

〈Original article〉

흰다리새우 유생의 저염분 순치방법에 따른 생화학적 특성변화

김수경* · 심나영 · 장진우 · 전제천 · 김수경 · 신윤경¹

국립수산과학원 서해수산연구소, ¹국립수산과학원 남동해수산연구소

Effect of Acclimation Methods on Physiological Status of White Shrimp, *Litopenaeus vannamei* Larvae to Low Salinities

Su Kyoung Kim*, Na Young Shim, Jin Woo Jang, Je Cheon Jun, Su-Kyoung Kim and Yoon Kyong Shin¹

West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Incheon 32132, Republic of Korea

¹South East Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Tongyeong 39769, Republic of Korea

Abstract - This study focused on the physiological change of the shrimp, *Litopenaeus vannamei* postlarvae 15 stages, under different acclimation methods up to the endpoint of 4 practical salinity unit (psu). Besides using sea water as the control, two acclimation methods, fast acclimation (50% salinity reduction every 8 hours) and slow acclimation (50% salinity reduction every day), were adapted. Results show that the survival rate, glucose and blood uric nitrogen of each group were not significantly different. However, the ion profile differed according to the acclimation methods. Magnesium and sodium of shrimps acclimated to low salinity in both the methods, showed lower concentration than shrimps at 32 psu sea water. Especially, Na⁺ concentration, which directly influences the osmolality of shrimp, decreased sharply in the fast acclimated group during the first eight hours (from 32 psu to 16 psu). To reduce acclimation stress, it is recommended to take more than eight hours during the first step for reducing the salinity.

Key words : *Litopenaeus vannamei*, low salinity, mortality, ion, osmolality, blood chemistry

서 론

흰다리새우 (*Litopenaeus vannamei*)는 광염성 종으로 1~40 psu까지 광범위한 염분 범위에서도 생존이 가능하여 세계적으로 지역의 제한을 받지 않고 가장 많이 양식이 되고 있는 종이다. 우리나라의 2011년 새우 생산량은 2,844톤이었으며 2015년에는 5,500톤으로 급격히 생산량이 증가하였다. 이 중 흰다리새우의 비율이 99.4%로 생산량의 대부분을 차지하고 있으며 토속종인 대하와 보리새우 양식은 매

우 미미한 상태이다. 흰다리새우가 전 세계적으로 양식이 되고 있으며 가장 선호대상이 되는 이유는 광염성으로 생리학적 적응성이 뛰어나 내륙에서도 담수를 이용한 양식이 가능하기 때문이다. 그러므로 저염분 양식에 관하여서는 삼투압 조절가능성 (Charmantier and Soyez 1994; Lignot *et al.* 2000), 젓산 (Racotta and Palacios 1998), 글루코스 (Hall and van Ham 1998; Racotta and Palacios 1998), 충치질, 트리글리세라이드, 콜레스테롤 (Sánchez *et al.* 2001)와 같은 물질들의 함량 변화 등 다양한 항목들이 갑각류의 저염분에서의 생존력 향상을 위해 많은 연구가 되어 왔다. 저염분 양식에서의 새우는 사육초기 낮은 염분에 순치되는 과정에서 경과시간에 따라 생존율이 감소하여 생산성의 차이를 보이게

* Corresponding author: Su Kyoung Kim, Tel. 041-675-3773, Fax. 041-675-7077, E-mail. sk6333@korea.kr

된다(McGraw *et al.* 2002; Saoud *et al.* 2003; McGraw and Scarpa 2003, 2004). 또한 장기간 낮은 염분에서 사육 시 체내 이온 균형 또한 생리적인 기능의 변화를 가져오며(Roy *et al.* 2007), 각 이온의 농도뿐만 아니라 이온 간의 비율이 새우의 성장과 생존에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Roy *et al.* 2007; Castillo-Soriano *et al.* 2010). 저염분 사육에서는 지하수와 해수를 섞어서 사용하는데 지하수의 경우는 일반적으로 Ca^+ 이온이 과량으로 존재하고 K^+ , Mg^{2+} 이온이 부족하며, 그 양 또한 지역별로 차이를 보여 새우를 양성할 때 필수적으로 조절이 필요한 상태이다(Atwood *et al.* 2003; Boyd and Thunjai 2003; Roy *et al.* 2007).

이러한 환경적인 요인 이외에 해산 새우를 저염분에 양식하기 위한 과정에서 가장 우선시 고려되어야 할 점은 어린 새우를 저염분에 적응시키는 순치과정이다. 일반적으로 알려진 저염분 순치방법은 초기유생(postlarvae 10~20기)을 8시간 동안에 염분을 50%씩 감소시키며 먹이를 공급하지 않는 것이 통상적인 방법이다. 저염분 순치를 하는 유생은 postlarvae 15기 이하에서는 4 psu까지 순치시키는 것이 낮은 생존율을 보였고, 그 이후 유생시기에는 1 psu까지도 적응이 가능하다고 밝혀져 있다(McGraw *et al.* 2002). 이러한 과정에서의 급격한 환경변화가 초기유생의 성장과 생존에 미치는 영향에 관한 많은 연구들이 발표되었으나(Davis *et al.* 2004; Jayasankar *et al.* 2009), 크기가 작아 혈액을 쉽게 분리할 수 없기에 삼투압 조절과 관련된 연구는 전혀 수행되지 않았다.

본 연구에서는 자연해수에서 염분 4 psu에 도달하기까지 8시간마다 염분을 50% 감소시켜 24시간 안에 도달하는 방법과 천천히 24시간마다 염분을 50% 감소시켜 72시간 동안 순치시키는 방법으로 초기유생의 조직으로부터 삼투압, 생화학적 특성 및 이온변화를 파악하여 효율적인 저염분 순치 방법을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

1. 저염분 순치실험

2012년 6월 19일~25일까지 흰다리새우 PL 20기 유생으로 염분 4 psu까지 순치속도에 따른 이온변화 및 체액분석을 실시하였다. 유생은 200 L FRP 원형수조 9개에 6월 22일부터 3일간 비교구(자연해수, 32 psu), 8시간마다 염분을 50%씩 감소시킨 실험구(F.A.; fast acclimation), 24시간 동안 염분을 50%씩 서서히 감소시킨 실험구(S.A.; slow acclimation)를 설정하여 각각 3배구로 실시하였다. 실험에 사용된 유생

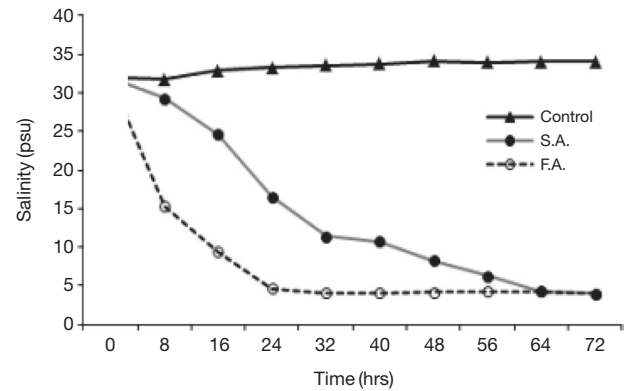


Fig. 1. Salinity control schedule for acclimation to low salinity (4 psu) during the 72 hours experiment. Control means sea water, S.A.; slow acclimation (72 hours), F.A.; fast acclimation (24 hours).

은 수조당 2,000마리로 총 18,000마리를 수용하였다. 실험 시작 후 통상적인 방법에 따라 32시간 동안 먹이를 공급하지 않았으며 그 이후에는 체중의 10%에 해당하는 사료를 3회/일 나누어 공급하였다. 수질의 안정과 염분 농도를 낮추기 위하여 3톤 수조 3개에 지하수와 해수를 섞어 수온을 조절하였다. 준비된 물을 분당 약 150~300 mL가 실험수조로 흘러들어가게 설치하였다. 각 수조마다 포기를 하였으며 수질환경은 8시간마다 수온, 염분, 용존산소, pH를 측정하였다(Fig. 1). 각 분석을 위하여 염분이 50%씩 감소된 시간에 새우 샘플을 10~15마리씩 채취하여 원심분리관에 넣고 체액의 분석 시까지 초저온냉동고(-70°C)에 보관하였다.

2. 체액분석

순치과정에서 각 실험구의 유생을 10~15마리씩 미리 무게를 측정된 원심분리관에 넣어 총 무게를 측정하고 그 차이를 유생 마리수로 나누어 한 마리당 체중을 계산하였다. 실험 유생의 크기가 작아 혈림프를 채취하기 어려움으로 각 실험구별로 수집된 총 3개의 실험구, 3 반복구 시료에 각각 증류수 500 μL 에 넣어 유생 전체를 분해한 후 15분간 원심분리(4 $^{\circ}\text{C}$, 8000 rpm)하고 상등액을 혈액분석기(Fuji Dri-Chem. 3500i)로 glucose와 BUN(blood Urea nitrogen) 농도를 측정하여 삼투압 계산에 활용하였다. 체내 잔존하는 먹이의 성분이 체액분석 값에 영향을 미치는 것을 방지하기 위하여 새우 평균 먹이섭취량의 사료를 체액분석과 동일한 방법으로 측정하여 보정하였다.

3. 삼투압분석

일반적으로 유생은 등장액에 넣어 마쇄 후 원심 분리하

여 근육 세포내외의 삼투압을 측정하는 방법을 활용하나 (Loeza *et al.* 2005) 본 연구에서는 삼투압 이외에 이온변화, 체액 성분을 조사하기 위하여 증류수를 사용하였으며 혈림프 측정 항목을 이용하여 체액의 삼투압을 계산하였다. 체액의 삼투압 계산식은 $\text{Serum osmolality} = 2\text{Na}^+ (\text{mEq L}^{-1}) + 2\text{K}^+ (\text{mEq L}^{-1}) + (\text{BUN} [\text{mg dL}^{-1}])/2.8 + (\text{Glucose} [\text{mg dL}^{-1}])/18$ (Pursell *et al.* 2001)였다. Na^+ 과 K^+ 은 이온분석기로 측정된 값을 mEq L^{-1} 가 아닌 mg L^{-1} (ppm)로 계산하였으며 시료량의 차이에 의한 오차를 없애기 위하여 유생의 무게 비율을 반영하여 모든 항목을 $\mu\text{g mg}^{-1}$ 으로 환산 하였다.

4. 이온분석

새우 유생의 저염분 순치과정에서의 체내 이온분석을 위하여 체액 및 삼투압 분석과는 별도로 시료를 10~30마리씩 초저온 냉동보관을 하였으며 기기분석 가능한 최소 시료량을 맞추기 위하여 3배구로 실시된 시료를 모아서 분석하였다. 분석 시 시료를 증류수로 씻어내고 24시간 동결 건조하여 시료 100 mg 당 60% HNO_3 (JUNSEI) 10 mL를 넣고 Microwave Accelerated Reaction System (MARS, CEM)을 사용하여 완전히 용해시켰다. 용해된 시료는 3차 증류수에 10배 희석하여 Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ 농도를 AAS (atomic absorption spectrometer, novAA[®]300)로 측정하였고 이때의 표준검정식은 표준용액 (AnApureTM)을 사용하여 구하였다.

결과 및 고찰

1. 유생 무게성장

실험시작 32시간 동안 먹이를 공급하지 않아 평균 중량이 약 $6.12 \pm 1.56 \text{ mg}$ 인 유생이 먹이 공급 후 모든 실험구에서 점차 체중의 증가를 보였다 (Fig. 2). 시간이 경과할수록 개체간의 중량 변화가 크고 편차가 심하여 실험 72시간 동안의 성장 양상을 파악하기는 어려웠다. 그러나 각 실험이 종료된 72시간 후에는 빠르게 저염분으로 순치한 F.A. 실험구에서 유생의 평균 무게가 $32.7 \pm 1.5 \text{ mg}$ 이었으며 가장 무게가 낮은 실험구는 S.A.로서 $22.2 \pm 3.5 \text{ mg}$ 으로 조사되었다. 실험 3일간의 유생의 성장식은 control $y = 2.246x + 4.8441$ ($R^2 = 0.9058$), S.A.; $y = 2.0179 + 4.6404$ ($R^2 = 0.8072$), F.A.; $y = 2.834x + 2.6979$ ($R^2 = 0.8415$)이었다. 본 실험 동안에 무게의 변화는 사료 섭취, 공식에 의한 먹이량 증가 등에 의하여 시간별 무게가 크게 변화하는 양상을 보였으나 성장식에 따르면 F.A. 실험구에서 가장 빠른 성장이 있는 것으로 파악

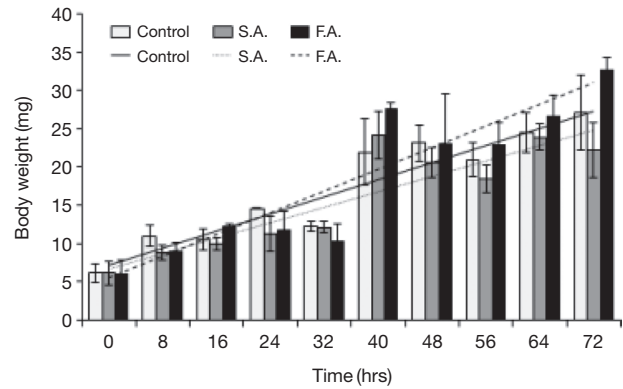


Fig. 2. Effect of acclimation methods on body weight of shrimp post larvae *Litopenaeus vannamei*, during the 72 hours experiment. Blanked line means standard deviation. F.A.; fast acclimated shrimp to 4 psu within 24 hours, S.A.; slow acclimated shrimp to 4 psu within 72 hours, Control; sea-water.

되었다. 양식에 있어서 가장 간단히 새우 유생의 건강도를 판별하는 방법으로 염분 스트레스에 의한 생존율을 조사하는 것인데 (Charmantier and Soyez 1994; Lignot *et al.* 2000; Laramore *et al.* 2001), 본 연구에서 유생의 최종 생존율은 염분 순치시간에 따른 실험구간에 유의적 차이를 보이지 않았으며 평균 $60 \pm 5\%$ (비교구), $61 \pm 4\%$ (F.A.), $60.3 \pm 5\%$ (S.A.)로 순치 방법이 생존율에는 영향을 미치지 않았다.

2. 체액특성

새우에서 혈림프는 생리적인 에너지 필요량에 따라 성분 농도가 변화하여 환경에 대한 적응력, 생존 가능성 등을 파악하는 요소가 되기도 한다 (Bachère *et al.* 1995). 탄수화물과 지질은 직접 또는 간접적으로 세포막의 투과성과 삼투압 조절을 위한 에너지로 제공되며 아주 낮은 저염분에 유생이 노출될 때 혈림프내 glucose의 농도가 감소하는 것으로 알려져 있다 (Spaargaren and Haefner 1987). 본 연구에서 저염분 순치 32시간 동안 먹이를 공급하지 않아 모든 실험구에서 점차 낮아지는 glucose 농도를 보였으나 먹이공급이 이루어진 32시간 후부터 증가하였다. 저염분 스트레스를 거치지 않은 해수 비교구에서 16시간에 순치 실험구들보다 더 낮은 최저 농도인 $2.08 \pm 0.09 \mu\text{g mg}^{-1}$ 를 보였으나 점차 증가하여 56시간에는 $4.79 \pm 0.31 \mu\text{g mg}^{-1}$, 그 이후에는 감소하여 72시간에는 $2.97 \pm 0.40 \mu\text{g mg}^{-1}$ 에 달하였다 (Fig. 3). 24시간 안에 염분 4 psu까지 도달한 F.A. 실험구에서는 32시간 먹이공급 전까지는 glucose 농도가 증감을 반복 하였으나 공급 후에는 56시간까지 지속적으로 $4.77 \pm 0.43 \mu\text{g mg}^{-1}$ 까지 증가한 후 다시 감소하여 일정한 농도를 유지하였다. 72시간에 4 psu에

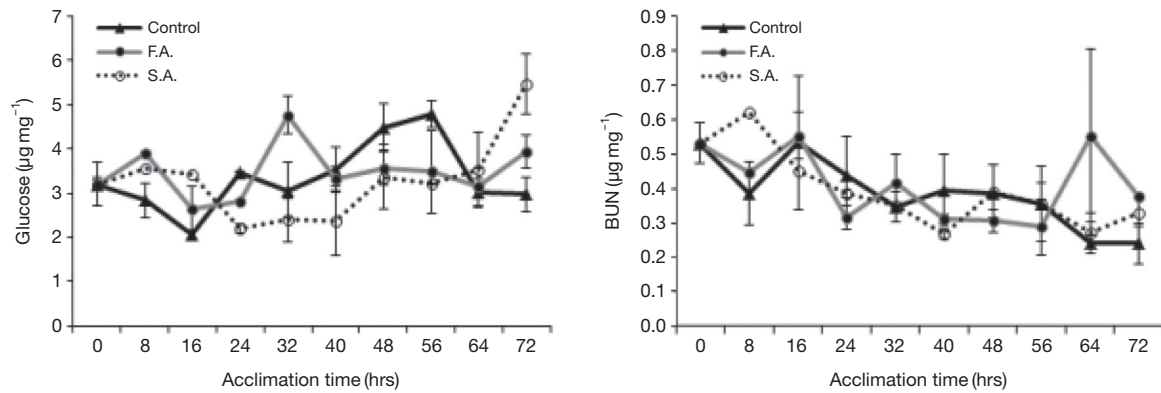


Fig. 3. Effect of acclimation method on glucose and BUN concentrations of shrimp postlarvae *Litopenaeus vannamei*, during the 72 hours experiment. Blanked line means standard deviation. F.A.; fast acclimated shrimp to 4 psu within 24 hours, S.A.; slow acclimated shrimp to 4 psu within 72 hours, Control; shrimp in seawater.

이른 S.A. 실험구에서는 순치 24시간 동안 glucose의 농도가 감소하였으나 72시간 후에는 다른 실험구보다 높은 $5.46 \pm 0.69 \mu\text{g mg}^{-1}$ 에 이르렀다. 그럼으로 저염분에 의한 glucose의 감소보다는 먹이섭취 유무에 따른 변화 양상이 더 두드러진 것으로 확인되었다.

BUN의 경우는 해수에 수용한 비교구에서는 16시간 후에 일시적으로 $0.53 \pm 0.20 \mu\text{g mg}^{-1}$ 까지 증가하였고, 순치시간이 경과함에 따라 점차 감소하여 72시간 후에는 $0.24 \pm 0.06 \mu\text{g mg}^{-1}$ 이었다. F.A. 실험구와 S.A. 실험구는 비교구와 유사한 변화양상을 보였으며 순치 64시간 후에 F.A.에서 $0.55 \pm 0.25 \mu\text{g mg}^{-1}$ 까지 상승하였고, 72시간에는 $0.37 \pm 0.01 \mu\text{g mg}^{-1}$ 로 감소하였다. S.A. 실험구에서는 증감을 반복하였지만 순치를 시작한 직후에 가장 높은 값인 $0.63 \pm 0.16 \mu\text{g mg}^{-1}$, 40시간 후에 최저 $0.27 \pm 0.01 \mu\text{g mg}^{-1}$ 의 값을 보였다. 짧은 실험기간 동안 모든 실험구에서 유사한 생존율을 보이고 glucose와 BUN의 표준편차가 큰 것을 보아 저염분 순치에 의한 영향보다 유생의 활력 또는 사료 섭취 및 공식에 의한 개체간의 차이로 인하여 체액 조성이 차이가 나는 것으로 파악되었다.

3. 이온변화

저염분 순치 방법에 따른 새우 체내와 실험 사육수내 이온변화를 조사한 결과는 다음과 같다(Fig. 4). Ca^{2+} 이온은 사육수 내 염분 감소에 따라 그 농도 또한 점차 감소하였으나 순치 실험 시작 40시간 이후에는 F.A.와 S.A. 실험구에서 유사한 농도를 보이며 72시간까지 유지되었다. 저염분에 노출시 새우 혈림프내 Na^+ 이온은 급속히 감소하는 것으로 알려져 있으며(Huong *et al.* 2010), 저염분에서 Na^+ 과 Cl^- 이온은 수동적으로 투과가 가능한 상피세포를 통하여 손실이

되나 체내 H^+ 또는 NH_4^+ 와 교환이 되어 재흡수가 일어나는 것으로 보고되어 있다(Palacios and Racotta 2007). 본 연구에서도 서서히 저염분에 순치한 실험구인 S.A. (22.54 ppm)는 일반 해수의 비교구(23.84 ppm)와 유사한 Na^+ 농도를 보였으나 빠른 시간 안에 순치를 시킨 F.A. 실험구에서는 8시간 만에 급격히 감소하여 다른 실험구의 약 50%인 11.68 ppm로 조사되었고 16시간이 지난 후에는 다시 Na^+ 농도가 증가하여 회복되는 과정을 확인할 수 있었다.

저염분 호지에서 이온변화에 관한 연구결과에 의하면 흰다리새우의 경우 일정량 이상의 농도 또는 비율이 유지되어야 하고(Castillo-Soriano *et al.* 2010), 탄산칼슘(CaCO_3)의 농도가 150 mg L^{-1} 이상이 되어야 흰다리새우의 양식이 원활하며(Scarpa and Vaughan 1998), Ca^{2+} 이온은 탈피 시 주변 환경으로부터 지속적으로 흡수하여야 한다(Robertson 1953; McWhinnnie 1962; Fieber and Lutz 1982). 새우를 저염분에 수용하면 혈림프내 Ca^{2+} 의 농도는 약 6시간 내에 변화를 하며 그 이후에는 모든 염분 구간에서 일정한 농도가 유지되는데(Huong *et al.* 2010), 본 연구에서도 F.A.와 S.A. 실험구 모두 순치 8시간(F.A. 16 psu, S.A. 30 psu)에 동일한 감소를 보였고 16시간 후에는 다시 상승함으로 환경 또는 사료로부터 칼슘을 흡수하여 저염분에 적응함으로써 칼슘이 제한요소로 작용하지 않는 것으로 확인되었다. 사육수내 K^+ 이온은 Na^+ - K^+ -ATPase 활성을 촉진하는 세포외 양이온으로서 최소 요구량은 1 mg L^{-1} 로 보고 되어있다(Mckraw and Scarpa 2003). 본 연구에서 K^+ 이온의 변화는 일반해수의 비교구와 큰 차이를 보이지 않아 순치과정에서 이온의 손실이 없는 것으로 나타났다. Mg^{2+} 은 지질, 단백질, 탄수화물 대사 작용에 필수적인 요소로서(Roy *et al.* 2007) 이 두 이온들은 성장, 생존, 삼투압 기능에 중요한 역할을 하고 있다(Mantel

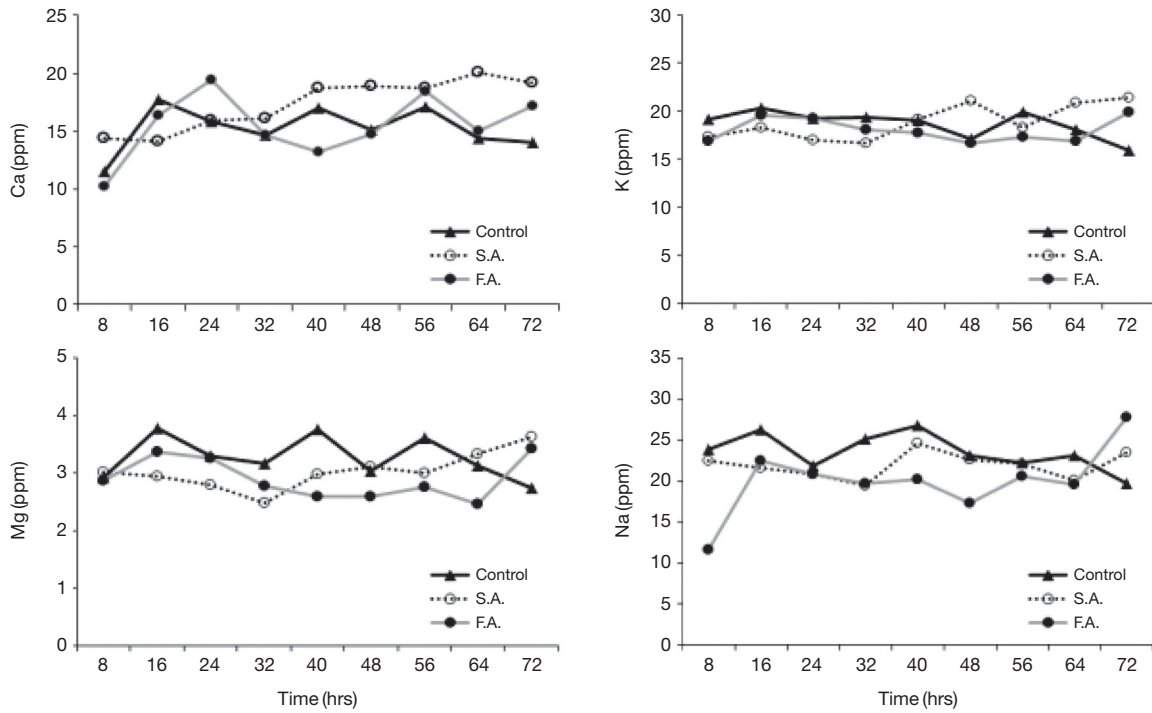


Fig. 4. Effect of acclimation methods on the ion concentrations of shrimp postlarvae *Litopenaeus vannamei*, during the 72 hours experiment. F.A.; fast acclimated shrimp to 4 psu within 24 hours, S.A.; slow acclimated shrimp to 4 psu within 72 hours, Control; shrimp in seawater, F.A. water; fast acclimation rearing water, S.A. water; slow acclimation rearing water, Control water; control rearing water.

and Farmer 1983; Pequeux 1995). 본 연구에서 유생들이 염분순치 과정을 거치는 동안 Mg^{+} 이온은 비교구보다 저염분에 순치시킨 유생들이 더 낮은 값을 보였으나 순치가 완료된 3일 후에는 오히려 더 높은 농도를 보여 순치 후 짧은 기간 안에 회복이 되는 것으로 조사되었다.

4. 삼투압

새우 유생의 초기 혈림프 채취가 불가능하여 전체 실험구의 유생을 분쇄하여 상등액으로 이온과 체액을 분석, 삼투압의 변화를 계산한 결과는 Fig. 5와 같다. 비교구에서는 삼투압이 전 기간 크게 차이 없이 $72.4 \sim 94.7 \mu g\ mg^{-1}$ 범위로 조사되었으나 빠른 시간에 순치를 이룬 F.A. 실험구에서는 순치 8시간, 즉 염분이 32 psu에서 약 16 psu로 감소된 경우에 매우 낮은 $59.0 \mu g\ mg^{-1}$ 을 기록한 후 16시간 후에 회복되어 $85.9 \mu g\ mg^{-1}$ 이었다. 그 이후에는 증감을 반복하여 72시간 후에는 $97.1 \mu g\ mg^{-1}$ 까지 증가하였다. S.A. 실험구는 72시간에 염분이 32 psu에서 4 psu로 감소하여 순치 후 32시간에 최소 $73.4 \mu g\ mg^{-1}$, 72시간 후 최대 $91.9 \mu g\ mg^{-1}$ 의 값을 보였다. 빠르게 염분이 변화한 F.A. 실험구가 비교구 및 S.A. 실험구보다 전체적으로 순치 62시간까지 낮은 삼투압을 보였다. 순치시간과 상관없이 같은 염분에 도달하였을 때의 삼투

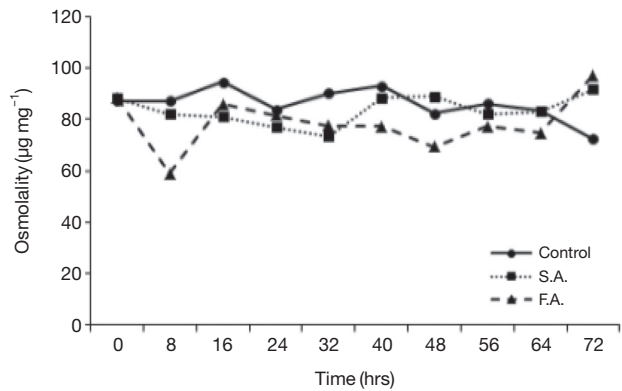


Fig. 5. Effect of acclimation method on osmolality of shrimp postlarvae *Litopenaeus vannamei*, during the 72 hours experiment. F.A.; fast acclimated shrimp during 24 hours, S.A.; slow acclimated shrimp during 72 hours, Control; Shrimp in seawater.

압을 비교한 결과를 보면 F.A.와 S.A. 실험구 모두 16 psu에 도달 시 비교구보다 낮았으며, 빠른 시간에 순치한 F.A. 실험구가 천천히 순치시킨 S.A. 실험구보다 더 낮은 삼투압 농도를 보였다. 저염분 구간인 8 psu와 4 psu로의 순치 시 비교구와 동일한 삼투압을 보이는 것으로 조사되어 순치가 완료된 후에는 삼투압 농도가 회복이 되는 것으로 나타났다(Fig. 6).

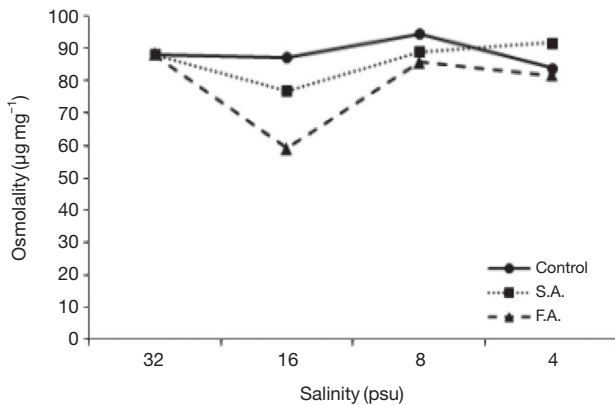


Fig. 6. Effect of acclimation method on osmolality of shrimp post larvae *Litopenaeus vannamei*, when they reached equal salinity. F.A.; fast acclimated shrimp during 24 hours, S.A.; slow acclimated shrimp during 72 hours, Control; Shrimp in seawater.

광염성의 갑각류가 저염분에 노출이 될 경우는 세포가 부풀며 그로 인하여 세포간극이 좁아지게 되어 체내 투과율이 감소하고, green gland와 antennal gland와 같은 renal organ에 의한 체액의 배출이 늘어나며 Na^+ 과 Cl^- 이온을 능동적으로 흡수되어 묽은 소변을 배출하게 된다. 이때 Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} 및 유기 삼투물질이 환경과 혈림프 사이의 삼투압 차이를 줄이는 방향으로 조절이 된다 (Mantel and Farmer 1983; Pequeux 1995). 본 연구에서 삼투압 산정은 glucose, BUN, Na^+ , K^+ 이온에 의해 결정이 되었는데 유기 삼투물질인 glucose, BUN이 순치 초기에 비교구보다 높은 값을 보여 삼투압을 유지하는 역할을 담당한 것으로 예측이 가능하나 급속히 순치를 시킨 실험구에서 짧은 시간 동안 Na^+ 이 급감하여 삼투압조절에 영향을 미친 것으로 파악되었다.

결론적으로, 저염분 순치 과정에서 순치 방법, 즉 순치 속도에 따라 새우의 삼투압 조절에 영향을 미치는 이온의 조성이 일시적으로 달라짐으로 최대한 스트레스를 줄일 수 있는 방안으로 32 psu에서 16 psu로 8시간 동안 급격한 저염분 순치과정(F.A.)에서 초기 순치 시간을 좀 더 늘려서 저염분에 적응을 시키는 것이 향후 성장 및 생존율 향상에 도움이 되는 것으로 파악되었다.

적 요

본 연구는 흰다리새우 초기유생이(Postlarvae 15) 4 psu 저염분 순치 시 생리학적 변화에 관한 연구로서 순치방법, 즉 일반 해수를 비교구로 하고 8시간마다 빠르게 염분을 50%씩 감소를 한 실험구(fast acclimation; F.A.)와 하루에 50%

씩 천천히 염분을 감소시킨 실험구(slow acclimation; S.A.)를 설정하여 생리학적 변화를 비교하였다. 생존율, glucose와 혈중 요소성 질소의 함량이 순치방법에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았으나 이온의 조성은 순치방법에 따라 차이를 보였다. 저염분에 순치된 새우의 체액 조성 중 마그네슘과 나트륨은 염분 32 psu에서 보다 낮은 농도를 보였다. 특히 나트륨 농도는 직접적으로 새우의 삼투압 조절에 영향을 미치는데 빠르게 순치를 시킨 F.A. 실험구에서 급격히 나트륨 농도가 감소하는 것으로 나타났다(염분 32 psu에서 16 psu로 감소). 순치과정에서 새우의 스트레스를 줄이기 위해서는 처음 50% 염분을 감소시키는 과정은 8시간 이상으로 유지하고 그 이후에는 빠르게 순치하는 방법을 적용하는 것이 바람직할 것으로 파악되었다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 경상과제 해산새우류 BFT 양식기술개발(R2016018)에 의하여 수행되었으며 연구실험에 도움을 주신 태안양식연구센터 직원 분들께 감사드립니다.

REFERENCES

- Atwood HL, SP Young, JR Tomasso and CL Browdy. 2003. Survival and growth of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* postlarvae in low salinity and mixed-salt environments. *J. World Aquac. Soc.* 34:519-523.
- Bachère E, E Mialhe and J Rodriguez. 1995. Identification of defense effector in the haemolymph of crustacean with particular reference to the shrimp, *Penaeus japonicus* (Bate): prospects and applications. *Fish Shellfish Immunol.* 5:597-612.
- Boyd CE and T Thunjai. 2003. Concentrations of major ions in waters of inland shrimp farms in China, Ecuador, Thailand, and the United States. *J. World Aquac. Soc.* 34:524-532.
- Castillo-Soriano FA, VA Ibarra-Junquera, FJ Olivos-Ortiz, FJ Barragán-Vázquez and AO Meyer-Willerer. 2010. Influence of water supply chemistry on white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture in low-salinity and zero-water exchange ponds. *Panam. J. Aquat. Sci.* 5:376-386.
- Charmantier G and C Soyez. 1994. Effect of molt stage and hypoxia on osmoregulatory capacity in the penaeid shrimp *Penaeus vannamei*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 178:233-246.
- Davis DA, TM Samocha and CE Boyd. 2004. Acclimation Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* to inland, low

- salinity waters. SRAC publication No. 2601.
- Fieber LA and PL Lutz. 1982. Calcium requirements for molting in *Macrobrachium rosenbergii*. *J. World Aquac. Soc.* 13:21-27.
- Hall MR and EH van Ham. 1998. The effects of different types of stress on food glucose in the giant tiger Prawn, *Penaeus monodon*. *J. World Aquac. Soc.* 29:290-299.
- Huong DTT, S Jasmani, V Jayasankar and M Wilder. 2010. Na/K-ATPase activity and osmo-ionic regulation in adult whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* exposed to low salinities. *Aquaculture* 304:88-94.
- Jayasankar V, S Jasmani, T Momura, S Nohara, DTT Huong and MN Wilder. 2009. Low salinity rearing of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*: Acclimation, survival and growth of postlarvae and juveniles. *JARQ* 43:345-350.
- Loeza F, MA Hurtado, JL Ramírez, O Arjona, IS Racotta and E Palacios. 2005. Effect of HUFA on osmoregulatory capacity in shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae. 6th International Crustacean Congress, Glasgow, UK, p. 167.
- Lignot JH, C Spanings-Pierro and G Charmantier. 2000. Osmoregulatory capacity as a tool in monitoring the physiological condition and the effect of stress in crustaceans. *Aquaculture* 191:209-245.
- Laramore S, RC Laramore and J Scarpa. 2001. Effect of low salinity on growth and survival of postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei*. *J. World Aquac. Soc.* 32:385-392.
- Mantel LH and LL Farmer. 1983. Osmotic and ionic regulation, in Mantel, LH. (Ed.) *The biology of crustacea 5. Internal anatomy and physiological regulation*: 53-161.
- McGraw WJ, DA Davis, D Teichert-Coddington and DB Rouse. 2002. Acclimation of *Litopenaeus vannamei* postlarvae to low salinity: Influence of Age, Salinity endpoint, and rate of salinity reduction. *J. World Aquac. Soc.* 33:78-84.
- McGraw WJ and J Scarps. 2003. Minimum Environmental potassium for survival of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) in freshwater. *J. of Shellfish Res.* 22: 263-267.
- McGraw WJ and J Scarps. 2004. Mortality of freshwater-acclimated *Litopenaeus vannamei* associated with acclimation rate, habituation period, and ionic challenge. *Aquaculture* 236:285-296.
- McGraw WJ, DA Davis, D Teichert-Coddington and DB Rouse. 2002. Acclimation of *Litopenaeus vannamei* Postlarvae to low salinity: Influence of age, salinity endpoint, and rate of salinity reduction. *J. World Aquac. Soc.* 33:78-82.
- Pequeux A. 1995. Osmotic regulation in crustaceans. *J. Crustac. Biol.* 15:1-60.
- Purcell RA, M Pudek, J Brubacher and RB Abu-Laban. 2001. Derivation and validation of a formula to calculate the contribution of ethanol to the osmolar gap. *Ann. of Emerg. Med.* 38:653-659.
- Palacios E and IS Racotta. 2007. Salinity stress test and its relation to future performance and different physiological responses in shrimp postlarvae. *Aquaculture* 268:123-135.
- Racotta IS and E Palacios. 1998. Hemolymph metabolic variables in response to experimental manipulation stress and serotonin injection in *Penaeus vannamei*. *J. World Aquac. Soc.* 29:351-356.
- Robertson JD. 1953. Further studies on ionic regulation in marine invertebrates. *J. of Exp. Biol.* 30:277-299.
- Roy LA, DA Davis, IP Saoud and RP Henry. 2007. Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth and respiration of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture* 262:461-469.
- Sánchez MN, V González, P Aguayo, JM Sánchez, MA Tanimoto, J Elizondo and M Uribe. 2001. Fish oil (n-3) polyunsaturated fatty acids beneficially affect biliary cholesterol nucleation time in obese women losing weight. *J. Nutr.* 131:2300-2303.
- Saoud IP, DA Davis and DB Rouse. 2003. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture* 21:373-383.
- Scarpa J and DE Vaughan. 1998. Culture of the Marine Shrimp, *Penaeus vannamei*, in Freshwater. *Aquaculture* 98:473.
- Spaargaren DH, PA and Jr. Haefner. 1987. The effect of environmental osmotic conditions on blood and tissue glucose levels in the brown shrimp, *Crangon crangon* (L.). *Comp. Bioche. Physiol.* 87A:1045-1050.

Received: 2 December 2016

Revised: 13 February 2017

Revision accepted: 9 March 2017