

대하, *Fenneropenaeus chinensis* 치하의 생존 및 성장에 미치는 빈산소, 암모니아 및 황화수소의 영향

지정훈 · 강주찬[†]
부경대학교 수산생명의학과

Effects of the Different Level of Dissolved Oxygen, Ammonia and Hydrogen Sulfide on Survival and Growth of juvenile, *Fenneropenaeus chinensis*

Jung-Hoon Jee and Ju-Chan Kang[†]

Department of Aquatic Life Medicine, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Experiments were carried out to examine the effects of the different levels of oxygen, ammonia and hydrogen sulfide on survival, specific growth rate (SGR) and feed conversion ratio (FCR) of juvenile shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*. Survival of the shrimp exposed to the hypoxia with ≤ 2.5 mg/L dissolved oxygen for 24 days were significantly affected. SGR and FCR of the shrimp exposed to ≤ 3.0 mg/L dissolved oxygen were significantly reduced than those of shrimp reared at 6.8 mg/L dissolved oxygen concentration. Survival of the shrimp exposed to ≥ 2.0 mg/L of ammonia levels for 24 days was significantly affected. Moreover, compared to the control group significant decrease of SGR and FCR of the shrimp has been observed with ≥ 1.0 mg/L and ≥ 0.5 mg/L of ammonia concentrations. In case of hydrogen sulfide, ≥ 0.5 mg/L was the critical level showed its significant negative effect on survival rate of shrimp exposed for 24 days. While, the group exposed with ≥ 0.07 mg/L and ≥ 0.05 mg/L hydrogen sulfide levels had a lower SGR and FCR values than did the control group in the same stipulated time of exposure.

Keywords: *Fenneropenaeus chinensis*, Hydrogen sulfide, Dissolved oxygen, Ammonia, Growth, Survival

서 론

우리나라의 새우 양식은 1941년 대하, *Fenneropenaeus chinensis*를 처음으로 시작한 이래 현재까지 다른 품종에 비해 대하가 광온성, 광염성이고, 성장이 빠른 이유 등(Liu, 1983)으로 인하여 연안의 만을 이용하여 제방을 쌓거나, 폐쇄된 염전 등을 이용하여, 남해안 및 서해안을 중심으로 양식을 하고 있다. 그러나 우리나라의 대하양식은 현재까지 양식장의 수나 면적은 증가하였으나, 생산량은 기복이 심하게 나타나고 있는데, 특히 1993년부터는 단위 면적당 생산량이 감소하고 있는 실정이다(해양수산부, 1997). 이는 최근 유행되는 바이러스 질병에도 그 원인을 찾을 수 있겠으나, 일차적으로는 연안환경 악화 및 양식장 자가 오염에 따른 사육환경의 변화 등을 우선적으로 들 수 있을 것이다. 대하 양식장은 환경 관리를 일반적으로 인공적인 환수에 의존하기 때문에 사육 환경이 악화되고 있으며, 이로 인하여 대

하의 성장에도 악영향을 미치고 있다(Zhang, 1989).

대하에 관한 연구는 사료 관리(Xu, 1988), 환경 관리(Li and Fayi, 1987; Sun, 1988), 질병 발생(Zheng, 1986), 각 양식장의 특성(김과 유, 1989)등이 연구되었고, 수계의 많은 환경 요소별 특성에 따라, 수온(Tseng, 1988; Lia, 1989; Yang, 1989), pH(Liu, 1983), 염분(Tseng, 1988), 용존산소(Boyd, 1982), 아질산(Chen et al., 1990)에 관한 연구가 대부분이었으며, 이런 환경적인 요소와 성장률과의 관계는 제한적인 조건하에서 연구되어 왔다.

일반적으로 수산양식에 있어 환경은 수산생물의 생리에 적합한 요인으로 전체가 구성되어야 하는데, 대하 양식장과 같은 폐쇄적이면서도 한정된 장소에서는 양식기간 중에 먹다 남은 먹이, 배설물 및 식물플랑크톤의 사체 등에 의한 유기물부하가 양식 환경에 영향을 미칠 것이다. 따라서 대하를 비롯한 새우류의 양식과 환경과의 관계를 해명하기 위한 연구들이 이루어지고 있으며(Brock, 1983; Malecha, 1983; Liao and Chien, 1989; Chen et al., 1990), 이들 연구결과 여러 가지 환경 요인들이 대하의 생산성에 제한요소로 작용한다는 것을 지적하고 있다.

*Corresponding author: jckang@pknu.ac.kr

대하는 post larva 이후 먹이를 찾아 회유하며 환경조건이 좋지 않으면 잠입하는 습성을 가지고 있어 양식장의 유기물 오염에 따른 저층수의 빈산소, 저질 중의 고농도의 암모니아 및 황화수소의 발생은 수질환경에도 영향을 주어 대하의 생산성에 악영향을 미칠 수 있다. 따라서, 본 연구는 대하 치하의 생존 및 성장에 미치는 빈산소, 암모니아 및 황화수소의 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

실험재료

대하 치하는 경상남도 남해 소재의 양식장에서 체중 0.54 ± 0.03 g (mean \pm SD)의 대하 치하를 분양 받아 실험실에서 10일간 순치시켜 실험에 사용하였다. 순치 시 환경조건은 수온, 염분, pH 및 용존산소가 각각 21.6 ± 0.41 °C, 31.6 ± 0.83 ‰, 7.82 ± 0.38 및 6.78 ± 0.49 mg/L (mean \pm SD)의 조건이었으며 먹이는 미립자 사료(INVE. Inc)을 덩어리로 제조한 펠릿사료와 껍질을 제거한 바지락 살을 매일 오전(09:00)과 오후(16:00) 2회에 걸쳐 충분히 공급하였다. 실험에 사용하는 대하의 외관상 질병 증세가 없는 유사한 크기의 개체를 실험구별로 40마씩 사용하였다.

생존율

유식식 방법으로 수행된 실험에서 생존율을 측정하기 위하여 각 구간당 25개씩 노출하여 3반복구를 두어 실험하였다. 노출한 각 수조에서 24시간마다 사망개체를 조사하여 24일간의 생존율을 구하였다. 용존산소 농도(2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 및 6.8 mg/L)는 O₂가스와 N₂가스의 조합에 의해 조절하였으며, 황화수소 농도(0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0 mg/L)는 황화나트륨(Na₂S · 9H₂O), 암모니아농도(0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.5 및 4.0 mg/L)는 염화암모늄(NH₄Cl)을 사용하여 각각 stock solution을 조제하여 연동 펌프에 의해 이들 농도를 조절하였다(Kang, 1997). 실험 과정에 중에 수질이 설정 목표로 유지되는지를 확인하기 위하여 실험수조의 유입수, 유출수 및 실험수조 중앙에 위치한 세 정점에서 수질의 상태를 매일 측정하였다(APHA, 1995).

성장률

생존 실험을 통해 설정된 농도(용존산소, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 및 6.8 mg/L; 암모니아, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0 및 2.0 mg/L; 황화수소, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.1 및 0.5 mg/L의 범위)를 바탕으로 24일간의 성장실험을 실시하여 환경요인에 따른 대하의 성장과 사료효율을 조사하였다(이, 1992). 이들 결과에 대한 유의성은 SPSS 통계프로그램을 이용하여 ANOVA test를 실시한 후, 다중 비교는 최소 유의차이로 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다.

결 과

용존산소농도에 따른 대하의 영향

용존산소 농도에 따른 24일 동안의 대하의 생존율은 Fig. 1과 같다. 3.0 mg/L 이상의 용존산소 구간에서는 87.5% 이상의 생존율을 나타내었으나, 2.0 및 2.5 mg/L 용존산소 실험구에서는 각각 55.0 및 75.0%의 생존율을 나타내었다. SGR에 미치는 용존산소의 영향을 24일간 조사한 결과, 3.0 및 2.5 mg/L의 용존산소 실험구에서 3.5 mg/L 이상의 용존산소 실험구와 비교하여 유의한 성장 둔화를 나타내었다($P < 0.05$). 또한 사료효율(FCR)에 미치는 용존산소의 영향을 조사한 결과 3.0 mg/L 이하의 용존산소 실험구에서 유의한 감소가 나타내었다(Table 1).

암모니아 농도에 따른 대하의 영향

24일간의 암모니아 농도별 노출에 따른 대하의 생존율을 조사한 결과 2.0 mg/L 이상의 농도구에서 대조구와 비교하여 감소를 나타내었다(Fig. 2). 특히 3.5 및 4.0 mg/L의 노출구에서는 실험 종료 시 생존율이 각각 67.5 및 60.5%로 대조구 90.5%에 비해 상당한 폐사를 나타내었다. 24일간의 암모니아 농도별 성장에 대한 실험에서 1.0 및 2.0 mg/L의 암모니아 노출구에서 2.16 및 1.67의 SGR (%/d)을 각각 나타내어 대조구의 2.80에 비해 뚜렷한 성장 감소가 조사되었다($P < 0.01$). 이러한 결과는 사료효율에서도 유사한 경향으로 나타나 0.5 mg/L 농도구와 1.0 mg/L 이상의 농도구에서 대조구와 비교하여 각각 $P < 0.05$ 및 $P < 0.01$ 의 유의한 차이가 조사되었다.

황화수소 농도에 따른 대하의 영향

황화수소에 대한 대하의 영향을 조사한 결과, 대하의 생존율은 황화수소를 첨가하지 않은 대조구에서는 90%이상의 생존율을 나타내었지만, 황화수소 노출 실험구에서는 농도와 노출기

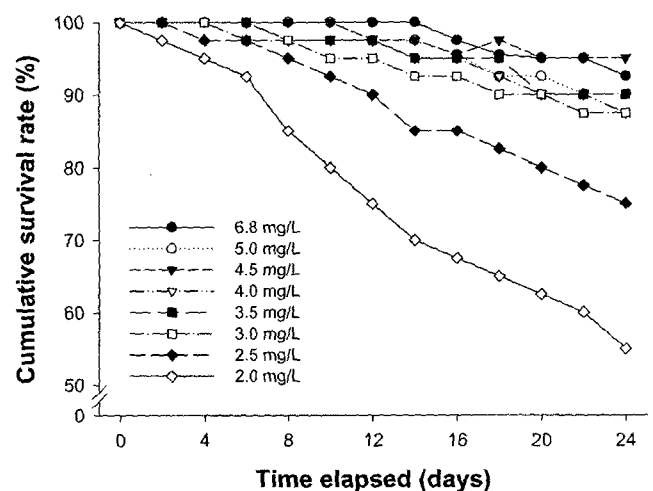


Fig. 1. Cumulative survival rate of *Fenneropenaeus chinensis* juvenile reared at the different dissolved oxygen concentrations for 24 days.

Table 1. Growth performance of *Fenneropenaeus chinensis* juvenile reared at different dissolved oxygen concentrations for 24 days¹

Dissolved oxygen (mg/L)	Mean body weight (g)		WG (%) ³	SGR (%/d) ⁴	FCR ⁵
	Initial	Final			
6.8	0.55	2.32	321.8 ^a	2.60 ^a	3.19 ^a
5.0	0.54	2.42	348.1 ^a	2.71 ^a	3.33 ^a
4.5	0.53	2.24	323.3 ^b	2.61 ^a	3.02 ^a
4.0	0.55	2.28	315.8 ^b	2.58 ^a	3.24 ^a
3.5	0.53	2.19	312.0 ^b	2.56 ^a	2.98 ^a
3.0	0.54	1.72	217.9 ^b	2.09 ^b	2.05 ^b
2.5	0.55	1.67	200.6 ^b	1.99 ^b	1.59 ^c
Pooled SEM ²	0.003	0.11	21.7	0.10	0.25

¹Values (means of triplicate group) in the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

²Pooled standard error of mean.

³WG (Weight gain %)=(final body weight - initial body weight)/(initial body weight)×100.

⁴SGR (Specific growth rate % per day)=(lnW_f-lnW_i)/T×100, where W_f=final weight, W_i=initial weight and T is the rearing period in days.

⁵FCR (Feed conversion ratio)=total wet weight gain (g)/total dry feed fed (g).

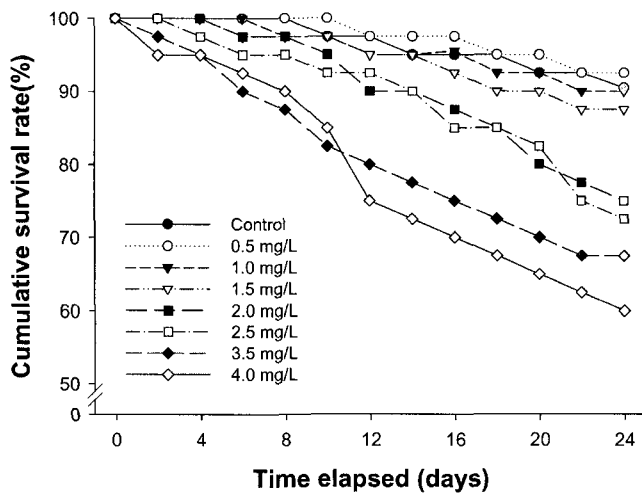


Fig. 2. Cumulative survival rate of *Fenneropenaeus chinensis* juvenile reared at the different concentrations of ammonia for 24 days.

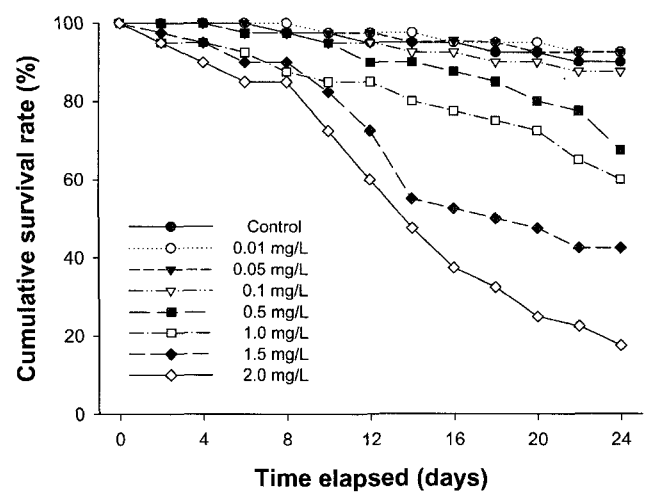


Fig. 3. Cumulative survival rate of *Fenneropenaeus chinensis* juvenile reared at the different concentrations of hydrogen sulfide for 24 days.

간이 증가할수록 생존율이 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 3). 저 농도인 0.01~0.1 mg/L의 노출구에서는 대하의 생존율이

87.5~92.5%의 범위를 나타내었지만, 0.5, 1.0 및 1.5 mg/L의 황화수소 노출구에서는 상당한 감소를 나타내어 실험종료 시 각

Table 2. Growth performance of *Fenneropenaeus chinensis* juvenile reared at different ammonia concentrations for 24 days¹

Ammonia (mg/L)	Mean body weight (g)		WG (%) ³	SGR (%/d) ⁴	FCR ⁵
	Initial	Final			
Control	0.65	3.02	369.7 ^{ab}	2.80 ^{ab}	3.09 ^a
0.1	0.63	3.13	397.3 ^a	2.90 ^a	3.15 ^a
0.2	0.61	2.98	388.5 ^a	2.87 ^{ab}	2.98 ^a
0.3	0.64	2.87	349.0 ^{ab}	2.72 ^{ab}	2.84 ^a
0.5	0.63	2.69	327.0 ^b	2.62 ^b	2.02 ^b
1.0	0.62	2.04	230.1 ^c	2.16 ^c	1.73 ^b
2.0	0.60	1.52	152.8 ^d	1.67 ^d	1.09 ^c
Pooled SEM ²	0.01	0.23	34.5	0.17	0.25

¹Values (means of triplicate group) in the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

²Pooled standard error of mean.

³WG (Weight gain %)=(final body weight - initial body weight)/(initial body weight)×100.

⁴SGR (Specific growth rate % per day)=(lnW_f - lnW_i)/T×100, where W_f = final weight, W_i= initial weight and T is the rearing period in days.

⁵FCR (Feed conversion ratio)=total wet weight gain (g)/total dry feed fed (g).

Table 3. Growth performance of *Fenneropenaeus chinensis* juvenile reared at different hydrogen sulfide concentrations for 24 days¹

Hydrogen sulfide (mg/L)	Mean body weight (g)		WG (%) ¹	SGR (%/d) ²	FCR ³
	Initial	Final			
Control	0.73	2.72	272.6 ^{ab}	2.38 ^{ab}	2.17 ^{ab}
0.01	0.72	2.83	292.6 ^a	2.47 ^a	2.23 ^a
0.03	0.71	2.68	276.1 ^{ab}	2.39 ^{ab}	1.96 ^b
0.05	0.75	2.57	242.2 ^{bc}	2.22 ^{bc}	1.42 ^c
0.07	0.74	2.39	222.5 ^c	2.11 ^c	1.22 ^{cd}
0.10	0.72	1.74	141.7 ^d	1.60 ^d	1.01 ^d
0.50	0.70	1.22	73.8 ^e	0.99 ^e	0.88 ^e
Pooled SEM ²	0.01	0.23	30.5	0.20	0.25

¹Values (means of triplicate group) in the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

²Pooled standard error of mean.

³WG (Weight gain %)=(final body weight - initial body weight)/(initial body weight)×100.

⁴SGR (Specific growth rate % per day)=($\ln W_f - \ln W_i$)/T×100, where W_f =final weight, W_i =initial weight and T is the rearing period in days.

⁵FCR (Feed conversion ratio)=total wet weight gain (g)/total dry feed fed (g).

각 67.7, 60.5 및 42.5%의 생존율을 나타내었다. 황화수소 최고 농도인 2.0 mg/L 농도구에서는 노출 8일째부터 급격한 생존감소를 나타내어 실험 종료 시 생존율이 17.5%로 조사되었다. 한편, 황화수소 노출에 대한 대하의 SGR에 미치는 영향을 조사한 결과 노출농도 0.07 mg/L 이상의 농도구에서 유의한 성장 지연이 나타났으며, 특히 0.1 및 0.5 mg/L 황화수소 노출구에서는 대조구(2.38%/d)에 비해 유의하게 낮은 성장률을 나타내었다($P < 0.01$). 하지만, 사료효율은 황화수소 0.05 mg/L 이상의 농도구에서 대조구와 비교하여 유의한 감소가 조사되었다($P < 0.05$).

고 찰

새우류 양식의 중요한 생산 억제 요인으로 작용하는 용존산소는 2.0 mg/L 이하의 농도에서는 생존에 치명적일 수 있다(Brock, 1983; Yang, 1989). 또한 새우류의 정상적인 성장과 발병 억제를 위한 용존산소 농도는 6.0 mg/L 이상이어야 한다는 보고가 있다(Brock, 1983). 특히 용존산소는 새우 양식에서 중요한 환경 요소이며(Conte, 1981), 새우의 크기, 양식장의 수온, 새우 개체 각각의 특이성 등에 따라 성장량에 미치는 영향이 다르며, 성장과 생존에 영향을 미치지 않기 위한 최저 하한선은 15°C에서는 1.3 mg/L, 20°C에서는 1.75 mg/L를 유지해야 한다는 보고가 있다(Yang, 1989). 본 실험의 결과에 따르면, 대하 치하의 경우 적정 용존산소가 4.0 mg/L 농도가 유지되어야 생존 및 성장에 영향을 미치지 않는 수준임을 보여주었다. 오염물질의 독성이 생물에 미치는 영향은 생물의 종과 생리적인 상태에 따라 차이가 있지만, 대부분의 오염물질은 그 노출농도와 기간에 의존적으로 사망률이 증가하는 것으로 알려져 있다. 암모니아는 수계 환경 요소 중 가장 일반적인 오염물질로서 수중에서는 이온화된 암모니아(NH_4^+)와 비이온화된 암모니아(NH_3)의 형태로 존재하며 NH_3 가 수치가 높을 때는 생물에 유독하게 작용한다. 갑각류는 종에 따라 암모니아에 대한 저항성이 다르

며, 치하는 성장할수록 급성독성의 수준이 높아지는 것으로 보고되고 있다(Alcaraz et al., 1997). 현재까지 알려진 질산성 질소에 대한 대하의 영향으로는 조직 내의 빈산소화, 호흡장애 및 열에 대한 저항성 감소 등을 들 수 있고(Alcaraz et al., 1997), Chen and Kou (1992)는 *Penaeus japonicus*에 있어 암모니아 농도 0.35 mg/L 이상은 성장저해를 유발시킬 수 있다고 보고하였다. 따라서 본 연구의 결과 대하 치하의 경우 암모니아가 0.5 mg/L 이상의 농도가 사육지에 존재하면 대하 치하의 성장기에 심각한 악영향을 미칠 수 있다고 생각된다. 그러므로 양식장의 환경 특성에 대한 정확한 파악과 함께 적절한 환경 관리를 시행함으로써 적정 농도의 용존산소, 암모니아 및 아질산 농도를 유지할 수 있을 것이며, 나아가서는 대하의 생산성 향상 방안에 상당히 중요한 환경요인임을 알 수 있다. 황화수소는 저질에서 발생하여 수중으로 확산되는데, 용존산소가 풍부하면 산화되나, 용존산소가 풍부하지 않으면 잔존하여 생물에 유해한 작용을 일으킨다. 일반적으로 황화수소가 존재하는 수역에 서식하는 수생생물은 그들의 생리에 많은 저해영향을 받게 되고, 극단적인 경우에는 집단폐사를 초래한다(Brongersma-Sanders, 1975; Swanson and Sundermann, 1979). 새우 양식장의 경우 수중의 황화수소가 0.2 mg/L 이면 폐사하기 시작하며, 4.0 mg/L 이면 100% 치사 된다는 보고가 있었다(Shigueno, 1975). 본 연구에서는 0.05 mg/L 이상의 황화수소 농도구에서 성장과 사료효율에 유의한 영향을 줄 수 있는 농도로 조사되었다. 이상의 결과로부터, 3.5 mg/L 이하의 용존산소농도, 0.5 mg/L 이상의 암모니아 농도 및 0.05 mg/L의 황화수소 농도가 대하 양식장에 존재하게 될 때, 대하 치하의 생산성에 상당한 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 농도가 연안 서식지에 장기적으로 영향을 준다면 연안 자원량에 막대한 영향을 줄 수 있으리라 생각된다. 따라서 적정 성장과 사료효율을 안정적으로 확보하기 위하여 이들 환경요소와 함께 기타 여러 환경요인에 대한 제어가 이루어져야 할 것으로 생각되며, 다양한 연구가 절실하다고 생각된다.

요 약

대하, *Fenneropenaeus chinensis* 치하를 대상으로 빈산소, 암모니아 및 황화수소에 대한 장기생존 및 성장에 미치는 영향을 24일간 조사하였다. 2.5 mg/L 이하의 용존산소에 노출된 대하 치하는 유의한 성장감소를 나타내었으며, 3.0 mg/L 이하의 농도에서 일간성장을 및 사료효율이 대조구와 비교하여 유의한 감소를 나타내었다. 암모니아 농도별 노출에 따른 대하의 생존율을 조사한 결과 2.0 mg/L 이상의 농도구에서 대조구와 비교하여 생존 감소를 나타내었고, 1.0 mg/L 이상 및 0.5 mg/L 이상의 암모니아 농도에 노출된 대하 치하는 대조구에 비해 각각 일간성장을 및 사료효율에 영향을 주는 것으로 조사되었다. 또한, 24일간 황화수소에 대한 대하의 생존율은 노출농도와 노출기간이 증가할수록 생존율이 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 대하 치하의 성장에도 영향을 나타내어 일간성장과 사료효율이 0.07 mg/L 및 0.05 mg/L 이상의 농도에서 각각 대조구에 비해 유의한 감소가 나타났다.

참고문헌

Alcaraz, G., X. C. Carrara and C. Canegas, 1997. Temperature tolerance of *Penaeus setiferus* postlarvae exposed to ammonia and nitrite. *Aquat. Toxicol.*, **39**: 305-353.

APHA, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. American Public Health Association, Washington D. C., USA. pp. 373-411.

Boyd, C. E., 1982. Water Quality Management for Pond Culture. Elsevier, New York, 42. pp

Brock, J. A., 1983. Diseases (infectious and non-infectious) metazoan parasites, predators and public health considerations in *Macrobrachium* culture and fisheries. (in) Handbook of Mariculture, Vol. I. Crustacean Aquaculture. (ed) J. P. McVey CRC Press. Florida, pp. 329-370.

Brongersma-Sanders, M., 1975. Mass mortality in the sea. *Geol. Soc. Am. Mem.*, **67**: 941-1010.

Chen, C. J., P. C. Liu and S. C. Lei, 1990. Toxicities of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* adolescents. *Aquaculture*, **89**: 127-137.

Chen, J. C. and Y. Z. Kou, 1992. Effects of ammonia on growth and molting of *Penaeus japonicus* juveniles. *Aquaculture*, **104**: 249-260.

Conte, F. S., 1981. Oxygen and Water - Emergency aeration California Aquaculture Newsletter Cooperative Extension Service and Sea Grant College Program, University of California, Berkeley, 46 pp.

Kang, J. C., 1997. Acute toxicity of hydrogen sulfide to larvae and adults of blue crab *Portunus trituberculatus*, white shrimp *Metapenaeus monoceros* and prawn *Macrobrachium nippon-*

ense. *J. Fish Pathol.*, **10**(1): 65-72 (in Korean).

Li, H. and L. Fayi, 1987. Determination of important inorganic elements in prawn, Dui Xia. *Mar. Sci.*, **4**: 80-83 (in Chinese).

Lia, R., 1989. Advances in Shrimp culture in China. (in) Proceedings of an Asian -U.S. Workshop on Shrimp Culture. The Oceanic Institute, Hawaii, U.S.A. pp. 13-26.

Liao, I. C. and Y. H. Chien, 1989. Evaluation and comparison of the culture practices for *Penaeus orientalis*, *Penaeus japonicus*, *Penaeus penicillatus* in Taiwan. (in) Proceedings of an Asian -U.S. Workshop on Shrimp Culture. The Oceanic Institute, Hawaii, U.S.A. pp. 227-250.

Liu, T. Y., 1983. Shrimp mariculture studies in China. (in) Proceedings of the First International Conference on Warm Aquaculture-Crustacea. (ed.) G. L. Rogers et al. Brigham Young University, Hawaii Campus, Laie, Hawaii, U.S.A., pp. 82-87.

Malecha, S. R., 1983. Commercial pond production of the fresh water prawn. *Macrobrachium rosenbergii*, in Hawaii. (in) Handbook of Mariculture. Vol. I. Crustacean Aquaculture. (eds) J. P. McVey and J. R. Moore, CRC Press. Florida, 5 pp.

Shigueno, K., 1975. Shrimp Culture in Japan. Assoc. Int. Tech. Prom., Tokyo. 153 pp.

Sun, L., 1988. The method of using tea bran powder to kill harmful fishes. *China Fisheries*, **7**: 31 (in Chinese).

Swanson, S. L. and C. J. Sundermann, 1979. Oxygen depletion and associated benthic mortalities in New York Bight, 1976. NOAA Prof. Pap., 345 pp.

Tseng, N. Y., 1988. Culture of Oriental Shrimp. Shrimp Mariculture Practical Manual. 2nd ed. Brisbane, W.S. Aquaculture. 35 pp.

Xu, E., 1988. A study on the size of granular feeds of prawns. *Mar. Sci.*, **5**: 40 (in Chinese).

Yang, C. M., 1989. Effect of some environmental factors on the growth of Chinese prawn, *Penaeus chinensis*. (in) The Cult of Cold-Tolerant Shrimp: Proceedings of an Asian -U.S. Workshop on Shrimp Culture. (eds) K. L. Main and W. Fulks. The Oceanic Institute, Hawaii, U.S.A. pp. 179-185.

Zhang, N., 1989. On the growth of cultured *Penaeus orientalis*. (in) K. L. Main and W. Fulks, The Cult of Cold-Tolerant Shrimp: Proceedings of an Asian -U. S. Workshop on Shrimp Culture. The Oceanic Institute, Hawaii, U.S.A. 111 pp.

Zheng, G., 1986. Physiological characteristics and drug sensibility of *Vibrio cholera* isolated from the ulcerous eyeballs of *Penaeus* shrimp. *J. Fish. China*, **10**(4): 433-440 (in Chinese).

김백균, 유기희, 1989 대하의 종묘생산과 양식에 관한 연구. 국립수산진흥원 연구보고, **43**: 119-125.

이종화, 1992. 양식산 대하의 생산성에 관한 연구. 순천향 대학논문집, **15**(3): 899-917.

해양수산부, 1997. 해양수산 통계연보. pp. 974-991.

원고접수 : 2004년 1월 27일
 수정본 수리 : 2004년 10월 26일
 책임편집위원: 이정열