

바이오플락 탈질수가 어린 흰다리새우, *Litopenaeus vannamei*의 생존율 및 생리특성에 미치는 영향

김수경, 장진우, 조영록, 김준환, 김수경*

국립수산과학원 서해수산연구소

Influence of denitrified biofloc water on the survival rate and physiological characteristics of Pacific white shrimp juveniles, *Litopenaeus vannamei*

Su-Kyoung Kim, Jin Woo Jang, Yong Rok Jo, Jun-Hwan Kim and Su Kyoung Kim*

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

*Corresponding author

Su Koung Kim

Tel. 041-675-3773

E-mail. sk6333@korea.kr

Received: 25 March 2019

Revised: 19 April 2019

Revision accepted: 24 April 2019

Abstract: This study investigates the effect of denitrified biofloc water on changes in the water quality parameters and the physiological characteristics of shrimps. Biofloc rearing water contains a large number of microorganisms and can rapidly stabilize the water quality and energy saving if reusable due to high water temperatures. Rearing water contain floating bacteria with both aerobic and anaerobic bacteria. Therefore, when the carbon source is added in limited air supply, the anaerobic state is activated and the denitrification process is possible. In this study, the denitrification water had the following properties: ammonia (6.9 mg L^{-1}), nitrite (0.3 mg L^{-1}), nitrate concentration (9.2 mg L^{-1}), high pH (8.42) and alkalinity (590 mg L^{-1}). The experimental group consisted of seawater (SW, control), a mixture of Seawater and denitrified biofloc water (DNW) in the ratio of 3:1, 1:1 and DNW only. All experiments were done in triplicate. As a result, the survival rate never changed even when 100% of the denitrification water was utilized. However, a body fluid analysis showed that creatine and BUN were increased due to index of stress and the tissue damage resulting from the high denitrified water content. Body fluid ions (Na^+ , K^+ , and Cl^-) significantly decreased as the denitrified water content increased. It was recommended that the denitrification water be mixed with a certain ratio (less than 50%) in the future as it may affect the osmotic pressure control in shrimps.

Keywords: denitrification, biofloc, *Litopenaeus vannamei*, hemolymph

서 론

양식에서 일반적으로 사육수 내 발생하는 총 질소를 생

물학적으로 감소시키는 경로는 크게 두 가지로 암모니아를 아질산, 질산으로 변환시키는 질화과정 (nitrification)과 질산을 질소가스로 전환시키는 탈질과정 (denitrification)

이 있다(Spotte 1979). 사육과정에서 발생하는 암모니아, 아질산은 흰다리새우(*Litopenaeus vannamei*)에게 독성으로 작용하여 제거되지 않았을 경우는 스트레스와 대량폐사를 일으키는 원인이(Le Moullac and Haffner 2000; Tseng and chen 2004) 되기 때문에, 사육수 교환이나 질화과정이 원활하게 이루어져 제거되어야 한다. 이러한 이유로 대량의 사육수를 교환하여 질소원을 희석하는 유수식, 소량의 사육수를 환수하면서 미생물 여과조에 의해 제거하는 순환여과식, 식물 또는 해조류를 이용하여 질산을 제거하는 아쿠아포닉스, 물을 교환하지 않고 다양한 미생물의 질산화과정을 이용하여 제거하는 바이오플락기술(BFT; biofloc technology) 등 다양한 양식방법이 적용되고 있다.

이 중 바이오플락기술은 사육수 교환 없이 미생물의 질화과정을 이용하여 양식에서 발생하는 독성 있는 암모니아와 아질산을 제거하는데, 바이오플락을 이용한 흰다리새우 양식은 미생물의 성장과 사육생물의 생육 수온을 고려하여 동절기에도 25°C 이상 수온을 유지하기 위한 가온이 필요하다. 또한 미생물이 증식하여 암모니아, 아질산 농도가 안정되기까지는 약 2개월 이상의 시간이 소요된다. 총 양식기간 동안(3~4개월간) 암모니아와 아질산을 산화시키는 미생물들이 대량으로 증식한(Burford *et al.* 2003) 바이오플락 사육수를 버리지 않고 일부를 소독한 물에 접종하면 미생물 증식이 촉진되어 1개월 이내에 수질을 안정화 할 수 있다. 그러나 아질산 산화 후 생성되는 질산은 일반적으로 새우에게 독성이 없다고 알려져 있었으나 고농도로 축적(> 500 mg L⁻¹)된 질산은 흰다리새우의 성장과 생존에 영향(Kuhn *et al.* 2010; Furtado *et al.* 2015a)을 미쳐 바이오플락 사육수를 재사용하기 위해서는 질산을 제거하는 탈질과정(denitrification)이 반드시 필요하다. 또한 바이오플락 사육수 내 미생물들의 질산화과정에서 질화세균과 타가영양세균에 의해 알칼리와 pH를 소비, 그 값이 지속적으로 감소하는데(Ebeling *et al.* 2006) 이때 낮아지는 pH를 유지하기 위하여 중탄산나트륨을 일정량 공급하여 알칼리도를 150 mg L⁻¹ 전후로 관리해야 한다. 그런데 탈질과정을 거친 바이오플락 사육수는 pH, 알칼리도가 증가하여(Samocho *et al.* 2017), 탈질이 된 바이오플락 사육수를 재사용할 경우 소비되는 중탄산나트륨의 양을 줄일 수 있어 경제적이며 활성화된 미생물을 이용하여 수질 안정화 기간을 단축할 수 있다. 이러한 장점에도 불구하고 탈질이 된 사육수가 양식생물에 미치는 영향에 대한 연구는 미미한 실정이다(Leungprasert and Chanakul 2010).

본 연구는 바이오플락 사육수 내 질산을 탈질과정을 통해 제거하고 물리적으로 변화된 탈질사육수가 어린 흰다리새우의 생존 및 생리적 특성에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험설계

탈질한 바이오플락 사육수가 어린 흰다리새우에게 미치는 영향을 파악하기 위하여 국립수산과학원 서해수산연구소 태안 양식연구센터에서 흰다리새우 양성 시 조성된 바이오플락 사육수 1,000 L(암모늄 0.3 mg L⁻¹, 아질산 0.3 mg L⁻¹, 질산 165 mg L⁻¹)를 밀폐용기에 넣어 산소를 공급하지 않고 탄소원으로 에탄올 500 mL를 넣어 혐기상태로 만들고 질산 농도가 감소된 이후 1일간 산소를 공급하여 실험에 활용하였다. 탈질한 사육수 수질은 암모늄 6.9 mg L⁻¹과 아질산 0.3 mg L⁻¹, 질산 9.2 mg L⁻¹로 생물사육에 적절한 수준이었으나 탈질 전보다 암모늄 농도가 다소 증가하였다.

실험에 사용한 흰다리새우 유생(PL₁₀기)은 바이오플락 사육수에서 52일 사육한 어린새우로 평균체중은 1.03 ± 0.26 g, 평균체장은 5.5 ± 0.5 cm였다. 실험수조는 10 L 아크릴 수조로 수조 당 20마리씩 입식하였으며, 각 실험구마다 3배구로 일반해수(SW 대조구), 일반해수(SW; seawater)와 탈질수(DNW; denitrified biofloc water)를 3:1로 혼합한(SW:DNW=3:1) 실험구, 일반해수와 탈질수를 1:1로 혼합한(SW:DNW=1:1) 실험구와 탈질수(DNW)만 넣은 실험구 총 3개의 실험구를 설정하였다. 실험 4일간 수행하였으며 이후 전체시료를 수거하여 생존율을 파악하였으며 체액분석에 활용하였다.

2. 체액분석

체액분석은 각 실험구마다 9마리씩 무작위로 선택하여 무게를 측정하고 한 마리씩 증류수 3 mL에 넣어 마쇄한 후 원심분리(8,000 rpm, 10분, 4°C)하여 상등액을 혈액분석기(Fuji Dri-Chem, 3500i, Japan)로 총 단백질(total protein), 콜레스테롤(cholesterol), 글루코즈(glucose), 트리글리세라이드(triglyceride), 크레아틴(creatinine), 혈중 요소성 질소(BUN), 나트륨(Na⁺), 칼륨(K⁺), 염소(Cl⁻)를 측정

하였다. 실험구간의 시료 크기에 따른 오차를 줄이기 위하여 측정된 시료의 무게로 각 분석값을 환산하였다. 즉 mg dL⁻¹와 mEq L⁻¹를 mg g⁻¹으로 환산하여 비교하였다.

3. 사육수 수질 및 이온분석

실험기간의 사육수 수질변화는 수온, 염분, 용존산소(DO), pH는 수질측정기(YSI EXO 2, Yellow Springs Instrument Co., Inc., USA) 로 매일 측정하였다. 암모니아, 아질산은 표준 검정법에 의해 분광광도계(spectrophotometer, Thermo co. Germany)를 사용하여 측정하였으며 질산은 해양공정실험법의 카드뮴 관을 통과시켜 아질산으로 치환 후 측정하는 방법의 오차 및 실험과정을 신속히 수행하고자 질산 농도를 0~150 mg L⁻¹로 설정하여 분석키트의 발색 시약을 사용하여 표준검정선(Fig. 1)을 만들고 분석키트로 시료를 분석하여 분광광도계에서 흡광도를 측정하였다. 알칼리도는 분석키트를 사용하였다. 사육수 이온변화는 실험시작 1일째와 4일째 시료를 취하여 이온 크로마토그래피(ICS-1100, Thermo Fisher Sciences, Germany)를 이용하여 7가지 이온(Na⁺, Cl⁻, K⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, SO₄⁻, Br⁻)을 분석하여 이온변화를 조사하였다.

4. 통계처리

통계처리는 SPSS (Statistical Package for Social Science, version 13. software) 통계프로그램으로 실험구간의 일원 분산분석(one-way ANOVA, Turkey's honest test ($p < 0.05$))에서 유의성검증을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 수질환경변화

바이오플락 탈질수 혼합비율에 따른 흰다리새우의 생리적 변화를 조사하기 위하여 실험한 결과는 Fig. 2와 같다. 암모늄 농도는 1일째 각 실험구마다 유의적인 차이를 보였다. 탈질수가 많이 혼합될수록 높은 값을 보였다(SW 0.1 mg L⁻¹, SW:DNW (3:1) 2.1 mg L⁻¹, SW:DNW (1:1) 3.3 mg L⁻¹, DNW 6.9 mg L⁻¹). 그러나 시간이 경과할수록 탈질수를 넣지 않은 실험구와 낮은 비율로 혼합한 실험구에서 암모늄 농도가 급격히 증가하여 실험종료인 4일째에

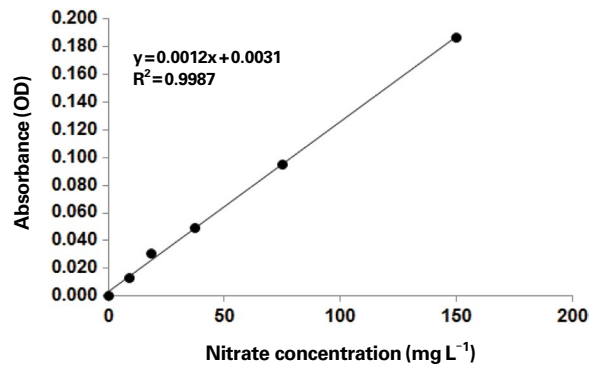


Fig. 1. Standard curve of nitrite measurement using nitrite analyzing kit.

는 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다(SW 11.61 mg L⁻¹, SW:DNW (3:1) 10.86 mg L⁻¹, SW:DNW (1:1) 11.03 mg L⁻¹, DNW 12.84 mg L⁻¹). 아질산의 경우 탈질수(DNW) 실험구를 제외하고 유의적 차이를 보이지 않았으나 탈질수 실험구에서는 실험 1일째 0.28 mg L⁻¹에서 4일째 2.02 mg L⁻¹으로 7.2배 증가하였다. 질산은 실험 1일~3일째까지 모든 실험구에서 탈질수를 많이 첨가할수록 평균값은 높았으나 편차가 커서 실험구간의 차이를 보이지 않았으며 4일째는 탈질수 실험구에서 유의적 증가를 보였다(SW 2.51 mg L⁻¹ SW:DNW (3:1) 2.22 mg L⁻¹, SW:DNW (1:1) 6.10 mg L⁻¹, DNW 40.75 mg L⁻¹). 이는 탈질수가 바이오플락을 처리한 사육수로서 자가세균, 타가세균 등 다양한 미생물이 다량 포함되어 있어 탈질과정을 거친 후라도 암모니아와 아질산 산화세균이 존재하여 질화과정을 거쳐 질산이 축적된 것으로 판단된다. 그 이유는 해수만을 넣은 SW 실험구에서는 암모늄의 증가속도가 가장 높았으며 아질산으로 전환되는 비율이 가장 낮았고 질산의 비율 또한 4.9 mg L⁻¹로 유지되어 미생물에 의한 질화과정을 확인할 수 없었지만 다른 실험구에서는 아질산으로 전환이 되는 것이 뚜렷이 나타나 탈질을 한 후에도 미생물이 존재하는 것으로 나타났다.

실험기간 동안 실험구간 pH는 SW에서 7.75~7.90이었으며 SW:DNW (3:1)에서는 8.08~8.15, SW:DNW (1:1)는 8.20~8.25, DNW에서 8.42~8.41 범위로 나타났으며 실험기간 동안 통계학적으로 유의적인 차이를 보였으나 ($p < 0.05$) 흰다리새우에게 영향을 미치지 않는(7.0~8.4) 범위였다(Leugprasert and Chanakul 2010). 알칼리도 또한 pH와 같이 차이를 보였으며 SW에서 155.0~158.3 mg

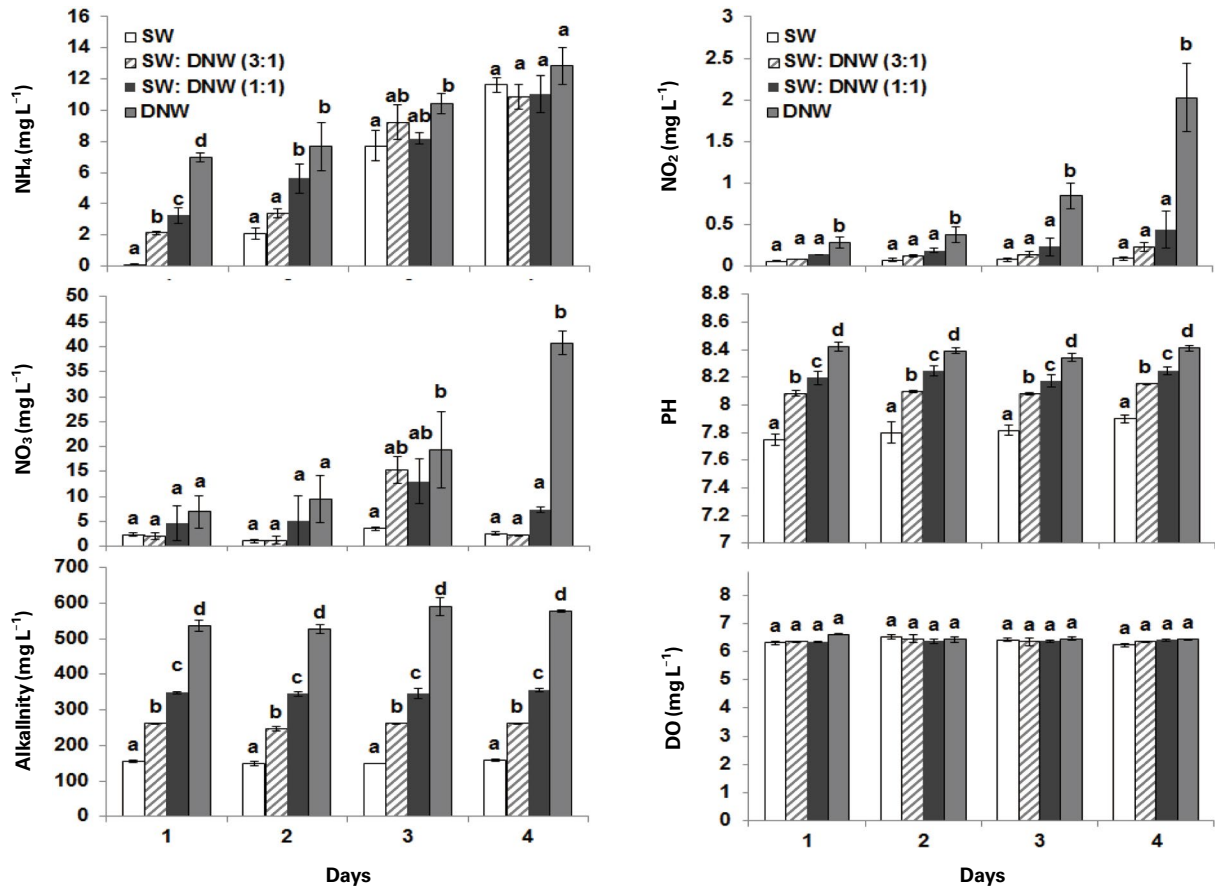


Fig. 2. Water quality parameters determined during the early stages of *L. vannamei* in 100% sea water (SW), 75% sea water and 25% biofloc denitrified water (SW: DNW (3:1)) 50% sea water and 50% biofloc denitrified water (SW: DNW (1:1)), 100% biofloc denitrified water (DNW). The error bars represents the standard deviation. The use of a small letter symbolizes significant differences between experimental groups ($p < 0.05$)

L⁻¹, SW:DNW (3:1) 248.3~261.7 mg L⁻¹, SW:DNW (1:1)는 345.0~356.7 mg L⁻¹, DNW 528.3~590.0 mg L⁻¹으로 탈질한 사육수에서 pH와 알칼리도가 일반해수에 비해 유의적으로 높게 나타남에 따라 바이오플락 미생물에 의해 감소하는 알칼리를 보완하는데 탈질 수가 도움이 될 것으로 사료된다. 용존산소(DO)의 경우는 실험구간별로 차이를 보이지 않았고 6.3~6.61 mg L⁻¹의 적정 농도를 유지하였다.

2. 생존율

총 240마리 중 5마리가 폐사가 발생하였으나 3배구 실험구 중 한 곳에서 1마리씩, SW:DNW (1:1) 실험구에서 2마리 폐사가 관찰되어 해수와 바이오플락 탈질수의 혼합비에 따른 생존율 간 유의한 차이를 보이지 않았

다. 최종 생존율은 각각 SW 98.3%, SW:DNW (3:1) 98.3%, SW:DNW (1:1) 96.7%, DNW 98.3%로 높은 생존율을 보였다(Fig. 3). 생존에 결정적인 영향을 주는 요소는 독성을 나타내는 암모니아와 아질산으로 Lin and Chen (2001)의 연구에 의하면 어린 흰다리새우를 암모늄에 96시간 노출 시 반수치사 농도가 35 psu에서 NH₄-N 38.54 mg L⁻¹로 본 연구에서는 최대 9 mg L⁻¹(NH₄-N)로 안정적인 범위였으며 5.6 cm 이하의 경우 아질산 또한 반수치사농도가 321.7 mg L⁻¹로 조사되어(Lin and Chen 2003) 모두 생존에 영향을 미치지 않는 농도로 나타났다. 양식과정에서 pH의 큰 변화는 독성으로 또는 스트레스 요인으로 갑각류에 작용하기도 하여 생존율과 성장저해를 야기하기도 하는데 pH가 너무 낮거나 높으면 체내 산과 염기의 평형을 방해하고, 이온조절, 암모니아 배출(Chen and Lee

1997; Wood 2001), Na-, K-ATPase 활성의 촉진 (Wang *et al.* 2002) 등으로 생리적 기능 이상과 면역력 감소로 인한 질병 감염과 대량 폐사가 일어나기도 한다 (Distefano *et al.* 1991; Chen and Chen 2003; Li and Chen 2008). Zhou *et al.* (2009)의 pH에 따른 6 g의 흰다리새우 스트레스 반응 실험 결과에서 pH 9에 12시간 노출 시 사망률이 100%이었으나 본 실험에서는 pH가 최대 8.4로서 이에 따른 생존율의 차이가 나타나지 않았다. 새우 양식에서 요구되는 적정 알칼리도는 100~150 mg L⁻¹ (Timmons and Ebeling 2013), 100~180 mg L⁻¹ (Samocha *et al.* 2017)으로 알려져 있다. 흰다리새우 유생으로 50일간 바이오플락 양식조건에서 알칼리 농도별 실험을 한 Furtado *et al.* (2015b)의 경우 0.2 g의 어린 흰다리새우로 알칼리 농도에 따른 영향을 분석한 결과 최대 300 mg L⁻¹의 알칼리도에서도 생존율의 차이를 보이지 않았으며 성장률이 가장 높은 것으로 조사되었다. 반면 알칼리도가 320 mg L⁻¹로 높은 사육수에서 보리새우 (*Marsupenaeus japonicus*)를 75일간 사육한 경우 비교구(92%) 대비 실험구(79%) 생존율이 감소되고 새우의 아

가미, 눈 등을 포함한 모든 부분에 미네랄이 침착되었다는 보고가 있으나 (Gopalakrishnan *et al.* 2011) 본 연구는 단기간 생리변화를 관찰한 실험으로 미네랄의 축적이 관찰되지 않았으며 생존율의 변화를 보이지 않았다.

3. 체액변화

어린 흰다리새우의 혈림프를 포함한 체액을 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 총 단백질 (total protein)과 글루코스 (glucose)는 탈질수의 함량이 높은 곳에서 더 증가하는 것으로 나타났다. 콜레스테롤 (cholesterol)은 SW에서 가장 높은 값을 보였고 탈질수를 섞을수록 그 평균값이 감소하였다. 중성지방인 트리글리세라이드 (triglyceride)가 최고 값을 보인 실험구는 SW:DNW (1:1)로 52.6±27.9 µg mg⁻¹, 가장 낮은 값을 보인 실험구는 DNW로 37.7±4.0 µg mg⁻¹였다. Racotta and Hernández-Herrera (2000) 연구결과에 의하면 최대 2.14 mmol의 암모니아성 질소에 흰다리새우 10g을 노출 시 혈림프 변화를 보면 암모니아 농도의 증가에 따라 총 단백질, 글루코스와 콜레스테롤이 증가하다 암모니아 최대 농도인 2.14 mmol에서 감소하였으며 유의적인 차이를 보이지 않은 것과 같이 본 연구에서도 동일한 변화양상을 보였고 새우 체액 성분인 총 단백질, 글루코스, 콜레스테롤이 실험구간별로 차이를 보이지 않았다 ($p < 0.05$). 그러나 조직손상의 지표이며 단백질대사 작용의 산물로 생리적 기능의 지표로 작용하는 크레아틴 (creatinine)과 혈중 요소성 질소 (BUN)는 DNW 실험구에서 유의적으로 증가하는 것으로 나타나 탈질수가 어린새우의 생리적 영향이 있음을 알 수 있었다 ($p < 0.05$). 체액 내 이온변화를 보면 Na⁺, K⁺ 이온 모두 탈질수를 첨가한 비율이 높아질수록 체액 내 이온이 유의적으로 감소하는 것으로 나타났으며 특히 Cl⁻ 이온의 경우는 SW:DNW (3:1) 실험구와 DNW 실험구 유의적 차이를 보였다 ($p < 0.05$). 이러한 결과는 보리새우에서 암모니아, 아질산 스트레스

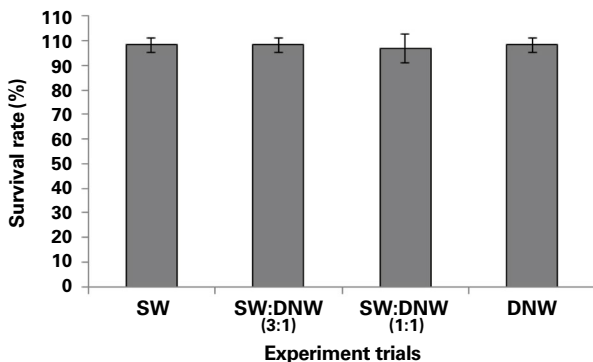


Fig. 3. The survival rates of juvenile, *L. vannamei*, in 100% sea water (SW), 75% sea water and 25% biofloc denitrified water (SW:DNW (3:1)) 50% sea water and 50% biofloc denitrification water (SW:DNW (1:1)), 100% biofloc denitrification water (DNW). The error bars represents the standard deviation.

Table 1. Ion concentration in experimental rearing waters. 100% sea water (SW), 75% sea water and 25% biofloc denitrified water (SW:DNW (3:1)) 50% sea water and 50% biofloc denitrification water (SW:DNW (1:1)), 100% biofloc denitrification water (DNW). The error bars represents the standard deviation. The use of a small letter denotes significant differences between experimental groups ($p < 0.05$)

	Na ⁺ (mg L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	Mg ⁺ (mg L ⁻¹)	K ⁺ (mg L ⁻¹)	Ca ⁺⁺ (mg L ⁻¹)	SO ₄ ⁻ (mg L ⁻¹)
SW	10,045 ± 183 ^a	16,051 ± 257.7 ^a	1,121 ± 19.6 ^a	299 ± 5.9 ^a	318 ± 4.4 ^a	2,309 ± 41.4 ^a
SW:DNW (3:1)	10,291 ± 7.0 ^{ab}	16,569 ± 347.2 ^a	1,142 ± 0.9 ^{ab}	310 ± 0.2 ^b	327 ± 2.9 ^a	2,376 ± 46.8 ^{ab}
SW:DNW (1:1)	10,399 ± 112.4 ^{ab}	17,310 ± 231.9 ^a	1,147 ± 14.2 ^{ab}	316 ± 3.9 ^b	320 ± 11.8 ^a	2,485 ± 23.2 ^b
DNW	10,580 ± 41.1 ^b	20,071 ± 960.6 ^b	1,169 ± 5.0 ^b	331 ± 1.7 ^c	313 ± 30.1 ^a	2,789 ± 110.3 ^c

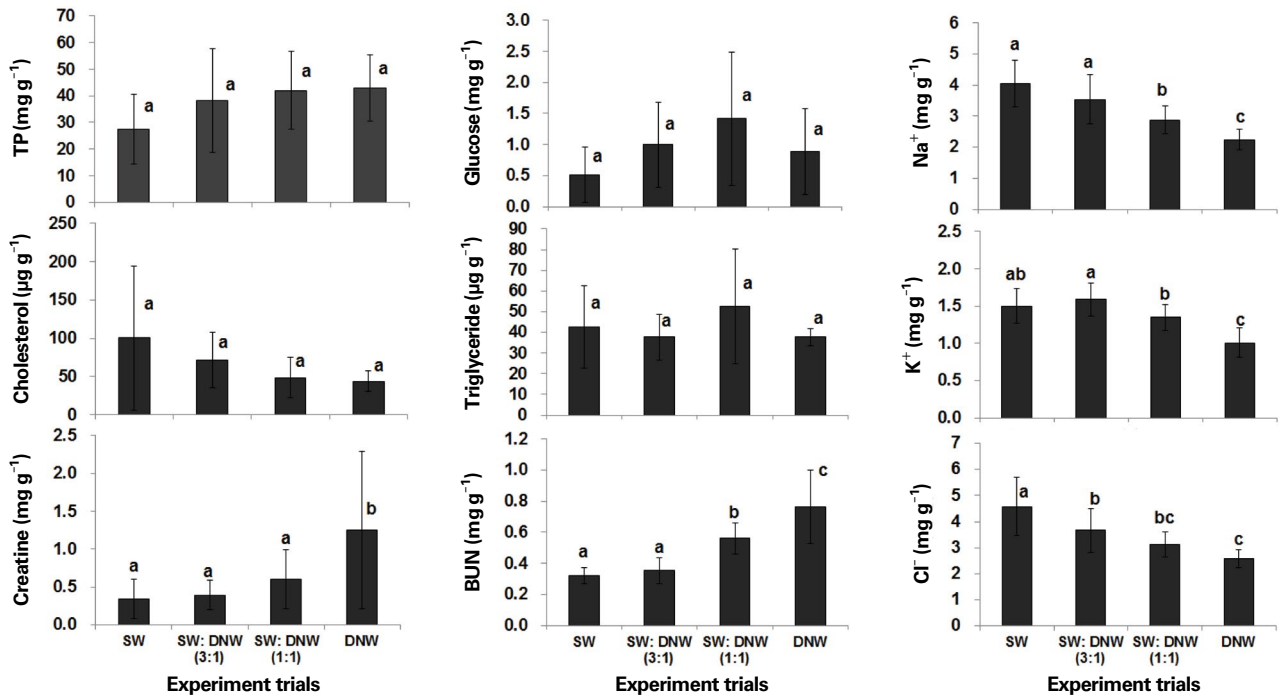


Fig. 4. Body fluid parameters determined in the juvenile stage of *L. vannamei* in 100% sea water (SW), 75% sea water and 25% biofloc denitrified water (SW:DNW (3:1)), 50% sea water and 50% biofloc denitrified water (SW:DNW (1:1)), 100% biofloc denitrified water (DNW). The error bars represents the standard deviation. The use of a small letter denotes significant differences between experimental groups ($p < 0.05$)

를 검사한 Cheng *et al.* (2013)의 암모니아(0.33 mmol L^{-1} , 7.0 mg L^{-1})와 아질산(0.33 mmol L^{-1} , 15.2 mg L^{-1})에 노출 시 체내 Na^+ , K^+ , Cl^- 이온의 농도가 감소한다는 연구결과와 같이 본 연구에서도 생존에 영향을 미치지 않았지만 SW:DNW (1:1)과 DNW 실험구 간 체내 이온이 유의적으로 감소를 하여 스트레스 요인으로 작용 되었을 것이라 사료된다.

4. 사육수 이온변화

탈질수를 비율별로 혼합하여 실험 시작 시 각 실험구 간별 Ca^+ 을 제외하고 SW와 DNW 사이에서는 각 이온들의 농도 차이가 뚜렷하였다(Table 1). SW보다 DNW 실험구 내 이온들의 농도가 모두 높았으며 Cl^- 이온은 SW에서 $16,051 \pm 257.7 \text{ mg L}^{-1}$, DNW에서 $20,071 \pm 960.6 \text{ mg L}^{-1}$, SO_4^- 또한 SW에서 가장 낮은 $2309 \pm 41.4 \text{ mg L}^{-1}$, DNW에서 가장 높은 $2,309 \pm 41.4 \text{ mg L}^{-1}$ 를 보였으며 K 이온도 SW에서 낮은 $299 \pm 5.9 \text{ mg L}^{-1}$ 였고 DNW에서 유의적으로 높은 $331 \pm 1.7 \text{ mg L}^{-1}$ 의 농도를 보였다. 새우의 삼투압에 영

향을 미치는 요인은 사육수 내의 이온양보다도 그 이온의 비율에 영향을 받는데 Roy *et al.* (2007)의 연구에서 새우 유생의 성장은 Na/K , Mg/K , Mg/Ca 의 비율이 자연해수의 비율(28.5, 3.7, 3.4)에 근접할수록 좋았지만 범위를 크게 벗어나지 않는 경우는 생존율에 영향을 미치지 않는다고 하였다. 본 연구에서는 각 실험구에서 Na/K 비가 32.0~33.6, Na/Cl 0.53~0.63, Mg/K 3.52~3.75, Mg/Ca 3.49~3.77 범위 안에 있어 성장 및 생리적 특성에 영향을 미치지 않는 이온조성으로 조사되었다.

적 요

안정된 바이오플락 사육수에는 대량의 미생물들이 존재하고 있으며 사육수온이 높아 재사용이 가능할 경우 빠른 수질안정화 및 에너지 절약을 할 수 있다. 바이오플락 사육수 내 부유하고 있는 자가 및 타가 영양세균은 호기성과 혐기성 세균을 모두 포함하고 있어 탄소원을 넣고 산소를 공급하지 않는 혐기성 상태로 만들면 탈질과정이 가능

하다. 본 연구에서 바이오플락 탈질수의 특성은 암모니아 (6.9 mg L^{-1}), 아질산 (0.3 mg L^{-1}), 질산농도 (9.2 mg L^{-1}), 높은 pH (8.42), alkalinity (590 mg L^{-1})였으며 이 탈질수를 첨가한 사육수의 물리적 환경 변화가 어린새우의 생존 및 생리적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과 탈질수를 100% 사용하여도 생존율의 변화를 보이지 않았으나 혈림프를 포함한 체액 분석결과 탈질수 혼합에 의한 조직손상 및 스트레스 지표인 크레아틴, 혈중 요소성 질소의 증가가 관찰되었고 탈질수 혼합비율이 높을수록 새우 체내 이온 (Na^+ , K^+ , Cl^-)의 농도가 유의적으로 감소하여 향후 삼투압 조절에 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타남에 따라 탈질수를 일정비율로 (50% 미만) 혼합하여 사용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2019년 국립수산물과학원 '바이오플락을 이용한 해수양식 기술개발(대하, 넙치)(R2019011)'의 지원으로 수행된 연구입니다.

REFERENCES

- Burford MA, PJ Thompson, RP McIntosh, RH Bauman and DC Pearson. 2003. Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture* 219:393-411.
- Chen SM and JC Chen. 2003. Effects of pH on survival, growth, molting and feeding of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture* 218:613-623.
- Chen JC and Y Lee. 1997. Effects of nitrite exposure on acid-base balance, respiratory protein, and ion concentration of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* at low pH. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 33:290-297.
- Cheng SY, LW Shieh and JC Chen. 2013. Changes in hemolymph oxyhemocyanin, acid-base balance, and electrolytes in *Mar-supenaeus japonicus* under combined ammonia and nitrite stress. *Aquat. Toxicol.* 130-131:132-138.
- Distefano RJ, RJ Neves, LA Helfrich and MC Lewis. 1991. Response of the crayfish *Cambarus bartonii* to acid exposure in southern Appalachian streams. *Can. J. Zool.* 69:1585-1591.
- Ebeling JM, MB Timmons and JJ Bisogni. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257:346-358.
- Furtado PS, BR Campos, FP Serra, M Klosterhoff, LA Romano and W Waiselesky Jr. 2015a. Effects of nitrate toxicity in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared with biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.* 23:315-327.
- Furtado PS, LH Poersch and W Waiselesky Jr. 2015b. The effect of different alkalinity levels on *Litopenaeus vannamei* reared with biofloc technology (BFT). *Aquac. Int.* 23:345-358.
- Gopalakrishnan AM, J Rajkumar, G Sun, G Martin and A Parida. 2011. Impact of mineral deposition on shrimp, *Penaeus monodon* in a high alkaline water. *J. Environ. Biol.* 32:283-287.
- Kuhn DD, SA Smith, GD Boardman, MW Angier, LFJ Marsh and J George. 2010. Chronic toxicity of nitrate to Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: impacts on survival, growth, antennae length, and pathology. *Aquaculture* 309:109-114.
- Le Moullac G and P Haffner. 2000. Environmental factors affecting immune responses in Crustacea. *Aquaculture* 191:121-131.
- Leungprasert S and P Chanakul. 2010. The reuse of shrimp culture wastewater treated by nitrification and denitrification process. *Int. J. Environ. Sci. Dev.* 1:371-377.
- Li CC and JC Chen. 2008. The immune response of white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its susceptibility to *Vibrio alginolyticus* under low and high pH stress. *Fish Shellfish Immunol.* 25:701-709.
- Lin YC and JC Chen. 2001. Acute toxicity of ammonia on *Litopenaeus vannamei* Boone juveniles at different salinity levels. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 259:109-110.
- Lin YC and JC Chen. 2003. Acute toxicity of nitrite on *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles at different salinity levels. *Aquaculture* 224:193-201.
- Lourdes C, MS Sonnenholzner, M Wille and P Sorgeloos. 2014. Ammonia tolerance of *Litopenaeus vannamei* (Boone) larvae. *Aquac. Res.* 45:470-475.
- Racotta IS and R Hernández-Herrera. 2000. Metabolic responses of the white shrimp, *Penaeus vannamei*, to ambient ammonia. *Comp. Biochem. Physiol. A* 125:437-443.
- 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.
- Samocha TM, DI Prangnell, TR Hanson, GD Treece, TC Morris, LF Castro and N Stareshin. 2017. Design and operation of super-intensive biofloc-dominated systems for indoor production of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, USA.
- Spotte S. 1979. Water management in closed systems. p. 179. In

- Fish and Invertebrate Culture (2nd ed.). John Wiley & Sons, New York, USA.
- Timmons MB and JM Ebeling. 2013. Recirculating Aquaculture (3rd ed.). Ithaca Publishing Company, Ithaca, New York, USA.
- Tseng IT and JC Chen. 2004. The immune response of white shrimp *Litopenaeus vannamei* and its susceptibility to *Vibrio alginolyticus* under nitrite stress. *Fish Shellfish Immunol.* 17:325–333.
- Wang WN, AL Wang, L Chen and Y Liu. 2002. Effects of pH on survival, phosphorus concentration, adenylate energy charge and Na, K-ATPase activities of *Penaeus chinensis* Osbeck juveniles. *Aquat. Toxicol.* 60:75–83.
- Wood CM. 2001. Toxic responses of the gill. pp. 1–89. In *Target Organ Toxicity in Marine and Freshwater Teleosts*, Vol. 1-Organ, (Schlenk and Benson eds.). Taylor & Francis, London. UK.
- Zhou J, WN Wang, AL Wang, WY He, QT Zhou, Y Liu and J Xu. 2009. Glutathione S-transferase in the white shrimp *Litopenaeus vannamei*: characterization and regulation under pH stress. *Comp. Biochem. Physiol. C* 150:224–230.