

SO SÁNH TÍNH KHẢ THI CỦA HAI KIỂU THIẾT KẾ MÁNG CẠN VÀ KHAY TRỒNG RAU TRONG HỆ THỐNG TRỒNG CÂY THỦY CANH VÀ NUÔI CÁ TÍCH HỢP

Lê Nguyễn Anh Duy, Lê Trần Tiểu Trúc, Nguyễn Thị Bé Ly,
Nguyễn Thị Hồng Ngọc, Triệu Thị Thúy Vi, Ngô Thụy Diễm Trang*

Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường đại học Cần Thơ

Email : ntdtrang@ctu.edu.vn*

Ngày gửi bài: 07.08.2017

Ngày chấp nhận: 04.04.2018

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm mục đích đánh giá kiểu thiết kế hệ thống aquaponics phù hợp với quy mô hộ gia đình ở các vùng ven đô hiện nay. Thí nghiệm bao gồm 2 kiểu thiết kế hệ thống trồng rau thủy canh và 3 lần lặp lại; có và không có sử dụng chất nền là điểm khác biệt chính ở hai kiểu thiết kế này. Xà lách (*Lactuca sativa* L.), húng lũi (*Mentha spicata* L.) và húng quế (*Ocimum basilicum* L.) là ba loại rau được trồng trên các hệ thống dựa trên phương pháp thủy canh nhưng nước được thay thế bằng nước nuôi cá rô phi với mật độ 120 con/m³. Trong suốt thời gian 70 ngày nuôi hệ thống không thay nước mới và cho cá ăn mỗi ngày nhưng chất lượng nước đến khi kết thúc thí nghiệm đều khá tốt, đặc biệt không có sự tích lũy nồng độ đạm NH₄-N và NO₂-N. Hai kiểu hệ thống trong nghiên cứu đều phù hợp với hộ gia đình có diện tích sân thượng vừa và có khoảng sân trước hiên nhỏ. Xét một cách tổng quát, thiết kế theo hệ thống 1 mang tính ổn định và có tiềm năng để kế thừa và phát triển hơn hệ thống 2. Mặc dù vậy, để áp dụng vào thực tiễn cần có giải pháp khắc phục được sâu bệnh và tăng hiệu quả nuôi cá.

Từ khóa: Cá rô phi, chất lượng nước, hệ thống trồng cây thủy canh và nuôi cá tích hợp, húng quế, húng lũi, xà lách.

Comparative Feasibility of Growing Tube and Container Hydroponic Sub-Systems in an Aquaponic System

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the suitability of different aquaponic systems to be applied at the suburban household scale. The experiment consisted of two types of hydroponic sub-systems in three replications; presence and absence of substrate were the main difference of two types of systems. Three leafy vegetables, lettuce (*Lactuca sativa* L.), curled mint (*Mentha spicata* L.), and basil (*Ocimum basilicum* L.) were planted on these two aquaponic systems and watered with water from Tilapia culture at the density of 120 fish/m³. During 70 raising days, the water quality was good especially zero-accumulation of nitrogenous forms NH₄-N and NO₂-N in spite of daily feeding and zero-water exchange. The two aquaponics systems in this study were suitable for the households with a medium size of rooftop and small front yard. Generally, the first system showed sustainability and higher potential for further development as compared to the second system. In order to be applied in the reality, pest management and increasing of fish yield have to be taken into consideration.

Keywords: Aquaponics, basil, curled mint, lettuce, Tilapia, water quality.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống aquaponics là hệ thống kết hợp trồng cây thủy canh và nuôi cá (Rakocy & Hargreaves, 1993). Hầu hết các loại rau ăn lá, rau ăn trái, rau mùi, ... đều có thể phát triển tốt

trong hệ thống aquaponics (Losordo *et al.*, 2000). Ở các quốc gia phát triển, hệ thống aquaponics được thiết kế trong các khu đô thị, trên mái nhà của hộ gia đình, hay các nhà lưu động trong đô thị,... nhằm tận dụng diện tích khu đô thị để sản xuất sản phẩm nông nghiệp

So sánh tính khả thi của hai kiểu thiết kế máng cạn và khay trồng rau trong hệ thống trồng cây thủy canh và nuôi cá tích hợp

(protein) thỏa mãn nhu cầu tiêu dùng của gia đình, sản phẩm dư thừa có thể đem bán (Losordo *et al.*, 2000). Tuy nhiên, ở Việt Nam, hệ thống này còn khá mới mẻ với người dân đô thị và ven đô. Đây là loại hình có thể thích hợp với vùng ven đô nơi có không gian thông thoáng hoặc nhà tầng thấp.

Sự tích hợp này mang lại lợi ích thiết thực và tính độc đáo của hệ thống aquaponics. Thay vì bổ sung phân bón và hóa chất để trồng cây thủy canh, hệ thống này sử dụng nước thải và chất thải từ bể nuôi cá là dung dịch dinh dưỡng cho sự phát triển của cây. Ngược lại, thay vì phải xử lý rồi xả nước từ bể nuôi cá ra môi trường, nước thải được cây trồng và chất nền trong hệ thống thủy canh lọc sạch và trả lại cho bể cá (Trang & Brix, 2014). Để sản xuất 1 kg cá rô phi trong hệ thống aquaponic này chỉ cần khoảng 1 m³ nước, ít hơn rất nhiều so với ghi nhận của Nhan *et al.* (2008). Ngoài ra, 370 g rau muống và 97 g xà lách được sản xuất trong chu kỳ 25 ngày trên hệ thống này và trong thời gian nghiên cứu 50 ngày nước bể nuôi cá không cần thay mới nhưng vẫn duy trì tốt cho cá rô phi tăng trưởng (Trang & Brix, 2014). Tuy nhiên, hệ thống này thiết kế với quy mô bể nuôi cá lớn 1 m³ và bể trồng cây có chất nền là đá. Do đó, nghiên cứu hiện tại được thực hiện trên quy mô bể nuôi cá nhỏ hơn kết hợp với hệ thống thủy canh dạng ống máng kỹ thuật màng dinh dưỡng (nutrient film technique, NFT) và bể trồng cây tích hợp 2 dạng bể nổi và bể có chất nền nhằm phục vụ cho quy mô hộ gia đình. Mục tiêu nghiên cứu nhằm thử nghiệm và so sánh chất lượng nước, sản lượng cá và sản lượng rau giữa hai kiểu thiết kế. Loài cá được nuôi trong hệ thống là cá rô phi và ba loài rau trồng thủy canh là húng lũi (*Mentha spicata* L.) (hay còn gọi là bạc hà lục), húng quế (*Ocimum basilicum* L.) và xà lách (*Lactuca sativa* L.).

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô tả thí nghiệm

Nghiên cứu được thực hiện từ tháng 7/2016 đến tháng 12/2016 tại Khoa Môi trường và Tài

nguyên thiên nhiên, Trường đại học Cần Thơ. Thí nghiệm gồm 2 nghiệm thức (2 kiểu hệ thống) được bố trí hoàn toàn ngẫu nhiên với 3 lần lặp lại.

2.1.1. Thiết kế hệ thống

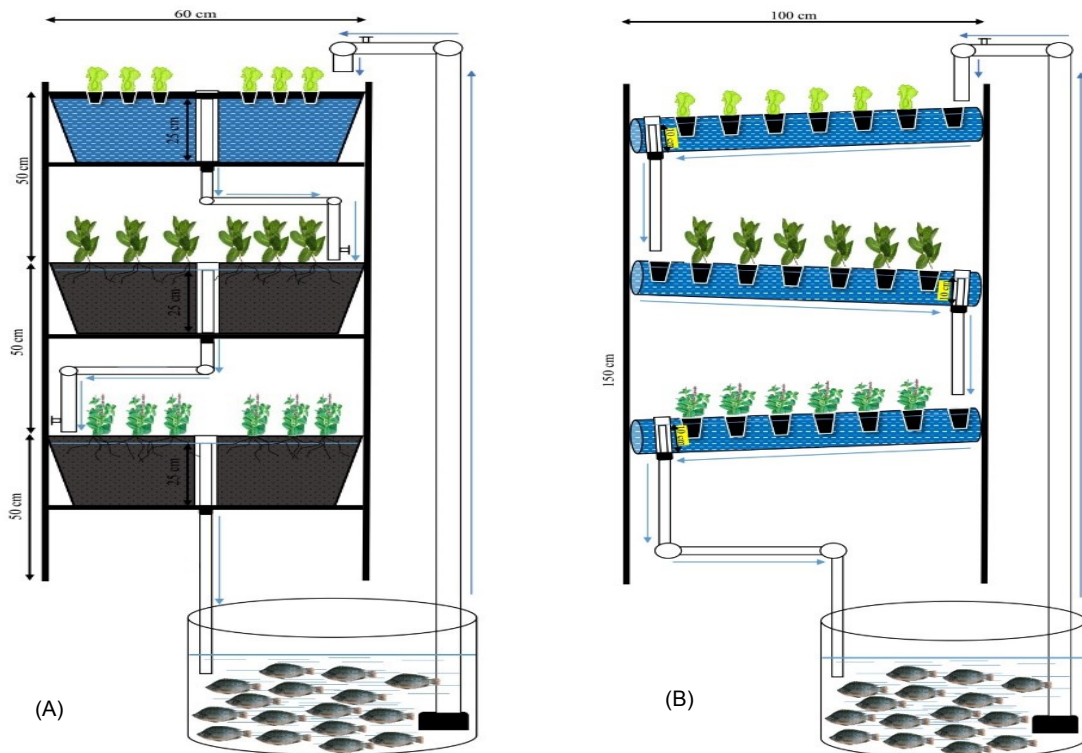
Hệ thống 1: là sự kết hợp giữa 2 kiểu thiết kế tưới ngập - máng sâu và bể nổi (Hình 1A). Ở hệ thống này, 3 thùng trồng rau (kích thước dài x rộng x cao tương ứng là 60 x 30 x 30 cm; diện tích 0,18 m²) được bố trí trên cùng 1 kệ bậc thang tạo dòng chảy nước theo trọng lực. Trong đó, thùng thứ nhất từ trên xuống là thùng bể nổi máng sâu, cây được cố định trong rọ nhựa chứa chất nền và trồng rau xà lách; hai thùng bên dưới cùng được phủ lớp 30 cm hỗn hợp chất nền lần lượt trồng húng lũi và húng quế. Mực nước ở các thùng đều được duy trì là 25 cm. Chất nền được sử dụng là hỗn hợp bao gồm gôm, than tổ ong và vỏ sò huyết có kích thước hạt từ 2 - 5 mm, được trộn với nhau theo tỉ lệ 1: 2: 3. Hỗn hợp sau khi pha trộn có độ rỗng là 62,1 ± 1,2% (Bùi Thành Luân và cs., 2015). Chất nền trước khi trồng được rửa sạch để loại bỏ tạp chất bám dính trên bề mặt chất nền, do đó, trong hệ thống trồng cây chất nền chỉ đóng góp vai trò như giá thể cố định cây.

Hệ thống 2: được bố trí theo phương pháp máng cạn - ống dòng chảy (NFT) với 3 ống nhựa PVC (Ø11cm) chiều dài 1 m, độ dốc nghiêng hướng về đầu ra của ống là 1 cm, mỗi ống trồng 1 loại rau (Hình 1B). Thứ tự trồng rau từ trên xuống tương tự ở hệ thống 1. Cây trồng trong các rọ nhựa chứa chất nền tương tự hệ thống 1 để cố định cây trên hệ thống ống (Hình 1B). Ngoài ra, ở đầu vào mỗi ống bố trí một rọ nhựa chứa chất nền tương tự hệ thống 1 nhằm lọc chất rắn lơ lửng.

Ở cả 2 hệ thống đều được bố trí máy bơm nước thả chìm trong bể nuôi cá (thể tích 120 L) để bơm nước tưới lên máng trồng cây.

2.1.2. Vận hành hệ thống

Ở hệ thống 1 (Hình 1A), nước được bơm từ bể nuôi cá lên khay trồng rau xà lách. Theo trọng lực, nước chảy xuống các khay trồng bên



Hình 1. Mô hình thiết kế hệ thống 1 (A) và hệ thống 2 (B)

Ghi chú: Kích thước không theo tỷ lệ (đơn vị: cm)

dưới và trở về bể nuôi cá. Vòng tuần hoàn nước diễn ra tương tự ở hệ thống 2 (Hình 1B). Lượng nước bơm từ bể cá phân phối lên các khay/ống trồng cây là ~83 mL/phút (tương ứng 120 L nước từ bể nuôi cá được bơm lên hệ thống trồng cây mỗi ngày).

Cá rô phi (trung bình 23,3 g/con) được thả nuôi với mật độ là 120 con/m³ (Trang *et al.*, 2017). Cá được nuôi trong bể khoảng 1 tháng để tạo sự thích nghi trước khi thí nghiệm bắt đầu. Cá con trước khi thả nuôi được ngâm qua nước muối loãng. Cá được cho ăn với thức ăn công nghiệp dạng viên nổi (30% protein thô tương đương 4,8% N), kích cỡ viên thức ăn từ 2 - 4 mm. Lượng thức ăn được điều chỉnh dựa vào khối lượng cá và khả năng tiêu thụ thức ăn của cá trong bể và được ghi nhận lại. Ban đầu lượng thức ăn cho cá ăn ở 2 hệ thống là tương đương nhau và tăng dần theo thời gian nuôi. Nhưng

đến ngày thứ 11 (lượng thức ăn 100 g/bể/ngày), xuất hiện cá chết ở hệ thống 2, do đó lượng thức ăn được giảm đi tùy theo số lượng cá và nhu cầu ăn của cá. Tổng lượng thức ăn cho cá khoảng 2,0 kg/bể (hệ thống 1) và 1,5 kg/bể (hệ thống 2).

2.2. Thu và phân tích các chỉ tiêu chất lượng nước

Các chỉ tiêu môi trường nước trong bể nuôi cá như pH, EC, DO và nhiệt độ được đo trực tiếp mỗi ngày vào buổi sáng 8 giờ và chiều 16 giờ bằng các máy chuyên dụng HI8424, HI99300 và HI9146 (Hanna Instruments, Rumani). Việc theo dõi chất lượng môi trường nước trong bể nuôi cá được thực hiện 2 tuần/1 lần. Mẫu nước được thu vào buổi sáng khoảng 7 - 8 giờ theo phương pháp thu mẫu tổ hợp. Tại thời điểm thu mẫu nước 2 tuần/1 lần các chỉ tiêu pH, EC, DO và nhiệt độ được đo tại khu thí nghiệm. Các chỉ tiêu đạm amon (NH₄-N),

So sánh tính khả thi của hai kiểu thiết kế máng cạn và khay trồng rau trong hệ thống trồng cây thủy canh và nuôi cá tích hợp

nitrite (NO₂-N), nitrate (NO₃-N), lân hòa tan (PO₄-P) được phân tích bằng phương pháp Indophenol Blue, Colormetric, Salicylate và Acid Ascorbic tương ứng theo quy trình tiêu chuẩn đánh giá nước và nước thải (APHA, 1998). Do giới hạn kinh phí nên đề tài chỉ tập trung đánh giá đạm lân trong nước.

2.3. Theo dõi cá

Khối lượng tươi ban đầu và sau khi kết thúc thí nghiệm của cá trên mỗi hệ thống được cân bằng phương pháp Gravity (Trang *et al.*, 2017) và được tính toán cụ thể như sau:

Tỷ lệ sống = [(số cá thu hoạch)/(số cá ban đầu)] x 100

Khối lượng cá tăng thêm = (Khối lượng cá thu hoạch) - (Khối lượng cá ban đầu)

Tốc độ tăng trưởng bình quân theo ngày = $100 \times \frac{(\text{Khối lượng cá tăng thêm})}{(\text{Khối lượng cá ban đầu} \times \text{số ngày nuôi})}$

2.4. Thu và phân tích rau trồng

Rau trồng sau mỗi đợt thu hoạch được cân khối lượng tươi. Đối với húng lũi và húng quế, tiến hành thu hoạch bằng cách cắt ngang thân chính sao cho chiều cao thân cây còn lại từ 2 - 3 cm và còn vài lá để theo dõi khả năng tái sinh của hai loài rau này. Đối với xà lách, tiến hành thu nguyên cây và thay cây mới mỗi đợt. Trong thời gian nghiên cứu ở đợt 1 xuất hiện sâu ăn lá tấn công mạnh vào cả hai hệ thống, khiến các cây húng lũi ở hệ thống 2 không phát triển được dẫn đến cây chết. Riêng hệ thống 1 sâu ăn hết lá nhưng vài ngày sau có dấu hiệu phục hồi và lá mới xuất hiện. Cả hai hệ thống đều được trồng xen kẽ thêm 2 cây húng quế/thùng với húng lũi để bù lại các cây bị sâu ăn chết. Húng quế được trồng xen vào có cùng ngày tuổi với các cây ở thùng trồng húng quế của hệ thống.

2.5. Xử lý thống kê

Số liệu các lần lặp lại của từng chỉ tiêu được tổng hợp và tính toán bằng phần mềm Microsoft Excel 2013. Sử dụng phần mềm Statgraphic Centurion XVI (StatPoint, Inc., USA) để so sánh trung bình các nghiệm thức dựa vào kiểm định T-test.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Một số chỉ tiêu lý hóa nước trong bể nuôi cá

3.1.1. pH, độ dẫn điện, oxy hòa tan và nhiệt độ

Giá trị pH trong nước nuôi cá rô phi ở cả hai hệ thống vào buổi sáng và buổi chiều đều nằm trong khoảng giới hạn cho sự tăng trưởng của cá rô phi. Nhìn chung, pH nước ở hai hệ thống không chênh lệch nhau và đều có xu hướng tăng dần đến ngày kết thúc thí nghiệm (Hình 2a). Ở nhiều thời điểm, pH nước nằm trong khoảng 7 - 9 là khoảng pH tối ưu cho sự phát triển của cá rô phi (Popma & Masser, 1999; Masser *et al.*, 1999; Ross, 2000). Như vậy, pH ở các hệ thống không là yếu tố trực tiếp ảnh hưởng đến sinh trưởng của cá rô phi. Giá trị EC trong các bể nuôi cá ở cả buổi sáng và chiều trên hệ thống 1 đều cao hơn rõ rệt so với hệ thống 2. Qua đó cho thấy ion hòa tan trên hệ thống 1 cao hơn và có sự tăng dần khi kết thúc thí nghiệm (Hình 2b). Ngoài ra, giá trị EC trung bình trong nước bể nuôi cá của hai hệ thống trong khoảng 300 - 1000 $\mu\text{S/cm}$ được đánh giá là không ảnh hưởng đến sinh trưởng cá rô phi (Stone *et al.*, 2013; Makori *et al.*, 2017). Tuy nhiên, giá trị EC này thấp hơn ~3-5 lần so với ngưỡng lý tưởng cho dung dịch trồng thủy canh nói chung cho các loài rau (Sonneveld & Voogt, 2009), nhưng nó nằm trong khoảng tối ưu cho hệ thống aquaponics (tức phù hợp điều kiện cho cả 2 đối tượng cá nuôi và cây trồng) (Rakocy *et al.*, 2006). Hơn nữa, Andriolo *et al.* (2005) ghi nhận sinh khối tươi của rau xà lách (*Lactuca sativa*) tăng 28,5% trong khoảng EC 800-1930 $\mu\text{S/cm}$, nhưng sinh khối giảm đi khi EC cao hơn ngưỡng này. Qua đó cho thấy, khoảng EC ghi nhận được trong thí nghiệm hiện tại, cụ thể trong hệ thống 1, khá phù hợp cho cả cây rau và cá rô phi.

Nồng độ oxy hòa tan (DO) trong các bể nuôi cá ban đầu > 4,0 mg/L, sau đó DO bị giảm đáng kể < 1,0 mg/L ở cả 2 hệ thống (Hình 2c). Có thể do nhu cầu oxy của cá, cây và hệ vi sinh vật trên hệ thống đã làm giảm nồng độ DO trong bể nuôi cá (Trang *et al.*, 2017). Ngoài ra, ban đầu tốc độ

tuần hoàn nước áp dụng là 100% thể tích bể nuôi/ngày. Do đó, tại thời điểm sụt giảm DO (11 ngày sau khi thí nghiệm bắt đầu) đã làm cho cá ăn chậm và nổi đầu ở hệ thống 1 và cá chết hàng loạt trên hệ thống 2. Hệ thống 1 không ghi nhận cá chết, nhưng hệ thống 2 lại có cá chết (3 con/bể). Vì thế, tốc độ tuần hoàn nước được tăng lên 150% (tương ứng 180 L nước từ bể nuôi cá được bơm qua hệ thống trồng cây mỗi ngày) vào ngày 12 sau khi nuôi, đồng nghĩa thời gian lưu nước giảm đi nhằm tăng nhanh tốc độ tuần hoàn nước để tăng điều kiện oxy trong nước. Tuy nhiên, nồng độ DO vẫn còn thấp (< 2,0 mg/L) nên tiến hành bổ sung thêm các ống sục khí vào các bể nuôi cá (vào ngày 22 sau khi nuôi). Từ đó, đã làm cải thiện điều kiện oxy trong nước bể nuôi ở cả hai hệ thống (từ ngày 23) và quan sát thấy cá không còn bị stress như ban đầu. Khi kết thúc thí nghiệm, nồng độ DO trong hệ thống 2 cao hơn hệ thống 1, có thể do một phần số lượng cá còn lại ở hệ thống 2 thấp hơn nên nhu cầu sử dụng oxy giảm. Mặc dù vậy, nồng độ DO ghi nhận được sau đó đều > 3,0 mg/L (Hình 2c). Khoảng giá trị này phù hợp với giới hạn chịu đựng và khoảng tối ưu cho sự phát triển của cá rô phi (Ross, 2000).

Kết quả ghi nhận nhiệt độ trong các bể cá dao động trong khoảng từ 27,4 - 30,8°C (Hình 2d). Theo Mires (1995; trích dẫn bởi Mjoun *et al.*, 2010), cá rô phi có thể chịu đựng được nhiệt độ môi trường nước là 8 - 42°C và nhiệt độ tối thích cho sự sinh trưởng của chúng trong khoảng 22 - 29°C.

3.1.2. Diễn biến đạm lân hòa tan

Nitrite ($\text{NO}_2\text{-N}$) là một dạng đạm có tính độc hại đối với nhiều loài cá vì nó làm cho các hemoglobin ít có khả năng vận chuyển oxy (Popma & Masser, 1999). Nồng độ $\text{NO}_2\text{-N}$ trung bình qua 6 đợt thu mẫu của hai hệ thống là tương đương nhau ($p > 0,05$) nhưng có sự sai khác ($p < 0,05$) vào các ngày 0, 28 và 56 (Bảng 1). Nồng độ $\text{NO}_2\text{-N}$ ở hệ thống 1 trong suốt quá trình thí nghiệm đều < 1,0 mg/L, ngoại trừ ngày thứ 28 giống như ghi nhận giá trị DO. Chính vì thế thời điểm này xuất hiện cá nổi đầu và chết ở hệ thống 2. Theo Popma & Masser (1999), đối

với nuôi trồng thủy sản nước ngọt, nồng độ $\text{NO}_2\text{-N}$ trong ao nên giữ < 27 mg/L. Tuy nhiên, ở nghiên cứu này, cá rô phi không sinh trưởng ổn định và thậm chí chết nhiều ở nồng độ $\text{NO}_2\text{-N}$ 19,08 mg/L, có thể do cùng thời điểm này việc tăng cao nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ (21,33 mg/L) và sụt giảm DO (Hình 1c) trong nước làm tăng thêm sự stress cho cá nuôi.

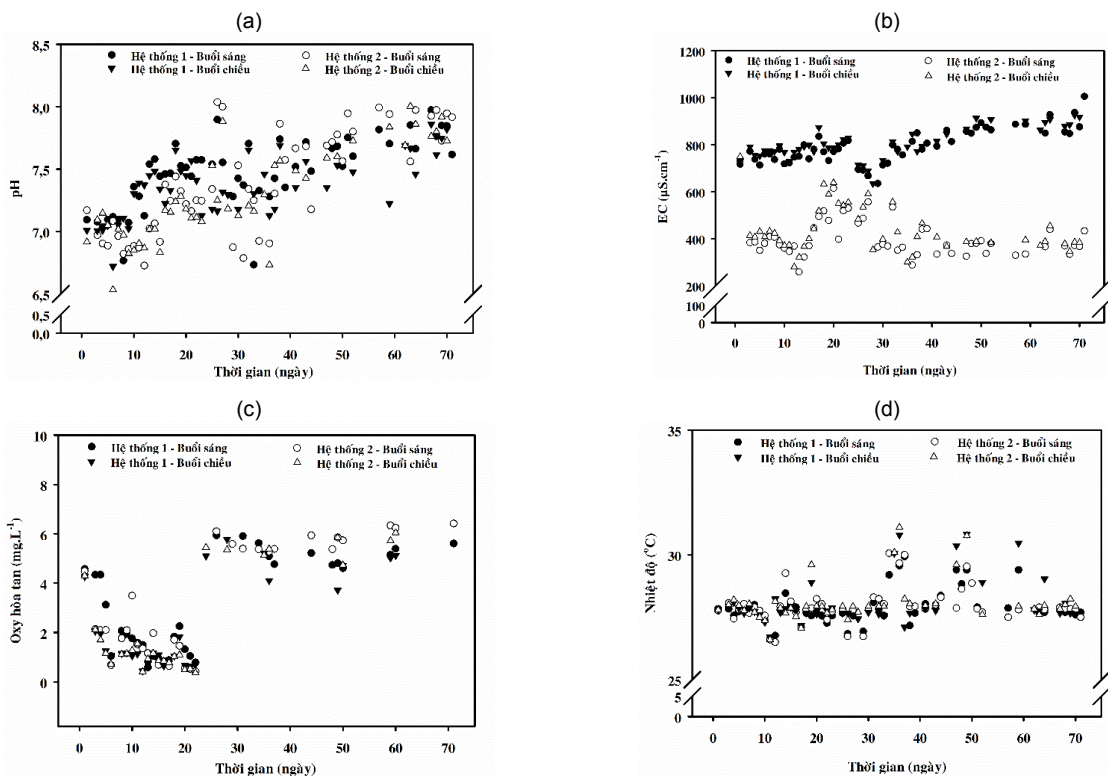
Nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ trong nước nuôi cá ở hai hệ thống đều tăng đột biến vào đợt thu mẫu thứ 1 (14 ngày sau khi bắt đầu thí nghiệm) điều này tương ứng với ghi nhận kết quả DO trong các bể nuôi cá giảm đáng kể (Hình 1c). Tuy nhiên, ở các đợt thu mẫu tiếp theo, nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ đều giảm đáng kể so với thời điểm 14 ngày. Nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ ở hai hệ thống có sai khác nhau vào ngày 0, 14 và 70 ($p < 0,05$), nhưng giá trị trung bình của 6 đợt thu mẫu cho thấy hai hệ thống có nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ tương đương nhau ($p > 0,05$). Theo El-Shafey (1998; trích bởi Mjoun *et al.*, 2010), cá rô phi có thể sống trong môi trường có nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ cao đến 7,1 mg/L. Như vậy, ngoại trừ đợt đột biến ngày thứ 14 thì các đợt thu mẫu khác nước nuôi cá ở hai hệ thống đều có nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ trong khoảng giới hạn chịu đựng của cá rô phi.

Theo Popma & Masser (1999), tỷ lệ chết của cá rô phi cao hơn trong một vài ngày khi nồng độ amoniac (NH_3) trong nước > 2,0 mg/L; và một nửa số lượng cá sẽ tồn tại trong 3 - 4 ngày ở nồng độ NH_3 cao đến 3,0 mg/L. Như vậy, ở cả hai hệ thống xuất hiện cá chết, một phần do nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ trong nước tăng đột ngột. Tuy nhiên, nước vẫn không thay mới mà chỉ thực hiện việc điều chỉnh DO trong nước bằng cách tăng tốc độ tuần hoàn nước và bổ sung các đầu sục khí vào bể nuôi cá. Sau thời điểm này (từ ngày thứ 22) nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ trong nước bể nuôi cá giảm đáng kể và duy trì ở mức < 1,0 mg/L. Qua đó cho thấy tuy mỗi ngày vẫn cho cá ăn nhưng không có sự tích lũy nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ trong nước bể nuôi, trong khi nước không được thay mới trong suốt thời gian nghiên cứu. Tuy nhiên, khi so về hiệu quả duy trì chất lượng nước bể nuôi cá (đặc biệt là $\text{NO}_3\text{-N}$ và $\text{NH}_4\text{-N}$) thì hệ thống hiện tại kém hơn so với ghi nhận của Trang & Brix (2014), có thể do tổng diện

So sánh tính khả thi của hai kiểu thiết kế máng cạn và khay trồng rau trong hệ thống trồng cây thủy canh và nuôi cá tích hợp

tích bề mặt hệ thống trồng cây nhỏ hơn bề trồng cây trong thiết kế của hai tác giả này. Tổng diện tích 3 thùng trồng cây trong thí nghiệm hiện tại là 0,54 m² trong khi ở hệ thống của Trang & Brix (2014) là 4,2 m². Bên cạnh đó, hiện tượng côn trùng tấn công rau là một trong những nguyên nhân chính làm giảm số lượng cây trên hệ thống, cụ thể húng lũi và húng quế, làm

giảm đi những kỹ sư sinh học trên các thùng trồng cây (thông qua cơ chế hấp thụ đạm lân tạo sinh khối), qua đó giúp làm giảm nồng độ đạm, lân trong nước bể nuôi cá. Đây là nguyên nhân dẫn đến sự tích lũy nồng độ NO₃-N và PO₄-P trong nước bể nuôi khi kết thúc thí nghiệm trên cả hai hệ thống trong điều kiện thức ăn vẫn tiếp tục cho ăn mỗi ngày.



Hình 2. Diễn biến giá trị pH (a), EC (b), DO (c) và nhiệt độ (d) trong nước bể nuôi cá rô phi ở hệ thống 1 và 2 vào buổi sáng và chiều theo thời gian nuôi cá 70 ngày

Bảng 1. Nồng độ NO₂-N, NO₃-N và NH₄-N trong nước bể nuôi cá ở hai hệ thống qua từng đợt thu mẫu

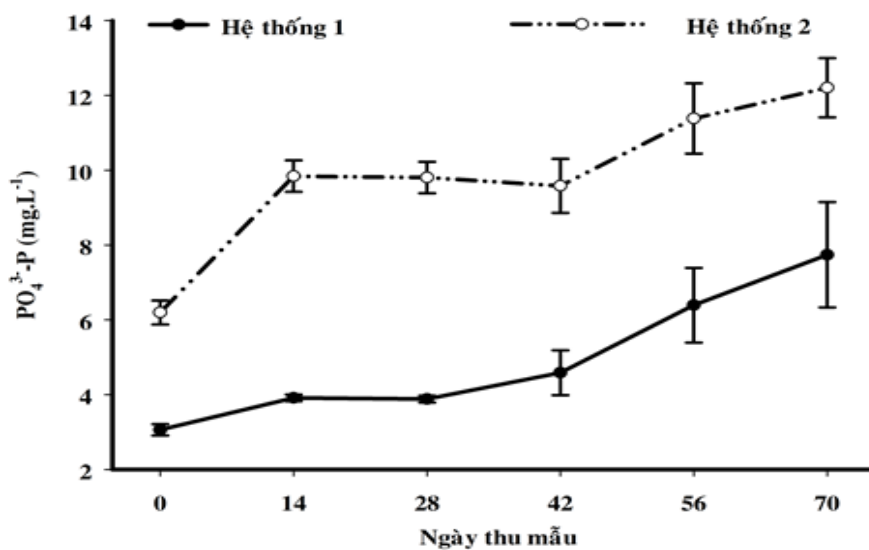
Đợt thu mẫu	Nồng độ NO ₂ -N (mg/L)		Nồng độ NH ₄ -N (mg/L)		Nồng độ NO ₃ -N (mg/L)	
	HT 1	HT 2	HT 1	HT 2	HT 1	HT 2
Ngày 0	0,07 ± 0,03 ^b	0,99 ± 0,28 ^a	0,56 ± 0,06 ^b	2,31 ± 0,06 ^a	37,65 ± 1,15 ^a	7,25 ± 2,44 ^b
Ngày 14	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,00	18,67 ± 0,43 ^b	21,33 ± 0,63 ^a	7,43 ± 0,21 ^a	0,75 ± 0,13 ^b
Ngày 28	1,08 ± 0,01 ^b	19,08 ± 1,77 ^a	1,25 ± 0,17	3,98 ± 1,25	13,51 ± 0,32 ^a	2,73 ± 1,60 ^b
Ngày 42	0,14 ± 0,08	0,14 ± 0,04	0,82 ± 0,16	0,67 ± 0,01	49,16 ± 2,31 ^a	15,04 ± 3,5 ^b
Ngày 56	0,02 ± 0,00 ^b	0,12 ± 0,01 ^a	0,24 ± 0,04	0,16 ± 0,04	-	-
Ngày 70	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,49 ± 0,02 ^a	0,25 ± 0,02 ^b	70,54 ± 2,96 ^a	27,75 ± 2,7 ^b
TB các đợt	0,23 ± 0,17	3,4 ± 3,14	3,67 ± 3,00	4,78 ± 3,36	35,7 ± 6,23 ^a	10,7 ± 2,78 ^b

Ghi chú: Trung bình ± sai số chuẩn (S.E.), n = 3; TB: Trung bình; HT: Hệ thống; ^{a,b}: Ký tự khác nhau trong cùng một hàng là khác biệt giữa hai hệ thống trong từng đợt thu mẫu (ở mức ý nghĩa 5% dựa vào kiểm định T-test).

Ngược lại với ghi nhận diễn biến nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ và $\text{NO}_2\text{-N}$ trong 2 hệ thống, nồng độ $\text{NO}_3\text{-N}$ trong nước bể nuôi cá ở hệ thống 1 cao hơn ở hệ thống 2 và có xu hướng tăng đến cuối thí nghiệm ($p < 0,05$; Bảng 1). Ở cả hai hệ thống nồng độ này giảm đột ngột tại thời điểm 14 ngày và bắt đầu tăng dần sau đó. Điều này xảy ra có thể do sự gia tăng nồng độ $\text{NH}_4\text{-N}$ (Bảng 1) và giá trị DO thấp (Hình 2c) nên quá trình nitrate hóa bị kìm hãm. Tuy nhiên, ở giai đoạn cuối thí nghiệm không có sự tích lũy $\text{NH}_4\text{-N}$ (Bảng 1) và DO có xu hướng tăng lên (Hình 2c) đó là dấu hiệu quá trình nitrate hóa diễn ra khá mạnh trong 2 hệ thống. Điều này được minh chứng qua sự sụt giảm nồng độ $\text{NO}_2\text{-N}$ trong 2 hệ thống và có sự tích lũy $\text{NO}_3\text{-N}$ ở cuối thí nghiệm (Bảng 1). Có thể nhận thấy, nồng độ $\text{NO}_3\text{-N}$ trong nước nuôi cá ở cả hai hệ thống là rất cao (Bảng 1) nhưng sinh khối tươi của rau rất thấp (Bảng 3), điều này chứng tỏ mật độ trồng rau ở nghiên cứu này chưa đạt hiệu quả, số lượng rau không đủ để xử lý nguồn $\text{NO}_3\text{-N}$ dồi dào từ bể nuôi cá. Mặt khác, có thể do tốc độ dòng chảy nhanh và thời gian lưu nước ngắn nên rễ cây cũng không hút được dinh dưỡng, đặc biệt là $\text{NO}_3\text{-N}$. Nồng độ $\text{NO}_3\text{-N}$ tích lũy trong bể nuôi cá ở hệ thống 1 và 2 khi kết thúc thí nghiệm tương ứng là 70,5 và 27,8 mg/L trong

khi theo Midlen & Redding (1998) nồng độ $\text{NO}_3\text{-N}$ gây toxic cho cá ở mức 100 mg/L.

Nồng độ lân hòa tan ($\text{PO}_4\text{-P}$) trong nước nuôi cá ở cả hai hệ thống đều có xu hướng tích lũy dần đến cuối thí nghiệm. Điều này cũng được ghi nhận tương tự trên hệ thống có chất nền là đá (Konnerup *et al.*, 2011; Trang & Brix, 2014) và các tác giả cũng đã kiến nghị cần lựa chọn các loại chất nền có khả năng hấp phụ lân tốt. Nồng độ $\text{PO}_4\text{-P}$ trong nước bể nuôi cá ở hệ thống 1 thấp hơn ở hệ thống 2 ($p < 0,05$; Hình 3). Trong hệ thống hiện tại, tổng lượng thức ăn cho cá khoảng 2,0 kg/bể (hệ thống 1) và 1,5 kg/bể (hệ thống 2) nhưng sự tích lũy $\text{PO}_4\text{-P}$ ở hệ thống 1 đến cuối thí nghiệm thấp hơn hệ thống 2. Qua đó cho thấy chất nền sử dụng (hỗn hợp gốm, than tổ ong và vỏ sò huyết) trong bể trồng cây máng sâu có khả năng hấp phụ một phần $\text{PO}_4\text{-P}$ so với hệ thống máng cạn. Tuy $\text{PO}_4\text{-P}$ không ảnh hưởng đến tăng trưởng và phát triển của cá rô phi nhưng nếu nước chứa lân này xả thải ra môi trường có thể gây phú dưỡng môi trường thủy vực (Konnerup *et al.*, 2011). Bản thân cây trồng chỉ giúp hấp thu khoảng 7% P đưa vào hệ thống aquaponics từ việc cho cá ăn (Trang & Brix, 2014). Do đó, muốn kiểm soát tốt nồng độ $\text{PO}_4\text{-P}$ trong bể nuôi cá cần lưu ý việc lựa chọn chất nền trồng cây có khả năng hấp thu $\text{PO}_4\text{-P}$ tốt hơn khi thiết kế hệ thống aquaponics.



Hình 3. Diễn biến nồng độ $\text{PO}_4\text{-P}$ trong nước bể nuôi cá rô phi ở hệ thống 1 và 2 theo thời gian

So sánh tính khả thi của hai kiểu thiết kế máng cạn và khay trồng rau trong hệ thống trồng cây thủy canh và nuôi cá tích hợp

3.2. Sự sinh trưởng của cá rô phi

Khối lượng cá ban đầu thả nuôi ở cả hai hệ thống khoảng 23,3 g/con. Sau 70 ngày nuôi, cá rô phi ở hệ thống 1 có khối lượng là $56,9 \pm 3,1$ g/con, không khác biệt so với cá nuôi ở hệ thống 2 ($46,7 \pm 6,7$ g/con). Tuy nhiên, kết quả ghi nhận trong hệ thống 2 chỉ 1 con cá còn sống sót, trong khi ở hệ thống 1 tỷ lệ sống đạt 68,5% (Bảng 2). Qua đó cho thấy, kiểu hệ thống thiết kế trong nghiên cứu này ảnh hưởng trực tiếp đến tăng trưởng và sự sống còn của cá rô phi. Hệ thống 1 hiệu quả hơn do chất nền đóng vai trò tốt, vừa làm giá thể trồng rau vừa như hệ thống lọc giúp cải thiện tốt chất lượng nước bể nuôi.

3.3. Sinh khối và chất lượng rau trồng

Có hai đợt thu hoạch rau xà lách là 42 ngày kể từ ngày vận hành hệ thống và 28 ngày kể từ ngày thu hoạch đợt 1. Tiến hành thu mẫu rau xà lách đồng thời ở hai hệ thống và thu cả cây. Sau khi thu hoạch đợt 1, cây xà lách (18 ngày tuổi) được bổ sung lại vào hệ thống. Tổng số cây trồng ban đầu trên mỗi hệ thống (cây/bể trồng)

đều như nhau. Kết quả ghi nhận khối lượng rau xà lách ở hai hệ thống đều cao hơn ở đợt thu hoạch thứ 2. Giữa hai hệ thống, xà lách ở hệ thống 1 có khối lượng cao hơn ở hệ thống thứ 2 ở cả hai đợt thu hoạch (Bảng 3). Không ghi nhận cây xà lách chết trên cả 2 hệ thống ở 2 đợt trồng cây. Tương tự với ghi nhận của Trang and Brix (2014), rau xà lách cũng phát triển tốt và không có cây chết. Tuy diện tích thùng trồng rau trong thí nghiệm hiện tại nhỏ ($0,18 \text{ m}^2/\text{thùng}$), nhưng tổng khối lượng tươi rau xà lách thu được trong hệ thống 1 và 2 tương ứng là 338,9 và 362,8 g/m² cao hơn ghi nhận của Trang & Brix (2014), khoảng 100 - 120 g/m².

Sinh khối tươi của húng lũi thu được từ hệ thống 1 cao hơn hệ thống 2 (Bảng 3). Cả 2 hệ thống vận hành cùng một thể tích nước được bơm tuần hoàn, nhưng hệ thống máng (hệ thống 2) có thể tích nhỏ hơn và không có chất nền tiếp xúc nên khả năng lưu thông nước nhanh hơn. Do đó, cây trồng ít có cơ hội hấp thu chất dinh dưỡng trong nước thải. Số lượng cây húng lũi còn sống ở 2 hệ thống rất khác biệt nhau, trong

Bảng 2. Sinh trưởng của cá rô phi nuôi trong hai hệ thống aquaponics

Chỉ tiêu	Đơn vị	Hệ thống 1	Hệ thống 2
Số cá ban đầu	con/bể	18	18
Khối lượng cá ban đầu	g/con	23,3	23,3
Số cá kết thúc	con/bể	$12,3 \pm 0,9^a$	$1,0 \pm 0,0^b$
Tỷ lệ sống	%	$68,5 \pm 4,9^a$	$5,6 \pm 0,0^b$
Khối lượng cá thu hoạch	g/bể	$706,7 \pm 86,7^a$	$46,7 \pm 6,7^b$
Khối lượng cá thu hoạch	g/con	$56,9 \pm 3,1$	$46,7 \pm 6,7$
Khối lượng cá tăng thêm	g/con	$33,6 \pm 3,1$	$23,3 \pm 6,7$
Tốc độ tăng trưởng bình quân	%/ngày	$2,1 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,4$

Ghi chú: Trung bình \pm sai số chuẩn (SE), $n = 3$; a, b: Ký tự khác nhau trong cùng một hàng là khác biệt ở mức ý nghĩa 5% dựa vào kiểm định T-test.

Bảng 3. Khối lượng tươi rau (g/bể) trên 2 hệ thống ở 2 đợt thu hoạch

Loại rau	Hệ thống 1		Hệ thống 2	
	Đợt 1	Đợt 2	Đợt 1	Đợt 2
Xà lách	$11,80 \pm 2,13$	$65,28 \pm 19,04$	$6,74 \pm 1,94$	$61,00 \pm 7,75$
Húng lũi	$13,30 \pm 4,98$	$8,65 \pm 4,44$	-	$2,86 \pm 0,27$
Húng quế		$50,36 \pm 14,83$		$0,12 \pm 0,03$

Ghi chú: Trung bình \pm sai số chuẩn (SE), $n = 3$

Bảng 4. Kết quả phân tích hàm lượng nitrate và *Coliform* tổng số trong rau xà lách ở 2 hệ thống

Chỉ tiêu	Đơn vị	Hệ thống 1	Hệ thống 2	Mức giới hạn tối đa cho phép [*]
Nitrate	mg/kg	2.335	2.410	1.500
Tổng <i>Coliform</i>	CFU/g	537	4	200

Ghi chú: *Mức giới hạn tối đa cho phép của một số vi sinh vật và hóa chất gây hại trong sản phẩm rau, quả, chè (Ban hành kèm theo Quyết định số 99/2008/QĐ-BNN ngày 15 tháng 10 năm 2008 của Bộ trưởng Bộ NN & PTNT)

hệ thống 2 cây rau đã chết hết chỉ còn lại 1 cây/hệ thống. Đối với húng quế, sau 70 ngày trồng, hệ thống 1 cho sinh khối húng quế đạt $50,36 \pm 14,83$ g và hệ thống 2 cho $0,12 \pm 0,03$ g. Ở cả hai hệ thống đều xuất hiện sâu ăn lá nhưng hệ thống 2 bị tấn công mạnh hơn.

Một số vấn đề khó khăn khi vận hành hệ thống aquaponics như: phân cá và thức ăn dư thừa tích lũy trong nước theo thời gian sẽ làm nghẽn chất nền; nhiệt độ nắng nóng đột ngột làm cây và cá bị sốc nhiệt; vấn đề dịch bệnh trên cây và cá; sự cố mất điện;... Những kiến nghị và giải pháp tương ứng nhằm giảm tác hại trên và tăng tính khả thi của hệ thống aquaponics mà người sử dụng có thể thực hiện được như sau: Gắn thêm một cột lọc (chất nền được thiết kế nhiều lớp đá, sỏi, cát sao cho lớp trên cùng là cát thô xây dựng hoặc sỏi mịn để giữ lại chất rắn, sau đó người sử dụng chỉ cần vớt bỏ lớp chất rắn trên bề mặt thùng lọc) (Trang *et al.*, 2017); làm mái che để giảm cường độ ánh sáng vào mùa nắng nóng; cung cấp thêm vitamin C để tăng tính đề kháng cho cá mà không ảnh hưởng đến cây; sử dụng hệ thống tích hợp năng lượng mặt trời để chạy máy bơm.

Kết quả phân tích nồng độ nitrate trong rau xà lách ở hai hệ thống được trình bày ở bảng 4. Nồng độ nitrate trong rau xà lách ở hệ thống 1 thấp hơn so với hệ thống 2, tuy nhiên đều cao hơn giới hạn tối đa cho phép trong rau xà lách được quy định ở Quyết định số 99/2008/QĐ-BNN của Bộ NN&PTNT - Quy định quản lý sản xuất, kinh doanh rau, quả và chè an toàn là 1.500 mg/kg. Đến thời điểm hiện nay quyết định này đã hết hiệu lực và hiện tại không có văn bản pháp luật nào quy định về ngưỡng giới hạn nồng độ nitrate trong rau nói chung và rau xà lách nói riêng.

Hầu hết hợp chất nitrate tích lũy trong các tế bào diệp lục của lá, quả và hạt có mức nồng độ nitrate thấp (Blom-Zandstra, 1989 - trích bởi Gorenjak & Cencic, 2013). Xà lách là một trong những loại rau tích lũy hàm lượng nitrate cao nhất và có thể đạt trên 2.500 mg/100 g (Gorenjak & Cencic, 2013). Mặt khác, trong nghiên cứu của Chung *et al.* (2003) đã chỉ ra rằng hàm lượng nitrate trong các sản phẩm nông nghiệp thông thường ở Hàn Quốc dao động trong khoảng từ 94,5 mg/kg đến 4.875,8 mg/kg, trong đó loại xà lách bản địa có khoảng 2.620,4 mg NO₃/kg. Rau cần tây tích lũy khoảng 3.600 mg NO₃/kg (Zhong *et al.*, 2002) trong khi đó nồng độ nitrate trong cải bó xôi là 3.560 mg/kg (Tsuji *et al.*, 1993) và 4.259 mg/kg (Chung *et al.*, 2003). Như vậy, nồng độ nitrate trong xà lách ở nghiên cứu này vẫn còn thấp hơn trong xà lách ở Hàn Quốc và một số loại rau ăn lá khác như cải bó xôi, cần tây.

Tổng số *Coliform* trong rau sống cũng là một trong những chỉ tiêu cần quan tâm. Kết quả phân tích cho thấy mật số *Coliform* trong xà lách (Bảng 4) ở hệ thống 1 (537 CFU/g) cao hơn ở hệ thống 2 hơn 130 lần (4 CFU/g). Theo QCVN 8-3:2012/BYT - Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia đối với ô nhiễm vi sinh vật trong thực phẩm, chỉ quy định giới hạn ô nhiễm đối với chỉ tiêu *E. coli* (10^2 - 10^3 CFU/g). Tuy nhiên, dựa theo quy định 99/2008/QĐ-BNN của Bộ NN&PTNT, tổng số *Coliform* trên rau xà lách ở hệ thống 1 cao hơn mức cho phép là 2,6 lần.

Như vậy, đối với hai chỉ tiêu nồng độ nitrate tích lũy và tổng số *Coliform* trên rau xà lách ở cả hai hệ thống đều cho các kết quả có thể chấp nhận được. Tuy nhiên, để đảm bảo sức khỏe, người dùng nên rửa rau thật sạch trước khi chế biến hay sử dụng tươi.

So sánh tính khả thi của hai kiểu thiết kế máng cạn và khay trồng rau trong hệ thống trồng cây thủy canh và nuôi cá tích hợp

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Sau 70 ngày nuôi, chất lượng nước ở các bể nuôi đều khá tốt và phù hợp cho cá rô phi sinh trưởng. Tổng khối lượng cá thu hoạch ở hệ thống 1 ($706,7 \pm 86,7$ g/bể) cao hơn 15 lần so với hệ thống 2 ($46,7 \pm 6,7$ g/bể). Hệ thống 1 sản xuất trung bình 77 g xà lách; 22 g húng lủi và 50 g húng quế trong khi hệ thống 2 chỉ sản xuất 67 g xà lách; 2,8 g húng lủi và 0,1 g húng quế.

Hàm lượng nitrate trong xà lách ở cả hai hệ thống đều thấp hơn trong xà lách bản địa của Hàn Quốc và một số loại rau khác như cần tây, cải bó xôi. Tổng số *Coliform* trên xà lách ở hệ thống 1 cao hơn 130 lần trên xà lách ở hệ thống 2. Chi phí lắp đặt ở hệ thống 1 cao hơn 350.000 đồng so với hệ thống 2. Tuy nhiên, hệ thống 1 lại cho thấy sự ổn định hơn hệ thống 2, tỷ lệ sống của cá ở hệ thống 1 cao hơn 12 lần tỷ lệ sống của cá ở hệ thống 2.

Hệ thống 1 tốt hơn và có khả năng áp dụng cao hơn nhờ sự ổn định trong quá trình vận hành và sự duy trì chất lượng môi trường nước nuôi cũng như sản phẩm cá và rau thu được.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ kinh phí từ đề tài Nghiên cứu Khoa học Công nghệ cấp cơ sở TSV2016-39.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- American Public Health Association (APHA) (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington D.C., USA.
- Andriolo, J.L.; Luz, G.L.; Witter, M.H.; Godoi, R.S.; Barros, G.T.; Bortolotto, O.C. (2005). Growth and yield of lettuce plants under salinity. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 23(4): 931-934.
- Bùi Thành Luân, Nguyễn Hồng Khoa, Huỳnh Thị Hồng Vẹn, Ngô Thụy Diễm Trang (2015). Ảnh hưởng của tốc độ tuần hoàn đến chất lượng nước bể nuôi thâm canh tôm thẻ chân trắng (*Litopenaeus vannamei*) kết hợp đất ngập nước kiến tạo. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ. Số chuyên đề: Môi trường và Biến đổi khí hậu*, tr. 26-34.
- Chung, S. Y., Kim, J. S., Kim, M., Hong, M. K., Lee, J. O., Kim, C. M. & Song, I. S. (2003). Survey of nitrate and nitrite contents of vegetables grown in Korea. *Fd Addit. Contam.*, 20: 621-628.
- Gorenjak, A.H., and A., Cencic (2013). Nitrate in vegetables and their impact on human health. A review. *Acta Alimentaria*, 42(2): 158-172.
- Konnerrup, D., Trang, N.T.D. and Brix, H. (2011). Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical flow constructed wetlands in the tropics. *Aquaculture*, 313: 57-64.
- Losordo, T.M., Hobbs, A.O. and Delong, D.P. (2000). The design and operational characteristics of the CP&L/EPRI fish barn: a demonstration of recirculating aquaculture technology. *Aquacultural Engineering*, 22: 3-16.
- Makori, A.J., P.O. Abuom, R. Kapiyo, D.N. Anyona and Dida, G.O. (2017). Effects of water physico-chemical parameters on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth in earthen ponds in Teso North Sub-County, Busia County. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 20: 30. doi.org/10.1186/s41240-017-0075-7.
- Masser, M. P., Rakocy, J. and Losordo, T. M. (1999). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Management of Recirculating Systems. SRAC Publication No. 452. Southern Regional Aquaculture Center. Texas A & M University, Texas, USA.
- Midlen, A., and Redding, T. (1998). Environmental Management for Aquaculture. Chapman & Hall, New York, Aquaculture series 2, p. 223.
- Mjoun, K., Rosentrater, K. and Brown, M.L. (2010). Tilapia: Environmental biology and nutritional requirements. Fact sheet SDSU extension. Paper 164.
- Nhan, D.K., Verdegem, M.C.J., Milstein A. and Verreth, J.A.V. (2008). Water and nutrient budgets of ponds in integrated agriculture-aquaculture systems in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture Research*, 39: 1216-1228.
- Popma, T. and Masser, M. (1999). Tilapia: Life history and Biology. SRAC Publication No. 283. Southern Regional Aquaculture Center. Texas A & M University, Texas, USA.
- Rakocy, J. E. and Hargreaves, J. A. (1993). Integration of vegetable hydroponics with fish culture: a review. *In: Wang, J.K. (Ed.), Techniques for modern aquaculture. Proceeding of an Aquacultural Engineering Conference*. Spokane, Washington. Pp. 112-136.
- Rakocy, J.E., Masser, M.P., Losordo, T.M. (2006). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics-integrating Fish and Plant Culture. SRAC Publication No. 454. Southern Regional Aquaculture Center. Texas A & M University, Texas, USA.

- Ross, L. G. (2000). Environmental physiology and energetics. *In: Beveridge M. C. M. and B. J. McAndrew (Eds.) Tilapias: Biology and Exploitation, Fish and Fisheries Series 25.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. Pp. 89-128.
- Sonneveld, C., and Voogt, W. (2009). Plant nutrition of greenhouse crops. Springer Publisher Dordrecht Heidelberg, New York, USA. Pp. 431.
- Stone, N., Shelton, J.L., Haggard, B.E., and Thomforde, H.K. (2013). Interpretation of water analysis reports for fish culture. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication., 4606: 12.
- Tsuji, K.M.S., Morita, Y., Shibata, T., Kaneta, N., Wakabayashi, K., Uchibori-Hase, S., Ide, S., Fujiwara, K., Suzuki, H. and Ito, Y. (1993). Naturally occurring of nitrite and nitrate existing in various raw and processed foods. *J. Fd Hyg. Soc. Jpn.*, 34: 294-302.
- Trang, N.T.D., and Brix, H. (2014). Use of planted biofilters in integrated recirculating aquaculture-hydroponics systems in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture Research*, 45(3): 460-469.
- Trang, N.T.D., Konnerup, D., and Brix, H. (2017). Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems. *Aquacultural Engineering*, 78: 95-104.
- Zhong, W., Hu, C. and Wang, M. (2002). Nitrate and nitrite in vegetables from north China: content and intake. *Fd Addit. Contam.*, 19: 1125-1129.