

# Cải thiện quá trình thu hồi nitơ trong hệ thống aquaponics thông qua sản xuất phân hữu cơ từ bùn thải

Trần Trung Kiên\*, Lê Thanh Hải, Nguyễn Thanh Hùng, Trần Thị Hiệu, Nguyễn Thị Phương Thảo, Nguyễn Việt Thắng

## TÓM TẮT

Nghiên cứu này hướng đến thu hồi trực tiếp các chất dinh dưỡng có trong bùn thải và tuần hoàn lại trong hệ thống aquaponics dưới dạng phân bón hữu cơ, giúp tăng hiệu quả về kinh tế và môi trường nhằm nâng cao tính bền vững của hệ thống aquaponics. Trong nghiên cứu này, một hệ thống aquaponics cải tiến đã được phát triển bao gồm ao cá, cụm xử lý sinh học, hệ thống thực vật và ủ phân hữu cơ. Ngoài ra, một bể nổi thực vật (thủy trúc) được đặt trên mặt ao cá để hấp thụ chất dinh dưỡng trực tiếp từ ao cá. Sau chu kỳ nuôi kéo dài hơn 03 tháng, sinh khối thực vật nổi được thu hoạch và trộn với bùn thải từ bể phản ứng sinh học để sản xuất phân hữu cơ. Mô hình cân bằng nitơ được thiết lập để đánh giá hiệu quả thu hồi chất dinh dưỡng của hệ thống aquaponics. Kết quả chỉ ra rằng việc thu hồi chất dinh dưỡng từ bùn thải cũng có thể giải quyết vấn đề thiếu hụt chất dinh dưỡng mà hệ thống aquaponics gặp phải và giảm chi phí liên quan đến việc mua thêm chất dinh dưỡng. Bên cạnh đó có 32 - 45% N có nguồn gốc từ thức ăn cho cá được đồng hóa thành sinh khối cây trồng, ước tính có khoảng 35-45% lượng N không được tính toán thất thoát vào khí quyển, 20-25% còn lại đi vào nước thải, 0,8-3% đi vào chất thải rắn. Trọng lượng trung bình cá thu hoạch trong hệ thống  $531 \pm 94,2$  g/con với tỷ lệ sống đạt 80%. Sinh khối thực vật trong ba đợt thu hoạch đạt 1,8 đến 2 kg/m<sup>2</sup>.

**Từ khoá:** Tuần hoàn dinh dưỡng, chuyển hóa Nitơ, hệ thống aquaponics, bùn cá, nuôi cá tra

## MỞ ĐẦU

Aquaponics là quá trình phát triển cộng sinh các sinh vật thủy sinh và thực vật, trong đó nước thải từ nuôi trồng thủy sản trải qua quá trình biến đổi vi sinh vật để được sử dụng làm nguồn dinh dưỡng cho sự phát triển của thực vật, trong khi sự hấp thụ chất dinh dưỡng từ thực vật sẽ xử lý nước cho nuôi trồng thủy sản<sup>1,2</sup>. Các hệ thống aquaponics hiện đại thường có dạng hệ thống nuôi trồng thủy sản tuần hoàn (RAS). Trong các hệ thống này, chất thải do sinh vật dưới nước tạo ra được lọc qua các bể chứa vi khuẩn tự nhiên, chúng phân hủy các hợp chất hữu cơ và cung cấp chúng cho cây trồng hấp thụ. Sự chuyển đổi chất dinh dưỡng chính xảy ra là sự chuyển đổi amoniac ( $\text{NH}_3^+$ ) thành nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), thông qua vi khuẩn nitrat hóa. Nước thải nuôi trồng thủy sản chứa đầy chất dinh dưỡng sau đó được lọc vào hệ thống thủy canh, nơi rễ cây và vi khuẩn được thụ tinh. Nước sau đó được tái chế trở lại bể nuôi thủy sản, xử lý các chất dinh dưỡng tích lũy<sup>3,4</sup>. Hệ sinh thái khép kín được xây dựng này đã thu hút được sự chú ý đáng kể trong những năm gần đây vì nó giảm thiểu một số mối lo ngại đang phát triển trong nền nông nghiệp truyền thống. Hệ thống Aquaponics cải thiện hơn nữa hiệu quả sử dụng nước

của RAS, vì nước thường bị mất trong quá trình lọc chất thải sẽ được thực vật sử dụng. Một số nghiên cứu đã phát hiện ra rằng hệ thống aquaponics thường sử dụng từ 0,3 đến 5,0% tổng lượng nước của hệ thống mỗi ngày<sup>5,6</sup>. Một hệ thống aquaponic-biopicnic bao gồm một giàn trồng thủy canh, một bộ lọc sinh học (để nitrat hóa), một máy tách chất rắn và một vùng thu hồi chất dinh dưỡng (để phân hủy vi sinh vật các chất hữu cơ và giải phóng chất dinh dưỡng). Tùy thuộc vào thành phần chất thải hữu cơ, vùng thu hồi chất dinh dưỡng có thể được đặt trong chậu trồng cây (đối với dạng viên) hoặc ở đầu vào của thiết bị phân tách chất rắn (đối với phân hữu cơ dạng khô). Mô hình kết hợp này làm tăng hiệu quả thu hồi dinh dưỡng từ các dòng chất thải hữu cơ khác nhau<sup>7</sup>. Bùn aquaponics có thể được sử dụng để bón phân cho rau diếp trong đất mà không tích tụ chất dinh dưỡng ở mức độ độc hại trong mô thực vật, cho thấy tiềm năng như một chiến lược tái sử dụng chất dinh dưỡng trong các hệ thống sản xuất tích hợp<sup>8-11</sup>.

So với hệ thống nuôi trồng thủy sản thông thường, aquaponics có khả năng thu hồi chất dinh dưỡng tốt hơn. Tốc độ tăng trưởng của cá trong aquaponics cao hơn, tổng sinh khối thu hoạch từ hệ thống aquaponics

Viện Môi Trường và Tài Nguyên, Đại học Quốc gia TP HCM, Việt Nam

### Liên hệ

Trần Trung Kiên, Viện Môi Trường và Tài Nguyên, Đại học Quốc gia TP HCM, Việt Nam

Email: trungkienmt95@gmail.com

### Lịch sử

- Ngày nhận: 09-1-2024
- Ngày chấp nhận: 04-3-2024
- Ngày đăng: 30-6-2024

### DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjsee.v8i1.752>



### Bản quyền

© ĐHQG TP.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



**Trích dẫn bài báo này:** Kiên T T, Hải L T, Hùng N T, Hiệu T T, Thảo N T P, Thắng N V. **Cải thiện quá trình thu hồi nitơ trong hệ thống aquaponics thông qua sản xuất phân hữu cơ từ bùn thải.** *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.* 2024; 8(1):839-849.

cao hơn gần 8 lần so với tổng sinh khối thu hoạch từ hệ thống thông thường<sup>12</sup>. Aquaponics sử dụng các quá trình phân hủy của vi khuẩn và sự hấp thụ chất dinh dưỡng của thực vật để thu hồi chất dinh dưỡng từ nước thải nuôi trồng thủy sản. Kiểm soát mức pH ở 6 là tối ưu nhất cho các hoạt động của vi sinh vật, khi đó hiệu quả sử dụng nitơ (N) cao nhất (NUE = 65,5 %) và lượng N thất thoát dưới dạng khí thấp nhất (34,5 %). Trong khi hiệu suất sử dụng photpho (P) cao nhất (PUE = 65,0%)<sup>13</sup>. Việc thu hồi dinh dưỡng còn sót lại từ bùn cá trong hệ thống aquaponics có thể đạt được mức phát thải bằng không đối với chất thải rắn và bổ sung dinh dưỡng cho thủy canh dưới dạng phân bón hữu cơ. Điều này sẽ khắc phục hạn chế nhược điểm thấp dinh dưỡng tại hệ thống thủy canh<sup>14</sup>. Bên cạnh đó, chất thải là thực vật không được sử dụng làm thực phẩm có thể làm nguyên liệu cho sản xuất khí sinh học thông qua quá trình kỵ khí nhằm thu hồi chất dinh dưỡng và năng lượng. Hơn nữa, phần nổi phía trên từ bể phân hủy kỵ khí chứa nồng độ dinh dưỡng cao (N, P, K, Ca và Fe), có khả năng được sử dụng tại chỗ làm phân bón<sup>15,16</sup>. Một chiến lược hiệu quả để thu hồi chất dinh dưỡng từ bùn thải trong aquaponics là rất quan trọng để sản xuất sạch hơn và bền vững hơn. Bộ lọc sục khí sinh học cải tiến (MBAF- modified biological aerated filter) được áp dụng như một phương pháp hiệu quả để thu gom và chuyển hóa bùn cá thành chất dinh dưỡng trong một lò phản ứng. Hiệu suất thu hồi dinh dưỡng đối với N là 22,6% và P là 62,1%<sup>17</sup>. Một phương pháp tiếp cận hai giai đoạn (được đặt tên là quá trình hòa tan và chuyển đổi sinh học quang dưỡng) được đề xuất để chuyển đổi bùn cá thành chất dinh dưỡng khoáng và chất dinh dưỡng sinh khối bằng cách sử dụng vi khuẩn quang dưỡng màu tím (PPB), từ đó thúc đẩy sự phát triển đồng thời của thực vật và cá trong aquaponics<sup>18</sup>. Nhu cầu khoáng hóa bùn có nguồn gốc từ nuôi trồng thủy sản trong các hệ thống aquaponics được nhận thấy là cần thiết để giảm lượng chất thải. Khoảng 25% photpho, kali và canxi cũng có thể được thu hồi từ bùn ở điều kiện pH thấp so với hiệu suất khoáng hóa của các lò phản ứng UASB tiêu chuẩn chạy ở độ pH cao.<sup>19</sup>

Trong hệ thống aquaponics, thức ăn cung cấp dinh dưỡng cho sự sinh trưởng và phát triển của cá, bên cạnh đó nó cung cấp năng lượng tự do cho quá trình trao đổi chất trong hệ thống. Quá trình chính để chuyển hóa N là quá trình nitrat hóa, biến đổi  $\text{NH}_4^+$  thành  $\text{NO}_3^-$  với sự có mặt của oxy<sup>20</sup>. Trong khi đó, TAN bị oxy hóa thành nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) bởi vi khuẩn oxy hóa amoniac (AOB) bao gồm: *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio sp.*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio sp.*... và vi khuẩn cổ oxy hóa amoniac (AOA). Kết quả  $\text{NO}_2^-$  bị oxy hóa thành

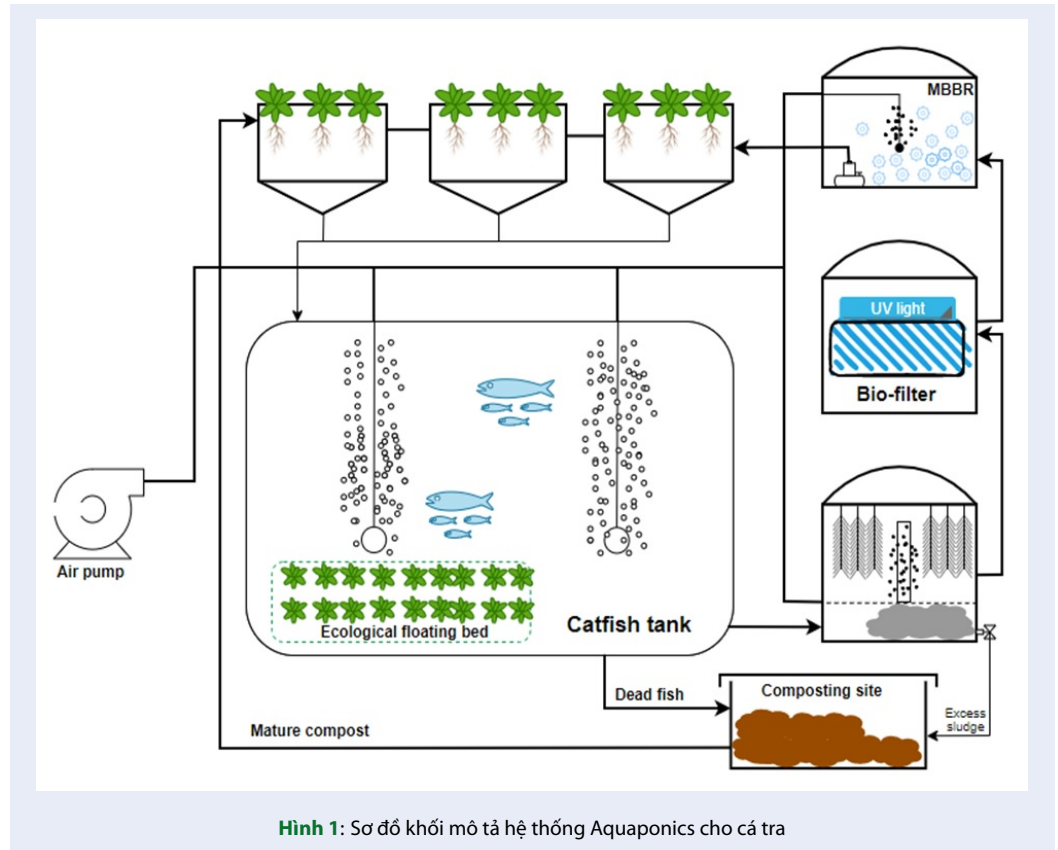
$\text{NO}_3^-$  bởi vi khuẩn oxy hóa nitrit (NOB). Sự hấp thụ nitơ là con đường chính để tái chế nitơ vào rau trong hệ thống aquaponic. Một hệ thống aquaponics hiệu quả sẽ cho năng suất sinh khối thực vật và cá cao với lượng nitơ thất thoát thấp. Sự chuyển hóa nitơ giữa sinh khối thực vật và sự mất khí bị ảnh hưởng bởi sự phát triển của vi sinh vật trên diện tích bề mặt của rễ cây, nguồn carbon tiêu thụ của vi sinh vật và thời gian tiếp xúc, bị ảnh hưởng bởi tốc độ tải thủy lực của hệ thống<sup>21</sup>. Các hệ thống aquaponics và nuôi trồng thủy sản được coi là nguồn phát thải  $\text{N}_2\text{O}$  chính. Hệ thống Aquaponics tạo ra oxit nitơ ( $\text{N}_2\text{O}$ ) từ 1,5–1,9% lượng nitơ đầu vào<sup>22</sup>. Trong bất kỳ hệ thủy sinh nào, pH là yếu tố chính kiểm soát quá trình trao đổi chất của cá, hoạt động của vi sinh vật và ảnh hưởng đến lượng nitơ sẵn có cho thực vật. Quá trình oxy hóa sinh học  $\text{NH}_4^+$  và  $\text{NO}_2^-$  và hoạt động của nitrat hóa giảm khi độ pH dưới 6,4 và trên 9,0<sup>23</sup>. Sự biến đổi Nitơ trong quá trình này chủ yếu do hoạt động của các vi sinh vật bao gồm hai bước. Trước quá trình xử lý vi khuẩn, TAN trước tiên phải có sẵn trong nước. TAN có thể được cá bài tiết dưới dạng nước tiểu (urê) và phân, trong đó nitơ chiếm từ 10 đến 40% hoặc thải qua mang dưới dạng amoniac<sup>24</sup>. Các cộng đồng vi sinh vật phân bố ở các vị trí khác nhau trong hệ thống aquaponic, phát hiện ra rằng *Nitrospira* chiếm 3,9% tổng số vi sinh vật cộng đồng trong bộ lọc sinh học, trong khi *Nitrobacter* và *Nitrosomonadales* chỉ chiếm 0,11% và tương ứng là 0,64%<sup>25</sup>.

Các nghiên cứu đều chỉ ra rằng việc cần thiết là tăng khả năng sử dụng dinh dưỡng của thực vật trong hệ thống. Một điểm hạn chế của hệ thống aquaponics so với thủy canh là hàm lượng dinh dưỡng ở dạng dễ hấp thụ cho thực vật khá thấp. Trong nghiên cứu này, một hệ thống aquaponics đã được thiết kế với các bể xử lý sinh học và lọc nhằm tăng cường khả năng xử lý nước tuần hoàn và tăng sinh khối thực vật.

## VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### Thiết lập và vận hành mô hình Aquaponic

Mô hình aquaponics được triển khai tại Viện Môi trường và Tài nguyên (Hình 1), hệ thống bao gồm: 01 bể nuôi cá tra có thể tích là  $2.8 \text{ m}^3$  ( $D \times R \times H \sim 1,02\text{m} \times 1,42\text{m} \times 1,02\text{m}$ ), 01 bể lọc ngược bằng giá thể hình chổi có thể tích 100L ( $60\text{cm} \times 12\text{cm}$ ), 01 bể lọc thanh sứ có thể tích 100L ( $15\text{cm} \times 3,6\text{cm}$ ), 01 bể MBBR giá thể hoa mai ( $25\text{mm} \times 10\text{mm}$ ), 04 chậu trồng cây với 30kg giá thể đất nung trên mỗi chậu (khối lượng riêng giá thể là  $50\text{dm}^3$ ). Một máy bơm nước chìm được sử dụng để cung cấp nước từ bể MBBR đến chậu trồng cây, nước tuần hoàn về ao cá



Hình 1: Sơ đồ khối mô tả hệ thống Aquaponics cho cá tra

theo chênh lệch cao trình. Sục khí trong bể cá, bể MBBR và bể lọc chổi được cung cấp bằng máy bơm không khí đảm bảo khoảng 6 mgO<sub>2</sub>/L. Cá tra được thả với mật độ 40con/m<sup>2</sup> diện tích mặt nước, khối lượng cá con trung bình 30g/con. Cá được cho ăn vào lúc 9 giờ sáng mỗi ngày với khẩu phần khoảng 0,5 – 0,8% trọng lượng đàn cá bằng thức ăn thương mại. Hàm lượng protein khoảng 28% và cỡ viên tùy thuộc theo cỡ cá, trọng lượng ban đầu với cỡ cá khoảng 25-50 g/con thì cỡ viên là 2,0 mm.

### Đánh giá năng suất của sinh khối cá và thực vật

Các công thức tính toán dựa theo các nghiên cứu trước<sup>26</sup> như sau:

Tăng trưởng tuyệt đối:

$$WG \text{ (g/con)} = W_t - W_o$$

Tăng trưởng tương đối:

$$SGR = \left( \frac{\%}{\text{day}} \right) = \frac{\ln W_t - \ln W_o}{t} \times 100\%$$

Trong đó: W<sub>o</sub> là khối lượng cá ban đầu (g/con), W<sub>t</sub> là khối lượng cá thu hoạch (g/con), t là thời gian giữa hai lần thu mẫu (ngày);

Hệ số chuyển đổi thức ăn (FCR):

$$FCR = \frac{F}{M_t - M_0 + M_c}$$

Trong đó: F là lượng thức ăn đã cung cấp cho cá ăn giữa hai lần thu mẫu (g), M<sub>o</sub> là tổng khối lượng cá trước (g), M<sub>t</sub> là tổng khối lượng cá sau (g), M<sub>c</sub> tổng khối lượng cá chết (g).

Tỷ lệ sống:

Tỷ lệ sống = "số lượng cá ở thời điểm t"/"số lượng cá ở thời điểm o" x 100%

Đánh giá sự sinh trưởng và phát triển của rau

Năng suất cá thể (g/cây): Khối lượng trung bình của các cây theo dõi khi thu hoạch;

Năng suất lý thuyết (g/hệ): Khối lượng trung bình của cây theo dõi x số cây/hệ;

Năng suất thực thu (g/hệ): Khối lượng thực tế của tất cả các cây trong các chậu khi thu hoạch

### Ước tính cân bằng N

Cân bằng khối lượng đã được hoàn thành cho pha nước có chứa N, bằng cách thiết lập các quá trình chuyển đổi dinh dưỡng. Trong hệ thống nước cấp vào có hàm lượng dinh dưỡng không đáng kể vì vậy lượng N trong nước cấp không được xem xét trong nghiên

cứu này, nguồn dinh dưỡng trong hệ thống aquaponics là thức ăn cho cá hằng ngày. Để xác định được khối lượng N trong hệ thống, khối lượng của các dạng hợp chất của N bao gồm TAN, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N được xác định định kỳ hàng tuần. Hàm lượng protein trong cá thông thường là 42%, hệ số chuyển đổi từ N sang protein là 6,25%. Cân bằng khối lượng N trong hệ thống aquaponics được tính toán dựa theo công thức sau<sup>27</sup>.

$$f_N \times M_f = \frac{d}{dt} (C_{TAN} + C_{NO_2-N} + C_{NO_3-N}) V + \frac{N_{plant}}{T} + \frac{N_{fish}}{T} + \frac{N_{fish}}{T} + \frac{N_{sed}}{T} + \frac{N_{loss}}{T}$$

Trong đó:  $f_N$  là tỷ lệ N có trong thức ăn cho cá (gN/g thức ăn);  $M_f$  là khối lượng thức ăn cho cá ăn hằng ngày (g/ngày);  $C_{TAN}$ ,  $C_{NO_2-N}$  và  $C_{NO_3-N}$  lần lượt là nồng độ của TAN, NO<sub>2</sub>-N và NO<sub>3</sub>-N trong nước tuần hoàn của hệ thống (g/L);  $N_{plant}$  là hàm lượng N được thực vật đồng hóa khi thu hoạch (gN),  $N_{fish}$  là hàm lượng N được đồng hóa có trong sinh khối cá khi thu hoạch (gN);  $T$  là khoảng thời gian nuôi đến khi thu hoạch (ngày);  $N_{sed}$  là hàm lượng N có trong chất thải rắn được tích lũy trong hệ thống lọc (gN);  $N_{loss}/T$  là tốc độ thất thoát N ra khỏi hệ thống aquaponics thông qua quá trình khử Nitrat (gN/ngày).

Lượng N cần thiết cho mỗi chậu thực vật phát triển trong hệ thống được tính như sau

N cần thiết (gN) = số cây trong luống × trọng lượng trung bình (g) × [(100-% độ ẩm trong cây)/100] ×  $C_{N\_cay}$

Trong đó: lượng nitơ cần thiết cho một luống trồng (gN) bằng với lượng nitơ được đồng hóa bởi tất cả các cây trong một luống (gN). Tổng trọng lượng cây là trọng lượng ướt của tất cả các cây trong một hệ thống aquaponics (kg). Phần trăm độ ẩm là độ ẩm trong cây (g nước/g trọng lượng ướt), và  $C_{N\_cay}$  là hàm lượng nitơ trong cây (gN trong cây khô/g trọng lượng khô của cây).

### Phương pháp phân tích

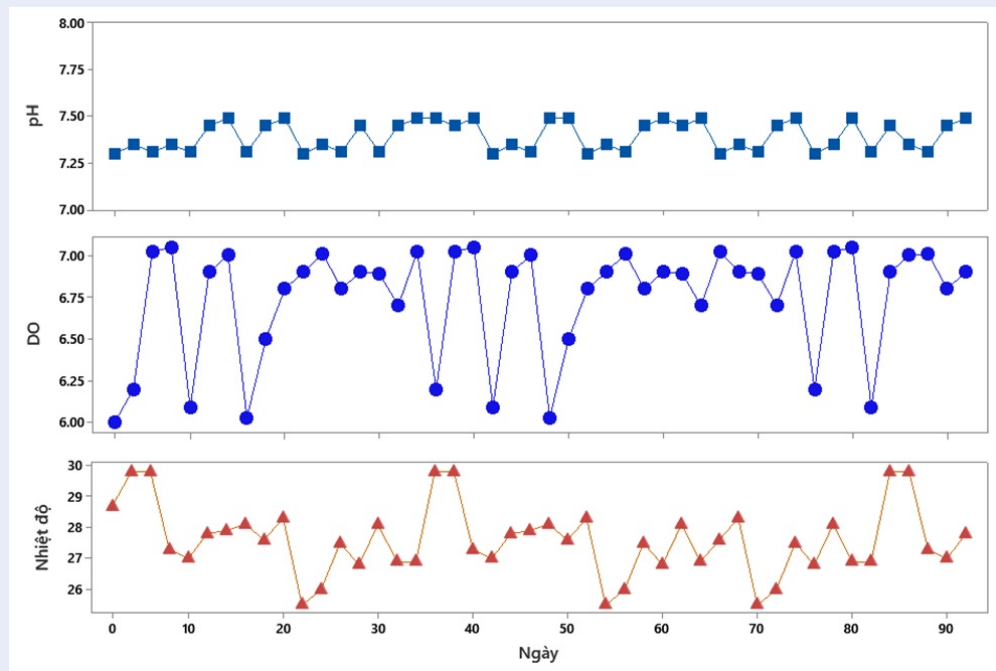
Phương pháp phân tích các thông số thí nghiệm của nghiên cứu được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Chất thải rắn và Chất thải nguy hại – Viện Môi trường và Tài nguyên. Mẫu nước được thu vào thời điểm buổi sáng từ 8:00 đến 10:00, và bảo quản theo tiêu chuẩn quốc tế ISO 5667-3:2012 và được phân tích ngay sau khi thu. Các thông số pH, oxy hòa tan (DO), nhiệt độ được đo nhanh tại hiện trường bằng thiết bị máy đo đa năng cầm tay với điện cực WTW 350i (Germany), đối với chỉ tiêu tổng N của mẫu nước được phân tích theo tiêu chuẩn TCVN 6638:2000 (ISO 10048:1991). Hàm lượng nitrit được đo bằng phương pháp tiêu chuẩn cho nước và nước thải SMEWW 4500-NO<sub>2</sub>-(B):2017. Nitrat được đo bằng SMEWW 4500-NO<sub>3</sub>-(E):2017. Hàm lượng Amoni được xác định theo

phương pháp chuẩn độ dựa trên tiêu chuẩn SMEWW 4500-NH<sub>3</sub>.B:2012. Tất cả các phân tích thống kê được thực hiện bằng chương trình Excel, các kết quả được trực quan hóa trên Minitab.

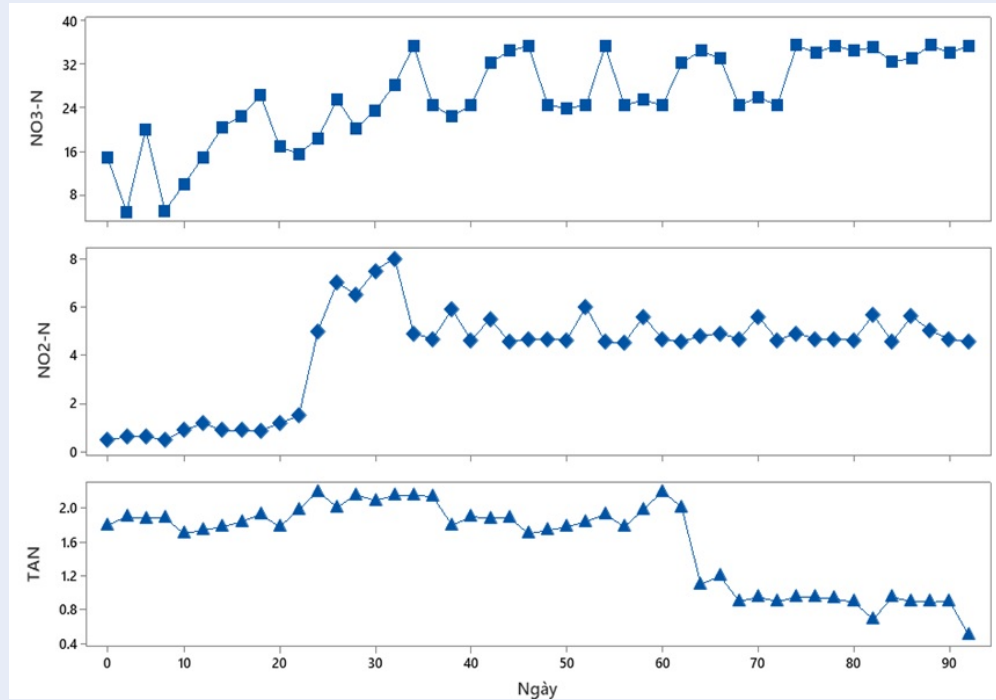
## KẾT QUẢ

### Chất lượng nước và các yếu tố ảnh hưởng đến N trong aquaponics

Nồng độ trung bình của các thông số chất lượng nước trong hệ thống được thể hiện trong Bảng 1. Trong aquaponics, 32 - 45% N có nguồn gốc từ thức ăn cho cá được đồng hóa thành sinh khối cây trồng: 23 - 28% cho cơ thể cá và 10 - 17% cho thực vật. 55-65% tổng lượng N đầu vào bị thất thoát ra môi trường trong hệ thống aquaponic: Ước tính có khoảng 35-45% lượng N không được tính toán thất thoát vào khí quyển, 20-25% còn lại đi vào nước thải, 0,8-3% đi vào chất thải rắn (bùn thải). Nguồn N đầu vào cho hệ thống aquaponics chủ yếu là thức ăn và nước cấp, thức ăn chiếm phần lớn lượng N đầu vào với hàm lượng protein khoảng 30-40% trong khi một lượng nhỏ N khoảng 0,06 gN/ngày được cung cấp qua nước máy để bù đắp lượng nước thất thoát. Cá tra hay các loài cá khác đa số sẽ bài tiết NH<sub>3</sub> qua mang, nước tiểu và phân, tùy thuộc vào pH, nhiệt độ của môi trường mà quá trình chuyển đổi sang NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Trong nghiên cứu này độ pH trong bể cá duy trì trong khoảng 7,3±0,07 và nhiệt độ là 27,6±1,15°C, tức khoảng trên 90% N hiện diện ở dạng NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Bên cạnh đó, có khoảng 6-15% N dưới dạng N-org qua phân tùy thuộc vào hàm lượng N trong thức ăn và quá trình trao đổi chất của các loài cụ thể<sup>25</sup>. Bên cạnh đó, sử dụng đèn UV cũng gây tác động gián tiếp đến chu trình N trong hệ thống aquaponics theo cơ chế bất hoạt vi sinh vật liên quan đến chu trình N. Xử lý UV làm giảm khả năng mắc các bệnh do virus, vi khuẩn và nấm, không có tài liệu nào cho thấy ánh sáng tia cực tím có thể ảnh hưởng trực tiếp đến sự biến đổi N. Bên cạnh quá trình chuyển hóa N của vi sinh vật, thực vật còn đóng vai trò quan trọng bằng cách thực hiện quá trình hấp thu NH<sub>4</sub><sup>+</sup> và NO<sub>3</sub><sup>-</sup> từ nước trong hệ thống. Các nghiên cứu trước đây đã chứng minh rằng tỷ lệ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> và NO<sub>3</sub><sup>-</sup> có thể ảnh hưởng đến tốc độ tăng trưởng và phân bố sinh khối của thực vật. Kết quả nghiên cứu này cho thấy nồng độ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> giảm nhẹ, trong khi nồng độ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> và N<sub>org</sub> tăng nhẹ, tuy nhiên sự khác biệt không đáng kể. Bùn tươi hay chất thải rắn từ hệ thống aquaponics có khoảng 5% tổng lượng TN đầu vào hàng ngày được thải qua hệ thống thoát nước. Trong hệ nghiên cứu này, bùn tươi được tái sử dụng làm phân bón hữu cơ. Sự biến đổi thông số chất lượng môi trường nước trong suốt chu kỳ nuôi được thể hiện trong Hình 2 và Hình 3.



Hình 2: Sự biến đổi của các thông số nhiệt độ, DO và pH trong quá trình vận hành



Hình 3: Sự biến đổi của TAN, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N trong mô hình aquaponic

**Bảng 1: Nồng độ trung bình của các thông số chất lượng nước trong hệ thống**

Loại thực vật	pH	Nhiệt độ (°C)	DO (mgO <sub>2</sub> /L)	EC (ds/m)	TAN (mg/L)	NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	NO <sub>3</sub> -N (mg/L)
Rau muống*	7,3±0,07	27,6±1,15	6,74±0,34	0,75±0,25	1,59±0,5	4,1±2,0	26,9±8,2
Cà chua**	6,82a	25,27b	7,02c	0,54c	2,11a	4,68ab	32,5b
Rau húng**	6,79a	25,06b	7,05bc	0,84b	1,91a	4,98a	35,4b
Cải xanh**	6,84a	26,14a	7,20b	0,92b	1,88a	4,82a	32,5b

\*: được thực hiện trong nghiên cứu này.  
 \*\*: so sánh với nghiên cứu của <sup>27</sup>.  
 Các giá trị trong cột có cùng một chữ cái theo sau không khác biệt đáng kể dựa trên thử nghiệm sự khác biệt có ý nghĩa Tukey ( $\alpha = 0,05$ )

### Đánh giá hiệu quả sản xuất sinh khối cá và thực vật

Thực vật phát triển trong hệ thống Aquaponics sử dụng nguồn dinh dưỡng chủ yếu từ chất thải bài tiết của cá thông qua nước thải và lượng thức ăn dư thừa trong quá trình cung cấp dinh dưỡng cho cá. Mỗi loài thực vật tạo ra sinh khối khác nhau của các sản phẩm cuối cùng. Trong mô hình này, rau muống là loài thực vật được lựa chọn, có chu kỳ thu hoạch ngắn ngày từ 01 đến 02 tháng khi trồng trong aquaponics (Hình 4). Hàm lượng N trong thực vật cũng sẽ khác nhau tùy theo loài. Trong mô hình aquaponics đã thực hiện, năng suất trung bình khoảng 8,5±0,5 g/cây tương ứng với năng suất thực tế thu được là khoảng 1,8 kg/m<sup>2</sup>. Năng suất sinh trưởng và phát triển của cá được thể hiện trong Bảng 2, thời gian nuôi là 150 ngày, tỷ lệ sống đạt 80% với hệ số tiêu thụ thức ăn là 1,5. Có 3 đợt thu hoạch sinh khối thực vật đã được thực hiện, năng suất của mỗi đợt được thể hiện chi tiết trong Bảng 3. Trong aquaponics, rau muống cho năng suất khoảng 8-10 g/cây trong 30 - 45 ngày (một chu kỳ thu hoạch). Ước tính tổng hàm lượng nitơ trong rau muống là 0,0415 gN/g trọng lượng khô và độ ẩm của mỗi cây rau muống là 90%. Từ đó, nhu cầu nitơ cho việc đồng hóa của một chậu rau phát triển là 8,3 gN. Lượng nitơ hấp thụ trung bình mỗi ngày đối với khoảng trung bình 250 cây là 0,18gN/ngày. Vì lượng nitơ mà cây trồng cần là 0,18gN/ngày, tốc độ tạo nitrat không được thấp hơn 0,18g/ngày (nitrat là nguồn nitơ chính cho cây trồng trong aquaponics). Tuy nhiên, việc mất nitơ là không thể tránh khỏi trong hệ thống aquaponics, tỷ lệ này thay đổi từ 20% đến 40% tổng lượng nitơ đầu vào trong hệ thống aquaponics. Trong đó khoảng 40% lượng nitơ đầu vào thất thoát từ hệ thống aquaponics vào khí quyển thông qua quá trình khử nitơ.

### Đánh giá hiệu quả sản xuất phân hữu cơ từ bùn cá

Trong nghiên cứu này xây dựng một hệ thống aquaponics khép kín và tuần hoàn, loại bỏ tất cả các tác động tiêu cực đến môi trường và nâng cao tính bền vững của hệ thống. Do đó, bùn thải từ hệ thống lọc được thu hồi để sản xuất phân bón hữu cơ kết hợp với sinh khối thực vật trong hệ thống (Hình 5). Việc thu hồi chất dinh dưỡng từ bùn cũng có thể làm giảm bớt vấn đề thiếu hụt chất dinh dưỡng cho cây trồng mà aquaponics gặp phải và tiết kiệm chi phí mua thêm chất dinh dưỡng cho cây trồng. Kết quả tại Bảng 4 cho thấy rằng phân hữu cơ sản xuất từ bùn thải của hệ thống aquaponics có chứa các chất dinh dưỡng chủ yếu bao gồm tổng N, tổng P và tổng K lần lượt là 1,89%, 0,91%, và 0,73%. Thông thường hiệu suất khoáng hóa bùn thải từ hệ thống RAS khoảng 20-70% các chất dinh dưỡng như P và K<sup>28</sup>. Nếu các chất dinh dưỡng thu được thông qua quá trình khoáng hóa bùn thải được thêm vào quy trình xử lý nước thải nuôi trồng thủy sản thì sự thiếu hụt chất dinh dưỡng cho cây trồng sẽ được cải thiện.

### THẢO LUẬN

Nghiên cứu đã thiết kế và vận hành hiệu quả mô hình aquaponics cho cá tra, với các kỹ thuật vận hành và thu hồi chất thải từ hệ thống lọc cũng như tận dụng sinh khối thực vật từ hệ thống làm phân hữu cơ. Bên cạnh đó, kết quả của nghiên cứu thể hiện ước tính sự phân bố và thất thoát N đáng kể bởi hệ thống aquaponics. Tất cả các công trình phụ trong hệ thống aquaponics giúp cho tuần hoàn dinh dưỡng nhất là N được tốt hơn, tuy nhiên chu trình N trong hệ thống đều bị ảnh hưởng bởi các giải pháp tuần hoàn nước. Ví dụ như hệ thống lọc sẽ giữ lại bùn thải và thúc đẩy quá trình phân hủy kỵ khí, hệ thống xử lý UV gây ảnh hưởng đến các chủng vi sinh vật trong chu trình

**Bảng 2: Đánh giá hiệu quả sản xuất sinh khối cá**

Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị
Trọng lượng trung bình cá ban đầu	g/con	30±9,04
Trọng lượng trung bình cá thu hoạch	g/con	531±94,2
Tăng trưởng tuyệt đối	g/con	501±92,2
Tăng trưởng tương đối	%/ngày	1,89±0,2
Tỷ lệ sống	%	80%
Hệ số chuyển đổi thức ăn (FCR)		1,5

Mean ± SD là trung bình độ lệch chuẩn

**Bảng 3: Đánh giá hiệu quả sản xuất thực vật trong hệ thống**

Đợt thu hoạch	Chậu số	Năng suất cá thể	Năng suất lý thuyết	Năng suất thực thu
		g/cây, ww*	kg/m <sup>2</sup> , ww	kg/m <sup>2</sup> , ww
ĐT1	NT1	8,5±0,5	1,79±0,12	1,8
	NT2	8,5±0,5	1,81±0,12	1,75
	NT3	8,4±0,7	1,63±0,15	1,63
ĐT2	NT1	8,4±0,6	1,68±0,12	1,7
	NT2	8,3±0,5	1,76±0,11	1,8
	NT3	8,4±0,7	1,82±0,16	2,01
ĐT3	NT1	8,5±0,6	1,71±0,12	1,9
	NT2	8,4±0,5	1,71±0,11	1,6
	NT3	7,9±0,6	1,66±0,14	1,8

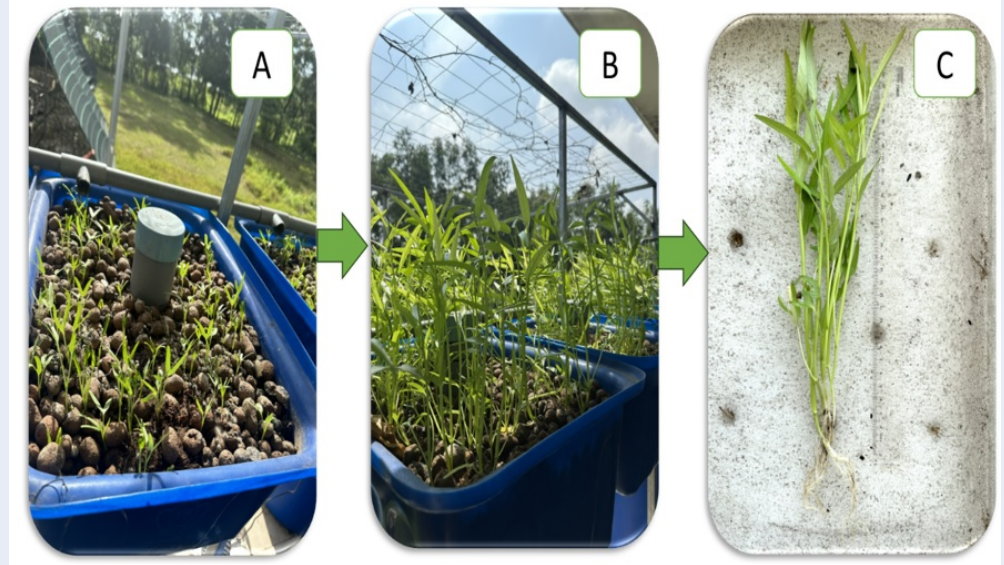
Mean ± SD là trung bình độ lệch chuẩn.  
 NT1,NT2, NT3 lần lượt là chậu số 1 chậu số 2 và chậu số 3 với 3 loại giá thể thương mại khác nhau.  
 ĐT1, ĐT2, ĐT3 lần lượt là đợt thu hoạch lần thứ nhất, thứ 2 và thứ 3.  
 \*ww là khối lượng ướt của thực vật.

**Bảng 4: Chất lượng phân bón sau khi ủ**

Thông số	pH	EC	Độ ẩm	TOC	Tổng N	Tổng P	Tổng K	C/N
		dS/m	%	%	%	%	%	-
Bùn sau hệ thống lọc	6,9	0,36	95,2	19,2	1,8	0,9	0,73	10,6
Thủy trúc Thái	6,1	4,7	83,4	51,2	1,21	0,07	1,51	42,3
Phân hữu cơ	6,5	0,7	32,6	24,3	1,89	0,91	0,73	12,8

khoáng hóa N, khi đó hệ thống MBBR phía sau sẽ bị ảnh hưởng do thiếu các chủng vi sinh vật hiếu khí. Nghiên cứu này cũng cho thấy rằng ước tính 45-50% lượng N đầu vào bị thất thoát dưới dạng khí N trong các hệ thống aquaponics không phát thải. Hệ thống aquaponics không xả thải có đặc điểm là thất thoát N cao (dưới dạng khí N) trên 40% trong một lần canh tác<sup>29</sup>. Thất thoát N trong chất thải rắn hay bùn thải với tỷ lệ rất thấp, dưới 2% điều này cũng đã được công

bổ trước đây<sup>25</sup>. Tuy nhiên một số nghiên cứu khác lại cho thấy tỷ lệ thất thoát N cao gấp 2 đến 5 lần<sup>30</sup>. Sự khác biệt này có thể là do sự khác biệt trong thiết kế hệ thống (ví dụ: kích thước bể chứa chất thải rắn, tốc độ dòng chảy) và thực tiễn vận hành (ví dụ: tần suất thu gom chất thải rắn, tốc độ xả nước) giữa các nghiên cứu.



Hình 4: (A) sau 7 ngày gieo hạt, (B) sau 20 ngày gieo, (C) kích thước của thực vật



Hình 5: (A) Sau khi phối trộn cùng thủy trúc, (B) Sau 20 ngày, (C) Sau 50 ngày

## KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã chứng minh được các giải pháp sản xuất phân hữu cơ từ bùn thải của hệ thống lọc trong aquaponics là khả thi và có hiệu quả. Hệ thống aquaponics triển khai đã mang lại hiệu quả về sinh khối của động vật cũng như thực vật trong hệ thống. Có 32 - 45% N có nguồn gốc từ thức ăn cho cá được đồng hóa thành sinh khối cây trồng, ước tính có khoảng 35-45% lượng N không được tính toán thất

thoát vào khí quyển, 20-25% còn lại đi vào nước thải, 0,8-3% đi vào chất thải rắn (bùn thải). Bên cạnh đó, trọng lượng cá trung bình thu hoạch được khi triển khai mô hình là  $531 \pm 94,2$  g/con, và tỷ lệ sống đạt 80% và hệ số chuyển đổi thức ăn (FCR) là 1,5 tương tự như các mô hình đã được vận hành thương mại. Năng suất rau muống trong nghiên cứu đạt từ 1,8 đến  $2\text{kg/m}^2$ , tổng hàm lượng nitơ trong rau muống là 0,0415 gN/g trọng lượng khô và độ ẩm của mỗi cây rau muống là 90%. Phân hữu cơ được sản xuất từ bùn thải của hệ



thống aquaponics có chất lượng cao, trong đó tổng N, tổng P và tổng K lần lượt là 1,89%, 0,91%, và 0,73%. Mô này đã được triển khai và mang lại hiệu quả, tuy nhiên đối với việc thu bùn thải từ hệ thống aquaponics vẫn còn hạn chế đối với quá trình hạ độ ẩm của bùn, các hướng nghiên cứu tiếp theo cần tối ưu hóa kỹ thuật thu bùn để hạn chế chi phí và hiệu quả kinh tế.

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số DN2022-24-02 với tên đề tài là “Ứng dụng phân tích dòng vật chất (MFA) trong việc quản lý dòng Nitơ hướng đến hệ sinh thái khép kín cho các ao nuôi cá tra khu vực đồng bằng sông Cửu Long”.

## XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả cam đoan rằng không có xung đột lợi ích trong công bố bài báo “Cải thiện quá trình thu hồi nitơ trong hệ thống aquaponics bằng cách bổ sung quy trình ủ phân từ bùn thải”

## ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Trần Trung Kiên: Phân tích hình thức, Điều tra, Quản lý dữ liệu, Phương pháp luận, Viết – bản thảo gốc, Viết – rà soát & chỉnh sửa.

Lê Thanh Hải: Phương pháp luận, phân tích dữ liệu. Nguyễn Thanh Hùng: Khái niệm hóa, Phương pháp luận, Nguồn tài liệu, Viết – rà soát & chỉnh sửa, Giám sát, Quản lý đề tài.

Trần Thị Huệ: Điều tra, Kiểm chứng, Phân tích hình thức, Viết – bản thảo gốc.

Nguyễn Thị Phương Thảo: Điều tra, Quản lý dữ liệu. Nguyễn Việt Thắng: Khảo sát, Triển Khai mô hình.

## DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

**RAS:** Hệ thống nuôi trồng thủy sản tuần hoàn

**PUE:** Hiệu suất sử dụng photpho (P) cao nhất

**TAN:** Tổng lượng nitơ ở dạng amoni

**FCR:** Hệ số chuyển đổi thức ăn

**SD:** Độ lệch chuẩn

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Lennard WA, Leonard B V. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquac Int.* 2006;14:539-50; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>.
- Palm HW, Knaus U, Appelbaum S, Goddek S, Strauch SM, Vermeulen T, et al. Towards commercial aquaponics: A review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquac Int.* 2018;26:813-42; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>.

- Lobanov VP, Combot D, Pelissier P, Labbé L, Joyce A. Improving plant health through nutrient remineralization in aquaponic systems. *Front Plant Sci.* 2021;1064; PMID: 34194456. Available from: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.683690>.
- Adhikari R, Rauniyar S, Pokhrel N, Wagle A, Komai T, Paudel SR. Nitrogen recovery via aquaponics in Nepal: current status, prospects, and challenges. *SN Appl Sci.* 2020;2:1-15; Available from: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2996-5>.
- Maucier C, Nicoletto C, Junge R, Schmautz Z, Sambo P, Borin M. Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Ital J Agron.* 2018;13(1):1-11; Available from: <https://doi.org/10.4081/ija.2017.1012>.
- Rakocy J, Masser MP, Losordo T. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. 2016;.
- Wongkiew S, Hu Z, Lee JW, Chandran K, Nhan HT, Marcelino KR, et al. Nitrogen recovery via aquaponics-bioaponics: Engineering considerations and perspectives. *ACS ES&T Eng.* 2021;1(3):326-39; Available from: <https://doi.org/10.1021/acsestengg.0c00196>.
- Lenz GL, Löss A, Lourenzi CR, Luiz de Alcantara Lopes D, Siebeneichler L de M, Brunetto G. Lettuce growth in aquaponic system and in soil fertilized with fish sludge. *Aquac Res.* 2021;52(10):5008-21; Available from: <https://doi.org/10.1111/are.15372>.
- Lenz GL, Löss A, Lourenzi CR, de Alcantara Lopes DL, de Matos Siebeneichler L, Brunetto G. Common chicory production in aquaponics and in soil fertilized with aquaponic sludge. *Sci Hortic (Amsterdam).* 2021;281:109946; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109946>.
- Ezziddine M, Liltved H, Homme JM. A method for reclaiming nutrients from aquacultural waste for use in soilless growth systems. *Water Sci Technol.* 2020;81(1):81-90; PMID: 32293591. Available from: <https://doi.org/10.2166/wst.2020.079>.
- Ezziddine M, Liltved H, Seljåsen R. Hydroponic lettuce cultivation using organic nutrient solution from aerobic digested aquacultural sludge. *Agronomy.* 2021;11(8):1484; Available from: <https://doi.org/10.3390/agronomy11081484>.
- Amin M, Agustono A, Prayugo P, Ali M, Hum NNMF. Comparison of total nutrient recovery in aquaponics and conventional aquaculture systems. *Open Agric.* 2021;6(1):682-8; Available from: <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0032>.
- Chen P, Kim H-J, Thatcher LR, Hamilton JM, Alva ML, Zhou Z, et al. Maximizing nutrient recovery from aquaponics wastewater with autotrophic or heterotrophic management strategies. *Bioresour Technol Reports.* 2023;21:101360; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101360>.
- Zhang H, Gao Y, Shi H, Lee CT, Hashim H, Zhang Z, et al. Recovery of nutrients from fish sludge in an aquaponic system using biological aerated filters with ceramsite plus lignocellulosic material media. *J Clean Prod.* 2020;258:120886; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120886>.
- Zhu Z, Yogev U, Goddek S, Yang F, Keesman KJ, Gross A. Carbon dynamics and energy recovery in a novel near-zero waste aquaponics system with onsite anaerobic treatment. *Sci Total Environ.* 2022;833:155245; PMID: 35429558. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155245>.
- Zhu Z, Yogev U, Keesman KJ, Gross A. Onsite anaerobic treatment of aquaponics lettuce waste: digestion efficiency and nutrient recovery. *Aquac Int.* 2021;29:57-73; Available from: <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00609-x>.
- Gao Y, Zhang H, Peng C, Lin Z, Li D, Lee CT, et al. Enhancing nutrient recovery from fish sludge using a modified biological aerated filter with sponge media with extended filtration in aquaponics. *J Clean Prod.* 2021;320:128804; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128804>.
- Xia T, Chen A, Zi Y, Zhang Y, Xu Q, Gao Y, et al. Performance of fish sludge solubilization and phototrophic bioconversion by purple phototrophic bacteria for nutrient recovery in aquaponic system. *Waste Manag.* 2023;171:105-15; PMID: 37657283. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.08.016>.

19. Goddek S, Delaide BPL, Joyce A, Wuertz S, Jijakli MH, Gross A, et al. Nutrient mineralization and organic matter reduction performance of RAS-based sludge in sequential UASB-EGSB reactors. *Aquac Eng.* 2018;83:10-9; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.07.003>.
20. Hu Z, Lee JW, Chandran K, Kim S, Brotto AC, Khanal SK. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Biore-sour Technol.* 2015;188:92-8; PMID: 25650140. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>.
21. Buhmann A, Papenbrock J. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basic principles, current uses and future perspectives. *Environ Exp Bot.* 2013;92:122-33; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.005>.
22. Zou Y, Hu Z, Zhang J, Xie H, Guimbaud C, Fang Y. Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Biore-sour Technol.* 2016;210:81-7; PMID: 26783143. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.079>.
23. Kuhn DD, Drahos DD, Marsh L, Flick Jr GJ. Evaluation of nitrifying bacteria product to improve nitrification efficacy in recirculating aquaculture systems. *Aquac Eng.* 2010;43(2):78-82; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.07.001>.
24. Yep B, Zheng Y. Aquaponic trends and challenges-A review. *J Clean Prod.* 2019;228:1586-99; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>.
25. Wongkiew S, Hu Z, Chandran K, Lee JW, Khanal SK. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquac Eng.* 2017;76:9-19; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004>.
26. Nguyen PCT, Nguyen NH, Thai TTT, Tran TP, Nguyen NT. Ảnh hưởng của hai hệ thống thủy canh lên chất lượng nước và phát triển của cá lóc và cải xanh trong mô hình aquaponic. *J Agric Dev.* 2021;20(2):27-35; Available from: <https://doi.org/10.52997/jad.4.02.2021>.
27. Yang T, Kim H-J. Comparisons of nitrogen and phosphorus mass balance for tomato-, basil-, and lettuce-based aquaponic and hydroponic systems. *J Clean Prod.* 2020;274:122619; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122619>.
28. Goddek S, Joyce A, Kotzen B, Burnell GM. Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future. Springer Nature; 2019; Available from: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>.
29. Fang Y, Chen X, Hu Z, Liu D, Gao H, Nie L. Effects of hydraulic retention time on the performance of algal-bacterial-based aquaponics (AA): focusing on nitrogen and oxygen distribution. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2018;102:9843-55; PMID: 30191289. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9338-1>.
30. Jaeger C, Foucard P, Tocqueville A, Nahon S, Aubin J. Mass balanced based LCA of a common carp-lettuce aquaponics system. *Aquac Eng.* 2019;84:29-41; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.11.003>.

# Improving nitrogen recycling in an aquaponics system by adding a composting process from fish sludge

Tran Trung Kien\* , Le Thanh Hai, Nguyen Thanh Hung, Tran Thi Hieu, Nguyen Thi Phuong Thao, Nguyen Viet Thang

## ABSTRACT

The goal of this research is to recover nutrients from wastewater sludge and recirculate them as organic fertilizer in aquaponics systems. Improving the sustainability of aquaponics by increasing economic and environmental efficiency. In this study, an improved aquaponics system was developed including a fish pond, biological reactor, growing bed, and composting site. In addition, an ecological floating bed is placed on the surface of the fish pond to absorb nutrients in the fish pond. After a farming cycle lasting more than 3 months, the biomass of *Cyperus haspan* is harvested and mixed with fish sludge from the biological reactor tank to produce organic fertilizer. The nitrogen and carbon balance model was established to evaluate the nutrient recovery efficiency of the aquaponics system. The results indicate that nutrient recovery from fish sludge can also address the problem of nutrient deficiency faced by aquaponics systems and reduce the costs associated with the purchase of additional nutrients. Besides, 32 - 45% of N originating from fish feed is assimilated into plant biomass. It is estimated that about 35-45% of unaccounted N is lost to the atmosphere, the remaining 20-25% into wastewater, and 0.8-3% into solid waste. The average weight of fish harvested in the system is  $531 \pm 94.2$  g/fish with a survival rate of 80%. Plant biomass in three harvests reached 1.8 to 2 kg/m<sup>2</sup>.

**Key words:** nutrient recycling, nitrogen transformations, aquaponics system, fish sludge, catfish cultivation

Institute for Environment and Resources,  
VNUHCM, Vietnam

## Correspondence

Tran Trung Kien, Institute for  
Environment and Resources, VNUHCM,  
Vietnam

Email: trungkienmt95@gmail.com

## History

- Received: 09-1-2024
- Accepted: 04-3-2024
- Published Online: 30-6-2024

DOI : <https://doi.org/10.32508/stdjsee.v8i1.752>



## Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



**Cite this article :** Kien T T, Hai L T, Hung N T, Hieu T T, Thao N T P, Thang N V. **Improving nitrogen recycling in an aquaponics system by adding a composting process from fish sludge** . *Sci. Tech. Dev. J. - Sci. Earth Environ.* 2024, 8(1):839-849.