

바이오플라기술(BFT)과 BFT 기반 아쿠아포닉스(FLOCponics) 적용에 따른 뱀장어와 메기 및 카이피라 상추의 성장 비교 연구

정해승 · 박준성* · 황주애†

국립수산과학원(연구사) · *국립수산과학원(연구원)

A Comparison Study on the Growth Performance of Eel *Anguilla Japonica* and Far Eastern Catfish *Silurus Asotus* and Caipira *Lactuca Sativa* in Biofloc Technology and FLOCponics Systems

Hae Seung JEONG · Jun Seong PARK* · Ju-Ae HWANG†

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

Abstract

This study investigated the growth performance of eel *Anguilla japonica* and Far Eastern catfish *Silurus asotus*, and caipira *Lactuca sativa* in Biofloc technology (BFT) and aquaponics based on BFT (FLOCponics) for 4-week. In addition to, Hydroponics was prepared to be compared to FLOCponics on the growth performance of caipira. After the 4-week experimental trial, total weight and specific growth rate (SGR) of eel and catfish reared in FLOCponics were greater than those of fishes reared in BFT, respectively. The greatest total weight and leaf weight of caipira were obtained in FLOCponics with eel and there is no significant difference between FLOCponics with catfish and Hydroponics.

In conclusion, FLOCponics was more effective in cultivating fish than BFT and FLOCponics with eel was more suitable for growth of caipira than FLOCponics with catfish.

Key words : Biofloc technology (BFT), FLOCponics, *Anguilla japonica*, *Silurus asotus*, *Lactuca sativa*

I. 서론

1990년대 전 세계 어업 생산량은 약 8,890만 톤에서 2020년에는 약 9,030만 톤으로 정체되어 있는 반면에, 전 세계 양식 생산량은 1990년대 약 2,180만 톤에서 2020년에는 약 8,750만 톤으로 급격히 증가하였다. 또한, 전 세계 1인당 연간 수산물 소비량은 1960년대 약 9.9 kg인 반면에, 2020년에는 20.2 kg로 나타났으며 이러한 수산물의 소비량은 앞으로도 계속 증가할 것으로 전망

되고 있다 (FAO, 2022a).

반면에 기후 변화, 어획 자원 고갈 등의 영향으로 어업 생산량은 감소하고 있으며, 증가하는 수산물 소비량을 충족시키기 위해서 양식 생산량이 지속적으로 증가하고 있다. 하지만, 이러한 양식업의 성장은 양식과정에서 생성되는 배출수 증가로 이어지고 결국 수생 생태계의 국제 환경 규제 강화로 이어지고 있다(Jeong et al., 2022).

또한, 최근 유엔식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)는 영양

† Corresponding author : 055-540-2740, hjuae1031@korea.kr/orcid.org/0000-0002-7144-3162

* 이 논문은 해양수산과학기술진흥원 어업현장의 현안해결 지원사업(20210325) 및 국립수산과학원 AI 학습용 데이터 기반의 에너지절감형 스마트양식 실증 연구(R2024033)에 의해 연구되었음.

가있고 지속가능한 수산물 생산을 위하여 ‘Blue Transformation’을 선언했다. ‘Blue Transformation’의 로드맵에서 지속가능한 양식을 확대시키고 전 세계 사람들의 수산물 수요를 만족시키고자 하고 있으며, 이를 이루기 위한 전략 중 하나로 양식의 환경 영향을 최소화하고 자원을 효과적으로 사용하기 위해 노력하고 있다 (FAO, 2022b).

이와 같은 국제적인 트렌드에 따라 아쿠아포닉스(Aquaponics), 바이오플라크기술(BFT, Biofloc Technology), 순환여과식 양식시스템(RAS, Recirculating Aquaculture System) 등 보다 지속적이고 환경친화적인 양식 방법에 대한 관심이 높아지고 있다.

아쿠아포닉스는 수산양식(Aquaculture)의 ‘Aqua’와 수경재배(Hydroponics)의 ‘ponics’의 합성어로 어류와 식물을 동시에 양식하고 재배하는 방법이다(Kim et al., 2022). 아쿠아포닉스는 어류를 양식하면서 발생하는 배설물과 사료찌꺼기 등의 유기물에서 분해된 질산염 등의 무기물을 식물의 영양분으로 활용함으로써 수질을 개선하여 사육수를 재사용하는 기술이다. 아쿠아포닉스는 환경친화적, 물 소비 최소화, 높은 생산량, 공간 절약, 인공비료 무첨가, 잡초나 해충으로부터의 피해 저감, 노동력 절감, 그리고 지속가능성 등의 장점을 가져 전세계적으로 관심이 높아지고 있는 기술이다(Diver, 2006; FAO, 2014; Tyson et al., 2011).

BFT 양식 기술은 양식과정 중 생성되는 양식생물의 배설물 및 사료찌꺼기를 타가영양성 미생물을 이용하여 제거함으로써 사육수를 버리지 않고 지속적으로 사용할 수 있는 친환경 양식기술이다(Azim and Little, 2008; Khanjani and Sharifinia, 2020). 또한, 외부로부터 유입되는 질병으로부터 안전하며, 사육수 내 미생물총(biofloc) 형성을 유도한 후 이를 양식생물이 다시 섭취하게 함으로써 사료효율이 높을뿐만 아니라 환경규제로부터 자유로우면서 양식생산성을 높일 수 있는 기술이다(Lee et al., 2019a; 2019b).

또한, BFT 사육수 내 미생물이 양식 과정에서 발생된 어류에게 유해한 암모니아와 아질산을 상

대적으로 덜 유해한 질산염의 형태로 변환시키며, 사육수 내 무기탄소가 충분히 존재한다면 타가영양세균에 의한 암모니아 제거가 지속적으로 가능하다. 이로 인해 사육수와 유입수의 사용량을 최소화하여 배출수에 의한 환경 오염은 줄이고, 고밀도 사육이 가능한 장점이 있다. 하지만 BFT 사육수 내 질산염은 지속적으로 축적되기 때문에 결국 사육수 교환을 통해서 제거할 수 밖에 없는 실정이다.

최근에는 사육수 내 축적되는 질산염을 효과적으로 제거하기 위해서 BFT와 사육수 내 질산염을 식물의 영양분으로 활용하는 아쿠아포닉스를 결합한 FLOCponics 기술이 활발히 연구되고 있다(Deswati et al., 2022a; 2022b; Kim et al., 2019, Lee et al., 2019; 2021; Pinheiro et al., 2020; Pinho et al., 2017; 2022; 2023; Rocha et al., 2017; Saseendran et al., 2021; Yu et al., 2023).

특히, Hwang et al.(2021)은 BFT와 FLOCponics 시스템에서 뱀장어(*A. japonica*)와 상추류를 대상으로 4주간 사육 실험한 결과 BFT 보다 FLOCponics를 적용한 실험구에서 더 높은 성장률을 나타냈다. 또한, Kim et al.(2022)은 BFT와 FLOCponics 시스템에서 메기(*Silurus asotus*)와 상추류를 대상으로 4주간 사육 실험한 결과 BFT 보다 FLOCponics 시스템을 적용한 실험구에서 더 높은 성장률을 나타냈다.

현재까지 BFT와 FLOCponics 시스템에 대한 비교 연구가 활발하게 진행되어 왔으며, 몇몇 연구 결과에서 FLOCponics 시스템을 적용한 경우 더 높은 성장률이 나타난 것으로 보고되었다(Hwang et al., 2021; Kim et al., 2022). 하지만, FLOCponic 시스템 적용 시 어종에 따른 식물 생산량과 어류 성장에 대한 연구는 아직 보고된 바 없다.

따라서, 본 연구의 목적은 내수면 주요 양식 어종인 뱀장어(*A. japonica*)와 메기(*S. asotus*)를 이용하여 BFT와 FLOCponics에 각각 적용 시 양식 방법에 따른 실험어의 성장 비교와 실험어종을

FLOCponics에 각각 적용했을 때 재배작물로 이용한 엽채류인 카이피라(*Lactuca sativa*)의 성장 및 사육수의 수질특성을 비교하는데 있다.

II. 연구 방법

1. BFT 및 FLOCponics 시스템

실험에 사용된 뱀장어와 메기는 1톤 FRP (Fibre-reinforced plastic) 원형 수조(Ø 1.35 m × H 0.75 m)를 사용하였으며, 재배작물의 성장 비교를 위해 2.8톤 FRP 사각 수조(L 2.0 m × W 2.0 m × H 0.7 m)에 식물 재배판을 띄워 재배하는 DWC (Deep water culture) 방식으로 실험을 진행하였다.

각각의 어류 사육 수조에서 재배작물 수조로 사육수의 공급을 위해 수중펌프(30w)를 각 수조당 1개씩 설치하였으며, 공급된 사육수만큼 어류 사육 수조로 넘어와 재순환되는 구조로 어류수조와 식물재배수조의 배관을 구성하였다.

어류 사육 수조내 사육수 교반을 위해 에어스톤을 설치하였고, 산소 발생기를 사용하여 용존 산소(dissolved oxygen, DO)를 유지했다. 재배작물 수조에는 수조당 총 100개씩의 카이피라를 재식하여 실험을 진행하였으며, 식물 성장을 위해 LED 조명을 설치하여 실험기간 동안 12시간/일 조사하였다. 평균 조도는 6000 lux 이상, 온도는 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. BFT 사육수는 Choi et al. (2020)이 보고한 방법에 따라 만들었으며, BFT 물 만들기가 4주된 시점에 암모니아와 질산염이 1 mg/L 이하로 안정된 것을 확인하고 뱀장어와 메기를 입식하였으며, 1주일간 사육 실험 조건에 적응시킨 후 실험을 진행하였다.

2. 실험어 및 재배작물

실험에 사용된 뱀장어(*A. japonica*)는 실험장어 시기에 양식장에서 구입하여 국립수산물과학원 첨단양식실증센터에서 사육 관리하던 개체를 선별하여 사용하였으며, 메기(*S. asotus*)는 첨단양식

실증센터에서 종자 생산하여 사육한 개체를 사용하였다.

실험에 사용된 뱀장어는 평균무게 49.1 ± 8.12 g, 평균 길이는 146.0 ± 7.91 mm, 메기는 평균무게 21.8 ± 2.48 g, 평균 길이 224.9 ± 23.66 mm인 실험어를 사용하였으며, 실험수조에 단위면적당 5 kg/m^2 (총 5.7 kg)의 밀도로 동일하게 각각 수용하여 사육 실험을 진행하였다.

사육 실험 기간 동안 뱀장어에는 (주)Purina 프로일(단백질 55.8%, 지질 7.8%, 회분 13.8%)을 공급하였으며, 메기는 (주)사조동아원 메기스프링(조단백 44%, 조지방 8%, 조회분 17%)을 매일 어체중의 3% 수준으로 4주 동안 일주일에 5일, 1일 2회(9시, 17시) 공급하였다.

재배작물로는 엽채류인 카이피라(*L. sativa*)를 사용하였으며, 실험에 사용된 종묘는 첨단양식실증센터 발아실(온도 $24 \pm 1.0^\circ\text{C}$, 습도 55%, 조도 15,000 lux)에서 발아시킨 종묘를 사용하였다. BFT 시스템에서 뱀장어와 메기 사육에 따른 카이피라의 성장을 비교하기 위해 사각 FRP 재배작물 수조에 100포기/m²씩 각각 재식하였으며, 기존 수경재배와의 카이피라 생산성 비교를 위해 Hydroponics 실험구를 동일한 재식량으로 설정하여 실험을 진행하였다.

3. 실험어 및 재배작물의 측정

사육 실험에 이용된 뱀장어와 메기의 측정은 4주간의 실험 종료 후 실험구별로 총 무게를 측정하고, 무작위로 30마리를 샘플링하여 개체의 평균 무게 및 전장을 측정하였다. 실험어의 안정적인 측정과 동물복지를 위해 마취제(MS-222; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 100ppm 용량으로 제조하여 실험어류를 마취하여 측정하였다. 무게는 전자저울(MW-200; CAS; Seoul, Korea)을 사용하여 측정하였고, 측정을 마친 실험어는 별도의 회복조에 수용하여 사육관리 하였다. 실험 시작 및 종료시 무게를 바탕으로 총무게(total

weight), 개체무게(body weight) 및 일일성장률(specific growth rate, SGR)을 분석하였다. 카이피라의 측정은 각 그룹별로 5개체씩 샘플링 하여 총 무게, 잎 무게, 잎 길이, 잎 넓이를 각각 측정하였다.

3. 수질분석

사육수의 수질측정을 위해 용존산소(DO), pH, 수온을 다항목 수질측정기(YSI-650 Inc., Yellow spring Instruments, Yellow Springs, OH, USA)를 이용하여 매일 사료를 공급하기 전에 측정하였다. 암모니아(NH₄⁺-N), 아질산(NO₂⁻-N), 질산염(NO₃⁻-N)은 사료 공급전에 채수하여 분석 시약키트(Merck KGaA, Darmstadt, Germany)로 분석하여 흡광광도계(Merck KGaA, Darmstadt, Germany)를 이용한 비색법으로 분석(5회/주)하였다.

4. 통계분석

각 실험구 평균 간의 유의성을 검정하기 위하여 SPSS 24 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) program을 이용하여 One-way ANOVA와 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)를 실시하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 어류 성장 분석

<Table 1> Growth performance of experimental fish reared in BFT and FLOCponics systems for 4 weeks

Experimental groups	Initial		Final				
	Body weight (g)	Total weight (kg)	Body weight (g)	Total weight (kg)	SGR ¹ (%)	Survival (%)	FER ²
BFT-catfish	49.1±8.12	5.75	73.8±20.59	8.90	1.13	100	0.56
FLOCponics-catfish			105.6±37.41*	11.88	2.13	95.7	1.09
BFT-cel	21.8±2.48	5.75	44.6±30.03 ^{ns}	11.48	1.99	97.7	0.82
FLOCponics-cel			52.4±24.30	13.59	2.44	98.5	1.12

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 intake

BFT 및 FLOCponics 에서 뱀장어와 메기를 4주간 각각 사육시 실험어의 생존율, 개체 무게, 총 무게, 일일성장률(SGR)을 <Table 1>에 나타냈다.

4주간의 사육 실험 종료 후 모든 실험구의 생존율은 95.7%이상 나타났다. 실험구별 총 무게는 메기의 경우 BFT 실험구에서 8.90 kg, FLOCponics 실험구에서 11.88 kg 으로 나타났으며, 뱀장어의 경우 BFT 실험구에서 11.48 kg, FLOCponics 실험구에서 13.59 kg으로 나타났다. 일일성장률(SGR)은 메기의 경우 BFT 적용 실험구에서 1.13%, FLOCponics 적용 실험구에서 2.13%로 나타났으며, 뱀장어의 경우 BFT 적용 실험구에서 1.99%, FLOCponics 적용 실험구에서 2.44%로 나타났다.

또한, 사료효율은 메기의 경우 BFT 적용 실험구에서 0.56, FLOCponics 적용 실험구에서 1.09로 나타났으며, 뱀장어의 경우 BFT 적용 실험구에서 0.82, FLOCponics 적용 실험구에서 1.12로 나타나 두 어종 모두 FLOCponics 시스템에서 더 높은 성장도 및 사료효율을 나타냈다.

2. 식물 성장 분석

4주간의 사육 실험 종료 후 실험어를 달리한 FLOCponic와 수경재배 실험구의 카이피라의 성장도 비교를 위해 총 무게, 잎 무게, 잎 길이, 잎 폭을 측정한 결과를 <Table 2>에 나타냈다.

<Table 2> Growth performance of caipira (*L. sativa*) among FLOcponics systems and Hydroponics

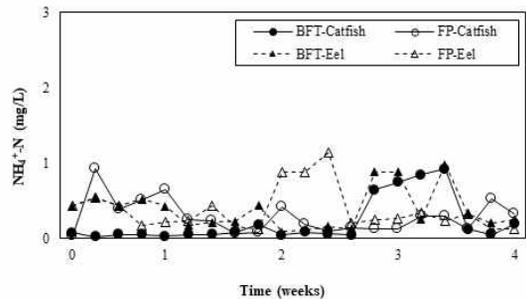
Experimental Groups	Total weight (g)	Leaf weight (g)	Leaf width (mm)	Leaf length (mm)
<i>S. asotus</i>	118±33.6 ^b	98±33.4 ^b	152±12.0 ^b	166±18.2
<i>A. japonica</i>	188±32.6 ^a	168±31.2 ^a	163±10.9 ^{ab}	172±9.3
Hydroponics	138±16.3 ^b	116±15.4 ^b	173±17.1 ^a	178±20.7
P-value	P<0.01	P<0.01	P<0.05	P>0.266

Value (means ± SD) in the same column sharing the same superscript letter are not significantly different (P>0.05).

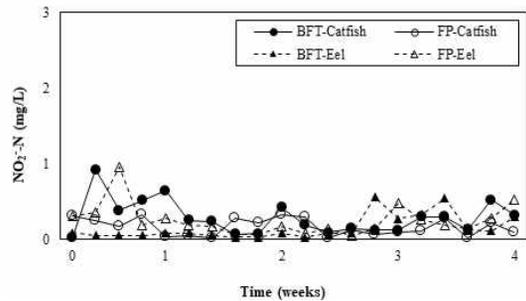
카이피라의 총 무게, 잎 무게는 뱀장어 FLOcponics 실험구에서 각각 188±32.6 g 및 168±31.2 g 으로 나타나 가장 높았으며(P<0.01), 메기와 함께 사육한 FLOcponics 실험구는 118±33.6 g 및 98±33.4 g 으로 나타났고 수경재배 실험구는 138±16.3 g 및 116±15.4 g 으로 나타났지만 두 실험구간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다(P>0.05). 잎 넓이는 수경재배, 뱀장어를 적용한 FLOcponics 실험구, 메기를 적용한 FLOcponics 실험구 순서로 넓게 나타났으며, 수경재배 실험구는 뱀장어를 적용한 FLOcponics 실험구와 유의적인 차이가 나타나지 않았지만(P>0.05), 메기를 적용한 FLOcponics 실험구와는 유의적인 차이가 나타났다(P<0.05). 잎 길이는 모든 실험구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다(P>0.05).

3. 수질환경 분석

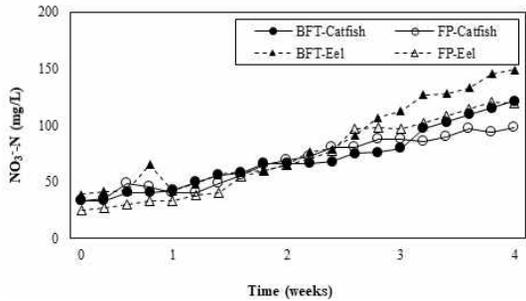
4주간의 사육 실험 동안 DO는 6.2~7.5 mg/L, pH는 6.3~7.2, 수온은 23.10~24.25 °C를 유지하였다. 암모니아(NH₄⁺-N), 아질산(NO₂⁻-N) 및 질산염(NO₃⁻-N)을 측정된 결과를 [Fig. 1], [Fig. 2] 및 [Fig. 3]에 나타냈다. 암모니아는 모든 실험구에서 1.14 mg/L 이하의 측정값을 나타냈으며, 아질산은 모든 실험구에서 0.96 mg/L 이하의 측정값을 나타냈고, 질산염은 사육 실험 동안 모든 실험구에서 점점 증가하는 경향을 나타냈으며, 뱀장어를 적용한 BFT에서 148.80 mg/L로 가장 높은 수치를 나타냈다.



[Fig. 1] Changes of water quality (NH₄⁺-N) on BFT and FLOcponics systems for 4 weeks



[Fig. 2] Changes of water quality (NO₂⁻-N) on BFT and FLOcponics systems for 4 weeks



[Fig. 3] Changes of water quality (NO₃⁻-N) on BFT and FLOcponics systems for 4 weeks

IV. 결 론

본 연구에서는 뱀장어와 메기를 BFT와 FLOCponics에 각각 적용한 것과 실험어와 카이피라의 성장을 조사하였다. 4주간의 사육 실험 결과 FLOCponics에서 사육한 실험구가 BFT에서 사육한 실험구보다 모든 어종에서 총 무게와 일일성장률이 증가한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 BFT 시스템에 Aquaponics 시스템을 결합한 FLOCponics 시스템에서 어류를 사육시 BFT 시스템에서 사육했을 때 보다 더 높은 성장도를 나타낸다는 많은 연구 결과와 유사하게 나타났다(Hwang et al., 2021; 2023; Kim et al., 2019; 2022,).

Kim et al.(2022)은 메기를 대상으로 BFT와 FLOCponics를 적용한 피델을 사육한 결과 FLOCponics를 적용한 실험구에서 더 높은 증체율을 나타냈다. Hwang et al.(2021)은 뱀장어(*A. japonica*)를 대상으로 BFT와 FLOCponics에 카이피라를 각각 100포기, 200포기를 재식하여 실험한 결과 BFT 실험구보다 FLOCponics를 적용한 실험구에서 더 높은 뱀장어의 성장도를 나타냈다고 보고했다. 이와같은 결과는 BFT에 아쿠아포닉스를 적용시 재배식물이 사육수에 있는 무기영양분을 흡수함으로써 수질을 개선시켜 양식 생물에 더 나은 수질환경을 제공하여 사육 생물의 생산성을 향상 시킨다는 다른 연구 결과와 비슷한 경향을 나타냈다(Hwang et al., 2021; Kim et al., 2022).

본 연구에서는 뱀장어와 메기를 대상으로 FLOCponics에 카이피라를 적용하여 양액을 이용한 수경재배와 성장도를 비교한 결과, 뱀장어 FLOCponics에서 가장 높은 카이피라 성장도를 나타냈으며, 메기 FLOCponics와 수경재배와는 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 BFT 뱀장어 사육수에는 식물성장에 필요한 질산, 인 등 무기성분들이 충분하다는 연구 결과

에 기인한 것으로 판단된다(Hwang et al., 2021). 또한, BFT 기반 아쿠아포닉스에서 메기를 적용하여 생산된 피델과 양액을 적용한 수경재배에서 생산된 피델의 총무게, 잎무게, 잎길이, 잎넓이를 측정된 결과, BFT 기반 아쿠아포닉스 시스템을 적용한 실험구에서 유의적으로 더 높은 성장도를 나타냈다(Kim et al., 2022).

양식 생물의 단백질 대사과정 및 사료 찌꺼기의 유기물 분해에 의해서 암모니아가 생성되며, 암모니아는 질화과정에 의해서 산화되어 아질산이 생성되고 암모니아 및 아질산이 사육수에 축적되면 양식어류에 치명적인 피해를 준다(Schoore et al., 1995). Kim et al., (2022)은 BFT와 BFT 기반 아쿠아포닉스에서 메기와 피델을 4주간 사육시 암모니아 수치가 BFT 실험구에서는 5.23 mg/L, BFT 기반 아쿠아포닉스 실험구에서는 3.14 mg/L로 나타났으며, 모든 실험구의 생존율은 95.2 % 이상을 나타냈다고 보고했다. Hwang et al., (2021)이 진행한 BFT 기반 아쿠아포닉스 연구 결과 또한 사육 기간 동안 암모니아가 BFT 기반 아쿠아포닉스 실험구에서 1.0 mg/L 이하, BFT 실험구에서 일정기간 3.0 mg/L이상의 수치를 나타냈으나 모든 실험구에서 뱀장어의 생존율을 96.6% 이상 유지되었다. Jeong et al., (2022)은 BFT와 유수식에서 메기 배합사료내 단백질 함량을 달리하여 4주간 사육 실험을 진행하였으며, 사육 기간 동안 사육 수조의 암모니아 수치는 모든 실험구에서 4.52 mg/L 이하로 나타났으며, 모든 실험구에서 메기의 생존율은 100%였다. 본 연구에서는 4주간의 사육 실험 기간 동안 모든 실험구에서 95.7% 이상의 생존율을 나타냈으며, 모든 사육 수조의 암모니아가 1.14 mg/L, 아질산이 0.96 mg/L수치를 나타내어 안정적인 수질관리가 유지된 것으로 판단된다.

BFT 사육수에 있는 타가영양세균 및 자가영양세균은 암모니아를 아질산으로, 아질산을 질산염의 형태로 전환시키며, 질산염은 암모니아와 아질산보다 어류에게 상대적으로 덜 치명적이다.

하지만 질산염이 고농도에서 장시간 어류에게 노출되면 어류에게 부정적인 영향을 미친다는 연구 결과가 보고된 바 있다(Tilak et al., 2007). 때문에 BFT에서도 고밀도 양식을 할 때 축적되는 질산염을 제거하기 위해서는 사육수 교환이 필수적이다.

아쿠아포닉스 시스템에서 식물은 성장을 위해 사육수 내의 질산염을 이용한다. 본 연구에서 4주간의 사육 실험 동안 질산염을 측정된 결과 실험 개시 이후 지속적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 4주간의 사육 실험 종료시 BFT에 메기를 적용한 실험구의 질산염은 121.20 mg/L를 나타냈지만, FLOCponics 실험구의 질산염은 97.80 mg/L를 나타냈으며, 뱀장어 BFT 실험구의 경우 148.80 mg/L, 뱀장어 FLOCponics의 경우 119.84 mg/L를 나타내어 두 어류 모두 FLOCponics 시스템이 BFT 시스템 보다 질산염이 감소하는 경향을 나타냈다. 이와 같은 결과는 사육수 내 질산염이 식물 성장을 위한 영양분으로 사용됐을 뿐만 아니라 카이피라가 생물학적 여과역할을 하여 어류에게 정화된 사육수를 제공하므로써 어류의 성장에도 도움이 됐을 것으로 판단된다.

Hwang et al., (2021)은 BFT와 BFT기반 아쿠아포닉스 시스템에서 카이피라의 재식량을 달리하여 뱀장어를 4주간 사육했으며, 사육 실험 종료시 BFT 실험구의 질산염 수치는 40 mg/L 이상 나타났지만, 모든 BFT 기반 아쿠아포닉스 실험구는 30 mg/L 이하로 나타났다. 또한, 4주간의 사육 실험 종료시 뱀장어의 성장도 측정 결과 BFT 기반 아쿠아포닉스(200포기), BFT 기반 아쿠아포닉스 (100포기), BFT 실험구 순서로 높게 나타나 식물의 재식량과 뱀장어의 성장도와의 관련성이 있음을 확인하였다.

따라서, 본 연구에서는 뱀장어와 메기를 대상으로 FLOCponics 시스템을 적용했을 때 식물의 생물학적 여과재 효과로 인한 양식생산성 향상과 더불어 인공양액의 공급 없이도 식물재배가 가능함을 확인하였다. 특히, 뱀장어를 FLOCponics에

적용하여 사육하였을 경우 카이피라의 높은 생산성을 기대할 수 있어 양식어업인의 추가적인 소득증대에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- 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>
- Choi JY, Park JS, Kim H, Hwang J, Lee D and Lee J(2020) Assessment of water quality parameters during a course of applying biofloc technology(BFT). *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 32(6), 1632~1638.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2020.12.32.6.1632>
- Deswati D, Safni S, Khairiyah K, Yani E, Yusf Y and Pardi H(2022a). Biofloc technology: water quality (pH, temperature, DO, COD, BOD) in a flood & drain aquaponic system. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(18), 6835~6844.
<https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1817428>
- Deswati D, Yani E, Safni S, Tetra ON and Pardi H(2022b). Development methods in aquaponics systems using biofloc to improve water quality (ammonia, nitrite, nitrate) and growth of tilapia and samhong mustard. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(19), 7824~7834.
<https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1839437>
- Diver S(2006). Aquaponics-integration of hydroponic with aquaculture. *Appropriate technology transfer fir rural areas (ATTRA)*. Fayetteville, NC, U.S.A., 1~28.
- Duncan DB(1955). Multiple range and multiple F test. *Biometrics* 11, 1~42.
<https://doi.org/10.2307/3001478>.
- FAO(2014). Small-scale aquaponics food production integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*
- FAO(2022a). The state of world fisheries and aquaculture 2022. *Towards Blueformation*.

- <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
FAO(2022b). Blue transformation-Roadmap 2022-2023: A vision for FAO's work on aquatic food systems. <https://doi.org/10.4060/cc0459en>
- Hwang J, Lee J, Park JS, Choe JR, Lee D and Kim H(2021). Effect on eel *Anguilla japonica* and crop growth by the development of a biofloc technology (BFT) aquaponic system. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 54(4), 418~425. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0418>
- Hwang J, Park JS, Jeong HS, Kim H and O S(2023). Productivity of Fish and Crop Growth and Characteristics of Bacterial Communities in the FLOCponics System. Fishes, 8, 422. <https://doi.org/10.3390/fishes8080422>
- Jeong HS, Park JS, Kim HS, Lee D and Hwang J(2022). Comparison of dietary protein levels on growth performance of Far Eastern catfish *Silurus asotus* and water quality in biofloc technology and flow-through systems. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 55(5), 541~548. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0541>
- Khanjani MH and Sharifinia M(2020). Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. Review in Aquaculture, 12, 1836~1850. <https://doi.org/10.1111/raq.12412>
- Kim NN, Park JS, Lee JH, Hwang J, Chi JY and Kim HS(2022). A study on the growth performance of Far Eastern catfish *Silurus asotus* and vegetable *Lactuca sativa* L. c. fidel in an aquaponics system based on biofloc technology (BFT) and hydroponics system. Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 34(2), 360~370. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2022.4.34.2.360>
- 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 Journal of Environmental Biology, 37(4), 545~553. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2019.37.4.545>
- Lee D(2021). Comparative study on growth of leafy vegetables grown in a hybrid BFT-aquaponics using Yellow koi Fish, *Cyprinus carpio* and hydroponics. Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 33(5), 1027~1037. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2021.10.33.5.1027>
- Lee D, Kim J, Lim S, Kim D, Kim J, Shin S and Kim J(2019a). Effect of dietary monobasic potassium phosphate levels on water quality and the growth of Far Eastern catfish *Silurus asotus* and four leafy vegetables in a hybrid biofloc technology aquaponic system. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 52(2), 159~172. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0159>
- Lee D, Kim J, Lim S, Kim D, Kim K, Kim J and Kim J(2019b). 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 Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 52, 482~495. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0482>
- Lee D, Kim JY, Lim SR, Kim KB, Kim JM, Hariati, Kim DW and Kim JD(2020). Effect of crude protein levels in diets containing MKP on water quality and growth of Japanese eels *Anguilla japonica* and leafy vegetables in a hybrid BFTaquaponic system. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53, 606~619. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0606>
- Pinheiro I, Carneiro RFS, Vieira FDN, Gonzaga LV, Fett R, Costa ACDO, Magalló-Barajas FJM and Seiffert WQ(2020). Aquaponic production of *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in biofloc system at different salinities. Aquaculture, 519, 734918. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734918>
- Pinho SM, Molinari D, Mello GLD, Fitzsimmons KM and Emerenciano MGC(2017). Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. Ecological Engineering, 103, 146~153. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.009>
- Pinho SM, Lima JPD, David LH, Emerenciano MGC, Goddek S, Verdegem MCJ, Keesman KJ and Portella MC(2022). FLOCponics: The integration of biofloc technology with plant production. Reviews in Aquaculture, 14, 647~675. <https://doi.org/10.1111/raq.12617>
- Pinho SM, Lima JPD, Tarigan NB, David LH, Portella MC and Keesman KJ(2023). Modelling FLOCponics systems: Towards improved water and

- nitrogen use efficiency in biofloc-based fish culture. *Biosystems Engineering*, 229, 96~115.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.03.022>
- Rocha AFD, Biazzetti Filho ML, Stech MR and Silva RPD(2017). Lettuce production in aquaponics and biofloc systems with silver catfish *Rhamdia quelen*. *Boletim do Instituto de Pesca*, 44, 64~73.
<https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017.64.73>
- Saseendran S, Dube K, Chandrakant MH and Babitha Rani AM(2021). Enhanced growth response and stress mitigation of genetically improved farmed Tilapia in a biofloc integrated aquaponic system with bell pepper. *Aquaculture*, 533, 736200.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736200>
- Schoore J, Simco B and Davis K. 1995. Responses of blue catfish and channel catfish to environmental nitrite. *Journal of Aquatic Animal 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)
- Tilak KS, Veeraiiah K and Raju JMP(2007). Effects of ammonia, nitrite and nitrate on hemoglobin content and oxygen consumption of freshwater fish, *Cyprinus carpio* (Linnaeus). *Journal of Environmental Biology*, 28(1), 45~47.
- Tyson RV, Treadwell DD and Simonne EH(2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *Horttechnology* 21, 6~13.
<https://doi.org/10.21273/HORTTECH.21.1.6>
- Yu Y, Choi J, Lee J, Jo A, Han SW, Han S, Choi HJ, Choi CY, Kang J, Min EY and Kim J(2023). Biofloc application using aquaponics and vertical aquaculture technology in aquaculture: review. *Fishes*, 8, 543.
<https://doi.org/10.3390/fishes8110543>
-
- Received : 01 February, 2024
 - Revised : 20 February, 2024
 - Accepted : 26 February, 2024