성에 있어 수분함량은 담수와 해수사육에서 각각 $67.4 \pm 0.2\%$, $69.8 \pm 0.2\%$, 조단백은 $17.8 \pm 0.1\%$, $18.1 \pm 0.2\%$, 조지방은 $10.0 \pm 0.6\%$, $7.8 \pm 1.5\%$, 조회분은 $5.8 \pm 0.2\%$, $6.5 \pm 0.5\%$ 로 나타났으나 유의한 차이는 인정되지 않았다($P > 0.05$) (Table 13).

7) 성장 및 생존율

전장 성장은 실험개시시에 담수사육과 해수사육에서 각각 14.3 ± 0.4 , $14.4 \pm 0.2 \text{ cm}$ 였던 것이 30, 60, 90, 120일째에 각각 15.1 ± 0.7 , 16.0 ± 0.9 , 17.0 ± 1.1 , $18.0 \pm 1.0 \text{ cm}$ 와 14.6 ± 0.1 , 15.1 ± 0.6 , 16.2 ± 0.4 , $17.2 \pm 0.4 \text{ cm}$ 로 나타나, 담수사육이 해수사육보다 빠른 성장을 보였다. 체중은 각각 $51.0 \pm 6.0 \text{ g}$, $48.6 \pm 0.6 \text{ g}$ 이었던 것이 30, 60, 90, 120일째에 각각 59.8 ± 10.6 , 72.4 ± 14.7 , 88.2 ± 22.0 , $102.7 \pm 17.3 \text{ g}$ 과 50.7 ± 1.2 , 51.8 ± 2.4 , 69.1 ± 6.1 , $83.5 \pm 5.7 \text{ g}$ 으로 나타나, 담수사육이 해수사육 보다 성장이 빨랐다(Fig. 17). 사육종료시(120일째) 증중량은 담수와 해수에서 각각 $1485.5 \pm 415.8 \text{ g}$, $786.8 \pm 23.6 \text{ g}$ 으로 담수사육이 해수사육

보다 유의하게 많았다($P < 0.05$). 일간사료섭취율은 $1.2 \pm 0.3\%$, $1.2 \pm 0.2\%$ 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 담수사육이 해수사육 보다 높았으나 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$) (Table 14). 생존율은 사육 30일째에 담수와 해수에서 각각 88.8%, 92.2%로 해수에서 높았으나, 실험종료시에는 80.2%, 73.7%로 담수사육이 해수사육보다 높았다 (Fig. 17).

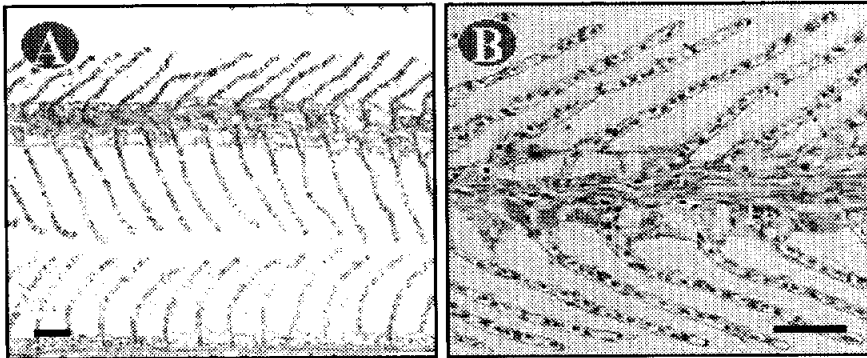


Fig. 15. Photomicrographs of gill filaments and lamella of black seabream reared in freshwater and seawater (120 days). A: freshwater, B: seawater. Bar=50 μm .

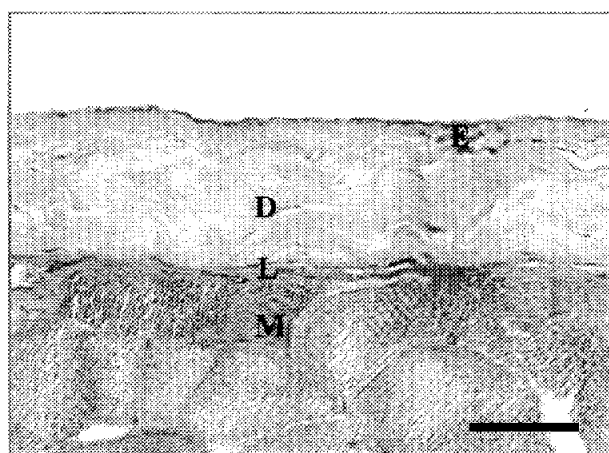


Fig. 16. Cross section of skin showing the epidermis, dermis, lipid and muscle layer. E: epidermis, D: dermis, L: lipid layer, M: muscle layer. Bar=50 μm .

Table 13. Body composition of black seabream reared in freshwater and seawater

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

FW: freshwater, SW: seawater.

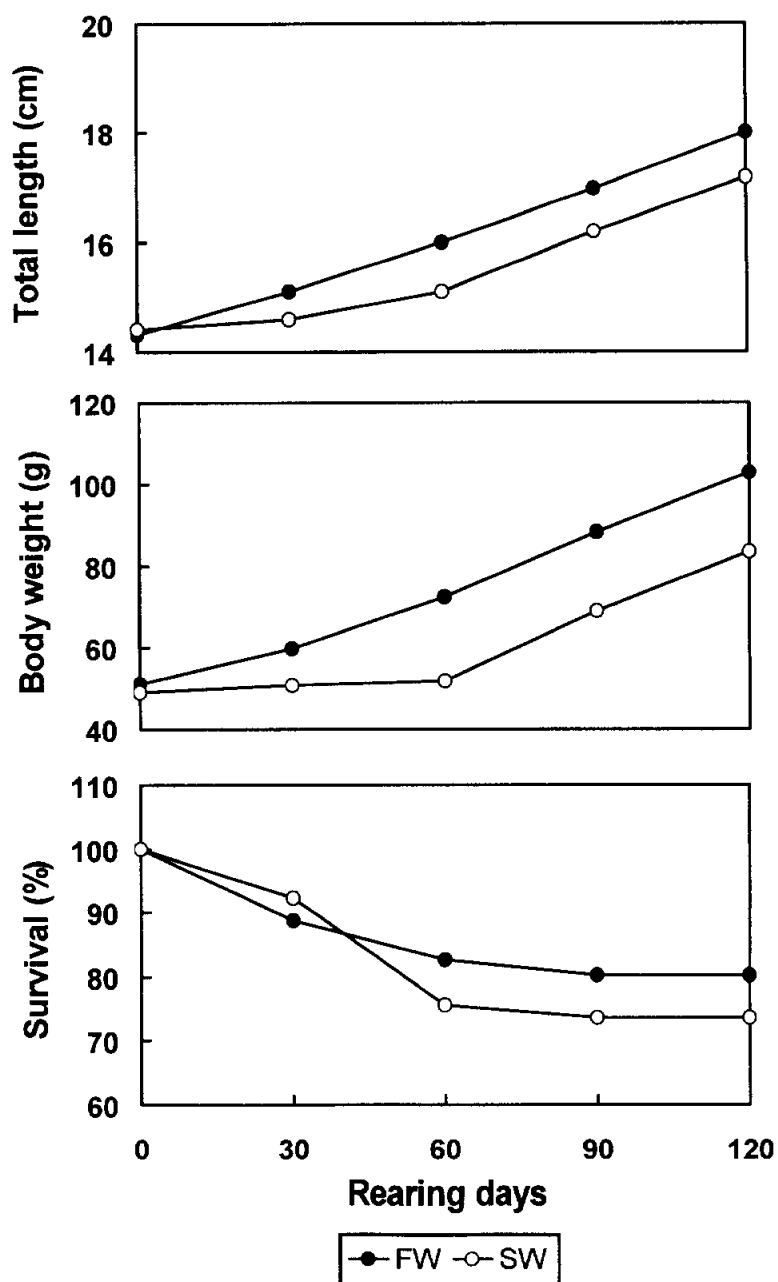


Fig. 17. Total length, body weight and survival rate of black seabream reared in freshwater and seawater. FW: freshwater, SW: seawater.

Table 14. Growth factor of black seabream reared in freshwater and seawater

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.

IV. 고 찰

본 연구에서는 해산어류인 감성돔의 담수순화 양식을 개발하는 데에 목적을 두었으며, 담수순화시, 장기간 담수사육에 따른 혈액의 생리적 반응을 조사하고자 하였다.

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*)와 같은 광염성 어류에서 cortisol은 해수와 담수에서 매우 중요한 삼투조절 호르몬이다(Mayer et al., 1967). 특히, 아가미의 염류세포의 Na^+, K^+ -ATPase 활성, 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 요인으로서는 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, Ruyet et al. (1998)은 사육수의 고농도 암모니아에 노

출되었을 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 사용되었거나, 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 대

부분 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 과다한 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 변화시 2차새변의 손상이 단계적인 염분변화보다 심하였으며 그 회복 속도도 늦다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과들은 염분변화의 농도와 속도는 2차새변의 손상 정도에 크게 좌우됨을 시사한다. 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 삼투 조절 기능뿐만 아니라 표피세포를 다르게 발현시킴으로써 체내 항상성을 한다

고 보고 된 바 있다(Leonard and Summres, 1976). Lee (1996)는 염분이 감소할수록 피부의 지방층이 두꺼워 진다고 송어에서 보고한바 있다. 본 연구에서는 장기간 담수사육을 통해 피부의 두께를 측정한 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). 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. 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.

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 염분변화

는 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 나타났으며, 장기 사육을 통한 성장 및 생존율에서도 해수 사육보다 나은 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.

IV. 요약

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

1. 담수순화시 생리학적 반응(Exp. I ~ IV)

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. II에서는 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. III에서는 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. IV에서는 유의한 차이가 없었다. 글루코스 농도는 Exp. I ~ III에서 cortisol과 동반 상승하는 경향이 나타나었지만, Exp. IV에서는 변함이 없었다. 삼투질 농도는 Exp. I 에서 5일째 감소하였으나 10일째에는 실험개시시 수준으로 회복되었다. Exp. II에서 3시간째 유의한 감소를 하였으나 6시간째에 증가하였으며, 36시간째에 다시 감소하였다가 48시간째부터 증가하였다. Exp. III에서는 실험종료시까지 계속적으로 감소하였다. Exp. IV에서는 유의한 차이가 없었다. Ht는 Exp. I 에서 유의한 차이가 없었다. Exp. II에서는 3시간째 증가하였지만 6시간째 실험개시시 수준으로 회복하였다. Exp. III에서는 6시간째 증가하였다가 48시간째 실험개시시 수

준으로 회복하였다.

2. 담수와 해수에서 장기사육시 생리조건 비교

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. 일간사료섭취율, 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 해수사육보다 높았다.

감사의 글

먼저 이 논문이 완성될 수 있도록 항상 용기와 사랑을 주시고, 끊임없는 질타로써 학문적 사고를 가르쳐주신 장영진 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 또한, 바쁘신 와중에서도 꼼꼼히 논문을 교정해 주신 조재운 교수님과 남윤권 교수님께 감사드리며, 평소 학문하는 자세를 가르쳐 주신 손철현 교수님, 허성범 교수님, 김동수 교수님, 배승철 교수님, 김창훈 교수님께 아울러 감사 드립니다. 그리고, 실험을 할 수 있도록 배려해 주시며 도움을 주신 순천향대학교 방인철 교수님, 실험적 사고의 가르침과 사랑으로 이끌어 주신 국립수산물학원 남해수산물연구소의 명정인 박사님, 거제수산물종묘시험장의 강덕영 박사님께 깊은 감사의 말씀을 드리며, 시료분석에 도움을 주신 박윤정 선생님께도 감사드립니다. 또한, 학부생부터 항상 곁에서 많은 관심과 조언을 아끼지 않으신 권준영 교수님, 이정용 박사님, 임한규 박사님, 장윤정 박사님, 허준욱 박사님, 전민지 박사님, 김성희 기술사님, 김덕환 선배님, 성형재 선배님, 백연우 선배님께도 감사의 마음을 전합니다.

항상 가족처럼 따뜻하게 도와준 양식생리학 연구실의 최윤희 박사님, 문승현 선배님, 조필규, 김범광, 정민환, 박상현, 이재훈, 김영수, 박경림 학형 그리고 이영호 님께 진심으로 감사 드리며, 힘들 땐 항상 위로와 격려해준 우성화, 김재준, 김요한, 장해진, 이상윤, 최오성, 공준희, 박철수, 김영기, 송현석 님께도 감사 드립니다.

마지막으로, 오늘도 차가운 밤 공기를 마시며 가족을 위해 애쓰시는 아버지, 항상 저를 위해 기도해 주시는 어머니, 그리고 열심히 공부하고 있는 동생 병대에게 이 논문을 바칩니다.

참고문헌

- 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.
- 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).
- Davis, K.B and N.C. Parker. 1990. Physiological stress in striped bass: Effect of acclimation temperature. *Aquaculture*, 91, 349~358.
- Donaldson, E.M. 1981. The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. Academic Press, London, 11 pp.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Laurent, P. and S. Dunel. 1980. Morphology of gill epithelia in fish. *Ame. J. Physiol.*, 238, 147~159.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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).
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Lee, Y.C. 1996. Osmoregulation and growth of juvenile grey mullet, *Mugil cephalus* in different salinities. Master Thesis, Nat. Pusan Fisheries. Uni.
- 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.