

바이오플락과 우수식 시스템에서 메기(*Silurus asotus*) 배합사료내 단백질 함량에 따른 성장도 및 수질 비교 연구

정해승 · 박준성 · 김형수 · 이동길 · 황주애*

국립수산과학원 첨단양식실증센터

Comparison of Dietary Protein Levels on Growth Performance of Far Eastern Catfish *Silurus asotus* and Water Quality in Biofloc Technology and Flow-through Systems

Hae Seung Jeong, Jun Seong Park, Hyeong Su Kim, Dong-Gil Lee and Ju-ae Hwang*

Advanced Aquaculture Research Center, National Institute of Fisheries Science, Changwon 51688, Republic of Korea

Biofloc technology (BFT) systems provides an additional protein source for fish by converting waste in microbial flocs. Therefore, we aimed to determine the difference in the protein levels of the diet of Far Eastern catfish *Silurus asotus* reared in BFT and FW systems. We applied a two-way (six protein levels $\times$ two aquaculture systems) ANOVA design. We formulated six experimental diets to contain different protein levels (CPs)– 20%, 25%, 30%, 35%, 40% and 45%–referred to as the CP20, CP25, CP30, CP35, CP40 and CP45 diets, respectively. We randomly distributed 900 fish into 36 (18 each for BFT and FW), 300 L tanks (25 fish/tank) with three replications of each diet for 4 weeks. The weight gain (WG) and specific growth rate (SGR) considerably improved as the dietary protein level increased in the formulated diets. The BFT fish showed higher growth performance with any experimental diet than the FW fish. The growth performance of the fish fed the BFT-CP35 diet was higher than that of the fish fed the FW-CP45 diet. In conclusion, the cultivation of Far Eastern catfish (*S. asotus*) in BFTs can be carried out under reduced dietary protein levels.

Keywords: Far Eastern catfish, Biofloc technology, Fresh water, Protein levels, Water quality

서 론

세계적으로 인구의 지속적인 증가로 인해 단백질을 대체할 수산식품에 대한 수요가 늘어나고 있다(FAO, 2020). 수산물의 늘어나는 수요를 충족하기 위해 과거 세계 내수면 어획에 의한 생산량은 1986년부터 1995년까지 평균 640만톤에서 2018년 1,200만톤으로 증가한 반면에 세계 내수면 양식에 의한 생산량은 1986년부터 1995년까지 평균 860만톤에서 2018년 평균 5,130만톤으로 급격히 증가하여 내수면 양식업의 중요성이 점점 대두되고 있다(FAO, 2020). 하지만, 이러한 양식업의 성장은 양식과정에서 생성되는 배출수로 인한 수생 생태계의 파괴는 국제적인 환경 규제의 강화로 이어지고 있다(Cripps and Bergheim, 2000; Pillay, 2004). 수산양식업에서 발생하는 환경

오염에 대한 우려는 친환경적인 양식의 요구를 증대시키고 있으며, 이러한 요구를 충족하기 위한 새로운 생산방법으로 바이오플락(biofloc technology, BFT) 양식이 주목받고 있다(Crab et al., 2012). BFT 양식은 2000년대 도입된 사육수의 재순환 양식방법으로 양식과정중 생성되는 양식생물의 배설물 및 사료찌꺼기를 타가영양성 미생물을 이용하여 제거함으로써 사육수를 버리지 않고 지속적으로 사용할 수 있는 친환경·첨단 양식기술이다(Azim and Little, 2008; Khanjani and Sharifinia, 2020). BFT 양식은 외부 질병 유입으로부터 안전하며, 사육수 내 생성되는 floc을 수산생물이 다시 섭식하게 함으로써 사료비를 절감할 수 있고, 환경 규제로부터 자유로우면서 양식생산성을 높일 수 있는 기술이다(Lee, 2018; Lee et al., 2019). 국내 내수면 양식 대상 어종에서 뱀장어, 메기, 송어는 주요 품종이며,

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 540. 2740 Fax: +82. 55. 546. 6292

E-mail address: hjuae1031@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0541>

Korean J Fish Aquat Sci 55(5), 541-548, October 2022

Received 7 August 2022; Revised 1 September 2022; Accepted 13 October 2022

저자 직위: 정해승(연구사), 박준성(연구원), 김형수(연구사), 이동길(연구관), 황주애(연구사)

특히 메기 경우 전 세계적으로 BFT에 많이 적용된 어종이다 (Avnimelech et al., 2015). 메기(*Silurus asotus*)는 메기목 메기과의 민물고기로서, 국내 하천 또는 호수의 진흙 바닥이나 늪에 살고, 매운탕이나 찜의 재료로 인기가 많으며, 특히 단백질 및 비타민 함량이 풍부하여 당뇨병 및 빈혈에 효과가 있다. 2021년 국내 메기 양식생산량은 3,783톤으로 국내 내수면 어류 양식생산량의 약 11%를 차지하고 있으며, 뱀장어 다음으로 높은 생산량을 차지한다(KOSIS, 2022). 어류에 있어 사료 내 영양소와 에너지원 섭취는 성장 속도와 사료 이용성에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이다(Kim et al., 2013). 특히, 배합사료 내 단백질은 성장에 직접적으로 영향을 미치는 가장 중요한 요소이며, 단백질 원료의 가격이 비싸기 때문에 사료 단가에도 영향을 미칠 수 있다(Lovell, 1989). 따라서 경제적인 배합사료 개발을 위해 사료 내 단백질 함량은 중요하게 고려되어야 할 사항이다(Kim et al., 2013). 과거 메기(*Parasilurus asotus*) 치어를 유수식 시스템에서 8주 동안 사육 실험한 결과 메기 치어용 배합사료 내 적정 단백질함량은 약 45%인 것으로 보고된 바 있다(Kang and Jeong, 1993).

일반적으로 BFT 시스템에서 양식생물을 사육할 경우 사육수 내 미생물이 단백질로서 활용이 되기 때문에 몇몇 어종에서 사료내 단백질 함량을 감소시키는 것으로 보고된 바 있다(Silva et al., 2018; Hisano et al., 2019). Jatobá et al. (2014)은 흰다리 새우사료내 단백질함량을 24.3%, 30.3%, 32.9% 그리고 36.7%으로 각각 제조하여 BFT 시스템과 축제식 시스템을 비교 연구한 결과 모든 단백질 함량에서 BFT 시스템에서 사육한 흰다리 새우가 축제식 시스템에서 사육한 흰다리 새우보다 높은 성장률을 나타냈다. 과거 메기 치어를 BFT 시스템에서 5주 동안 사육실험한 결과 메기 치어용 배합사료 내 적정 단백질 함량은 34~38%인 것으로 나타났다(Khasanah et al., 2017). 그러나 유수식 시스템과 BFT 시스템에서의 메기 배합사료 내 적정 단백질 함량에 따른 비교 연구는 보고된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 BFT 시스템에서 메기 배합사료 내 단백질함량이 메기의 성장, 사료이용성 및 수질에 미치는 영향을 유수식 시스템과 비교 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료 및 실험 디자인

실험사료는 국립수산물과학원 양식산업연구부 사료연구센터에서 제조하였으며, 실험사료의 원료조성, 일반성분 분석결과는 Table 1에 나타내었다. 단백질(20, 25, 30, 35, 40 및 45%) 함량을 달리하여 총 6종류의 실험사료를 제조하였다. 실험사료의 단백질원으로는 어분, 대두박, 수지박과 가금부산물물을 사용하였고, 탄수화물원으로는 밀 글루텐, 전분, 소맥분을 사용하였으며, 지질원으로는 대두유를 사용하였다. 각 실험사료는 사육실험 4주간 1일 2회(09:00, 17:00) 손으로 만복으로 공급하였다.

실험어 및 사육조건

실험어는 국립수산물과학원 첨단양식실증센터에서 종자 생산하여 BFT 시스템에서 사육한 개체를 사용하였으며, 실험하기 전까지 4주간 예비사육을 통해 사육실험 환경에 적응시켰다. 마린당 평균 80.0 g의 메기를 36개의 320 L 사각수조(수량, 200 L)에 각각 25마리씩 3반복으로 배치하였고, 사육실험은 4주 동안 진행되었다. 유수식 실험구는 지하수를 사용했으며, 200 L/day로 유수량을 조절하였고, 사육수 순환과 용존산소(dissolved oxygen, DO)를 유지하기 위해 에어스톤을 설치하였다. BFT 실험구에서는 지하수를 공급하지 않고, 1주일 1회 전체 사육수의 20%를 제거한 후 지하수를 추가하여 환수해 주었으며, 산소 발생기를 통해 직접 산소를 공급해 주었다.

수질특성 분석

사육수의 수질 분석을 위해 실험 기간 동안 매일 DO (mg/L), pH, 수온(°C)을 측정하였으며, 질소산화물인 암모니아($\text{NH}_4^+\text{-N}$), 아질산($\text{NO}_2^-\text{-N}$), 질산($\text{NO}_3^-\text{-N}$)을 주 2회 측정하였다. DO, pH, 수온은 다목적 수질 측정기(YSI-556MPS; YSI Inc., Yellow Springs, OH, USA)를 사용하였고, 암모니아, 아질산, 질산은 분석시약(Merck Inc., Darmstadt, Germany)과 분광광도계(PROVE 600, Merck inc.) 이용한 비색법으로 분석하였다.

어체측정 및 성분분석

4주간의 사육실험 종료시 측정 전 24시간 절식한 후, tricaine methanesulfonate (MS-222; Sigma-Aldrich, St. Louis, MI, USA) 용액 100 ppm으로 마취시켜 각 실험구의 최종무게를 측정하였다. 실험사료의 일반성분분석은 AOAC (1990) 표준 분석 방법에 따라 수분은 105°C dry oven (JSON-250; JS Research, Gongju, Korea)에서 24시간 건조 후 측정하였으며, 조단백질은 auto kjeldahl system (Kjeltec 2100 Distillation Unit; Foss tecator, Hoganas, Sweden)을 사용하여 분석하였다. 조지질은 조지질추출기(Soxtec TM 2043 Fat Extraction System; Foss tecator)를 사용하여 ether로 추출한 후 측정하였으며, 조회분은 550°C 회화로에서 4시간 회화 후 측정하였다.

통계분석

Two-way ANOVA-test [6 (배합사료내 단백질함량; 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%) × 2 (사육 시스템; BFT, 유수식)]와 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로써 SPSS 24 program (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 실험구 평균간의 유의성을 검정하였다. 백분율 데이터는 arcsine 변형값으로 계산하여 통계 분석하였다.

결과 및 고찰

성장도 분석

BFT 및 유수식 사육조건에서 단백질 함량을 달리하여 4주간 사육 시 메기의 생존율, 어체중 증가, 일일성장률, 사료효율(feed efficiency ratio, FER) 및 단백질전환효율(protein efficiency ratio, PER)을 Table 2에 나타내었다.

사육 기간 동안 모든 실험구의 생존율은 100%로 실험구간에 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$). 어체중 증가와 일일성장률은 양식 시스템에서 유의한 영향을 받은 것으로 나타났으며($P<0.001$), BFT 시스템을 이용하여 사육한 실험구에서 유수식 시스템에서 사육한 실험구 보다 모든 실험구에서 어체중 증가와 일일성장률이 증가되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 BFT 시스템이 어류의 성장에 영향을 미친다는 많은 연구 결과와 유사하게 나타났다(Moriarty, 1999; Rengpipat et al., 2000, 2003; Kim et al., 2015; Liu et al., 2019; Wang and Gu, 2010). Hisano et al. (2019)은 나일 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)

와 큰징거미새우(*Macrobrachium rosenbergii*)를 대상으로 2×2 factorial design (BFT 시스템과 및 순환여과방식 vs 단일양식 및 복합양식)을 적용하여 실험한 결과, 순환여과방식을 적용한 실험구보다 BFT 시스템을 적용하여 단일양식 및 복합양식을 이용한 실험구에서 평균 무게 및 FER이 높다고 보고하였다. 또한, Liu et al. (2019)은 기벨리오 붕어(*Carassius auratus-gibelio*) 및 잉어(*Cyprinus carpio*)를 일반 야외 양식장에서 못양식(pond water) 및 BFT 시스템을 적용하여 실험한 결과 일일성장률은 가벨리오 붕어에서 BFT (1.98 ± 0.15 %/day)가 일반 못양식(1.37 ± 0.15 %/day)보다 높게 나타났으며, 잉어는 BFT (2.78 ± 0.09 %/day)가 일반 못양식(2.35 ± 0.10 %/day)보다 높게 나타나 본 연구와 유사한 연구 결과를 나타냈다.

BFT 시스템에서 성장률 증가의 원인은 BFT가 수생생물에게 추가적인 먹이 공급원이 되었고(Burford and Lorenzen, 2004;

Table 1. Ingredient and chemical composition of the experimental diets (% of dry matter basis)

	Experimental diet					
	CP20	CP25	CP30	CP35	CP40	CP45
Ingredients (%)						
Fishmeal ¹	18.10	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Soybean meal ¹	0.00	1.20	5.50	10.00	14.10	18.50
Tankage meal ¹	0.00	0.00	2.50	5.00	7.50	10.00
Poultry by-product meal ¹	0.00	0.00	2.50	5.00	7.50	10.00
Wheat gluten ¹	0.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Starch ¹	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
Wheat flour	57.50	50.10	42.20	34.15	26.50	18.50
Vitamin C	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Vitamin E	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Vitamin mix ²	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mineral mix ³	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
MCP ⁴	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50
Choline	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Soybean oil	6.90	6.70	6.30	5.85	5.40	5.00
Cellulose	2.00	2.00	1.50	1.00	0.50	0.00
Nutrients (%)						
Dry matter	90.75	90.99	91.39	91.79	92.17	92.58
Crude protein	20.04	25.03	30.02	35.10	40.01	45.04
Crude lipid	10.03	10.01	10.05	10.04	10.04	10.08
Ash	5.90	5.72	6.00	6.30	6.57	6.87

¹Fishmeal, soybean meal, poultry by-product meal, wheat gluten and starch were purchased from The Feed Co. Ltd. (Seoul, Korea). ²Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003. ³Mineral premix contained the following ingredients (g/kg mix): $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 80.0; $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$, 370.0; KCl, 130.0; ferric citrate, 40.0; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, 0.15; KI, 0.15; $Na_2Se_2O_3$, 0.01; $MnSO_4 \cdot H_2O$, 2.0; $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, 1.0. ⁴Mono calcium phosphate.

Burford et al., 2004), 소화관내의 세균총(bacterial flora)의 변화로 인한 소화흡수율의 증가에 의한 것으로 보고된 바 있다(Venkat et al., 2004; Yousefian and Amiri, 2009). 또한, 메기용 배합사료내 단백질 함량에 따라 어체중 증가와 일일성장률은 유의한 영향을 받았으며($P<0.001$), 메기용 배합사료내 단백질 함량이 늘어날수록 어체중 증가와 일일성장률이 증가되는 것으로 나타났다. 이는 사료내 단백질 함량이 사육생물의 성장에 영향을 미친다는 많은 연구 결과와 유사하게 나타났다(Kang and Jeong, 1993; Lee et al., 2000; Seo et al., 2008). 또한, 일반적으로 사료내 단백질 함량이 증가하면 어류의 성장이 향상되는 것으로 알려져 있으며(NRC, 1993), Lee et al. (2000)은 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 치어용 배합사료내 단백질을 30%, 40% 및 50%로 각각 설정하여 사육실험한 결과 단백질 함량이 높을수록 증체량 및 FER이 높게 나타났다고 보고하였다.

기존의 메기(*P. asotus*) 단백질 요구량 실험(Kang and Jeong, 1993)에서 사료내 단백질 함량이 증가할수록 메기의 성장이 향상되어 45% 실험구에서 가장 높은 성장을 보였으며, 본 연구에서도 메기 사료내 단백질 함량이 20%에서 45%로 증가함에 따라 메기의 성장이 증가하였고, 사료내 단백질 함량이 45%인 사료를 공급한 실험구에서 가장 높은 성장을 나타냈다. 또한, 동일한 단백질 함량을 가진 배합사료를 공급하였을 때 모든 실험구에서 BFT 시스템의 성장이 유수식 시스템보다 높게 나타났다. 특히, BFT 시스템에서 사료내 단백질함량이 25%인 사료를

공급한 BFT-CP25 실험구의 어체중 증가가 유수식 시스템에서 단백질 45%인 사료를 공급한 FW-CP45 실험구와 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 이와 같은 결과는 사육수내 미생물이 단백질로서 활용이 되기 때문에 사료내 단백질 함량을 감소시킬 수 있다는 다른 연구 결과와 유사하게 나타났다.

사료 이용성 분석

4주간의 사육실험 종료시 메기의 FER과 PER은 Table 2에 나타내었다. FER 및 PER은 사육수의 조건에서 유의한 영향을 받은 것으로 나타났으며($P<0.001$), BFT 시스템을 이용하여 사육한 실험구에서 유수를 이용하여 사육한 실험구 보다 FER 및 단백질 전환효율이 증가되는 것으로 나타났다.

특히, BFT 시스템에서 사료내 단백질 함량이 30%인 사료를 공급한 실험구가 유수식 시스템에서 단백질 함량을 40% 공급한 실험구보다 성장률과 FER이 높았다. 이와 같은 결과는 BFT 시스템에서 양식생물을 사육할 경우 사육수내 미생물을 생물이 다시 섭취함으로써 단백질로서 활용이 되기 때문에 사료내 단백질 함량을 절감할 수 있다는 연구 결과와 일치하였다(Silva et al., 2018; Hisano et al., 2019). 배합사료 내 단백질은 성장에 직접적으로 영향을 미치는 가장 중요한 요소이며, 단백질 원료의 가격이 비싸기 때문에 BFT 시스템에서 사육시 유수식 시스템에서 사육하는 경우보다 사료 단가를 절감할 수 있을 것으로 사료된다(Lovell, 1989).

메기용 배합사료내 단백질 함량에 따라 FER 및 PER은 유의

Table 2. Growth performance of fish fed the experimental diets in biofloc technology system and flow-through system for 4 weeks

Experimental diet	Initial weight (g/fish)	Survival (%)	Weight gain (g/fish)	SGR ¹ (%/day)	FER ²	PER ³
FW-CP20	80.0±0.01	100.0±0.0	25.2±1.32 ^f	0.98±0.040 ^f	0.94±0.010 ^e	1.87±0.100 ^{cde}
FW-CP25	80.0±0.02	100.0±0.0	37.9±1.33 ^e	1.38±0.043 ^e	1.05±0.012 ^d	2.25±0.083 ^{ab}
FW-CP30	80.0±0.06	100.0±0.0	40.0±2.17 ^{de}	1.45±0.064 ^{de}	1.07±0.011 ^d	1.98±0.104 ^{bcd}
FW-CP35	80.0±0.02	100.0±0.0	42.5±3.28 ^{de}	1.52±0.093 ^{de}	1.09±0.029 ^{cd}	1.80±0.139 ^{cde}
FW-CP40	80.0±0.07	100.0±0.0	44.7±1.63 ^{cd}	1.58±0.050 ^{cd}	1.11±0.015 ^{bcd}	1.66±0.064 ^{de}
FW-CP45	80.0±0.06	100.0±0.0	46.4±1.45 ^{bcd}	1.63±0.049 ^{bcd}	1.13±0.015 ^{abcd}	1.53±0.051 ^e
BFT-CP20	80.0±0.04	100.0±0.0	29.1±2.84 ^f	1.11±0.091 ^f	0.96±0.046 ^e	2.16±0.217 ^{bc}
BFT-CP25	80.0±0.03	100.0±0.0	42.9±2.73 ^{cde}	1.53±0.082 ^{cde}	1.10±0.027 ^{bcd}	2.55±0.168 ^a
BFT-CP30	80.0±0.08	100.0±0.0	45.5±1.02 ^{cd}	1.61±0.030 ^{bcd}	1.12±0.012 ^{bcd}	2.25±0.055 ^{ab}
BFT-CP35	80.0±0.10	100.0±0.0	49.5±1.11 ^{bc}	1.72±0.031 ^{bc}	1.16±0.012 ^{abc}	2.10±0.051 ^{bc}
BFT-CP40	80.0±0.06	100.0±0.0	52.4±2.31 ^b	1.80±0.061 ^{ab}	1.17±0.017 ^{ab}	1.95±0.090 ^{bcd}
BFT-CP45	80.0±0.04	100.0±0.0	59.0±1.90 ^a	1.97±0.050 ^a	1.19±0.026 ^a	1.95±0.064 ^{bcd}
Two-way ANOVA						
System			P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Protein level			P<0.001	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Interaction			P>0.377	P>0.573	P>0.879	P>0.986

¹Specific growth rate (SGR)=(ln final weight of fish-ln initial weight of fish)×100/days of feeding trial. ²Feed efficiency ratio (FER)=Weight gain of fish/feed supply. ³Protein efficiency ratio (PER)=Weight gain of fish/protein supplied. Values (means of triplicate±SE) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($P>0.05$).

한 영향을 받았으며($P<0.001$), 메기용 배합사료내 단백질 함량이 늘어날수록 FER은 증가되는 것으로 나타났다. 특히, BFT 시스템에서 배합사료내 단백질 함량 25%인 사료를 공급한 BFT-CP25 실험구의 FER이 유수식 시스템에서 배합사료내 단백질 함량 45%인 사료를 공급한 FW-CP45 실험구의 FER과 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 따라서 BFT 시스템을 적용하여 사육할 경우 유수식 시스템에서 사육할 경우에 비교해서 사료내 단백질 함량을 절약할 수 있을 것으로 판단된다.

PER은 배합사료내 단백질 함량이 25% 사료를 공급한 실험에서 가장 높게 나타났고 배합사료내 단백질 함량이 늘어날수록 감소되는 것으로 나타났다. 어중에 따른 PER은 가자미(*Pleuronectes platessa*), 가물치(*Ophicephalus argus*)의 경우 단백질 함량이 40%일 때 가장 높은 값을 나타냈고, 그 이상의 단백질 함량을 증가하면 감소한 것으로 보고하였다(Cowey et al., 1972; Wee and Tacon, 1982). 반면에, Kang and Jeong (1993)은 메기 사료내 단백질 25~55% 범위에서 단백질 함량이 낮을수록 높은 값을 나타내어 본 실험 결과와 유사하게 나타났다. BFT 시스템에서 틸라피아를 사육했을 때 배합사료내 단백질 함량이 낮을수록 PER이 높게 나타났으며, 이는 어류의 배합사료내 단백질 함량이 높을수록 암모니아 형태로의 단백질 배출이 증가하기 때문에 PER이 낮은 것으로 보고하였다(Silva et al., 2018). 또한, BFT 시스템에서 사육수내 미생물을 생물이 다시 섭식함으로써 단백질로서 활용이 되기 때문에 PER이 유수식 시스템보다 높게 나온 것으로 사료된다(Silva et al., 2018; Hisano et al., 2019).

수질분석

4주간의 사육실험 동안 사육수조의 DO, pH 및 수온($^{\circ}\text{C}$)을 측정한 결과는 Table 3에 나타냈으며, 유수식에서 DO는 모든 실험구에서 5.2 ± 0.21 mg/L 이상으로 나타났고, BFT 시스템을 적용한 모든 수조에서는 9.2 ± 0.20 mg/L 이상의 용존 산소량이 나타났다. pH는 유수식 시스템을 적용한 모든 실험구에서 6.9 ± 0.35 이상의 pH값이 나타났고, BFT 시스템을 적용한 모든 실험구에서 5.1 ± 0.38 이상의 pH값을 나타냈다. 수온은 모든 실험구에서 $23.4\pm0.96^{\circ}\text{C}$ 이상의 수온을 나타냈다.

Choi et al. (1992)은 체중 20.68 ± 5.64 g의 메기(*S. asotus*)를 3.5, 4.5 및 5.5 ppm DO 조건에서 사육했을 경우 3.5 ppm의 사육조건에서도 메기의 성장이 가능하다고 보고된 바 있으며, 본 실험의 모든 실험구에서 5.15 ppm이상의 DO를 나타내어 사육실험 기간동안 충분한 양의 산소가 공급되었다고 판단된다.

또한, 어류의 경우 종마다 다르지만, pH 4.0 이하에서는 생존하지 못하며 pH 5.0에서 pH 9.0 범위에서 사육 가능하고 pH 11 이상에서는 폐사체가 발생한다는 연구결과가 보고된 바 있다(Thorarinsdottir, 2015). 본 실험에서 모든 실험구는 pH 5.02 이상의 값을 나타내어 메기의 사육 가능 pH 범위에서 사육실험이 진행되었다.

양식생물의 단백질 대사과정 및 사료 찌꺼기의 유기물 분해에 의해서 암모니아가 생성되며, 암모니아는 질화과정에 의해서 산화되어 아질산이 생성된다. 또한, 암모니아 및 아질산이 사육수 중에 축적되면 양식어류에 치명적인 피해를 준다(Schoore et al., 1995). 4주간의 사육실험 동안 암모니아(NH_4^+-N), 아질산(NO_2^--N) 및 질산(NO_3^--N)을 측정된 결과를 각각 Fig. 1, Fig. 2 및 Fig. 3에 나타냈으며, NH_4^+-N 는 모든 실험구에서 4.520 mg/L 이하의 측정값을 나타냈으며, NO_2^--N 는 모든 실험구에서 0.890 mg/L 이하의 측정값을 나타냈고, NO_3^--N 은 44.9 mg/L 이하의 측정값을 나타냈다.

동자개 치어(평균 체중 15.0 ± 0.23 g)의 경우 pH가 높을수록 NH_4^+-N 의 급성 독성이 높게 나타났으며, pH가 6.12 ± 0.51 에서 96시간 동안 NH_4^+-N 을 48.92 mg/L 농도에서 급성 독성 조건에 노출시 폐사율은 0%가 나타났다(Sohn et al., 2015a). 사육실험이 진행됨에 따라 BFT 시스템에서의 NH_4^+-N 농도가 유수식 시스템보다 높게 나타나는 경향이 나타났으나, BFT으로 인한 수질정화가 잘 일어난 것으로 판단되며, NH_4^+-N 에 의한 부정적인 영향이 적었을 것으로 판단된다.

반면에 NO_2^--N 는 pH가 낮을수록 NO_2^--N 의 급성 독성은 높게 나타났으며, pH 6.18 ± 0.54 및 NO_2^--N 12.4 mg/L 조건에서 96시간 동안 노출시 20%의 폐사율을 나타냈으나, 본 실험에서는 모든 실험구에서 0.890 mg/L 이하의 측정값을 나타냈으므로 NO_2^--N 에 의한 부정적인 영향이 적었을 것으로 판단된다.

Table 3. Water quality (DO, pH, temperature) of biofloc technology system and flow-through system (Mean $\pm$ SD)

Experimental diet	DO ¹ (mg/L)	pH	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)
FW-CP20	5.8 ± 0.75^b	6.9 ± 0.10^a	23.7 ± 1.55
FW-CP25	5.6 ± 0.55^b	6.9 ± 0.35^a	23.8 ± 0.85
FW-CP30	5.9 ± 0.55^b	6.9 ± 0.15^a	23.7 ± 0.68
FW-CP35	5.3 ± 0.35^b	6.9 ± 0.06^a	23.4 ± 0.96
FW-CP40	5.2 ± 0.21^b	6.9 ± 0.30^a	23.4 ± 0.45
FW-CP45	5.3 ± 0.31^b	6.9 ± 0.35^a	23.7 ± 1.01
BFT-CP20	9.9 ± 0.44^a	5.3 ± 0.25^b	23.7 ± 0.83
BFT-CP25	9.9 ± 0.30^a	5.2 ± 0.21^b	23.7 ± 1.15
BFT-CP30	9.2 ± 0.15^a	5.1 ± 0.38^b	23.7 ± 0.74
BFT-CP35	9.9 ± 0.40^a	5.3 ± 0.25^b	23.8 ± 0.36
BFT-CP40	9.5 ± 0.36^a	5.3 ± 0.31^b	23.7 ± 0.60
BFT-CP45	9.2 ± 0.20^a	5.3 ± 0.25^b	23.5 ± 0.50
Two-way ANOVA			
System	$P<0.001$	$P<0.001$	$P>0.835$
Protein levels	$P>0.162$	$P>0.989$	$P>0.998$
Interaction	$P>0.246$	$P>0.999$	$P>0.989$

¹Dissolved oxygen. Values (means of triplicate $\pm$ SD) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different ($P>0.05$).

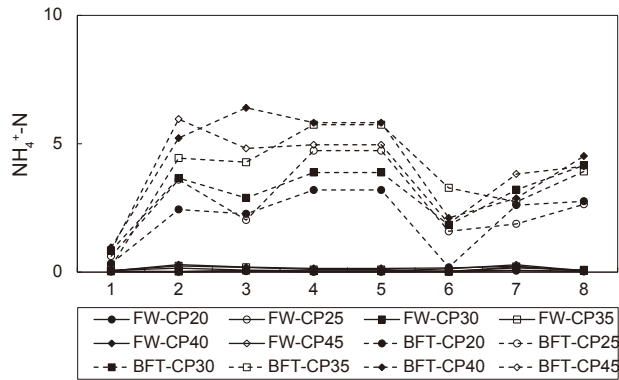


Fig. 1. Changes of water quality ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) of biofloc technology and flow-through system for 4 weeks.

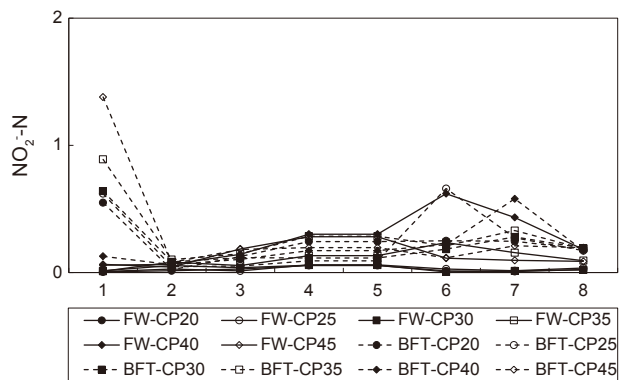


Fig. 2. Changes of water quality ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) of biofloc technology and flow-through system for 4 weeks.

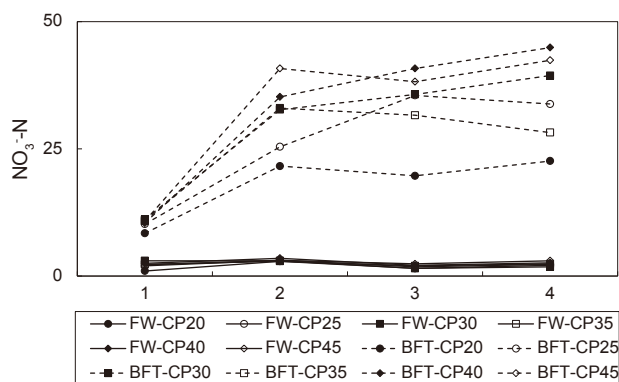


Fig. 3. Changes of water quality ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) of biofloc technology and flow-through system for 4 weeks.

(Sohn et al., 2015b).

이상의 결과에서 사육 시스템과 상관없이 배합사료내 단백질 함량이 45%인 사료를 공급했을 때 메기의 성장에 효과적인 것

으로 판단된다. 또한, 본 연구를 통해 내수면 주요 양식 품종인 메기는 실내 BFT 시스템을 적용할 경우 유수식 시스템에서 사육할 때보다 사료내 단백질 함량을 감소시킬 수 있어 경제적이다, 빠른 성장과 안정적인 수질 유지로 사육기간을 줄이고 생산성을 향상시켜 어민 소득증대에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 성과는 국립수산물과학원 수산과학시험연구과제 '바이오플락을 이용한 담수양식기술개발(R2022015)'의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

- AOAC (Association of Official Analytical chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington, VA, U.S.A.
- 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. Te 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 tanks: 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>.
- Burford MA and Lorenzen K. 2004. Modeling nitrogen dynamics in intensive shrimp ponds: the role of sediments remineralization. Aquaculture 229, 129-145. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00358-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00358-2).
- Burford MA, Thompson PJ, McIntosh RP, Bauman RH and Pearson DC. 2004. The contribution of floc-cultured material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high intensity, zero exchange system. Aquaculture 232, 525-537. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00541-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00541-6).
- Choi GC, Kim DS, Jo J and Kim J. 1992. Induced breeding and indoor culture of the catfish, *Silurus asotus* (Teleostomi:Siluridae). J Aquac 5, 117-126.
- Cowey CB, Pope JA, Adron JW and Blar A. 1972. Studies on the nutrition of marine flatfish. The protein requirement of plaice (*Pleuronectes platessa*). Br J Nutr 28, 447-456. <https://doi.org/10.1079/bjn19720055>.
- Crab R, Defoirdt T, Bossier P and Verstraete W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. Aquaculture 365-357, 351-356. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>.
- Cripps SJ and Bergheim A. 2000. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. Aquac Eng 22, 33-56. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(00\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(00)00031-5).

- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics* 11, 1-42. <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture. Sustainability in action. Rome, Italy, 1-244. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.
- Hisano H, Barbosa PTL, Hayd LA and Mattioli CC. 2019. Evaluation of Nile tilapia in monoculture and polyculture with giant freshwater prawn in biofloc technology system and in recirculation aquaculture system. *Int Aquat Res* 11, 335-346. <https://doi.org/10.1007/s40071-019-00242-2>.
- Jatobá A, Silva BC, Silva JS, Vieira FN, Mouriño JLP, Seiffert WQ and Toledo TM. 2014. Protein levels for *Litopenaeus vannamei* in semi-intensive and biofloc system. *Aquaculture* 432, 365-371. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.005>.
- Kang S and Jeong W. 1993. Optimum protein levels in diet for fingerling Korean catfish, *Parasilurus asotus*. *J Aquac* 6, 47-53.
- Khanjani MH and Sharifinia M. 2020. Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. *Rev Aquac* 12, 1836-1850. <https://doi.org/10.1111/raq.12412>.
- Khasanah NR, Utomo NBP, Setiawati M and Yuhana M. 2017. The evaluation of different levels diets protein for growth performance of *Clarias* sp. fry cultured in biofloc-based system. *Indones Aquac J* 16, 136-143. <https://doi.org/10.19027/jai.16.2.136-143>.
- Kim K, Kim JD, Kim K, Son MH and Han HS. 2013. Influence of dietary beef tallow and dextrin on the growth and body composition of juvenile far eastern catfish *Silurus asotus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 46, 310-314. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0310>.
- Kim M, Min EY, Koo J and Kang J. 2015. Effects of Bio-floc system on growth and environmental improvement in the Chinese white shrimp *Fenneropenaeus chinensis*. *Korean J Fish Aquat Sci* 48, 688-695. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2015.0688>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2022. Status of Fish Culture. Retrieved from <https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do> on Jul 10, 2022.
- Lee D, Kim J, Lim S, Kim D, Kim K, Kim J and Kim J. 2019. Comparative study on growth and yield of far eastern catfish *Silurus asotus* and leafy vegetables grown in hybrid BFT-aquaponics, semi-RAS and hydroponics. *Korean J Fish Aquat Sci* 52, 482-495. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0482>.
- Lee JH. 2018. Abstr Annu Meet Korean Soc Fish Aquat Sci 354.
- Lee S, Cho SH and Kim K. 2000. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *J World Aquac Soc* 31, 306-315. <http://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2000.tb00882.x>.
- Liu H, Li H, Wei H, Zhu X, Han D, Jin J, Yang Y and Xie S. 2019. Biofloc formation improves water quality and fish yield in a freshwater pond aquaculture system. *Aquaculture* 506, 256-269. <http://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.031>.
- Lovell RT. 1989. Nutrition and Feeding of Fish. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, U.S.A.
- Moriarty DJW. 1999. Disease control in shrimp aquaculture with probiotic bacteria. In: Proceedings of the 8th International Symposium on Microbial Ecology. Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, Canada, 237-243.
- NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., 114.
- Pillay TVR. 2004. Aquaculture and the Environment, 2nd Edn. Blackwell Publishing, Hoboken, NJ, U.S.A., 1-208.
- Rengpipat S, Rukpratanporn S, Piyatiratitivorakul S and Menasaveta P. 2000. Immunity enhancement in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) by a probiotic bacterium (Bacillus S11). *Aquaculture* 191, 271-288. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00440-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00440-3).
- Rengpipat S, Tunyamum A, Fast AW, Piyatiratitivoraku S and Menasaveta P. 2003. Enhanced growth and resistance to vibrio challenge in pond-reared black tiger shrimp *Penaeus monodon* fed a Bacillus probiotic. *Dis Aquat Org* 55, 169-173. <https://doi.org/10.3354/dao055169>.
- Schoore J, Simco B and Davis K. 1995. Responses of blue catfish and channel catfish to environmental nitrite. *J Aquat Anim Health* 7, 304-311. [https://doi.org/10.1577/1548-8667\(1995\)007<0304:ROBCAC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8667(1995)007<0304:ROBCAC>2.3.CO;2).
- Seo JY, Choi J, Kim G, Cho S, Park HG and Lee S. 2008. Effects of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of juvenile sea cucumber *Stichopus japonicus*. *J Aquaculture* 21, 19-25.
- Silva M, Alvarenga E, Alves G, Manduca L, Turra E, Brito T, Sales S, Silva A, Borges W and Teixeira E. 2018. Crude protein levels in diets for two growth stages of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in a biofloc system. *Aquac Res* 49, 2693-2703. <https://doi.org/10.1111/are.13730>.
- Sohn S, Lee J, Lee Y, Kim K, Kim B, Lee J and Choi H. 2015a. Acute toxicity of ammonia on juvenile banded catfish (*Pseudobagrus fulvidraco*). *J Fish Mar Sci Edu* 27, 1229-1235. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.5.1229>.
- Sohn S, Lee Y, Kim K, Lee H, Lee J and Back S. 2015b. Acute toxicity of Nitrite on juvenile banded catfish (*Pseudobagrus fulvidraco*). *J Fish Mar Sci Edu* 27, 41-48. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.1.41>.
- Thorarinsdottir R. 2015. Aquaponics Guidelines. Haskolaprent, Reykjavik, Iceland, 33-39.
- Venkat H, Sahu N and Jain K. 2004. Effect of feeding Lactobacillus based probiotics on the gut micro flora, growth and survival of post larvae of *Macrobrachium rosenbergii* (De man). *Aquac Res* 35, 501-507. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01045.x>.
- Wang Y and Gu Q. 2010. Effect of probiotics of white

shrimp (*Penaeus vannamei*) growth performance and immune response. Mar Biol Res 6, 327-332. <https://doi.org/10.1080/17451000903300893>.

Wee KL and Tacon AGJ. 1982. A preliminary study on the dietary protein requirement of juvenile snakehead. Nippon Suisan Gakk 48, 1463-1468. <https://doi.org/10.2331/suisan.48.1463>.

Yousefian M and Amiri MS. 2009. A review of the use of prebiotic in aquaculture for fish and shrimp. African J Biotechnol 8, 7313-7318.