

〈Original article〉

해수 저염분 순치과정에서 먹이섭취가 흰다리새우, *Litopenaeus vannamei* 유생에 미치는 영향

김수경 · 심나영 · 조지현 · 김종현 · 김수경*

국립수산과학원 서해수산연구소

Effect of Feeding on Postlarvae of Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei* during the Acclimation Process to Low Salinities in Seawater

Su Kyoung Kim, Na Young Shim, Ji-Hyun Cho, Jong Hyun Kim and Su-Kyoung Kim*

West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Incheon 22383, Republic of Korea

Abstract - This study focused on the effects of feeding on postlarvae of shrimp, *Litopenaeus vannamei*, during the identified acclimation time to low salinity. A total of 5 different salinity groups with or without feeding (32, 24, 16, 8, and 2 psu, 1 liter, triplicates) were prepared, and 30 shrimp were settled at PL21 (postlarvae) and placed in each group. After 24 hours of the experimentation process, the survival rate of the fed and starved groups was observed to be lower in the 2 psu group compared to other salinity groups, with the rate of 86.6% and 81.1%, respectively. The condition index of glucose and triglyceride, which are important factors for osmoregulation and as energy sources, was 4.2–7.6 times and 2.7–3.4 times higher in the fed groups than the starved groups at all the levels of salinities. The creatine level increased by 1.1–1.5 times in the starved groups as compared to the fed groups. Likewise, the activity of all the digestive enzymes like, lipase, α -amylase, trypsin, and alkaline protease were clearly higher in the fed groups (ANOVA, $p < 0.05$). Apparently, it was observed that feeding is effective for the postlarvae of shrimp, which shows a characteristic fast metabolism and larval development, during the acclimation period to low salinity.

Keywords : acclimation, low salinity, *L. vannamei*, hemolymph, digestive enzyme

서 론

흰다리새우 (*Litopenaeus vannamei*)는 아열대종으로 남아메리카가 주산지로 알려져 있지만 현재는 전 세계에서 가장 많은 양식이 이루어지고 있는 품종이다. 특히 광염성으로 낮은 염분인 1 psu에서 40 psu에서도 서식이 가능하다. 일부 국

가에서는 무병어미관리 및 종묘생산 기술이 확립되어 어미와 종묘의 국가 간 이동이 활발하고 국제 새우 양식산업의 주요품종이 되었다 (Samocha *et al.* 1998, 2002). 이러한 광염성의 생태특성은 사막지대뿐만 아니라 해수를 접하고 있지 않은 내륙지역 담수, 기수에서도 사육수 내 이온균형을 맞추어 대량양식에 성공하는 사례가 점차 증가하고 있으며 많은 연구들이 진행되고 있다 (Saoud *et al.* 2003; Cheng *et al.* 2006; Roy *et al.* 2010). 저염분 양식에 따른 새우의 삼투압

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

Table 1. Ion-composition of ground-water and seawater

	Salinity (psu)	pH	Alkalinity (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)	Cl (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)
Ground water	0.15	7.42	75	11.16	16.94	5.19	2.89	2.76
Sea water	32.1	6.967.60	140130	10,185356	21,13216,826	1,17556	3585	31565

조절 기능 (Charmantier and Soyez 1994; Lignot *et al.* 2000; Palacios *et al.* 2004), 순치 적정 유생 시기, 순치 시간, 최종 염분농도 (McGraw *et al.* 2002; Kim *et al.* 2017) 뿐만 아니라 저염분에 따른 이온변화 및 염분스트레스가 생존 및 성장에 미치는 영향 등 다양한 연구가 진행이 되었다 (Liu *et al.* 2014). 저염분 양식에서 가장 중요한 요인은 삼투압 조절 능력으로서 흰다리새우의 경우 이온 농도보다 각 이온 간 비율이 중요한 요인으로 작용하고 있으며 부족한 이온을 첨가하여 비율을 조절하면 최적의 성장과 생산량을 유도할 수 있기 때문에 적정 비율을 찾는 것이 중요하다 (Boyd 2003; Saoud *et al.* 2003; McNevin *et al.* 2004). 지하수의 경우 낮은 마그네슘 (Mg), 높은 칼슘 (Ca) 농도의 특성을 갖는데 그 비율에 따라 새우의 생리적인 반응이 달라짐으로 성장 및 생존율의 큰 차이를 보인다 (Fry 1971; Kinne 1971; Fegan 1992; Roy *et al.* 2007; Li *et al.* 2008). 해수에서 생산된 종묘를 저염분 조건에서 양식을 하려면 가장 먼저 그 염분에 순치하는 과정을 거쳐야 한다. 일반적인 방법으로는 염분을 50%/8시간 낮추는 방법이며 이 기간은 비교적 짧기 때문에 먹이를 공급하지 않고 있다. 새우를 순치과정 없이 바로 다양한 저염분에 넣어 환경적응 능력을 파악한 많은 연구들이 있지만 (Parado-Esteva *et al.* 1987; Rosas *et al.* 2001; McGraw *et al.* 2002; Kim *et al.* 2017) 이 기간동안의 먹이 공급이 미치는 영향에 관한 연구는 이루어지지 않았다. 그러나 염분에 순치하는 어린 유생은 PL 10~20기 사이로 염세포가 형성되어 염분조절이 가능한 시기인데, 유생발달이 빠르게 진행되어 에너지 소비와 영양분의 결핍이 될 경우 생존율에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Davis *et al.* 2004; Jayasankar *et al.* 2009). 본 연구에서는 순치기간동안 먹이를 섭취한 경우와 섭취하지 않았을 때에 유생의 생리특성의 변화를 조사하여 적응과정에서의 스트레스를 감소시키고 향후 저염분에서도 최적의 성장과 생존율을 유도할 수 있는 방법을 모색하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험설계 (Experiment design)

실험은 해수에 지하수를 첨가하여 염분구간별로 2, 8,

16, 24, 32 psu로 맞추어 사용하였다. 수온은 가온기로 실온 28°C로 유지하였으며 사육수는 2일 전 실험실로 옮겨 28°C 수온을 맞추었다. 실험수조는 1L 비이커 총 30개로 염분구간별 먹이섭취구 (fed group), 비섭취구 (starved group)로 나누어 3반복으로 실험을 실시하였으며 비이커마다 산소를 공급하였다. 실험에 이용한 흰다리새우의 평균체중과 유생발달단계는 PL 21기 (postlarvae, 11.75±3.12mg)로 실험시작 1일전 (PL20)에 옮겨와 먹이를 공급하지 않고 환경에 순치 후 30마리씩 각 비이커에 수용 (총 900마리)하여 진행하였다. 먹이섭취 실험구는 초기배합사료 (CP 40%, pellet)를 체중의 10% 일일 1회 공급하였으며 비섭취구는 사료를 공급하지 않았다. 24시간 단기간 순치 후 전량 수거하여 증류수로 빠르게 세척을 한 후 물기를 제거하고 원심분리관 (micro centrifuge tube)에 넣어 분석 시까지 냉동보관을 하였다 (-90°C). 해수 및 지하수의 이온농도를 이온 크로마토그래피 (ICS-1100, Thermo Fisher Sci., Germany)를 이용하여 5가지 이온 (Na, Cl, K, Mg, Ca)을 분석하고 이온불균형에 의한 생존율에 미치는 가능성을 파악하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

2. 체액분석 (Body fluid factors)

원심분리관의 무게를 측정 후 새우시료를 10~15마리씩 넣어 다시 무게를 측정하여 유생 한 마리의 무게를 산정하였다. 새우 시료의 크기가 작아 혈림프를 채혈하기가 어려워 증류수 250 µL를 넣고 수동 마쇄기를 이용하여 얼음위에서 전체 유생을 분쇄한 후 다시 250 µL의 증류수 (ice cold distilled water)를 넣어 총 500 µL의 시료를 준비하였으며 본 연구에서는 체액분석으로 정의하였다. 그 후 원심분리 (8,000 rpm, 10분, 4°C) 후 상층액을 분리하여 혈액분석기 (Fuji Dri-Chem, 3500i, Japan)를 이용하여 혈액분석 (protein, cholesterol, glucose, triglyceride, creatine, BUN (Blood urea nitrogen))을 실시하였다.

3. 소화효소분석 (Enzyme activity)

소화효소 분석은 체액분석 시 남은 상등액을 활용하였으며 TG-Lipase 활성은 p-NPP 방법으로 405 nm (Hung *et al.* 2003), α-Amylase는 Bernfeld (1955)에 따라 최대 흡

수파장인 540 nm에서 흡광도를 측정하였으며, trypsin은 Erlanger *et al.* (1961)에 따라 410 nm에서, alkaline protease는 Dabrowski and Glogowski (1977)의 방법에 따라 410 nm에서 분광광도계 (Molecular Devices, SpectraMax i3)를 이용하여 각 효소별 흡광도에 따라 분석하였다. 효소활성은 먹이 섭취와 비섭취 실험구의 사료의 유무, 시료의 크기 및 마리수로 인한 단백질 함량의 차이에 의한 오차를 없애기 위하여 각 효소의 활성 단위인 unit를 다음과 같이 정의하여 사용하였다. 즉 1 unit는 1분당 1 μmol 의 p-NPP를 유리시키는 lipase, 1 μg 의 maltose를 생성하는 α -Amylase, 1 μmol 의 BAPNA를 유리시키는 Trypsin, 1 μg 의 azo-casein을 유리시키는 protease의 양으로 정의하고 희석비율에 따른 총 활성을 구한 후 시료의 무게로 나누어 각 효소활성을 표시하였다.

4. 통계처리(Statistics)

소화효소 및 체액분석의 결과는 SPSS (Statistical Package for Social Science, version 13 software) 통계프로그램으로 먹이섭취 실험구와 비섭취구를 분리하여 각 실험구별로 염분구간에 따라 일원분산분석 (one-way ANOVA, Duncan's multiple range test ($p < 0.05$))에서 유의성 검증을 실시하여 염분별 먹이섭취 실험구는 대문자로, 질식 실험구는 소문자로 유의적인 차이를 표시하였다. 동일 염분에서 먹이섭취 유무에 따른 비교는 t 검정분석을 이용하였으며 별 (*)표시로 $p < 0.05$ 에서 유의적인 차이를 표시 하였다.

결과 및 고찰

1. 생존율 (Survival rate)

저염분에서 새우를 양식할 경우 생존율에 영향을 미치는 요인은 유전적인 요인 이외에 종묘의 건강도, 사육수의 이온불균형과 같은 환경스트레스, 먹이의 품질, 섭취량 등 다양한 원인에 의해 결정이 된다. 후기 유생(PL20)의 경우 이 시기에 소화기관 (Abrunhosa and Melo 2008)과 생식기관 (Garza-Torres *et al.* 2009), 삼투압 조절기관이 형성이 되며 저염분에 적응하기 위해 많은 에너지를 소비하게 된다. 그러므로 삼투압조절에 필요한 에너지를 보충 할 수 있는 먹이가 없을 경우는 생존율이 낮아지게 된다 (Palacios *et al.* 2004). 염분구간별 유생의 영향을 평가하기 전에 예비실험으로 2 psu부터 자연해수인 32 psu까지 2 psu 간격으로 염분을 조절한 후 PL 20기의 유생 30마리씩 총 3반복으로 실험한 결과 사망이 일어나는 시기는 각 염분농도에 유생을 넣

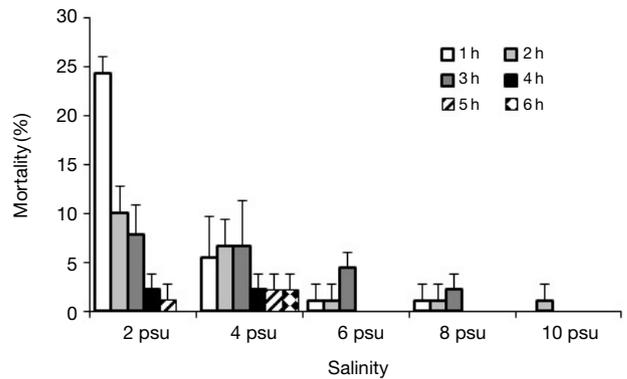


Fig. 1. The mortalities of shrimp, PL 20 of *L. vannamei*, during 24 hours of acclimation to low salinities in seawater as a previous trial. Error bars represent standard deviation around the mean.

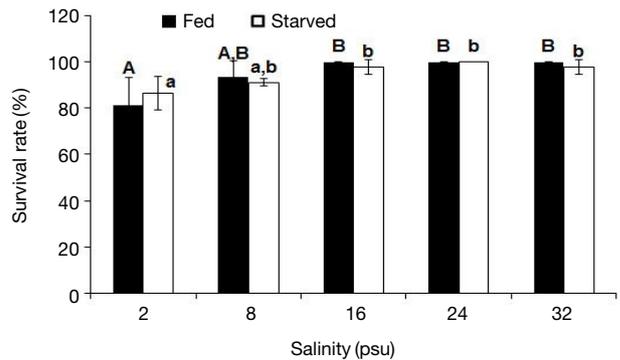


Fig. 2. Survival rates of shrimps, PL 21 of *L. vannamei*, during acclimation to low salinities in seawater. Error bar means standard deviation. Capital letter; significant difference between fed groups. Small letter; significant difference between starved groups ($P < 0.05$). The survival rates of shrimp, PL 21 of *L. vannamei*, during acclimation to low salinities in seawater. Error bars represent standard deviation around the mean. The use of a capital letter signifies significant differences between the fed groups. The use of a small letter denotes significant differences between the starved groups ($p < 0.05$).

어 6시간 이내에 발생하였으며 그 이후에는 폐사가 일어나지 않았다. 염분이 낮은 2 psu에서 45.6%의 높은 사망률을 보였으며 10 psu에서는 1.1% 그리고 12 psu 이상의 염분에서는 폐사가 발생하지 않았다 (Fig. 1). 이러한 예비실험을 바탕으로 실시한 본 연구에서 염분구간별 생존율을 보면 가장 낮은 구간인 2 psu에서는 먹이를 섭취한 경우에 생존율이 $81.1 \pm 12.3\%$ (SD; standard deviation), 먹이를 섭취하지 않은 경우는 $86.7 \pm 7.2\%$ 로 차이를 보였으나 이 구간을 포함한 다른 염분구간에서 먹이를 섭취한 것과 섭취하지 않은 실험구간의 통계적으로 유의한 차이는 없었다 (Fig. 2). 염분농도

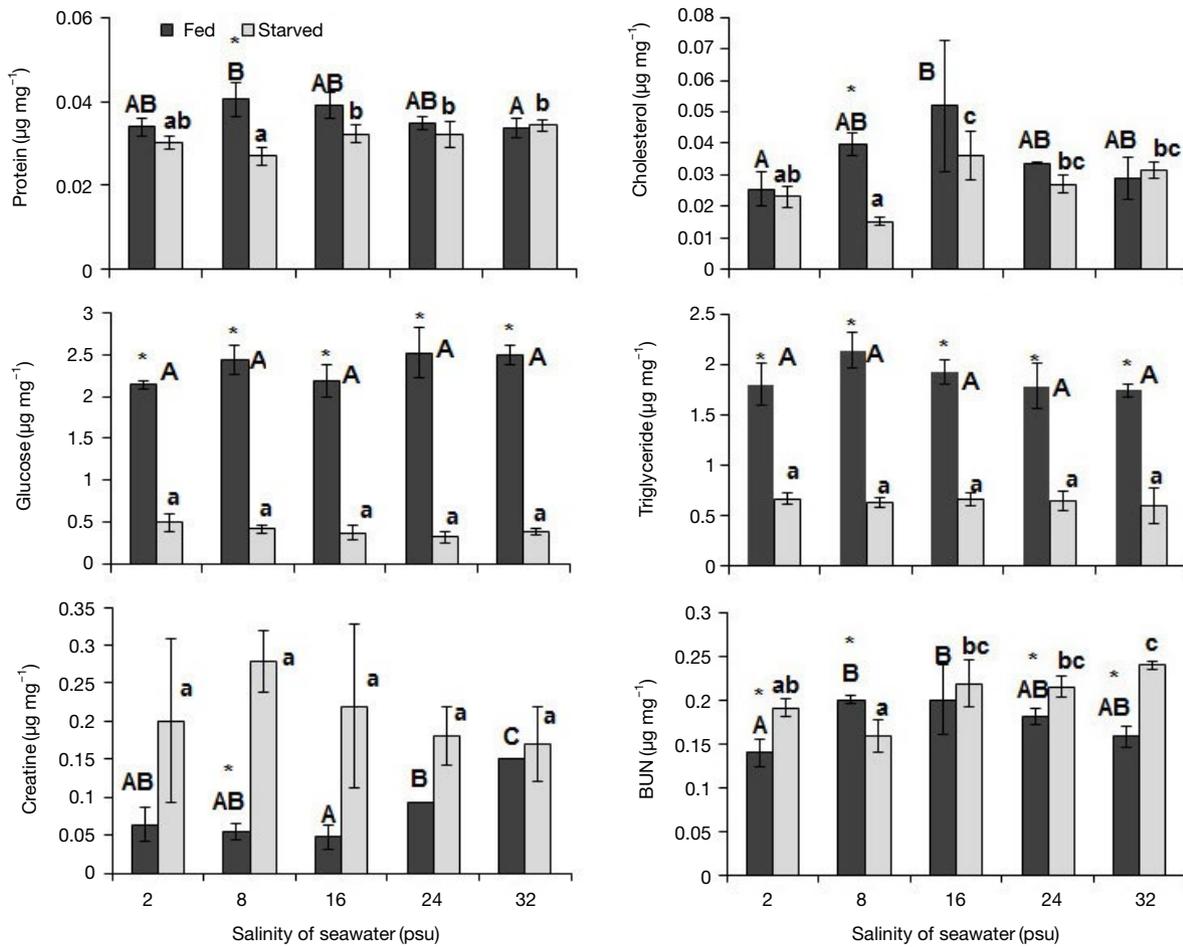


Fig. 3. The body fluid composition of shrimp, PL 21 of *L. vannamei*, during the acclimation to low salinities in the seawater. Error bars represent standard deviation around the mean. The capital letter denotes a significant difference between the fed groups. The small letter signifies a significant difference between the starved groups. The symbol of * shows a significant difference between the fed and the starved groups at the same salinity ($p < 0.05$).

에 따른 생존율의 차이를 보면 2psu에서는 먹이섭취구와 비섭취구 모두 8 psu를 제외하고 16, 24, 32 psu 구간과는 유의적으로 낮은 생존율을 보였다. 염분농도 16 psu 이상에서는 먹이를 섭취한 실험구에서 모두 생존율이 100%였으며 먹이를 섭취하지 않은 경우는 97.8±3.1%, 100%, 97.8±3.1%로 조사되었다.

순치과정에서의 저염분 스트레스에 의한 사망 개체의 증가 이외에도 이온 농도 및 불균형이 사망 개체 증가의 원인으로 작용하는데, Roy *et al.* (2007)의 연구에서 새우 유생의 성장은 Na/K, Mg/K, Mg/Ca의 비율이 자연해수의 비율 (28.5, 3.7, 3.4)에 근접할수록 좋았지만 생존율은 Mg/K 비가 0.73~10.1, Mg/Ca이 0.37~1.98인 경우는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 본 연구에서도 가장 낮은 2 psu 구간에서 Mg/K의 비가 1.79, Mg/Ca의 비가 1.88로 생존에 영향을 미

치지 않는 범위로 조사되었다. 그러나 Na/K의 비가 22~33 이상 또는 이하의 경우 생존율에 영향을 미친다는 Liu *et al.* (2014)의 보고와 같이 본 연구에서의 2 psu에서는 3.86으로 적정 범위를 벗어나 Na/K의 비율이 염분농도에 따라 생존율에 영향을 미치는 요인이 될 수 있었다. 본 연구에서는 비록 이온의 불균형을 이루어 순치과정에서 염분에 따라 생존율의 차이를 보였지만 먹이섭취 유무에 의해서는 생존율의 차이를 보이지 않았다. 향후 염분에 따른 이온불균형의 영향을 조사하면 순치된 이후의 최대 성장과 생존을 유도할 수 있을 것으로 파악되었다.

2. 체액분석 (Body fluid factors)

염분농도별 흰다리새우 유생의 체액성분 분석을 한 결

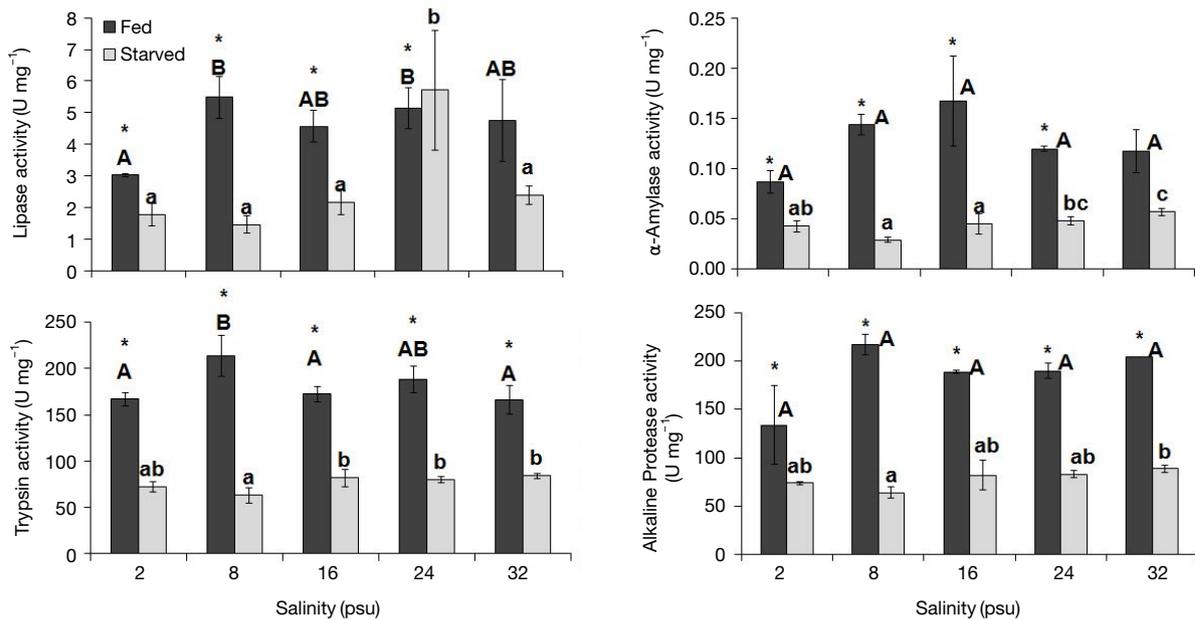


Fig. 4. The enzyme activities of shrimp, PL 21 of *L. vannamei*, during the acclimation to the low salinities in sea water. Error bars represent standard deviation around the mean. The capital letter signifies a significant difference between the fed groups. The small letter signifies a significant difference between the starved groups. The symbol of * shows a significant difference between the fed and the starved groups at the same salinity ($p < 0.05$).

과는 Fig. 3과 같다. 먹이를 섭취한 실험구와 섭취하지 않은 실험구간의 유의적인 차이를 보인 요소는 glucose와 triglyceride이었으며 이 요소들은 염분농도에 따른 차이를 보이지 않았다. 다른 요소인 protein, cholesterol은 일부 염분 구간을 제외하고 glucose와 triglyceride와는 반대로 먹이섭취와 비섭취에 따른 차이를 보이지 않았지만 염분농도에 따라 차이를 보였다. 먹이를 섭취한 실험구에서 일반 해수 염분농도인 32 psu를 제외하고 cholesterol의 농도가 먹이 비섭취구보다 약 1.25~2.6배 더 높았다. 건강도를 알아볼 수 있는 혈림프 지표로서 glucose, triglyceride는 에너지원으로 활용이 되며 먹이를 섭취한 염분 실험구에서 4.2~7.6배, 2.7~3.4배 높은 것으로 분석되었다. 갑각류는 개방순환혈관계를 갖고 있어 지질을 포함한 영양분의 기관 간 수송이 혈림프를 통해 이루어지고 있다. 새우의 초기 유생발달에 중요한 에너지원인 Triglyceride와 cholesterol은 사료의 지질 함량이 증가하면 혈림프 내 농도 또한 증가하는 것으로 보고되었다. 본 연구에서도 먹이섭취에 의하여 cholesterol 값이 더 높은 것으로 나타났지만 통계적 유의적 차이는 없었던 반면 triglyceride는 2.7~3.4배로 유의적으로 큰 차이를 보였다. 이는 본 연구가 단기 순치실험으로 생존율에 큰 영향을 미치지 않았지만 저염분 순치기간동안에 먹이를 섭취하는 것이 신진대사가 활발한 초기 유생의 향후 성장에 영향을 줄 것으로 추정되었다.

새우와 같은 갑각류가 저염분에 노출 시 세포막의 인지질의 포화지방산 비율과 지방산 사슬 길이의 증가, HUFA의 감소로 물과 이온의 투과성이 감소하며 (Whitney 1974; Morris *et al.* 1982), 신장기관 (renal organ)을 통한 물의 배출이 증가하여 체내 삼투물질 (osmolyte)의 농도를 조절하게 됨으로 외부와의 삼투압 차이를 감소시키게 된다. 막의 투과성을 조절할 수 있는 지질은 cholesterol과 phospholipids (Whitney 1974; Hazel and Williams 1990)인데 새우에는 필수 cholesterol 요구량이 적어 (Teshima 1982) 갑각류의 삼투압조절원으로 작용할 것으로 여겨지지 않았으나, cholesterol은 인지질 이중층을 통해 물과 Na^+ 투과성을 억제하며, ATP와 에너지 소비를 줄여주고 (Haines 1994), 스테로이드 및 탈피호르몬의 전구체로서 작용하기 때문에 (Teshima *et al.* 1997) 저염분 적응을 위한 중요한 요소로 작용한다. 직접적으로 삼투압을 조절할 수 있는 요인은 혈중 이온 이외에도 glucose와 BUN의 농도를 들 수 있는데 직접 혈림프를 채혈하기 어려운 유생시기에 삼투압을 추정할 수 있는 공식인 $\text{Serum osmolality} = 2\text{Na}^+ (\text{mEq L}^{-1}) + 2\text{K}^+ (\text{mEq L}^{-1}) + (\text{BUN}[\text{mg dL}^{-1}])/2.8 + (\text{Glucose}[\text{mg dL}^{-1}])/18$ (Pursell *et al.* 2001)에서 볼 수 있듯이 두 개의 혈림프 요소가 삼투압 결정에 영향을 미치기 때문이다. 새우 혈림프 내 glucose의 농도 증가는 잦은 시료채취 (Racotta and Palacios 1998), 포르말린과 같은 약품에 노출 되었을 때 (Hall and van Ham 1998), 산

소가 부족할 경우 (van Ham and Hall 1998), 고농도의 암모니아에 노출 (Racotta and Hernández-Herrera 2000; Mugnier and Justou 2004) 되었을 때 등 스트레스 반응에 의한 것으로 잘 알려져 있는데 본 연구에서는 염분구간에 따른 차이가 없어 염분 스트레스보다 먹이섭취로 인한 체액 내 농도 증가로 파악되어 순치기간에 삼투압 조절에 먹이섭취가 중요한 작용을 할 것으로 추정되었다. 혈중요소성질소 (BUN)는 16 psu 실험구를 제외하고 먹이섭취와 비섭취 시 그리고 염분농도에 따라 유의적 차이를 보였으며 가장 낮은 값은 저염분 먹이섭취구인 2 psu에서 $0.14 \pm 0.02 \mu\text{g mg}^{-1}$, 가장 높은 값은 먹이를 섭취하지 않은 자연해수 32 psu에서 $0.24 \pm 0.01 \mu\text{g mg}^{-1}$, 혈중요소성질소는 단백질대사산물로서 먹이의 단백질 함량 (Evans and Witty 1978; Melo *et al.* 2006)에 의해 차이를 보이기도 하며 농도의 증가 시 노폐물을 배출하는 기능의 이상을 나타내는 요소이다. 본 연구에서는 먹이를 섭취하지 않았을 경우 오히려 더 높은 값을 보였다. 그 이외에 조직손상의 지표가 되는 creatine의 농도를 보면 먹이를 섭취하지 않은 경우에 섭취한 구간보다 1.1~1.5배 더 높은 값을 보였지만 개체간의 차이가 매우 커서 8 psu를 제외하고 통계적으로 유의적인 차이를 볼 수는 없었다.

3. Enzyme activity

저염분 순치 시 먹이섭취와 비섭취에 의한 새우 소화효소의 활성은 Fig. 4와 같다. Lipase는 염분 24 psu를 제외하고 모든 염분 실험구에서 먹이를 섭취한 경우와 섭취하지 않은 실험구간의 유의적인 차이를 보였다 (*t*-test, $p < 0.05$). 먹이를 섭취한 2 psu 실험구에서 가장 낮은 효소활성이 $3.03 \pm 0.15 \text{ U mg}^{-1}$ 을 보였으나 16 psu와 32 psu와는 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않았으며 중간 염분구간인 8 psu와 24 psu에서 차이를 보여 염분농도와 효소활성 간 뚜렷한 상관관계는 보이지 않았다. 먹이를 섭취하지 않은 경우는 모두 낮은 lipase의 활성을 보였으나 24 psu에서 특이하게 높은 값을 보였는데 이는 공식이 전혀 일어나지 않은 생존율 100% 구간으로 표준편차가 매우 컸으며 예외적으로 일부개체 체내에 잔류하고 있는 먹이에 의한 활성의 증가로 추정이 되었고 그 이외의 염분구간은 활성의 차이를 보이지 않았다. 그 이외의 소화효소인 α -amylase, trypsin, alkaline protease의 경우 먹이를 섭취한 실험구에서 가장 낮은 활성은 모두 저염분 구간인 2 psu에서 나타났으며 먹이를 섭취하지 않은 실험구에서는 세 가지 효소 모두 8 psu에서 가장 낮은 활성을 보였다. 또한 8 psu와 가장 높은 활성을 보인 염분 32 psu 실험구 사이에는 세 효소 모두 유의적 차이를 보였다. 저염분 (3, 17, 32 psu)에서의 소화효소활성을 분석한 Li *et al.* (2008)의

연구에서는 염분이 가장 낮은 3 psu에서 trypsin의 경우 유의적으로 낮은 활성을 보였으며 amylase, cellulase, lipase의 경우는 차이가 없었고, Rosas *et al.* (2001)의 연구에서는 저염분에서 소화효소의 활성이 더 높거나 같았다고 보고되었다. 본 연구에서는 먹이를 섭취한 경우 염분구간과 효소의 활성과의 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았으나 저염분인 2 psu에서 가장 낮은 활성을 보였고, 먹이를 섭취하지 않은 실험구에서는 자연해수인 32 psu보다는 염분이 낮은 경우에 소화효소활성이 유사하거나 오히려 줄어드는 경향 있는 것으로 조사되었다.

적 요

저염분 순치기간에 먹이를 섭취함으로써 얻을 수 있는 초기 유생의 생리적 변화는 다음과 같이 요약할 수 있다. 하루 동안의 순치기간에 염분농도에 따른 유생의 생존율은 차이를 보였지만 각 염분구간별 먹이섭취 유무에 따른 생존효과는 유사하였다. 그러나 먹이섭취 시 유생이 에너지원으로 활용할 수 있는 cholesterol, triglyceride의 증가가 있었으며 삼투압에 영향을 미칠 수 있는 glucose 농도가 유의적으로 증가하였다. 또한 저염분 순치기간 동안에 스트레스, 조직손상 및 대사작용의 지표가 되는 BUN과 creatine의 감소가 있었다. 먹이섭취로 인한 소화효소의 활성이 먹이를 섭취한 실험구 모두에서 증가하였다. 그러므로 유생발달과 함께 중요한 소화, 순환, 생식기관이 형성되며 탈피 성장을 위한 신진대사가 빠르게 진행되는 유생시기에 저염분 순치가 효율적으로 이루어져 향후 지속적인 성장을 유도하기 위해서는 먹이를 섭취하는 것이 더 효과적인 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 경상과제 바이오플라크를 이용한 해수양식 기술개발(R2018014)에 의하여 수행되었으며 연구 실험에 도움을 주신 서해수산연구소 양식산업과 태안양식연구센터 직원 분들께 감사드립니다.

REFERENCES

- Abrunhosa F and M Melo. 2008. Development and functional morphology of the foreguts of larvae and postlarvae of three crustacean decapods. *Braz. J. Biol.* 68:221-228.

- Bernfeld P. 1955. Amylases: alpha and beta. In: Methods in enzymology (Colowick SP and NO Kaplan eds.). Academic Press, New York. pp. 149–158.
- Boyd CE. 2003. Mineral salts correct imbalances in culture water. *Global Aquaculture Advocate* 6:56–57.
- 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.
- Cheng KM, CQ Hu, YN Liu, SX Zheng and XJ Qi. 2006. Effects of dietary calcium, phosphorus and calcium/phosphorus ratio on the growth and tissue mineralization of *Litopenaeus vannamei* reared in low-salinity water. *Aquaculture* 251:472–483.
- Dabrowski K and J Glogowski. 1977. Studies on the role of exogenous proteolytic enzymes in digestion processes in fish. *Hydrobiologia* 54:129–134.
- Davis DA, TM Samocha and CE Boyd. 2004. Acclimation Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* to inland, low salinity waters. SRAC publication No. 2601.
- Erlanger BF, N Kokowsky and W Cohen. 1961. The preparation and properties of two new chromogenic substrates of trypsin. *Arch. Biochem. Biophys.* 95:271–278.
- Evans E and R Witty. 1978. An assessment of methods used to determine protein quality. *World Rev. Nutr. Diet.* 32:1–4.
- Fegan DF. 1992. Recent developments and issues in the Penaeid shrimp hatchery industry. In: Proceeding of the Special Session on Shrimp Farming (Wyban J ed.). The World Aquaculture Society. Baton Rouge, pp. 55–70.
- Fry FEJ. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish. vol. 7. In: Fish Physiology, Environmental Relations and Behavior (Hoar WS and DJ Randall eds.), Academic Press. New York. pp. 1–98.
- Garza-Torres R, R Campos-Ramos and AM Maeda-Martínez. 2009. Organogenesis and subsequent development of the genital organ in female and male Pacific white shrimp *Penaeus (Litopenaeus) vannamei*. *Aquaculture* 296:136–142.
- Haines TH. 1994. Water transport across biological membranes. *FEBS Lett.* 346:115–122.
- Hall MR and EH van Ham. 1998. The effects of different types of stress on blood glucose in the giant tiger Prawn, *Penaeus monodon*. *J. World Aquacult. Soc.* 29:290–299.
- Hazel JR and EE Williams. 1990. The role of alterations in membrane lipid composition in enabling physiological adaptation of organisms to their physical environment. *Prog. Lipid Res.* 29:167–227.
- Hung TC, R Giridgar, SG Chiou and WT Wu. 2003. Binary immobilization of *Candida rugosa* lipase on chitosan. *J. Mol. Catal. B-Enzym.* 26:69–78.
- 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-Jpn. Agric. Res. Q.* 43:345–350.
- Kim SK, NY Shim, JW Jang, JC Jun, SK Kim and YK Shin. 2017. Effect of acclimation methods on physiological status of White shrimp, *L. vannamei* larvae to low salinities. *Korean J. Environ. Biol.* 35:6–12.
- Kinne O. 1971. Salinity: Animal invertebrates. vol. 1. In: Marine Ecology, Environmental Factors (Kinne O ed.). Wiley Interscience. London. pp. 821–995.
- Li EC, LQ Chen, C Zeng, N Yu, ZQ Xiong, XF Chen and JG Qin. 2008. Comparison of digestive and antioxidant enzymes activities, haemolymph oxyhemocyanin contents and hepatopancreas histology of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at various salinities. *Aquaculture* 274:80–86.
- 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.
- Liu HY, BP Tan, JF Yang, YB Lin, SY Chi, XH Dong and QH Yang. 2014. Effect of various Na/K ratios in low-salinity well water on growth performance and physiological response of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Chin. J. Oceanol. Limnol.* 32:991–999.
- 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 Aquacult. Soc.* 33:78–82.
- McNevin AA, CE Boyd, O Silapajarn and K Silapajarn. 2004. Ionic supplementation of pond waters for inland culture of marine shrimp. *J. World Aquacult. Soc.* 35:460–467.
- Melo JFB, LM Lundsted, I Metón, IV Baanante and G Moraes. 2006. Effects of dietary levels of protein on nitrogenous metabolism of *Rhamdia quelen* (Teleostei: Pimelodidae). *Comp. Biochem. Physiol. A-Mol. Integr. Physiol.* 145:181–187.
- Morris RJ, PM Lockwood and ME Dawson. 1982. An effect of acclimation salinity on the fatty acid composition of the gill phospholipids and water flux of the amphipod crustacean *Gammarus duebeni*. *Comp. Biochem. Physiol. A-Physiol.* 72:497–503.
- Mugnier C and C Justou. 2004. Combined effect of external ammonia and molt stage on the blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* physiological response. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 309:35–46.
- Parado-Esteva, FE D, RP Ferraris, JM Lardja and EG de Jesus. 1987. Responses of intermolt *Penaeus indicus* to large fluctu-

- tuations in environmental salinity. *Aquaculture* 64:175–184.
- Palacios E, A Bonilla, D Luna and IS Racotta. 2004. Survival, Na^+/K^+ -ATPase and lipid responses to salinity challenge in fed and starved white pacific shrimp (*Litopenaeus vannamei*) postlarvae. *Aquaculture* 234:497–511.
- Purssell 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. Emerg. Med.* 38:653–659.
- Racotta IS and E Palacios. 1998. Hemolymph metabolic variables in response to experimental manipulation stress and serotonin injection in *Penaeus vannamei*. *J. World Aquacult. Soc.* 29:351–356.
- Racotta IS and R Hernández-Herrera. 2000. Metabolic responses of the white shrimp, *Penaeus vannamei*, to ambient ammonia. *Comp. Biochem. Physiol. A-Mol. Integr. Physiol.* 125:437–443.
- Rosas C, N López, P Mercado and E Martínez. 2001. Effect of salinity acclimation on oxygen consumption of juveniles of the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *J. Crustac. Biol.* 21:912–922.
- 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 whit shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in low salinity waters. *Aquaculture* 262:461–469.
- Roy LA, DA Davis, P Saoud, CA Boyd, HJ Pine and CE Boyd. 2010. Shrimp culture in inland low salinity waters. *Aquaculture* 2:191–208.
- Samocha TM, AL Lawrence and D Pooser. 1998. Growth and survival of juvenile *Penaeus vannamei* in low salinity water in a semi-closed recirculating system. *Isr. J. Aquac.-Bamidgeh* 50:55–59.
- Samocha TM, L Hamper, CR Emberson, DA Davis, D McIntosh, AL Lawrence and P Van Wyk. 2002. Review of some recent developments in sustainable shrimp farming practices in Texas, Arizona, and Florida. *J. Appl. Aquaculture* 12:1–30.
- Saoud IP, DA Davis and DB Rouse. 2003. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture. *Aquaculture* 217:373–383.
- Teshima S. 1982. Sterol metabolism. In: *Proceedings of the Second International Conference on Aquaculture Nutrition: Biochemical and physiological approaches to shellfish nutrition* (GD Pruder, GA Lang, DE Conklin eds.), Baton Rouge, Louisiana. pp. 205–215.
- Teshima S, M Ishikawa, S Kosio and A Kanazawa. 1997. Assessment of cholesterol requirements in the prawn, *Penaeus japonicus*. *Aquac. Nutr.* 3:247–253.
- van Ham EH and MR Hall. 1998. The effects of prophylactic formalin bath treatment on blood glucose in the giant tiger prawn *Penaeus monodon*. *J. World Aquacult. Soc.* 29:357–364.
- Whitney JO. 1974. The effect of external salinity upon lipid synthesis in the blue crab *Callinectes sapidus* and in the spider crab *Libinia emarginata*. *Comp. Biochem. Physiol. A-Physiol.* 49:433–440.

Received: 20 March 2018

Revised: 7 August 2018

Revision accepted: 14 August 2018