

이학박사 학위논문

참전복 *Haliotis discus hannai*의 염분
내성에 관한 생리학적 연구



2013년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수산해양학연합동과정

김 성 희

이학박사 학위논문

참전복 *Haliotis discus hannai*의 염분
내성에 관한 생리학적 연구

지도교수 장 영 진

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함.



2013년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수산해양학연합동과정

김 성 희

김성희의 이학박사 학위논문을 인준함

2012년 12월



목 차

Abstract	v
List of Tables	ix
List of Figures	xi
제1장 서 론	1
제2장 염분변화에 따른 참전복의 생존율 변화	6
1. 서 설	6
2. 재료 및 방법	8
2-1. 실험재료 및 실험조건	8
2-2. 급격한 염분변화에 따른 생존율	8
2-3. 단계적 염분변화에 따른 생존율	11
2-4. 염분별 노출시간에 따른 생존 및 회복률	14
2-5. 생존율 조사	14
3. 결 과	17

3-1. 급격한 염분변화에 따른 생존율	17
3-2. 단계적 염분변화에 따른 생존율	21
3-3. 염분별 노출시간에 따른 생존 및 회복률	26
4. 고 찰	31
 제3장 염분변화에 따른 참전복의 산소소비량 변화	34
1. 서 설	34
2. 재료 및 방법	36
2-1. 실험재료	36
2-2. 산소소비 측정장치	36
2-3. 산소소비 측정방법	37
2-4. 산소소비 계산	38
2-5. 통계처리	38
3. 결 과	42
3-1. 단계적 염분변화에 따른 산소소비 경향	42
3-2. 염분변화에 따른 일일평균 산소소비량	48
3-3. 염분변화 및 광조건에 따른 산소소비량	53
4. 고 찰	60

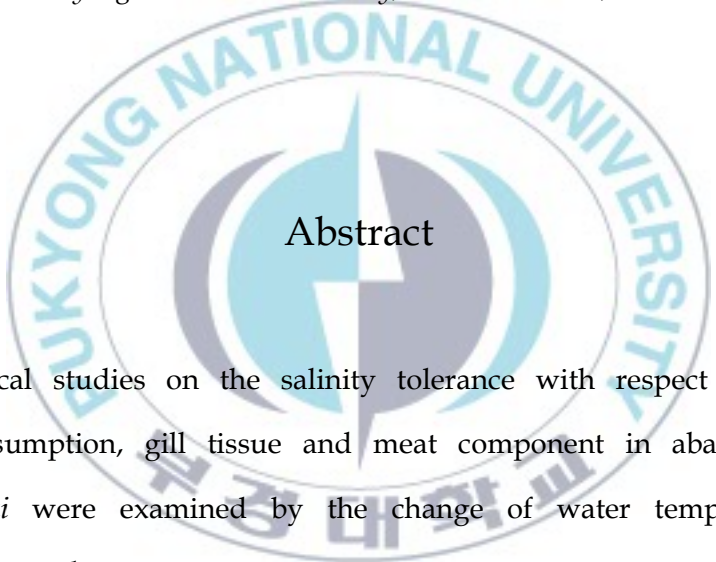
제4장 염분변화에 따른 참전복의 아가미 조직 변화	63
1. 서 설	63
2. 재료 및 방법	65
2-1. 실험재료 및 염분변화	65
2-2. 조직학적 분석	65
3. 결 과	67
3-1. 수온 15℃에서 염분변화에 따른 아가미의 조직상	67
3-2. 수온 20℃에서 염분변화에 따른 아가미의 조직상	72
3-3. 수온 25℃에서 염분변화에 따른 아가미의 조직상	77
4. 고 찰	82
제5장 염분변화에 따른 참전복의 체성분 변화	84
1. 서 설	84
2. 재료 및 방법	86
2-1. 실험재료 및 염분변화	86
2-2. 체성분 분석	86
2-3. 통계처리	87
3. 결 과	88

3-1. 염분변화에 따른 가식부의 일반성분	88
3-1-1. 수분	88
3-1-2. 조단백질	90
3-1-3. 조지방	92
3-1-4. 조회분	94
3-2. 염분변화에 따른 가식부의 아미노산 조성	96
4. 고 찰	100
제6장 종합 고찰	103
제7장 요약	109
감사의 글	113
참고 문헌	114

Physiological Studies on Salinity Tolerance of *Abalone Haliotis discus hannai*

Seong-Hee Kim

*UR Interdisciplinary Program of Fisheries and Oceanography, Graduate School,
Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*



Abstract

Physiological studies on the salinity tolerance with respect to survival, oxygen consumption, gill tissue and meat component in abalone *Haliotis discus hannai* were examined by the change of water temperature and salinity in the indoor rearing system.

1. Survival rate of abalone upon salinity change

Salinity changes were set as follows; 35 psu (Exp. I) as control, decrease in the manners of 35→30→25→20→15 psu (Exp. II), 35→25→15 psu (Exp. III), 35→15 psu (Exp. IV). Survival rate of control group (Exp. I, 35 psu) at 15°C was 100%. In Exp. II, according to the change of 35→

30→25→20→15 psu, survival rate at each salinity were 100 ± 0.0 , 100 ± 0.0 , 100 ± 0.0 , 98.3 ± 2.9 and $95.0\pm0.0\%$, respectively and after 7 days at 15 psu, survival rate was $80.0\pm8.2\%$. In Exp. III, according to the change of 35→25→15 psu, survival rate were 100 ± 0.0 , 100 ± 0.0 and $32.5\pm2.0\%$ and all abalone died on after 5 days at 15 psu. In Exp. IV of sharply salinity change, survival rate were 100 ± 0.0 and $20.0\pm2.9\%$ and all abalone died on after 2 days at 15 psu. These results demonstrated the same tendency at 20 and 25°C. In other salinity change conditions, survival rates were mostly 100% until 25 psu but lowered at 25 psu and most abalone died within 24 hours at 15 psu. As a result, it was difficult to survive at a salinity below 20 psu and considered that mortality rate of abalone increased at a sudden salinity change and high water temperature.

2. Oxygen consumption of abalone upon salinity change

To investigate change of oxygen consumption of abalone, water temperature in this experiment was set 15, 20 and 25°C. Salinity changes were set as follows; 35 psu (Exp. I) as control, decrease in the manners of 35→30→25→20→15 psu (Exp. II), 35→25→15 psu (Exp. III), 35→15 psu (Exp. IV). The average oxygen consumption at 15°C in Exp. I (control) was 137.6 ± 0.5 mg O₂/kg/h. In Exp. II, according to the change of 35→30→25→20→15 psu, abalone showed the gradual decrease in oxygen consumption as 136.7 ± 2.0 , 103.2 ± 3.5 , 96.9 ± 3.2 , 88.7 ± 4.5 and 82.9 ± 3.6 mg O₂/kg/h, respectively. Abalone in Exp. III also revealed as same tendency

as 134.4 ± 1.5 , 111.2 ± 3.4 and 93.2 ± 6.1 mg O₂/kg/h, respectively. In Exp. IV, abalone showed the decreased oxygen consumption from 141.4 ± 4.0 mg O₂/kg/h of 35 psu to 99.0 ± 7.7 mg O₂/kg/h of 15 psu. As a result, oxygen consumption tended to decrease at low salinity and increase at high water temperature. But there were no significantly differences between salinities under high water temperature. So under low water temperature, oxygen consumption decreased because abalone reduced it's metabolism to control osmolality at low salinity. Also in high water temperature, increase of oxygen consumption was referable to high water temperature and low salinity attack and break of metabolism rhythm.

3. Histological change in the gill of abalone upon salinity change

Abalone cultured at 15, 20, 25°C and 35 psu exposed to 15, 20 and 25°C, 30 psu, for 3, 6, 12, 24 and 48 hours, respectively. Histological changes in the gill of abalone observed at each exposed time. Gill tissue of abalone exposed to 15°C, 30 psu, for 3, 6, 12, 24 and 48 hours, were no meaningful differences from control. At 25 psu, damaged gill filament was not observed until 12 hours but partially observed after 24 hours. At 20 psu, the gill tissue was similar to control until 6 hours, damaged gill filament was partially observed after 12 hours and most of gill filament was damage after 24 hours. At 15 psu, it expanded slightly compared to control after 3 hours and most of gill filament was damage after 12 hours.

Therefor the gill tissue of abalone was damaged in lower salinity and higher water temperature.

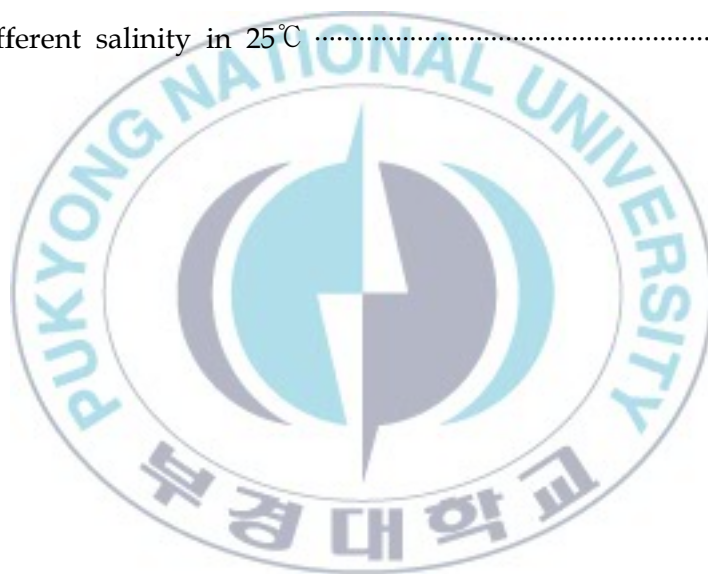
4. Meat component characteristics in muscle of abalone upon salinity change

After abalone was exposed to 15, 20, 25°C and 35, 30, 25, 20, 15 psu, for 24 hours, respectively, content of general component (moisture, crude protein, lipid, ash) and amino acid were measured from muscle of abalone. At 15°C and 35, 30, 25, 20, 15 psu, moisture content of muscle of abalone were 82.1 ± 0.7 , 82.5 ± 0.7 , 84.9 ± 0.5 , 86.9 ± 0.3 and $86.6 \pm 0.4\%$, respectively. Content of crude lipid were 0.47 ± 0.03 , 0.47 ± 0.03 , 0.47 ± 0.09 , 0.77 ± 0.09 and $0.63 \pm 0.03\%$, respectively and content of crude ash were 1.30 ± 0.12 , 1.33 ± 0.15 , 1.13 ± 0.23 , 1.87 ± 0.15 and $1.40 \pm 0.31\%$, respectively. At a salinity below 20 psu, these values increased compared with control. The general component of muscle of abalone significantly increased below 20 psu. But composition of amino acid was no significant difference with salinity and water temperature.

List of Tables

Table 1. Experimental conditions and sizes of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> used in each experiment on rapid salinity change	10
Table 2. Experimental conditions and sizes of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> used in each experiment on gradual salinity change	12
Table 3. Experimental conditions and sizes of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> used in each experiment on exposure time of different salinity	16
Table 4. Experimental conditions and sizes of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> used in each experiment of oxygen consumption	39
Table 5. Mean oxygen consumption of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> at different salinity in 15°C	50
Table 6. Mean oxygen consumption of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> at different salinity in 20°C	51
Table 7. Mean oxygen consumption of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> at different salinity in 25°C	52
Table 8. Oxygen consumption of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> at light and dark periods with different salinity in 15°C	57
Table 9. Oxygen consumption of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> at light and dark periods with different salinity in 20°C	58

Table 10. Oxygen consumption of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> at light and dark periods with different salinity in 25°C	59
Table 11. Combined amino acid contents of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> at different salinity in 15°C	97
Table 12. Combined amino acid contents of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> at different salinity in 20°C	58
Table 13. Combined amino acid contents of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> at different salinity in 25°C	99



List of Figures

Fig. 1. Annual production amount and price of cultured abalone in Korea	3
Fig. 2. Experimental design for study of rapid salinity changes	9
Fig. 3. Experimental design for study of gradual salinity changes	13
Fig. 4. Exposure time of different salinities in each experiment.	15
Fig. 5. Survival rate of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> with rapid salinity change at 15°C	18
Fig. 6. Survival rate of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> with rapid salinity change at 20°C	19
Fig. 7. Survival rate of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> with rapid salinity change at 25°C	20
Fig. 8. Survival rate of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> with gradual salinity change at 15°C	23
Fig. 9. Survival rate of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> with gradual salinity change at 20°C	24
Fig. 10. Survival rate of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> with gradual salinity change at 25°C	25
Fig. 11. Survival rate of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> with different exposure times and salinities at 15°C	28

Fig. 12. Survival rate of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> with different exposure times and salinities at 20°C	29
Fig. 13. Survival rate of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> with different exposure times and salinities at 25°C	30
Fig. 14. Schematic diagram of oxygen consumption measuring system	40
Fig. 15. Salinity change in experiment designed of oxygen consumption	41
Fig. 16. Circadian change of oxygen consumption of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> in the experiment I	44
Fig. 17. Circadian change of oxygen consumption of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> under salinity changes in the experiment II	45
Fig. 18. Circadian change of oxygen consumption of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> under salinity changes in the experiment III	46
Fig. 19. Circadian change of oxygen consumption of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> under salinity changes in the experiment IV	47
Fig. 20. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 30 psu and 15°C	68
Fig. 21. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 25 psu and 15°C	69
Fig. 22. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 20 psu and 15°C	70

Fig. 23. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 15 psu and 15°C	71
Fig. 24. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 30 psu and 20°C	73
Fig. 25. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 25 psu and 20°C	74
Fig. 26. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 20 psu and 20°C	75
Fig. 27. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 15 psu and 20°C	76
Fig. 28. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 30 psu and 25°C	78
Fig. 29. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 25 psu and 25°C	79
Fig. 30. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 20 psu and 25°C	80
Fig. 31. Photomicrographs of gill filaments change of abalone <i>Haliotis discus hannai</i> according to exposure time at 15 psu and 25°C	81
Fig. 32. Moisture (%) of muscle in abalone <i>Haliotis discus hannai</i> under different salinity and water temperature	89
Fig. 33. Crude protein (%) of muscle in abalone <i>Haliotis discus hannai</i> under different salinity and water temperature	91

Fig. 34. Crude fat (%) of muscle in abalone <i>Haliotis discus hannai</i> under different salinity and water temperature	93
Fig. 35. Crude ash (%) of muscle in abalone <i>Haliotis discus hannai</i> under different salinity and water temperature	95



제1장 서론

전복류는 세계적으로 100여 종이 분포하며, 북반구에서 남반구에 걸쳐 널리 서식하고 있다. 이 중에서 한국 연안에 분포하는 전복류는 겨울철 12℃ 등은 선을 경계로 제주도 근해에서 생산되는 말전복 *Haliotis gigantea*, 시볼트전복 *H. sieboldi*, 까막전복 *H. discus*, 오분자기 *Sulculus diversicolor aquatilis*, 마대오분자기 *Sulculus diversicolor diversicolor* 등과 한국 전 연안에서 서식하는 참전복 *H. discus hannai*이 있다(Han, 1998). 이 중 참전복은 한류성 패류로서 고부가가치를 창출하는 중요한 수산자원이며, 성장 잠재력이 매우 높은 양식대상 품종이다. 전복은 혈중 콜레스테롤을 낮추어 심장질환을 예방하는 아라키돈산 함량이 높으며, 콜라겐 함량이 높아 면역기능 향상, 세포의 재생산 촉진, 신진대사 활성화로 피부미용에 탁월한 것으로 알려져 있다. 특히, 비타민 B₁, B₁₂, 칼슘, 인 등 미네랄이 풍부하며, 암 발생을 억제하는 paolin 성분을 함유하고 있다. 전복 내장에 함유된 fucoxanthin은 인체 내에서 항산화, 지질과산화 억제 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 글루타민산, 류신, 알긴산 같은 아미노산이 풍부하여 독특한 단맛을 내며, 질감이 뛰어나 고급 음식재료로 이용된다(NFRDI, 1995).

한국의 전복양식 기술개발에 관하여는 국립수산과학원에서 전복의 증식에 관한 연구(Pyen, 1970)로 시작되었으며, 뒤이어 종묘생산을 위한 춘계채묘(Rho et al., 1974), 종묘생산(Bang, 1977), 치패사육(Pyen and Chung, 1984) 및 양식(Rho and Yoo, 1984) 등의 실용적인 연구가 진행되었다. 1987년에는 전복류의 우량형질 선발을 위하여 까막전복과 참전복 치패를 동일한 사육환경 조건에서 4년간 사육하면서 두 종간의 성장 형질 비교 실험을 하였다. 1988년부터 1991

년까지 전복 가두리양식 시험, 1990년부터 1994년까지 수하식채롱 양식에 의한 참전복의 양성시험을 실시하여 양식산업 가능성을 확인하였다. 2000년에는 해상가두리를 이용한 전복 양식기술을 체계적으로 개발하여 전복의 대량생산체제의 기틀을 다졌고, 종묘생산업이 크게 발전하여 민간 종묘생산업체에서 생산된 종패를 안정적으로 공급할 수 있는 기반이 마련되었다. 또한, 육상수조식 양식체제에서 해상가두리식 양식체제로의 전환점이 되었다(NFRDI, 2008).

2011년 기준, 한국의 전복 양식면적은 1,163건 6,805 ha이며, 이중 전라남도 지역이 871건에 5,570 ha로 전체 전복 양식면적의 81.8%를 차지하고 있다. 또한, 육상수조식 종묘생산업체는 총 592개소로 전라남도 50개소, 제주특별자치도 32개소, 경상남도 17개소 등이다. 한국의 전복 양식생산량은 1990년에 2톤에 불과하였으나, 2000년에 20톤으로 증가하여, 2003년에 1,065톤, 2011년에는 6,779톤으로 매년 급속하게 증가하고 있는 추세이다(Fig. 1). 2011년 전복 양식생산량은 전체 패류양식 생산량(389,159톤)의 1.7%로 미미하지만, 생산금액은 전체 패류양식 생산금액(5,565억 원)대비, 42.9%(2,389억 원)의 큰 비중을 차지하고 있다. 2003년 전복수출량은 21톤이었으나, 생산량의 증가와 함께 수출량도 꾸준히 증가하여 2008년도에는 630톤, 2011년도에는 1,259톤을 수출하였다. 이중 수출물량의 대부분은 활 전복으로 일본에 수출되었으며, 최근 대만 등 중화권으로 시장을 확대해 나가는 등 수출유망 품종으로서 자리를 잡아가고 있다.

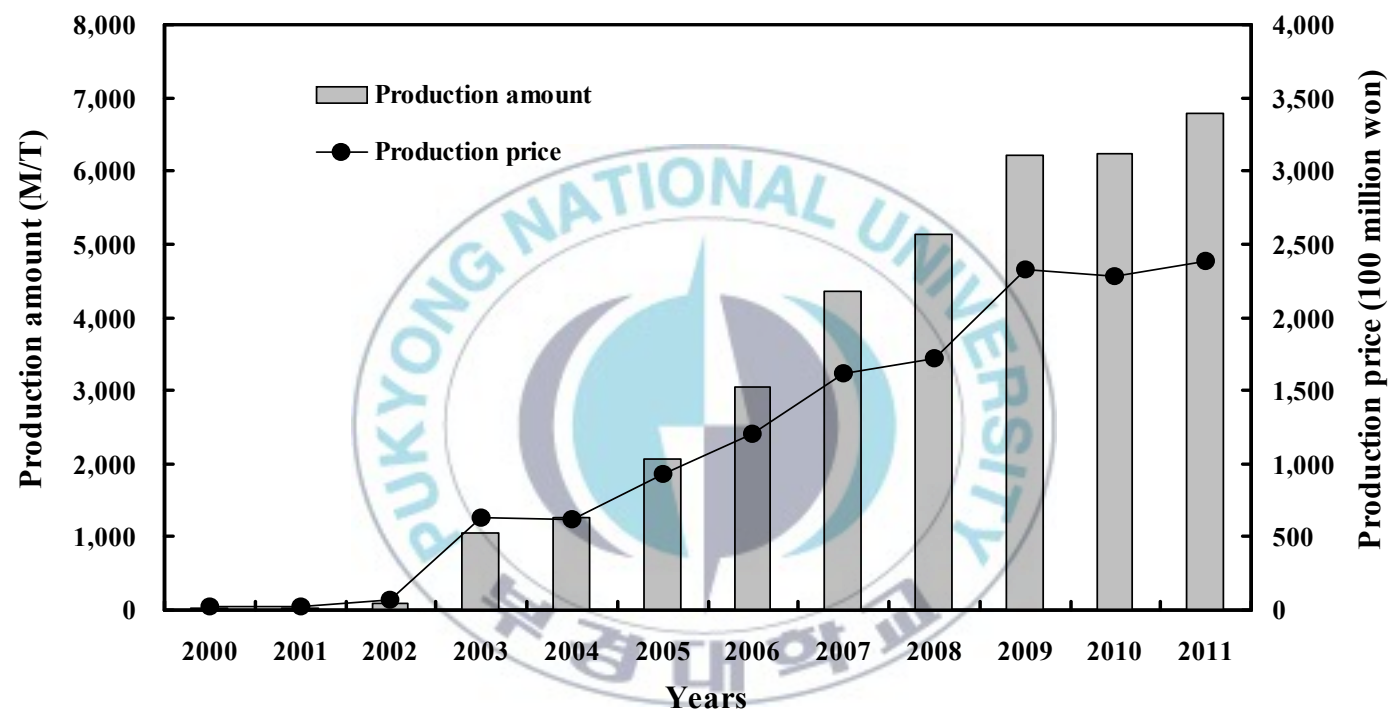


Fig. 1. Annual production amount and price of cultured abalone in Korea.

이처럼 전복 양식생산량이 증가한 것은 안정적인 종묘생산 기술과 미역, 다시마 등 먹이가 풍부한 어장여건 그리고 공정화된 양식관리 기술이 뒷받침되었기 때문이다. 그러나 양식장 시설확대와 밀식으로 인하여 조류소통이 불량하고 과도한 먹이공급으로 양식장 저질이 오염되는 등 전복 양식장 환경은 날로 악화되고 있다.

전복의 양식생산량은 어장환경에 따라 큰 차이가 있으며, 내만의 밀집어장은 장기간 연작에 따른 어장 노후화로 폐사량이 증가하는 등 생산성이 저하되고 있다. 이러한 문제점 해결을 위해서는 오염된 저질에 대한 환경개선 작업과 담수의 영향을 직접 받는 내만의 밀집된 어장을 외해 중층가두리로 전환하는 등 양식방법에 대한 다양한 기술이 개발되어야 한다. 지난 2007년과 2011년의 경우 집중호우로 인한 담수의 영향으로 양식 중인 전복이 대량으로 폐사하였으며, 중국의 산샤(三峽, The three gorges dam)댐 방류로 저염분 해수가 한국 연안에 유입되어 협염성 동물인 전복에게 악영향을 미치고 생산량이 감소하는 등 막대한 경제적 손실을 초래하고 있다. 이와 같은 저염분 피해를 예방하고 안정적인 전복생산을 위해서는 저염분이 참전복 치패에 미치는 영향 등 환경과의 관계에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 해양환경 중 염분은 수온과 더불어 해양생태계 및 양식생산에 있어서 직접적으로 영향을 미치는 요소이며, 이는 단일 영향으로서 생물체에 작용하기도 하지만 대부분 복합적으로 작용하여 영향을 주고 있다(Kinne, 1963).

해양에서 염분 1 psu의 변화는 삼투압으로 2/3기압에 해당하므로 염분변화는 해양동물의 삼투압조절에 상당한 영향을 미칠 것이다. 특히 경골어류와 달리 해양 무척추동물은 삼투순응형(osmoconformer)으로 삼투압조절 능력이 없으므로 체내의 삼투질농도를 체외의 삼투질농도와 비슷하게 변화시키게 된다. 지금까지 환경요인에 따른 전복의 생리와 성장에 관련한 연구로는 수온과 염분의 복합적인 영향에 관한 연구(Chen and Chen, 1999; 2000), 대사에 미치는

수온의 영향(Segawa, 1995), 성장에 대한 수온의 영향(Nie et al., 1996; Britz et al., 1997; Gilroy and Edwards, 1998), 용존산소의 영향(Shirley and Findley, 1978; Harris et al., 1997; 1999a, b), 환경내성 영향(Lee, 2003) 등이 있다. 그러나 현재의 전복 양식산업 규모와 어류분야의 연구들에 비하면 염분 변화에 대한 전복의 생리생태에 관한 연구는 매우 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 중국의 장강(長江)에서 유입되는 담수와 여름철 집중 호우로 인한 담수가 양식장에 체류하는 현상을 고려하여, 전복양식 현장에서 저염분에 대처할 수 있는 방법을 찾고자 하였다. 즉, 육지로부터 담수가 수괴를 이루어 양식장에 유입될 때, 그 양 및 해수와 혼합비율 그리고 양식장에 체류하는 시간 등을 가정하여 염분변화가 참전복 치패에 미치는 생존율, 산소 소비, 아가미 조직 및 체성분 변화 등 생리적인 변화를 조사하였다.



제2장 염분변화에 따른 참전복의 생존율 변화

1. 서 설

최근 전복 양식생산량의 급격한 증가는 안정적인 종묘생산기술이 확립되고 대량생산에 필요한 시설 자동화와 해상가두리 양식장의 효율적인 관리기술이 구축되었기 때문이다. 그러나 해상가두리 양식방법은 해양환경 변화에 그대로 노출된 단점이 있다. 즉, 급변하는 해양환경 변화에 따른 수온 및 염분 등의 영향을 직접 받을 수 있기 때문이다. 이러한 환경 스트레스로 인하여 성장, 번식, 대사, 삼투압 조절 등 양식생물의 생리적 변화가 일어날 수 있으며 이때 스트레스로 인하여 질병 및 폐사 등의 문제점을 유발할 수도 있다(Wedemyer and Mcleay, 1981). 특히 한국의 전복양식 대부분은 해양환경의 영향을 직접 받는 연안에서 이루어지고 있기 때문에 전복의 경우 여름철 저염분에 노출될 가능성이 매우 높다. 지난 1996년에는 제주해역에 유입된 중국의 대륙성 저염분 해수의 영향으로 연안의 염분이 20 psu로 감소하여 양식 중인 전복이 대량으로 폐사하였으며(Pang and Hyun, 1998; Hyun and Pang, 1998; Moon and Pang, 2003), 2006년과 2011년에도 집중폭우로 육지의 담수가 유입되어 거제와 여수해역에서 양식 중인 전복이 대량으로 폐사하는 등 저염분 영향에 따른 피해가 반복되고 있다.

해양환경 중 수온과 염분은 해양생물의 지리적 분포를 결정지으며, 해양생물의 생리적 특성에 영향을 미치는 주요한 물리적 요소이다(Kinne, 1963; Widdows, 1985). 특히 해수의 염분변화에 대하여 생물은 생리적 반응을 나타내는데, 이러한 염분변화에 따른 환경변화는 해양생물들에게는 많은 물리·화학적 스트레스요인으로 작용한다(Holliday et al., 1993; Shin et al., 2002). 이중 복족류인 전복은 환경변화에 따라 이동하는 어류와 달리 이동성 매우 제한적으로, 급격한 환경변화에 대처하는 능력이 매우 부족하여 염분변화에 따

른 피해 발생 가능성이 매우 높다. 특히, 한국의 전복양식은 단기간 내 급속하게 성장한 대표적인 산업으로 전복양식에 대한 체계적인 연구와 환경변화에 대응하는 기초적인 연구가 매우 부족한 실정이다. 따라서 지속적인 산업발전을 위해서는 전복의 생리·생태에 대한 많은 연구들이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

현재까지 패류에 있어서의 스트레스에 관한 연구는 온도, 염분, 용존산소, 수용밀도 및 진동 등 물리적 스트레스(Drew et al., 2001; Holliday et al., 1993; Jung et al., 2004; Mgaya and Mereer, 1995; Shin et al., 2002)와 일부 화학적 스트레스(Han et al., 2003; Kim, 1997)에 관한 연구가 이루어져 있다. 이러한 스트레스는 질병에 대한 내성을 감소시키고, 성장률의 감소, 먹이 섭취율의 감소 및 호흡 대사율의 변화를 유발한다고 알려져 있다(Agnar and Albert, 2003; Brown et al., 1995; Harris et al., 1999a, b; Chen and Chen, 2000; Laughlin and Linden 1983; Laughlin and Neff, 1980; Maule et al., 1989; Pendro et al., 2004; Tsuchiya, 1983; Cheng et al., 2004; Kim et al., 2005).

최근 양식산업의 급속한 발달로 물리·화학적 스트레스에 의한 양식생물의 질병 등에 관한 많은 연구들은 양식산업 발달에 큰 도움을 주고 있으나, 전복의 성장과 생존에 미치는 환경변화의 영향 및 이에 따른 현장에서의 관리방안 등에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 육지로부터 갑작스럽게 유입된 담수가 인근 양식장에 체류할 경우, 정상 염분으로부터 급격한 염분감소 실험과 서서히 유입체류하는 경우를 고려한 단계적 염분변화 실험을 실시하고, 정상으로 회복될 때까지 저염분 노출시간별로 전복의 생존율을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 실험재료 및 실험조건

실험에 사용한 참전복은 전라남도 완도의 육상양식장에서 양성 중인 1년생 치패(평균 각장 26.80 ± 1.43 mm, 평균 중량 1.98 ± 0.42 g)를 부산 기장군 소재 국립수산물과학원 양식관리과 사육실로 운반하여 1.2톤 유수식 원형 수조에 수용하였다. 수송해 온 전복은 사육환경 변화에 의한 스트레스를 최소화하기 위하여 2주 동안 다시마와 미역을 충분히 공급하면서 안정시킨 후 실험에 사용하였다.

참전복의 수온별 염분변화에 따른 생존율을 조사하기 위하여, 전복을 수온 15, 20 및 25℃에 각각 순차시킨 후, 급격한 염분변화, 단계적 염분변화 그리고 염분별 노출시간에 따른 생존율을 조사하였다.

2-2. 급격한 염분변화에 따른 생존율

수온 및 염분변화에 따른 전복의 염분 내성을 알아보기 위하여, 수온 15, 20 및 25℃의 염분 35 psu에서 사육 중인 전복을 15, 20 및 25℃의 수온과 대조구 35 psu에서 저염분 해수(30, 25, 20 및 15 psu)가 들어있는 12 L 사각 아크릴 수조에 14일간 수용하여 각각의 수온과 염분에 노출시키면서 매일 생존율을 조사하였다(Fig. 2). 실험기간 동안은 다시마와 미역을 충분히 공급하였고, 모든 실험은 2반복으로 실시하였다. 각 실험에서 사용된 전복의 크기는 Table 1에 나타내었다.

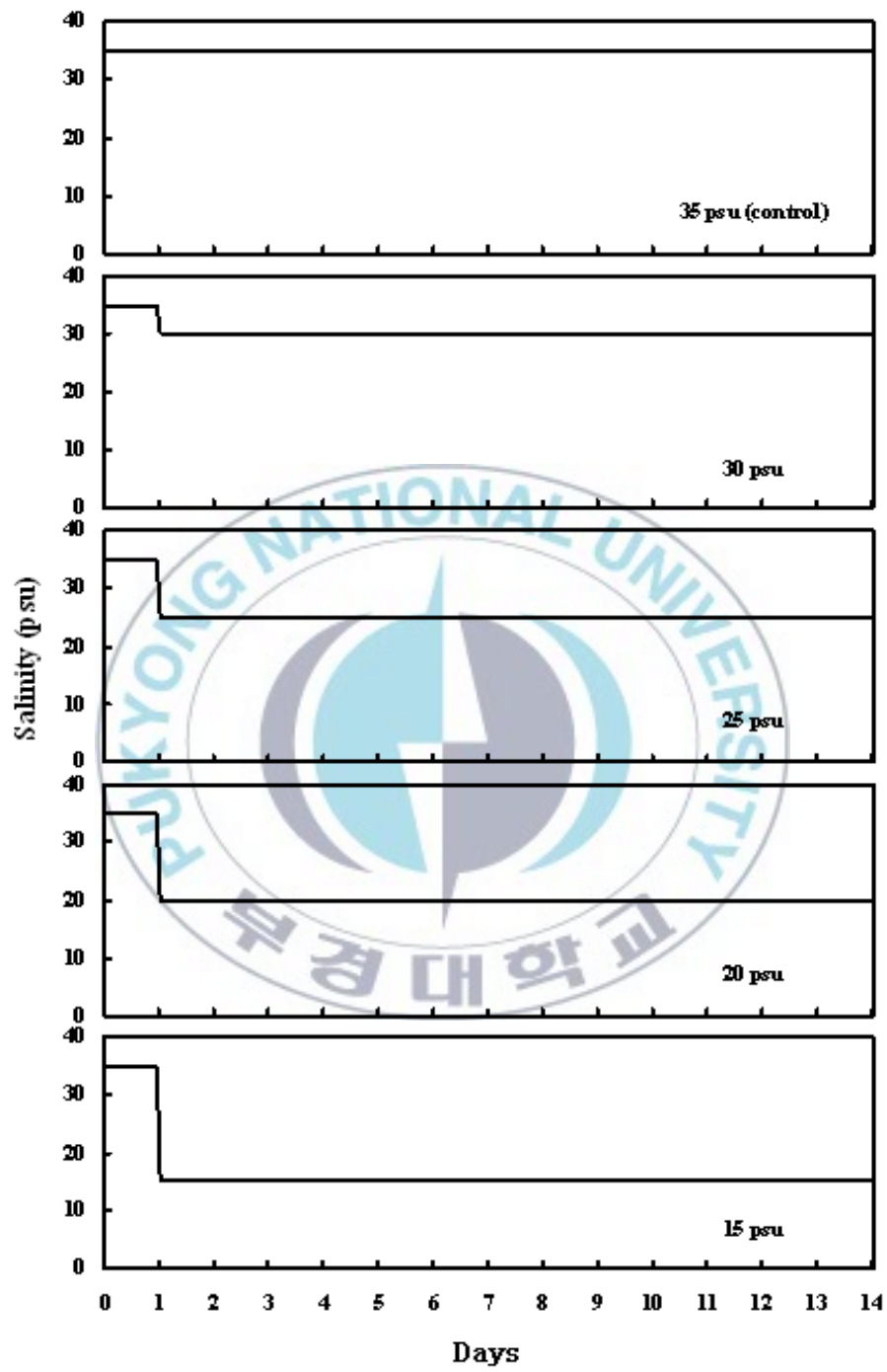


Fig. 2. Experimental design for study of rapid salinity changes.

Table 1. Experimental conditions and sizes of abalone *Haliotis discus hannai* used in each experiment on rapid salinity change

Salinity (psu)	Water temperature (°C)	Shell length (mm)	Body weight (g)	No. of abalone used
35 (control)	15	27.4±0.5	2.2±0.1	40
	20	27.3±0.4	2.2±0.1	40
	25	28.1±0.5	2.3±0.1	40
30	15	27.4±0.5	2.3±0.1	40
	20	27.3±0.5	2.2±0.1	40
	25	28.8±0.4	2.5±0.1	40
25	15	28.5±0.6	2.6±0.2	40
	20	27.4±0.6	2.1±0.2	40
	25	27.5±0.4	2.2±0.1	40
20	15	28.1±0.4	2.5±0.1	40
	20	27.3±0.5	2.2±0.1	40
	25	27.8±0.5	2.3±0.1	40
15	15	28.0±0.4	2.6±0.1	40
	20	27.3±0.4	2.1±0.1	40
	25	27.9±0.6	2.3±0.1	40

2-3. 단계적 염분변화에 따른 생존율

염분저하 속도에 따른 참전복 채패의 염분 내성을 알아보기 위하여 수온 15, 20 및 25℃, 염분 35 psu에서 각각 사육중인 전복을 15 psu의 저염분 해수까지 단계적 염분변화(Exp. II와 III)와 급격한 염분변화(Exp. IV)로 나누어 생존율을 조사하였다. 모든 실험은 2반복으로 실시하였으며, 실험기간 동안 먹이는 충분히 공급하였다. 각 실험에서 사용된 전복의 크기는 Table 2에 나타내었다.

Exp. I (대조구): 수온 15, 20 및 25℃, 염분 35 psu에서 사육중인 참전복 20마리를 사육환경과 동일한 조건의 12 L 사각 아크릴 수조에 수용하여 7일간 사육하면서 생존율을 조사하였다(Fig. 3, Exp. I).

Exp. II: 수온 15, 20 및 25℃, 염분 35 psu에서 사육중인 참전복 20마리를 12 L 사각 아크릴 수조에 수용하여 1일 간격으로 5 psu씩 염분을 낮추어 96시간 후에 15 psu가 되도록 하였다. 이후 7일간 15 psu에서 사육하면서 생존율을 조사하였다(Fig. 3, Exp. II).

Exp. III: 수온 15, 20 및 25℃, 염분 35 psu에서 사육중인 참전복 20마리를 12 L 사각 아크릴 수조에 수용하여 1일 간격으로 10 psu씩 염분을 낮추어 48시간 후에 15 psu가 되도록 하였다. 이후 7일간 15 psu에서 사육하면서 생존율을 조사하였다(Fig. 3, Exp. III).

Exp. IV: 수온 15, 20 및 25℃, 염분 35 psu에서 사육중인 참전복 20마리를 12 L 사각 아크릴 수조에 수용하여 1일 간격으로 20 psu의 염분을 낮추어 7일간 15 psu에서 사육하면서 생존율을 조사하였다(Fig. 3, Exp. IV).

Table 2. Experimental conditions and sizes of abalone *Haliotis discus hannai* used in each experiment on gradual salinity change

Experiment	Water temperature (°C)	Shell length (mm)	Body weight (g)	No. of abalone used
I (Control)	15	27.3±0.3	2.3±0.1	40
	20	27.3±0.4	2.2±0.1	40
	25	28.1±0.5	2.3±0.1	40
II	15	28.6±0.3	2.6±0.1	40
	20	27.0±0.4	2.2±0.1	40
	25	27.8±0.5	2.1±0.1	40
III	15	28.1±0.3	2.5±0.1	40
	20	26.9±0.5	2.1±0.1	40
	25	28.3±0.5	2.4±0.1	40
IV	15	28.6±0.3	2.7±0.1	40
	20	26.3±0.5	2.0±0.1	40
	25	27.0±0.3	2.1±0.1	40

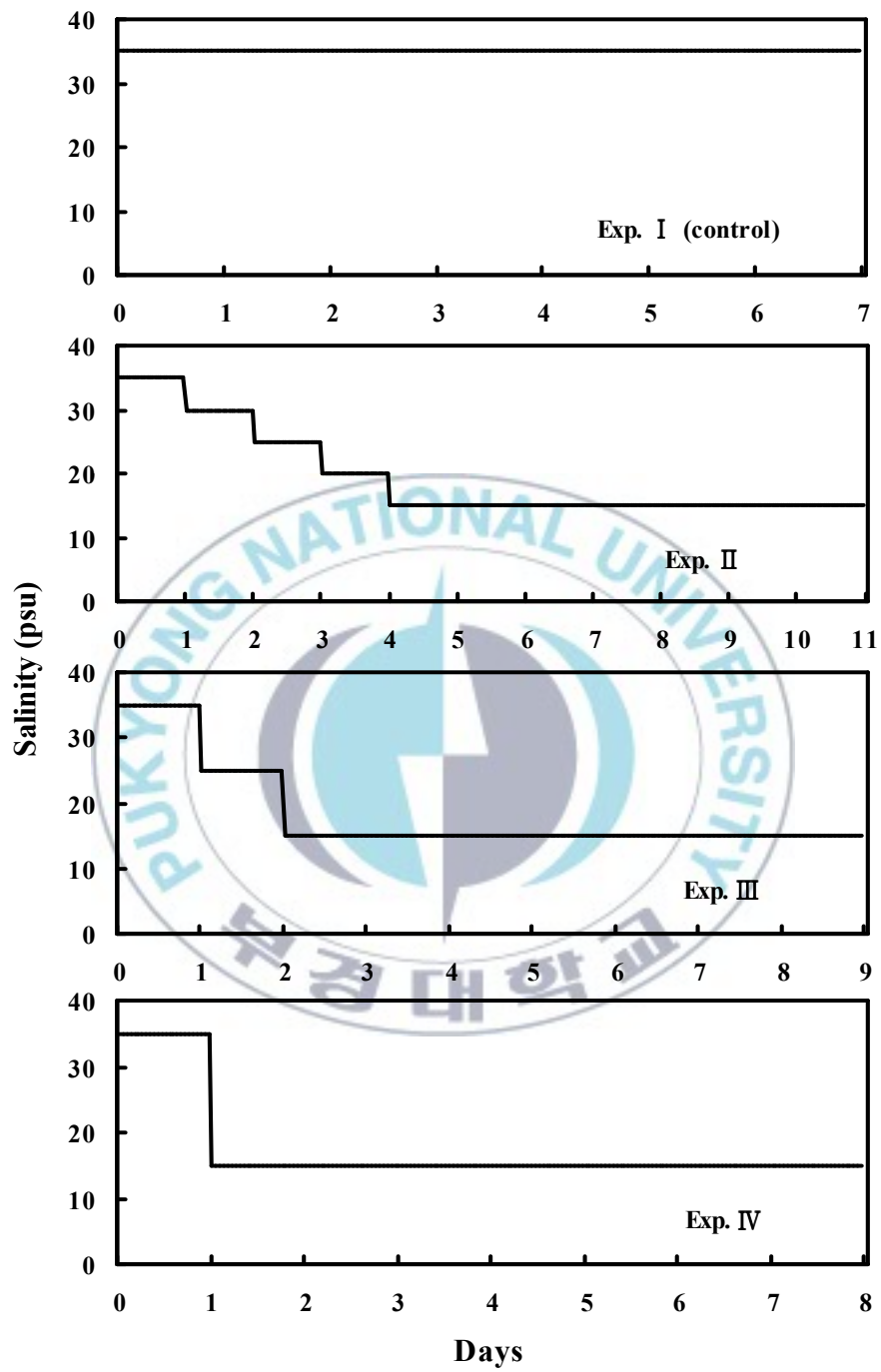


Fig. 3. Experimental design for study of gradual salinity changes.

2-4. 염분별 노출시간에 따른 생존 및 회복률

수온 및 염분별 노출시간에 따른 참전복 치패의 염분 내성을 알아보기 위하여, 수온 15, 20 및 25°C, 염분 35 psu에서 사육중인 전복을 수온 15, 20 및 25°C, 염분 35, 30, 25, 20 및 15 psu의 해수에 3, 6, 12, 24 및 48시간 동안 노출시켰다. 이 후 염분별, 노출시간별 회복률을 알아보기 위하여 다시 15, 20 및 25°C, 35 psu의 해수에 수용한 후 14일 동안 생존율을 조사하였다(Fig. 4). 실험기간 동안 다시마를 충분히 공급하였고, 모든 실험은 2반복으로 실시하였다. 각 실험에서 사용된 전복의 크기는 Table 3에 나타내었다.

2-5. 생존율 조사

각 실험에서 염분변화에 따른 참전복의 생존율을 조사하기 위하여 실험시작 때부터 종료 때까지 매일 아침 폐사개체를 조사였다. 은신처(shelter)와 수조 벽면에 부착하지 못하고, 발과 촉수를 자극하여도 반응이 없는 것을 폐사개체로 계수하여 생존율을 산정하였다.

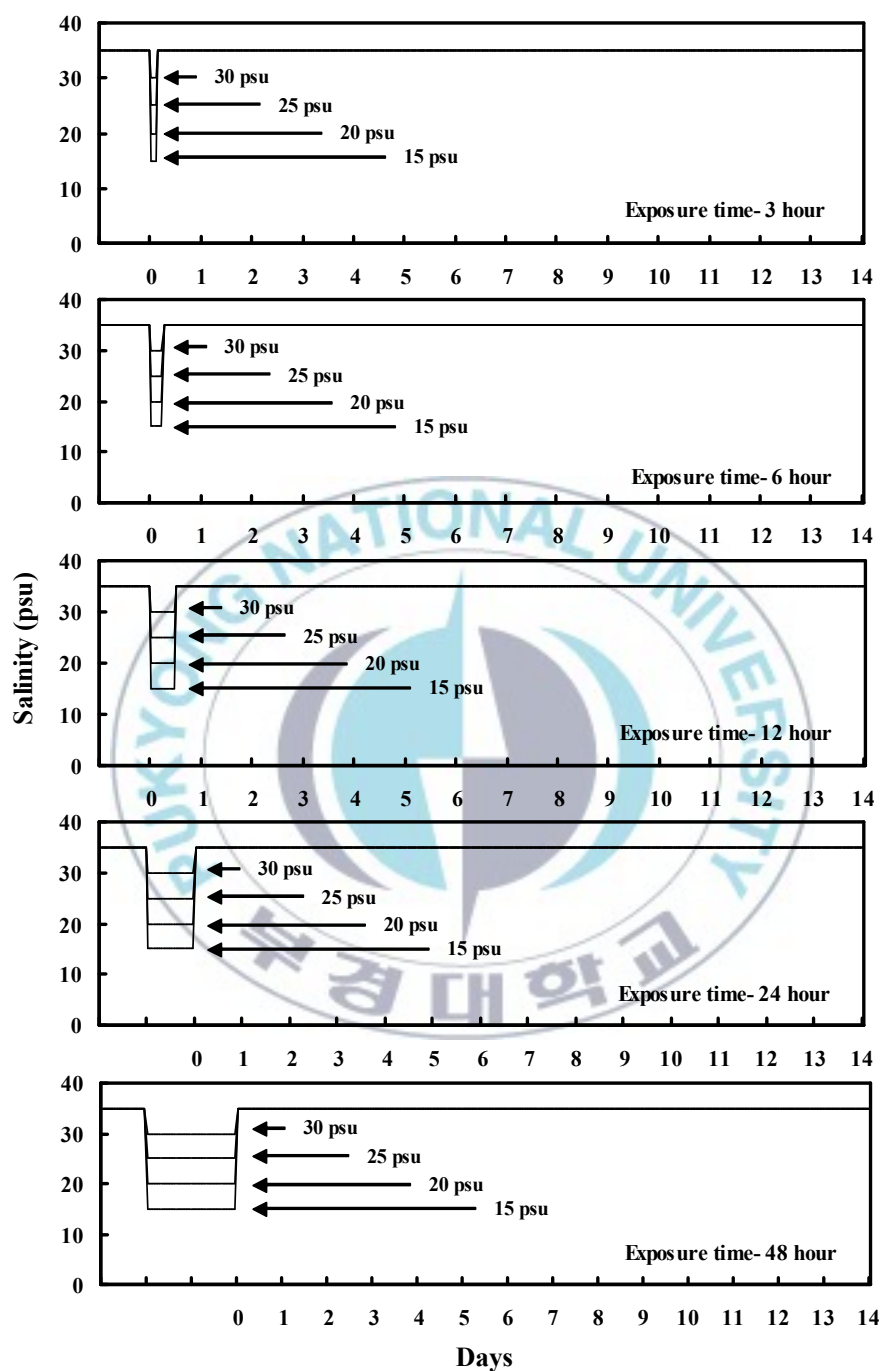


Fig. 4. Exposure time of different salinities in each experiment.

Table 3. Experimental conditions and sizes of abalone *Haliotis discus hannai* used in each experiment on exposure time of different salinities

Salinity (psu)	WT (°C)	Shell length (mm)					Body weight (g)					No. of abalone used
		3h	6h	12h	24h	48h	3h	6h	12h	24h	48h	
35 (Control)	15	27.0±0.4	27.5±0.4	27.5±0.5	28.0±0.7	27.0±0.5	2.1±0.1	2.1±0.1	2.2±0.1	2.3±0.2	2.1±0.1	each 40
	20	26.1±0.4	27.2±0.5	27.6±0.5	26.7±0.4	27.3±0.7	2.1±0.2	2.3±0.1	2.2±0.1	1.9±0.1	2.0±0.1	each 40
	25	28.2±0.4	27.1±0.3	28.2±0.4	26.8±0.3	27.5±0.5	2.4±0.1	2.0±0.1	2.3±0.1	2.0±0.1	2.1±0.1	each 40
30	15	27.2±0.4	27.7±0.5	27.7±0.4	28.1±0.8	27.5±0.5	2.0±0.1	2.2±0.1	2.3±0.1	2.4±0.2	2.1±0.1	each 40
	20	26.4±0.5	27.1±0.5	27.8±0.5	26.8±0.5	27.7±0.6	2.0±0.1	2.3±0.1	2.5±0.1	2.0±0.1	2.2±0.2	each 40
	25	28.8±0.4	27.5±0.4	28.2±0.4	27.1±0.3	27.7±0.5	2.5±0.1	2.2±0.1	2.4±0.1	2.0±0.1	2.1±0.1	each 40
25	15	28.6±0.4	28.4±0.5	26.7±0.6	28.7±0.5	28.0±0.4	2.5±0.1	2.4±0.1	2.1±0.1	2.4±0.1	2.4±0.1	each 40
	20	28.3±0.7	27.5±0.5	27.9±0.4	26.9±0.4	28.5±0.5	2.4±0.2	2.3±0.1	2.2±0.1	2.2±0.1	2.3±0.1	each 40
	25	27.7±0.5	27.3±0.5	27.1±0.4	26.8±0.6	27.5±0.6	2.1±0.1	2.1±0.1	2.0±0.1	2.0±0.1	2.0±0.1	each 40
20	15	28.4±0.4	28.0±0.6	29.3±0.6	29.7±0.7	26.5±0.1	2.3±0.1	2.4±0.1	2.6±0.2	2.7±0.2	1.8±0.1	each 40
	20	27.2±0.5	27.3±0.6	26.2±0.5	27.0±0.5	27.7±0.4	2.1±0.1	2.2±0.2	2.0±0.1	2.1±0.1	2.0±0.1	each 40
	25	27.8±0.5	26.4±0.3	27.3±0.5	26.4±0.7	27.4±0.5	2.3±0.1	1.9±0.1	2.1±0.1	1.7±0.1	2.1±0.1	each 40
15	15	28.8±0.6	28.9±0.4	29.9±0.5	29.0±0.5	29.0±0.4	3.0±0.1	2.9±0.1	3.5±0.2	2.6±0.1	2.4±0.1	each 40
	20	27.8±0.5	26.7±0.6	27.1±0.4	27.6±0.4	26.8±0.5	2.2±0.1	2.0±0.1	2.4±0.1	2.2±0.1	1.9±0.2	each 40
	25	27.1±0.5	27.4±0.5	27.5±0.4	28.6±0.5	28.8±0.3	2.2±0.1	2.1±0.1	2.2±0.1	2.3±0.1	2.3±0.1	each 40

WT: water temperature.

3. 결 과

3-1. 급격한 수온변화에 따른 생존율

급격한 염분변화에 따른 참전복 치폐의 염분 내성을 알아보기 위하여 수온 15, 20 및 25℃, 염분 35(대조구), 30, 25, 20 및 15 psu의 해수에 전복을 수용하여 14일 동안 각각의 수온과 염분에 사육하면서 생존율을 조사한 결과는 Figs. 5~7에 나타냈다.

수온 15℃, 염분 35, 30 및 25 psu의 해수에 바로 수용한 전복은 실험기간(14일) 동안 폐사한 개체가 없이 100%의 생존율을 나타냈다. 그러나 20 psu에 수용한 전복은 노출 1일째에 생존율이 $45.0 \pm 5.0\%$ 로 급격히 감소하였으며, 이후 비슷한 수준으로 유지되어 실험종료 때는 $35.0 \pm 5.0\%$ 를 나타내었다. 35 psu에서 15 psu 저염분 해수로 바로 노출시킨 전복은 15 psu에서 1일째에 모두 폐사하였다(Fig. 5).

수온 20℃, 염분 35, 30 및 25 psu의 해수에 바로 수용한 전복은 실험기간 동안 폐사한 개체가 없이 100%의 생존율을 나타냈다. 그러나 20 psu에 수용한 전복은 노출 1일째에 $60.0 \pm 5.0\%$ 로 감소하여 실험종료 때의 생존율은 $47.5 \pm 2.5\%$ 이었다. 그러나 15 psu 해수에 바로 수용한 전복은 1일째에 모두 폐사하였다(Fig. 6).

수온 25℃, 염분 35, 30 psu 해수에 바로 수용한 전복은 실험기간 동안 폐사한 개체가 없이 100%의 생존율을 보였다. 25 psu의 해수에 바로 수용한 전복은 2일까지 100%의 생존율을 나타냈으나, 3일째에 $80.0 \pm 5.0\%$ 로 감소하여 이후 실험종료 때까지 유지되었다. 또한, 20 psu에서는 2일까지 100%의 생존율을 나타냈으나, 3일째에 생존율이 $30.0 \pm 10.0\%$ 로 급격히 감소, 4일째에 모두 폐사하였다. 15 psu에 바로 수용한 전복은 1일째에 모두 폐사하였다(Fig. 7).

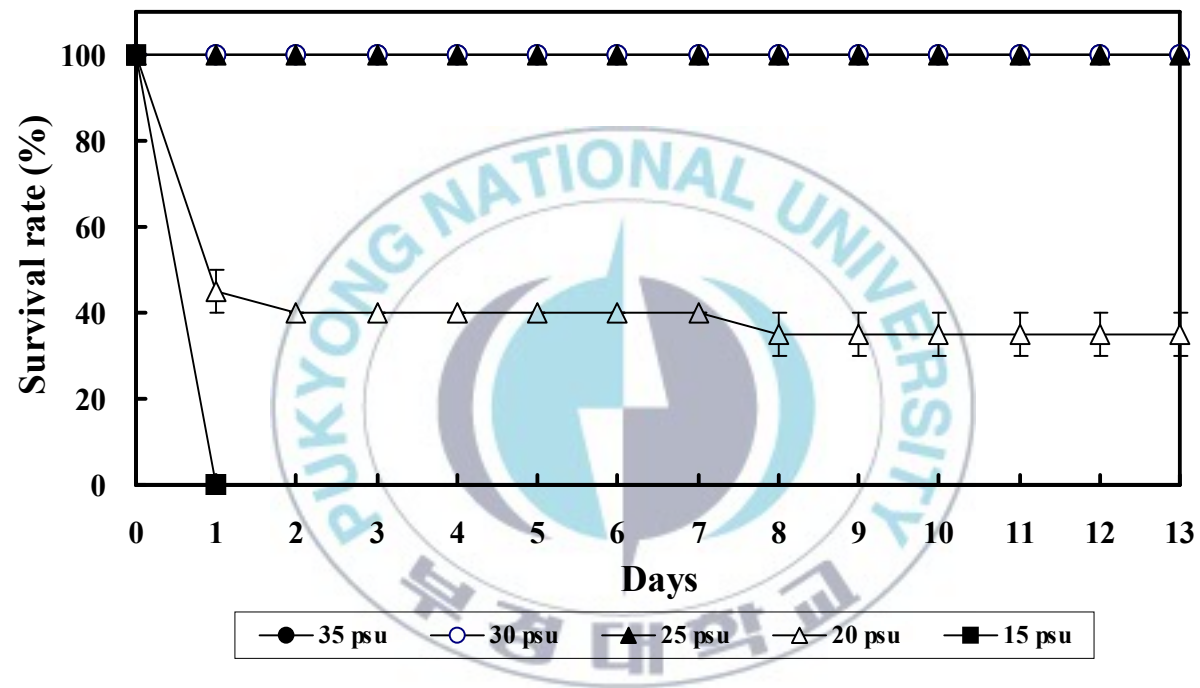


Fig. 5. Survival rate of abalone *Haliotis discus hannai* with rapid salinity change at 15°C.

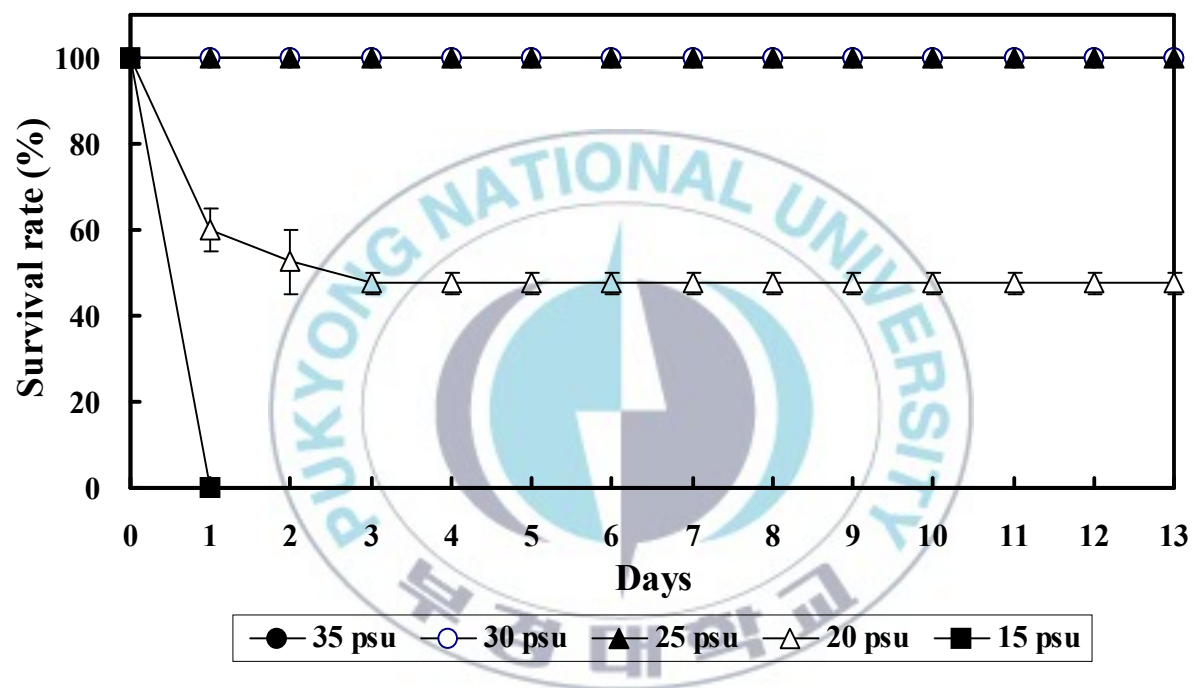


Fig. 6. Survival rate of abalone *Haliotis discus hannai* with rapid salinity change at 20°C.

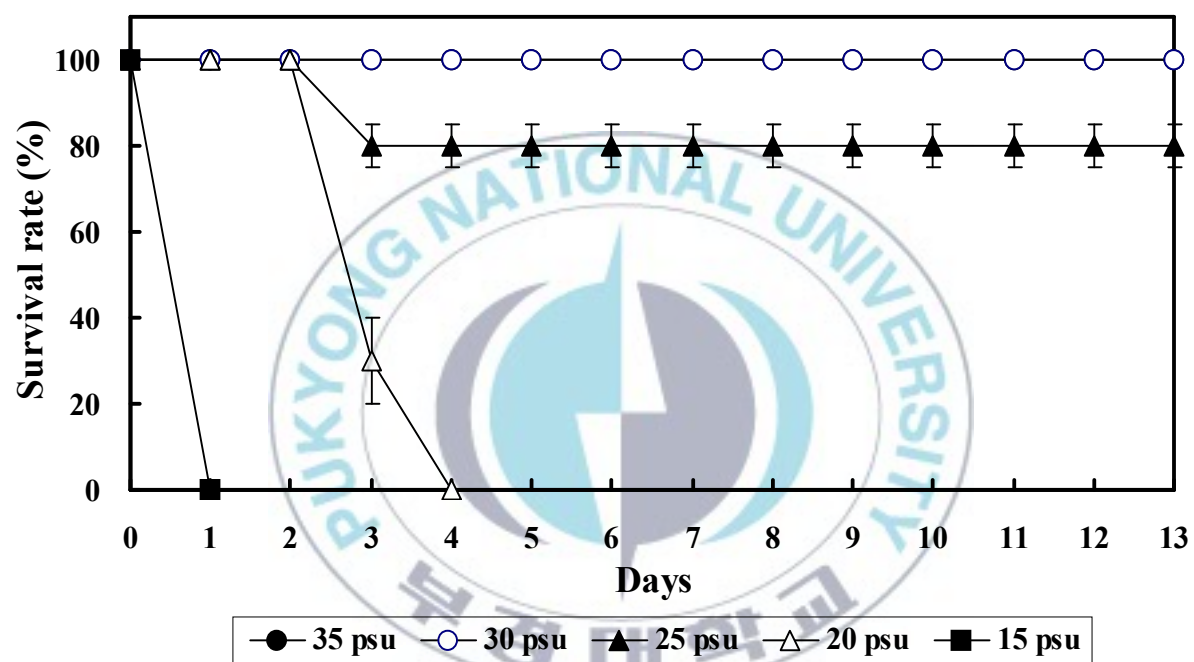


Fig. 7. Survival rate of abalone *Haliotis discus hannai* with rapid salinity change at 25°C.

3-2. 단계적 염분변화에 따른 생존율

수온 15, 20 및 25℃, 염분 35 psu에서 사육 중인 참전복 치패를 15 psu의 저염분 해수까지 단계적인 염분변화(Exp. II와 III)와 큰 폭의 염분변화(Exp. IV)로 나누어 수온별 염분감소에 따른 참전복의 생존율은 Figs. 8~10에 나타내었다.

수온 15℃에서 대조구인 35 psu (Exp. I)에서 실험기간 동안 생존율은 100%였다. 사육수의 염분변화가 가장 완만한 Exp. II에서 염분이 35→30→25→20→15 psu로 1일 간격으로 5 psu씩 감소시킨 실험구의 생존율은 25 psu까지 100%였다. 그러나 20 psu로 감소하자 98.3±2.9%로 낮아졌으며, 15 psu에서는 95.0±0.0%로 낮아져 실험종료 때는 80.0±8.2%였다. 염분변화가 1일 간격으로 10 psu씩 단계적으로 낮아지는 Exp. III(35→25→15 psu)의 생존율은 25 psu까지는 100%였으나, 15 psu로 감소한 실험구는 32.5±2.0%로 급격히 감소하여 실험 5일째에 모두 폐사하였다. 염분이 급격히 변화하는 Exp. IV에서 35 psu에서 15 psu로 감소한 실험구의 생존율은 20.0±2.9%로 감소하여, 15 psu에서 사육 2일 만에 모두 폐사하였다(Fig. 8).

수온 20℃에서 대조구인 35 psu (Exp. I)에서 실험기간 동안 생존율은 100%였다. 사육수의 염분변화가 가장 완만한 Exp. II에서 염분이 35→30→25→20→15 psu로 단계적으로 낮아진 실험구의 생존율은 모두 100%였으며, 15 psu에서 7일간 사육하는 동안 폐사하는 개체는 없었다. Exp. III(35→25→15 psu)에서 염분이 25 psu까지 낮아지는 동안의 생존율은 100%였으나, 15 psu로 낮아지자 55.0±5.0%로 급격히 감소하여 실험종료 때는 15.0±5.0%를 나타냈다. Exp. IV(35→15 psu)에서 15 psu로 급격하게 감소하자 모두 폐사하였다(Fig. 9).

수온 25℃에서 대조구인 35 psu (Exp. I)에서 실험기간 동안의 생존율은

100%였다. 사육수의 염분변화가 가장 완만한 Exp. II에서 35→30→25→20→15 psu로 매일 5 psu씩 감소시키는 동안 생존율은 모두 100%였으며 15 psu에서 7일간 사육하는 동안에도 폐사한 개체는 없었다. 1일 간격으로 10 psu씩 단계적으로 감소시킨 Exp. III에서 15 psu까지 매일 10 psu씩 감소시킨 실험구는 모두 100% 생존하였으며 15 psu에서 사육 3일까지는 100%의 생존율을 보였다. 그러나 이후 지속적으로 감소하여 실험종료 때는 $75.0 \pm 5.0\%$ 의 생존율을 나타냈다. Exp. IV에서 염분이 35 psu에서 15 psu로 낮아지자 참전복 치패는 모두 폐사하였다(Fig. 10).



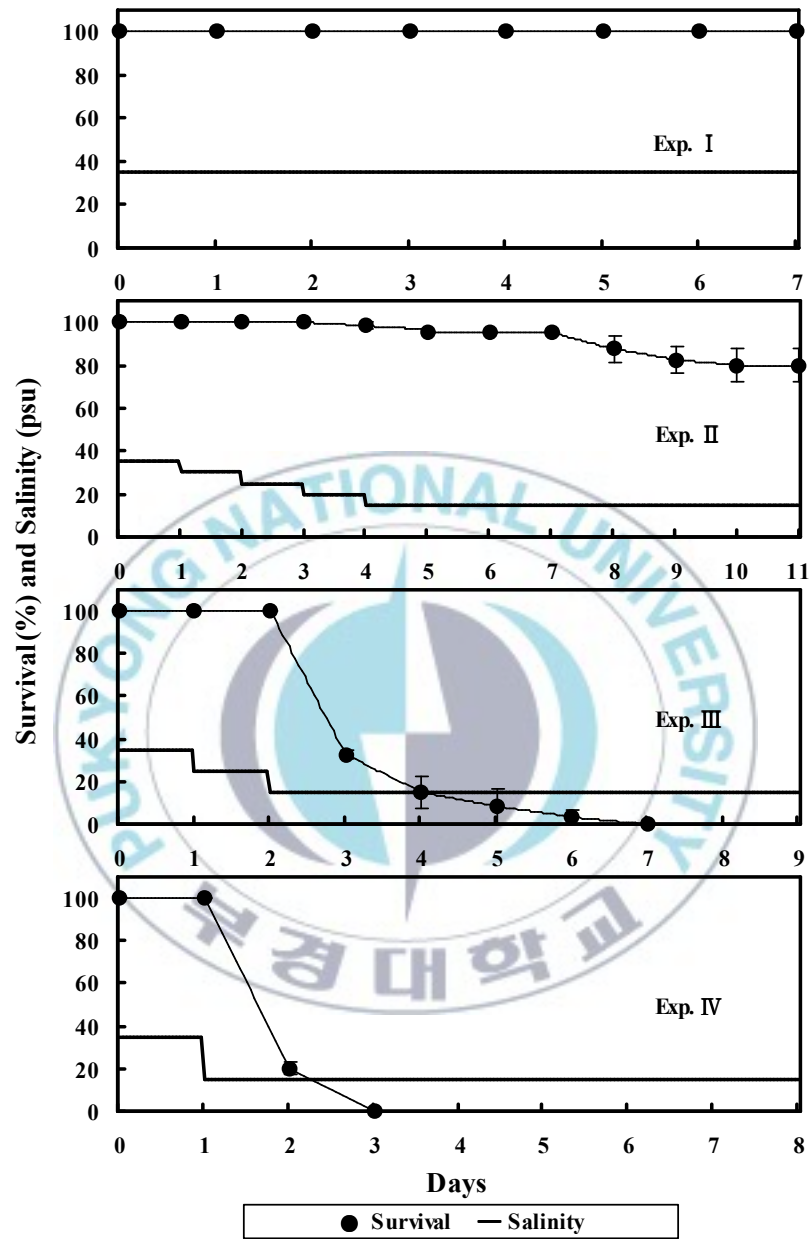


Fig. 8. Survival rate of abalone *Haliotis discus hannai* with gradual salinity change at 15°C.

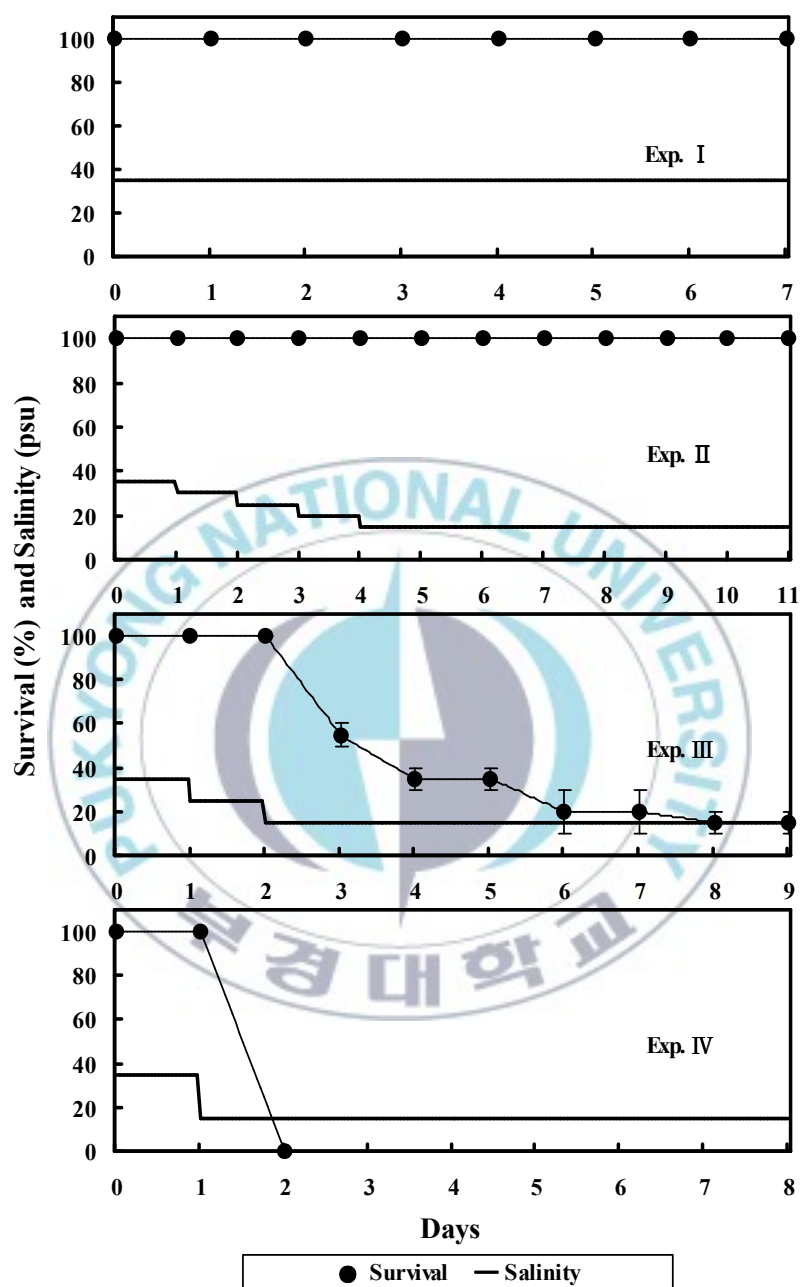


Fig. 9. Survival rate of abalone *Haliotis discus hannai* with gradual salinity change at 20°C.

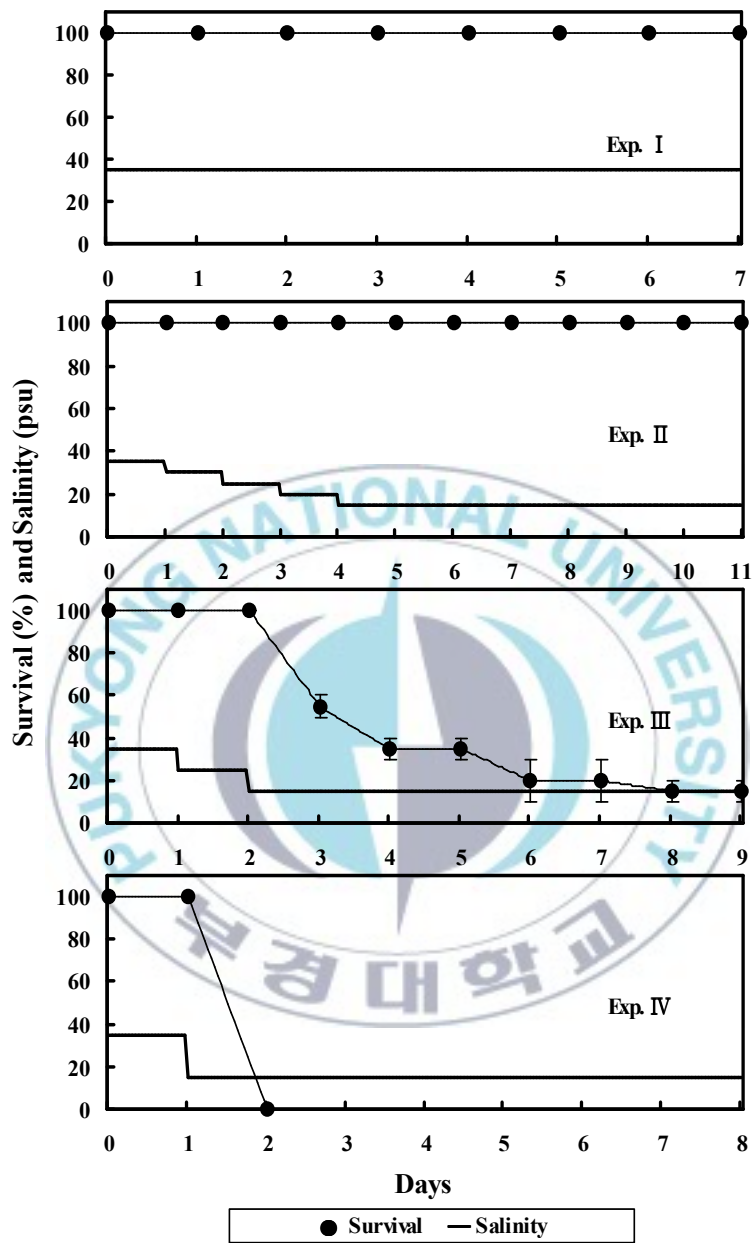


Fig. 10. Survival rate of abalone *Haliotis discus hannai* with gradual salinity change at 25°C.

3-3. 염분별 노출시간에 따른 생존 및 회복률

수온 및 염분별 노출시간에 따른 참전복 치패의 회복률을 알아보기 위하여 수온 15, 20 및 25℃, 염분 30, 25, 20 및 15 psu의 해수에 전복을 각각 3, 6, 12, 24 및 48시간 동안 노출시킨 후, 다시 35 psu의 일반해수에 수용하여 14일간 생존율을 조사한 결과는 Figs. 11~13에서 보는 바와 같다.

수온 15℃에서 염분 30, 25 psu의 해수에 각각 3, 6, 12, 24 및 48시간 동안 노출시킨 전복을 다시 35 psu의 일반해수에 수용하여 14일간 생존율을 조사한 결과 모두 100%를 나타냈다. 20 psu의 해수에 3, 6 및 12시간 동안 노출시킨 전복의 생존율은 실험종료 때까지 100%였으나, 24시간 동안 노출시킨 전복은 회복 1일째에 $75.0 \pm 5.0\%$, 2일째에 $45.0 \pm 5.0\%$ 로 감소하였다. 이 후 실험종료 때까지 생존율은 비슷한 수준으로 유지되었다. 또한 20 psu에 48시간 동안 노출시킨 전복은 회복 1일째에 $7.5 \pm 2.5\%$ 로 급격히 감소하여 실험종료 때 생존율은 $2.5 \pm 2.5\%$ 였다. 15 psu의 해수에 3시간 동안 노출시킨 후, 다시 35 psu의 일반해수에 수용한 전복의 생존율은 실험종료 때까지 100%였다. 그러나 15 psu의 해수에 6시간 노출시킨 전복은 회복 1일째에 $85.5 \pm 2.5\%$, 2일째에 $77.5 \pm 2.5\%$ 로 감소하여 실험종료 때에는 $72.5 \pm 2.5\%$ 의 생존율을 나타냈다. 15 psu의 해수에 12시간 노출시킨 전복은 회복 1일째에 $42.5 \pm 7.5\%$ 로 급격히 감소하여 실험종료 때에는 $30.0 \pm 0.0\%$ 의 생존율을 나타냈다. 15 psu의 해수에 24, 48시간 동안 노출시킨 전복은 노출기간에 모두 폐사하였다(Fig. 11).

수온 20℃, 염분 30, 25 psu의 해수에 각각 3, 6, 12, 24 및 48시간 동안 노출한 전복은 100%의 생존율을 나타냈다. 20 psu의 해수에 3시간 동안 노출시킨 전복의 생존율은 실험종료 때까지 100%였으나, 6시간 동안 노출시킨 전복은 회복 2일째에 $95.0 \pm 5.0\%$, 4일째에 $85.0 \pm 5.0\%$ 까지 감소하였다.

20 psu에 12, 24시간 동안 노출시킨 전복은 회복 1일째에 생존율은 각각 90.0 ± 10.0 , $80.0 \pm 0.0\%$ 였으며, 실험종료 때는 모두 $55.0 \pm 0.5\%$ 였다. 20 psu에 48시간 동안 노출시킨 전복은 회복 1일째에 생존율이 $40.0 \pm 0.0\%$ 로 급격히 감소하여 6일째에 $22.5 \pm 2.5\%$ 로 감소하였다. 15 psu의 해수에 3시간 동안 노출시킨 후, 다시 35 psu의 일반해수에 수용한 전복의 생존율은 실험종료 때까지 100%였으나, 6시간 노출시킨 전복은 회복 2일째에 $15.0 \pm 5.0\%$ 로 급격히 감소하여 실험종료 때에는 $5.0 \pm 5.0\%$ 의 생존율을 보였다. 15 psu의 해수에 12시간 노출시킨 전복은 회복 1일째에 $55.0 \pm 15.0\%$ 로 급격히 감소하여 회복 2일째에 모두 폐사하였으며, 15 psu의 해수에 24, 48시간 동안 노출시킨 전복은 노출기간에 모두 폐사하였다(Fig. 12).

수온 25°C 의 염분 30, 25 psu의 해수에 각각 3, 6, 12, 24 및 48시간 동안 노출시킨 전복은 실험종료 때까지 100%의 생존율을 보였다. 20 psu에 3시간 동안 노출시킨 전복의 생존율도 실험종료 때까지 100%였으나, 6, 12시간 동안 노출시킨 전복은 회복 1일째에 모두 $30.0 \pm 10.0\%$ 로 급격히 감소하여 실험종료 때까지 유지되었다. 20 psu에 24, 48시간 동안 노출시킨 전복은 회복 1일째에 생존율은 각각 40.0 ± 0.0 , $30.0 \pm 10.0\%$ 로 급격히 감소하였으며, 3일째에 모두 폐사하였다. 15 psu의 해수에 3시간 동안 노출시킨 후, 다시 35 psu의 일반해수에 수용한 전복은 실험종료 때까지 100%의 생존율을 보였으나, 6시간 노출시킨 전복은 회복 1일째에 $12.5 \pm 7.5\%$, 2일째에 $2.5 \pm 2.5\%$ 로 감소하여 실험종료 때까지 유지되었다. 15 psu의 해수에 12시간 노출시킨 전복은 회복 1일째에 모두 폐사하였으며, 24, 48시간 동안 노출시킨 전복은 노출기간에 모두 폐사하였다(Fig. 13).

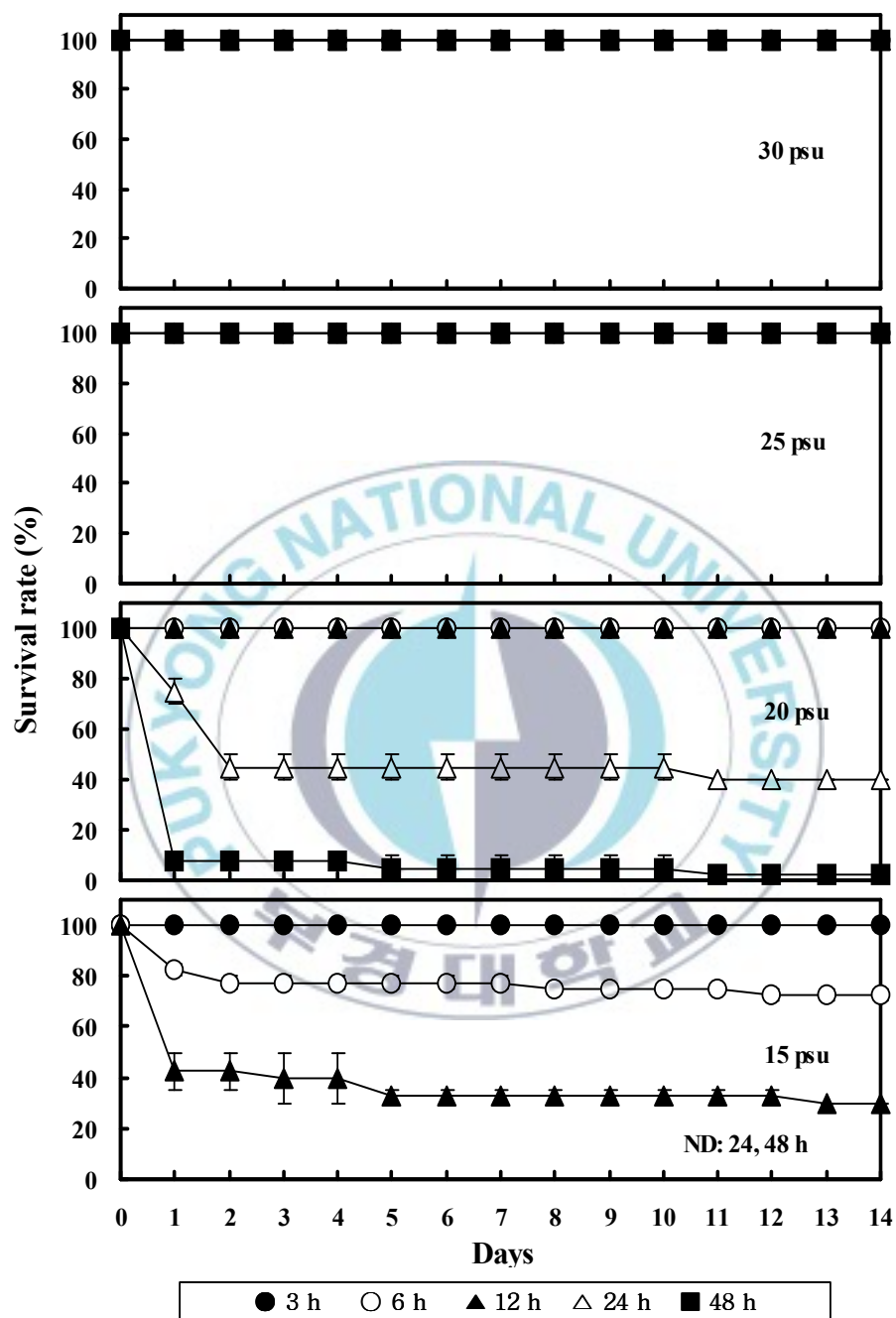


Fig. 11. Survival rate of abalone *Haliotis discus hannai* with different exposure times and salinities at 15°C. ND: no data, h: hour.

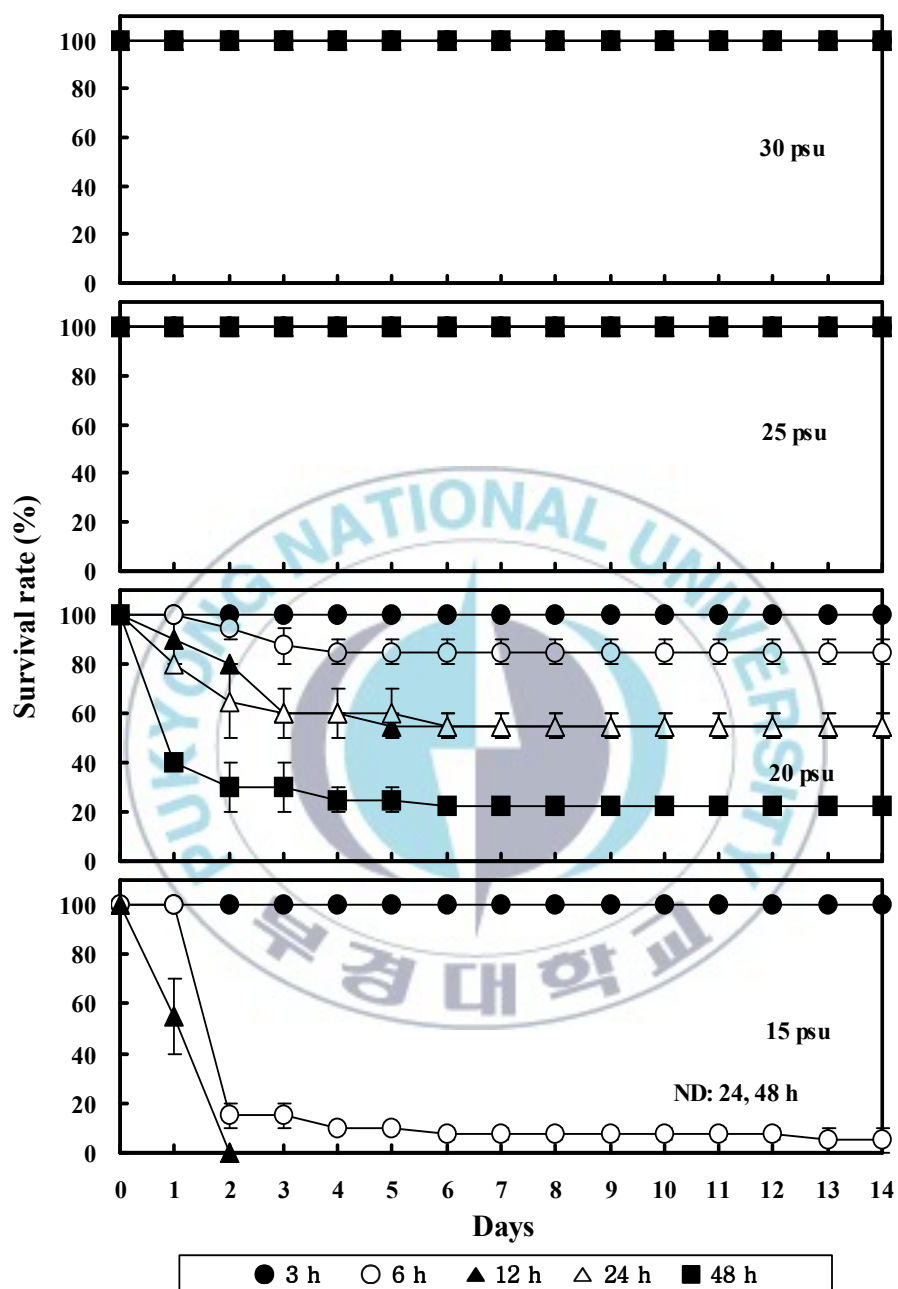


Fig. 12. Survival rate of abalone *Haliotis discus hannai* with different exposure times and salinities at 20°C. ND: no date, h: hour.

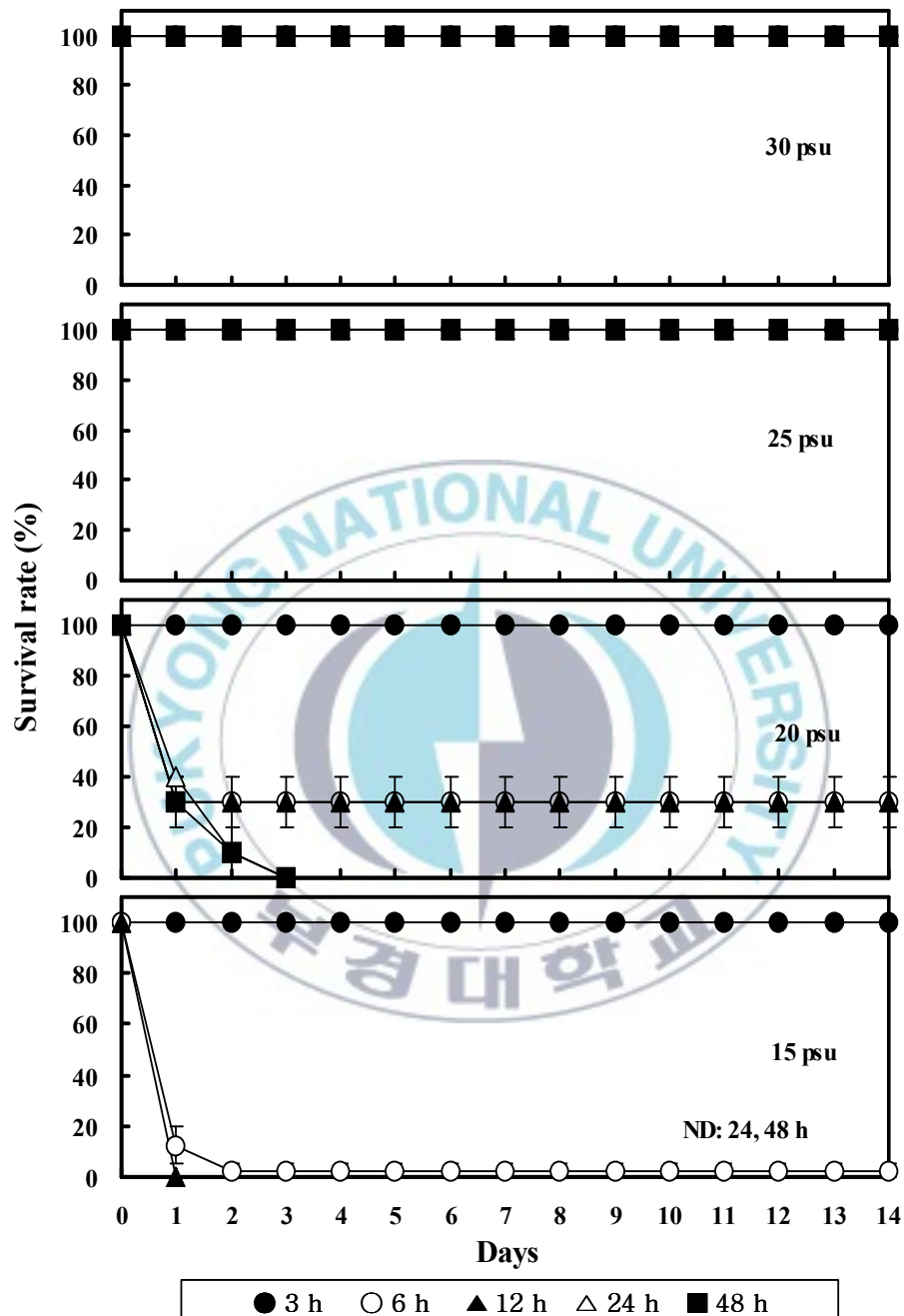


Fig. 13. Survival rate of abalone *Haliotis discus hannai* with different exposure times and salinities at 25°C. ND: no date, h: hour.

4. 고 찰

염분은 해양 및 연안생물의 생리적 과정에 영향을 미치며, 낮은 염분에서의 전형적인 패류의 반응은 먹이섭취, 성장률 감소(Bohol, 1972; Widdows, 1985) 및 폐각의 폐쇄(Hand and Stickle, 1977; Shumway, 1977) 등의 현상을 보인다. 본 연구에서 수온별 염분변화에 따른 참전복 치패의 생존율을 조사한 결과, 수온 15, 20℃, 염분 30, 25 psu에서는 실험기간 동안 100%의 생존율을 나타내어 35~25 psu의 염분 범위에서는 생존율에 영향을 미치지 않았으나, 20 psu 이하부터 생존율은 50% 이하로 급격하게 감소하였다. 수온 25℃, 20 psu에서는 실험 4일째 모두 폐사하고, 15 psu에서는 실험 1일째 모두 폐사하여 염분변화 폭이 클수록, 생존율이 낮고, 수온이 높을수록 생존율도 낮은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Choi (2006)의 사육수의 염분별 실험에서 30~25 psu에서는 폐사가 발생하지 않았고, 20, 15 psu에서 각각 70, 50%의 생존율을 보여, 시간이 지남에 따라 폐사율이 증가하는 결과와 일치하였으며, 저염분에 노출되는 시간이 길어질수록 폐사율이 증가하는 경향을 보였다. 또한 25, 20 psu의 동일한 염분조건에서는 수온이 높을수록 생존율도 감소하였으며, 15 psu의 저염분에서는 수온에 상관없이 모두 폐사하였다. 이것은 급격한 염분변화와 저염분에서는 참전복 치패가 노출에 적응하지 못하고 폐사하여, 단기간의 염분변화에 대한 에너지 균형을 조절할 수 있는 생리적 보상조정에 영향을 미칠 수 있는 한계로 보여 (Widdows, 1985), 급격한 저염분이 참전복 치패에 치명적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 35 psu에서 매일 5 psu씩 단계적으로 염분을 감소시킨 실험에서는 높은 생존율을 보였으나, 20, 15 psu에서는 수온이 낮을수록 생존율이 감소하여, 급격한 염분저하 실험과 반대의 결과를 나타내었다. 이것은 실험기간 동안 염분 내성이 강해진 것으로 판단되며, 이와 같은 결과는 Jeon (2002)의 연

구와는 다른 결과이다. 그러나 염분 내성은 수온이 높을수록 저염분에 대한 내성이 강해진다는 Chen and Chen (2002)의 연구 결과와 일치하며, 염분변화에 따른 대사와 관련된 생리적 반응은 노출 초기에는 감소하지만 2~3일 후 점차 세포 내 삼투요인을 변화시켜 조절하며 정상적인 기능을 회복한다고 보고한 연구 결과와 유사하게 나타났다.

수온 및 염분별 노출시간에 따른 참전복의 회복률 조사에서도 35~25 psu까지는 모든 수온조건에서 실험기간 14일 동안 생존율에 영향을 미치지 않았으며, 15°C, 20 psu에서 12시간 노출 후 일반해수로 옮겼을 때는 폐사는 발생하지 않았다. 그러나 20°C에서는 50%의 생존율을 나타냈으며, 20 psu에서 24시간 노출 시에는 모두 폐사하였다. 15 psu에서는 3시간 노출까지 100%의 생존율을 보였으나, 6시간 이후부터 생존율은 급격하게 감소하여 수온과 염분이 낮을수록 폐사율이 증가하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 Lee (2003)이 실험한 일반해수에서 저염분 해수에 실험 개체를 1.5시간과 24시간 동안 노출시킨 후 회복과정을 살펴본 결과, 1.5시간 노출 동안 부착물에 큰 영향을 보인 염분은 13.5 psu 이하였다. 또한 같은 염분에 24시간 동안의 노출은 치명적인 영향을 보이고 7일 경과 동안 전혀 회복하지 못하였으나, 20.2 psu의 경우는 부착한 80% 개체 모두가 정상적인 회복 가능성을 보인 결과와 유사하였다. 일반해수로 옮긴 후 3일 경과 시점부터는 모든 실험구의 회복률 변화는 없었으나, 일반해수에서 3일 이후에 50% 회복률을 유지하기 위해서는 노출 24시간과 염분 18.6 psu로 추정하여, 본 연구결과의 치사 한계 염분인 15 psu 보다 약간 높게 나타났으나 유사한 경향을 보였다. 이상과 같은 결과로 볼 때 참전복 치패의 안정적인 생존에 필요한 적정 염분 범위는 35~25 psu로 판단되며, 양식장에서는 장마나 여름철 집중호우 때에도 이 범위의 염분이 유지될 수 있도록 관리하여야 할 것이다. 저염분 해수유입시 육상양식장에서는 단수조치와

소금 첨가 등 인위적인 염분조절이 가능하지만 해상양식장에서 인위적인 염분 조절은 사실상 불가능하기 때문에 양식장 적지 선정 때부터 담수의 영향을 받는지 여부와 조류소통 등을 고려하여야 할 것이다. 아울러 집중호우 등 대규모 담수의 유입이 예상될 때에는 해양관측소 등에서 제공하는 실시간 염분변화를 확인하고 양식장 인근의 염분을 수시로 조사하여 가두리의 수층조절 및 양식장 이동 등의 조치를 취하여 피해를 예방하여야 할 것이다. 지난 2011년의 경우 남부지방에 내린 집중호우로 인한 양식장 담수유입으로 양식중인 전복 55만여 마리가 대량 폐사하였는데, 이때 여수시 남면 안도, 수향도, 횡간해역의 표층 염분은 12.4~14.3 psu로 관측되어 본 연구의 치사 한계 염분인 15 psu 보다 낮게 나타났다. 이처럼 저염분에 의한 참전복의 피해 규모는 매우 크고 광범위하기 때문에 사전 대응이 매우 중요하다. 양식장에 25 psu 이하의 저염분 해수의 유입이 예상될 때는 적정염분이 유지되는 장소로 참전복을 옮기거나, 조기판매 등을 통하여 저염분에 의한 피해를 최소화하여야 할 것이다.

제3장 염분변화에 따른 참전복의 산소소비량 변화

1. 서 설

모든 생물은 생물체 내에 시간에 따라 생리적 기능을 조절하는 생물시계(biological clock)를 가지고 있으며, 이것에 의해서 가장 일반적으로 일어나는 현상이 일주기리듬(circadian rhythm)인데, 이는 24시간을 주기로 여러 기능이 되풀이되는 능력이 있다(Cho et al., 1983). 많은 조간대 생물들은 생리활동이 조수간만의 차이에 맞추어 각각 리듬을 나타내고 있는데, 이들 리듬은 환경적응에 기인한 것으로 알려져 있다(Palmer, 1974; Enright, 1975).

해양무척추동물의 조석 주기리듬과 일주기리듬의 영향에 관한 연구가 시작된 이래로(Palmer, 1974, 1995; Bennett, 1954), Saigusa (1996)은 semi terrestrial crab, *Sesarma pictum*을 이용한 실험에서 *Sesarma pictum*의 조석리듬이 24시간 광주기 리듬에 의해서 동조되는 것을 발견하였다. 수산동물에 있어 산소소비의 측정은 스트레스를 측정하는 critical factor로 알려져 있고(Beitinger and McAuley, 1999), 직접적인 대사활동과 관계가 있으며, 에너지 소비와 활동 수준을 측정하는 데 사용되어 왔다(Innes and Houlihan, 1985). 에너지 수지에 관한 연구는 해양생물의 서식지 적응에 대한 이해를 돕는데 중요하며, 생물체 내 저장된 에너지는 대사유지, 성장 및 생식 등으로 이용되어 생물체의 내적, 외적 요인에 따라 영향을 받으므로 양식장 환경을 고려하여 양식생물의 어장 환경 적정수용력을 파악하는데 중요한 역할을 한다. 산소소비는 동물의 성장을 위한 능력을 나타낼 수도 있고 지구상의 복족류(Houlihan and Innes, 1982)를 포함한 수서생물이 경험하는 다양한 환경에 대한 적응대사로 표현될 수 있으며(Jobling, 1981; Costa, 1988; Storey and Storey, 1990), Imlay (1968)

는 담수산 패류 *Elliptio complanatus catawbensis* (Lea)에서 valve 활동리듬이 광주기에 의해 조절 된다고 했는데, 이러한 결과에 따르면, 많은 생리적인 활동의 리듬변화가 일주기리듬에 기초해서 일어나는 것으로 보인다. 해산 어류의 경우 담수 순화시 사육수의 염분변화는 삼투압조절에 영향을 미치므로 이온과 수분평형에 혼란을 일으키며 어체의 생리조건 악화 및 성장지연을 초래하며 (Singley and Chavin, 1971), 환경수의 변화에 대처하기 위하여 삼투압 조절로 체내의 항상성을 유지에 관한 연구(Morgan and Iwama, 1991)들이 있으나, 전복의 경우 광주기와에 관련된 생태적인 특성과 영향을 다룬 연구는 Morikawa et al. (1995)의 *H. discus*의 광의 저해 영향, 그리고 Kim and Cho (1976)의 *H. discus hannai*의 조기 채묘에 있어서 조도 조절 효과에 대한 연구가 있으나, 참전복을 비롯한 패류에 대한 환경적 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다(choi, 2006).

전복과 같은 패류의 경우도 수온과 염분의 변화는 산소소비 등의 생리적 요인에 영향을 줄 것이며, 이러한 산소소비의 경향을 파악하면 전복의 생산성 향상에 도움이 될 것이다. 전복양식현장에서 산소소비량은 전복의 성장과 생존에 직접적인 영향을 미치는 매우 중요한 요인으로 수온, 염분과 더불어 전복의 크기, 사육밀도, 활동시간 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수온 및 여름철 염분변화에 따른 참전복의 산소소비 경향을 파악하여 양식 현장에서 참전복의 효율적 관리방안을 위한 자료를 얻고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 실험재료

실험에 사용한 참전복은 전라남도 완도의 육상양식장에서 양성 중인 참전복 치폐를 부산 기장군 국립수산물과학원 양식관리과 사육실로 운반하여 1.2톤 유수식 원형 수조에 수용하였다. 수송해 온 전복은 사육환경 변화에 의한 스트레스를 최소화하기 위하여 다시마와 미역을 공급하면서 충분히 안정시킨 후 실험에 사용하였다.

참전복의 수온별 단계적 염분변화에 따른 산소소비 경향을 조사하기 위하여, 수온 15, 20 및 25℃에 각각 순차시킨 다음 실험에 사용하였다. 각각의 실험에 사용한 개체의 크기는 Table 4에 나타내었다.

2-2. 산소소비 측정장치

참전복의 단계적 염분변화에 따른 산소소비 경향을 측정하기 위하여 사용한 주요 장치는 호흡실과 유입·유출수실, 집수조 I·II, 컴퓨터, 순환식 항온수조(HSP-250WL-2, We Tech, Busan, Korea), oxygen monitoring system (oxygen optode sensor 3835, multiplexer 6 ports, real-time monitoring software; AANDERAA, Norway), 유량모니터링시스템 (turbine flowmeter flow-350, flow monitor flow-590, Iljin, Korea)으로 구성되어 있다(Fig. 14).

산소소비량을 측정하기 위해 두께 8 mm의 투명 아크릴을 사용하여 호흡실과 유입·유출수실을 두었다. 호흡실은 250 mm (L)×120 mm (W)×200 mm (H) 크기의 직육면체로 하였고, 유입수실은 220 mm (L)×220 mm (W)×170 mm (H), 유출수실은 150 mm (L)×150 mm (W)×120 mm (H) 크기로 하였다. 또한, 유입수실과 유출수실에는 상부에 구멍을 만들어 용존산소 센서를 부착

하였다. 실험용수는 집수조 I (WR I)에서 나와 유입수실(IW)을 통과하여 실험어가 있는 호흡실(RC)로 들어간다. 호흡실에서 실험전복에 의해 용존산소가 소비된 실험용수는 유출수실(OW)을 통과하여 집수조 II(WR II)로 모이게 된다. 집수조 II에 모인 실험용수는 에어레이션(AS)에 의해 실험전복이 소비한 용존산소를 포화상태로 유지하게 되며, 즉시 온도조절 수조(WB, FU & P)로 보내어진다. 온도조절 수조로 보내어진 실험용수는 수온조절과 동시에 여과장치에 의해 이물질이 걸러진 다음, 다시 집수조로 보내져 계속 순환하게 된다.

용존산소 측정은 유입수실과 유출수실에 각각 용존산소 및 수온 센서(OS & TS)를 부착시켜 매 5분 간격으로 용존산소와 수온이 측정되며, 이렇게 측정된 용존산소량과 수온은 oxygen monitoring 프로그램에 의해 컴퓨터에 자동 저장되어 산소소비량 계산에 사용된다.

2-3. 산소소비 측정방법

참전복 치패의 단계적 염분변화에 따른 산소소비 경향을 알아보기 위하여 대조구(Exp. I)와 단계적 염분변화(Exp. II, III) 및 급격한 염분변화(Exp. IV)로 조건을 달리하여 실험하였다. 유수식 원형수조에서 사육중인 참전복을 실험시작 전 24시간 동안 절식시킨 후, 호흡실로 신속히 옮겨 24시간 동안 안정시켰다. 실험 수온은 15, 20 및 25℃, 광조건은 명기(06:00~18:00)와 암기(18:00~06:00) 각각 12시간, 유수량은 분당 100 mL로 유지하였다.

참전복 치패의 산소소비량 측정실험은 Fig. 15에 나타낸 바와 같다. Exp. I (대조구)은 35 psu의 일반해수에서 24시간 동안 안정시킨 다음 72시간 동안 35 psu의 산소소비량을 측정하였다. Exp. II는 일반해수(35 psu)에서 15 psu의 저염분 해수까지 24시간 간격으로 5 psu씩, 총 4단계(35→30→25→20→15 psu)로 염분을 순차적으로 낮췄다. 참전복을 35 psu의 해수에서 24시간 동안

안정시킨 다음 24시간 동안 35 psu 실험구의 산소소비량을 측정하였다. 이후 0 psu의 담수를 첨가하여 30 psu로 조절하여 24시간 동안 산소소비량을 측정하였다. 이와 같은 방법으로 25, 20, 15 psu로 단계적으로 감소시키면서 실험을 진행하였다. Exp. III은 35 psu의 해수에서 15 psu 저염분 해수까지 염분을 24시간 간격으로 10 psu씩, 총 2단계(35→25→15 psu)로 순차적으로 낮췄다. Exp. IV는 해수에서 저염분 해수로(35→0 psu)로 급격하게 감소시켰다.

2-4. 산소소비량 계산

참전복의 산소소비량 계산은 유입수 용존산소량과 유출수 산소소비량을 이용하여 단위체중당 산소소비량으로 계산하였다.

$$\text{단위체중당 산소소비량(mg O}_2\text{/kg/h)} = \{(C_i - C_o) \times F \times 60\} / W$$

C_i = 유입수 용존 산소량(mg/L), C_o = 유출수 용존 산소량(mg/L), F = 유량(L/min), W = 총 중량(kg)

2-5. 통계처리

모든 측정값은 평균±표준오차로 나타냈으며, 유의차는 SPSS-통계패키지(version 12.0)를 이용하여 independent samples t-test와 one-way ANOVA - test로 검정하였으며, 집단간의 다중비교는 Duncan's multiple range test에 의해 검정하였다.

Table 4. Experimental conditions and sizes of abalone *Haliotis discus hannai* used in each experiment of oxygen consumption

Experiment	Water temperature (°C)	Shell length (mm)	Body weight (g)	No. of abalone used
I (Control)	15	30.2±0.5	3.0±0.2	30
	20	28.3±0.4	2.2±0.1	30
	25	27.5±0.3	2.2±0.1	30
II	15	28.6±0.4	2.4±0.1	30
	20	27.3±0.3	2.5±0.1	30
	25	27.2±0.4	2.1±0.1	30
III	15	26.6±0.4	2.6±0.1	30
	20	27.7±0.4	2.6±0.1	30
	25	27.2±0.3	2.3±0.1	30
IV	15	27.6±0.6	2.6±0.2	30
	20	28.4±0.3	3.0±0.1	30
	25	28.0±0.6	2.4±0.2	30

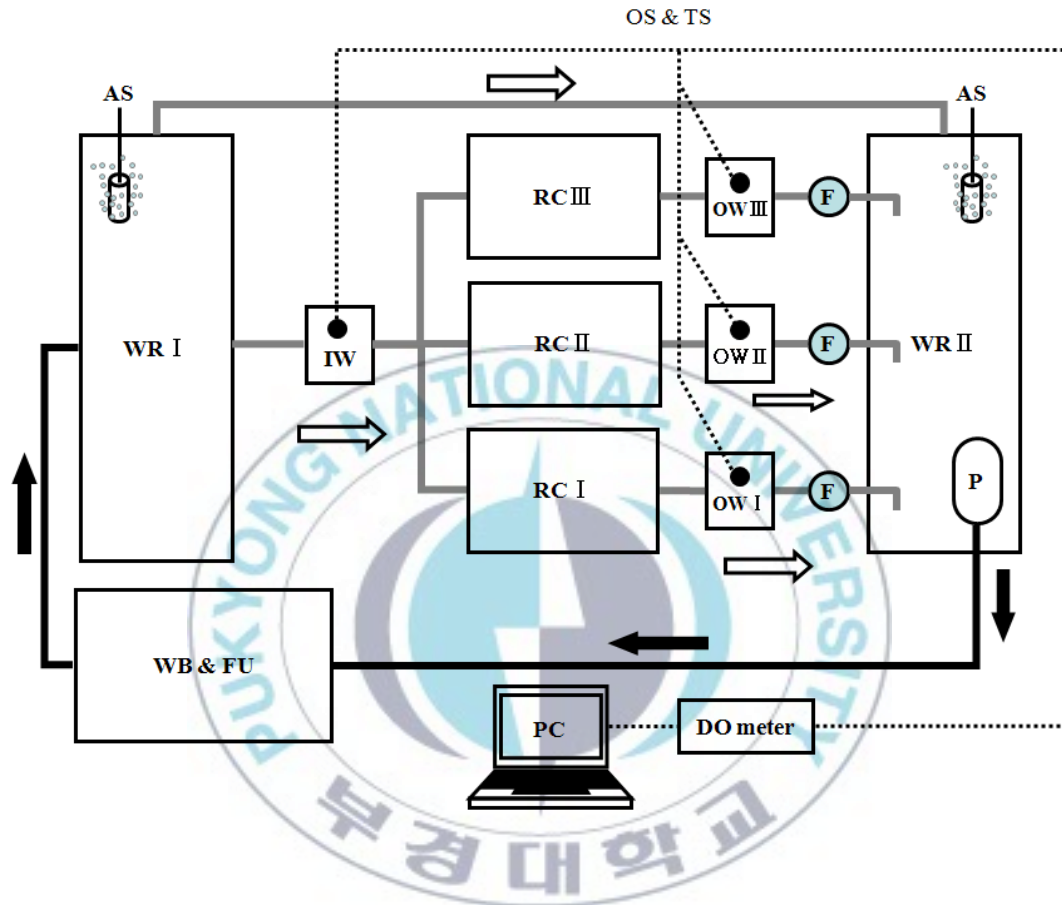


Fig. 14. Schematic diagram of oxygen consumption measuring system. Solid and open arrows indicate circulating and overflow water, respectively. AS: air supply, F: flowmeter, FU: filtering unit, IW: inlet water, OS: oxygen sensor, OW: outlet water, P: pump, PC: personal computer, RC: respiratory chamber, TS: temperature sensor, WB: water bath, WR I and II: water reservoir I and II.

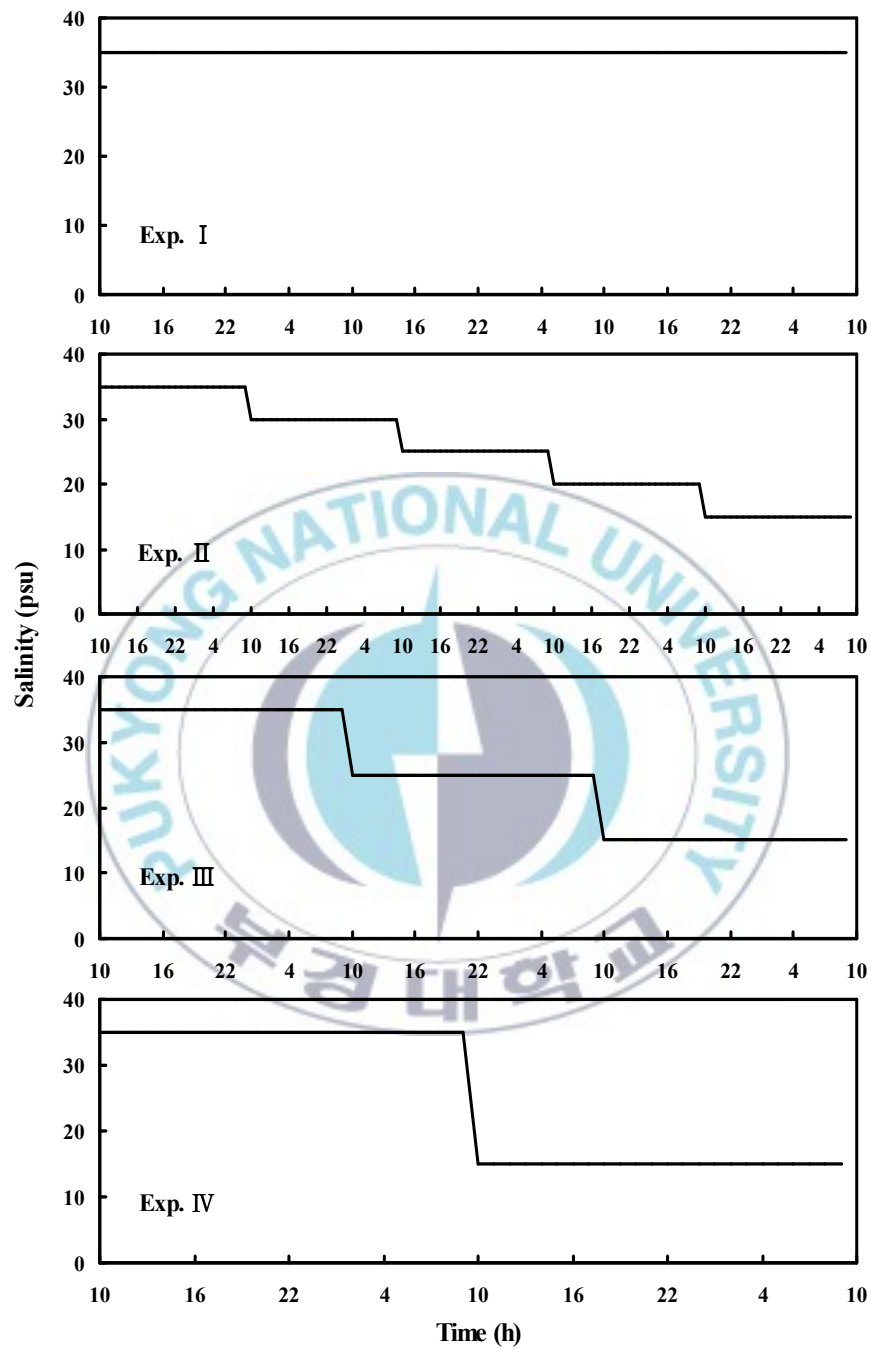


Fig. 15. Salinity change in experiment designed of oxygen consumption.

3. 결 과

3-1. 단계적 염분변화에 따른 산소소비 경향

수온 15, 20 및 25℃에서 단계적 염분변화에 따른 참전복 치패의 산소소비 경향을 측정한 결과는 Figs. 16~19에서 보는 바와 같다.

Exp. I (대조구, 35 psu)에서 수온이 15℃일 때 전복의 산소소비는 명기와 암기 모두 일정한 경향을 보였으나, 20℃에서는 암기에 증가하고, 명기에 감소하는 경향을 보였다. 수온이 25℃일 때는 20℃와 반대로 명기에 증가하고 암기에 감소하는 경향을 보였다(Fig. 16).

염분이 1일 간격으로 5 psu씩 낮아지는 Exp. II (35→30→25→20→15 psu)에서 수온 15℃일 때, 산소소비는 염분이 낮아지면서 단계적으로 감소하였으며, 염분이 낮아지는 시간대에 일시적으로 증가하였다가 급격히 감소하는 경향을 보였다. 20℃에서는 15℃와 동일하게 염분감소와 비례하여 산소소비도 단계적으로 감소하는 경향을 보였다. 또한 염분이 낮아지는 시간대에 일시적으로 증가하였다가 급격히 감소하였다. 이후 명기에서 암기로 광조건이 바뀐 후 점차 회복되는 경향을 보였다. 25℃에서 전복의 산소소비는 다른 염분조건과 달리, 염분이 낮아지는 동안 차이는 관찰되지 않았다. 그러나 염분이 낮아지는 시간대에 일시적으로 증가하였다가 급격히 감소하였으며, 광조건이 명기에서 암기로 바뀌자 점차 회복되는 경향을 보였다. Exp. II에서 염분변화에 따른 전복의 산소소비 변화는 수온 20℃에서 가장 큰 차이를 보였다(Fig. 17).

염분이 1일 간격으로 10 psu씩 낮아지는 Exp. III (35→25→15 psu)에서 수온 15℃일 때 전복의 산소소비는 염분이 낮아지면서 단계적으로 감소하였으며, 염분이 낮아지는 시간대에서 일시적으로 증가하였다가 급격히 감소하는 경향을 보였다. 특히 염분이 35 psu에서 25 psu로 낮아졌을 때 보다, 염분이 25 psu에

서 15 psu로 낮아졌을 때 산소소비 증가와 감소는 크게 차이를 보였다. 20℃에서는 15℃와 동일하게 염분감소와 비례하여 감소하는 경향을 보였다. 또한, 염분이 낮아지는 시간대에서 급격히 감소한 후, 명기에서 암기로 광조건이 바뀌고 나서 점차 회복되는 경향을 보였다. 수온 25℃에서는 다른 염분조건과 달리, 염분이 낮아지는 동안 큰 차이를 보이지 않았으나, 염분이 낮아지는 시간대에서 일시적으로 증가하였다가 급격히 감소하는 경향을 보였다. 특히, 염분이 35 psu에서 25 psu로 낮아졌을 때 산소소비 차이 보다, 25 psu에서 15 psu로 낮아졌을 때 차이가 큰 것으로 나타났다(Fig. 18).

염분변화가 급격한 Exp. IV(35→15 psu)에서 수온 15℃일 때 참전복의 산소소비량은 염분이 낮아지면서 감소하였으며, 염분이 낮아지는 시간대에 일시적으로 증가하였다가 급격히 감소하는 경향을 보였다. 이후 염분은 점차 회복되는 경향을 보였다. 20℃에서도 15℃와 동일하게 염분감소와 비례하여 산소소비도 감소하는 경향을 보였으며, 염분이 낮아지는 시간대에서 급격히 감소하였다가 점차 회복되는 경향을 보였다. 수온 25℃에서 산소소비량은 염분이 낮아지는 시간대에서 일시적으로 증가하였다가 급격히 감소하는 경향을 보였으며, 이후 다시 급격한 증가와 감소하는 불안정한 산소소비 경향을 보였다(Fig. 19).

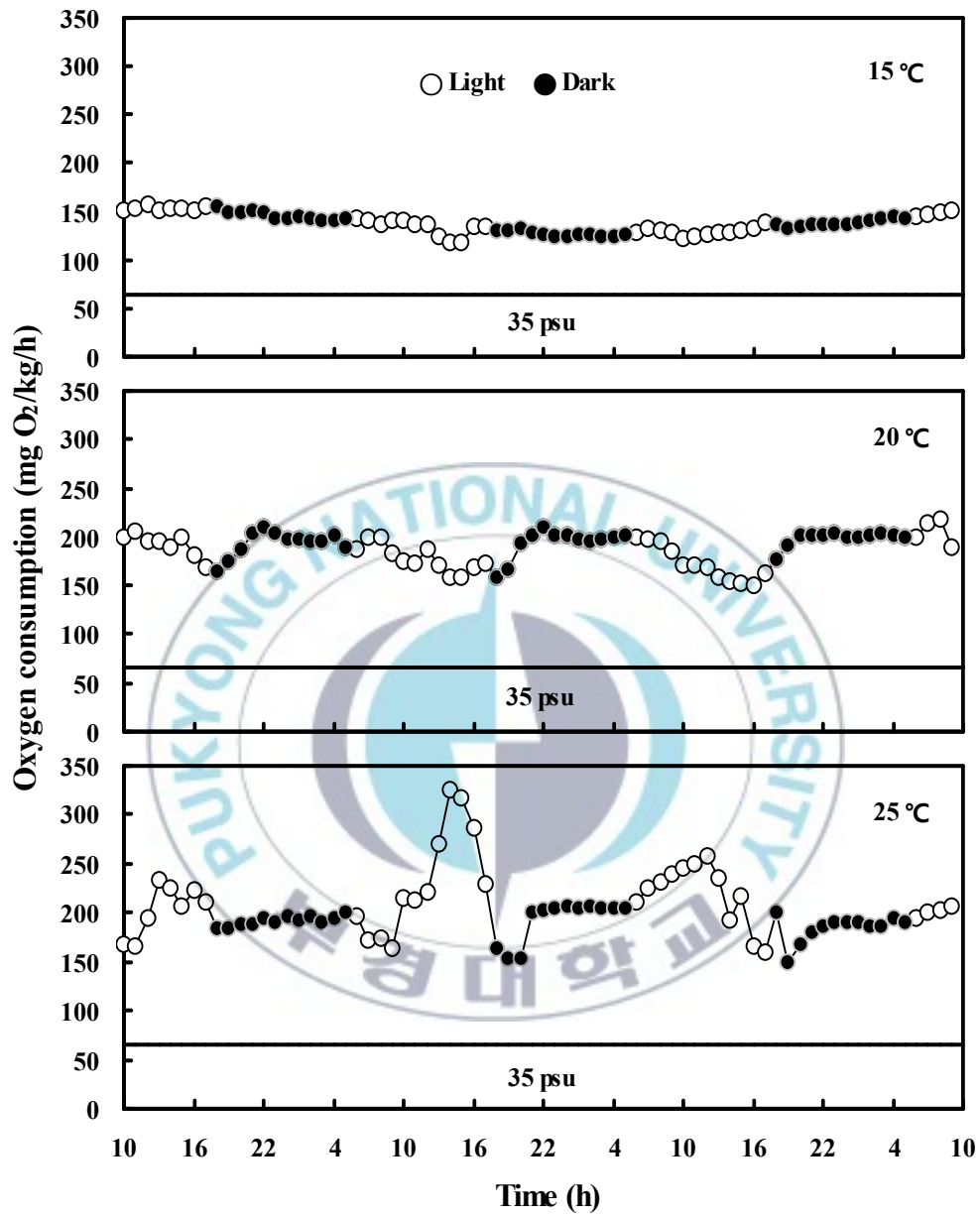
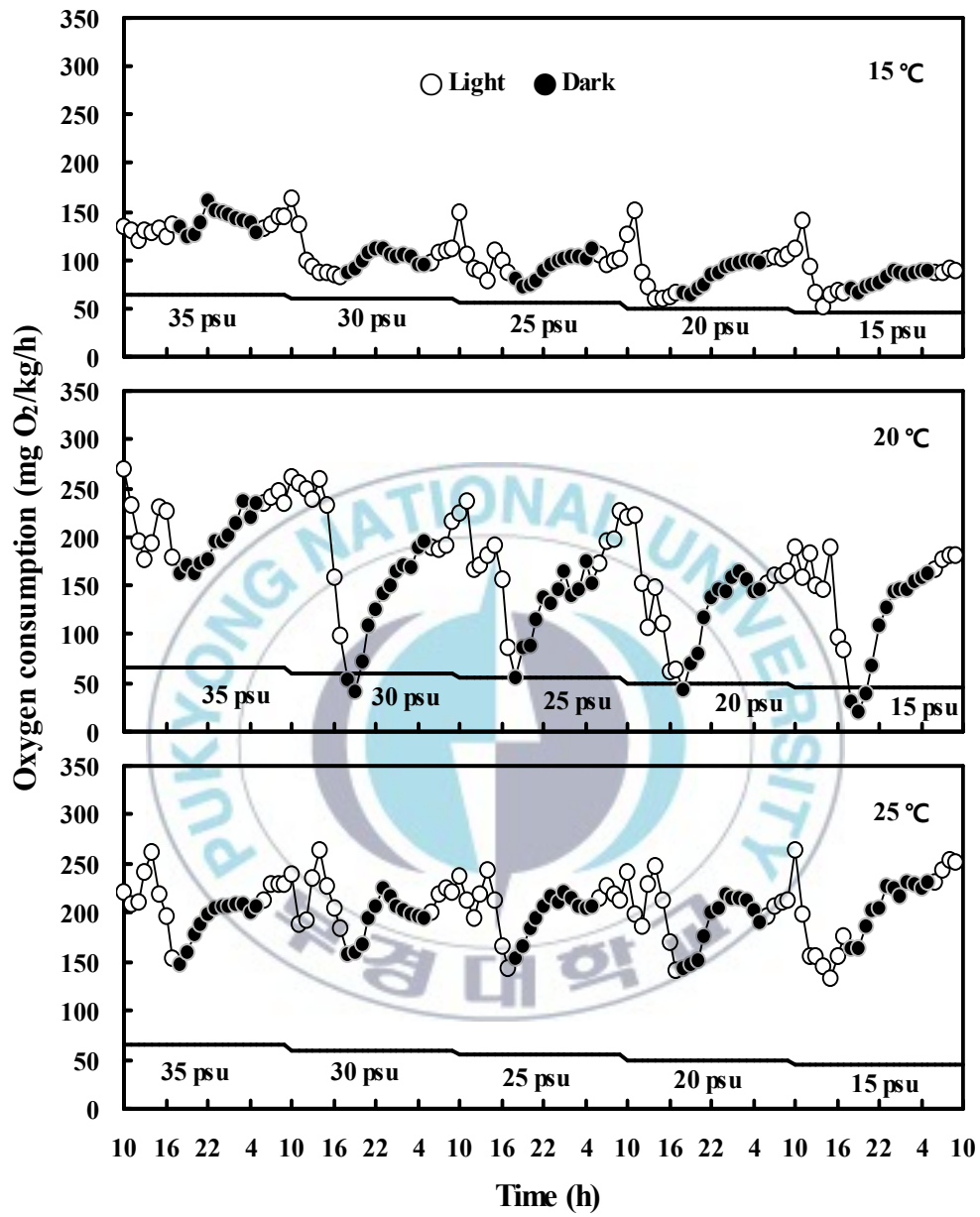


Fig. 16. Circadian change of oxygen consumption of abalone *Haliotis discus hannai* in the experiment I .



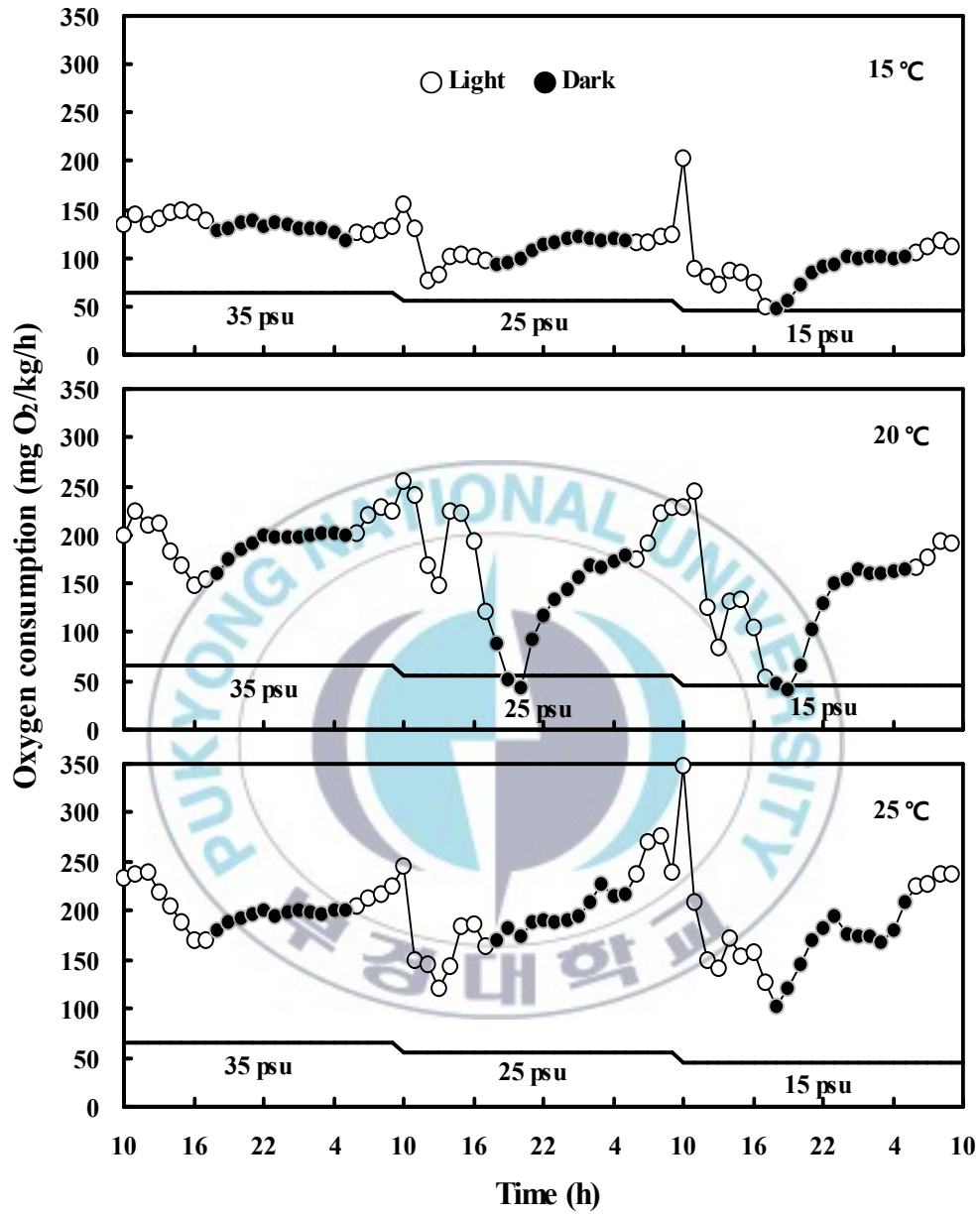


Fig. 18. Circadian change of oxygen consumption of abalone *Haliotis discus hannai* under salinity changes in the experiment III.

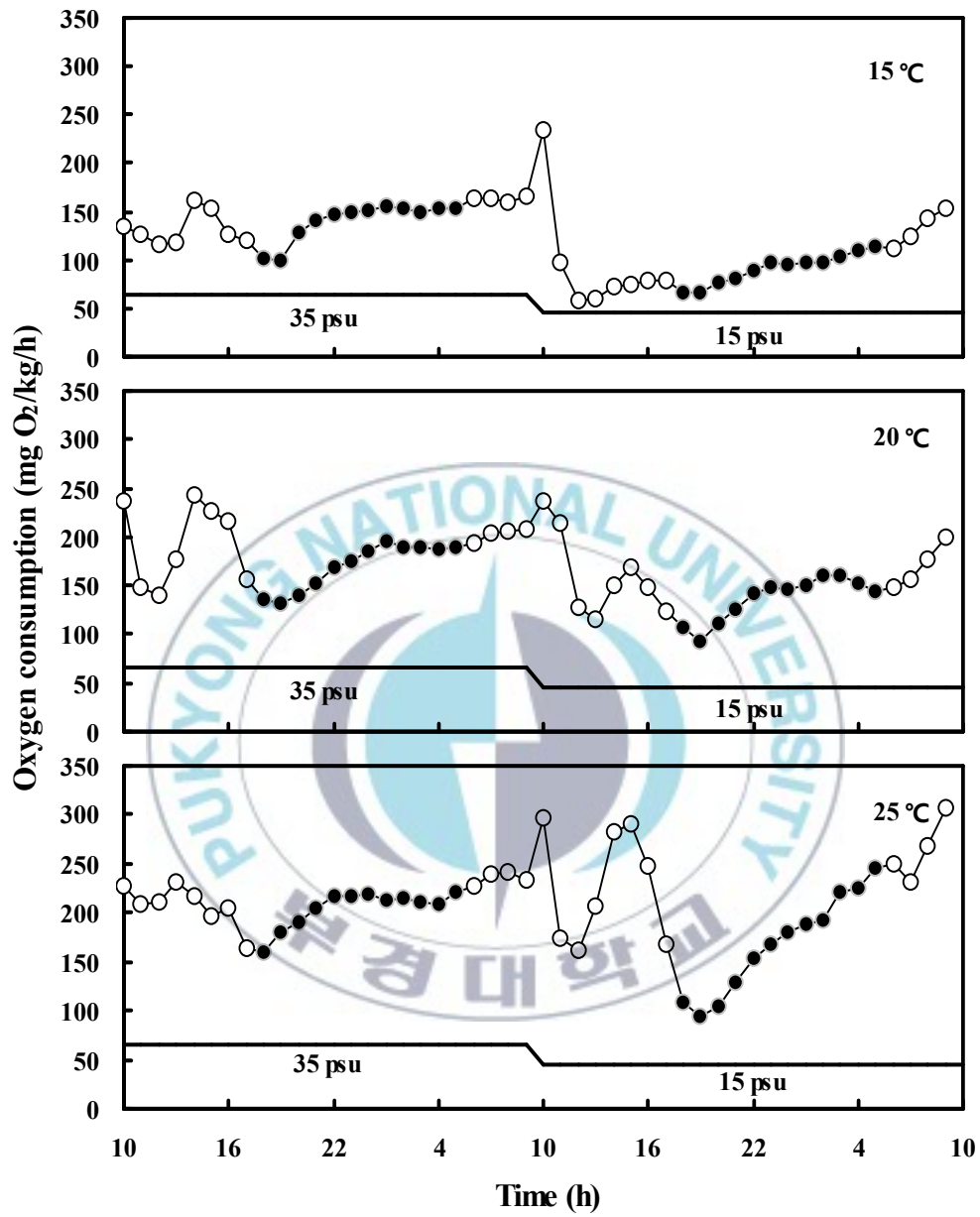


Fig. 19. Circadian change of oxygen consumption of abalone *Haliotis discus hannai* under salinity changes in the experiment IV.

3-2. 염분변화에 따른 일일평균 산소소비량

수온 15, 20 및 25℃에서 단계적 염분변화에 따른 참전복 치패의 산소소비량 변화는 Tables 5~7에 나타내었다.

수온 15℃에서 Exp. I (대조구, 35 psu)의 일일평균 산소소비량은 137.6 ± 0.5 mg O₂/kg/h로, 35 psu의 다른 실험구와 비슷한 경향을 보였다. Exp. II에서 염분이 35→30→25→20→15 psu로 단계적으로 낮아지자, 산소소비량은 각각 136.7 ± 2.0 , 103.2 ± 3.5 , 96.9 ± 3.2 , 88.7 ± 4.5 및 82.9 ± 3.6 mg O₂/kg/h로 단계적으로 감소하였으며, 유의한 차이는 10 psu 간격으로 나타냈다($P < 0.05$). Exp. III에서는 염분이 35→25→15 psu 낮아지면서 산소소비량은 각각 134.4 ± 1.5 , 111.2 ± 3.4 및 93.2 ± 6.1 mg O₂/kg/h로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). Exp. IV (35→15 psu)의 경우 산소소비량은 각각 141.4 ± 4.0 , 99.0 ± 7.7 mg O₂/kg/h로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). 15℃에서 Exp. II부터 Exp. IV까지 일반해수(35 psu)에서 저염분 해수(15 psu)로, 염분이 감소하는 동안 산소소비량 변화는 각각 1.65, 1.44 및 1.43배 감소하였다. 또한 산소소비량의 감소 기울기(b)는 각각 0.023, 0.018 및 0.018로 나타났으며, R²값은 각각 0.890, 1.000 및 1.000로 나타났다(Table 5).

20℃에서 Exp. I (대조구, 35 psu)의 일일평균 산소소비량은 188.8 ± 2.0 mg O₂/kg/h로, 35 psu의 다른 실험구와 비슷한 경향을 보였다. Exp. II에서 염분이 35→30→25→20→15 psu 낮아지면서 산소소비량은 각각 208.7 ± 6.2 , 171.7 ± 13.1 , 156.2 ± 9.5 , 134.7 ± 9.3 및 134.1 ± 10.5 mg O₂/kg/h로 단계적으로 감소하였으나, 25 psu 이하에서는 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). Exp. III에서는 염분이 35→25→15 psu 낮아지면서 산소소비량은 각각 195.1 ± 4.4 , 163.2 ± 11.6 및 139.4 ± 11.0 mg O₂/kg/h로 단계적으로 감소하였으나, 25 psu와 15 psu에서는 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$).

Exp. IV(35→15 psu)의 경우 산소소비량이 각각 183.2 ± 6.5 , 150.0 ± 6.7 mg O_2 /kg/h로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). 20°C에서 Exp. II부터 Exp. IV까지 일반해수(35 psu)에서 저염분 해수(15 psu)로 염분이 감소하는 동안 산소소비량 변화는 각각 1.56, 1.40 및 1.22배 감소하였다. 또한, 감소 기울기(b)는 각각 0.021, 0.017 및 0.010으로 나타났으며, R^2 값은 각각 0.890, 0.999 및 1.000로 나타났다(Table 6).

25°C에서 Exp. I (대조구, 35 psu)의 일일평균 산소소비량은 203.8 ± 4.4 mg O_2 /kg/h로 다른 실험구의 35 psu에서도 비슷한 경향을 보였다. Exp. II에서 염분이 35→30→25→20→15 psu로 단계적으로 감소한 실험구는 각각 205.4 ± 5.4 , 205.2 ± 5.1 , 203.6 ± 5.1 , 197.4 ± 6.0 및 203.2 ± 7.9 mg O_2 /kg/h로 염분변화에 관계없이 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). Exp. III에서는 염분이 35→25→15 psu로 낮아지면서 산소소비량은 각각 202.8 ± 3.8 , 196.0 ± 8.1 및 182.7 ± 10.3 mg O_2 /kg/h로 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). Exp. IV(35→15 psu)의 경우 210.8 ± 4.3 , 204.0 ± 12.8 mg O_2 /kg/h로 유의한 차이는 나타나지 않았다($P > 0.05$). 25°C에서 Exp. II부터 Exp. IV까지 해수(35 psu)에서 저염분 해수(15 psu)로 염분이 감소하는 동안 1.01, 1.11 및 1.03배 감소, 산소소비량 감소 기울기(b)는 각각 0.001, 0.005 및 0.002로 매우 낮게 나타났다(Table 7).

Table 5. Mean oxygen consumption of abalone *Haliotis discus hannai* at different salinity in 15°C

Salinity (psu)	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
35	137.6±0.5	136.7±2.0 ^d	134.4±1.5 ^c	141.4±4.0 ^b
30	-	103.2±3.5 ^c	-	-
25	-	96.9±3.2 ^{bc,A}	111.2±3.4 ^{b,B}	-
20	-	88.7±4.5 ^{ab}	-	-
15	-	82.9±3.6 ^a	93.2±6.1 ^a	99.0±7.7 ^a
b	-	0.023	0.018	0.018
a	-	56.232	70.726	75.717
R ²	-	0.890	1.000	1.000

Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption between salinity at each experiment ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of oxygen consumption between experiment at each salinity ($P < 0.05$).

Table 6. Mean oxygen consumption of abalone *Haliotis discus hannai* at different salinity in 20°C

Salinity (psu)	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
35	188.8±2.0 ^A	208.7±6.2 ^{c,B}	195.1±4.4 ^{b,AB}	183.2±6.5 ^{b,A}
30	-	171.7±13.1 ^b	-	-
25	-	156.2±9.5 ^{ab}	163.2±11.6 ^a	-
20	-	134.7±9.3 ^a	-	-
15	-	134.1±10.5 ^a	139.4±11.0 ^a	150.0±6.7 ^a
b	-	0.021	0.017	0.010
a	-	99.347	108.000	129.420
R ²	-	0.928	0.999	1.000

Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption between salinity at each experiment ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of oxygen consumption between experiment at each salinity ($P < 0.05$).

Table 7. Mean oxygen consumption of abalone *Haliotis discus hannai* at different salinity in 25°C

Salinity (psu)	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
35	203.8±4.4	205.4±5.4	202.8±3.8	210.8±4.3
30	-	205.2±5.1	-	-
25	-	203.6±5.1	196.0±8.1	-
20	-	197.4±6.0	-	-
15	-	203.2±7.9	182.7±10.3	204.0±12.8
b	-	0.001	0.005	0.002
a	-	196.940	170.020	199.020
R ²	-	0.348	0.961	1.000

Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption between salinity at each experiment ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of oxygen consumption between experiment at each salinity ($P < 0.05$).

3-3. 염분변화 및 광조건에 따른 산소소비량

수온 15, 20 및 25℃에서 단계적 염분변화에서 명기와 암기 동안의 참전복 치패의 산소소비량 변화는 Tables 8~10에 나타내었다.

15℃에서 단계적 염분변화에 따른 전복의 산소소비량 변화는 Table 8에서 보는 바와 같다. Exp. I (대조구, 35 psu)에서 명기 동안 평균 산소소비량은 138.1 ± 0.8 mg O₂/kg/h으로, 암기 동안의 평균 산소소비량 137.1 ± 0.5 mg O₂/kg/h과 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). Exp. II에서 염분이 35→30→25→20→15 psu로 단계적으로 낮아진 실험구의 명기 동안 평균 산소소비량은 각각 132.9 ± 2.1 , 105.1 ± 6.8 , 101.1 ± 5.0 , 91.6 ± 8.3 및 84.9 ± 7.0 mg O₂/kg/h이며, 암기 동안은 각각 140.4 ± 3.2 , 101.4 ± 2.3 , 92.6 ± 3.9 , 85.7 ± 3.9 및 80.8 ± 2.3 mg O₂/kg/h으로 염분이 낮아짐에 따라 산소소비량도 감소하였다. 수온 15℃, Exp. II의 실험에서는 명기와 암기 모두 염분 25 psu 이하에서 큰 차이를 보이지 않았으며, 모든 염분에서 명기와 암기에 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). Exp. III에서는 염분이 35→25→15 psu로 낮아지는 동안 명기의 평균 산소소비량은 각각 137.5 ± 2.4 , 110.3 ± 6.3 및 99.0 ± 11.0 mg O₂/kg/h, 암기 동안은 각각 131.2 ± 1.5 , 112.2 ± 3.0 및 87.5 ± 5.5 mg O₂/kg/h로 염분이 낮아짐에 따라 산소소비량도 감소하였다.

15℃, Exp. III에서는 명기와 암기 모두 35 psu와 25 psu의 산소소비량은 유의한 차이를 보였으나, 25 psu와 15 psu의 저염분에서도 차이를 보이지 않았다. 또한, 모든 염분에서 명기와 암기에 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). Exp. IV에서 염분이 35→15 psu 급격히 낮아지면서 명기 동안의 산소소비량은 각각 142.3 ± 5.9 , 106.9 ± 14.6 mg O₂/kg/h, 암기 동안은 각각 140.6 ± 5.8 , 91.0 ± 4.6 mg O₂/kg/h로 염분이 낮아짐에 따라 유의하게 감소하였으며, 모든 염분에서 명기와 암기에 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$).

수온 15℃에서 Exp. II부터 Exp. IV까지 일반해수(35 psu)에서 저염분 해수(15 psu)로 염분이 낮아지는 동안 산소소비량은 명기에 각각 1.57, 1.39 및 1.33배, 암기에 각각 1.74, 1.50 및 1.55배 감소하였으며, 산소소비량의 지수함수식 감소 기울기 값(b)은 명기에 각각 0.021, 0.016 및 0.014, 암기에 각각 0.025, 0.020 및 0.022로, 각각의 실험조건에서 염분변화에 따른 산소소비량 감소는 명기 보다 암기에 높게 나타났다(Table 8).

수온 20℃에서 단계적 염분변화에 따른 전복의 산소소비량 변화는 Table 9와 같다. Exp. I에서 명기 동안 평균 산소소비량은 182.2 ± 3.9 mg O₂/kg/h, 암기 동안은 195.4 ± 1.7 mg O₂/kg/h로, 명기 보다 암기에 유의하게 많았다($P < 0.05$). Exp. II에서 염분이 35→30→25→20→15 psu 낮아지면서 명기 동안 평균 산소소비량은 각각 222.0 ± 8.3 , 211.6 ± 14.1 , 184.2 ± 11.5 , 143.7 ± 14.7 및 158.9 ± 10.1 mg O₂/kg/h로, 35 psu에서 25 psu까지 염분이 낮아지면서 유의하게 감소하였다. 그러나 25 psu 이하에서는 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 암기 동안 평균 산소소비량은 각각 195.5 ± 7.6 , 131.7 ± 15.1 , 128.2 ± 10.3 , 125.8 ± 11.5 및 109.3 ± 15.6 mg O₂/kg/h로, 30 psu 이하에서 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 또한, 모든 염분에서 암기 보다 명기에 유의하게 많았다($P < 0.05$). Exp. III에서 염분이 35→25→15 psu 낮아지면서 명기 동안의 평균 산소소비량은 각각 198.0 ± 8.1 , 199.8 ± 11.5 및 153.3 ± 16.7 mg O₂/kg/h로, 35 psu와 25 psu에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 암기 동안의 평균 산소소비량은 각각 192.3 ± 3.8 , 126.6 ± 13.7 및 125.6 ± 14.0 mg O₂/kg/h로 25 psu와 15 psu에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). Exp. IV에서 염분이 35→15 psu 급격히 낮아지면서 명기 동안의 산소소비량은 각각 196.5 ± 9.8 , 163.6 ± 10.7 mg O₂/kg/h, 암기 동안은 각각 169.9 ± 6.8 , 136.8 ± 6.4 mg O₂/kg/h로 유의하게 감소하였으며, 모든 염분에서 암기 보다 명기에 유의하게 많았다($P < 0.05$).

20℃에서 Exp. II부터 Exp. IV까지 일반해수(35 psu)에서 저염분 해수(15 psu)로 염분이 낮아지는 동안 전복의 산소소비량은 명기 동안에 각각 1.40, 1.29 및 1.20배, 암기 동안에 각각 1.79, 1.53 및 1.24배 감소하였다. 또한, 산소 소비량의 지수함수식 감소 기울기 값(b)은 명기 동안에 각각 0.020, 0.012 및 0.009이며, 암기 동안은 각각 0.023, 0.021 및 0.011로, 각각 실험조건에서 염분 저하에 따른 산소소비량 감소는 명기 보다 암기에 크게 나타났다(Table 9).

25℃에서 단계적 염분변화에 따른 산소소비량 변화는 Table 10에서 보는 바와 같다. Exp. I 전복의 명기 동안은 218.0 ± 5.6 mg O₂/kg/h로, 암기 동안은 189.5 ± 3.4 mg O₂/kg/h로 암기 보다 명기에 유의하게 많았다($P < 0.05$). Exp. II에서 염분이 35→30→25→20→15 psu 낮아지면서 명기 동안 평균 산소소비량은 각각 217.9 ± 7.6 , 216.7 ± 6.9 , 208.6 ± 8.3 , 204.7 ± 8.6 및 197.4 ± 14.2 mg O₂/kg/h이며, 암기 동안은 각각 192.9 ± 6.0 , 193.8 ± 6.2 , 198.7 ± 6.0 , 190.1 ± 8.1 및 209.0 ± 7.3 mg O₂/kg/h로, 염분변화와 관계없이 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 또한, 35, 30 psu에서는 암기 보다 명기에 산소소비가 유의하게 많았으나, 25 psu 이하에서는 명기와 암기에 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). Exp. III에서 염분이 35→25→15 psu로 낮아지면서 명기 동안의 평균 산소소비량은 각각 209.9 ± 6.9 , 196.6 ± 15.8 및 198.8 ± 17.9 mg O₂/kg/h로 유의한 차이를 보이지 않았다. 암기 동안은 각각 195.7 ± 1.9 , 195.4 ± 5.1 및 166.6 ± 8.7 mg O₂/kg/h로 25 psu와 15 psu에서 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$). 각각의 염분에서 명기와 암기에 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). Exp. IV에서 염분이 35→15 psu 급격히 낮아지면서 명기 동안은 각각 216.9 ± 6.4 , 240.6 ± 15.1 mg O₂/kg/h로, 염분이 낮아지자 산소소비량은 증가하였으나 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$). 암기 동안은 각각 204.6 ± 5.5 , 167.4 ± 14.5 mg O₂/kg/h로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$).

25℃에서 Exp. II부터 Exp. IV까지 일반해수(35 psu)에서 저염분 해수(15 psu)로 염분이 낮아지는 동안 산소소비량은 명기 동안에 각각 1.10, 1.06 및 0.90배, 암기 동안에 각각 0.92, 1.18 및 1.22배 감소하였다. 또한, 산소소비량의 지수 함수식 감소 기울기 값(b)은 명기 동안에 각각 0.005, 0.003 및 -0.005로, 암기 동안에 각각 0.003, 0.008 및 0.010으로 수온 25℃에서 염분저하와 산소소비량의 변화는 매우 낮은 상관관계를 보였다(Table 10).



Table 8. Oxygen consumption of abalone *Haliotis discus hannai* at light and dark periods with different salinity in 15°C

Salinity (psu)	Light				Dark			
	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
35	138.1±0.8	132.9±2.1 ^c	137.5±2.4 ^b	142.3±5.9 ^b	137.1±0.5	140.4±3.2 ^d	131.2±1.5 ^c	140.6±5.8 ^b
30	-	105.1±6.8 ^b	-	-	-	101.4±2.3 ^c	-	-
25	-	101.1±5.0 ^{ab}	110.3±6.3 ^a	-	-	92.6±3.9 ^{bcA}	112.2±3.0 ^{bB}	-
20	-	91.6±8.3 ^a	-	-	-	85.7±3.9 ^{ab}	-	-
15	-	84.9±7.0 ^a	99.0±11.0 ^a	106.9±14.6 ^a	-	80.8±2.3 ^a	87.5±5.5 ^a	91.0±4.6 ^a
b	-	0.021	0.016	0.014	-	0.025	0.020	0.022
a	-	60.737	75.926	86.291	-	52.001	65.514	65.691
R ²	-	0.920	0.962	1.000	-	0.857	0.983	1.000

Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption between salinity at each experiment ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of oxygen consumption between experiment at each salinity ($P < 0.05$). Asterisk indicates significant differences of oxygen consumption between light and dark within salinity and experiment ($P < 0.05$).

Table 9. Oxygen consumption of abalone *Haliotis discus hannai* at light and dark periods with different salinity in 20°C

Salinity (psu)	Light				Dark			
	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
35	182.2±3.9 ^A	222.0±8.3 ^{d,B,*}	198.0±8.1 ^{b,A}	196.5±9.8 ^{b,*}	195.4±1.7 ^{B,*}	195.5±7.6 ^{b,B}	192.3±3.8 ^{b,B}	169.9±6.8 ^{b,A}
30	-	211.6±14.1 ^{c,*}	-	-	-	131.7±15.1 ^a	-	-
25	-	184.2±11.5 ^{bc,*}	199.8±11.5 ^{b,*}	-	-	128.2±10.3 ^a	126.6±13.7 ^a	-
20	-	143.7±14.7 ^a	-	-	-	125.8±11.5 ^a	-	-
15	-	158.9±10.1 ^{ab,*}	153.3±16.7 ^a	163.6±10.7 ^{a,*}	-	109.3±15.6 ^a	125.6±14.0 ^a	136.8±6.4 ^a
b	-	0.020	0.012	0.009	-	0.023	0.021	0.011
a	-	116.210	132.430	142.570	-	82.699	85.246	116.310
R ²	-	0.818	0.723	1.000	-	0.766	0.764	1.000

Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption between salinity at each experiment ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of oxygen consumption between experiment at each salinity ($P < 0.05$). Asterisk indicates significant differences of oxygen consumption between light and dark within salinity and experiment ($P < 0.05$).

Table 10. Oxygen consumption of abalone *Haliotis discus hannai* at light and dark periods with different salinity in 25°C

Salinity (psu)	Light				Dark			
	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
35	218.0±5.6 [*]	217.9±7.6 [*]	209.9±6.9	216.9±6.4	189.5±3.4 ^A	192.9±6.0 ^{AB}	195.7±1.9 ^{b,AB}	204.6±5.5 ^{b,B}
30	-	216.7±6.9 [*]	-	-	-	193.8±6.2	-	-
25	-	208.6±8.3	196.6±15.8	-	-	198.7±6.0	195.4±5.1 ^b	-
20	-	204.7±8.6	-	-	-	190.1±8.1	-	-
15	-	197.4±14.2	198.8±17.9	240.6±15.1 [*]	-	209.0±7.3 ^B	166.6±8.7 ^a	167.4±14.5 ^a
b	-	0.005	0.003	-0.005	-	-0.003	0.008	0.010
a	-	183.980	188.520	259.990	-	211.200	151.620	143.950
R ²	-	0.961	0.602	1.000	-	0.363	0.758	1.000

Different small letters indicate significant differences of oxygen consumption between salinity at each experiment ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of oxygen consumption between experiment at each salinity ($P < 0.05$). Asterisk indicates significant differences of oxygen consumption between light and dark within salinity and experiment ($P < 0.05$).

4. 고 찰

수중에서 서식하는 수중생물은 수온, 염분 및 광주기 등 환경변화에 매우 민감하게 반응하며, 이는 스트레스로 작용하여 생리활성을 변화시키는 것으로 알려져 있다(Claireaux and Lagardère, 1999; Chang et al., 2005; Chatelier et al., 2005; Jeong et al., 2007). 많은 연구자들은 수산생물의 산소소비량에 결정적인 영향을 주는 요인으로 수온과 염분을 대표적인 예로 들었고, 여러 어종을 대상으로 이를 증명하였다(Requena et al., 1997; Chang et al., 2001; Chang et al., 2005). 본 연구에서 참전복의 염분변화에 따른 대사 상태를 알아보기 위하여 수온별, 염분별 산소소비량을 조사한 결과, 수온이 높으면 산소소비량은 증가하고 염분이 낮을수록 감소하는 경향을 보여, Lee (2003)의 연구결과와 유사하였으며, 동일한 수온이라도 염분이 감소할 때 마다 산소소비량도 감소하는 경향을 보였다. 또한, 15℃에서 염분이 35, 25 및 15 psu로 1일 10 psu 감소시킨 실험구에서 전복의 산소소비량은 수온이 증가할수록 산소소비량이 증가하고, 염분이 감소할수록 감소하는 경향을 보여, Shin et al (2006)의 연구결과와 일치하였다. Lee (2003)는 저염분 실험구에 노출 후 일반해수로 옮기어 회복상태를 알아보기 위하여 7일경과 시점에서 산소소비량을 측정한 결과 염분이 높을수록 산소소비량은 증가하였으며, 24, 96시간 경과 시점에서 산소소비량을 측정한 결과에서도 저염분인 16.9 psu에서는 산소소비량은 각각 낮게 나타났다. 본 실험과 유사한 결과를 나타내었다. 전복류의 치패는 성장기가 길고, 이 기간에 성장에 대한 변수가 많은 특성을 가지므로(Day and Fleming, 1992), 생산을 최대화하는 데 기여할 수 있기 위하여 성장에 영향을 주는 요소들을 이해하는 것이 필요하다(Huchette et al., 2003).

현재까지 패류에 있어서 스트레스에 관한 연구는 수온, 염분, 용존산소, 수용

밀도, 소음, 진동 등 물리적 스트레스와 요소에 의한 마취 효과나 폐놀의 독성 영향과 같은 일부 화학적 스트레스에 관한 연구가 이루어져 있다(Drew et al., 2001; Han et al., 2003). 이러한 스트레스 반응은 생물에 있어서의 질병 내성을 감소시키고, 성장률의 감소, 먹이 섭취량의 감소 및 호흡대사율의 변화를 유발한다고 알려져 있다(Brown et al., 1995; Chen and Chen, 2000). 어류에서도 광주기는 산소소비량의 일주기듬에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, Spencer (1939)와 Spoor (1946)는 담수어류의 활성과 산소소비 관계를 3가지 형태(주간활동형, 야간활동형, 불규칙활동형)로 나누었다. 본 연구의 결과에서는 암기 보다 명기에 산소소비량이 증가하는 경향을 보여, Lee (2003)의 광주기 연구에서 12L:12D 실험구에서 17:00 이후부터 자정까지 높은 산소소비량을 보인 결과와 반대의 경향을 보였다. 이것은 실험기간 동안 사료를 공급하지 않고 명기에 염분을 감소시켰기 때문에 전체적인 산소소비량에 영향을 미친 것으로 판단된다. 이와 같이 저염분은 참전복 치패의 생리상태에 스트레스 요인으로 작용할 수 있으며 장기간 노출은 급격한 체내 이온 감소, 질소 대사물질 배설량의 감소 및 산소소비량의 감소 등으로 참전복의 대사활동의 불균형을 초래할 뿐 아니라 성장과 생존에 영향을 줄 수 있는 요인으로 판단된다. 또한, 본 연구에서 염분을 감소시킨 직후에 산소소비량이 급격하게 증가하는 경향을 보여, 저염분이 유입되는 초기에 참전복 치패에 미치는 생리적인 영향은 매우 클 것으로 예상된다. 이것은 환경변화에 적응하기 위한 전복의 대사량이 증가한 것으로 판단되며, 고밀도 양식장에서는 산소부족에 의한 생리적인 장애는 물론, 지속될 경우 폐사할 수도 있을 것이다. 그러므로 여름철 저염분의 영향을 받는 양식장에서는 수시로 사육수의 용존산소량을 측정하고 양식 밀도를 낮추어 피해를 예방하여야 할 것이다. 특히, 수온이 상승하면 산소소비량이 증가하는 경향으로 볼 때 수온이 높은 여름철에는 사육밀도를 낮추고,

적당한 양의 사료를 공급하여 사료찌꺼기 등이 바닥에 남지 않도록 하여야 하며, 원활한 조류소통을 위하여 가두리 망에 부착한 이물질들을 제거하고 충분한 산소를 공급해 주는 것이 전복의 성장은 물론, 여름철 산소부족에 의한 양식생물의 대량폐사를 예방하는 방법이라고 판단된다.



제4장 염분변화에 따른 참전복의 아가미 조직 변화

1. 서 설

물리·화학적인 스트레스에 노출된 수서생물들은 세포 내 생화학적 및 생리학적인 역기능이 발생하게 되고, 이후 세포는 죽게 된다. 하지만 생화학적 적응을 하게 되는 경우 크게 두 가지 경향으로 나뉘게 된다. 하나는 생화학적인 적응을 통해 새로운 생리반응이 나타나게 되어 세포와 조직의 형태학적인 변형을 일으킴으로써 생물의 전체적인 변화를 야기하게 된다. 또 다른 하나는 DNA의 변형으로 종양이 생성되게 되는데, 이 경우에는 종양에 의해서 사망하거나 그 상태로 살아가기도 한다(SETAC, 1992). 일반적으로 스트레스를 받게 되면 생체 내에 활성산소(superoxide, hydrogen peroxide, peroxy radical, hydroxy radical 등)가 발생하는 것으로 알려져 있다. 활성산소는 생체 내에서 다른 물질과 결합하려는 화학적 산화력이 강해서, 세포나 기관의 막을 공격하여 세포의 기능을 손상 시킨다(Ferraris et al., 2002). 이러한 활성산소에 대하여 체내에서는 항산화 효소인 superoxide dismutase (SOD) 등을 생성하여 세포기능 손상을 막는 것으로 알려졌으며(Chance et al., 1979; Wendel and Feuerstein, 1981), 이러한 항산화 효소는 온도 변화에 의해 효소활성이 증가하는 것으로 보고되어 있다(Parihar et al., 1996). 연안에서 염분의 변화는 계절에 따라 다르며, 비록 짧은 기간 동안 염분의 변화에 노출되었다 할지라도 생물의 반응은 생물의 종류에 따라 다양하게 나타난다. 대부분의 패류들은 근본적으로 50-150‰ 해수의 범위에서는 등장성(isomotic)이며(Tucker, 1970), 염분 감소에 따라 심장 박동수, 산소소비 유형, 암모니아 배설 및 아미노산 등의 생리적 변화를 수반한다(Pierce and Greenberg, 1972). 또한, 염분의 변화는 세포

내 수분과 염류 출입 간의 일정한 균형 상태를 파괴하며, 염분이 급격하게 변하면 세포용적과 관련된 대사율의 감소를 줄이기 위하여 즉시 폐각을 닫는 행동반응을 보이며, 해양환경에서 물리, 화학적인 스트레스는 호흡을 비롯한 다양한 생리적인 변화와 함께 기관계의 구조적 변화를 유도하여 기능적인 장애를 초래한다는 결과가 여러 연구자에 의해 보고되어 있다(Rasmussen et al., 1983; Sunila and Lindström, 1985; Hinch and Stephenson, 1987; Regoli and Orlando, 1994; Gauthier-Clerc et al., 2002; Quinn et al., 2004). 그러나 물리적인 요인 중에서 염분 스트레스가 참전복 치패의 아가미조직에 미치는 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 아가미 조직의 변화를 관찰하여 저염분이 참전복 치패에 미치는 영향 등을 파악하고 염분에 의한 폐사 원인 구명에 필요한 자료로 활용하기 위해 수온별, 염분별 노출시간에 따른 아가미 조직학적 변화를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 실험전복 및 염분변화

실험에 사용한 전복은 전라남도 완도의 육상양식장에서 양성 중인 참전복 치패를 부산 기장군 국립수산물과학원 양식관리과 사육실로 운반하여 1.2톤 유수식 원형 수조에 수용하였다. 수송해 온 전복은 사육환경 변화에 의한 스트레스를 최소화하기 위하여 2주간 다시마와 미역을 충분히 공급하면서 안정시킨 후 실험에 사용하였다.

참전복의 수온 및 염분별 노출시간에 따른 아가미의 조직학적 변화를 알아보기 위하여, 수온 15, 20 및 25°C, 염분 35 psu에서 사육중인 전복을 각각의 수온 (15, 20 및 25°C)과 염분별(35, 30, 25, 20 및 15 psu) 해수에 수용하여 노출 3, 6, 12, 24 및 48시간 노출 후 각각의 실험구에서 20개체씩 채집하여 아가미를 표본하였다. 실험에 사용한 참전복의 크기는 평균 각장은 29.8 ± 0.3 mm이며, 평균전중은 2.8 ± 0.1 g이었다.

2-2. 조직학적 분석

수온 및 염분별 노출시간에 따른 참전복 치패에 대한 아가미의 조직학적 변화를 알아보기 위하여, 수온 15, 20 및 25°C, 염분 35, 30, 25, 20 및 15 psu, 노출 3, 6, 12, 24 및 48시간째 전복의 아가미를 절취하여 Bouin's 용액(picric acid 포화수용액 75 mL, 40% formalin 25 mL, glacial acetic acid 5 mL)에 24시간 동안 고정시켰다. 이후 24시간 동안 흐르는 물로 수세한 다음 70, 80, 90, 95, 100% ethanol (Sigma, USA) I · II, 100% 자일렌 (Sigma, USA) I · II 과정을 1시간씩 단계적으로 거쳐 탈수 · 투명화 하였다. 탈수 · 투명 과정을 거친 아가미 조직을 60°C의 용해된 paraplast (McCormick, USA)에 1시간 동안

진공 침투법으로 조직내에 파라핀을 침투시켰다. 파라핀을 침투시킨 조직은
포매하여 5 μm 두께로 연속 절편한 다음, hematoxylin-eosin (H-E) 비교염색
을 실시하여 광학현미경(BX50, Olympus, Japan)으로 관찰하였다.



3. 결 과

3-1. 수온 15℃에서 염분변화에 따른 아가미의 조직상

수온 15℃에서 염분별 노출시간에 따른 참전복 치패에 대한 아가미의 조직학적 변화를 알아보기 위하여 염분 30, 25 및 15 psu의 해수에 3, 6, 12, 24 및 48시간 동안 노출시킨 결과는 Figs. 20~23에서 보는 바와 같다.

30 psu에 3, 6 및 12시간 동안 각각 노출시킨 전복 아가미의 형태는 대조구(Figs. 20-A~C)와 큰 차이를 보이지 않았으나, 노출 24시간 이후에는 대조구에 비해 아가미가 조금 팽창되어 있었다(Fig. 20-D).

25 psu에 3시간 노출시킨 전복 아가미의 형태는 대조구(Fig. 21-A)와 비슷하였으나, 6시간째에는 대조구에 비해 새변이 팽창되어 있었다(Fig. 21-B). 12시간째(Fig. 21-C)에는 6시간째 보다 새변이 더 많이 팽창되어 있었으나, 24시간째에는 팽창된 새변이 점차 줄어들었다. 48시간째(Fig. 21-D)에는 팽창되었던 새변이 노출 3시간째와 비슷한 크기로 줄어들었으나, 손상된 세포들이 일부 관찰되었다.

20 psu에 3시간 노출시킨 전복의 아가미는 대조구(Fig. 22-A)에 비해 약간 팽창되어 있었다. 6시간째(Fig. 22-B)에는 노출 3시간째 보다 좀 더 팽창되어 있었으며, 12시간째(Fig. 22-C)에는 일부 손상된 세포가 관찰되었다. 24시간째와 48시간째(Fig. 22-D)에는 대부분의 새변이 손상되어 있었다.

15 psu에 노출시킨 전복의 아가미는 노출 3시간째(Fig. 23-B)에 대조구(Fig. 23-A)에 비해 조금 팽창되어 있었으며, 일부에서는 공포화된 새변도 관찰되었다. 12시간 이후(Figs. 23-C, D)에는 대부분의 새변이 손상되었다. 48시간째에는 모든 전복이 폐사하여 샘플을 할 수 없었다.

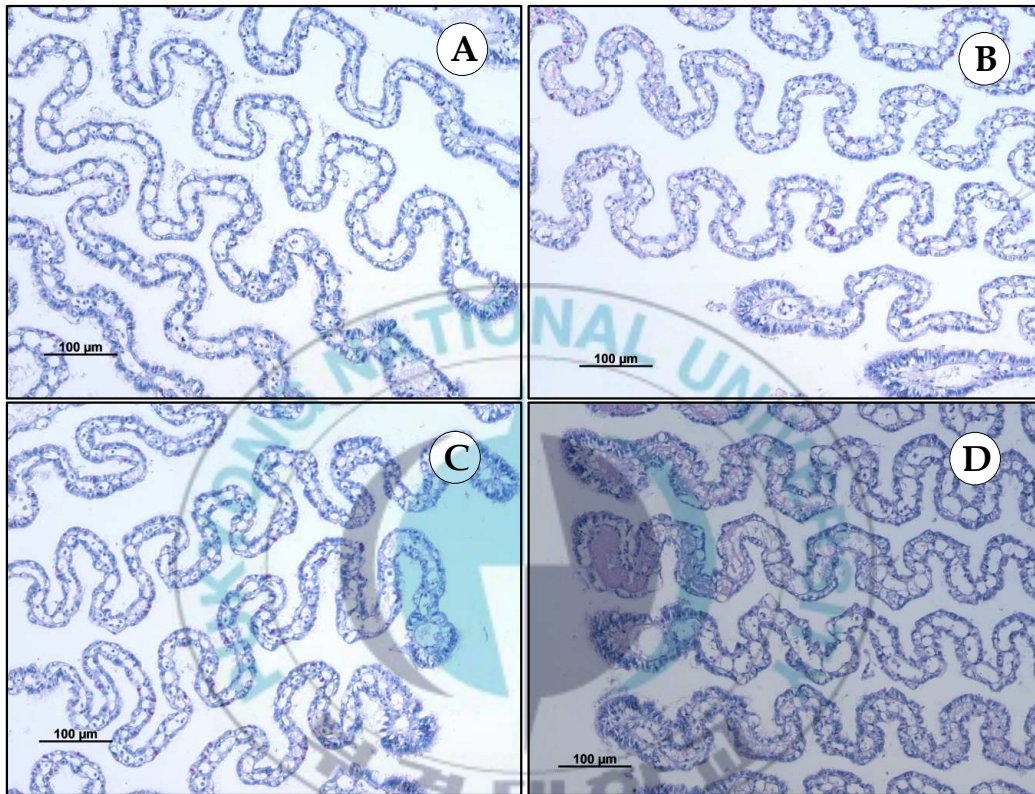


Fig. 20. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 30 psu and 15°C. A: control, B: 3 and 6 hours, C: 12 and 24 hours, D: 48 hours. Scale bars: 100 µm.

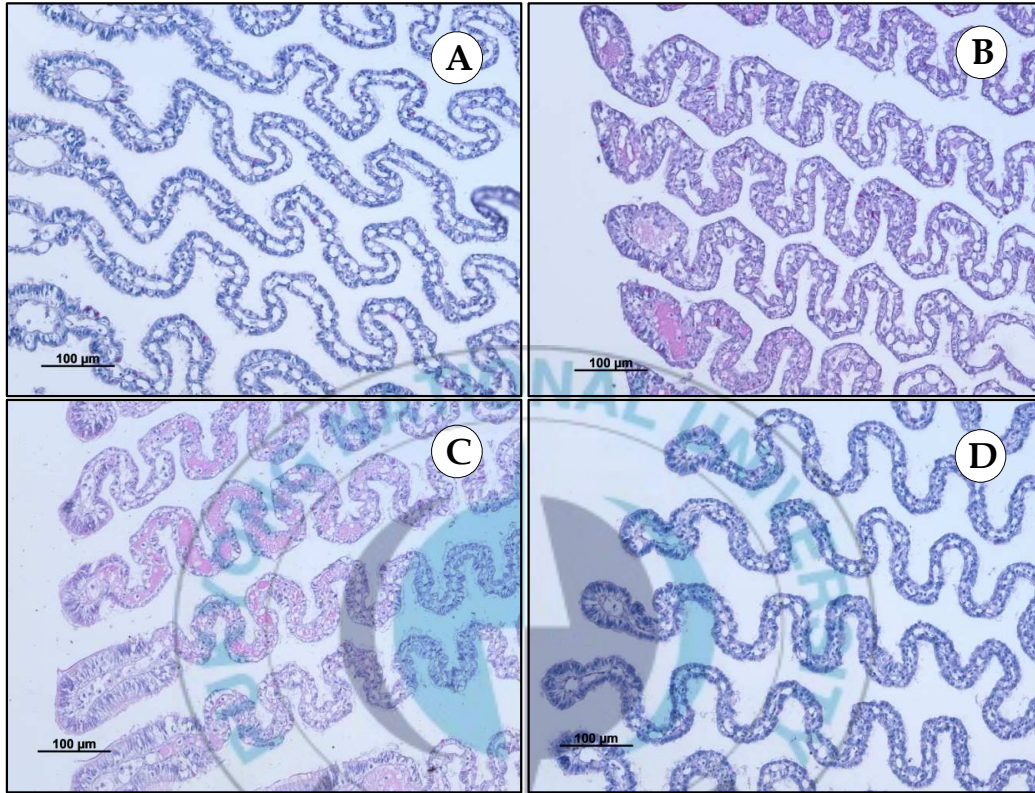


Fig. 21. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 25 psu and 15°C. A: control and 3 hours, B: 6 hours, C: 24 hours, D: 48 hours. Scale bars: 100 μm.

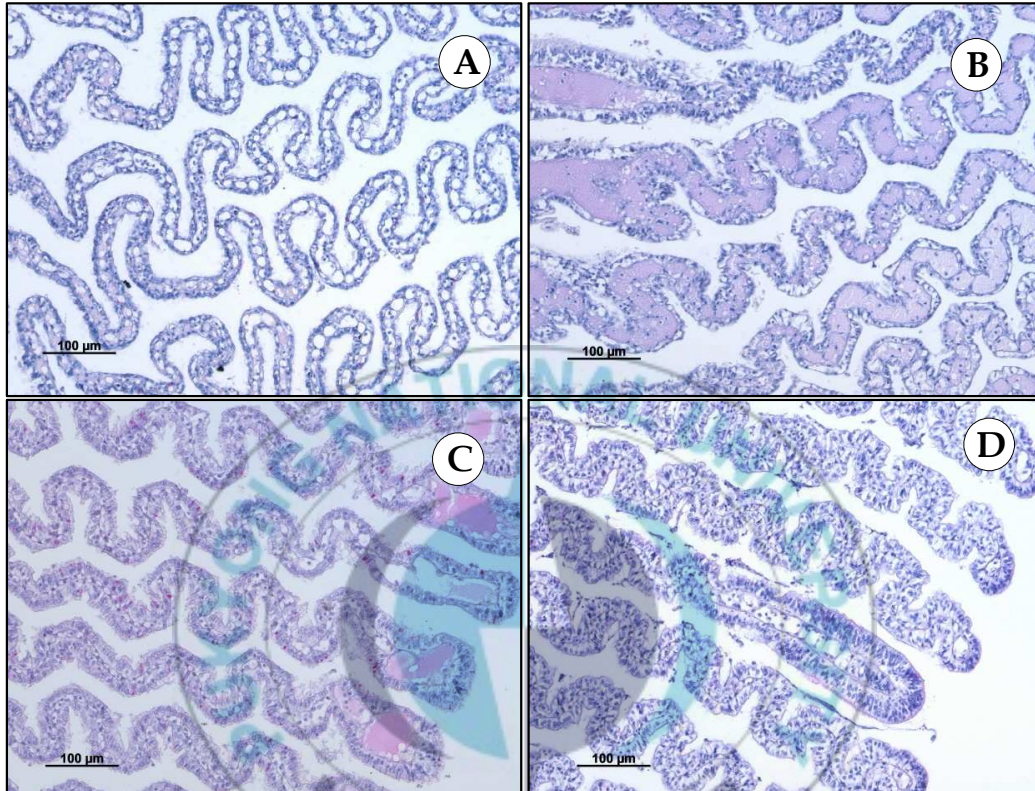


Fig. 22. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 20 psu and 15°C. A: control, B: 6 hours, C: 12 hours, D: 24 and 48 hours. Scale bars: 100 µm.

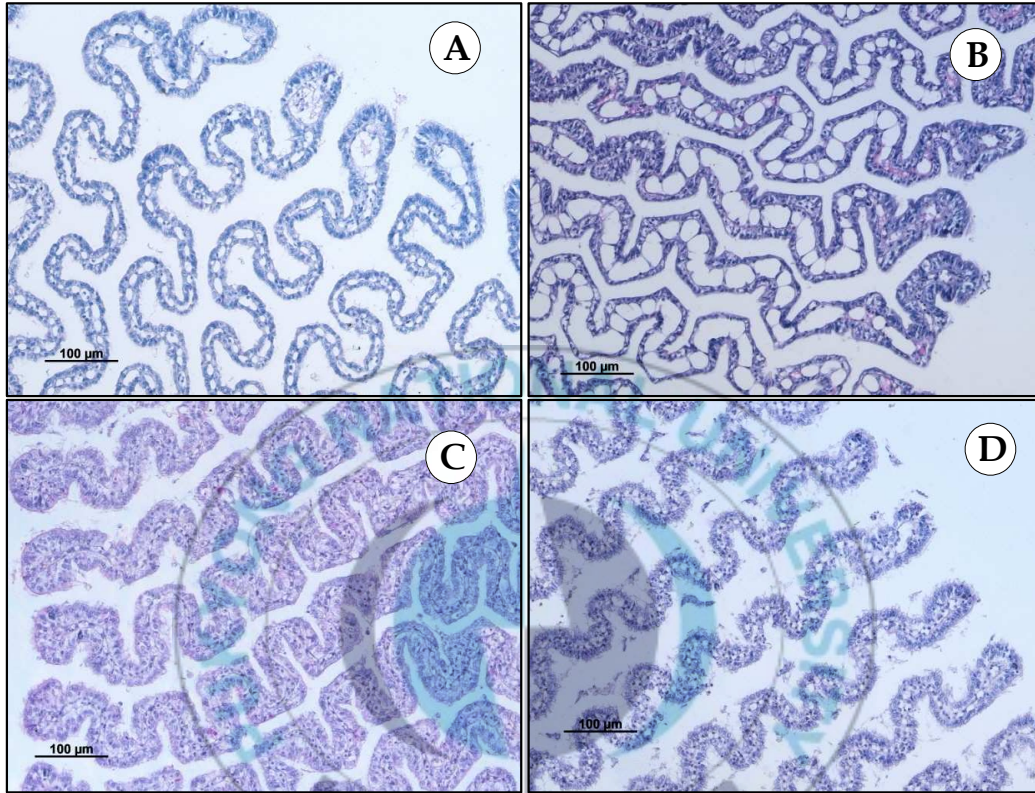


Fig. 23. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 15 psu and 15°C. A: control, B: 3 hours, C: 12 hours, D: 24. Scale bars: 100 µm.

3-2. 수온 20℃에서 염분변화에 따른 아가미의 조직상

수온 20℃에서 염분별 노출시간에 따른 참전복 치패에 대한 아가미의 조직학적 변화를 알아보기 위하여 염분 30, 25 및 15 psu의 해수에 각각 3, 6, 12, 24 및 48시간 동안 노출시킨 결과는 Figs. 24~27에서 보는 바와 같다.

30 psu에 3, 6시간 동안 각각 노출시킨 전복의 아가미의 형태(Fig. 24-B)는 대조구(Fig. 24-A)와 큰 차이를 보이지 않았으나, 노출 12시간째(Fig. 24-C)에는 대조구에 비해 조금 팽창되어 있었다. 노출 24시간 이후에는 팽창되었던 새변이 점차 줄어들었다(Fig. 24-D).

25 psu에 3, 6시간 노출시킨 전복 아가미의 형태는 대조구(Fig. 25-A)와 비슷하였으나, 12시간째(Fig. 25-B)에는 대조구에 비해 새변이 팽창되어 있었다. 24시간째(Fig. 25-C)에는 손상된 새변이 일부 관찰 되었으며, 48시간째(Fig. 25-D)에는 손상된 새변이 많이 관찰되었다.

20 psu에 3, 6시간 노출시킨 전복의 아가미는 대조구(Fig. 26-A)와 비슷하였으나, 12시간째(Fig. 26-B)에 새변의 일부가 손상된 것이 관찰되었다. 노출 48시간째(Figs. 26-C, D)에는 대부분의 새변이 손상되어 있었다.

15 psu에 노출시킨 전복의 아가미는 노출 3시간째(Fig. 27-B)에 대조구(Fig. 27-A)에 비해 조금 팽창되어 있었다. 12시간 이후(Figs. 27-C, D)에는 대부분의 새변이 손상되었으며, 48시간째에는 모든 전복이 폐사하여 샘플을 할 수 없었다.

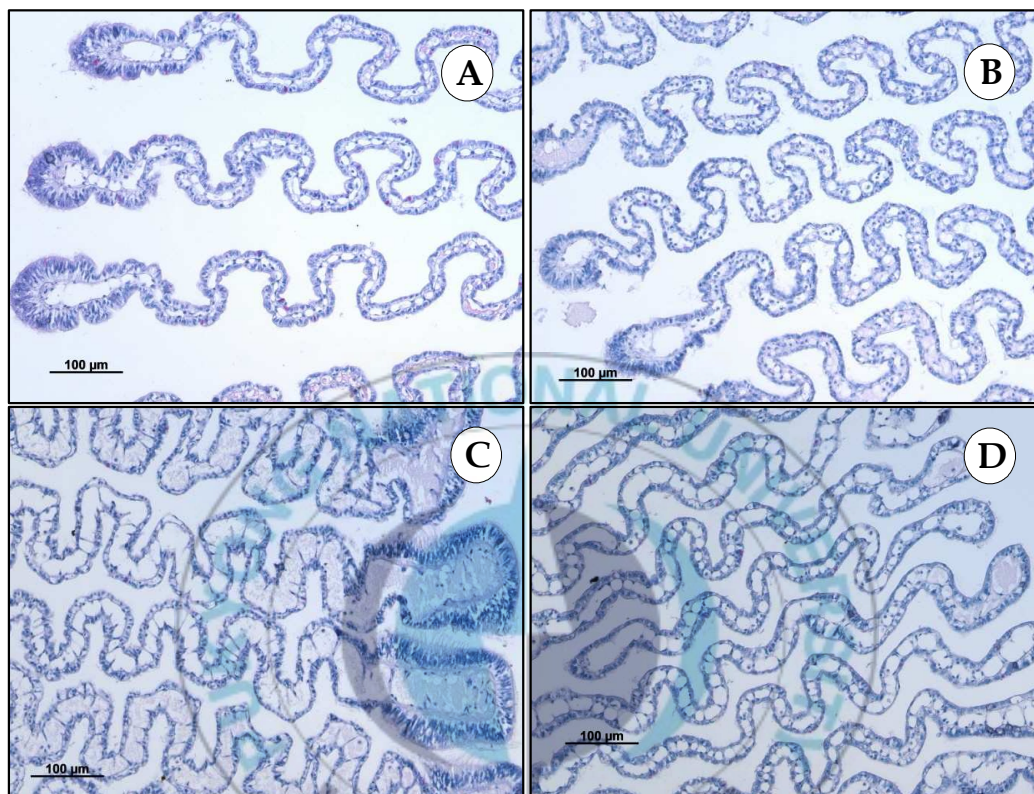


Fig. 24. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 30 psu and 20°C. A: control, B: 3 and 6 hours, C: 12 hours, D: 24 and 48 hours. Scale bars: 100 µm.

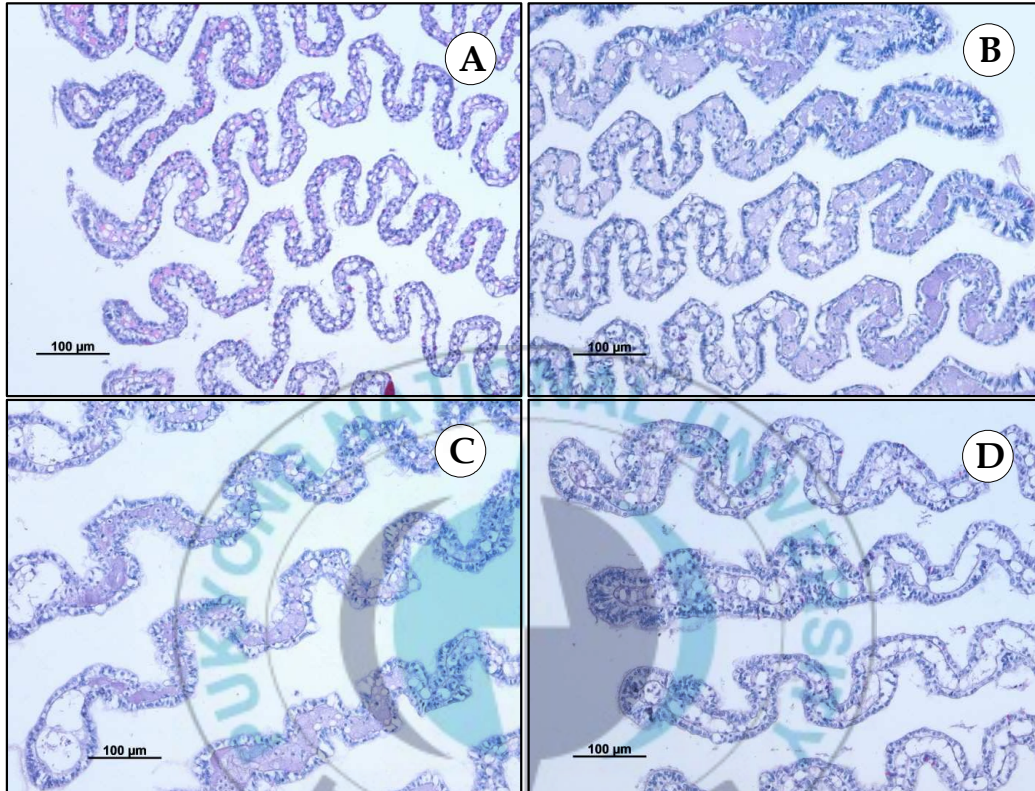


Fig. 25. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 25 psu and 20°C. A: control, B: 12 hours, C: 24 hours, D: 48 hours. Scale bars: 100 µm.

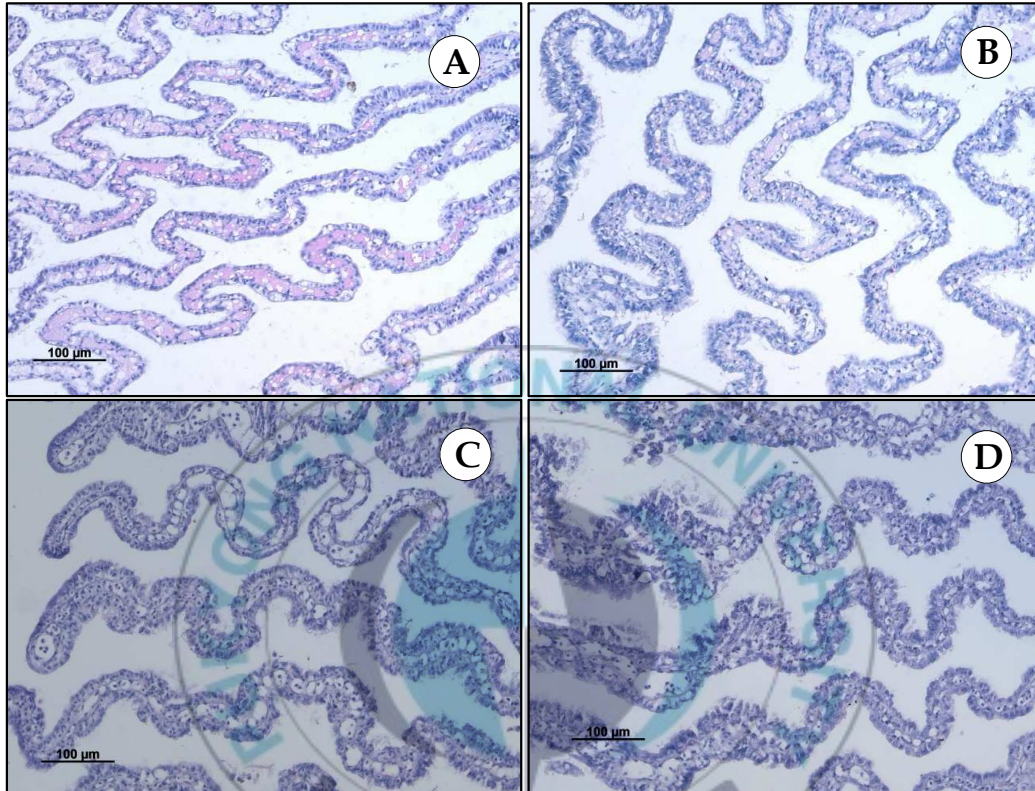


Fig. 26. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 20 psu and 20°C. A: control, B: 12 hours, C: 24 hours, D: 48 hours. Scale bars: 100 μm.

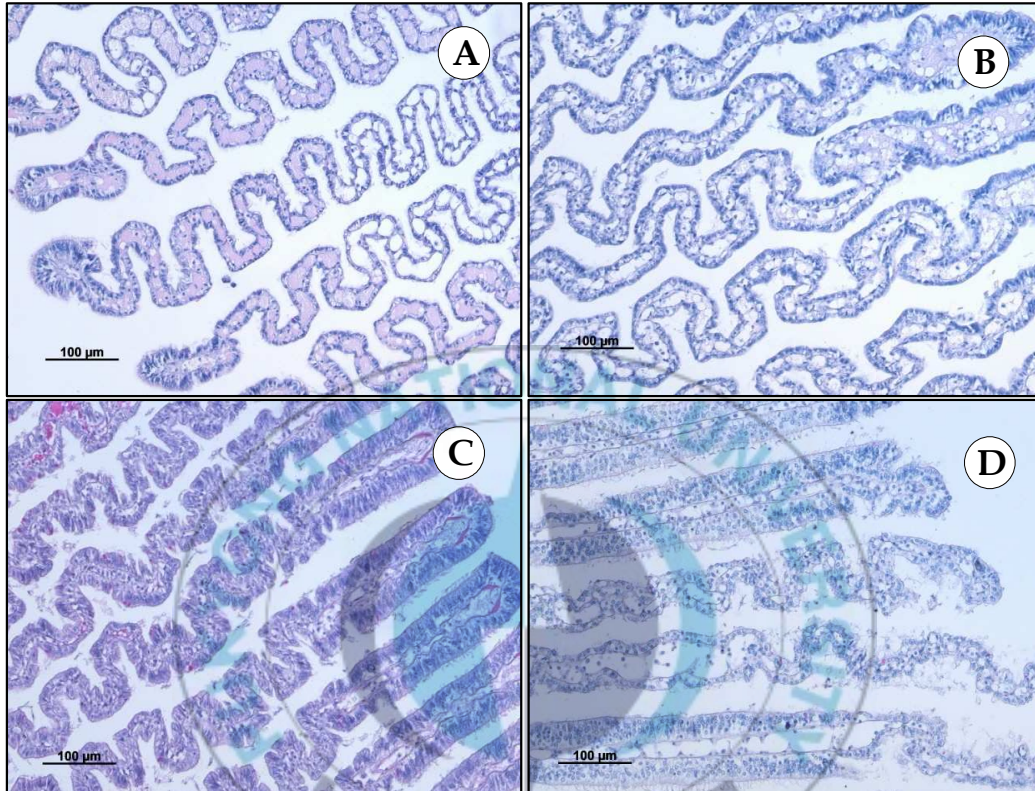


Fig. 27. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 15 psu and 20°C. A: control, B: 3 hours, C: 12 hours, D: 24 hours, F: 48 hours. Scale bars: 100 μm .

3-3. 수온 25℃에서 염분변화에 따른 아가미의 조직상

수온 25℃에서 염분별 노출시간에 따른 참전복 치폐에 대한 아가미의 조직학적 변화를 알아보기 위하여 염분 30, 25, 20 및 15 psu의 해수에 각각 3, 6, 12, 24 및 48시간 동안 노출시킨 결과는 Figs. 28~31에서 보는 바와 같다.

30 psu에 노출시킨 전복의 아가미는 각각의 노출시간(3, 6, 12, 24 및 48시간) 동안 대조구(Fig. 28-A)와 큰 차이를 보이지 않았다(Figs. 28-B~D).

25 psu에 3시간 노출시킨 전복의 아가미는 대조구(Fig. 29-A)와 비슷하였으나, 6시간째(Fig. 29-B)에는 대조구에 비해 새변이 팽창되어 있었다. 12시간째(Fig. 29-C)에는 6시간째 보다 좀 더 팽창되어 있었으나, 24시간 이후(Fig. 29-D)에는 팽창된 새변이 대조구와 비슷한 상태를 유지하고 있었다.

20 psu에 3, 6시간 노출시킨 전복의 아가미(Fig. 30-B)는 대조구(Fig. 30-A)와 비슷하였으나, 12시간 이후(Figs. 30-C, D)에는 대조구에 비해 새변이 팽창되어 있었다.

15 psu에 노출시킨 전복의 아가미는 3시간째에 대조구(Fig. 31-A)와 비슷하였으나, 6시간째(Fig. 31-B)에는 일부 손상된 새변이 관찰되었다. 12시간 이후(Figs. 31-C, D)에는 대부분의 새변이 손상되었으며, 48시간째에는 모든 전복이 폐사하여 샘플을 할 수 없었다.

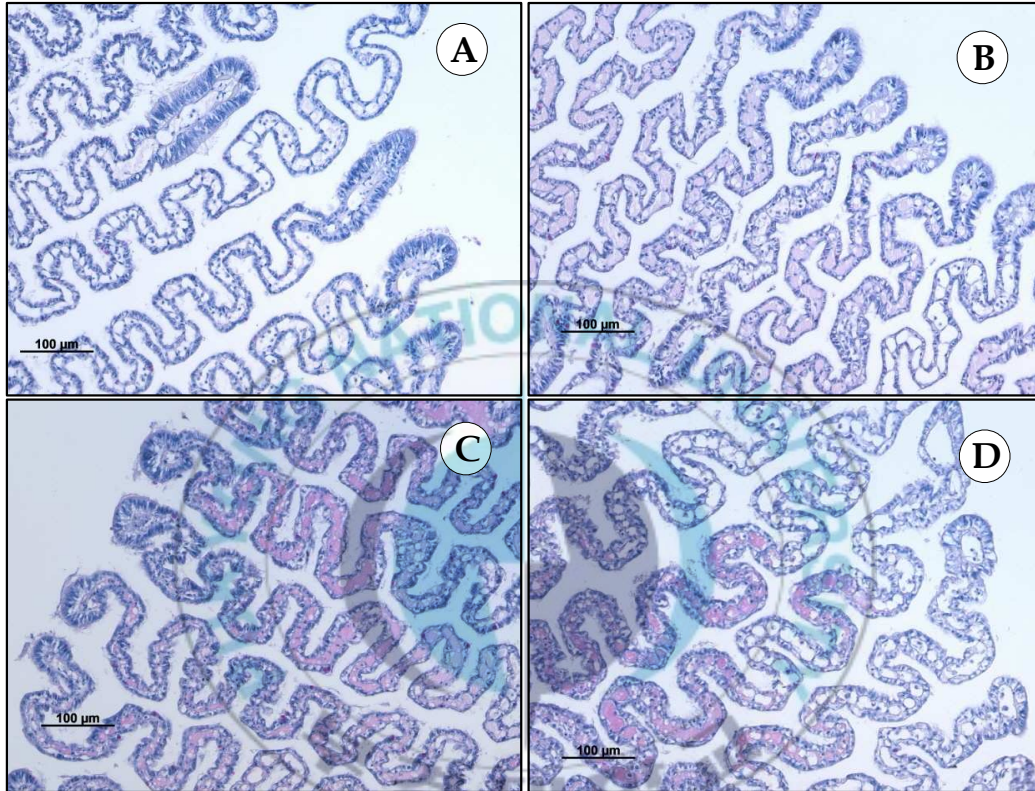


Fig. 28. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 30 psu and 25°C. A: control, B: 6 hours, C: 12 hours, D: 48 hours. Scale bars: 100 µm.

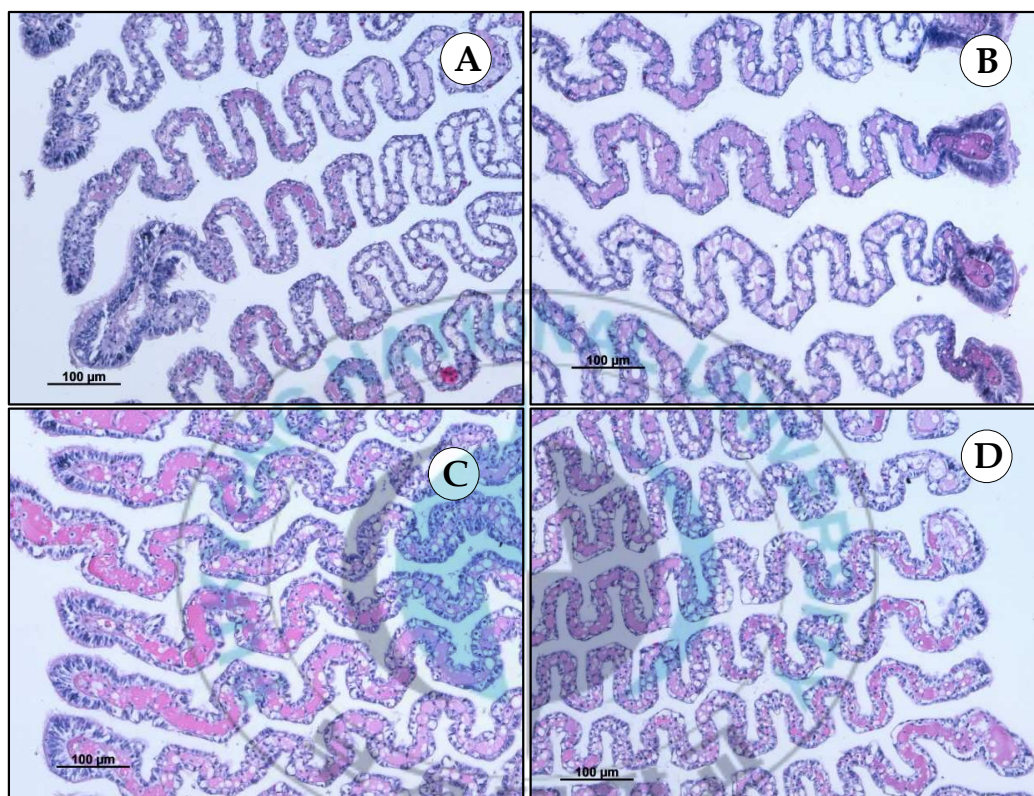


Fig. 29. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 25 psu and 25°C. A: control, B: 6 hours, C: 12 hours, D: 24 hours. Scale bars: 100 µm.

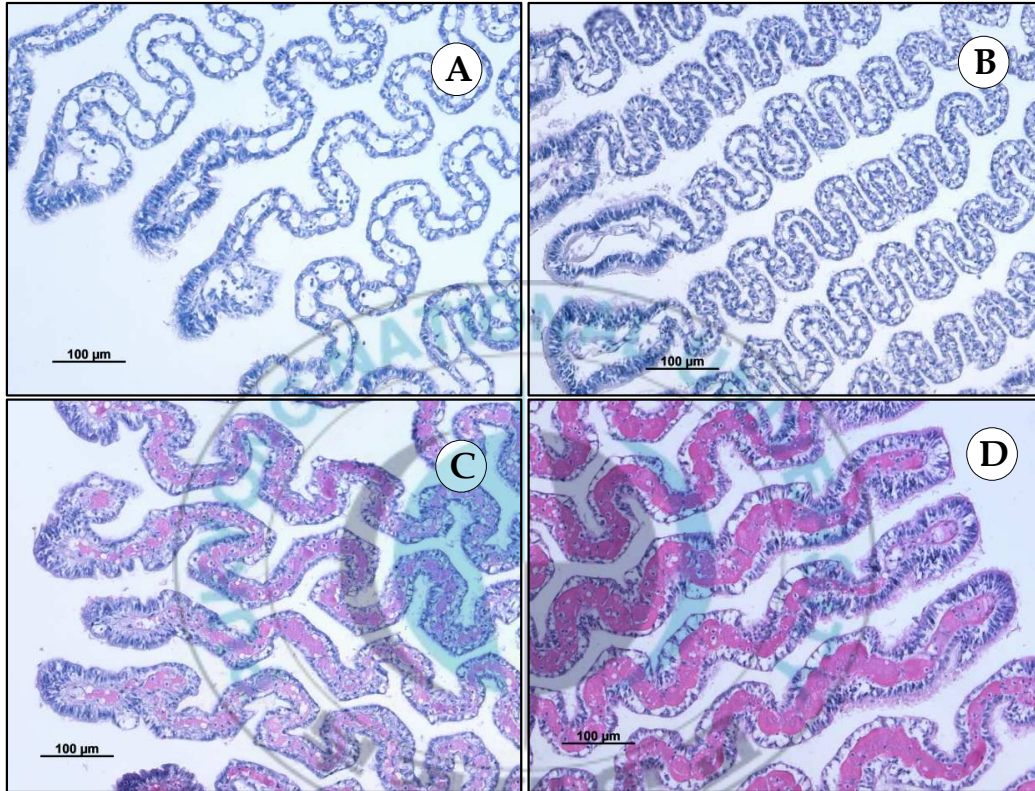


Fig. 30. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 20 psu and 25°C. A: control, B: 6 hours, C: 12 hours, D: 48 hours. Scale bars: 100 µm.

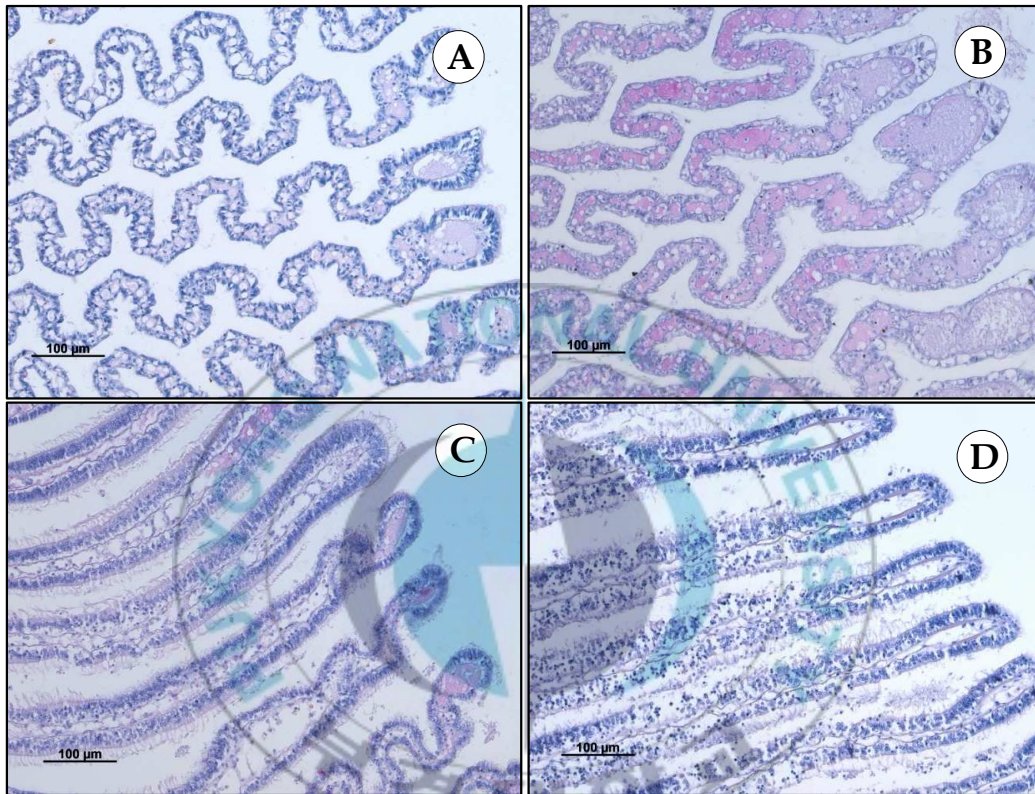


Fig. 31. Photomicrographs of gill filaments change of abalone *Haliotis discus hannai* according to exposure time at 15 psu and 25°C. A: control, B: 6 hours, C: 12 hours, D: 24 hours. Scale bars: 100 µm.

4. 고 찰

많은 환경 연구자들은 환경의 변화를 알아보기 위해 **biomarker**를 사용하고 있다. Biomarker란 실내 노출 혹은 자연환경으로부터 식물과 미세유기물을 포함하는 모든 생물의 물리, 화학적인 스트레스에 의한 영향을 평가하기 위한 조건들을 의미하며, 일반적으로는 작은 단위의 생물학적 기본 구조를 대상으로 하고 있다. Biomarker 중에서 조직병리학적 지표들은 *in vivo* 상태에서 한 가지 혹은, 그 이상의 스트레스에 영향을 받은 특정 기관이나 세포의 변화를 관찰하는 것이다. 따라서 상대적으로 환경 오염물질에 대한 영향을 확인하기 쉽고, 생물들의 건강성을 확인할 수 있으며, 자원학적으로 미래의 상황을 예상할 수 있다(SETAC, 1992). 또한, 조직병리학적 지표들은 호흡 및 먹이섭취, 생식 그리고 행동 등과 같은 생리학적 biomarker등과 연관하여 생리학적 장애의 원인을 규명할 수 있으며, 비정상적인 세포의 출현은 분자생물학적인 biomarker를 이용하여 그 원인을 설명할 수 있다.

어류의 경우 조직병리학적인 증상들은 질병 및 오염물질에 대한 1차적인 반응이기 때문에 국외에서 시행되고 있는 모니터링 프로그램에서는 모니터링 이후 오염원의 실내 실험을 통해서 모니터링의 결과로 얻어진 조직병리학적인 증상들을 질병에 의한 것인지 혹은, 물리, 화학적인 스트레스에 의한 것인지를 구분한다(NSTF, 1990; Kimbrough et al., 2008). 본 연구에서 염분변화에 따라 참전복 치패의 아가미 조직에 대한 변화를 통하여 염분 스트레스에 대한 영향을 확인할 수 있었다. 수온 및 염분별 노출시간에 따른 아가미 조직을 관찰한 결과, 15℃, 30 psu에서는 12시간 동안 아가미 조직의 형태적 차이는 보이지 않았으나, 25 psu에서는 노출 6시간, 20, 15 psu에서는 노출 3시간째에 아가미가 팽창하는 것이 관찰되어 염분이 낮아질수록 조직이 팽창하고 세포가 파괴

되는 등 아가미 조직이 빠르게 변형되는 것이 관찰되었다. 따라서 염분변화시 아가미 조직의 파괴는 전복이 폐사하는 주요 원인중 하나로 판단된다. 전복과 같은 협염성 생물은 서식지 염분변화에 대한 적응력이 매우 낮고, 부착이동성의 생활특성을 갖고 있어 염분변화에 대하여 도피 등 능동적인 반응을 나타낼 수 없다. 이러한 이유로 협염성 생물은 세포외 환경(extracellular environment) 변화에 대하여 항상적인 세포내 환경(intracellular environment)을 유지하기 위한 다양한 세포내 생리반응을 일으켜 왔다. 이러한 환경에 대한 생물학적 반응은 부착성 해산 연체동물의 환경변화를 분석하기 위한 주요 지표로 이용되고 있다(Rittschof and McClellan-Green, 2005; Zaccaron da Silver et al., 2005). 서식장소의 수온, 염분, 용존산소 및 먹이 생물량 등과 같은 환경요인은 비단가리비 *Chlamys farreri*의 생리·생태에 직·간접적으로 영향을 미치며, 그 중 수온은 대사작용과 먹이섭취, 에너지수지 등에 직접적으로 작용한다(Newell and Kofoed, 1977). 또한, 염분은 해양생물의 삼투압조절 능력에 따라 분포와 생리적 대사기능에 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다(Kinne, 1966).

염분별 노출시간에 따른 참전복 치패의 아가미 조직변화를 관찰한 결과 낮은 염분에서는 노출 3시간 이후 아가미의 색변·팽창이 관찰되었으며, 노출 6시간 이후부터 손상된 조직이 관찰되었다. 즉, 염분이 낮을수록 수온이 높을수록 아가미 조직변화가 크게 나타났으며, 시간이 경과할수록 세포가 파괴되는 등 손상조직이 확대되어, 수온이 높은 여름철 낮은 염분이 참전복 치패에 미치는 영향은 매우 클 것으로 예상되며, 낮은 염분은 수온과 더불어 참전복의 생존은 물론 참전복 치패의 폐사에 직접적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

제5장 염분변화에 따른 참전복의 체성분 변화

1. 서 설

제 2장의 결과에서 알 수 있는 것처럼 참전복은 환경수의 생존 가능한 염분 범위가 좁은 협염성 복족류이다. 따라서 장마철 폭우나 강 상류지역의 홍수에 따른 연안역의 염분변화에 많은 영향을 받고 있다. 일반적으로 사육수의 염분 변화는 어체의 스트레스 요인으로 작용하여 삼투압 조절이 불안정해 지는데 (Mazeaud et al., 1977), 이렇게 스트레스에 노출된 어체는 일반적으로 3가지 반응을 나타낸다. 1차 반응으로 시상하부-교감신경-크롬친화성세포축과 시상하부-뇌하수체-간신선축의 활성이 높아지며, 이들 축은 각각 카테콜아민과 cortisol을 혈중으로 분비한다(Schreck et al., 1989; Perry and Reid, 1993; Chang and Hur, 1999). 2차적으로 혈액과 조직에서 카테콜아민과 cortisol의 작용으로 인해 호흡수, 산소소비, 에너지동원의 증가, 물-이온의 평형이 깨지게 된다(Tomasso et al., 1980; Eddy, 1981; Carmichael et al., 1984; McDonald and Milligan, 1997). 이러한 결과는 3차적으로 성장, 번식의 억제 및 면역력 감소 등을 초래하는 것으로 알려져 있다(Wedemeyer and Yasutake, 1977).

일반적으로 전복류는 어류와 다른 생리적 특성을 보이므로, 염분과 같은 환경변화에 대해 나타내는 스트레스 반응도 매우 다를 것으로 생각된다. 그러나 양식 참전복의 성장이나 생존과 직결되는 참전복의 스트레스 반응에 대한 연구 결과는 매우 제한되어 있다. 따라서 치패의 성장기가 길고, 이 기간 동안 성장에 대한 변수가 많은 특성을 가지므로(Day and Fleming, 1992), 생산을 최대화하는 데 기여할 수 있기 위하여 참전복의 성장과 생존에 영향을 주는 요소들을 이해하는 것이 필요하다(Huchette et al., 2003). 국내에서는 참전복

(Kim et al., 2005) 및 시볼트전복(Kim et al., 2006)을 이용하여 환경 스트레스로 발생하는 생리적 변화 등을 연구바 있으며, 북방전복의 경우, 수온 스트레스에 의한 생리적 변화를 조사하였다(Kim et al., 2005).

어류의 경우 염분이 낮고 강우량에 따라 염분 변화가 심한 경우 1차적으로 스트레스를 받고 장기간 노출되는 경우 체조성이나 맛에도 영향을 미치고 있다(Lim et al., 2012). 이전의 일부 연구에서도 염분과 온도 등 외부환경 요인이 어류 근육의 물리·화학적 특성변화에 영향을 미친다고 알려져 있다(Yoon et al., 1996; Imsland et al., 2001; Krogdahl et al., 2004; Xu et al., 2010). 따라서 본 연구에서는 수온 및 염분 변화가 참전복의 체성분 조성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 참전복의 가식부에 대하여 수분, 조지방, 조단백질, 조회분 등의 함량 변화를 조사하였고, 단백질의 구성 아미노산 조성의 변화를 측정하였다.

2. 재료 및 방법

2-1. 실험재료 및 염분변화

실험에 사용한 참전복 치패는 전라남도 완도의 육상양식장에서 양성 중인 1년생으로 부산 기장군 국립수산물과학원 양식관리과 사육실로 운반하여, 1.2톤 유수식 원형 수조에 수용하였다. 수송해 온 전복은 실험 전 사육환경 변화에 의한 스트레스를 최소화하기 위하여 2주간 다시마 및 미역을 충분히 공급하면서 안정시킨 후 실험에 사용하였다.

참전복의 수온 및 염분변화에 따른 체성분 변화를 알아보기 위하여, 수온 15, 20 및 25℃, 염분 35 psu에서 사육중인 전복을 15, 20 및 25℃, 35, 30, 25, 20 및 15 psu의 해수에 각각 20개체씩 수용하여 24시간 후에 채집하였다. 채집한 전복은 가식부를 절취한 후, 분석 전까지 -80℃ 초저온냉동고에 보관하였다. 각각의 실험에 사용한 전복의 크기는 평균 각장 26.6 ± 0.9 mm, 평균전중 2.1 ± 0.2 g이었다.

2-2. 체성분 분석

전복 가식부의 수분은 105℃에서 2시간 건조 후 측정하였으며, 조단백질(N $\times$ 6.25)은 Auto Kjeldahl System (Gerhardt VAP500T/TT125, KG, Germany)을 사용하여 분석하였다. 조지방은 조지방 추출기(Velp SER 148, Usmate, Italy)를 사용하여 ether로 추출한 후 측정하였으며, 조회분은 550℃에서 6시간 동안 회화 후 측정하였다. 구성 아미노산의 조성은 6N-HCl 용액으로 생육을 분해한 후 구연산완충용액으로 정량하여 아미노산자동분석기(Biochrom-30, Netherland)를 사용하여 분석하였다.

2-3. 통계처리

모든 측정값은 평균±표준오차로 나타냈으며, 유의차는 SPSS-통계패키지 (version 12.0)를 이용하여 independent samples t-test와 one-way ANOVA-test로 검정하였으며, 집단간의 다중비교는 Duncan's multiple range test에 의해 검정하였다.



3. 결 과

3-1. 염분변화에 따른 가식부의 일반성분

수온 15, 20 및 25℃, 염분 35, 30, 25, 20 및 15 psu에서 참전복 치패에 대한 가식부의 일반성분인 수분, 조단백질, 조지방 및 조회분 함량은 Figs. 32~35에 나타내었다.

3-1-1. 수분

수온 15℃, 염분 35, 30, 25, 20 및 15 psu에서 전복 가식부의 수분 함량은 각각 82.1 ± 0.7 , 82.5 ± 0.7 , 84.9 ± 0.5 , 86.9 ± 0.3 및 $86.6 \pm 0.4\%$ 로, 35 psu와 30 psu는 유의한 차이가 없었으나($P > 0.05$), 25 psu 이하에서는 대조구인 35 psu 보다 유의하게 높았다($P < 0.05$). 20℃에서 35 psu부터 15 psu까지의 수분 함량은 각각 80.5 ± 0.8 , 80.9 ± 0.4 , 81.2 ± 0.7 , 82.3 ± 0.3 및 $84.7 \pm 0.4\%$ 로, 35, 30 및 25 psu는 유의한 차이가 없었으나($P > 0.05$), 20 psu 이하에서는 대조구인 35 psu 보다 유의하게 높았다($P < 0.05$). 25℃에서 35 psu부터 15 psu까지의 수분 함량은 각각 80.2 ± 0.9 , 80.9 ± 0.4 , 81.2 ± 0.7 , 82.3 ± 0.3 및 $84.7 \pm 0.4\%$ 로, 35, 30 및 25 psu는 유의한 차이가 없었으나($P > 0.05$), 20 psu 이하에서는 대조구인 35 psu 보다 유의하게 높았다($P < 0.05$) (Fig. 32).

35, 30 psu에서 수온별(15, 20 및 25℃) 유의한 차이가 없었으나, 25, 20 및 15 psu에서 15℃로 사육한 참전복 치패의 가식부 수분 함량은 20, 25℃ 보다 유의하게 높았다($P < 0.05$) (Fig. 32).

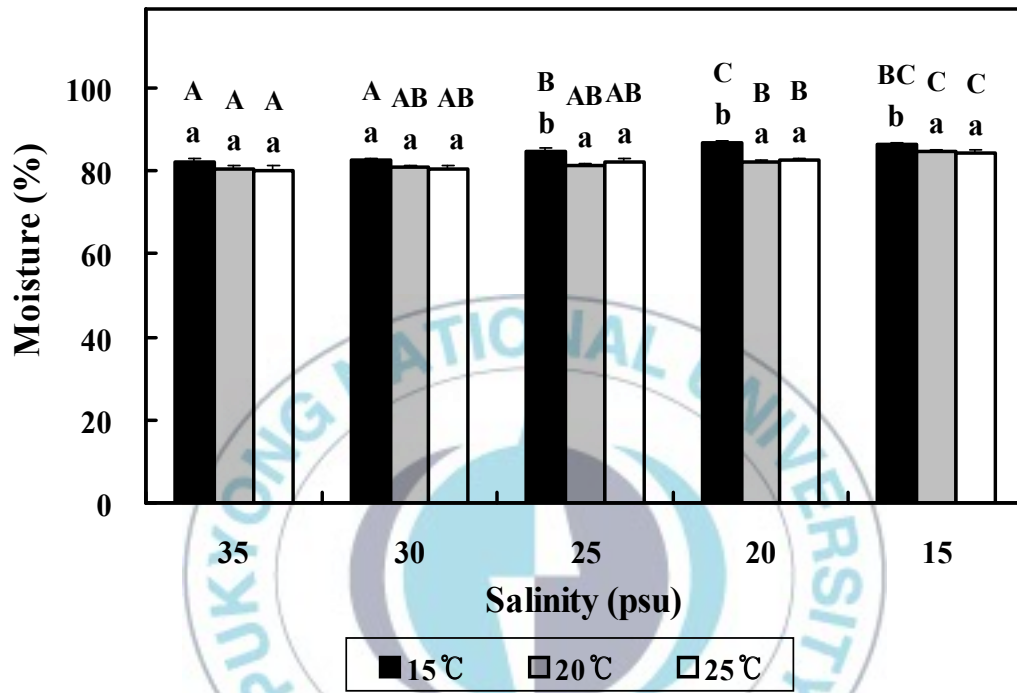


Fig. 32. Moisture (%) of muscle in abalone *Haliotis discus hannai* under different salinity and water temperature. Different small letters indicate significant differences of moisture between water temperature at each salinity ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of moisture between salinity at each water temperature ($P < 0.05$).

3-1-2. 조단백질

수온 15℃, 염분 35, 30, 25, 20 및 15 psu에서 참전복 치패에 대한 가식부의 조단백질 함량은 각각 11.1 ± 0.7 , 11.5 ± 1.0 , 10.9 ± 0.8 , 13.7 ± 0.7 및 $12.3 \pm 1.4\%$ 로 나타나, 35, 30 및 25 psu 보다 20, 15 psu에서 수치적으로 높았다. 그러나 통계적으로는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 20℃에서 35 psu부터 15 psu까지 가식부의 조단백질 함량은 각각 12.1 ± 0.5 , 12.2 ± 0.8 , 12.8 ± 0.5 , 14.6 ± 1.1 및 $14.5 \pm 0.4\%$ 로 나타나, 35, 30 및 25 psu는 큰 차이를 보이지 않았으나, 20, 15 psu에서는 대조구인 35 psu 보다 유의하게 높았다($P < 0.05$). 25℃에서 35 psu부터 15 psu까지의 조단백질 함량은 각각 12.3 ± 0.4 , 12.5 ± 0.3 , 14.1 ± 0.9 , 13.9 ± 1.0 및 $15.3 \pm 1.0\%$ 로, 35 psu와 30 psu는 유의한 차이를 보이지 않았으나 ($P > 0.05$), 25 psu 이하에서는 대조구인 35 psu 보다 유의하게 높게 나타났다 ($P < 0.05$) (Fig. 33).

35, 30, 20 및 15 psu에서 수온별(15, 20 및 25℃) 전복 가식부의 조단백질 함량은 유의한 차이가 없었으나, 25 psu에서는 수온이 높을수록 유의하게 높았다($P < 0.05$) (Fig. 33).

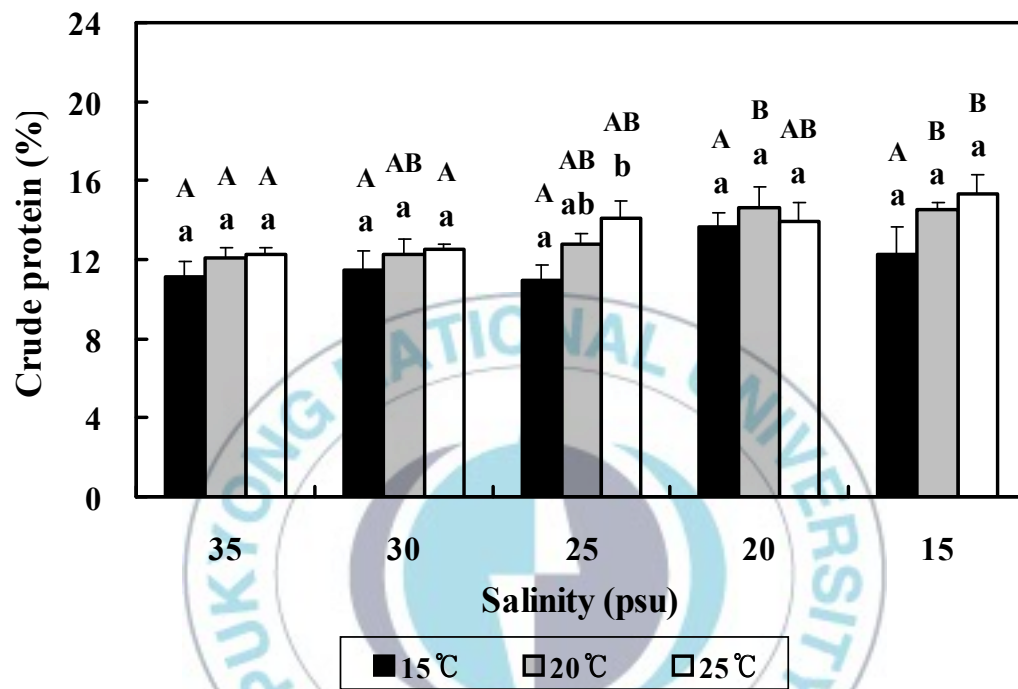


Fig. 33. Crude protein (%) of muscle in abalone *Haliotis discus hannai* under different salinity and water temperature. Different small letters indicate significant differences of crude protein between water temperature at each salinity ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of crude protein between salinity at each water temperature ($P < 0.05$).

3-1-3. 조지방

수온 15℃, 염분 35, 30, 25, 20 및 15 psu에서 참전복 치패에 대한 가식부의 조지방 함량은 각각 0.47 ± 0.03 , 0.47 ± 0.03 , 0.47 ± 0.09 , 0.77 ± 0.09 및 $0.63 \pm 0.03\%$ 로, 35, 30 및 25 psu에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 그러나 20, 15 psu에서는 대조구인 35 psu 보다 유의하게 높았다($P < 0.05$). 20℃에서 35 psu부터 15 psu까지는 각각 0.27 ± 0.03 , 0.30 ± 0.00 , 0.73 ± 0.09 , 0.70 ± 0.06 및 $0.60 \pm 0.06\%$ 로, 35, 30 psu는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 25 psu 이하에서는 대조구인 35 psu 보다 유의하게 높았다($P < 0.05$). 25℃에서 35 psu부터 15 psu까지는 각각 0.13 ± 0.03 , 0.10 ± 0.00 , 0.27 ± 0.03 , 0.27 ± 0.03 및 $0.57 \pm 0.031.0\%$ 로 나타나, 35, 30 psu에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 그러나 25, 20 psu는 대조구 보다 유의하게 높았다. 또한 15 psu에서는 다른 염분 보다 조지방 함량이 유의하게 높았다($P < 0.05$) (Fig. 34).

35, 30 psu에서 수온별(15, 20 및 25℃) 조지방 함량은 수온이 높을수록 유의하게 낮았다($P < 0.05$). 25 psu, 20℃에서는 다른 수온 보다 유의하게 높았으며, 25℃에서는 다른 수온 보다 유의하게 낮았다($P < 0.05$). 20 psu, 25℃에서는 조지방 함량이 다른 수온 보다 유의하게 낮았으나($P < 0.05$), 15 psu에서는 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$).

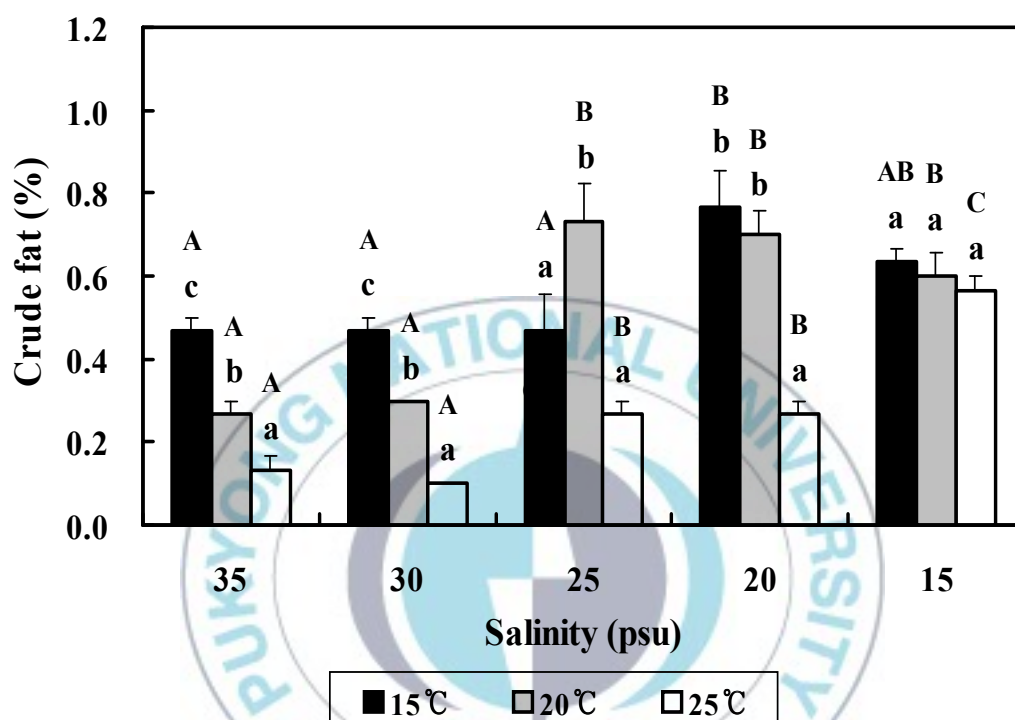


Fig. 34. Crude fat (%) of muscle in abalone *Haliotis discus hannai* under different salinity and water temperature. Different small letters indicate significant differences of crude fat between water temperature at each salinity ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of crude fat between salinity at each water temperature ($P < 0.05$).

3-1-4. 조회분

수온 15℃, 염분 35, 30, 25, 20 및 15 psu에서 참전복 치패에 대한 가식부의 조회분 함량은 각각 1.30 ± 0.12 , 1.33 ± 0.15 , 1.13 ± 0.23 , 1.87 ± 0.15 및 $1.40 \pm 0.31\%$ 로 35, 30 및 25 psu에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 그러나 20 psu에서 전복 가식부의 조회분 함량은 대조구인 35 psu 보다 유의하게 증가하였다($P < 0.05$). 20℃에서는 각각 1.50 ± 0.06 , 1.57 ± 0.03 , 2.23 ± 0.12 , 2.33 ± 0.07 및 $2.37 \pm 0.03\%$ 로, 35, 30 및 25 psu에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나, 20 psu 이하에서 염분이 낮을수록 유의하게 증가하였다($P < 0.05$). 25℃에서 35 psu부터 15 psu까지의 조회분 함량은 각각 1.53 ± 0.03 , 1.47 ± 0.03 , 1.53 ± 0.03 , 1.80 ± 0.06 및 $2.33 \pm 0.03\%$ 로 나타나, 35, 30 및 25 psu는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 그러나 20 psu 이하에서 염분이 낮을수록 유의하게 증가하였다($P < 0.05$) (Fig. 35).

대조구인 35와 30 psu에서는 수온별(15, 20 및 25℃) 조회분 함량은 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 그러나 25, 20 psu, 20℃에서는 다른 수온 보다 유의하게 높았다($P < 0.05$). 15 psu의 15℃에서는 다른 수온 보다 유의하게 낮았다($P < 0.05$). 따라서 수온별, 염분별 참전복 치패에 대한 가식부의 조회분 함량은 염분이 낮을수록 증가하는 경향을 보였다.

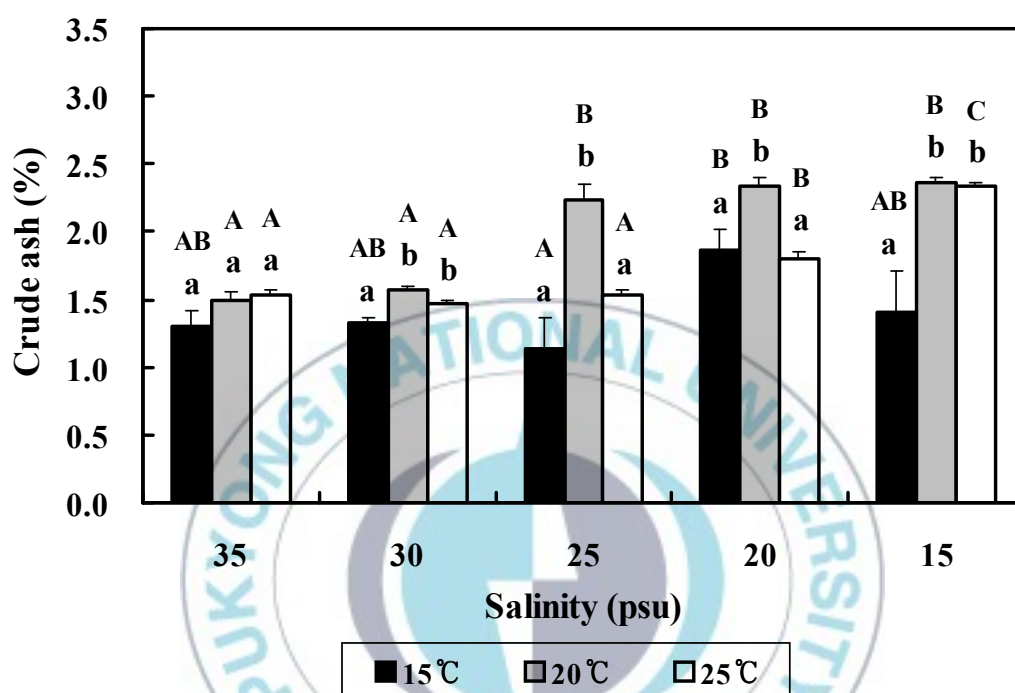


Fig. 35. Crude ash (%) of muscle in abalone *Haliotis discus hannai* under different salinity and water temperature. Different small letters indicate significant differences of crude ash between water temperature at each salinity ($P < 0.05$). Different large letters indicate significant differences of crude ash between salinity at each water temperature ($P < 0.05$).

3-2. 염분변화에 따른 가식부의 구성 아미노산 조성

수온 15, 20 및 25°C, 염분 35, 30, 25, 20 및 15 psu에서 참전복 치패의 가식부 구성 아미노산 조성은 Tables 11~13에서 보는 바와 같다.

15°C, 35, 30, 25, 20 및 15 psu에서 aspartic acid는 각각 10.27 ± 0.55 , 10.38 ± 0.65 , 10.47 ± 0.61 , 10.57 ± 0.73 및 $10.31 \pm 0.53\%$ 로 나타나, 유의한 차이가 없었다($P > 0.05$). 이 외에 threonine, serine, glutamic acid, glycine, alanine, valine, methionine, isoleucine, leucine, tyrosine, phenylalanine, histidine, lysine 및 arginine 등 다른 구성 아미노산 역시 각각의 염분에서 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$) (Table 11). 이와 같은 경향은 20, 25°C에서도 관찰되었으며(Tables 12, 13), 각각의 염분에서 수온별 구성 아미노산 역시 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$).

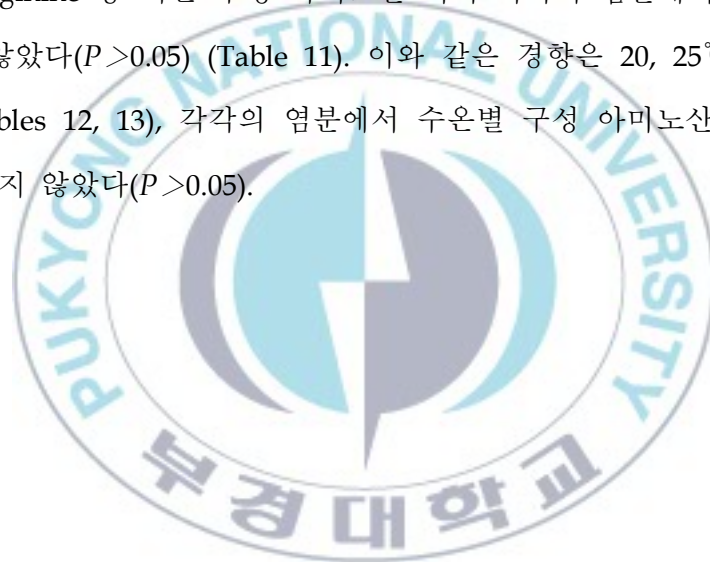


Table 11. Combined amino acid contents of abalone *Haliotis discus hannai* at different salinity in 15°C

(% in protein)

Amino acids	Salinity (psu)				
	35	30	25	20	15
Aspartic acid	10.27±0.55	10.38±0.65	10.47±0.61	10.57±0.73	10.31±0.53
Threonine	4.38±0.29	4.52±0.21	4.54±0.24	4.62±0.14	4.61±0.29
Serine	5.16±0.28	5.03±0.31	5.05±0.30	5.15±0.29	5.07±0.21
Glutamic acid	15.36±0.79	15.46±0.81	15.34±0.86	15.47±0.94	15.61±0.80
Glycine	9.29±0.50	9.45±0.73	9.07±0.45	8.83±0.56	8.93±0.51
Alanine	6.29±0.31	6.33±0.38	6.03±0.37	6.26±0.38	6.10±0.30
Valine	4.11±0.16	4.10±0.16	4.13±0.23	4.12±0.33	4.05±0.19
Methionine	2.35±0.13	2.35±0.19	2.25±0.13	2.25±0.05	2.24±0.08
Isoleucine	3.87±0.19	3.97±0.25	4.01±0.25	4.04±0.25	3.98±0.21
Leucine	7.34±0.35	7.18±0.40	7.22±0.42	7.37±0.46	7.17±0.36
Tyrosine	3.31±0.22	3.33±0.21	3.33±0.21	3.11±0.18	3.09±0.12
Phenylalanine	3.64±0.19	3.70±0.23	3.69±0.23	3.63±0.22	3.40±0.14
Histidine	2.03±0.13	1.99±0.12	2.01±0.13	2.06±0.11	1.95±0.08
Lysine	6.28±0.39	6.36±0.39	6.88±0.39	6.55±0.29	6.55±0.22
Arginine	10.35±0.36	10.35±0.46	10.05±0.52	10.14±0.61	10.59±0.53

Table 12. Combined amino acid contents of abalone *Haliotis discus hannai* at different salinity in 20°C

(% in protein)

Amino acids	Salinity (psu)				
	35	30	25	20	15
Aspartic acid	10.27±0.55	10.27±0.52	10.56±0.56	10.60±0.70	10.45±0.52
Threonine	4.39±0.15	4.40±0.17	4.55±0.27	4.67±0.27	4.65±0.28
Serine	4.89±0.12	4.95±0.15	4.95±0.15	5.23±0.25	5.26±0.32
Glutamic acid	15.03±0.71	14.95±0.57	15.39±0.76	15.34±0.81	15.58±0.92
Glycine	8.69±0.26	8.78±0.40	8.57±0.48	8.58±0.47	8.91±0.40
Alanine	6.32±0.18	6.30±0.22	6.14±0.31	6.17±0.33	6.31±0.39
Valine	4.68±0.10	4.59±0.15	4.28±0.22	4.25±0.25	4.11±0.19
Methionine	2.19±0.13	2.27±0.09	2.36±0.09	2.33±0.13	2.36±0.13
Isoleucine	3.93±0.14	3.90±0.14	4.01±0.22	4.04±0.23	3.97±0.18
Leucine	7.29±0.18	7.30±0.23	7.16±0.29	7.16±0.45	7.37±0.39
Tyrosine	3.38±0.19	3.38±0.16	3.34±0.16	3.36±0.16	3.25±0.17
Phenylalanine	3.92±0.16	3.90±0.16	3.71±0.18	3.75±0.19	3.44±0.16
Histidine	2.08±0.08	2.07±0.09	2.13±0.13	2.12±0.12	2.01±0.09
Lysine	6.57±0.26	6.56±0.30	6.45±0.31	6.43±0.30	6.60±0.26
Arginine	10.40±0.49	10.38±0.44	10.34±0.53	9.99±0.40	9.85±0.53

Table 13. Combined amino acid contents of abalone *Haliotis discus hannai* at different salinity in 25°C

(% in protein)

Amino acids	Salinity (psu)				
	35	30	25	20	15
Aspartic acid	10.33±0.51	10.31±0.52	10.36±0.71	10.34±0.55	10.60±0.57
Threonine	4.46±0.15	4.45±0.23	4.42±0.23	4.45±0.25	4.39±0.21
Serine	5.16±0.31	5.09±0.21	5.06±0.22	5.13±0.25	5.00±0.19
Glutamic acid	15.53±0.95	15.40±0.56	15.58±0.79	15.75±0.87	15.76±0.85
Glycine	9.52±0.39	9.67±0.47	9.01±0.33	9.00±0.35	9.31±0.37
Alanine	6.53±0.26	6.55±0.40	6.34±0.40	6.43±0.36	6.48±0.40
Valine	4.29±0.22	4.37±0.23	4.14±0.26	4.21±0.24	4.00±0.31
Methionine	2.20±0.14	2.22±0.11	2.33±0.16	2.37±0.17	2.33±0.14
Isoleucine	3.96±0.19	3.94±0.22	4.18±0.31	3.98±0.21	4.16±0.29
Leucine	7.19±0.28	7.22±0.36	7.35±0.45	7.29±0.42	7.47±0.30
Tyrosine	3.11±0.19	3.15±0.19	3.22±0.21	3.23±0.21	3.19±0.16
Phenylalanine	3.62±0.16	3.55±0.20	3.54±0.21	3.50±0.23	3.59±0.21
Histidine	2.13±0.12	2.15±0.09	2.09±0.13	2.01±0.12	2.04±0.13
Lysine	6.22±0.35	6.11±0.32	6.21±0.29	6.30±0.38	6.17±0.35
Arginine	10.22±0.54	10.09±0.54	10.36±0.59	10.29±0.65	9.89±0.40

4. 고 찰

양식중인 참전복이 대부분 식용으로 사용된다는 점을 고려할 때 염분이나 수온과 같은 외부환경 인자는 스트레스 요소로 작용할 뿐만 아니라 참전복 근육의 물리·화학적 특성변화(삭제)에 영향을 미쳐 근육의 맛과 질감 등의 변화를 초래할 수 있어 이 분야의 연구가 필요하다. 그러나 환경변화에 따른 스트레스 반응 연구는 어느 정도 진행되고 있지만, 맛과 관련된 체조성 변화를 연구한 결과는 찾아볼 수 없었기에 본 연구에서 염분변화에 따른 체조성 변화 여부를 조사하게 되었다.

패류에서 스트레스나 외부 환경조건의 악화가 가장 빠르게 영향을 미치는 곳은 지질 또는 글리코겐의 저장 조직이다(Gabott and Bayne, 1973; Pieseters et al., 1979; Hayashi, 1983; Ram and Young, 1992). 첫 번째 저장 에너지인 글리코겐은 일반적으로 복족류에서는 기아상태에서 처음으로 분해되지만(Von Brandt et al., 1957; Young, 1990), 다른 몇몇 종에 있어서는 지질 또한 중요한 에너지원이다(Emerson and Duerr, 1967). 참전복의 가식부 100 g을 기준으로 무기질 중에서 칼슘, 인, 철은 각각 49, 141 및 2.4 mg이 함유되어 있으며, 비타민 중에는 니아신 3.5 mg, 아스코르브산(C) 2.0 mg으로 가장 많이 들어있고 아미노산 중에는 글루탐산, 타우린, 글리신, 아르기닌 성분은 각각 2,325, 1,799, 1,509 및 1,447 mg 순으로 많이 들어있다. 또한, 지방산 중에서 포화지방산이 37.7 mg, 불포화지방산이 62.3 mg이 함유되어 있으며, 전복의 구성 성분을 분석해 보면 수분이 77.2%, 단백질이 15.0%, 지방이 0.7%, 회분이 2.0% 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(NFRDI, 2008). 본 실험에서 20°C, 35 psu에서 전복 치패 가식부의 일반성분을 분석한 결과, 수분이 80.5%, 단백질이 12.1%, 지방이 0.3%, 회분이 1.5%로 단백질과 지방 함량은 낮게 나타났으며,

수분과 회분 함량은 약간 높게 나타났다. 특히, 수분 함량은 저염분과 고수온에서 높게 나타났다. 조단백질 함량은 대조구인 35 psu 보다 낮은 20 psu 이하의 낮은 염분에서 높고, 낮은 수온에서 낮게 나타났다. 비단가리비를 대상으로 한 체성분 조성은 높은 수온과 낮은 염분에서 조단백질과 조지방 함량이 낮게 나타났다고 보고한 Kim et al., (2008)의 연구와는 반대의 결과를 보였다. 이것은 실험대상 품종과 수온 그리고 염분 등 실험조건에 따른 차이 때문인 것으로 판단된다. 또한 염분이 높을수록 조단백질 함량이 감소하고 낮은 수온에서 낮은 경향을 보였는데, 이처럼 조단백질 함량이 감소한 이유는 낮은 수온 등 환경변화에 따라 먹이 섭취 활동이 활발하지 못하여 필요한 에너지를 섭취하지 못함으로써 각 기관에 축적된 단백질을 에너지원으로 사용하였기 때문으로 판단된다.

조지방 함량은 염분이 낮을수록 높고, 수온이 높을수록 낮게 나타났는데, 이와 같은 사육수의 염분에 따른 근육의 지질 함량 변화는 삼투압 조절에 소요되는 에너지 요구량의 차이에 영향을 받는 것으로 추측된다(Xu et al., 2010). 또한, 수온 및 염분별 실험에서 15℃의 저수온에서 조지방 함량에 차이가 나타나지 않은 것은 전복의 주요 지방산은 섭취하는 먹이와 밀접한 관계가 있으며(Sato, 1975), 지방산의 조성은 염분 보다 먹이의 종류에 따라 조성이 달라진다는 연구 결과(Jeong et al., 1993; Ha, 1977)를 볼 때, 실험 전 동일한 조건에서 동일한 사료를 공급하였기 때문에 수온과 염분변화가 체성분에 미치는 영향보다는 사료의 영향이 더 컸을 것으로 판단된다.

조회분 함량은 염분이 낮을수록 높게 나타났으며, 수온이 높을수록 함량이 낮게 나타났다. 이와 같이 염분과 수온의 변화는 참전복 치패의 수분과 조단백질, 조지방, 조회분 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이와 같이 참전복의 체성분 조성비 차이는 사육수온의 영향이기 보다는 먹이의 종류에 따른

영향이라고 보고한 Dunstan et al., (1996)의 결과와 차이를 보였다.

유리아미노산은 생체 활성 물질의 구성성분으로 중요할 뿐 아니라 그 자체가 특징 있는 맛을 식품에 부여하기도 한다(Ohta, 1976). 아미노산의 맛 분류에서 glycine, alanine, threonine, proline, serine 등은 단맛, leucine, isoleucine, methionine, phenylalanine, lysine, valine, arginine 등은 쓴맛, aspartic acid는 신맛, glutamic acid는 감칠맛을 가지며(Shou, 1969). 전복의 주요 아미노산은 taurin, aginine, gluatamin, glycine, glutamic acid, alanine 및 leucine이라고 보고하였다(Watanabe et al., 1992). 그러나 본 연구의 결과는 구성아미노산을 측정할 값이므로 이 결과를 근거로 맛을 언급할 수는 없다고 판단된다. 본 연구에서 수온별(15, 20 및 25°C), 염분별(35, 30, 25, 20 및 15psu) 참전복 치패에 대한 가식부의 구성아미노산 변화를 조사한 결과, 유의적인 차이는 없었다. 이와 같은 결과는 수온 및 염분에 노출시킨 시간이 짧아 아미노산의 변화를 유도하기에는 어려웠을 것으로 예상된다. 따라서 앞으로 염분에 따른 참전복 근육의 질을 평가하기 위해서는 맛과 밀접한 연관이 있는 유리아미노산에 대한 연구가 필요하겠다.

제6장 종합 고찰

세계 수산물생산량 중에서 양식생산량은 1970년 3.9%에서 2010년 46.9%(세계 총 수산물 생산량 168,447천 톤, 세계 양식생산량 78,943천 톤)로 10배 이상 증가하였고, 세계 식용수산물의 많은 부분을 양식수산물로 공급하고 있다. 또한, FAO에서 총 어획량과 양식생산량을 예측한 결과, 총 어획량은 정체 또는 다소 증가할 것으로 예측한 반면, 양식생산량은 급격하게 증가하여 2030년에는 수산물의 대부분을 양식 수산물로 충당할 것으로 예측하였다. 한국의 수산물 총 생산량 중에서 양식수산물이 차지하는 비중은 2000년에 26.5%에서 2010년에는 44.1%(수산물 총 생산량 3,123천 톤, 양식생산량 1,377천 톤)로 급격하게 증가하는 추세에 있다. 세계인구 증가에 따른 단백질 공급은 물론, 어획에 의한 공급 한계를 극복할 수 있는 대안으로서 수산양식 산업의 중요성은 점점 강조되고 있다. 그러나 생산성 증대를 위하여 밀식 등에 따른 양식환경 오염 등 많은 문제를 일으키고 있다. 특히, 태풍, 적조, 저수온 및 저산소 등 자연재해에 의한 피해로 국가 및 어업인의 재정 부담이 가중되고 있다. 양식수산물의 생산량 확대와 미래 양식품목으로 주목받고 있는 전복양식의 지속적 발전을 위해서는 현장에서 발생하는 여러 가지 문제점들이 해결되어야 한다. 전복양식은 미역, 다시마 등 해조류양식을 근간으로 하는 산업의 특성상 수온상승에도 안정적인 생산이 가능한 새로운 품종의 해조류를 개발하여 지구 온난화에 대비하여야 하며, 태풍에도 견딜 수 있는 안전한 시설에 관한 연구, 그리고 염분 등 환경변화에 따른 대량폐사에 대한 연구가 필요한 실정이다. 특히, 중국 장강(長江)의 담수영향에 따른 연안의 저염분화 및 여름철 집중호우로 인하여 양식 중인 전복이 대량 폐사하는 등 피해가 반복되고 있으나, 이러한 저염분이 참전복의 성장과 생존에 미치는 영향에 관한 연구는 많지 않고, 양식 현장에서 일어날 수 있는 염분변화 유형을 고려한 연구는 거의 없다.

본 연구에서는 참전복 치패가 양식장에서 겪을 수 있는 저염분 환경을 모델로, 육지로부터 담수가 유입되는 양과 체류시간 등을 가정하여 급격한 저염분화, 단계적인 저염분화, 그리고 저염분 노출 이후 생존실험을 설계하여 양식현장에서의 관리기준을 제공하고자 하였다.

본 연구결과, 급격한 염분변화에서 35~25 psu까지의 모든 실험구에서 100%의 생존율을 보였으나, 20 psu에서 폐사가 발생하기 시작하여, 35 psu에서 15 psu까지 20 psu의 급격한 염분변화에는 모든 수온 조건에서 100% 폐사하여 전복의 치사 염분 한계는 15 psu로 나타났다. 또한, 15 psu에 노출된 전복은 24시간 이내에 모든 개체가 폐사한다고 보고한 Hong (2006)의 연구결과와 일치하였다. 또한, 일반해수(대조구, 35 psu)에서 매일 5, 10 및 20 psu씩 염분을 감소시켜 15 psu까지 낮춘 실험에서는 15, 20 및 25℃에서 각각 80, 100 및 100%의 높은 생존율을 보였으나, 20 psu에서는 시간이 지남에 따라 폐사가 발생하였다. 특히, 35 psu에서 15 psu로 급격하게 염분을 감소시켰을 때 100% 폐사하여, Jwa et al. (2009)의 염분 스트레스에 따른 등근전복의 생존율 실험결과와 급격한 염분변화에 대한 참전복 치패의 염분내성은 수온이 상승할수록 감소하는 Lee (2003)의 연구결과와도 일치하였다. 그러나 Takashi (1978)이 보고한 4~5년산 참전복의 치사 염분은 6.5~13 psu로 본 연구 결과 보다 낮게 나타났으나, 이것은 실험 개체 연령과 크기에 기인한 내성의 차이로 판단된다.

진주담치 *Mytilus edulis*는 20~30 psu에서 산소소비율, 여수율 및 에너지 수지 등 대사조절이 일정하게 유지되는 반면, 20 psu이하에 노출된 이후 폐사하였다(Widdows, 1985). 본 연구의 회복률 실험에서는 35, 30 및 25 psu에서는 48시간 동안 폐사가 발생하지 않았으나, 20 psu에서는 12시간 이후 폐사가 발생하여 Widdows (1985)와 유사한 결과를 나타내었다. 또한, 15 psu에서 노출 3시간까지는 폐사가 발생하지 않았으나, 노출6시간 이후 생존율이 급격하게 감소하였다. 이는 20℃, 13.5 psu에서는 24시간이 경과한 직후 부착률은 0%,

1.5시간 노출 후에는 100% 부착했다고 보고한 Lee (2003)의 연구결과와 유사하게 나타났다. 따라서 낮은 염분에 노출된 개체일수록 일반해수에서의 회복시간이 길고 생존율도 낮은 것으로 판단된다.

환경수의 염분은 수정란의 대사 및 발생에 영향을 미치며(Welsh et al., 1991; Lee et al., 1992; Swanson, 1996), 이로 인해 부화시간 및 부화율에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Young and Dueñas, 1993). Holliday (1969)는 환경요인 중 염분은 어류의 종묘생산과정 중에 자어의 성장과 생존율뿐만 아니라 부화율, 자어의 활력, 난황흡수 및 먹이효율 등에 영향을 미치고, 특히 산란, 발생, 부화하는 데 염분에 의해 큰 영향을 받는다고 하였다. 이와 같이 사육수의 염분변화는 어패류의 부화와 산란 등 발생뿐만 아니라 참전복 치패의 생존율을 감소시키는 주요 원인으로 판단된다. 또한 양식생물 사육시 중요하게 고려해야 할 요인은 사육환경과 먹이인데, 이 중에서 참전복의 사육환경에 대한 중요성에 대해서는 많은 연구자가 보고한 바 있다(Wi et al., 2000; Nie et al., 1996; Lee et al., 1999). 본 연구에서도 사육수의 염분변화는 참전복 치패의 생존에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

일반적으로 생물체의 대사지표로서 이용되는 호흡률은 생리적으로 스트레스를 겪고 있는 생물에서 여러 가지 형태로 변화하는데(Sastry and Varge, 1977), Almada-Villela (1984)는 다양한 환경변화의 스트레스에 노출된 생물에서 호흡률이 증가하거나 감소하는 것으로 보고 하였다. 본 연구 결과, 참전복 치패는 수온이 증가할수록 산소소비량이 증가하고, 염분이 감소하면 산소소비량은 감소하는 결과를 나타내어, Lee (2003)의 연구결과와 유사하였다. 또한 염분내성 범위 내에서 염분감소에 따라 산소소비량이 변화하는 칠레산 가리비 *Argopecten purpuratus* (Navarro and Gonzalez, 1998)의 연구 결과와도 매우 유사하였다. 그리고 염분이 감소하는 시점에서 산소소비량은 급격하게 증가하

여 삼투압조절을 위하여 대사량이 일시에 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 염분변화 시 수용밀도가 높은 양식장에서는 산소부족에 의한 전복의 생리적 영향을 최소화하기 위하여 적정 밀도를 유지하여야 한다고 판단된다. 또한, 수온이 상승 할수록 산소소비량이 증가하는 경향으로 볼 때, 고수온 때는 사육밀도를 낮추어, 전복의 생리적 영향을 최소화하여야 할 것으로 판단된다. 일반적으로 참전복은 해질 무렵부터 밤중에 주로 먹이를 찾아다니며(Han, 1989), 전복의 먹이 찾기는 일몰 후 1.5~4시간 후에 주로 이루어져 일몰 후 2.5시간에 최고조에 달하고 하였다. 또한, 산소소비 일주기성은 12L:12D구의 경우에는 7:00~9:30과 13:00~17:00에 산소소비량이 감소하여 17:00시 이후부터 자정까지 산소소비량이 증가하였다고 보고된 바 있다(Lee, 2003). 본 연구에서는 반대로 명기에 높게 나타났다. 이것은 사육기간이 짧고 실험동안 사료를 공급하지 않고 명기의 염분 조절시 적응을 위하여 산소소비량이 일시에 증가했기 때문으로 판단된다.

아가미의 조직변화는 염분변화는 15 psu에서 3시간까지는 35 psu 대조구와 큰 차이를 보이지 않았으나, 노출 6시간 이후부터 시간이 경과 될수록 새변이 팽창되고 손상정도가 심하게 나타나 염분변화에 따른 아가미 조직의 변화가 관찰되었다. 또한, 아가미의 조직변화는 염분이 낮을수록, 그리고 수온이 높을수록 변화가 크게 나타나 수온과 염분의 변화에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Kim et al. (2000)은 전복 가식부의 수분 및 회분 함량은 먹이 종류에 따라 서만 영향을 받으며, 가식부의 단백질 및 지질 함량은 사육수온 및 먹이종류에 영향을 받지 않은 것으로 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 15℃에 비해 25℃에서 단백질 함량이 높게 나타나 차이를 보였으며, 수온이 높고 염분이 낮을수록 단백질 함량이 높게 나타났다. 수분 함량은 염분이 낮을수록 증가하

였고, 조지방과 조회분의 함량은 수온이 높을수록 높게 나타났다. Hong (2006)의 연구 결과에 따르면 까막전복의 아미노산 함량 변화는 필수아미노산인 valine, methionine, phenylalanine, isoleucine, leucine의 함량은 저염분과 고염분에 노출되었을 때 함량이 감소한다고 보고하였다. 본 연구에서는 염분 변화에 따른 참전복 치패의 가식부 아미노산 변화는 관찰되지 않았다. 또한, aspartic acid, glutamic acid, glycine 등 비필수아미노산이 methionine, tyrosine, histine 등 필수아미노산 보다 구성 함량 수치는 높게 나타나, 본 연구와 유사한 결과를 나타내었으나 유의적인 차이는 없었다. 그러나 하나 이상의 필수아미노산이 과하거나 또는 결핍될 경우 단백질 합성이나 성장에 영향을 줄 수 있다고 보고(Litaay et al., 2001)한 바와 같이, 삼투압 스트레스에 장기간 노출 될 경우 전복의 생리에 매우 심각한 영향을 초래할 것으로 판단된다. Mackie and Ansell (1993)이 보고한 환경요인은 체내 보유물의 주기를 결정하는데 주요한 역할을 하며, 에너지 보유물의 주기는 유전적인 요인보다는 환경적 요인에 의해 더 많은 영향을 받는다는 결과와 같이 염분의 변화는 참전복의 생존율과 산소소비, 아가미조직 및 체성분 변화 등에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

한국의 지형적 특성상 중국대륙에서 유입된 저염분의 영향으로 지난 1996년에는 제주 서부 연안에서 양식중인 전복과 소라 등 184톤이 폐사하여 약 59억 원의 피해가 발생하였다. 또한, 2011년도에는 집중호우로 양식중인 전복 55만 마리가 폐사하여 약 20억 원의 피해가 발생하는 등 저염분에 의한 피해가 반복되고 있는 실정이다. 일부 지역에서는 양식생물의 피해예방을 위하여 염분 단계별 행동요령을 마련하고, 저염분 수위가 3일 이상 지속될 경우 전복을 채취하여 안전한 곳으로 이동하는 방안 등을 마련하고 있다. 그러나 자연 상태의 어장에 치패를 뿌려서 상품크기까지 성장시켜 수확하는 마을 어장의 특성

상 전복을 채취하여 이동하는 데 많은 노동력이 필요하고, 시간적 제한을 받을 수밖에 없어 조치에 한계가 있을 것이다. 그러므로 육지로부터 담수가 양식장까지의 유입되는 시간과 해류의 방향 그리고 염분 등을 사전에 예측하여 25 psu의 저염분 해수가 양식장에 유입되기 전에 조기 채취하여 가두리양식장으로 옮기거나, 조기 판매하는 등 채취시기를 조절하는 방안도 검토되어야 할 것이다. 이와 더불어 저염분 해수의 확산과 유동상황을 사전에 파악할 수 있는 염분 관측지점을 확대하고 실시간 저염분 예보시스템을 확충하는 등 저염분 피해예방을 위한 대책이 시급한 실정이다. 아울러, 전복양식장에 대한 신규면허 처분과 양식장 적지선정 시에는 양식장의 위치와 담수유입 여부를 확인하고 강수량에 따라 담수가 연안에 정체되는 시간과 혼합농도 등을 사전에 조사하고 염분에 의한 피해영향 조사 때에도 담수가 유입되는 속도와 혼합되는 시간, 담수의 체류시간과 해류 등을 고려하여야 할 것이다. 또한, 7~8월 집중호우와 장마시 사육수의 염분이 25 psu 이하로 내려가지 않도록 관리하여야 하며, 염분이 20 psu 이하로 내려갈 경우 육상양식장에서는 단수 등의 조치를 취하여 적정 염분을 유지하고, 해상가두리 양식장에서는 정상염분이 유지되는 해역으로 시설물을 이동하여야 할 것이다. 이때 사육수의 염분이 20 psu에서는 6시간 이내, 15 psu에서는 3시간 이내에 양식생물을 옮겨야 하며, 이 시간이 지났을 경우 폐사율은 급격하게 증가할 것으로 예상되어 제시한 한계 염분 내에서 양식관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 특히, 육지로부터 담수가 유입되는 시간이 해수의 밀물 때와 만조시간이 겹쳐 해수와의 혼합이 이루어지지 않고 연안에서의 정체시간이 길어질 경우 양식생물의 피해는 더욱 증가할 것으로 예상됨으로 신속한 조치가 이루어져야 하며, 이러한 복합적인 요인들을 종합적으로 고려하여 양식관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

제7장 요약

협염성 동물로서 도서 해역의 가두리 양식장에서 사육되는 참전복 *Haliotis discus hannai*의 저염분 해수에 대한 내성을 파악하고자, 염분 35 psu (대조구)에서 사육한 평균 각장 26.80 ± 1.43 mm, 평균 중량 1.98 ± 0.42 g의 참전복 치패를 사용하여 수온별, 염분별, 경시별로 생존율, 산소소비량, 아가미조직 및 체성분 등의 생리학적 변화를 조사하였다.

1. 염분변화에 따른 참전복의 생존율

참전복 치패의 염분 내성을 알아보기 위하여 수온 15, 20 및 25°C의 대조구인 35 psu (Exp. I)에서 급격한 염분변화(35→30, 35→25, 35→20, 35→15 psu)와 단계적 염분변화 조건인 Exp. II(35→30→25→20→15 psu), Exp. III(35→25→15 psu) 및 Exp. IV(35→15 psu)에서 참전복의 생존율을 조사한 결과, 수온 15, 20 및 25°C의 급격한 염분변화 실험구에서는 대조구인 35 psu를 비롯한 30, 25 psu에서 100%의 생존율을 보였으나 20 psu에서부터 폐사가 발생하기 시작하였고, 15 psu에서는 모든 실험구에서 100% 폐사하였다. 단계적 염분변화에서는 15, 20 및 25°C의 35, 30 및 25 psu 실험구에서 100% 생존율을 보였으며, 35 psu에서 15 psu까지 1일 간격으로 5 psu씩 완만하게 감소시킨 실험구의 생존율은 20°C와 25°C에서 100%로 나타났으나, 15°C에서는 80%였다. 15°C 및 20°C의 수온조건에서 35 psu로부터 매일 10 psu씩 염분을 낮춘 결과, 20 psu부터 폐사개체가 발생하기 시작하였고, 15 psu에서 각각 32.5%, 55.0%의 낮은 생존율을 보였다. Exp. III(35→25→15 psu)의 25°C구는 100%의 생존율을 나타내, 참전복의 성장 적수온(15~20°C) 보다 높은 온도에서 염분내성이 강한 특성을 보였다. 그러나 Exp. IV(35→15 psu)에서는 모든 치패가 폐

사하여, 하루사이의 급격한 염분변화는 치명적인 영향을 미치는 것으로 판단된다. 염분별, 시간별 노출 후 35 psu에 두면서 관찰한 치패의 경시별 생존율은 수온 15~25℃, 염분 25~35 psu에 24시간 노출 후에도 100% 생존하였다. 그러나 20 psu에서는 15℃에서 12시간까지, 20~25℃에서는 3시간까지 모두 생존한 반면, 24시간째부터는 생존율이 급감하였다. 특히 15 psu에서는 모든 수온구에서 24시간 이내에 전량 폐사함으로써, 저염분수가 유입되어 양식장의 염분이 15 psu 이하로 1일 이상 유지될 경우, 육성 중의 전복은 치명적인 영향을 받을 것으로 판단된다.

2. 염분변화에 따른 참전복의 산소소비 경향

염분변화에 따른 참전복 치패의 산소소비 변화를 조사하기 위하여, 수온 15, 20 및 25℃에서 단계적으로 염분을 변화시킨 Exp. II (35→30→25→20→15 psu)와 Exp. III (35→25→15 psu), 그리고 급격하게 염분변화를 준 Exp. IV (35→15 psu)로 나누어 실험하였다. 15℃에서 대조구(35 psu)의 일일평균 산소소비량은 137.6 ± 0.5 mg O₂/kg/h였다. Exp. II에서 염분이 35→30→25→20→15 psu 낮아지면서 산소소비량도 각각 136.7, 103.2, 96.9, 88.7 및 82.9 mg O₂/kg/h로 비례적으로 감소하는 경향을 보였다. Exp. III에서는 각각 134.4, 111.2 및 93.2 mg O₂/kg/h로, Exp. IV에서는 141.4 mg O₂/kg/h으로부터 99.0 mg O₂/kg/h로 감소하여, 염분저하 속도가 빠를수록 산소소비량이 더 많아짐을 알 수 있었다. 염분 35 psu, 수온 15, 20 및 25℃에서 치패의 산소소비량은 각각 137.6, 188.8, 203.8 mg O₂/kg/h를 나타내 수온이 높을수록 증가하는 경향을 보였다. 염분과 명암에 따른 산소소비량은 15℃에서 염분별로 차이를 나타내지 않는 반면, 대부분의 실험구에서 명기 보다 암기에 산소소비가 많았으나, 20~25℃에서는 암기 보다 명기에 많아지는 경향을 보였다.

3. 염분변화에 따른 참전복 아가미의 조직학적 변화

염분변화에 따른 아가미의 조직학적 변화를 파악하기 위하여, 35 psu에서 사육 중인 참전복의 아가미 조직을 수온별(15, 20, 25℃), 염분별(35, 30, 25, 20, 15 psu), 노출시간별로 채취하여 조직학적 방법으로 그 변화를 관찰하였다. 15℃, 30 psu에서, 6, 12, 24 및 48시간 노출시킨 아가미 조직상은 대조구와 차이를 보이지 않았다. 25 psu에서는 12시간까지 새변은 정상적인 조직상을 나타냈으나, 노출 24시간부터는 새변의 부분적 손상이 관찰되었다. 20 psu에서는 노출 12시간째부터 손상된 새변이 일부 관찰되기 시작하여, 24시간 이후에는 대부분의 새변이 손상되어 있었다. 15 psu에서는 노출 3시간째부터 새변이 약간 팽창되었고, 12시간 이후부터는 대부분의 새변 손상이 관찰되었다. 이러한 경향은 20, 25 psu에서도 나타났으며, 각 염분에서 수온이 높을수록 새변의 손상이 개시되는 시간이 빨라졌다. 따라서 참전복 치폐의 아가미 조직은 염분이 낮을수록, 수온이 높을수록 손상되는 속도가 빨라지는 반면, 수온이 높으면 산소소비량이 많아지는 점을 고려해 볼 때, 저염분에 의해 손상된 아가미가 고수온으로 높아진 대사요구량을 감당하지 못함으로써 결국 폐사에 이르는 것으로 추찰된다.

4. 염분변화에 따른 참전복의 체성분 변화

수온별, 염분변화에 따른 치폐의 체성분 변화를 조사하기 위하여 가식부의 일반성분(수분, 조단백질, 조지방 및 조회분) 함량과 구성 아미노산의 변화를 관찰하였다. 수온 15℃에서 참전복 가식부의 수분 함량은 35, 30, 25, 20 및 15 psu별로 각각 82.1 ± 0.7 , 82.5 ± 0.7 , 84.9 ± 0.5 , 86.9 ± 0.3 및 $86.6 \pm 0.4\%$ 로서, 25 psu 이하부터 대조구보다 증가하였다. 조단백질 함량은 각각 11.1 ± 0.7 , 11.5 ± 1.0 ,

10.9±0.8, 13.7±0.7 및 12.3±1.4%로, 조지방 함량은 각각 0.47±0.03, 0.47 ±0.03, 0.47±0.09, 0.77±0.09 및 0.63±0.03%로, 조회분 함량은 각각 1.30±0.12, 1.33±0.15, 1.13±0.23, 1.87±0.15 및 1.40±0.31%로 나타나, 20 psu 이하에서 대조구 보다 증가하였다. 그러나 가식부의 구성 아미노산 조성은 각 실험구 사이에 유의한 차이가 인정되지 않았다.

키워드: 참전복, 염분내성, 생존율, 산소소비량, 아가미 조직상, 체성분 분석



감사의 글

앞만 보고 달려온 숨 가쁜 시간들, 서울과 부산을 오가는 떠돌이 생활을 하면서도 늘 마음 한구석에 자리 잡고 있던 학위에 대한 미련을 이제는 떨쳐 버릴 수 있을 것 같습니다. 박사과정을 수료한지 10년, 바쁜 일상을 핑계로 흐르는 세월과 기억 속에 묻어 둘 수도 있었지만, 지도교수님의 끊임없는 질책과 격려에 힘입어 학위논문을 완성할 수 있었습니다. 부족한 저를 더 넓은 세상으로 이끌어 주시고 큰 꿈을 키워 주신 장영진 지도교수님께 깊은 감사를 드리며, 바쁘신 일정에도 불구하고 부족한 논문을 바로 잡아주시고 심사해 주신 이복규 교수님, 강경호 교수님, 이정용 박사님, 임한규 박사님께 감사드립니다. 그리고 결혼준비로 바쁜 시간에도 논문이 마무리 될 때 까지 함께 해준 정민환 박사님과 도용현, 김예린 후배님께 고마움을 전하며, 실험이 원활하게 수행될 수 있도록 지원해 주신 국립수산물과학원 김응오 전략양식연구소장님과 손맹현 양식관리과장님, 신윤경 박사님께도 감사드립니다. 또한, 멀리 완도에서 실험재료를 확보해 주신 전남해양수산물과학원 김영진 선배님과 울산시청 김수호 선배님, 시료를 분석해 준 국립수산물과학원 사료연구센터 김강웅 박사님과 실험에 도움을 주신 남서해수산연구소 원경미 박사님께도 감사드립니다.

외딴섬 조도에서 부산으로 삶의 터전을 옮겨가며 평생 자식만을 위하여 살아오신 어머니와 대학시절부터 뒷바라지 하느라 고생하신 형님과 형수님, 언제나 든든한 집안의 맏형 큰 매형과 큰 누님, 그리고 하늘나라에서 보고 계실 작은 누님의 도움과 큰 사랑에 감사드립니다.

마지막으로, 항상 격려와 응원을 아끼지 않으신 장인·장모님께 감사드리며, 사랑하는 각시 김경희씨와 언제나 든직한 아들 재민이, 예쁘고 착한 딸 유민이와 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.

참고 문헌

- Agnar S and Albert KI. 2003. Size dependent variation in optimum growth temperature of red abalone (*Haliotis rufescens*). *Aquaculture* 224, 353-362.
- Almada-villela PC. 1984. The effects of reduced salinity on the growth of small *Mytilus edulis*. *J Mar Biol Assoc UK*. 64, 171-182.
- Bang KS. 1977. Studies on the seed production of abalone, *Haliotis discus* Reeve. *Bull Nat'l Fish Res Dev Inst* 17, 7-17.
- Beitinger TL and McAuley RW. 1999. Whole animal physiological approaches for the assessment of stress in fishes. *J Great Lakes Res* 16, 542-575.
- Bennett MF. 1954. The rhythmic activity of the quahog, *Venus mercenaria* and its modification by light. *Biol Bull* 107, 174-191.
- Bohol B. 1972. Effects of adaptation to reduced salinity on filtration activity and growth of mussels (*Mytilus edulis*). *J Exp Mar Biol Ecol* 10, 41-49.
- Britz PJ, Hecht T and Mangold S. 1997. Effect of temperature on growth, feed consumption and nutritional indices of *Haliotis midae* fed a formulated diet. *Aquaculture* 152, 191-203.
- Brown PB, Willson KA, Wetzel II JE and Hoene B. 1995. Increased densities result in reduced weight gain of crayfish *Orconectes virilis*. *J World Aquacult Soc* 26, 165-171.
- Carmichael GJ, Tomasso JR, Simco BS and Davis KB. 1984. Characterization and alleviation of stress associated with hauling largemouth bass.

- Trans Am Fish Soc 113, 778-785.
- Chance B, Sice H and Boveris A. 1979. Hydroperoxide metabolism in mammalian organs. *Physiol Rev* 59, 427-605.
- Chang YJ and Hur JW. 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.
- Chang YJ, Hur JW and Lim HK. 2001. Growth and survival of juvenile grey mullet (*Mugil cephalus*) in rearing system with recirculated seawater and freshwater. *Korea J. Aquacult* 14, 29-33.
- Chang YJ, Jeong MH, Min BH, Neill WH and Fontaine LP. 2005. Effects of photoperiod, temperature and fish size on oxygen consumption in the black porgy (*Acanthopagrus schlegeli*). *J Fish Sci Tech* 8, 142-150.
- Chatelier A, McKenzie DJ and Claireaux G. 2005. Effects of changes in water salinity upon exercise and cardiac performance in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Mar Biol* 147, 855-862.
- Chen JC and Chen WC. 1999. Temperature tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity and temperature levels. *Comp Biochem Physiol* 124A, 73-80.
- Chen JC and Chen WC. 2000. Salinity tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity and temperature levels. *Aquaculture* 181, 191-203.
- Cheng W, Hsiao IS, Hsu CH and Chen JC. 2004. Change in water temperature on the immune response of Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta* and susceptibility to *Vibrio parahaemolyticus*. *Fish*

- Shellfish Immunol 17, 235-243.
- Cheng W, Yeh SP, Wang CS and Chen JC. 2002. Osmotic and ionic changes in Taiwan abalone *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity levels. Aquaculture 203, 349-357.
- Cho KS, Kim W and Kang SJ. 1983. ODUM ecology (revised). In: ODUM ecology (revised). Cho KS, Kim W and Kang SJ, ed. 340-342. Samo Co. Ltd., Seoul, pp. 340-342.
- Choi YJ. 2006. Mortality of abalone *Haliotis discus hannai* at different salinity levels and susceptibility to vibrios. M. Sc. Thesis, Yeosu Nat Univ, Yosue, Korea, pp. 26.
- Claireaux G and Lagardere JP. 1999. Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass. J Sea Res 42, 157-168.
- Costa DP. 1988. Methods for studying the energetics of freely diving animals. Can J Zool 66, 45-52.
- Davidson GW, Davie PS, Young G and Fowler RT. 2000. Physiological responses of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* to crowding anesthesia with AQUI-STM. J World Aquacult Soc 31, 105-114.
- Day RW and Fleming AE. 1992. The determinants and measurement of abalone growth. In: Abalone of the world: biology, fisheries and culture, Shepherd SA, Tegner MJ, Guzman SA and Del Proo SA Eds., Fishing news Books. Blackwell, Oxford, pp. 141-168.
- Drew B, Miller D, Toop T and Hanna P. 2001. Identification of expressed HSP's in blacklip abalone (*Haliotis rubra* Leach) during heat and

- salinity stresses. J Shellfish Res 20, 695-703.
- Dunstan GA, Baillie HJ, Barrett SM and Volkman JK. 1996. Effect of diet on the lipid composition of wild and cultured abalone. Aquaculture 140, 115-127.
- Eddy FB. 1981. Effects of stress on osmotic and ionic regulation in fish. (in) A.D. Pickering (ed.), Stress and Fish. Academic Press, London, pp. 77-102.
- Emerson DN and Duerr FG. 1967. Some physiological effects of starvation in the intertidal prosobranch *Littorina planaxis* (Philippi, 1847). Comp Biochem Physiol 20, 45-53.
- Enright JT. 1975. Orientation in time: Endogenous Clocks. In: Marine ecology, Vol. 2, O Kinne. ed. Wiley, New York, 917-944.
- Ferraris M, Radice S, Catalani P, Francolini M, Marabini L and Chiesara E. 2002. Early oxidative damage in primary cultured trout hepatocytes: a time course study. Aquatic Toxicology 59, 283-296.
- Gabott PA and Bayne BL. 1973. Biochemical effects of temperature and nutritive stress on *Mytilus edulis* L. J Mar Biol Assoc UK 53, 269-286.
- Gauthier-Clerc S, Pellerin J, Blaise C and Gagné F. 2002. Delayed gametogenesis of *Mya arenaria* in the Saguenay fjord (Canada): a consequence of endocrine disruptors. Comp Biochem Physiol 131C, 457-467.
- Gilroy A and Edwards SJ. 1998. Optimum temperature for growth of Australian abalone: preferred temperature and critical thermal maximum for blacklip abalone, *Haliotis rubra* (Leach), and greenlip

- abalone, *Haliotis laevis* (Leach). Aquacult Res 29, 481-485.
- Ha BS. 1997. Studies on the lipid of aquatic products (Part 2). A comparative study on fatty acid composition of marine benthic algae. Bull Korean Fish Soc 10, 199-204.
- Hahn KO. 1989. Handbook of culture of abalone and other marine gastropods. CRC Press. Boca Raton, FL., pp. 348.
- Han SJ. 1998. Abalone culture. Guduck, Busan, Korea. pp. 260.
- Han SJ, Kim BR, Won SH and Kim JW. 2003. Effect of urea on the exfoliation on juvenile abalone, *Haliotis discus* Reeve. J Aquacult 16, 223-228.
- Hand SC and Stickle WB. 1977. Effects of tidal fluctuations of salinity on pericardial fluid composition of the American *Crassostrea virginica*. Mar Biol 42, 259-271.
- Harris JO, Maguire GB, Edwards SJ and Hindrum SM. 1997. Effect of nitrite on growth and oxygen consumption for juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* Donovan. J Shellfish Res 16, 395-401.
- Harris JO, Maguire GB, Edwards SJ and Hindrum SM. 1999a. Effect of pH on growth rate, oxygen consumption rate and histopathology of gill and kidney tissue for juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* Donovan and blacklip abalone, *Haliotis rubra* Leach. J Shellfish Res 18, 611-619.
- Harris JO, Maguire GB, Edwards SJ and Johns DR. 1999b. Low dissolved oxygen reduces growth rate and oxygen consumption rate of juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* Donovan. Aquaculture 174, 265-278.

- Hayashi I. 1983. Seasonal changes in condition factors and in the C:N ratio of the foot of the oyster, *Haliotis tuberculata*. J Mar Biol Assoc UK 63, 85-95.
- Hinch SG and Stephenson LA. 1987. Size- and age-specific patterns of trace metal concentrations on fresh water clams from an acid-sensitive and a circumneutral lake. Can J Zool 65, 2436-2442.
- Holliday FGT. 1969. The effects of salinity on the eggs and larvae of teleost. pp. 312-318. (in) Fish Physiology Vol. 1 (eds.) Hoar WS and Randall DJ, Academic Press, New York.
- Holliday JE, Allan GL and Nell JA. 1993. Effects of stocking density for nursery culture of Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*). Aquaculture 96, 7-16.
- Hong CH. 2006. Effects of salinity change on the composition of free amino acid of the abalone *Haliotis discus* Reeve. M. Sc. Thesis, Cheju Nat Univ, Cheju Korea, 32 pp.
- Houlihan DF and Innes AJ. 1982. Oxygen consumption, crawling speeds, and cost of transport in four Mediterranean intertidal gastropods. J Comp Physiol 147, 113-121.
- Huchette MHS, Koh CS and Day RW. 2003. Growth of juvenile blacklip abalone (*Haliotis rubra*) in aquaculture tank: effects of density and ammonia. Aquaculture 219, 457-470.
- Hyun KH and Pang IC. 1998. Abnormally low salinity water around Cheju island in summer. Bull Mar Res Inst, Cheju Nat Univ 22, 69-78.
- Imlay MJ. 1968. Environmental factors in activity rhythms of the freshwater

- clam *Elliptio complanatus catawbensis* (Lea). Am Midl Nat 80, 508-528.
- Innes AJ and Houlihan DF. 1985. Aerobic capacity and cost of locomotion of a cool temperate gastropod: a comparison with some Mediterranean species. Comp Biochem Physiol 80A, 487-493.
- Jeon MJ. 2002. Influences of ammonia on the physiological condition of the juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea, pp. 125.
- Jeong BY, Cho DM, Moon SK and Pyeun JH. 1993. Quality factors and functional components in the edible seaweeds 1. Distribution of n-3 fatty acids in 10 species of seaweeds by their habitats. J Korean Soc Food Nutr 22, 621-628.
- Jeong MH, Kim YS, Min BH and Chang YJ. 2007. Effect of fish number in respiratory chamber on routine oxygen consumption of black porgy, *Acanthopagrus schlegeli* reared in seawater or freshwater. J Aquacult 20, 121-126.
- Jobling M. 1981. Some effects of temperature, feeding and body weight on nitrogenous excretion in young plaice (*Pleuronectes platessa* L.) J Fish Biol 18, 87-96.
- Jung HT, Kim YS and Choi SD. 2004. The change of total weight and food consumption of abalone, *Haliotis discus hannai* under a vibration and noise. J Environ Sci 13, 581-589.
- Jwa MS, Kang KP, Choe MK and Yeo IK. 2009. Effects of low salinity stresses on the physiology of disc abalone, *Haliotis discus discus*. J Fish Pathol 22, 293-303.

- Kim CW, Baek JM and Han SJ. 2008. Effects of water temperature and salinity on dietary feeding and body composition of juvenile jicon scallop, *Chlamys farreri* transplanted from China. Korean J Environ Biol 26, 323-329.
- Kim HY. 1997. Toxic effects of phenol on survival and oxygen consumption of the abalone juvenile, *Haliotis discus hannai*. J Korean Fish Soc 30, 496-504.
- Kim SK, Jung YH, Han SH, Oh YS, Ko MH and Oh MY. 2000. Phylogenetic relationship among *Haliotis* spp. distributed in Korea by the RAPD analysis. Korea J Genetics 22, 43-49.
- Kim TH, Kim KJ, Yang MH, Choe MK and Yeu IK. 2006. Physiological changes of juvenile abalone, *Haliotis sieboldi* exposed to acute water-temperature stress. Korean J Aquacult 19, 77-83.
- Kim TH, Yang MH, Choe MK, Han SJ and Yeu IK. 2005. Physiological studies on acute water-temperature stress of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai*. J Aquacult 18, 7-12.
- Kim YS and Cho CH. 1976. Technical study on the artificial precocious breeding of abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. Bull Korean Fish Soc 9, 61-68.
- Kimbrough KL, Johnson WE, Lauenstein GG, Christensen JD and Apeti DA. 2008. An assessment of two decades of contaminant monitoring in the Nation's Coastal Zone. Silver spring MD. pp. 1-105. NOAA technical memorandum NOS NCCOS 74.
- Kinne O. 1963. The effect of temperature and salinity on marine and

- brackish water animals: I. Temperature. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 1, 301-340.
- Kinne O. 1966. Physiological aspects of animal life in estuaries with special reference to salinity. *Neth J Sea Res* 3, 222-244.
- Laughlin RB and Linden O. 1983. Oil pollution and baltic mysid: Acute and chronic effects of the water soluble fractions of light fuel oil on the mysid shrimp *Neomysis integer*. *Mar Ecol Prog Ser* 12, 29-41.
- Laughlin RB and Neff JM. 1980. Influence of temperature, salinity and phenanthrene (a petroleum derived hydrocarbon) on the respiration of larval mud crabs *Rhithropanopeus harristii*. *East Coast Mar Sci* 10, 655-669.
- Lee CS, Tamaru CS, Kelley CD, Moriwake A and Miyamoto GT. 1992. The effect of salinity on the induction of spawning and fertilization in the striped mullet, *Mugil cephalus*. *Aquaculture* 101, 289-296.
- Lee JA. 2003. The energy budgets in various environments and environmental tolerance of ezo abalone *Haliotis discus hannai*. Ph. D. Thesis, Pukyong Nat Univ, Busan, Korea, pp. 145.
- Lee SM, Park CS and Go TS. 1999. Effects of formulated diet or macroalgae (*Undaria pinnatifida*) on the growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*) cultures in different water temperature and shelter type. *J Korean Fish Soc* 32, 284-289.
- Litaay M, De silva SS and Gunasekera RM. 2001. Changes in the amino acid profiles during embryonic development of the blacklip abalone (*Haliotis rubra*). *Aquat Living Resour* 14, 335-342.

- Mackie LA and Ansell AD. 1993. Differences in reproductive ecology in nature and transplanted populations of *Pecten maximus*: evidence for the existence of separate stocks. J Exp Mar Biol Ecol 169, 57-75.
- Maule AG, Tripp RA, Kaattari SL and Schreck CB. 1989. Stress alters immuno function and disease resistance in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). J Endocrinol 120, 135-14.
- Mazeaud M, Mazeaud F and Donaldson EM. 1977. Primary and secondary effects of stress in fish: Some new data with a general review. Trans Am Fish Soc 106, 201-212.
- McDonald G and Milligan L. 1997. Ionic, osmotic and acidbase regulation in stress. In: Iwama, G.W., Pickering, A.D., Sumpter, J.P., Schreck, C.B. (Eds.), Fish stress and health in aquaculture. University Press, Cambridge, pp. 119-144.
- Mgaya YD and Mereer JP. 1995. The effects of size grading and stocking density on growth performance of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai*. Aquaculture 136, 297-312.
- Moon JH and Pang IC. 2003. Inflowing of Yangtze coastal water in summer and its cause. Bull Mar Res Inst Cheju Nat Univ 27, 29-47.
- Morgan JD and Iwama GK. 1991. Effects of salinity on growth, metabolism and ion regulation in juvenile rainbow and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Can J Fish Aquat Sci 48, 2083-2094.
- Morikawa Y, Koike T and Morinaga T. 1995. Inhibition of locomotor activity by the light levels at nighttime in the Japanese abalone

- Haliotis discus*. La Mer 33, 215-220.
- Navarro JM and Gonzalez CM. 1998. Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities. Aquaculture 167, 315-327.
- Newell RC and Kofoed LH. 1977. Adjustment of the components of energy balance in the gastropod *Crepidula fornicata* in response to thermal acclimation. Mar Biol 44, 275-286.
- NFRDI. 1995. Chemical composition of marine products in Korea. Hanguel graphics, Busan Korea, pp. 216.
- NFRDI. 2008. Standard manual of abalone culture. Hanguel graphics, Busan Korea, pp. 221.
- Nie ZQ, Ji MF and Yan JP. 1996. Preliminary studies on increased survival and accelerated growth of over wintering juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. Aquaculture 140, 177-186.
- NSTF. 1990. North sea task force monitoring master plan. North sea environment report No 3. North sea task force/oslo and paris comrnissions/ICES, London.
- Ohta S. 1976. Food seasoning (in) Saiwaisyobow, Tokyo Japan. pp. 146-187.
- Palmer JD. 1974. The control of physiological and behavioral tidal rhythms. In: Biological clocks in marine organisms. J.D. Palmer, ed. Wiley, New York, pp. 1-11.
- Palmer JD. 1995. The biological rhythms and clock of intertidal animals. Oxford university Press. New York, pp. 217.
- Pang IC and Hyun KH. 1998. Seasonal variation of water mass

- distributions in the eastern Yellow sea and the Yellow sea warm current. J Oceanol Soc Korea 33, 41-52.
- Parihar MS, Dubey AK, Javeri T and Prakash P. 1996. Changes in lipid peroxidation, superoxide dismutase activity, ascorbic acid and phospholipids content in liver of freshwater catfish *Heteropneustes fossilis* exposed to elevated temperature. J Therm Biol 21, 223-330.
- Pendro ES, Lucia O, Mario M and Horacio B. 2004. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856). Aquaculture 229, 377-387.
- Perry SF and Reid SD. 1993. β -adrenergic signal transduction in fish: interactive effects of catecholamines and cortisol. Fish Physiol Biochem 11, 195-203.
- Pierce SK and Greenberg MJ. 1972. The nature of cellular volume regulation in marine bivalves. J Exp Bio 25, 15-19.
- Pieseters HJ, Kluymans H, Zurburg W and Zandee DI. 1979. The influence of seasonal changes on energy metabolism in *Mytilus edulis* (L) I. Growth rate and biochemical composition in relation to environmental parameters and spawning. pp. 285-292. In: E. Naylor and R.H. Hartnoll (eds.). Cycle phenomena in marine plants and animals. Pergamon Press. N.Y.
- Pyen CK. 1970. Studies on the propagation of abalone. Bull Nat'l Fish Res Dev Inst, Bull Korean Fish Soc 3, 177-186.
- Pyen CK and Chung SC. 1984. On the rearing and growth of young stage

- of the abalone, *Haliotis discus hannai*. Bull Mar Res Inst Cheju Nat Univ, Cheju, Korea 8, 41-46.
- Quinn B, Gagné F, Costello M, McKenzie C, Wilson J and Mothersill C. 2004. The endocrine disrupting effect of municipal effluent on the zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). Aquat Toxicol 66, 279-292.
- Ram JL and Young ES. 1992. Shock induces a long-lasting elevation of blood glucose in *Aplysia*. Experientia 48, 14-48.
- Rasmussen LPD, hage E and Karlog O. 1983. Light and electron microscopic studies of the acute and chronic toxic effects of N-nitrose compounds on the marine mussel, *Mytilus edulis* (L). II. N-methyl-N-nitro-N-nitrodo guanidine. Aquat Toxicol 3, 301-311.
- Regoli F and Orlando E. 1994. Accumulation and subcellular distribution of metals (Cu, Fe, Mn, Pb and Zn) in the mediterranean mussels *Mytilus galloprovincialis* during a field transplant experiment. Mar Pollut Bull 28, 592-600.
- Requena A, Ferna'ndez-Borra's J and Planas J. 1997. The effects of a temperature rise on oxygen consumption and energy budget in gilthead sea bream. Aquacult Int 5, 415-426.
- Rho S, Park CK and Pyen CK. 1974. Studies of the propagation the abalones (I). The spring spawning of *Haliotis discus hannai* Ion in the abjacent seas of Yeosu. Bull Nat'l Fish Res Dev Inst 13, 77-92.
- Rho S and Yoo SK. 1984. Studies on the propagation of the abalones (III). Utilization of terrestrial plants as food of young abalone, *Haliotis discus hannai* Ino. Bull Nat'l Fish Res Dev Inst 33, 173-183.

- Riche M. 2007. Analysis of refractometry for determining total plasma protein in hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) at various salinities. *Aquaculture* 264, 279-284.
- Rittschof D and McClellan-Green P. 2005. Molluscs as multidisciplinary models in environment toxicology. *Mar Pollut Bull* 50, 369-373.
- Saigusa M. 1996. Phase shift of a tidal rhythm by light-dark cycles in the semi-terrestrial crab, *Sesarma pictum*. *Analytical letters* 29, 601-611.
- Sastry AN and Vargo SL. 1977. Variations in the physiological response of crustacean larvae to temperature. In: Vernberg FJ, Calabrese A, Thurberg FP and Vernberg WB (Eds.), *Physiological response of marine biota to pollutants*. Academic Press, New York, pp. 410-424.
- Sato S. 1975. Fatty acid composition of lipids in some species of marine algae. *Bull Jpn Soc Sci Fish* 41, 1177-1183.
- Schreck CB, Bradford CS, Fitzpatrick MS and Patino R. 1989. Regulation of the interrenal of fishes: Non-classical control mechanism. *Fish Physiol Biochem* 7, 259-265
- Segawa S. 1995. Preliminary experiment on the effect of temperature on rates of oxygen consumption and ammonia excretion of young disk abalone, *Nordotis discus discus*. *Suisanzoshoku* 43, 219-224.
- SETAC. 1992. Biomarkers: biochemical physiological and histological markers of anthropogenic stress. In: Hugget RJ, Kimerle RA, Mehrle PM, Bergman HL (eds), pp. 1-347. SETAC special publication series. Lewis publishers, Chelsea, MI.
- Shin YK, Kim BH, Oh BS, Jung CG, Sohn SG and Lee JS. 2006.

- Physiological responses of the ark shell *Scapharca broughtonii* (Bivalvia: Arcidae) to decreases in salinity. J Fish Sci Technol 9, 153-159.
- Shin YK, Moon TS and Wi CH. 2002. Effects of the dissolved oxygen concentration on the physiology of the manila clam, *Tegillarca granosa* (Linnaeus). J Korean Fish Soc 35, 485-489.
- Shirley TC and Findley AM. 1978. Circadian rhythm of oxygen consumption in the marsh periwinkle, *Littorina irrorata* (Say, 1822). Comp Biochem Physiol 59A, 339-342.
- Singley JA and Chavin W. 1971. Cortisol levels of normal goldfish, *Carrassius auratus* L. and response to osmotic change. Am Zool 11, 653-660.
- Shou H. 1969. Food component and taste. J Food Industry Japan 16, 83-87.
- Shumway S. 1977. The effects of fluctuating salinity on the tissue water content of eight species of bivalve mollusks. J Comp Physiol 116, 269-285.
- Spencer WP. 1939. Diurnal activity rhythms in freshwater fishes. Ohio T Sci 39, 119-132.
- Spoor WA. 1946. A quantitative study of the relationship between the activity and oxygen consumption of the goldfish and its application to the measurement of respiratory metabolism in fishes. Biol Bull 91, 312-325.
- Storey KB and Storey JM. 1990. Metabolic rate depression and biochemical adaptation in anaerobiosis, hibernation and estivation. Q Rev Biol 65,

145-193.

Sunila I and Lindström R. 1985. Survival, growth and shell deformities of copper-and cadmium-exposed mussels (*Mytilus edulis* L.) in brackish water. *Estuar Coast Shelf Sci* 21, 555-565.

Swanson C. 1996. Early development of milkfish: effects of salinity on embryonic and larval metabolism, yolk absorption and growth. *J Fish Biol* 48, 405-421.

Takashi N. 1978. Studies on the effects of the environment on the heart rate of shellfishes. II. Effects of temperature, low salinity and hypoxia on the heart rate of an abalone *Haliotis* (Nordotis) *discus hannai* Ino. *Bull Hokkaido Reg Fish Res Lab* 43, 59-68.

Tomasso JR, Davis KB and Parker NC. 1980. Plasma corticosteroid and electrolyte dynamics of hybrid striped bass (white bass×striped bass) during netting and hauling stress. *Proc. World Maricult Soc* 11, 303-310.

Tsuchiya M. 1983. Mass mortality in a population of the mussel *Mytilus edulis* L. caused by high temperature on rocky shores. *J Exp Mar Biol Ecol* 66, 101-111.

Tucker LE. 1970. Effects of external salinity on *Scutus breviculus* (Gastropoda, Prosobranchia) - I . Body weight and blood composition. *Comp Biochem Physiol* 36, 301-319.

Von Brandt T, McMahon P and Nolan MO. 1957. Physiological observations on starvation and desiccation of the snail, *Australorbis glabratus*. *Biol Bull Woods Hole* 113, 89-112.

- Watanabe H, Yamanaka H and Yamakawa H. 1992. Seasonal variations of extractive components in the muscle of disk abalone. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58, 921-925.
- Wedemeyer GA and McLeay DJ. 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 GA and Yasutake WT. 1977. Clinical methods for the assessment of the effects of environmental stress on fish health. U.S. fish and wildlife service technical paper No. 89, USFWS, Washington D.C., pp. 18.
- Welch WJ. 1991. The role of heat-shock proteins as molecular chaperones. *Curr Opin Cell Biol* 3, 1033-1038.
- Wendel A and Feuerstein S. 1981. Grug-induced lipid peroxidation in mice-1. Modulation by monooxygenase activity, glutathione and selenium status. *Biochem Pharmacol* 30, 2513-2520.
- Wi CH, Chang YJ, Lee BC and Lee SJ. 2000. Temperature effects on the growth and survival rates in the wintering of young abalone, *Haliotis discus hannai*. *Bull Nat'l Fish Res Dev Inst Korea* 58, 50-55.
- Widdows J. 1985. The effects of fluctuating and abrupt changes in salinity on the performance of *Mytilus edulis*. In: Gray JS, Christiansen ME (Eds), *Marine biology of polar regions and effects of stress on marine organism*. Wiley-Interscience, 555-566.
- Yang HS, Park KI, Hong CH and Choi KS. 2008. Effects of salinity stress on the composition of the free amino acids of the Pacific abalone

- Haliothis discus discus*. Korean J Aquacult 21, 218-225.
- Young ES. 1990. Effects of nutritional status and shock on *Aplysia* blood glucose and tissue glycogen levels. M.Sc. Thesis, Wayne State University, pp. 97.
- Young PS and Dueñas CE. 1993. Salinity tolerance of fertilized egg and yolk-sac larvae of the rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch). Aquaculture 112, 363-377.
- Xu J, Yan B, Teng Y, Lou G and Lu Z. 2010. Analysis of nutrient composition and fatty acid profiles of Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus* (Cuvier) reared in seawater and freshwater, J Food Comp. Ana., 23, 401-405.
- Zaccaron da Silver A, Zanette J, Ferreira JF, Guzenski J, Marques MR and Bainy AC. 2005. Effects of salinity on biomarker responses in *Crassostrea rhizophorae* (Mollusca, Bivalvia) Exposed to diesel oil. Ecotoxicol Environ Saf 62, 376-382.