

범게, *Orithya sinica* 유생의 생존과 성장에 미치는 암모니아와 아질산의 영향

구자근 · 김종만 · 장차환* · 지정훈** · 강주찬***

인천광역시 수산종묘배양연구소 *인천광역시 수산과, **부경대학교 수산생명의학과

Influence of Ammonia and Nitrite on the Survival and Growth of the Tiger Crab, *Orithya sinica* (Linnaeus) Larvae

Ja-Geun Koo, Jong-Man Kim, Cha-Hwan Jang*, Jung-Hoon Jee** and Ju-Chan Kang***

Incheon fisheries hatchery research institute, Incheon 409-781, Korea

*Fisheries department of Incheon metropolitan city, Incheon 405-750, Korea

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

This study investigates the influence of waterborne ammonia and nitrite on the zoea and megalopa stage larvae of tiger crab, *Orithya sinica* under laboratory condition, focusing on the effects on survival and growth as deleterious responses of toxicant. Survival rate of zoea stage larvae exposed to control levels, and to 5, 10, 20 and 50 mg/L total ammonia-N, using a continuous flow system for 20 days was 80, 77, 45, 40 and 37%, respectively. Growth rate of zoea stage larvae exposed to 20 and 50 mg/L total ammonia was significantly lower than in controls after 20 days ($P < 0.05$). Survival rate and growth rate of megalopa stage larvae exposed to ammonia also decreased at greater than 10 and 50 mg/L, respectively. In the nitrite exposure experiment with zoea and megalopa stage larvae of tiger crab, survival rate was decreased in a concentration and exposure period-dependent way. The growth rate of zoea and megalopa stage larvae of tiger crab exposed to nitrite decreased at greater than 150 mg/L nitrite concentration.

Keywords : Ammonia, Growth rate, Nitrite, *Orithya sinica*, Survival rate, Tiger crab

범게, *Orithya sinica* (Linnaeus)는 금게 과에 속하는 단일 속 단일종의 생물로 세계적 희귀종이고 우리나라 서해안을 중심으로 황해 유역 일부에서만 분포하며, 저질이 모래인 곳에서 서식하는 황해의 고유종이다 (Kim and Chung, 1990). 최근 수산 식품에 대한 수요가 증가되면서 갑각류의 이용도는 어업과 양식에 있어서 더욱 높아지는 추세 (Kim, 1988)에 있어 새로운 양식종의 개발이 요구되는 실정이다. 범게는 연안어장의 환경오염에 의한 서식환경의 변화와 남획으로 자원량이 거의 소멸된 반면 독특한 맛으로 인하

여 수요량이 점차 증가되고 있어 범게 자원의 보존과 지속적인 양식생산량의 증대에 의한 안정적인 공급을 위해 인공종묘 생산이 필요한 실정이다. 수산생물의 양식은 수질환경과 수산 생물의 생태가 조화를 이루어야 하며, 양식과정 중 대량 폐사를 일으킬 수 있는 암모니아, 아질산 등의 화학적 요인에 대한 연구가 이루어져야 할 필요가 있다.

암모니아와 아질산은 양식 시스템에서 가장 평범한 독성물질이다. 암모니아는 ammonification 과정으로 발생되고 수생생물에서 배출되기

†Corresponding Author : Ju-Chan Kang, Tel : 051-620-6146,
Fax : 051-628-7430, E-mail : jckang@pknu.ac.kr

도 한다 (Alcaraz *et al.*, 1997). 암모니아는 수중에서 주로 암모니아 이온 형태 (NH_4^+)로 존재하며, 수온 및 pH에 따라 비이온화 형태 (NH_3)와의 평형을 이룬다. 특히 암모니아 성분은 수서생물에 의한 배설과 관련성이 높으며 종묘생산에서 밀식과 오염원에 의해 문제시 될 수 있다 (Spotte, 1979). 외국에서는 암모니아에 대한 어류에 대한 연구는 매우 방대하나 (Smart, 1978; Alderson, 1979; Tomasso *et al.*, 1980), 범게와 같은 갑각류에 대한 연구는 상당히 미비한 실정이다. 아질산 (NO_2^-)은 암모니아의 산화형태에서 중간 생물물질로서 질산화 세균의 균형이 깨질 때 생물체에 유해한 독성 농도에 도달할 수 있다 (Collins *et al.*, 1975). 하지만, 고밀도 새우 양식장에서 아질산 농도가 상당히 증가할 수 있으며, 환경수 중 이러한 아질산 농도의 증가는 생산성에 영향을 주는 탈피에 영향을 주어 성장지연을 야기하며, 극단적인 경우에 폐사를 유발할 수 있다 (Chen and Tu, 1990; Chen and Chen, 1992). 현재까지 알려진 암모니아와 아질산의 영향으로는 스트레스를 유발하는 인자 (Lewis and Morris, 1986), 급성독성 실험 (Chen and Chin, 1988; Ostrenski and Wasielesky, 1995) 등이 있으나, 범게를 대상으로 암모니아나 아질산에 대한 연구는 전무하다. 현재까지 범게에 대한 학술적 연구는 분포 (Kim, 1973), 초기발생 (Hong, 1976), 생활사 및 생태 (Kim, 1988) 등 대부분 기초적인 생태분야에만 연구되어 있으며, 각 환경요인과 개체간의 성장, 생존은 거의 전무하다. 따라서 본 연구에서는 수중 암모니아 및 아질산이 범게 유생의 생존 및 성장에 미치는 영향을 파악하여 초기 유생사육 시 수질환경관리에 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

산란 유도용 어미게는 2003년 9월 초순 인천

광역시 용진군 영흥면 외리 일대의 저질이 사질인 모래톱 일대에서 암컷 30마리를 채집하여 2 ton의 유수식 수조 (\emptyset 2m \times 0.7m) 2개에 분산 사용하여 관리하였다. 순치 사육기간 동안 수온은 20°C로 유지시켰고, 먹이는 동죽과 바지락살을 하루 3회 충분히 공급하였으며 자연적 성숙, 부화 할 때까지 어미관리를 하여 부화된 유생을 각 발달단계에 따라 rotifer, artemia 그리고 배합 사료를 공급하여 사육하면서 실험에 이용하였다.

실험과정

실험은 유수식 방법에 의해 수행되었다. 암모니아는 염화암모늄 (NH_4Cl)을, 아질산은 아질산나트륨 (Sodium Nitrite)을 stock solution으로 조제하여 여과해수와 혼합하여 실험수조로 유입되게 하였는데 이 stock solution을 수용할 수 있는 저수조 (25L)에서 시간당 1L로 실험수조에 유입되게 하였으며, stock solution은 매일 조제하였다. 암모니아농도는 5개의 노출구 (5, 10, 20, 50 및 70 mg/L)와 대조구를 설정하였고, 아질산 농도는 50, 100, 150, 200 및 250 mg/L의 5구간으로 노출구간을 설정하였다. 모든 실험은 수온 20 \pm 1.0°C로 유지 하였고, 실험 과정 중 먹이로 바지락살과 알테미아를 소량 공급하였다. 실험은 각 유생단계별인 zoea기와 megalopa기로 나누어서 실시하였으며, 각 실험구의 수질이 설정 목표로 유지되는지를 확인하기 위하여 실험수조에서 standard method (APHA, 1985)로 수온, pH, 염분, 암모니아, 아질산, 인산 및 용존산소 농도를 매일 2회 (09:00, 17:00) 측정하였다 (Table 1).

생존율 및 성장률

실험기간 동안의 생존율과 성장률을 조사하기 위하여 각 실험구당 15-20 개체씩 노출시켜 24시간마다 폐사개체를 zoea기와 megalopa기로 나누어서 조사하여 생존율산정과 감장 (carapace

Table 1. Chemical components of seawater used in the exposure experiment

Parameter	Ammonia treatment group (mg/L)					
	Control	5	10	20	50	70
Temperature (°C)	20.36 ± 0.56	20.48 ± 0.58	20.52 ± 0.76	20.38 ± 0.85	20.39 ± 0.88	20.66 ± 0.57
pH	7.96 ± 0.26	7.87 ± 0.08	7.92 ± 0.12	7.95 ± 0.09	7.88 ± 0.15	7.90 ± 0.08
Salinity (‰)	30.55 ± 0.87	29.38 ± 0.56	29.87 ± 0.63	29.76 ± 0.54	29.36 ± 0.57	29.96 ± 0.78
Total ammonia (mg/L)	0.02 ± 0.01	5.32 ± 0.76	10.55 ± 0.55	19.42 ± 1.54	51.56 ± 3.83	71.88 ± 4.78
Nitrite (mg/L)	0.58 ± 0.18	0.36 ± 0.24	0.39 ± 0.09	0.69 ± 0.16	0.55 ± 0.24	0.68 ± 0.10
Phosphorus (µg/L)	0.98 ± 0.82	0.92 ± 0.56	0.95 ± 0.54	0.93 ± 0.31	0.86 ± 0.07	0.98 ± 0.08
Dissolved oxygen (mg/L)	7.58 ± 0.26	7.39 ± 0.35	7.57 ± 0.62	7.55 ± 0.18	7.28 ± 0.19	7.66 ± 0.31
Parameter	Nitrite treatment group (mg/L)					
	Control	50	100	150	200	250
Temperature (°C)	20.25 ± 0.43	20.58 ± 0.96	20.15 ± 0.87	20.28 ± 0.76	20.36 ± 0.74	20.35 ± 0.68
pH	7.88 ± 0.08	7.96 ± 0.23	7.99 ± 0.15	7.92 ± 0.55	7.93 ± 0.29	7.61 ± 0.89
Salinity (‰)	29.32 ± 1.07	30.05 ± 0.85	29.67 ± 0.54	29.85 ± 0.68	29.88 ± 0.79	28.96 ± 1.08
Total ammonia (mg/L)	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.02	0.02 ± 0.02	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.02	0.02 ± 0.01
Nitrite (mg/L)	0.01 ± 0.02	50.41 ± 0.26	99.26 ± 2.12	151.01 ± 2.03	202.22 ± 1.56	250.25 ± 1.28
Phosphorus (µg/L)	1.08 ± 0.56	0.99 ± 0.82	0.98 ± 0.26	0.99 ± 0.27	1.10 ± 0.23	1.05 ± 0.12
Dissolved oxygen (mg/L)	7.33 ± 0.15	7.89 ± 0.68	7.72 ± 0.46	7.28 ± 0.29	7.39 ± 0.67	7.86 ± 0.49

Values indicate mean ± S.E. (n=40).

length)의 길이를 측정하여 성장률을 구하였다. 이들 결과에 대한 유의성은 student's t-test를 실시하여 대조구와의 유의성을 $P < 0.05$ 의 수준으로 검정하였다.

결 과

암모니아 농도에 따른 범계 유생의 생존율과 성장률

20일간 농도별 암모니아 노출에 따른 zoea기 유생의 생존율은 대조구가 80%, 5 mg/L 실험구가 77%로 나타났으며, 10, 20 및 50 mg/L의 실험구에서는 각각 45, 40 및 37%로 나타났다 (Fig. 1). 암모니아 노출에 따른 zoea기의 성장에 미치는 영향을 Table 2에 나타내었다. 20일간 암모니

아 노출에 따른 범계 zoea의 성장률은 20 및 50 mg/L의 실험구가 각각 67.5% 및 63.3%로 나타나서 대조구 (98.4%)와 비교하여 유의한 감소가 나타났다 ($P < 0.05$). 12일간 암모니아 노출에 따른 megalopa기 유생은 대조구가 85%의 생존율을 나타내었고, 가장 낮은 생존율은 70 mg/L의 실험구로 28%의 생존율을 나타내었다 (Fig. 2). 12일간 megalopa기 유생을 암모니아에 노출한 결과, 대조구는 30.4%의 성장률을 나타냈으며 5, 10 및 20 mg/L 실험구는 26.6, 25.3 및 24.2%로 각각 조사되었다 (Table 3). 암모니아 농도 50 및 70 mg/L에 노출된 megalopa기 유생은 15.8 및 13.9%로 조사되어 유의한 성장차이를 나타내었다 ($P < 0.05$).

Table 2. Growth of *Orithya sinica* zoea stage exposed to different concentrations of ammonia for 20 days

Ammonia concentration (mg/L)	Mean carapace length (mm)		Growth rate (%)
	Initial \pm S.E.	Final \pm S.E.	
5	1.23 \pm 0.05	2.36 \pm 0.13	91.9
10	1.24 \pm 0.03	2.29 \pm 0.09	84.6
20	1.23 \pm 0.06	2.06 \pm 0.12	67.5*
50	1.20 \pm 0.04	1.96 \pm 0.16	63.3*
Control	1.22 \pm 0.02	2.42 \pm 0.10	98.4

*Significant difference from control ($P < 0.05$).

Table 3. Growth of *Orithya sinica* megalopa stage exposed to different concentrations of ammonia for 12 days

Ammonia concentration (mg/L)	Mean carapace length (mm)		Growth rate (%)
	Initial \pm S.E.	Final \pm S.E.	
5	2.93 \pm 0.05	3.71 \pm 0.13	26.6
10	2.92 \pm 0.03	3.66 \pm 0.09	25.3
20	2.89 \pm 0.06	3.59 \pm 0.12	24.2
50	2.90 \pm 0.04	3.36 \pm 0.16	15.8*
70	2.88 \pm 0.02	3.28 \pm 0.10	13.9*
Control	2.89 \pm 0.04	3.77 \pm 0.18	30.4

*Significant difference from control ($P < 0.05$).

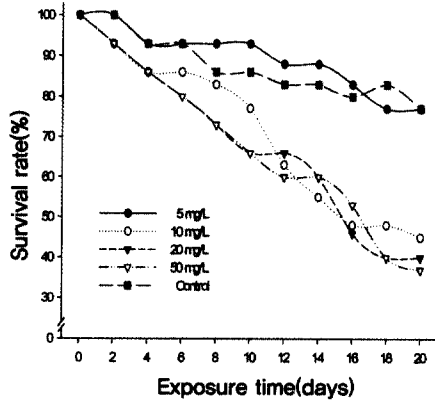


Fig. 1. Survival rate of *Orithya sinica* zoea stage exposed to different concentrations of ammonia.

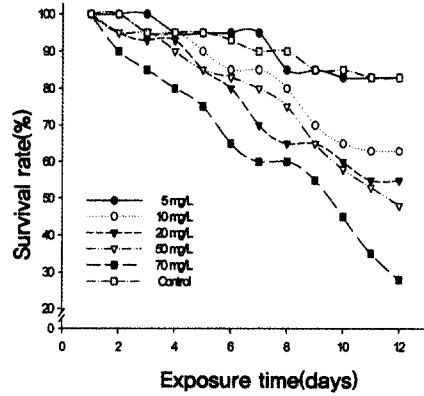


Fig. 2. Survival rate of *Orithya sinica* megalopa stage exposed to different concentrations of ammonia.

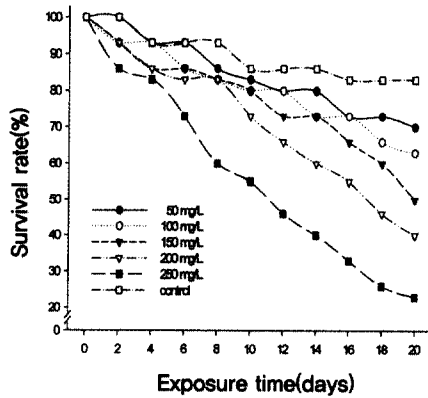


Fig. 3. Survival rate of *Orithya sinica* zoea stage exposed to different concentrations of nitrite.

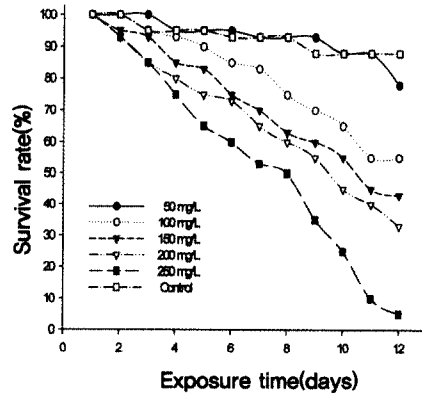


Fig. 4. Survival rate of *Orithya sinica* megalopa stage exposed to different concentrations of nitrite.

아질산 농도에 따른 범계 유생의 생존율과 성장률

20일간 여러 농도의 아질산 노출에 대한 범계 zoea의 생존율은 대조구가 83%로 조사되었고, 아질산 최고 농도구 (250 mg/L)에서는 23%의 생존율을 나타내었다 (Fig. 3). 150 및 200 mg/L의 실험구에서는 각각 50 및 40%의 생존율이 조사되었다. 아질산 노출에 따른 범계 zoea기의 성장에 미치는 영향을 Table 4에 나타내었다. 아질산에 노출된 범계 zoea의 성장률은 대조구에서 97.5%로 나타났고, 150, 200 및 250 mg/L의 실험구에서 각각 70.0, 63.2 및 59.7%로 나타나

유의한 성장 감소가 인정되었다 ($P < 0.05$). Megalopa기의 범계를 대상으로 생존율에 대한 아질산의 영향을 조사한 결과, 대조구가 88%의 생존율을 나타낸 반면 100, 150, 200 및 250 mg/L 노출구에서는 각각 55, 43, 33 및 5%를 나타내었다 (Fig. 4). 성장에 있어서 아질산에 노출된 megalopa기의 대조구가 27.1%를 나타내었고, 50 및 100 mg/L 노출구에서는 17.4 및 16.2%를 나타내었다 (Table 5). 특히 150, 200 및 250 mg/L에서는 7.8, 7.3 및 4.2%의 성장률을 나타내어 대조구와 비교하여 유의한 성장 감소가 조사되었다.

Table 4. Growth of *Orithya sinica* zoea stage exposed to different concentrations of nitrite for 20 days

Nitrite concentrations (mg/L)	Mean carapace length (mm)		Growth rate (%)
	Initial \pm S.E.	Final \pm S.E.	
50	1.21 \pm 0.05	2.30 \pm 0.13	90.0
100	1.23 \pm 0.03	2.33 \pm 0.09	89.4
150	1.20 \pm 0.06	2.04 \pm 0.12	70.0*
200	1.25 \pm 0.04	2.04 \pm 0.16	63.2*
250	1.19 \pm 0.02	1.90 \pm 0.10	59.7*
Control	1.22 \pm 0.04	2.41 \pm 0.18	97.5

*Significant difference from control ($P < 0.05$).

Table 5. Growth of *Orithya sinica* megalopa stage exposed to different concentrations of nitrite for 12 days

Ammonia concentration (mg/L)	Mean carapace length (mm)		Growth rate (%)
	Initial \pm S.E.	Final \pm S.E.	
50	2.88 \pm 0.05	3.38 \pm 0.13	17.4
100	2.90 \pm 0.03	3.37 \pm 0.09	16.2
150	2.92 \pm 0.06	3.15 \pm 0.12	7.8*
200	2.89 \pm 0.04	3.10 \pm 0.16	7.3*
250	2.89 \pm 0.02	3.01 \pm 0.10	4.2*
Control	2.91 \pm 0.04	3.70 \pm 0.18	27.1

*Significant difference from control ($P < 0.05$).

고 찰

암모니아는 수계 환경 요소 중 가장 일반적인 오염물질로서 비 이온화된 암모니아 (NH_3)의 형태의 수치가 높을 때는 생물에 유독하게 작용한다. 갑각류의 경우 energy metabolism, gill, liver, kidney, spleen, thyroid tissue에 많은 손상을 입히는 것으로 보고되었으며, 유생은 발달단계가 높을수록 급성 독성의 정도가 높고 종에 따라서도 암모니아의 저항성이 다르다 (Alcaraz, 1997). 대하 유생을 대상으로 한 암모니아 노출실험에서 pH 7.94, 수온 26°C 조건에서 24h, 48h, 96h 및 120h LC_{50} 를 조사한 결과 2.9, 2.1, 1.5 및 1.44 mg/L로 나타났다 (Chen *et al.*, 1990b). 본 연구에

서는 zoea기의 범게 유생을 대상으로 암모니아 노출에서 5 mg/L와 대조구를 제외한 모든 노출 실험구에서 뚜렷한 차이를 보였으며, 생존율이 50% 이하로 나타났다. 또한 성장에 있어서도 20 및 50 mg/L 암모니아 노출구에서 대조구와 비교하여 유의한 성장둔화를 나타내었다 ($P < 0.05$). 이런 뚜렷한 결과는 Chen *et al.* (1990a)의 *Penaeus monodon*을 대상으로 한 보고에서도 잘 나타났는데 24~96시간동안 암모니아를 노출시킨 결과 1.33~52.11 mg/L의 LC_{50} 값을 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 megalopa기 유생의 경우 70 mg/L에서 28%의 저조한 생존율을 보였으며, zoea기 유생에서는 70 mg/L의 실험구에는 모두 폐사의 결과로 이어졌기 때문에 실험구를 언급

하지 않았다. 그러나 megalopa기 유생의 경우 zoea기 유생과는 다르게 70 mg/L의 실험구에서도 28%의 비교적 양호한 생존율은 비교의 대상이 될 것이다. 성장률에 있어서도 50 및 70 mg/L의 노출구에서 대조구와 비교하여 유의한 성장 차이를 나타내었다 ($P < 0.05$). 따라서 현재까지 보고되어진 암모니아 독성 실험과 비교해 볼 때 범게 유생은 다른 새우류에 비해서 비교적 강한 것으로 나타났다.

아질산의 경우 수중의 nitrification의 과정에 의하여 암모니아로부터 생성되며 질산화세균의 불안정의 결과로 수계에 축적되어 문제를 일으키는 것으로 보고 된바가 있다. 어류에서는 유해 작용으로는 주로 methaemoglobin 형성, 조직으로 산소를 운반하는 능력저하 등의 있으며, 갑각류의 경우 methaemocyanin 형성, 조직의 빈산화, 호흡 장애유발, 열에 대한 저항성 감소 등이 있다 (Alcaraz, 1997). 대하 (*Fenneropenaeus chinensis*)에 관하여 Chen et al. (1990b)의 연구에서는 24h, 96h, 120h, 144h 및 192h의 LC₅₀ 값이 339, 37.71, 29.18, 26.98 및 22.95 mg/L로 보고되었다. 암모니아의 농도에 비해 다소 유독 정도는 적으나 여러 환경요인과 복합적으로 작용하는 예가 많이 보고 되었다 (Spotte, 1979). 본 연구에서 zoea기 유생의 범게에서는 아질산의 농도별 생존율을 조사한 결과, 아질산 노출에 따라서 농도구별로 뚜렷한 폐사를 나타내었으며, 성장률에 있어서는 150, 200 및 250 mg/L의 노출구에서 대조구와 유의한 차이를 나타내었다 ($P < 0.05$). Megalopa기 유생의 경우도 뚜렷한 생존 및 성장 저하를 나타내었다. 앞으로 사육환경과 성장, 생존에 관한 연구는 복합적인 수질 환경요소와 작용에 대한 연구가 지속되어야 할 것으로 생각된다.

요 약

범게, *Orithyia sinica* 유생을 대상으로 암모니아와 아질산에 대한 생존 및 성장에 관한 실험

을 실시하였다. 암모니아 노출 실험구에서 zoea기 유생은 노출 20일후, 대조구가 80%의 생존율을 나타내었지만 10 mg/L 이상의 실험구에서는 37-45%의 생존율을 나타내었고, megalopa기 유생에서도 유사한 경향을 나타내었다. 암모니아가 범게 유생의 성장에 미치는 영향을 조사한 결과, zoea기 유생은 20 mg/L 이상의 농도에서 megalopa기 유생은 50 mg/L 이상의 농도에서 유의한 차이를 나타내었다 ($P < 0.05$). 아질산 노출 실험에서는 zoea기 유생과 megalopa기 유생에서 농도와 노출기간에 비례하여 생존율이 감소하였으며, 특히 150 mg/L 이상의 아질산 농도에 노출된 zoea기 유생과 megalopa기 유생은 대조구와 비교하여 유의한 성장 지연을 나타내었다 ($P < 0.05$).

참 고 문 헌

- Alcaraz, G., Chiappa-Carrara, X. and Vanegas, C. : Temperature tolerance of *Panaeus setiferus* postlarvae exposed to ammonia and nitrite. *Aquatic toxicol.*, 39: 345-353, 1997.
- Alderson, R. : The effects of ammonia on the growth of juvenile Dover sole, *Solea solea* (L) and trubot, *Scophthalmus maximus* (L.). *Aquaculture*, 17: 291-309, 1979.
- APHA (American Public Health Association), American water works association, and water pollution control federation : Standard methods for the examination of water and waste water. 16th edition. APHA, Washington, D. C., 1985.
- Chen, C. J, Ting, Y. Y., Lin, J. N. and Lin, M. N. : Lethal effects of ammonia and nitrite on *Penaeus chinensis* juveniles. *Mar. Bio.*, 107: 427-433, 1990b.
- Chen, C. J., Liu, P. C. and Lei S. C. : Toxicities of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* adolescente. *Aquaculture*, 89: 127-137,

- 1990a.
- Chen, J. C. and Chen, S. F. : Effect of nitrite on growth and molting of *Penaeus monodon* juveniles. *Comp. Biochem. Physiol.*, 101C: 453-458, 1992.
- Chen, J. C. and Chin, T. S. : Joint action of ammonia and nitrite on tiger prawn *Penaeus monodon* postlarvae. *J. World aquac. Soc.*, 19: 143-148, 1988.
- Chen, J. C. and Tu, C. C. : Acute toxicity of nitrite to larval *Penaeus japonicus*. *J. Fish. Soc. Taiwan*, 17: 277-287, 1990.
- Collins, M. T., Gratzek, J. B., Shotts, E. B., Dawe, D. L., Campbell, L. M. and Senn, D. R. : Nitrification in an aquatic recirculating system. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32: 2025-2031, 1975.
- Hong, S. Y. : Zoal stager of *Orithyia sinica* (Linnaeus) reared in the laboratory. *Pub. Mar. Lab. Busan. Fish. Coll.*, 9: 17-23, 1976.
- Kim, H. S. : Illustrated Encyclopedia of Fauna and Korea., Sam-Wha Publ. Co., 14: 1-289, 1973.
- Kim, Y. H. : Ecological studies on the growth of the tiger crab *Orithyia sinica* (Linnaeus). Ph. D. thesis, Cheju National University, Korea, 1-83, 1988.
- Kim, Y. H. and Chung, S. C. : Studies on the growth and moulting of the figer crab, *Orithyia sinica* (Linnaeus). *Bull. Korean Fish. Soc.*, 23(2), 93-108, 1990.
- Lewis, W. M., Jr. and Morris, D. P. : Toxicity of nitrite to fish: a review. *Trans. Am. Fish. Soc.* 115: 183-195, 1986.
- Ostrenski, A., Jr. and Wasielesky, W. : Acute toxicity of ammonia to various life stages of the Sao Paulo shrimp, *Penaeus paulensis*, Peres-Farfante, 1967. *Aquaculture*, 132: 339-347, 1995.
- Smart, G. R. : Investigation of the toxic mechanism of ammonia to fish gas exchange in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) exposed to acutely lethal concentrations. *J. Fish Biol.*, 12: 93-104, 1978.
- Spotte, S. : Fish and invertebrate culture- Water management in closed systems. 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1979.
- Tomasso, J. R., Goudie, B. A., Simco, B. A. and Davis, K. B. : Effects of environmental pH and calcium on ammonia toxicity in channel catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 109: 229-234, 1980.

Manuscript Received : November 18, 2003

Revision Accepted : March 20, 2004

Responsible Editorial Member : Joon-Ki Chung
(Pukyong Univ.)