

대하 양식장의 생산성 향상을 위한 환경 관리에 관한 연구 II. 저질성상에 따른 환경특성 및 생산성

강주찬* · 구자근 · 이정식¹⁾

부경대학교 수산생명의학과 · ¹⁾여수대학교 어병학과

Environmental Survey for Productivity Enhancement of Cultured Fleishy Prawn *Penaeus chinensis* II. Sediment Type-Dependent Environmental Quality and Productivity

Ju-Chan Kang*, Ja-Keun Koo and Jung-Sick Lee¹⁾

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

¹⁾Department of Fish Pathology, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea

Effects of the sediments on water quality, and the consequent survival and growth of cultured fleshy prawns, *Penaeus chinensis* were determined under selected sediment types for 6 weeks. Dissolved oxygen was 5.1~5.9 mg/l in both the sediments containing sand alone, and soft sand (50%) and mud (50%). It decreased to 4.6 mg/l in the mud after 6 weeks. Nitrite, ammonia and hydrogen sulfide of the seawater were 0.07~0.12, 0.16~0.29 and 0.009~0.014 mg/l in both the sediments containing sand alone, and soft sand (50%) and mud (50%). The values, however, increased to 0.15, 0.36 and 0.018 mg/l in the mud sediment, respectively. Survival of the prawn was below 60% in bare and mud sediments. It was above 70% in both the sediments containing sand alone, and soft sand (50%) and mud (50%). Growth and food efficiency of the prawn were significantly lower in the 100 % sand than in the sediment containing soft sand (50%) and mud (50%).

Key words: *Penaeus chinensis*, Sediment type, Water quality, Survival, Growth, Feed efficiency

서론

해역의 저질상태는 탁도, pH 및 영양염류 등과 같은 수질을 변화시키며, 새우류의 자연 서식지에 있어서는 이들의 분포에 영향을 미친다 (Somers, 1987). 또한 새우류 양식장의 저질성상은 양식지의 지정 및 먹이활동에 많은 영향을 미치게 된다 (Hughes, 1968; Ruello, 1973; Rulifson, 1981; Huguenin and Colt, 1989).

대하, *Penaeus chinensis*는 분류학상 보리새우속에 속하는 대형 종으로 이들에 대한 연구로는 분포와 생태 (김, 1973; 박, 1989), 분류학적 특성 (Kubo, 1949; Kim and Park, 1972), 산란과 생식습성 (Yoshida, 1941), 월동과 생

식을 위한 이동생태 (池, 1963) 등의 보고가 있다.

우리 나라의 대하양식은 1940년대부터 시작된 이래 1980년대 초반을 거쳐 현재까지 서해안을 중심으로 남해안 등에서 성행되고 있다. 그러나, 대하의 생산량은 연도 별로 기복이 심할 뿐만 아니라 수익성, 연안환경, 먹이생물, 인공사료 확보 및 적절한 수질환경 관리 등의 문제가 발생하고 있다 (노, 1989; 박, 1989). 대하양식은 1968년 종묘생산에 대한 연구 (김, 1968)를 시점으로 많은 연구가 되어 왔으나, 양식장의 환경관리, 특히 저질의 조성에 따른 수질의 변화 및 생산량의 증·감에 관한 연구는 극히 미비한 실정이다.

대하의 유생은 발달단계가 진행됨에 따라 천천히 저질

*Corresponding author: jckang@pknu.ac.kr

속으로 잠복하기 시작하며, 치하 및 성체 시기에는 주·야간에 걸쳐 저질과 수중을 오가며 생활하는 습성을 가지고 있다. 따라서, 대하 양식장의 저질조성은 수질환경의 변화뿐만 아니라 대하의 생산성에도 중요한 변수로 작용할 수 있다.

양식용수는 양식 대상생물에 적합한 조건 범위의 환경요인으로 전체가 구성되어 있을 필요가 있고, 생산성의 기초는 양식대상 동물의 생존을 바탕으로 성장 정도로 판단된다. 따라서 본 연구는 대하 양식장의 저질성상에 따라 파생될 수 있는 사육환경의 문제를 아질산, 암모니아 및 황화수소와 같은 유해물질을 중심으로 파악하고, 아울러 대하의 생존 및 성장에 미치는 저질조성의 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

대하 치하는 경상남도 남해군에 위치한 갈화 양식장에서 분양 받아 실험실에서 순화시켜 실험에 사용하였다. 대하 치하를 실험조건에 순화시키기 위하여 수온, 염분, pH 및 용존산소가 각각 21.3~22.5℃, 32.2~33.1‰, 7.8~8.1 및 6.4~6.8 mg/l의 조건에서 10일정도 적응시켰다. 먹이는 대하 치하용 펠렛사료(Zeigler Inc.)를 하루 2회에 걸쳐 충분히 공급하였고, 실험에는 유사한 크기의 체중 1.08~1.21 g의 개체를 50마씩 사용하였다.

2. 실험 조건

저질은 남해 소재의 대하 양식장에서 채취한 것으로 각각의 크기에 따라 250 μm 이상은 sand, 63~250 μm는 soft sand, 63 μm이하의 mud로 분류하였다. 즉, sand의 입도 구성은 250 μm~1 mm의 입자가 가장 많았으며, soft sand는 63~250 μm의 크기가 대부분이고, mud는 100%가 63 μm이하의 작은 입자로 조성되어 있다(Table 1). 실험 조건은 저질이 없는 실험구(bare)를 비롯하여 sand, soft sand 및 mud 각각의 단독조건, sand+mud, soft sand+mud 및 soft sand+sand 각각 50:50 비율의 혼합조건을 설정하였다.

3. 실험방법

40 L의 아크릴 수조를 사용하여 각각의 저질조성에 따

Table 1. Grain size characteristics and organic content of sediment used in the experiment

Sediment	Organic content (%)	Particle size (mm)				
		>2 mm	1~2 mm	>250 μm	63~250 μm	≤63 μm
Sand	0.34	3.9%	26.7%	69.4%		
Soft sand	0.68	-	-	8.4%	91.6%	
Mud	7.21	-	-	-	-	100%

라 두께 2cm의 저질을 바닥에 깔고, 해수를 천천히 주입하여(Table 2) 3일 동안 방치하여 대부분의 부유물질이 수조 밑바닥으로 침강되는 것을 확인한 다음, 각 실험수조에 대하여 수용하였다. 모든 실험은 온도 20±0.5℃를 유지시킬 수 있는 항온실에서 실시하였다. 저질상태는 실험개시시와 종료시에 온도, pH, 강열감량(IL), 화학적산소요구량(COD) 및 황화물에 대하여 측정하였다(日本水産資源保護協會, 1980). 또한, 저질조성에 따른 수질변화는 용존산소량(DO), 질소화합물(NO₃, NO₂, NH₄) 및 황화수소(H₂S)에 대하여 1일 단위로 측정하였다(APHA, 1985). 먹이는 순화기간에 공급한 치하용 펠렛사료를 수질의 악화를 방지하기 위하여 하루 2회에 걸쳐 적당량을 공급하였고, 공식을 방지하기 위하여 망을 설치하였다. 생산성을 판단하기 위하여 24시간마다 사망개체를 조사하여 생존율을 구하였고, 성장과 사료효율은 계산하였다(이, 1992). 이들 결과에 대한 유의성은 SPSS 통계프로그램(SPSS Inc.)을 이용하여 ANOVA를 실시한 후, 다중 비교는 최소 유의차이로 평균간의 차이로 검정하였다.

결 과

1. 저질환경

저질 성상에 따른 치하의 수용 직전과 6주 후 실험 중

Table 2. Chemical properties of the seawater used in the experiment

Substance	Value	Substance	Value
Salinity	32.2‰	COD	1.9 mg/l
Total hardness (CaCO ₃)	3,075.3 mg/l	Mg	568.4 mg/l
pH	8.0	Ca	272.8 mg/l
Ammonia-N	15.9 μg/l	Fe	3.5 μg/l
Nitrite-N	9.5 μg/l	Mn	1.3 μg/l
Nitrate-N	74.2 μg/l	Pb	0.6 μg/l
Phosphate	19.3 μg/l	Zn	2.4 μg/l

료시의 저질 측정결과를 Table 3에 나타냈다. IL은 4.2~21.5%에서 6.5~29.3% 범위까지 증가하였고, COD와 황화물은 각각 1.2~5.2 mgO₂/g-dry, 1.7~6.8 mgS/g-dry의 범위에서 2.0~7.4 mgO₂/g-dry, 2.2~8.2 mgS/g-dry까지 증가하였다. 즉, IL, COD 및 황화물은 모든 조건에서 실험 개시시에 비해 종료시에 높은 값으로 증가하였고, sand 조건에서 가장 낮은 증가를 나타낸 반면 mud 조건에서는 가장 높은 증가를 나타냈다.

2. 수질환경

저질 성상에 따라 실험 개시시와 6주 후 실험 종료시의 수질측정 결과를 Table 4에 나타냈다. DO는 모든 실험구에서 실험 개시시에 6.8~7.2 mg/l의 범위로 유사한 값을 나타내었으나, 실험 종료시 각각의 저질조건에 따라 상이한 감소를 나타냈다. 즉, DO는 bare 조건에서 소폭인 6.2 mg/l까지 감소하였으나, sand, soft sand의 단독 혹은 sand, soft sand 및 mud의 50:50 비율의 혼합조건에서는 5.1~5.9 mg/l까지 감소하였고, 특히 mud 조건에서는 4.6

mg/l로 가장 큰 감소를 보였다. 질소화합물 (NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N)은 모든 실험 조건에서 실험 개시시에 비해 종료시에 증가하였는데, mud 조건에서 가장 높은 증가를, bare 실험구에서 가장 낮은 증가를 나타냈다. 즉, NH₄, NO₃ 및 NO₂는 실험 개시시에 모든 실험구에서 각각 0.10~0.12, 0.08~0.10 및 0.03~0.04 mg/l의 범위였으나, 실험 종료시에는 각각 0.12~0.36, 0.10~0.31 및 0.05~0.15 mg/l까지 상승하였다. 또한, bare 조건에서 실험 종료시에 H₂S는 검출되지 않았나 mud 조건에서는 0.018 mg/l로 가장 높은 증가를 나타냈다.

3. 생산성

저질 성상에 따른 대하의 생산성을 판단하기 위하여 생존과 성장률을 측정하여 그 결과를 Fig. 1과 Table 5에 나타내었다. 대하의 생존율은 모든 실험구에서 시간의 경과에 따라 감소하는 경향을 나타내어 실험 종료시 bare,

Table 3. Changes in characteristics of the selected sediment types after 6 weeks

Sediment	Sediment characteristics					
	IL (%)		COD (mgO ₂ /g-dry)		H ₂ S (mgS/g-dry)	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
Sand	4.2	6.5	1.2	2.0	1.7	2.2
Soft sand	9.4	12.8	2.1	3.2	2.5	3.4
Mud	21.5	29.3	5.2	7.4	6.8	8.2
Sand+Mud	13.8	17.2	3.9	5.3	4.2	5.7
Soft sand+Mud	16.6	22.7	4.2	6.2	4.9	6.3
Soft sand+Sand	7.3	10.9	2.4	3.8	3.1	4.0

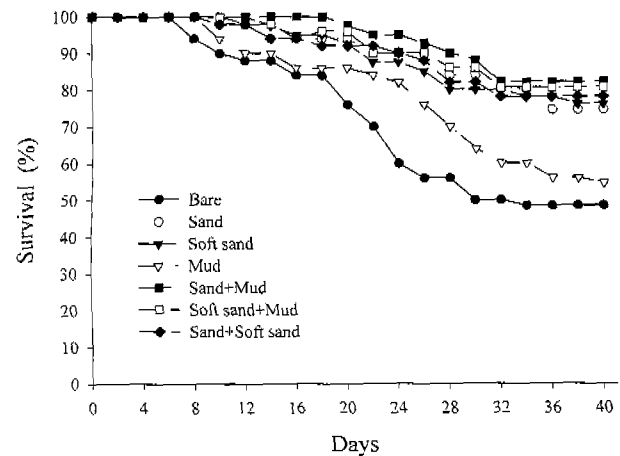


Fig. 1. Survival of *P. chinensis* exposed to different sediment types.

Table 4. Changes in water quality of the selected sediment types after 6 weeks

Sediment	Water quality									
	DO (mg/l)		NH ₄ (mg/l)		NO ₃ (mg/l)		NO ₂ (mg/l)		H ₂ S (mg/l)	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
Bare	6.9	6.2	0.10	0.12	0.08	0.10	0.03	0.05	-	-
Sand	7.2	5.9	0.11	0.16	0.09	0.12	0.04	0.07	-	0.009
Soft sand	7.0	5.5	0.10	0.20	0.08	0.18	0.03	0.09	-	0.010
Mud	6.8	4.6	0.12	0.36	0.09	0.31	0.03	0.15	-	0.018
Sand+Mud	7.1	5.3	0.11	0.25	0.10	0.21	0.04	0.10	-	0.012
Soft sand+Mud	7.0	5.1	0.10	0.29	0.09	0.25	0.04	0.12	-	0.014
Soft sand+Sand	6.9	5.6	0.11	0.18	0.10	0.15	0.03	0.08	-	0.011

Table 5. Growth rate and feed efficiency of *P. chinensis* reared at different sediment types after 6 weeks

Sediment	Fish number		Mean body weight (g)		Growth (%)	Feed efficiency (%)
	Total	Dead	Initial±SD	Final±SD		
Bare	50	26	1.12±0.08	4.09±0.23	7.22	27.94
Sand	50	13	1.17±0.11	4.93±0.19	8.25	34.43
Soft sand	50	12	1.15±0.06	5.12±0.32	9.08	36.12
Mud	50	27	1.16±0.07	4.42±0.26	7.63	29.43
Sand+Mud	50	9	1.13±0.10	5.18±0.10	9.42	39.13
Soft sand+Mud	50	8	1.15±0.12	5.23±0.18	9.34	38.25
Sand+Soft sand	50	11	1.14±0.09	5.07±0.28	9.02	37.52

sand, soft sand, mud, sand+mud, soft sand+mud 및 sand+soft sand에서 각각 48.5, 74.5, 76.0, 54.5, 82.0, 80.5 및 78.5%로 bare 및 mud 조건에서 60% 이하의 낮은 생존율을 나타냈으나, 이외의 저질 조건에서는 70% 이상의 생존율을 나타냈다(Fig. 1). 저질성상에 따른 대하의 성장과 사료효율은 bare조건에서 각각 7.2%와 27.9%, mud 조건에서는 각각 7.6%와 29.4%를 나타내어 성장과 사료효율이 가장 높은 sand+mud 조건에 비해 유의한 감소를 나타냈다($P<0.05$). 그러나 sand 조건을 제외한 이외의 저질 조건에서 성장과 사료효율은 각각 9.0% 및 35.0% 이상의 유사한 값을 나타냈다(Table 5).

고 찰

대하 양식장의 저질특성에 따른 수질특성을 파악하기 위한 실험에서 저질의 IL, COD 및 H_2S 는 모든 조건에서 실험 개시시에 비해 실험 종료시에 높은 값을 나타내었는데 sand 조건에서 가장 낮은 값을, mud 조건에서 가장 높은 값을 나타냈다. 이와 같은 결과는 실험기간 동안의 먹다 남은 먹이 및 배설물 등에 의한 유기물 부하의 증가에 기인된 것이며, 저질 입도가 작을수록 유기물 부하가 높다는 것을 의미한다. 저질특성에 따라 해수중의 DO는 실험기간 동안 모든 조건에서 감소하는 경향을 나타냈고, H_2S 와 영양염류는 증가하는 경향을 나타냈다. 즉, DO는 bare 조건에서 소폭인 6.2 mg/l까지 감소한 반면, sand, soft sand의 단독 혹은 sand, soft sand 및 mud의 50:50 비율의 혼합조건에서 5.1~5.9 mg/l까지 감소하였고, mud 조건에서는 4.6 mg/l로 가장 큰 폭으로 감소하였다. bare 조건에서 아질산과 암모니아는 각각 0.05 mg/l와 0.12 mg/l로 가장 낮은 증가를 나타냈고, sand, soft sand의 단독 혹은 sand, soft sand 및 mud의 50:50 비율의 혼합 조건에서는 각각 0.07~0.12 mg/l 및 0.16~0.29 mg/l

의 범위까지 증가를 나타낸 반면, mud 조건에서는 아질산은 0.15 mg/l, 암모니아는 0.36 mg/l로 가장 높은 증가를 보였다. 또한, bare 조건에서 H_2S 는 검출되지 않았으며, mud 조건에서는 0.018 mg/l로 가장 높은 증가를 나타냈다. 이와 같은 결과는 저질이 존재하지 않은 해수에서는 수질 악화가 극히 제한적이거나, 저질이 존재하는 해수에서는 저질 입도 구성에 따라 수질 악화에 큰 영향을 미칠 수 있다는 것을 의미한다.

대하의 생산성과 관련된 생존 및 성장률은 저질이 없는 bare 조건에서 각각 48.5% 및 7.2%로 sand+mud 50:50 비율의 혼합조건에 비해 유의한 감소를 나타냈다. Geoff et al. (1995)은 *Metapenaeus macleayi*에 있어 $\leq 0.063\sim 1.0$ mm 입도의 저질이 존재하는 조건에 비해 bare 조건에서 유의한 생산성 감소를 지적하였다. 대하는 유생기의 발달 단계가 진행됨에 따라 천천히 저질 속으로 잠복하기 시작하며, 치하 및 성체 시기에는 주·야간에 걸쳐 저질과 수층을 오가며 생활하는 습성을 가지고 있다. 따라서 bare 조건에서 생산성이 저하된 원인은 대하의 생활 습성에 따른 생태적인 요인으로 생각할 수 있다.

한편, 저질이 존재하는 조건에서 대하의 생존과 성장률은 soft sand의 단독조건 혹은 sand, soft sand 및 mud가 50:50 비율의 혼합조건에서 각각 70%와 9% 이상을 나타냈다. 그러나 mud 단독조건에서 대하의 생존율과 성장률은 각각 54.5%와 7.6%로 나타나 유의한 감소가 관찰되었다. 상기의 결과에 의하면, 대하는 bare 조건에 비해 저질이 존재하는 조건에서 정상적인 생산성을 확보할 수 있다는 결론을 얻었다. 그러나 저질이 존재하여도 63 μm 이하로만 구성된 mud 조건에서 유의한 생산성 감소가 관찰된 것은 저질성상에 따른 환경악화의 측면에서 생각할 수 있다. 즉, sand, soft sand 단독조건 혹은 sand, soft sand 및 mud 50:50 비율의 혼합조건에서 DO 5.1 mg/l 이상, 아질

산, 암모니아성 질소 및 H₂S는 각각 0.12 mg/l, 0.29 mg/l, 0.014 mg/l 이하가 관찰되었으나, mud 조건에서는 DO 4.6 mg/l, 아질산, 암모니아성 질소 및 H₂S가 각각 0.15 mg/l, 0.36 mg/l, 0.018 mg/l이 관찰되었다.

새우류의 성장은 염분 및 온도 등과 관련이 있으며 (Okamasao, 1970; Wang, 1983), 특히 DO, 아질산, 암모니아성 질소 및 H₂S는 생산의 제한 요소로 작용한다 (Shigueno, 1975; Chen and Lin, 1991; Chen and Kou, 1992; Alcaraz et al, 1997). 예를 들면, 새우류는 DO 2.0 mg/l 이하의 농도에서 생존에 치명적일 수 있으며 (Brock, 1983; Yang, 1989), 정상적인 성장을 위한 농도는 6.0 mg/l 이상이고 (Brock, 1983), 대하는 DO 5.0 mg/l 이상에서 정상적인 성장이 이루어진다고 보고하였다(Yang, 1990). 또한, 대하 치하의 생존을 위한 아질산과 암모니아성 질소의 안정농도는 각각 3.51 mg/l, 2.30 mg/l이고(Chen, 1990), *Penaeus penicillatus* 치하의 안전농도는 각각 2.37 mg/l, 1.97 mg/l 이다(Chen and Lin, 1991). 또한, Chen and Kou (1992)는 *Penaeus japonicus*에 있어 암모니아성 질소 0.35 mg/l 이상은 성장저해를 유발시킬 수 있다고 지적하였고, 이들 유독 작용은 조직내의 빈산소화, 호흡장애 및 열에 대한 저항성 감소 등으로 나타난다(Alcaraz, 1997). 한편, 새우류의 양식에 있어 0.2~1.0 mg/l의 H₂S 농도는 생존율을 감소시키며, 4.0 mg/l 이상의 농도는 100%의 사망원인이 된다(Shigueno, 1975). 그리고, *Metapenaeus monoceros* 및 *Gammarus pseudolimnaeus*의 H₂S 96시간 반수치사 농도가 각각 0.038 mg/l와 0.022 mg/l라고 하였다(Donavon and Lloyd, 1974; Kang, 1997). 따라서, 상기의 기준에 보고된 환경요인에 따른 새우류의 생산성을 고려하여 볼 때, mud 단독조건에서 측정된 DO, 암모니아성 질소 및 H₂S의 농도는 대하에 직·간접적으로 영향을 미쳤을 가능성이 높으며, 이로 인해 유의한 생산성 감소가 관찰되었을 것으로 판단된다.

이상의 결과와 논의로부터 대하 양식에서 저질의 입도 구성에 따라 수질은 다양하게 변화하며, 특히 mud ($\leq 63 \mu\text{m}$)로만 구성된 양식장은 이들 요인의 악화에 많은 영향을 미칠 것으로 생각된다. 또한, 대하는 $\leq 63 \mu\text{m} \sim 2\text{mm}$ 의 입자의 적당한 비율로 구성된 저질조건에서 정상적인 생산성을 확보할 것으로 판단되나, 생산성에 미치는 환경악화를 고려할 경우에는 sand, soft sand와 mud가 각각 50 : 50 비율로 혼합되어 양식하는 것이 가장 바람직 할 것으로 생각된다.

요 약

대하 양식에 있어 저질성상에 따른 환경변화를 아질산, 암모니아 및 황화수소와 같은 유해물질을 중심으로 파악하고, 이에 따른 대하의 생존 및 성장 등에 미치는 저질조성의 영향을 검토하여 생산성을 평가하기 위하여 실험실 조건에서 6주 동안 실험하였다.

실험종료시 DO는 sand, soft sand의 단독 혹은 sand, soft sand 및 mud의 50:50 비율의 혼합조건에서는 5.1~5.9 mg/l까지 감소하였으나, mud 조건에서는 4.6 mg/l까지 감소하였다. 또한, 아질산, 암모니아농도 및 황화수소는 sand, soft sand의 단독 혹은 sand, soft sand 및 mud의 50:50 비율 조건에서 각각 0.07~0.12 mg/l, 0.16~0.29 mg/l 및 0.009~0.014 mg/l까지 증가하였으나, mud 조건에서는 0.15 mg/l, 0.36 mg/l 및 0.018 mg/l로 높은 증가를 나타냈다.

대하의 생존율은 bare와 mud 조건에서 60% 이하의 낮은 생존율을 나타냈으나, sand, soft sand의 단독 혹은 sand, soft sand 및 mud의 50:50 비율의 혼합조건에서는 70% 이상을 나타냈다. 저질 성상에 따른 대하의 성장과 사료효율은 bare 조건에서 각각 7.2%와 27.9%, mud 조건에서는 각각 7.6%와 29.4%을 나타내어 성장과 사료효율이 가장 높은 sand+mud 조건에 비해 유의한 감소를 나타냈다.

감사의 글

본 연구는 1998년 한국학술진흥재단 과학기술기초 중점연구지원사업 해양·수산과학연구(1998-023-H00014)의 연구비 지원에 의해 수행된 연구결과의 일부이며, 이에 깊은 감사를 드립니다. 또한, 본 연구를 위하여 재료의 공급과 많은 협조를 하여 주신 남해 갈화 새우양식장 직원들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Alcaraz, G. and X. C. Carrara and C. Canegas, 1997. Temperature tolerance of *Penaeus setiferus* postlarvae exposed to ammonia and nitrite. *Aquat. Toxicol.*, 39 : 305-353.
- APHA (American Public Health Association), American Water Works Association and Water Pollution Con-

- trol Federation, 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. pp. 373-411. 18th edition. APHA, New York.
- Brock, J. A., 1983. Environmental and water quality parameters as etiologic factors in prawn diseases. pp. 363-364. (in) Handbook of Mariculture. Vol. I. Crustacean Aquaculture, (eds.) J. P. McVey and J. R. Moore. CRC Press, Florida.
- Chen, J. C., 1990. Lethal effects of ammonia and nitrite on *Penaeus chinensis* juveniles. Mar. Biol., 107 : 427-431.
- Chen, J. C. and Y. Z. Kou, 1992. Effects of ammonia on growth and molting of *Penaeus japonicus* juveniles. Aquaculture, 104 : 249-260.
- Chen, J. C. and C. Y. Lin, 1991. Lethal effects of ammonia and nitrite on *Penaeus penicillatus* juveniles at two salinity levels. Comp. Biochem. Physiol., 100C(3) : 477-482.
- Donavon, O. and S. Llyod, 1974. Chronic toxicity of hydrogen sulfide to *Gammarus pseudolimnaeus*. Trans. Amer. Fish. Soc., 4 : 819-822.
- Geoff, L., Allan, G. and B. Maguire, 1995. Effect of sediment on growth and acute ammonia toxicity for the school prawn, *Metapenaeus macleayi*. Aquaculture, 131 : 59-71.
- Hughes, D. A., 1968. Factors controlling emergence of pink shrimp from the substrate. Biol. Bull., 139 : 48-59.
- Huguenin, J. E. and J. Colt, 1989. Design and operating guide for aquaculture seawater systems. Elsevier, Amsterdam, 264 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 nipponense*. J. Fish Pathol., 10(1) : 65-72 (in Korean).
- Kim, H. S. and K. B. Park, 1972. Faunal studies on the Macrurans in Korea. pp. 115-136. (in) Floral studies on some taxa of plants and faunal studies on some taxa of animals in Korea. Ministry of Sci. and Tech.
- Kubo, I., 1949. Studies on penaeids of Japanese and its adjacent water. J. Tokyo Univ. Fish. Vol., 1 : 1-467.
- Okamasao, 1970. Larval rearing and culture of prawns. Aquaculture, 2 : 34.
- Ruello, N. V., 1973. Burrowing feeding and spatial distribution of the school prawn, *Metapenaeus macleayi* in the Hunter River region, Australia. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 13 : 189-206.
- Rulifson, R.A., 1981. Substrate preferences of juvenile penaeid shrimp in estuarine habitats. Contrib. Mar. Sci., 24 : 35-52.
- Shigueno, K. 1975. Shrimp culture in Japan. Assoc. Int. Tech. Prom., Tokyo. 153 pp.
- Somers, I. F., 1987. Sediment type as a factor in the distribution of commercial prawn species in the Western Gulf of Carpentaria, Australia. Aust. J. Mar. Freshwater Res., 38 : 133-149.
- Wang, K., 1983. Penaeid culture. China Aquaculture Company, China. 240 pp.(in Chinese).
- Yang, C. M., 1990. Effect of some environmental factors on the growth of chinese prawn, *Penaeus chinensis*. pp. 179-185. (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.
- Yoshida, H., 1941. Important marine shrimps and lobsters of Tyosen (Korea). Bull. Fish. Exp. Sta. Husan, 7 : 1-36.
- 日本水産資源保護協會, 1980. 水質汚濁調査指針. pp.154-162. 恒星社厚生閣.
- 池末弼, 1963. 右名海におけるエビアミ類の生活史と生態に關する研究. 西海區水研報. 30 pp.
- 김권두, 1968. 대하의 종묘생산에 관한 연구. 한수지, 1 : 9-18.
- 김봉안, 1973. 황해산 대하의 분포와 회유, 국립수산진흥원 연구보고, 11 : 7-23.
- 노용길, 1989. 대하의 종묘생산현황. 국립수산진흥원 양식 자료집, 10 : 81-90.
- 박병하, 1989. 한국의 새우양식현황, 국립수산진흥원 양식 자료집, 10 : 45-60.
- 이종화, 1992. 양식산 대하의 생산성에 관한 연구. 순천향대 학논문집, 15(3) : 889-917.