

실내 수조에서 북방전복과 해삼의 복합사육에 따른 생존과 성장

진영국, 오봉세, 박민우, 조재권, 정춘구, 김태익

국립수산과학원 남서해수산연구소

Survival and Growth of the Abalone, *Haliotis discus hannai* and Sea Cucumber, *Stichopus japonicus* Co-cultured in Indoor Tank

Young Guk Jin, Bong Se Oh, Min Woo Park, Jae Kwon Cho, Choon Koo Jung and Tae-ik Kim

Southwest Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

ABSTRACT

The present study investigated survival and growth of the abalone, *Haliotis discus hannai* and sea cucumber, *Stichopus japonicus* co-cultured and supplied with abalone formula feed (AFF) and dry sea tangle (DST) in indoor tank. During the experimental period from April 20 to July 15 in 2011, we used abalone with shell length of 28.54 ± 1.23 mm and total weight of 2.92 ± 0.26 g. The sea cucumber used in the experiment weighed 3.0 ± 0.2 g in wet weight. For the experiment, 3 types of feeds including AFF, DST and AFF-DST mixed (1:1) group were supplied to abalone and sea cucumber. During the experiment, survival of abalone reached over 97.0% and 87.0% for sea cucumber in three experimental tanks. Survival of the abalone was found to be higher in DST group, while it was lower among sea cucumber, although the survival was not significantly different among three experimental group. Growth of abalone fed with AFF was significantly higher, while the growth rate of sea cucumber was highest in the tank fed with AFF+DST mixed diet ($P < 0.05$).

Key words : *Haliotis discus hannai*, *Stichopus japonicus*, co-culture, survival, growth, feed type

서론

북방전복, *Haliotis discus hannai*과 해삼, *Stichopus japonicus*은 우리나라에서 고급 수산물에 속하며, 경제적으로도 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히, 해삼은 우리나라의 전 연안에서 어획되고 있으며, 식생활의 변화 및 중국에서의 수요 증가로 인해 필요성이 갈수록 높아지고 있다. 하지만 연안어장의 오염 및 개발 등으로 인해 서식지가 축소되고 있고 (Lee and Park, 1999), 공급부족으로 인한 무분별한 어획이 이루어지고 있어 개체수가 갈수록 줄어들고 있다. 또한 해삼은 초기 투자금액이 상당하고 전문인력이 부족하여 양식품종으로 안정화 단계에 있는 전복에 비해 쉽사리 산업화로 접어들지 못

하고 있다. 하지만 유기물을 섭취하는 해삼의 섭식 습성을 감안할 때 전복의 먹이 및 그 파생물이 해삼의 성장에 긍정적 영향을 미친다면 비교적 저렴한 비용으로 높은 경제적 수익을 올릴 수 있을 것이다.

전복에 관한 연구는 오랜 기간 동안 풍부한 자료 및 기술축적이 되어있어 산업화로 접어들지 오래지만 (Uki *et al.*, 1985; Mai *et al.*, 1995; Cho and Cho, 2009; Yang *et al.*, 2008), 해삼은 구조, 성장, 생식, 유생사육, 환경, 대사 등 다양한 보고가 되어있는 국외 (Tanaka, 1958; Sui, 1989; Xing and Chia, 1997; Byrne, 2001; Yang *et al.*, 2006; Ji *et al.*, 2008) 에 비해 국내의 경우 유생의 성장과 생존 (Lee and Park, 1999), 생식 (Park *et al.*, 2007), 사육기질이 해삼의 성장 및 체조성에 미치는 영향 (Seo *et al.*, 2009) 등 극히 일부가 있을 뿐 다른 종과의 복합양식에 관해서는 보고된 연구결과를 찾아보기가 힘든 실정이다.

따라서 본 연구는 실내 수조에서 북방전복의 먹이를 달리하여 북방전복과 해삼의 복합양식 가능성을 조사하였고 추후 해삼의 양식 산업화에 그 기초자료를 제공하고자 하였다.

Received: October 26, 2011; Accepted: December 22, 2011

Corresponding author: Tae Ik Kim
Tel: +82 (61) 690-8971 e-mail: tikim@nfrdi.go.kr
1225-3480/24410

재료 및 방법

1. 실험 종 및 사육조건

실내 수조에서 북방전복과 해삼의 복합사육 실험은 2011년 4월 20일부터 7월 15일까지 남서해수산연구소에서 315 L의 수조 (100 cm × 70 cm × 45 cm)에 전복배합사료 (AFF)와 건다시마 (DST)를 단독으로 공급한 실험구와 전복배합사료와 건다시마 혼합 공급 (혼합구, AFF+DST)한 실험구를 설정하여 각 실험구별로 전복 500마리와 해삼 33마리를 혼합 수용하였다. 실험에 사용된 북방전복은 각장 28.54 ± 1.23 mm, 전중량 2.92 ± 0.26 g인 개체들을 전라남도 완도군의 종묘생산업체에서 구입하였고, 해삼은 습중량 3.0 ± 0.2 g인 개체들을 경상남도 남해군의 종묘생산업체에서 구입하였다. 수온 측정은 HOBO tidbit V2 Temp Logger (UTBI-001), 염분은 YSI (600QS, USA) 를 이용하여 매일 오전 10시에 측정하였으며, 실험은 3반복으로 진행되었다.

전복배합사료는 중국 위해금패사료유한공사에서 생산된 502BY를 건다시마는 중국산을 사용하였다. 전복배합사료와 건다시마를 단독으로 공급한 실험구는 실험시작 시 각각 30 g/일, 100 g/일을 공급하였고, 매일 잔존 먹이량을 관찰하여 먹이가 부족하지 않도록 공급량을 늘려 실험 종료 시 각각 300 g/일까지 공급하였다. 혼합구는 전복배합사료와 건다시마 실험구 공급량의 절반을 1:1의 비율로 공급하였다. 먹이는 1-2 일 마다 17:00에 공급하였고, 수조 청소는 1-2일 간격으로 해주었다.

2. 먹이의 일반성분 분석

전복배합사료와 건다시마의 일반성분은 AOAC (2000) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법 (135℃, 2시간), 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법 (N × 6.25), 조회분은 직접회화법, 조지방은 샘플을 12시간 동안 동결 건조한 후 Soxtec system 1046 (TacatorAB, Sweden) 을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다.

3. 생존율 및 성장

생존율은 북방전복과 해삼이 받는 스트레스를 최소화하기 위해 청소시마다 사망개체를 파악하여 누적생존율로 환산하였다. 성장은 북방전복의 경우 각장 (mm) 과 전중량 (g) 을, 해삼의 경우 습중량 (g) 을 버니어캘리퍼스와 전자저울을 이용하여 매일 1회 측정한 후 그 평균값 (mean ± SEM of three replications)을 기재하였다. 또한 아래와 같은 식에 의해 해삼의 specific growth rate (SGR, %/day)를 구하였다.

$$\text{Specific growth rate (SGR, \%)} = [(\text{final weight} -$$

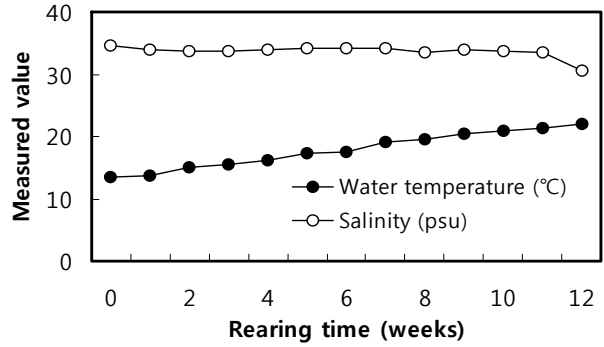


Fig. 1. Water temperature and salinity in the experimental tanks.

$$\text{initial weight}) / \text{initial weight} \times 100] / \text{days}$$

4. 통계분석

결과의 통계처리는 SPSS version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955) 로 평균 간의 유의성을 검정하였다.

결 과

1. 사육환경

실험기간동안 수온은 12.51-22.37℃로 월별 평균수온은 4월 13.25℃, 5월 16.11℃, 6월 19.60℃, 7월 21.41℃로 조사되었다. 염분은 30.26-34.90 psu로 월 평균염분은 4월 34.21 psu, 5월 33.85 psu, 6월 34.01 psu, 7월 32.23 psu로 나타났다 (Fig. 1).

2. 전복배합사료 및 건다시마의 일반성분

북방전복에게 공급한 먹이의 일반성분은 전복배합사료의 경우 수분이 5.27%, 조단백질 30.40%, 조지방 1.92% 및 조회분 25.20%로 나타났고, 건다시마는 수분이 14.36%, 조단백질 8.22%, 조지방 1.27% 및 조회분 14.66%로 조사되었다 (Table 1). 수분함량을 제외한 모든 영양성분은 전복배합사료가 높은 비율을 보였다.

3. 생존율

북방전복의 생존율은 Fig. 2와 같이 전 시험구에서 97% 이상의 높은 생존율을 보였다. 실험종료 시 전복배합사료 실험구는 97.4%, 건다시마 실험구는 98.0%, 혼합구는 97.2%를 보였다. 혼합구가 가장 낮은 값을 보였지만 실험구간 유의한 차이는 나타나지 않았다 (P > 0.05).

Table 1. Proximate composition of the abalone formula feed (AFF) and dry sea tangle (DST)

	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Crude ash
Abalone formula feed (AFF)	5.27	30.40	1.92	25.20
Dry sea tangle (DST)	14.36	8.22	1.27	14.66

해삼의 생존율은 Fig. 3과 같이 실험 종료 시 혼합구가 95.5%, 건다시마 실험구가 87.9%로 나타났으나 실험구간 유의적인 차이는 나타나지 않았다 ($P > 0.05$).

4. 성장

북방전복의 각장성장은 Fig. 4와 같이 전복배합사료 실험구가 실험 전 기간 동안 각장 28.51 ± 0.79 mm에서 37.25 ± 0.94 mm로 가장 빠른 성장을 보였으며, 건다시마 실험구와 유의적인 차이를 나타냈다 ($P < 0.05$). 혼합구는 사육 4주까지는 건다시마 실험구와 성장에 차이를 보였지만 ($P < 0.05$), 이후 두 실험구간 유의한 성장 차이는 나타나지 않았다 ($P > 0.05$).

북방전복의 전중성장은 Fig. 5와 같이 전복배합사료 실험구의 경우 사육 전 기간에 걸쳐 건다시마 실험구보다 빠른 성장을 보였다 ($P < 0.05$). 혼합구는 사육 4주까지는 전복배합사료 실험구보다 낮고 건다시마 실험구보다 빠른 성장을 보였다 사육 8주에는 다른 두 실험구와 차이를 보이지 않다가 사육 종료일 (12주)에 전복배합사료 실험구와 서로 차이를 보였다, ($P < 0.05$).

해삼의 습중량은 Fig. 6과 같이 사육 4주까지는 세 실험구 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았지만 ($P > 0.05$), 4주 이후 혼합구가 사육 종료일 (12주) 까지 다른 두 실험구에 비해 빠른 성장을 보였다 ($P < 0.05$). 사육 종료일에 전복배합사료만을 공급한 실험구의 해삼 습중량은 3.00 ± 0.20 g에서

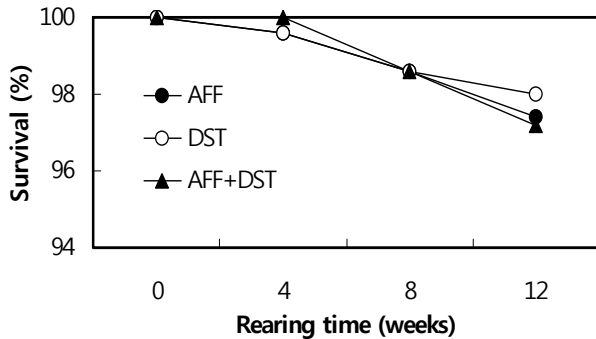


Fig. 2. Survival rate of the abalone, *Haliotis discus hannai*. AFF: abalone formula feed, DST: dry sea tangle.

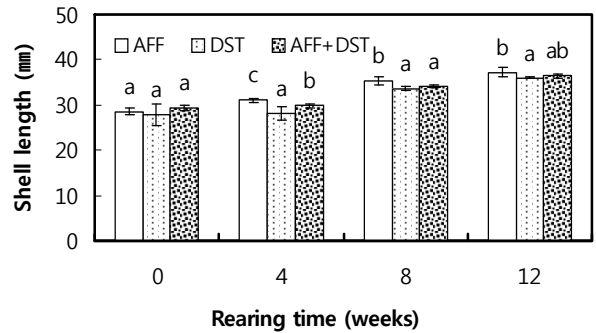


Fig. 4. Shell length increase in the abalone, *Haliotis discus hannai*. AFF: abalone formula feed, DST: dry sea tangle.

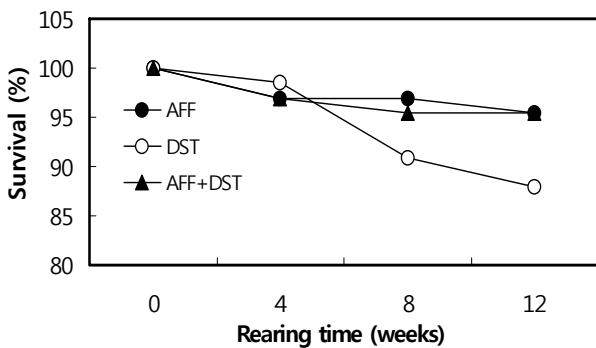


Fig. 3. Survival rate of the sea cucumber, *Stichopus japonicus*. AFF: abalone formula feed, DST: dry sea tangle.

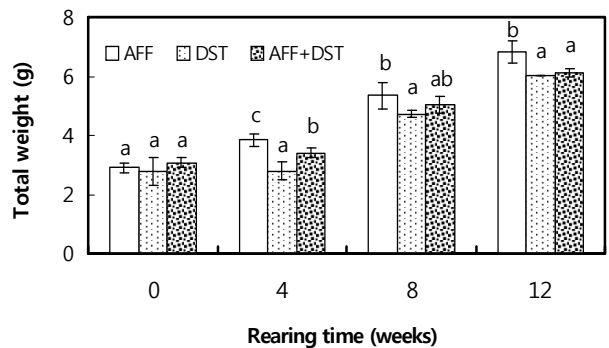


Fig. 5. Total weight increase in the abalone, *Haliotis discus hannai*. AFF: abalone formula feed, DST: dry sea tangle.

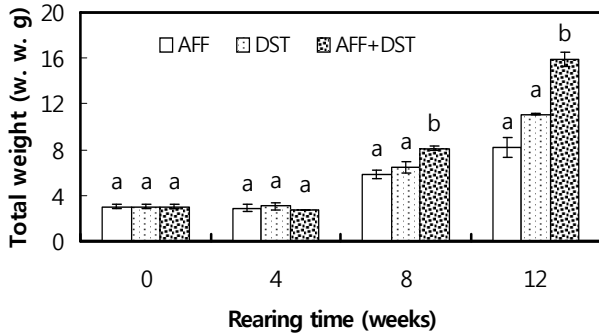


Fig. 6. Total weight (wet weight) increase in the sea cucumber, *Stichopus japonicus*. AFF: abalone formula feed, DST: dry sea tangle

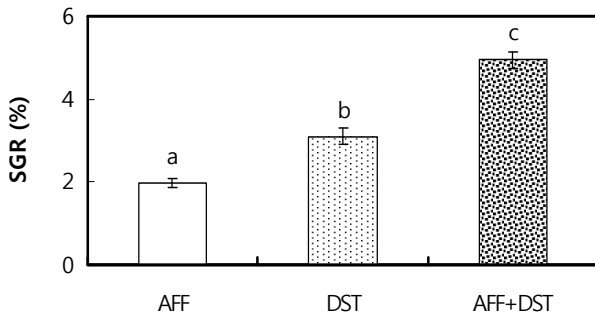


Fig. 7. Specific growth rate (SGR, %) of sea cucumber, *Stichopus japonicus*. AFF: abalone formula feed, DST: dry sea tangle.

8.16 ± 0.85 g으로 272% 증가하였고, 건다시마를 공급한 실험구는 11.11 ± 0.02 g으로 370% 증가하였다. 혼합구의 해삼 습증량은 15.92 ± 0.61 g으로 531% 증가하였다.

사육 종료일에 조사한 해삼의 SGR은 Fig. 7과 같이 혼합구, 건다시마, 전복배합사료 실험구 순으로 높았으며, 세 실험구가 모두 유의한 차이를 보였다 (P < 0.05).

고찰

북방전복의 생존율은 개체의 크기, 질병, 사육환경 등 여러 가지 여건에 따라 매우 다양하게 나타나며, 본 실험과 비슷한 크기를 가진 개체의 경우 적절한 사육환경을 제공한다면 80-90%의 높은 생존율을 보인다 (Jeong *et al.*, 1994). 본 연구에서 나타난 북방전복의 생존율은 모든 실험구에서 97.2% 이상으로 먹이 종류에 따른 생존율의 유의적 차이는 없는 것으로 나타났다. 건다시마를 공급한 실험구에서 나타난 높은 생존율은 조제용 배합사료와 건다시마를 공급하여 사육한 기존 연구 결과와도 유사하였다 (Cho *et al.*, 2008; Cho

and Cho, 2009). 해삼의 생존율은 전복배합사료 실험구와 전복배합사료와 건다시마 혼합 실험구에서 95.0% 이상의 높은 생존율을 보였지만, 건다시마 실험구에서 87.9%로 다른 두 실험구에 비해 낮은 값을 보였다. 이는 다시마 실험구에서 나타난 북방전복의 생존율과 정반대의 경향을 보여주는 것으로 추후 세부적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

전복의 사육수온은 서식지역, 종 등에 따라 다양하게 나타나지만 북방전복의 경우 22℃ 이하로 보고되고 있으며 (Uki *et al.*, 1981), 적정 수온은 15-20℃로 알려져 있다 (Yoo, 1998). 본 연구에서도 수온이 15℃ 이상이 되는 시기부터 먹이별 유의적 성장 차이가 나타나는 것을 알 수 있다.

일반적으로 전복의 먹이는 자연 먹이보다 영양학적으로 균형이 갖춰진 배합사료를 공급했을 때 훨씬 성장이 좋으며 (Hahn, 1989; Viana *et al.*, 1993; Naidoo *et al.*, 2006), 이는 배합사료와 건다시마를 공급한 후 체중 증가를 비교한 연구에서 배합사료가 우수한 효과를 보인 결과에서도 알 수 있다 (Cho *et al.*, 2008; Cho and Cho, 2009). 본 연구결과에서도 북방전복의 각장 및 전중 모두 전복배합사료 실험구가 가장 빠른 성장을 보여 기존 보고들과 유사한 결과를 보였다.

해삼의 전중 성장 및 SGR은 북방전복의 각장과 전중 성장과는 다르게 전복배합사료와 건다시마를 동시에 공급했을 때 가장 좋은 결과를 보이고 있었다. 이는 해삼이 유기물을 섭취하여 성장하는 습성을 가지고 있음을 볼 때 (Moriarty, 1982; Michio *et al.*, 2003), 전복배합사료나 건다시마를 단독으로 공급하는 것보다 동시에 공급하는 것이 더 다양한 유기물을 섭취할 수 있어 나타나는 결과로 보인다.

본 실험에서 전복배합사료와 건다시마를 해삼이 직접 섭취하는지, 시간이 경과 후 표면이 붕괴되어 나오는 유기물을 섭취하는지 아니면 북방전복이 섭취 후 배설하는 배설물을 일정 시간이 지난 후 유기물로서 섭취하는지는 결론을 내리기 어렵다. 하지만 연구 결과를 토대로 볼 때 북방전복의 경우 영양학적으로 균형이 맞춰진 전복배합사료를 단독으로 공급했을 때, 해삼의 경우 전복배합사료와 건다시마를 동시에 공급했을 때 성장이 가장 양호한 것으로 나타났다. 이는 해삼의 초기 양식에 중요한 참고자료를 제공할 수 있을 것이다.

요약

2011년 4월 20일부터 7월 15일까지 전복배합사료와 건다시마를 먹이원으로 한 북방전복과 해삼의 실내 복합사육에서 생존율과 성장에 어떠한 영향을 받는지 관찰하였다. 실험에 사용된 북방전복의 크기는 각장 28.54 ± 1.23 mm, 전중량 2.92 ± 0.26 g 이었고, 해삼은 습증량 3.0 ± 0.2 g 이었다. 먹이는 전복배합사료 실험구, 건다시마 실험구 및 전복배합사료와 건다시마 혼합 실험구로 설정하였다. 북방전복과 해삼의

생존율은 모든 실험구에서 각각 97.0%, 87.0% 이상을 보였다. 북방전복의 생존율은 건다시마 실험구에서 가장 높은 반면 해삼은 가장 낮았지만 유의적인 차이는 보이지 않았다. 성장은 북방전복의 경우 전복배합사료 실험구에서, 해삼의 경우 전복 배합사료와 건다시마를 동시에 공급한 실험구에서 가장 빨랐다.

감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원 남서해수산연구소 “해삼 양식산업화를 위한 핵심기술 개발 (RP-2011-AQ-108)”과제의 일환으로 추진되었다.

참고문헌

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (2000) Official methods of analysis of the association of official analytical chemists, 17th edition. Cunniff, P ed. Association of official analytical chemists, Inc, Arlington, VA, U.S.A.
- Byrne, M. (2001) The morphology of autotomy structures in the sea cucumber, *Eupentacta quinquesemita* before and during evisceration. *The Journal of Experimental Biology*, **204**: 849-863.
- Cho, S.H. and Cho, Y.J. (2009) Effect of temperature condition on growth of juvenile abalone, *Haliotis discus hannai* with the different feeds. *Korean Journal of Malacology*, **25**(2): 121-126. (in Korean)
- Cho, S.H., Kim, C.I., Cho, Y.J., Lee, B.S., Park, J.E., Yoo, J.H. and Lee, S.M. (2008) Effects of the various dietary additives on growth and tolerance of abalone, *Haliotis discus hannai* against stresses. *Journal of Aquaculture*, **21**(4): 309-316. (in Korean)
- Hahn, K.O. (1989) Nutrition and growth of abalone. In: Handbook of culture of abalone and other marine gastropod (Hahn, K.O. ed.), pp. 135-156. CRC Press. Florida, USA.
- Jeong, S.C., Jee, Y.J. and Son, P.W. (1994) Indoor tank culture of the abalone, *Haliotis discus hannai*. I. Effects of tank shape and stocking density on the growth of young abalone. *Journal of Aquaculture*, **7**: 9-20. (in Korean)
- Ji, T., Dong, Y. and Dong, S. (2008) Growth and physiological responses in the sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka: Aestivation and temperature. *Aquaculture*, **283**: 180-187.
- Lee, C.S. and Park, Y.J. (1999) Influence of food and density on the growth and survival of sea cucumber, *Stichopus japonicus*. *Journal of Aquaculture*, **12**: 39-45. (in Korean)
- Mai, K., Mercer, J.P. and Donlon, J. (1995) Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. III. Responses of abalone to various levels of dietary lipid. *Aquaculture*, **134**: 65-80.
- Michio, K., Kengo, K., Yasunori, K., Hitoshi, M., Takayuki, Y., Hideaki, Y. and Hiroshi, S. (2003) Effects of deposit feeder *Stichopus japonicus* on algal bloom and organic matter contents of bottoms sediments of the enclosed sea. *Marine Pollution Bulletin*, **47**: 118-125.
- Moriarty, D.J.W. (1982) Feeding of *Holothuria atra* and *Stichopus chloronotus* on bacteria, organic carbon and organic nitrogen in sediments of the great barrier reef. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, **33**: 255-263.
- Naidoo, K., Maneveldt, G., Ruck, K. and Bolton, J.J. (2006) A comparison of various seaweed-based diets and artificial feed on growth rate of abalone in land-based aquaculture systems. *Journal of Applied Phycology*, **18**: 437-443.
- Park, K.J., Park, Y.J., Kim, S.K., Choi, S.D., Kim Y.G. and Choi, N.H. (2007) Histological study on the reproductive cycle of *Stichopus japonicus* in the West coast of Korea. *Journal of Aquaculture*, **20**(1): 26-30. (in Korean)
- Seo, J.Y., Kim, D.G., Kim G.U., Cho, S.S., Park, H.G. and Lee, S.M. (2009) Effect of different substrates in the rearing tank on growth and body composition of juvenile sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. *Journal of Aquaculture*, **22**(1): 118-121. (in Korean)
- Sui, X. (1989) The main factors influencing the larval development and survival rate of the sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, **20**: 314-321.
- Tanaka, Y. (1958) Seasonal changes occurring in the gonad of *Stichopus japonicus*. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, **9**: 29-36.
- Uki, N., Grant, J.F. and Kikuchi, S. (1981) Juvenile growth of the abalone, *Haliotis discus hannai*, fed certain benthic micro algae related to temperature. *Bulletin Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory*, **43**: 59-64.
- Uki, N., Kemuyama, A. and Watanabe, T. (1985) Development of semipurified test diets for abalone. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, **51**: 1825-1833.
- Viana, M.T., Lopez, L.M. and Salas, A. (1993) Diet development for juvenile abalone, *Haliotis fulgens* evaluation of two artificial diets and macroalgae. *Aquaculture*, **117**: 149-156.
- Xing, J. and Chia, F.S. (1997) Heavy metal accumulation in tissue/organs of a sea cucumber, *Holothuria aecospilota*. *Hydrobiologia*, **352**: 17-23.
- Yang, H., Zhou, Y., Zhang, T., Yuan, X., Li, X., Liu, Y. and Zhang, F. (2006) Metabolic characteristics of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* Selenka during aestivation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **330**: 505-510.
- Yang, H.S., Park, K.I., Hong, C.H., Choi, K.S. (2008) Effects of salinity stress on the composition of free amino acids of Pacific abalone *Haliotis discus discus*. *Journal of Aquaculture*, **21**(4): 218-225. (in

실내 수조에서 북방전복과 해삼의 복합사육에 따른 생존과 성장

Korean)

Publishin Co. Busan. (in Korean)

Yoo, S.K. (1998) Shallow-Sea Culture. 625 pp. Guduk