



## 사육수 비교환 방식에 의한 흰다리새우의 고밀도 사육 I. 후기유생(postlarva)의 실내 중간육성

장인권\*, 김종식, 조국진, 서형철, 조영록, Ayyaru Gopalakannan, 김봉래  
국립수산과학원 서해특성화연구센터

## Intensive Culture of the Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei* under Limited Water Exchange I. Indoor Nursery Culture of Postlarvae

In Kwon Jang\*, Jong-Sheek Kim, Kook-Jin Cho, Hyung Chul Seo, Yeong Rok Cho,  
Ayyaru Gopalakannan and Bong Lae Kim

West Sea Mariculture Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Taejeon 357-945, Korea

Farming of the fleshy shrimp *Fenneropenaeus chinensis* which is a major cultured species in the west coast of South Korea, has been suffered from mass mortality due to disease epizootics including viruses. Since the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* was introduced to Korea in 2003, farming of this species has rapidly increased for years, occupying 62.5% of total cultured shrimp production in 2007. However the studies on *L. vannamei* culture methods for shrimp farming situations in Korea are very limited. Nursery culture of shrimp larvae has some advantages including increased survival, improved feed efficiencies, enhanced growth performance and reduced grow-out period. In this study, *L. vannamei* postlarvae (PL<sub>3</sub>-PL<sub>10</sub>) with a density of 3,750-9,090/m<sup>3</sup> were cultured in four raceways under limited water exchange condition for 35 days. Survival was the highest (93.6%) in tank stocked with 4,090/m<sup>3</sup> and was the lowest in tank with 9,090/m<sup>3</sup> (58.1%). Mean body weight at harvest ranged from 0.071 to 0.108 g, and FCR was 0.59-0.70 in all tanks. Concentration of total ammonia nitrogen was increased up to 20 ppm on day 10 in all tanks and thereafter gradually decreased by the third week of culture. Nitrite-nitrogen was rapidly increased from the third week, representing bio-floc condition by developed nitrifying bacterial community. Of the present nursery system some modification of structure and consideration for commercial scale are needed in order to be implemented to shrimp farmers.

**Keywords:** *Litopenaeus vannamei*, White shrimp, Limited water exchange, Nursery culture

### 서 론

1990년대에 들어와 서해안을 중심으로 급속하게 발달하기 시작한 새우양식은 2001년 전국 양식새우생산량이 3,268톤으로 최고에 달한 이후 2004년 2,368톤으로 해마다 감소하였다(Jang and Jun, 2005). 이러한 이유 중의 하나는 바이러스성 질병, 특히 흰반점바이러스(white spot syndrome virus, WSSV)에 의한 대량폐사에 기인하는데(Heo et al., 2000; Jang et al., 2006, 2007a), 우리나라 새우양식의 주종인 대하(*Fenneropenaeus chinensis*)는 WSSV에 대한 감수성이 높아 피해가 더욱 심각한 것으로 알려져 있다(Jang et al., 2007b). 이에 대한 대책의 하나

로서 2003년 국립수산과학원에 의해 미국 하와이로부터 처음으로 도입된 흰다리새우(*Litopenaeus vannamei*)는 이후 빠르게 양식이 확산되어 2007년에는 전국 양식새우 생산량의 62.5%를 점유하게 되었다(Kim et al., 2004; Jang, unpublished data). 흰다리새우는 다른 양식새우류에 비해 질병내성이 높고, 성장률이 빠르며 또한 바이러스에 비감염된 무병(specific pathogen free, SPF) 계열이 이미 상업화되어 있는 등 다양한 양식적합성 특성들을 가지고 있어 원산지인 미주 뿐 아니라 동남아 여러 국가들에서 양식의 주종을 이루고 있는 실정이다(Briggs et al., 2004; FAO, 2006).

우리나라에서는 5-6월에 생산된 종묘(postlarva 12-15기)를 직접 야외 사육지에 입식을 하고 있는 방식이지만, 특히 흰다리새우의 경우 외국의 많은 양식장에서는 중간육성(nursery culture)

\*Corresponding author: jangik@nfrdi.re.kr

의 단계를 거치는 것이 일반화되어 있다. 중간육성은 육성기간과 새우의 크기 등은 조건과 목적에 따라 다를 수 있지만 일반적으로 초기 단계의 postlarva와 본양성 사이의 육성단계로서 (Samocha et al., 2000; Mishra et al., 2008) 생존율과 사료효율 향상, 생산량 증대 등의 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Sandifer et al., 1991; Samocha et al., 2002). 또한 양성기간이 비교적 짧은 우리나라에서는 실내에서 일반적인 종묘입식 시기보다 일찍 중간육성을 실시할 경우 야외 사육지에서의 본양성 기간을 단축함으로써 조기에 수확을 할 수 있는 장점이 있다.

중간육성은 사육공간 및 경제적 측면을 고려하여 고밀도로 실시하는 경향이 있기 때문에 수질관리에서 많은 어려움을 겪는다. 고밀도 중간육성 시 사육수는 잔량의 사료, 새우의 배설물 및 대사산물 등의 축적으로 종묘생산 단계보다 훨씬 빠르게 오염이 진행되는데(Viadero and Noblett, 2002), 전통적인 유수식(flow-through method)에 의한 사육수 교환의 경우, 사료의 효율성 저하, 수질의 불안정화, 부영양 배출수에 의한 환경오염 등의 문제점이 있을 뿐 아니라 새로운 사육수를 통한 병원체, 특히 바이러스의 감염은 이미 잘 알려져 있다(Flegel, 1997; Lotz and Lightner, 2000). 또한 우리나라에서는 중간육성이 종묘입식 전인 4월경에 이루어져야 하는 관계로 25-30°C를 유지해야 하는 흰다리새우의 특성을 고려할 때 사육수 가온을 위한 에너지 비용은 가장 큰 제한요인이 될 수 있다.

전통적인 순환여과방식(recirculating aquaculture system, RAS)과는 달리 별도의 생물여과조가 없이 하나의 사육수조에서 이루어지는 사육수 비교환(no water exchange) 혹은 제한적 교환(limited water exchange) 방식에 의한 새우의 고밀도 사육 기술은 유수식의 문제점들을 해결해 주는 새로운 방법으로 최근 연구자들 뿐만 아니라 사육가들에게서도 많은 주목을 받고 있다(Samocha et al., 2000, 2007; Browdy et al., 2001). 이 방식에서 다양한 질화세균군 및 타가영양세균(heterotrophic bacteria)은 탄소원을 에너지로 하여 사육수의 질소화합물을 제거하는 주된 역할을 담당하며, 유기물과 더불어 형성된 세균총(bacterial floc)은 새우에 의해 섭식되어 새우단백질로 동화되는 과정은 잘 밝혀져 있다(Avnimelech, 1999; Browdy et al., 2001; Burford et al., 2004). 또한 foam fractionator 등을 추가적으로 설치함으로써 과잉의 유기물입자를 효과적으로 제거하기도 한다(Timmons, 1984; Samocha et al., 2006). 그러나 이러한 기술은 사육수조의 시스템과 관리적인 측면에서 아직도 많은 개선의 여지가 있으며, 특히 우리나라에서는 최근 유수식에 의한 중간육성이 일부 종묘부화장에서 시도되었을 뿐 비교환 방식은 거의 소개되지 않고 있는 실정이다.

본 연구는 최근 빠르게 증가되어 가는 흰다리새우의 양식 현황을 고려하여, 흰다리새우에 적합한 중간육성 시스템을 개발하고 적정밀도 및 사육수관리 방법을 연구함으로써 양식현장에서 응용 가능한 기술을 개발하고, 또한 사육수 비교환 방식을 이용한 고밀도 양성 기술의 기초를 확립하고자 한다.

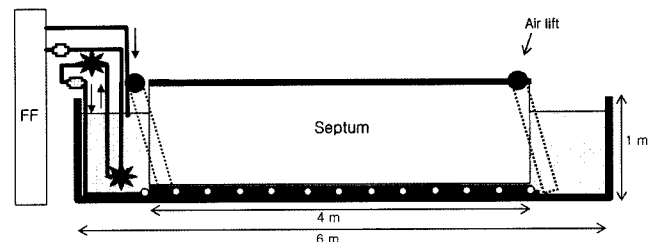
## 재료 및 방법

### 사육수조 및 부속시설

수조의 수면적은 각각 12.9 m<sup>2</sup> (L6.0×W2.15×H1.0 m; tanks 1, 2) 및 18 m<sup>2</sup> (L6.0×W3.0×H1.0 m; tanks 3, 4)인 raceway 형 콘크리트 수조이다. 각 수조의 중양을 따라 격벽(L4.0×H1.0 m)을 설치하고 격벽의 양측 아래를 따라서 30 cm 간격으로 water injector (φ 20 mm)가 부착된 PVC 관(φ 50 mm)을 설치하였다 (Fig. 1). 수조의 한쪽 끝에는 venturi 및 수중모터(0.5 HP)가 부착된 별도의 PVC 관을 설치하고 이 관은 water injector관의 한쪽 끝에 연결하여 사육수를 공기와 함께 혼합하여 분출되게 함으로써 사육수가 수조 내에서만 순환하도록 만들었다. 이와 별도로 수조내에 PVC 관(φ 50 mm)을 설치하고 자체 제작한 foam fractionator와 연결하였으며 사육수를 흡입하는 PVC 관의 말단은 새우가 들어가지 못하도록 새우의 성장에 따라서 망목이 다른 여과망을 부착하였다. 수조의 중간에는 PVC관(φ 200 mm)과 에어스톤으로 구성된 air lift를 4조 설치하여 침전물의 부상과 사육수의 원만한 순환을 유지하였다. 사육 중간 때때로 수조의 저면을 조사하여 침전물이 모이는 곳에는 에어스톤을 설치하여 슬러지가 침전되지 않도록 하였다. 추가적인 산소공급을 위하여 oxygen generator (RAK - 15L90C2, Oxycon Industrial Ltd., Korea)를 설치하였다. 수조의 전체적인 배관 구조는 Samocha et al. (2002)을 참고하였다.

### 사육수 관리

사육수 준비를 위하여 종묘입식 2주전 여과해수를 취수한 후 염소 50 ppm의 농도로 소독, 중화시킨 후 1~3×10<sup>6</sup> cell/mL의 농도로 규조 *Chaetoceros spp.*를 넣고 소량의 새우 초기유생사료와 당밀을 공급하여 사육수를 안정화시켰다. 종묘입식 후에는 모든 수조에서 수온, DO, 염분은 YSI-85 model (Yellow Springs Instrument Co., Ohio, USA)을 이용, TAN, NO<sub>2</sub>-N, 알칼리도(alkalinity)는 영양염 분석용 calorimetric kit (Merck Co., Germany), 탁도(turbidity)는 Micro TPW 20000 turbidimeter (HF Scientific Inc., Florida, USA), pH는 YSI pH meter를 이용하여 매일 1회 이상 측정하였다. 사육수의 환수량 및 당밀공급량은 사육기간 이루어진 총량을 일일 평균으로 계산하였다.



★ water pump □ venturi FF, foam fractionator ○ water injector

Fig. 1. Side view of raceway tank for shrimp nursery culture.

**Table 1.** Summary of daily water quality indicators for raceway tanks under limited water exchange condition over a 35-day nursery culture trial with Pacific white shrimp *L. vannamei* (mean value with range)

	Water Temp.(°C)	DO (ppm)	Salinity (psu)	pH	Alkalinity (ppm)	Turbidity (NTU)	TAN (ppm)	NO <sub>2</sub> -N (ppm)	Water exchange (%/day)	Molasses (L/day)
Tank 1	29.30 24.1-30.5	6.01 4.0-11.0	33.58 33.0-34.6	7.76 7.2-8.2	157 140-175	19.17 5.7-34.3	4.19 0.1-20.0	6.37 0.0-20.0	1.51	0.13
Tank 2	29.05 24.7-30.6	6.19 4.2-9.9	33.96 33.3-35.0	7.75 7.2-8.3	156 140-175	25.49 7.4-54.0	4.52 0.1-20.0	10.94 0-32.0	1.01	0.13
Tank 3	28.77 24.6-30.5	5.76 4.2-8.9	33.90 32.6-35.0	7.91 7.3-8.5	147 140-150	23.14 6.9-37.6	3.32 0.1-20.0	7.21 0-27.0	0.88	0.09
Tank 4	28.87 24.8-30.6	6.06 4.2-8.8	33.39 32.4-34.2	7.85 7.5-8.2	147 140-150	21.84 9.8-37.3	3.42 0.1-20.0	6.47 0-24.0	1.55	0.09

**Table 2.** Summary of stocking and production in four raceway tanks operated with limited water exchange condition over a 35-day nursery trial with Pacific white shrimp *L. vannamei*

	Initial B.W. (g)	Stocking density		Final B.W. (g)	Yield		WGR* (g/w)	Survival rate (%)	FCR
		(/m <sup>2</sup> )	(/m <sup>3</sup> )		(kg/m <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )			
Tank 1	0.009	2,307	3,750	0.108	0.202	0.328	0.0200	80.9	0.63
Tank 2	0.009	4,615	7,500	0.108	0.376	0.611	0.0198	75.5	0.70
Tank 3	0.0009	2,500	4,090	0.071	0.166	0.272	0.0196	93.6	0.59
Tank 4	0.0009	5,555	9,090	0.080	0.258	0.423	0.0158	58.1	0.60

\*weekly growth rate.

흰다리새우의 성장에 적합한 수온을 유지하기 위하여 보일러 (70,000 Kcal/hr)를 이용하여 가온을 실시하였다.

### 중요입식 및 사육관리

새우종묘는 미국 하와이산 무병(SPF) 어미 흰다리새우를 이용하여 국립수산물품질관리원 서해특성화센터에서 생산된 postlarva (PL<sub>3</sub>-PL<sub>10</sub>)를 이용하였다. 2007년 6월 10일 tank 1과 2에는 평균체중 0.009 g의 유생을 각각 30,000마리(3,750/m<sup>3</sup>), 60,000마리(7,500/m<sup>3</sup>), tank 3과 4에는 평균체중 0.0009 g의 유생을 각각 45,000마리(4,090/m<sup>3</sup>), 100,000마리(9,090/m<sup>3</sup>)의 밀도로 입식한 후 35일간 사육하였다(Table 2). 사료는 초기 1주일만 새우유생용 미립자사료 (Frippak, INVE Ltd., Belgium) 및 알테미아를 혼합 공급하였으며 이후부터는 크립를 배합사료 (φ 0.1-0.4mm; Purina Co., Korea)를 공급하였다. 배합사료는 수조별 4개씩 설치된 먹이망(20×30 cm)에만 4회/일 공급하였다. 사료공급량은 새우의 주간성장률에 근거하였으며 주간성장률은 매주 30-50마리의 새우를 채집하여 평균체중을 계산하였다.

## 결 과

### 사육수의 수질 및 영양염 농도의 변화

사육수의 수질환경 및 영양염 등의 변화는 Table 1 및 Fig. 2에 나타나 있다. 수온은 사육 초기 24°C였으나 점차 가온하여 6일째에는 전 수조가 약 29°C로 상승하였으며 사육기간 동안 평균 28.77-29.30°C를 유지하였다. 용존산소(DO)는 실험 2주까

지는 4.0-6.0 ppm의 범위를 보여주었으나 2주 후부터는 대부분 6.0 ppm 이상을 유지하였다. 전 기간 DO의 평균 농도는 5.76-6.19 ppm으로 흰다리새우 최소요구량인 3.0 ppm에 비해 비교적 높게 유지되었다. 염분은 모든 수조에서 32.4-35.0 psu의 범위를 보여주었다. pH는 모든 수조에서 1주일째 일시적으로 7.5 전후까지 하강한 후 다시 상승하여 8.0 이상을 유지하였으나 2주 이후 점차 하강하는 양상을 보였다. 전 기간 pH의 범위는 7.2-8.5로서 수조별 평균 7.8-7.9를 유지하였다. 알칼리도(alkalinity)는 전 기간 140 ppm 이상을 유지하였으며 수조별 평균 147-157 ppm으로 큰 차이를 보이지 않았다. 탁도(turbidity)는 16일째부터 측정하였으며 수조별 평균 19.17-25.49 NTU로서 큰 차이를 보이지 않았다. 총암모니아성 질소(TAN)는 실험 6일째까지 모든 수조에서 4.0-6.0 ppm의 농도를 유지하였으나 10일째 모든 수조가 20 ppm까지 상승한 후 점차 감소하여 14일째는 거의 0.1 ppm까지 떨어졌다. 이후 TAN 농도는 수조별 상당한 변화를 보인 후 3주 이후로는 3.0 ppm 이하로 유지되었다. TAN의 수조별 평균 농도는 3.32-4.52 ppm으로 비슷한 농도를 보였다. 사육 2주째까지 아질산염(NO<sub>2</sub>-N)의 농도는 전 수조에서 1.0 ppm 이하를 유지하였으나 이후 점차 크게 증가하는 경향을 보였다. Tank 2의 경우 23일째 30 ppm까지 증가한 이후 23-26일의 일시적인 감소를 제외하고는 대부분 25 ppm 이상을 나타냈으며 3주 이후에는 나머지 수조들에서도 대부분 10 ppm 이상을 보였다. 아질산염의 평균 농도는 tank 2가 10.94 ppm으로 가장 높았으며 나머지 수조들에서도 6.47-7.21 ppm의 높은 농도를 보였다. 평균 일일 환수량은 tank 4, 1이 각각 1.55, 1.51%/day로서 가장 높았으며 tank 2, 3이 각

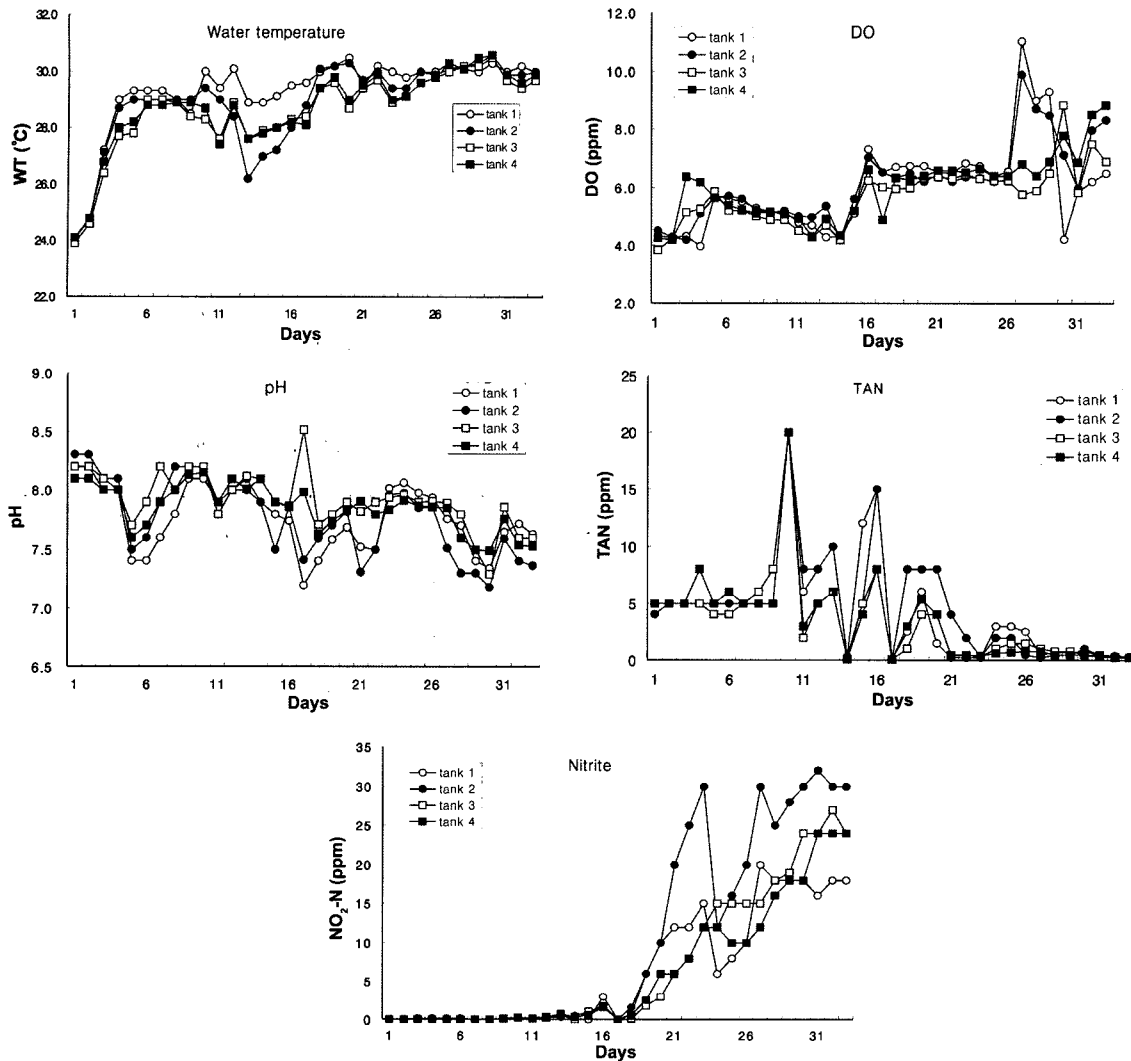


Fig. 2. Daily changes in water quality indicators for four raceway tanks under limited water exchange condition over a 35-day nursery trial with Pacific white shrimp *L. vannamei*.

각 1.01, 0.88%/day이었다. 당밀은 tank 1, 2에는 0.13 L/day, tank 3, 4에는 0.09 L/day의 용량이 공급되었다.

**새우의 성장도**

사육수를 거의 교환하지 않은 조건하에서 2종류 크기의 수조를 이용하여 서로 다른 밀도로 35일간 흰다리새우의 유생을 중간육성 사육한 결과, 각 수조의 새우 성장률과 생산량 비교는 Table 2와 Fig. 3에 나타나 있다. Tank 1과 2의 수확시 평균 체중은 0.108 g이며 tank 3과 4의 평균 체중은 각각 0.071, 0.080 g으로 tank 1, 2에 비해 약간 작았다. 단위생산량은 tank 1과 2가 각각 0.328, 0.611 kg/m<sup>3</sup>, tank 3과 4가 각각 0.272, 0.423 kg/m<sup>3</sup>로서 tank 2에서 가장 높게 나타났다. 생존율은 tank 3이 93.6%로 가장 높았으며, tank 1과 2가 각각 80.9, 75.5%이었고, 가장 밀도가 높은 tank 4에서 58.1%로서 가장 낮은 생존율을 보였다. FCR은 4개의 tank에서 0.59-0.70으로 크게 차이가 나지 않았으며 모두 1.0 이하의 낮은 값을 보여주었다. 주간

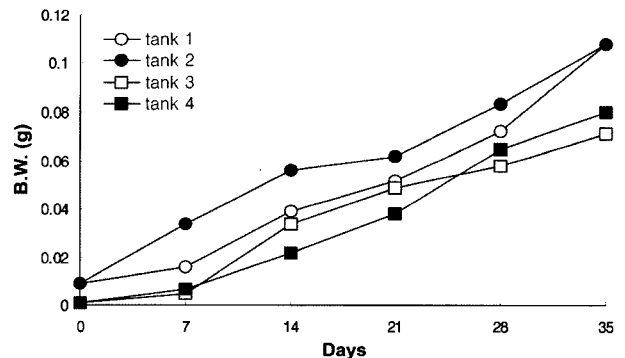


Fig. 3. Growth of Pacific white shrimp *L. vannamei* in four tanks over 35-day nursery trial.

성장율은 tank 1-3에서 0.0196-0.020 g/w으로 거의 비슷한 값을 보였으나 밀도가 가장 높은 tank 4에서는 0.0158 g/w로서 다른 수조의 약 80%에 머물렀다. 새우의 성장은 초기 체중이 높은 tank 1, 2 (0.009 g)에서 전 기간에 걸쳐 높게 유지되었으며,

밀도가 가장 낮은 tank 1은 tank 2에 비해 수확시기를 제외하고는 모두 높은 체중을 보여주었다. 상대적으로 작은 체중(0.009 g)에서 입식된 tank 3, 4는 비슷한 성장을 보여주었으며 최종 수확시 체중은 tank 1, 2에 비해 약 0.02-0.03 g 작게 나타났다.

## 고 찰

사육수 비교환방식으로 흰다리새우 유생을 35일간 중간육성을 실시하는 동안 총 암모니아성 질소(TAN)와 아질산성 질소(NO<sub>2</sub>-N)의 평균 농도는 각각 3.86, 7.74 ppm으로 매우 높은 농도를 보여주었다(Table 1; Fig. 2). TAN은 사육 10일째 20 ppm까지 상승한 이후 3주 이후부터는 낮은 농도를 유지하였으며 아질산염의 농도는 3주째부터 급격한 상승을 보여주었는데 이러한 질소화합물의 심한 농도 변화는 사육수 비교환방식의 새우양식에서 흔히 나타나는 것으로 주로 식물플랑크톤과 질화세균에 의한 질화과정에 기인한다(Avnimelech, 1999; Browdy et al., 2001; Thakur and Lin, 2003). 그럼에도 불구하고 본 연구에서 나타난 질소화합물의 농도는 비슷한 방식을 이용한 다른 연구들과 비교하여 여전히 높다고 할 수 있다. Mishra et al. (2008)은 사육수 교환율 3.35%/day로 71일간 흰다리새우를 중간육성한 결과 TAN의 평균농도는 2.56 ppm이었으며, Samocha et al. (2007)은 60일간의 사육에서 0-8.62 ppm (평균 1.0 ppm)의 범위를 얻었다. 비교환 고밀도 사육에서는 처음에는 TAN가 증가한 후 점차 감소하는 것이 일반적이는데, TAN의 농도의 변화와 감소하는 기간은 초기 사육수에 존재하는 식물플랑크톤의 역할에 의해서도 좌우되지만 질화세균군(nitrifying bacterial community)의 발달과 사육수의 유기물 및 탄소의 양과 밀접한 관계를 갖는다(Zhu and Chen, 2001; Cohen et al., 2005). 본 실험에서 평균 TAN 농도가 높은 원인 중의 하나는 종묘입식 전에 사육수에 질화세균 및 타가영양세균의 활성화를 위한 에너지원으로 과량의 새우사료(탄소원과 질소원으로서)를 공급하였기 때문으로 추측된다(1일째 TAN 농도 5.0 ppm). 그러나 3주째부터 TAN은 0.2-3.0 ppm의 범위로 급격히 낮아지는데, 이것은 아질산염으로의 질화과정이 촉진되면서 사육수는 점차 식물플랑크톤의 자가영양상태에서 세균군(biofloc)으로의 천이가 진행되는 것으로 해석된다.

암모니아(NH<sub>3</sub>)와 아질산염은 새우에게 매우 유독하며 독성의 정도는 종의 내성, 노출기간 및 pH, 수온, DO 등의 수질환경요인에 좌우된다(Hargreaves, 1998; Sower et al., 2004; Barajas et al., 2006). 본 연구와 유사한 환경에서 중간육성을 실시한 Mishra et al. (2008)은 TAN의 최고 농도가 27.04 ppm 조건 하에서 약 96%의 생존율을 얻었지만, 본 연구에서는 최고 20 ppm의 TAN 농도에서 생존율 58.1-93.6%를 얻은 것과 비교하면 생존율에 있어서 상당한 차이가 있다. 그러나 본 연구에서 새우에게 직접 해를 입히는 비이온화 암모니아 농도는 2.2 ppm (pH 8.2, 수온 29.4°C)이었으며, 후자의 경우는 약

0.19 ppm (pH 6.8, 수온 28.0°C)로서 pH에 따라서 비이온화 암모니아의 농도가 크게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 암모니아에 대한 노출이 비록 단기간(최대 24시간)이라 하여도 이것이 어느 정도 새우에게 스트레스로 작용했는지는 정확히 알 수는 없지만, TAN 농도가 10일째까지 4.0 ppm (약 0.4 ppm NH<sub>3</sub>) 이상으로 계속 유지된 점으로 미루어 새우의 초기 성장과 생존에 적지 않은 스트레스로 작용했을 가능성이 높다.

아질산염의 농도는 모든 tank에서 TAN의 농도가 감소하기 시작하는 3주째부터 급격하게 증가하여 사육 26일째부터 10-32 ppm의 농도가 지속되었다(Fig. 2). 정도의 차이는 있지만 사육 후반기에 나타나는 아질산염 농도의 상승은 비교환 고밀도 사육시스템을 이용하는 다른 연구에서도 자주 관찰된다(Samocha et al., 2000, 2002; Browdy et al., 2001). Cohen et al. (2005)은 50일간의 흰다리새우 중간육성 과정 중 6주 이후부터 아질산염 농도가 10.9-26.4 ppm으로 상승하였지만 새우의 성장과 생존에 영향을 미치지 않은 것으로 보고하고 있다. Chen and Chin (1998)은 유사한 조건에서 홍다리얼룩새우(*Penaeus monodon*) 유생의 NO<sub>2</sub>-N에 대한 96h-LC<sub>50</sub>의 농도는 45 ppm이며 이것은 축체식 양식장 조건에서의 4.5 ppm보다 오히려 독성이 덜한 것으로 보고하였다. 비교환 사육시스템에서 관찰되는 이러한 아질산염 내성 현상은 새우유생이 시간이 경과함에 따라 상승하는 아질산염의 농도에 적응하기 때문인 것으로 해석되고 있지만(Chen and Lei, 1990; Chen and Chin, 1998; Cohen et al., 2005), 이에 대한 정확한 기작과 내성 범위 등의 규명을 위해서는 앞으로 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서는 후반기에 비슷하게 고농도의 아질산염에 노출된 tank 3과 4의 생존율이 각각 93.6, 58.1%로 크게 차이가 나는 점으로 미루어 이것이 아질산염에 의한 것인지, 아니면 다른 환경요인에 의한 것인지 는 확실치 않다.

사육기간 동안 사육수의 교환은 tank에 따라서 0.88-1.55%/day로서 다른 유사한 시스템의 1.1-3.35%/day와 비슷하거나 낮게 유지되었으나(Cohen et al., 2005; Mishra et al., 2008), 앞서 언급된 바와 같이 사육 후기에 급속도로 진행되는 아질산염의 축적은 본 시스템의 문제점으로 나타났다. 아질산염의 축적은 질산염으로의 산화과정이 지연 혹은 억제됨으로서 발생하는 데 이것은 사육수 내에 질산염이 과량으로 축적되어 있거나 용존산소의 부족 등에 기인하기도 한다. *Nitrobacter*와 같은 질화세균은 산소에 매우 민감하기 때문에 용존산소의 부족은 이 세균의 활성을 크게 떨어뜨리며 심할 경우에는 질산염이 아질산염으로 전환되는 역반응이 일어나기도 한다(Komaros et al., 1996; Komaros and Lyberatos, 1998; van Wyk., 1999). 비교환 사육시스템에서 TAN과 아질산염의 농도를 낮추기 위해서 추가적으로 탄소(carbon)를 공급하기도 한다(Avnimelech, 1999; Samocha et al., 2007). 탄소는 새우사료에도 어느 정도 함유되어 있지만 외부로부터 추가적으로 탄소원(주로 당밀)을 공급함으로써 C:N ratio를 높여 줄 경우, 이들을 에너지원으로 하는

세균이 활성화되어 TAN과 아질산염을 질산염으로의 전환이 촉진된다. 또한 이러한 질소화합물은 세균단백질로 동화되어 새우의 추가적인 먹이원이 된다는 사실은 여러 연구에서 밝혀져 있으며(Avnimelech et al., 1994; Moss et al., 1999; Burford and Lorenzen, 2004). 본 연구에서는 탄소원으로 당밀을 0.09-0.13 L/day의 양으로 공급한 결과, TAN 농도의 감소는 관찰되었지만 아질산염 농도의 변화는 크게 변화하지 않았다. 이것은 비교적 짧은 사육기간으로 충분하게 세균군이 안정화되지 못한 이유도 있을 수 있지만 시스템에 축적된 높은 질산염 농도에 기인할 수도 있다. 또한 이러한 질소화합물의 세균단백질로의 재동화 과정은 본 연구에서 관찰된 이례적으로 낮은 FCR (0.59-0.70)을 설명해 줄 수 있다.

입식밀도가 9,090/m<sup>3</sup>으로 가장 높았던 tank 4의 생존율은 58.1%로 가장 낮았으며 주간성장율(weekly growth rate)도 0.0158로 가장 낮게 나타났다. 입식밀도가 3,750-7,500/m<sup>3</sup>의 경우 생존율은 75.5-93.6%로서 비교적 높게 나타났으며 수확시 새우의 체중은 0.071-0.108 g으로 사육수 비교환식 중간육성의 시설과 방법은 양식현장에서의 활용 가능성을 충분히 보여주고 있다. 동 연구에서와 같이 1개월의 중간육성으로 약 0.1 g의 차이를 생산할 경우, 본 양성기간의 단축, 성장률 향상, 출하시기의 조절 등의 여러 가지 효과를 얻을 수 있다. 특히 흰다리새우는 대하와는 달리 인위적인 성숙유도가 가능하여 종묘생산 시기를 자유롭게 조절할 수 있기 때문에 중간육성 종묘의 조기 입식을 통한 양식새우의 조기 출하와 경우에 따라서는 연간 2회를 생산함으로써 양식경쟁력을 높일 수 있다.

본 연구결과(tank 3의 7,500마리/m<sup>3</sup> 기준)에 근거하여 100만 마리(약 3 ha 양식장의 입식량 기준)의 흰다리새우 유생을 중간육성하기 위해서는 약 130톤의 사육수조가 필요하다. 그러나 향후 양식현장에서의 적용을 위해서는 보다 고밀도의 중간육성을 위한 대규모 시설에 대한 연구가 요구된다. 또한 본 연구에서 나타난 초기의 높은 TAN 농도와 후반기에 관찰되는 아질산염 농도의 급격한 증가 현상을 해결하기 위해서는 세균군의 활성화에 의한 종묘입식 이전의 사육수의 안정화와 탈질화를 위한 혐기성 수조와 같은 시스템 보완 등을 포함한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 요 약

서해안의 주요 양식종인 대하는 최근 바이러스를 포함한 질병으로 인하여 생산성이 크게 저하되고 있다. 이에 대한 대책으로 2003년 이식된 흰다리새우는 급속도로 양식이 확산되어 2007년 전국 새우양식 생산량의 62.5%를 점유하였으나 흰다리새우의 특성에 맞는 양식기술은 거의 연구되지 않았다. 새우유생의 중간육성은 생존율과 사료효율의 향상, 생산량 증대, 바이러스성 질병피해 감소 뿐 아니라 양성기간의 단축 등의 장점이 있다. 본 연구에서는 사육수 비교환 방식으로 시설된 4개의

raceway 수조에 흰다리새우 postlarva (PL<sub>3</sub>-PL<sub>10</sub>)를 3,750-9,090/m<sup>3</sup>의 밀도로 입식하고 중간육성을 실시하였다. 35일의 사육 결과, 생존율은 4,090/m<sup>3</sup> 밀도의 수조에서 93.6%로 가장 높았으며, 9,090/m<sup>3</sup>의 tank에서 58.1%로 가장 낮았다. 수확시 평균 체중은 0.071-0.108 g이었으며 FCR은 0.59-0.70으로 매우 낮았다. TAN 농도는 사육 10일째 전 tank에서 20 ppm까지 상승한 이후 점차 감소하여 3주째부터 크게 낮아졌으며 아질산염 농도는 3주째부터 급격하게 상승하여 타기영양상태로의 전환이 관찰되었다. 본 연구 결과는 일부 시스템의 보완과 규모의 확대를 통하여 양식현장에서 직접 응용 가능할 것으로 기대된다.

## 감사의 글

이 논문은 국립수산물과학원의 연구과제인 갑각류양식기술개발사업(RP-2008-AQ-51)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- Avnimelech, Y., 1999. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 227-235.
- Avnimelech, Y., M. Kochva and S. Diab, 1994. Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio. *Bamidgeh*, 46, 119-131.
- Barajas, F. M., R. S. Villegas, G. P. Clark, J. G. Mosqueda and B. L. Moreno, 2006. Daily variation in short-term static toxicity of unionized ammonia in *Litopenaeus vannamei* (Boone) postlarvae. *Aquaculture Research*, 37, 1406-1412.
- Briggs, M., S. Funge-Smith, R. Subasinghe and M. Phillips, 2004. Introductions and movement of *Penaeus vannamei* and *Penaeus stylirostris* in Asia and the Pacific. RAP publication 2004/10. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, 92 pp.
- Browdy, C. L., D. Bratvold, A. D. Stokes and R. P. McIntosh, 2001. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems. (in) C. L. Browdy and D. E. Jory (eds.), *The New Wave, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Culture*, Aquaculture, The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA, pp. 20-34.
- Burford, M. A. and K. Lorenzen, 2004. Modeling nitrogen dynamics in intensive shrimp ponds: the role of sediments remineralization. *Aquaculture*, 229, 129-145.
- Burford, M. A., P. J. Thompson, R. P. McIntosh, R. H. Bauman, D. C. Pearson, 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero exchange system. *Aquaculture*, 232(1-4), 525-537.
- Chen, J. C. and T. C. Chin, 1998. Joint action of ammonia and nitrite on tiger prawn, *Penaeus monodon*, postlarvae. *J. World Aquacult. Soc.*, 19, 143-148.
- Chen, J. C. and S. C. Lei, 1990. Toxicity of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* juveniles. *J. World Maricult. Soc.*, 21(4), 300-306.

- Cohen, J., T. M. Samocha, J. M. Fox and A. L. Lawrence, 2005. Biosecured production of juvenile Pacific white shrimp in an intensive raceway system with limited water discharge. *Aquacult. Eng.*, 32(3-4), 425-442.
- FAO, 2006. State of world aquaculture 2006. FAO technical report. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Fishery Resources Division, Rome.
- Flegel, T. W., 1997. Special topic review: major viral diseases of the black tiger prawn (*Penaeus monodon*) in Thailand. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 13, 433-442.
- Hargreaves, J. A., 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture pond. *Aquaculture*, 166, 181-212.
- Heo, M. S., S. G. Sohn, D. S. Sim, J. W. Kim, M. A. Park, S. H. Jung, J. S. Lee, D. L. Choi, Y. J. Kim and M. J. Oh, 2000. Isolation and characterization of white spot syndrome baculovirus in cultured penaeid shrimp (*Penaeus chinensis*). *J. Fish Pathol.*, 13(1), 7-13. (in Korean)
- Jang, I. K. and J. C. Jun, 2005. Current status of shrimp diseases and its control in Korea. (in) Proc. the 1st Korea-U.S. Seminar and Workshop on the Sustainable Marine Shrimp Culture, August 8-12, 2005, Incheon, Korea, 27-28 pp.
- Jang, I.K., H. S. Han and H. J. Lim, 2006. Viral infection rate in wild brood stock of the fleshy shrimp, *Fenneropenaeus chinensis* from Korean waters. Proceeding of the World Aquaculture Society, Firenze, Italy, 95 pp.
- Jang, I. K., Y. R. Cho, J. Y. Lee, H. C. Seo, B. L. Kim, J. S. Kim and H. W. Kang, 2007a. Selective predatory effect of river puffer on WSSV-infected shrimp in culture of shrimp with river puffer under laboratory scale. *J. Aquacult.*, 20(4), 270-277. (in Korean)
- Jang, I. K., J. C. Jun, G. J. Jo, Y. R. Cho, H. C. Seo, B. L. Kim, J. S. Kim, 2007b. Polyculture of fleshy shrimp *Fenneropenaeus chinensis* and white shrimp *Litopenaeus vannamei* with river puffer *Takifugu obscurus* in shrimp ponds. *J. Aquaculture*, 20(4), 278-288. (in Korean)
- Kim, D. H., B. R. Kim, J. S. Kim, H. C. Seo, S. K. Kim, J. H. Kim and I. K. Jang, 2004a. Combined effects of temperature and salinity on survival and hemolymph osmoregulation of *Litopenaeus vannamei*. *J. Aquacult.*, 246-250. (in Korean)
- Komaros, M. and G. Lyberatos, 1998. Kinetic modeling of *Pseudomonas denitrificans* growth and denitrification under aerobic, anoxic and transient operating conditions. *Water Res.*, 32, 1912-1922.
- Komaros, M., C. Zafiri and G. Lyberatos, 1996. Kinetics of denitrification by *Pseudomonas denitrificans* under growth conditions limited by carbon and/or nitrate or nitrite. *Water Environ. Res.*, 68, 934-945.
- Lotz, J. M. and D. V. Lightner, 2000. Shrimp Biosecurity: Pathogens and Pathogen Exclusion. (in) R. A. Bullis and G. D. Pruder (eds.), *Controlled and Biosecure Production Systems, Proceedings of a Special Session-Integration of Shrimp and Chicken Models*, The Oceanic Institute, Waimanalo, Hawaii, USA, pp. 67-74.
- Mishra, J. K., T. M. Samocha, S. Patnaik, M. Speed, R. L. Gandy and A. Ali, 2008. Performance of an intensive nursery system for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, under limited discharge condition. *Aquacult. Eng.*, 38, 2-15.
- Moss, S. A., G. D. Pruder, and T. M. Samocha, 1999. Environmental management and control: controlled ecosystem and biosecure shrimp growout systems. (in) R. A. Bullis, and G. D. Pruder (eds.), *Controlled and Biosecure Production Systems, Preliminary Proceedings of a Special Integration of Shrimp and Chicken Models*, 27-30 April, Sydney, Australia, World Aquaculture Society, pp. 87-91.
- Samocha, T. M., T. Blacher, J. Cordova, and A. De Wind, 2000. Raceway nursery production increases shrimp survival and yields in Ecuador. *Global Aquacult. Advocate*, 3(6), 66-68.
- Samocha, T. M., L. Hamper, C. R. Emberson, A. D. Davis, D. McIntosh, A. L. Lawrence, and P. Van Wyk, 2002. Review of some recent developments in sustainable shrimp farming practices in Texas, Arizona and Florida. *J. Appl. Aquacult.*, 12, 1-42.
- Samocha, T. M., S. Patnaik, M. Speed, A. M. Ali, J. K. Mishra, J. M. Burger, 2006. Use of recirculating technologies for nursery production of penaeid shrimp. *Proceedings of the Sixth International Conference on Recirculating Aquaculture*, July 21-23, 2006, Roanoke, Virginia, pp. 48-56.
- Samocha, T. M., S. Patnaik, M. Speed, A. M. Ali, J. M. Burger, R. V. Almeida, Z. Ayub, M. Harisanto, A. Horowitz and D. L. Brock, 2007. Use of molasses as carbon source in limited discharge nursery and grow-out systems for *Litopenaeus vannamei*. *Aquacult. Eng.*, 36(2), 184-191.
- Sandifer, P. A., A. D. Stokes and J. S. Hopkins, 1991. Further intensification of pond shrimp culture in South Carolina. (in) P.A. Sandifer (ed.), *Shrimp culture in North America and the Caribbean. Advances in World Aquaculture 4*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, pp. 84-95.
- Sowers, A., S. P. Young, P. Shawn, J. Isely, J. Jeffery, C. L. Browdy and J. R. Tomasso, 2004. Nitrite toxicity to *L. vannamei* in water containing low concentrations of sea salt or mixed salts. *J. World Aquacult. Soc.*, 35(4), 445-451.
- Timmons, M. B., 1984. Use of foam fractionation in aquaculture. *Dev. Aquacult. Fish. Sci.*, 27, 247-279.
- Thakur, D. P. and C. K. Lin, 2003. Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. *Aquacult. Eng.*, 27, 159-176.
- Van Wyk, P. M., 1999. Harbor Branch Shrimp Production Systems. (in) B. Crawford (ed.), *Production of Marine Shrimp in Freshwater Recirculating Aquaculture Systems*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Tallahassee, FL, USA, vii + 222 pp.
- Viadero, R. C. and J. A. Noblett, 2002. Membrane filtration for removal of fine solids from aquaculture process water. *Aquacult. Eng.*, 26(3), 151-169.
- Zhu, S. and S. Chen, 2001. Effects of organic carbon on nitrification rate in fixed film biofilters. *Aquacult. Eng.*, 25, 1-11.

원고접수 : 2008년 9월 29일

심사완료 : 2008년 11월 7일

수정본 수리 : 2008년 11월 10일