

바이오플락 양식기술(Biofloc Technology, BFT)로 사육한 메기의 성장 및 수질변화 연구

박준성 · 이정호* · 김나나** · 황주애** · 김형수†

국립수산과학원(연구원) · *국립수산과학원(연구관) · **†국립수산과학원(연구사)

A Study on Growth Performance and Water Quality of Far Eastern Catfish (*Silurus asotus*) using Biofloc Technology (BFT) Aquaculture

Jun Seong PARK · Jeong-Ho LEE* · Na Na KIM** · Ju-Ae HWANG** · Hyeong Su KIM†

National Institute of Fisheries Science(intern researcher) · *National Institute of Fisheries Science(senior researcher) · **†National Institute of Fisheries Science(researcher)

Abstract

The purpose of present study was to analyze the growth performances and water quality of far eastern catfish, *Silurus asotus*, between biofloc technology (BFT) and continuous replacement system (CRS). For this study, the BFT based water was only made feed and carbon sources without fish for 45 days. After 30 days of rearing between BFT and CRS experiment conditions, all of the growth performances of *S. asotus* were more effective in BFT than in CRS: survival rate ($98.0 \pm 1.00\%$ vs. $92.4 \pm 1.20\%$), weight gain ($12.8 \pm 2.8\text{g}$ vs. $9.7 \pm 2.9\text{g}$), weight gain rate ($109.2 \pm 4.1\%$ vs. $82.1 \pm 3.2\%$), specific growth rate ($2.38 \pm 0.6\%/d$ vs. $1.93 \pm 0.2\%/d$), and feed coefficient rate (1.19 ± 0.5 vs. 1.45 ± 0.7).

Key words : Biofloc technology, Catfish, Microorganism, Nitrogen

I. 서론

세계 인구는 지속적으로 증가하여 2014년에 비해 2030년의 인구수는 15%가 상승한 83억 명에 이를 것이며, 인구증가와 함께 단백질 공급량의 증가가 예상되고 있다(UN, 2017). 이에 수산양식은 인류의 동물단백질을 공급하는 주요 공급원으로 주목받고 있으며, 최근 잡는 어업에서 기르는 어업으로의 변화 추세와 함께 연평균 5.8%로 성장하고 있는 양식산업은 앞으로 세계 수산물 공급을 주도할 것으로 예측되고 있다(FAO, 2018).

그러나 전통적인 양식업은 물을 많이 사용하고 수산생물을 양식하는 과정에서 발생하는 사료찌꺼기, 수질악화, 질병감염, 폐사체 축적, 수산물 의약품 남용 등 심각한 환경문제도 동반하고 있다(Buhmann et al., 2015).

최근에는 물의 사용을 줄이고 사육수를 정화하여 사용함으로써 환경문제를 해결하고, 지속가능하고 효율적인 친환경 양식기술에 대한 요구가 높아지고 있다. 이 중 순환여과시스템(recirculating aquaculture system, RAS)과 바이오플락기술(biofloc technology, BFT)을 이용한 양식방법은 대표적인

† Corresponding author: 055-540-2720, kimk2@korea.kr

* 이 논문은 2020년도 국립수산과학원 수산시험연구사업 바이오플락을 이용한 담수양식 기술개발(R2020013)의 지원에 의해 수행되었음

친환경 양식으로 알려져 있다(Mariscal-Lagarda et al., 2012; Rijn, 2013; Avnimelech et al., 2015). 그러나 RAS는 사료찌꺼기와 양식생물의 배설물로 인해 생성된 유기물을 물리적, 생물학적 여과 장치를 이용해 제거해야하므로 초기 설치와 유지보수를 위한 비용이 많이 든다(Vinatea et al., 2018).

BFT는 양식수조 내에 존재하는 유용한 미생물을 이용하여 양식생물의 배설물이나 사료찌꺼기에서 발생하는 암모니아(TAN, total ammonia)와 아질산염(NO_2^- -N) 등 어류에 치명적인 질소산화물을 효과적으로 제거가 가능하다(Avnimelech, 1999). 또한 사육수를 교환하지 않기 때문에 환수로 인한 가온 및 에너지 절감, 사육수 유입에 따른 질병감염을 차단할 수 있는 친환경적 양식기술이다(Avnimelech, 2006; Crab et al., 2009). 특히, BFT는 양식수조 안에서 미생물, 조류, 원생동물 및 미세입자가 뭉쳐서 바이오플락(biofloc)이 형성되는데, 이는 단백질 함량이 20~50%로 영양학적 가치가 높고 양식생물의 추가 먹이원으로 섭취되어 사료효율을 높여줄 수 있다(Emereciano et al., 2013). 이에 BFT를 이용한 양식은 물이 부족하고 사육공간이 좁은 곳에서 고밀도, 고성장 양식이 가능하다.

BFT를 이용한 양식산업화 연구는 이스라엘에서 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*), 미국, 중국, 동남아 등 국가에서는 새우(shrimp)를 대상으로 활발하게 진행되었고, 일반 양식장에 산업화 기술이 보급되어 상업화 규모의 대량생산이 이루어지고 있다(Burford et al., 2003; Azim et al., 2008; Asaduzzaman et al., 2009; Neal et al., 2010; Ray et al., 2011). 국내에서는 2003년부터 국립수산물품질관리원에서 BFT를 이용하여 새우, 메기, 넙치 등을 대상으로 고밀도, 양식산업화 연구를 추진하고 있다(Cho et al., 2010; Kim et al., 2019).

본 연구에서 실험어로 사용된 메기(*Silurus asotus*)는 메기목 메기과 담수어류로서, 우리나라와 중국, 일본 및 러시아 등에 서식한다(Kim, 1997). 국내 내수면 양식어업 총생산량은 27,559톤, 생산금

액 4,256억원이며, 메기의 생산량은 4,116톤(상대 비율 15.4%), 생산금액은 183억원(4.2%)으로 국내 주요 내수면 양식 대상 품종이다(KOSIS, 2019). 그러나 메기는 입식 초기 공식이 매우 심하여 생존율이 낮고, 이를 줄이고자 사육밀도를 낮추어 양식하기 때문에 단위 면적 당 양식 생산성이 낮은 편이다. 또한 지수식 노지방식으로 주로 양식되어 계절의 영향을 많이 받고 동일시기에 상품으로 출하되기 때문에 가격경쟁력이 낮아 실내에서 안정적인 연중 생산이 가능한 양식시스템이 필요하다.

따라서 본 연구는 메기의 양식산업 경쟁력 강화와 생산성 향상을 위해 친환경 BFT를 이용한 양식시스템을 적용하여 메기 양식에서 BFT 가능성을 확인하고 산업화를 위한 기초자료를 확보하고자 수행하였다.

II. 연구 방법

1. BFT 사육수 준비

안정적인 BFT 사육수를 만들기 위해 27톤(지름 6 m × 높이 1 m) 원형 PP수조에 지하수를 0.5 μm -micro filter로 여과시켜 물을 수용하였다. BFT 전용 생균제(BFT-ST, egeeTech, Texas, USA)와 영양제(BFT-CT, egeeTech, Texas, USA)를 사용 지침에 따라 300 mg/L 용량을 접종한 후, 용존산소(DO)량은 6 mg/L 이상, pH는 6.0 이상, 수온은 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 범위로 유지하였다. 타가영양세균의 활성을 위해 Avnimelech (1999)의 계산법에 따라 탄질비(C:N ratio)를 15:1로 조성하였다. 탄소원과 질소원으로 사용된 배합사료는 (주)사조동아원 메기 스프링(조단백질 44%, 조지방 8%, 칼슘 1%, 수분 14%, 인 1.8%, 조섬유 5%, 조회분 17%) 20kg(C: 10kg, N: 1.33kg)을 투입하였고 부족한 탄소원으로는 당밀 25L(C: 10.5kg)을 첨가하였다. 90W 수중펌프를 밸브와 연결하여 수조 바닥에 설치하였고 수조 내 사육수가 분당 1회전하도록 조절하였

다. 수조 가장자리 및 중앙에는 에어스톤을 추가로 설치하여 바이오플락과 유기물의 침전을 방지하였다. 실험을 수행하기 위한 BFT 사육수는 30일 후 TAN와 NO₂⁻-N이 1 mg/L 이하로 안정되었는데, 15일간 더 안정화시킨 후 BFT 메기 사육 실험을 진행하였다.

- * 당밀 내 탄소량(1L 기준) = 0.7L(당밀 내 탄수화물량) × 0.5(탄수화물 내 탄소량)
- * 사료 내 탄소량 = 사료무게 × 0.5
- * 사료 내 질소량 = 사료무게 × CP/100 × 0.155

2. 실험어 및 사육조건

1톤(지름 1.3 m × 높이 0.8 m) 원형 FRP 수조에 사전 준비된 BFT 사육수를 첨가한 BFT 실험구와 대조구로 비교할 CRS (continuous replacement system, 지수식, 1회전/일) 실험구로 구분하여 메기 치어(10~12g) 500마리 총 5.5~5.6kg (단위 면적당 4.16 kg/m²)을 각 수조에 수용하였다. 각 실험구는 각각 3반복 실험으로 진행하였고 배합사료는 (주)사조동아원 메기스프링(조단백질 44%, 조지방 8%, 칼슘 1%, 수분 14%, 인 1.8%, 조섬유 5%, 조회분 17%)을 매일 어체중의 5%를 3회에 걸쳐 나누어 공급하였다. BFT 실험구는 7일 간격으로 사료 2kg(실험기간 총 8 kg)가 공급되었으며, Avnimelech(1999)의 계산법에 따라 사료 2kg 내 탄소량(1kg), 질소량(0.133kg)을 계산 한 후 탄질비(C:N ratio)를 15:1로 맞추기 위해서는 탄소량이 1.995kg이 필요하므로, 0.995kg의 당밀을 추가로 투입하였다. 사육실험 기간 동안 BFT 실험구는 증발분에 대한 유량만 보충하였고 환수하지 않았다.

3. 사육수 수질분석

DO, pH, 수온은 다항목 수질측정기(YSI-650 Inc, Yellow Spring Instruments, Ohio, USA)를 이용하여 매일 측정하였다. TAN, NO₂⁻-N, 질산염

(NO₃⁻-N) 분석은 실험기간 동안 매일 오전 사료 공급 전에 채수하여 분석시약(Merck KGaA, Darmstadt, Germany)과 다목적 수질측정기인 흡광광도계(Merck KGaA, Darmstadt, Germany)를 이용한 비색법으로 분석하였다. 총 부유성 고형물(Total Suspended Solids, TSS)의 측정은 채수한 사육수를 필터로 거른 후 오븐에 건조시켜 건중량을 측정하였다.

4. 메기 성장분석

메기의 성장도를 분석하여 위해 실험 종료 후 실험어 전체를 포획하였고 마취제(MS-222, Sigma-Aldrich, St. Louis, USA)를 이용하여 100 mg/L의 농도로 마취시킨 후 체중을 0.01g까지 전자저울(MW-200, CAS, Korea)을 사용하여 측정하였다. 실험 시작 시 체중(initial weight, IW), 실험 종료 시 체중(final weight, FW)과 사료공급량을 측정하여 증체율(weight gain rate, WGR), 일일성장률(specific growth rate, SGR), 사료계수(feed coefficient rate, FCR)을 분석하였다.

5. 통계분석

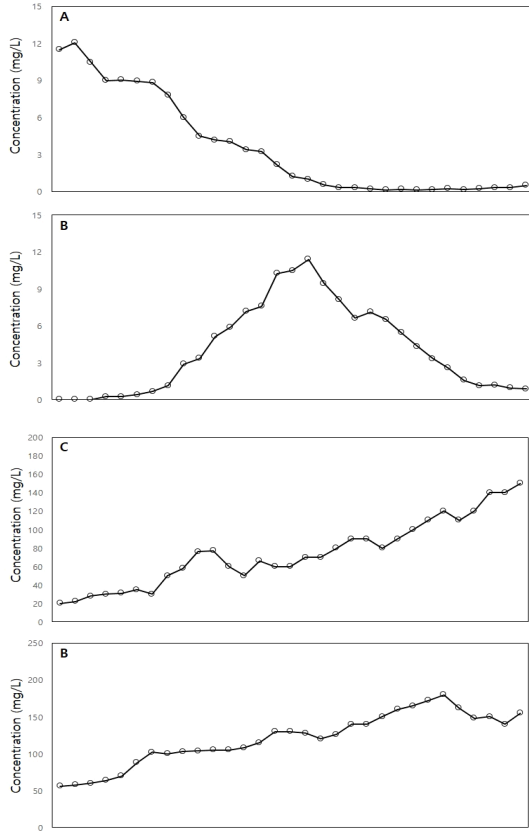
총 30일 간 BFT 실험구와 CRS 실험구로 사육 실험을 진행하였으며, BFT 실험구와 CRS 실험구에서 메기의 성장률, 생존율, 사료계수를 비교 분석하였다. BFT 실험구와 CRS 실험구 결과에 대한 유의성 검증은 SYSTAT 소프트웨어(Systat version 18, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA)를 이용하여 t-test를 실시하고, 통계학적 유의수준은 P<0.05로 설정하였다.

III. 연구 결과

1. BFT 사육수 수질변화

메기 사육실험을 위한 BFT 사육수의 안정화 기간의 TAN, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N 및 TSS의 수질변화

를 분석하였고, 일별 수질변화는 [Fig. 1]과 같다.



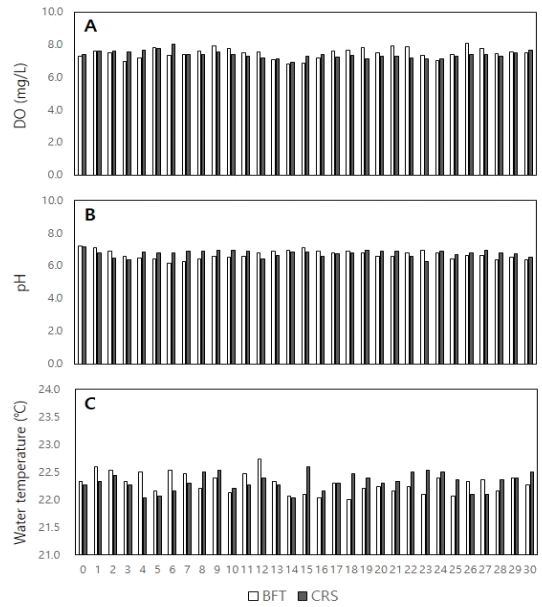
[Fig. 1] The concentrations of TAN (A), NO₂-N (B), NO₃-N (C), and TSS (D) over time in BFT water tank.

BFT 사육수의 TAN는 미생물 접종 후 2일 만에 12.05 mg/L로 가장 높은 수치를 보였고 지속적으로 감소하였으며, 17일 0.98로 1 mg/L 이하로 감소한 후 0점대의 수질상태를 유지하였다. NO₂-N는 미생물 접종 후 16일까지 계속 증가하여 11.41 mg/L의 가장 높은 수치를 기록한 후 17일부터 감소하였고, 29일 0.95 mg/L로 1 mg/L 이하의 수질상태를 유지하였다. NO₃-N는 미생물 접종 후부터 지속적으로 증가하여 30일 후 150 mg/L로 가장 높게 나타났다. TSS는 미생물 접종 후부터 증가하는 경향을 보였으며 25일 후 180

mg/L로 가장 높아졌고, 그 이후 감소하다 150 mg/L 내외에서 유지되었다.

2. 수질분석

실험동안 BFT 실험구와 CRS 실험구의 DO, pH, 수온의 수질변화는 [Fig. 2]와 같다.



[Fig. 2] The mean concentrations of DO (A), pH (B), and water temperature (C) over time in BFT (biofloc technology) versus CRS (continuous replacement system) throughout the experiment.

DO는 BFT 실험구에서 7.51 ± 0.62 (6.20~8.90) mg/L, CRS 실험구에서 7.37 ± 0.39 (6.20~8.40) mg/L로 6.20~8.90 mg/L 사이에서 유지되었다. pH는 BFT 실험구에서 6.67 ± 0.37 (6.00~7.50), CRS 실험구에서 6.75 ± 0.34 (6.10~7.50)으로 6.00~7.50 사이에서 유지되었다. 수온은 BFT 실험구에서 22.3 ± 0.3 (21.5~22.9)°C, CRS 실험구에서 22.3 ± 0.3 (21.5~22.8)°C 범위에서 유지되었다.

BFT 실험구와 CRS 실험구의 TAN, NO₂-N, NO₃-N 및 TSS의 수질분석 결과 [Fig. 3]과 같다.

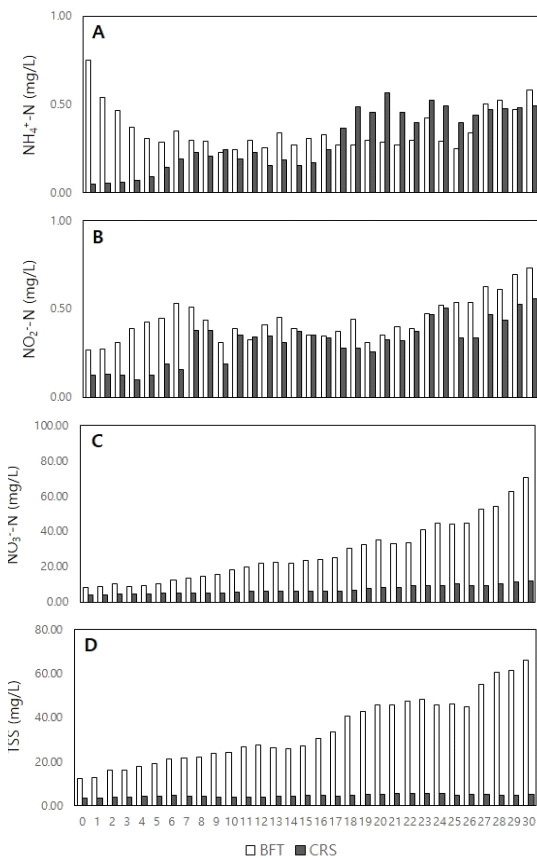
TAN는 BFT 실험구에서 평균 0.75 ± 0.06 mg/L에서 시작하였고 실험 기간 증가와 감소를 반복하여 0.80 mg/L 이하에서 수질상태가 유지되었으며, 평균 0.36 ± 0.16 (0.10~0.79) mg/L이었다. CRS 실험구에서는 평균 0.05 ± 0.01 mg/L로 시작하여 실험이 진행됨에 따라 점진적으로 증가하는 경향을 보였고, 0.70 mg/L 이하에서 수질상태가 유지되었으며, 평균 0.30 ± 0.19 (0.03~0.69) mg/L이었다 ([Fig. 3A]). 두 실험구 사이에서 TAN는 BFT 실험구에서 높은 경향을 보였다.

$\text{NO}_2\text{-N}$ 는 BFT 실험구에서 평균 0.27 ± 0.03 mg/L에서 시작하여 실험이 진행됨에 따라 점진적으로 증가하였고, 0.90 mg/L 이하에서 수질상태가 유지되었으며, 평균 0.44 ± 0.16 (0.18~0.89) mg/L이었다. CRS 실험구에서는 평균 0.13 ± 0.02 mg/L로 시작하여 점진적으로 증가하였고, 0.7 mg/L 이하에서 수질상태가 유지되었으며, 평균 0.31 ± 0.16 (0.01~0.68) mg/L이었다([Fig. 3B]). 두 실험구 사이에서 $\text{NO}_2\text{-N}$ 는 유사한 경향을 나타내었다.

$\text{NO}_3\text{-N}$ 는 BFT 실험구에서 평균 8.43 ± 0.12 mg/L에서 시작하여 실험이 진행됨에 따라 지속적으로 증가하였고, 종료 시에는 70.67 ± 5.51 mg/L까지 상승하였으며, 평균 76.00 ± 17.36 (6.40~76.00) mg/L이었다. CRS 실험구에서는 평균 4.20 ± 0.30 mg/L로 시작하여 천천히 증가하였고, 종료 시에는 12.07 ± 0.70 mg/L까지 상승하였으며, 평균 7.08 ± 2.49 (3.90~13.20) mg/L이었다([Fig. 3C]). 두 실험구의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 BFT 실험구에서 높은 경향을 보였다.

TSS는 BFT 실험구에서 평균 12.33 ± 0.58 mg/L에서 시작하여 실험이 진행됨에 따라 지속적으로 증가하였고, 종료 시에는 66.32 ± 7.40 mg/L까지 상승하였으며, 평균 34.17 ± 15.79 (11.00~72.00) mg/L이었다. CRS 실험구에서는 평균 3.70 ± 0.36 mg/L로 시작하여 천천히 증가하는 경향이 나타났고, 6.0 mg/L 이하에서 수질상태가 유지되었으며, 평균 4.61 ± 0.80 (3.00~6.90) mg/L이었다(Fig. 3D). 두 실험구 사이의 TSS는 BFT 실험구에서 높은 것으로 나타났다.

두 실험구 사이에서 TAN, $\text{NO}_3\text{-N}$, 및 TSS는 BFT 실험구에서 높은 값을 보였으나, $\text{NO}_2\text{-N}$ 는 유사하게 나타났다



[Fig. 3] The mean concentrations of TAN (A), $\text{NO}_2\text{-N}$ (B), $\text{NO}_3\text{-N}$ (C) and TSS (D) over time in BFT (biofloc technology) versus CRS (continuous replacement system) throughout the experiment.

3. 성장분석

BFT 실험구와 CRS 실험구에서 사육한 메기의 성장도 분석결과는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> The growth performance of *Silurus asotus* reared during 30 days experimental treatment in BFT (biofloc technology) versus CRS (continuous replacement system)

Groups	Survival Rate (%)	Initial weight (g)	Final weight (g)	Weight gain (g)	Final biomass (g)	WGR ¹ (%)	SGR ² (%)	FCR ³
BFT	98.0±1.00*	11.2±0.6 ^{ns}	23.9±2.7*	12.8±2.8*	11,996±58.8*	109.2±4.1*	2.38±0.6*	1.19±0.5*
CRS	92.4±1.20	11.1±0.5	20.8±3.0	9.7±2.9	10,378±65.2	82.1±3.2	1.93±0.2	1.45±0.7

¹WGR (weight gain rate) = (final weight-initial weight) / initial weight × 100%

²SGR (specific growth rate) = (ln final weight-ln initial weight) / days × 100%

³FCR (Feed coefficient rate) = Feed consumption / unit weight of increase

The data correspond to the mean of 3 replicates ± standard error * superscripts in the same row are significantly different(P<0.05). ns=nonsignificant

개체별 무게 증가 수치인 WG는 BFT 실험구에서 12.8±2.8g, CRS 실험구에서 9.7±2.9g, WGR은 BFT 실험구에서 109.2±4.1%, CRS 실험구에서 82.1±3.2%, SGR은 BFT 실험구에서 2.38±0.6%, CRS 실험구에서 1.93±0.2%로 나타나 메기의 성장은 CRS 실험구보다 BFT 실험구에서 빠른 것으로 확인되었다(P<0.001). FCR는 BFT 실험구에서 1.19±0.5, CRS 실험구에서 1.45±0.7로 확인되어 CRS 실험구보다 BFT 실험구에서 사료 이용성이 높은 것으로 나타났다(P<0.001).

실험 중 질병이나 수질로 인한 폐사는 발생하지 않았으나 실험 종료 후 메기 전수를 조사하여 측정된 결과 BFT 실험구에서 메기 생존율은 98.0±1.00 (97.0~99.0)%, CRS 실험구에서 메기 생존율은 92.4±1.20 (91.2~93.6)%로 나타났고, BFT 실험구에서 생존율이 더 높은 것으로 확인되었다.

IV. 결론

본 연구에서는 메기를 대상으로 전통적인 지수식 방법이 아닌 BFT를 적용한 사육실험을 통해 성장률, 사료계수 등 양식효율성이 개선되었음을 확인하였다. 실험동안 환수를 하지 않고 양식생물을 사육할 수 있는 범위에서 질소산화물을 효

과적으로 제거해 안정적인 수질관리가 가능하였다. BFT 실험구에서는 사료이용성과 메기의 생존율이 증대되어 메기를 이용한 BFT 양식의 가능성을 확인하였다.

일반적으로 BFT 양식은 양식 생물을 수조 내 입식하고 동시에 사료공급량에 맞추어 유기탄소원을 첨가하여 C:N ratio를 15~20:1로 조절해 주면서 사육관리하게 된다(Avnimelech, 1999). 그러나 BFT 물만들기와 동시에 양식생물을 사육하는 것은 입식초기에 바이오플락 생성에 따른 TAN, NO₂-N 등 어류에 치명적일 수 있는 질소화합물로 급격한 수질변화가 생길 수 있고(Crab et al., 2007; Ray et al., 2011), DO가 감소할 경우 타가 영양세균에 흡수된 TAN가 다시 수중 내로 유출되어 양식생물에 치명적일 수 있는 문제점이 있다(Avnimelech, 1999). 본 연구의 메기를 이용한 BFT 양식시스템을 이용하기 전 사육수 만들기 과정은 시간이 소요되기는 하지만 질소화합물로부터 양식생물의 피해를 감소시키고 안정적인 사육수를 제공하는 차원에서 BFT 양식을 위한 필수 과정이라고 사료된다(Choi et al., 2020)([Fig. 1]).

본 연구에서 DO는 산소발생기를 이용하여 조절하였으나 BFT 실험구가 CRS 실험구에 비해서 편차가 큰 것으로 확인되었다([Fig. 2]). 특히 BFT

실험구는 미생물의 대량 증식으로 높은 DO가 요구되기 때문에 DO의 편차가 CRS 실험구에 비해 크게 나타난 것으로 생각되며, BFT 양식을 유지하기 위해서는 안정적인 DO 공급을 위한 시설이 설치되어야 할 것으로 판단된다(Avnimelech, 2012). 또한 pH 감소 요인으로는 메기의 호흡으로 인해 수소이온(H⁺)이 생성되기 때문인데, pH에 따라 TAN와 NO₂-N에 대한 독성이 달라지므로 BFT 양식은 미생물의 원활한 활성을 위한 급격한 pH 변화 방지가 중요한 성공 요인으로 판단된다(Cho et al., 2015).

일반적으로 이온화 암모니아(NH₄⁺)는 Na⁺-K⁺ ATPase와 Na⁺/K⁺/2Cl⁻ 공동 수송에서 칼륨이온(K⁺)을 대체함으로써 신경세포의 전기화학적 교란에 의해 경련 및 사망을 유발할 수 있다(Roumieh et al., 2013). 본 연구의 실험 동안 어류에 독성을 가지는 TAN, NO₂-N는 BFT 실험구와 CRS 실험구 모두에서 1 mg/L 이하로 안정된 수질이 유지되었고, NO₃-N는 지속적으로 증가하였으나 양식생물에 치명적인 영향을 미칠 수준까지 도달하지 않았다([Fig. 3]). Bakar et al.(2015)는 아프리카 메기를 대상으로 C/N비에 따른 성장과 TAN, NO₂-N의 변화양상을 보고하였는데 최적 C/N비는 15:1로 본 실험 조건과 유사하였다. 국내 메기도 BFT에서 안정적인 사육관리를 위해서는 C/N비에 따른 실험들이 추가되어야 할 것으로 판단된다. 특히, TSS는 지속적으로 증가하였는데 이는 바이오플락이 활발하게 생성되고 있음을 의미한다. 그러나 한편으로 TSS가 너무 높아질 경우 양식생물의 호흡 및 먹이섭식 능력의 저하가 일어나게 되므로 적정량의 TSS 유지하기 위한 기술적인 보완이 필요할 것으로 생각된다(Xu et al., 2016).

틸라피아는 BFT 방식으로 사육한 결과 수중에서 생성된 부유 박테리아, 부유입자들, 바이오플락을 영양분으로 추가 섭식하였다고 하였고(Beveridge and Baird, 2000), 아프리카 메기(*Clarias gariepinus*) 치어와 틸라피아 치어에서

BFT에서 생존율이 높게 나타나고 이는 영양적인 부분의 개선에 의한 것으로 보고되었다(Ekasari et al., 2015, 2016). Luo et al.(2014)는 틸라피아를 대상으로 BFT와 RAS 방식으로 사육한 결과 BFT에서 생산량은 22%, 성장률은 28%, 사료효율은 18% 향상되었다고 하였다. 본 사육 실험 결과 BFT 실험구는 CRS 실험구보다 메기의 성장률과 사료효율에서 15% 정도 향상된 것으로 나타났는데(<Table 1>), 이는 메기가 사료 외에 사육수 내 형성된 바이오플락을 재섭식함으로써 성장률과 사료효율이 개선된 것으로 사료된다(Azim and Little, 2008; Yuan et al., 2010; Luo et al., 2014).

또한 국내 메기 양식생산성 향상을 위해 BFT 적용 방법에 있어 성장 단계별 사육 및 생존율 향상에 관한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- Asaduzzaman M, Wahab MA, Verdegem MCJ, Mondal MM and Azim ME(2009). Effect of stocking density of freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* and addition of different levels of tilapia *Oreochromis niloticus* on production in C/N controlled periphyton based system. *Aquaculture*, 286, 72~79.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.09.006>
- Avnimelech Y(1999). Carbon nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176, 227~235.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X)
- Avnimelech Y(2006). Bio-Filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquac Eng*, 34, 172~178.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.04.001>
- Avnimelech Y(2012). *Biofloc Technology-A practical Guide Book*. 2nd edn. The World Aquaculture Society, Boston Rouge, LA., 1~182.
- Avnimelech Y, De-Schryver P, Emmereciano M, Kuhn D, Ray A and Taw N(2015). Overview of aquaculture systems. In: *Biofloc Technology*. Tomasso J. ed. The world Aquaculture Society

- Press, Baton Rouge, Louisiana, LA, U.S.A., 9~20.
- Azim ME and Little DC(2008). The biofloc technology(BFT) in indoor tank: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283, 29~35.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>
- Azim ME, Little DC and Bron JE(2008). Microbial protein production in activated suspension tanks manipulating C:N ratio in feed and the implications for fish culture. *Bioresource Technology*, 99, 3590~3599.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.07.063>
- Bakar, NSA, Nasir NM, Lananan F, Hamid SHA, Lan SS and Jusoh A(2015). Optimization of C/N ratio for nutrient removal in aquaculture system culturing African catfish, (*Clarias gariepinus*) utilizing bioflocs technology. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 102, 100~106.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.001>
- Beveridge M and Baird D(2000). Diet, feeding, and digestive physiology. *Tilapias: Biology and Exploitation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 59~87.
- Buhmann AK, Waller U, Wecker B and Papenbrock J(2015). Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. *Agric. Water Manage*, 149, 102~114.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.001>
- Burford MA, Thompson PJ, McIntosh RP, Bauman RH and Pearson DC(2003). Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture*, 219, 393~411.
[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00575-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00575-6)
- Cho YR, Kim BR and Jang IK(2010). Super-intensive Culture of Whiteleg Shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), in HDPE-lined Ponds with no Water Exchange. *Korea J Fish Aquat Sci*, 43(4), 331~339.
- Cho SH, Jeong JH, Kim MH, Lee KT, Kim DJ, Kim KH, Oh SP and Han CH(2015). The Effects of Temperature on Maintaining the Stability of Water Quality in Biofloc-based Zero-water Exchange Culture Tanks. *J Life Sci*, 25(5), 496~506.
<http://dx.doi.org/10.5352/JLS.2015.25.5.496>
- Choi JY, Park JS, Kim HS, Hwang JA, Lee DG and Lee JH(2020). Assessment of water quality parameters during a course of applying biofloc technology (BFT). *J Fish Mar Sci Educ*, 32(6), 1632~1638.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2020.12.32.6.1632>
- Crab R, Avnimelech Y, Defoirdt T, Bossier P and Verstraete W(2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270, 1~14.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.006>
- Crab R, Kochva M, Verstraete W and Avnimelech Y(2009). Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquac Eng*, 40, 105~112.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.12.004>
- Ekasari J, Rivandi DR, Firdausi AP, Surawidjaja EH, Zairin M, Bossier P and De Schryver P(2015). Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture*, 441, 72~77.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.02.019>
- Ekasari J, Suprayudi MA, Wiyoto W, Hazanah RF, Lenggara GS, Sulistiani R, Alkahfi M. and Zairin M(2016). Biofloc technology application in African catfish fingerling production: The effects on the reproductive performance of broodstock and the quality of eggs and larvae. *Aquaculture*, 464, 349356.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.07.013>
- Emerenciano M, Gaxiola G and Guzon G(2013). Biofloc Technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. In *TechOpen*, 302~328.
- Food and Agriculture Organization (FAO)(2018). The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1~10.
- Kim IS(1997). Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 37. Freshwater fishes. Ministry of Education, Seoul, 320~330.
- Kim SR, Jang JW, Kim BJ, Jang IK, Lim HJ and Kim SK(2019). Urban aquaculture of catfish, *Silurus asotus*, using biofloc and aquaponics systems. *Korean J Environ Biol*, 37(4), 545~553.
<https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.37.4.545>
- Korean Statistical Information service (KOSIS)(2019). Census of Agriculture, Forestry and Fishery survey.

- Retrieved from <https://kosis.kr/index/index.do> on December 2, 2020.
- Luo G, Gao Q, Wang C, Liu W, Sun D, Li L and Tan H(2014). Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, 422, 1~7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.11.023>
- Mariscal-Lagarda MM, Páez-Osuna F, Esquer-Méndez JL, Guerrero-Monroy I, Vivar AR and Félix-Gastelum R(2012). Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: management and production. *Aquaculture*, 366, 76~84. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.09.003>.
- Neal RS, Coule SD and Tidwell JH(2010). Evaluation of stocking density and light level on the growth and survival of the Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared in zero-exchange systems. *J World Aquac Soc*, 41, 533~544. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2010.00393.x>
- Ray AJ, Dillon KS and Lotz JM(2011). Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquac Eng*, 45, 127~136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.09.001>
- Rijn J(2013). Waste treatment in recirculation aquaculture systems. *Aquac Eng*, 53, 49~56. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.010>.
- Roumieh R, Barakat A, Abdelmeguid NE, Ghanawi J and Saoud IP(2013). Acute and chronic effects of aqueous ammonia on marbled spinefoot rabbitfish, *Siganus rivulatus* (Forsskal 1775). *Aquacult Res*, 44, 1777~1790. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03188.x>.
- United Nations (UN)(2017). World population prospects 2017. Economic and Social Affairs, United Nations, New York, 1~19.
- Vinatea L, Malpartida J, Carbo R, Andree KB, Gisbert E and Estevez AI(2018). A comparison of recirculation aquaculture systems versus biofloc technology culture system for on-growing of fry of *Tinca tinca* (Cyprinidae) and fry of grey *Mugil cephalus* (Mugilidae). *Aquaculture*, 482, 155~161. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.09.041>
- Xu WJ, Morris TC and Samocha TM(2016). Effects of C/N ratio on biofloc development water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. *Aquaculture*, 453, 169~175. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.021>
- Yuan D, Yi Y, Yakupitiyage A, Fitzimmons K, and Diana JS(2010). Effects of addition of red tilapia (*Oreochromis* spp.) at different densities and sizes on production, water quality and nutrient recovery of intensive culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in cement tanks. *Aquaculture*, 298, 226~238. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.011>

-
- Received : 20 January, 2021
 - Revised : 22 February, 2021
 - Accepted : 11 March, 2021