

KHẢ NĂNG XỬ LÝ NƯỚC NUÔI THỦY SẢN THÂM CANH BẰNG HỆ THỐNG ĐẤT NGẬP NƯỚC KIẾN TẠO

Nguyễn Thị Thảo Nguyễn¹, Lê Minh Long¹, Hans Brix² và Ngô Thụy Diễm Trang¹

ABSTRACT

The objectives in this work were to investigate the capability of constructed wetlands designed with subsurface horizontal and vertical flow in treatment of close-recirculated intensive catfish tank culture water. Influent (i.e. fish tank water) and effluent samples of the treatment systems were collected once a week for eight weeks and determined various parameters relating to the water quality. The vertical flow wetlands (VF) had significant lower concentrations of NH₄-N, TKN, PO₄-P and TP in culture water compared to the horizontal flow (HF) wetlands. In addition, the former system improved oxygen condition in culture water. Regarding to nutrient balance estimation, the VF system could remove 74% N and 69% P from influent, while the HF system removed 86% N and 72% P. Remarkably, renewable water is no need during the experimental period while water quality remained within limit for normal fish growth. Further studies on performance of the treatment wetlands longer time and searching more appropriate plant for the VF system are needed.

Keywords: catfish, constructed wetlands, nitrogen, nutrient balance, phosphorus, treatment efficiency

Title: Capability of constructed wetlands in treatment of intensive aquaculture water

TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu này là khảo sát khả năng của hệ thống đất ngập nước kiến tạo thiết kế dòng chảy ngầm ngang và ngầm đứng trong việc xử lý nước bể nuôi cá tra thâm canh tuần hoàn kín. Nước đầu vào (hay nước từ bể cá) và nước đầu ra của hệ thống xử lý được thu mỗi lần một tuần trong vòng 8 tuần và đánh giá những chỉ tiêu liên quan đến chất lượng nước. Hệ thống đất ngập nước chảy ngầm đứng (VF) có nồng độ NH₄-N, TKN, PO₄-P và TP trong nước bể nuôi thấp hơn so với hệ thống chảy ngầm ngang (HF). Ngoài ra, hệ thống VF giúp cải thiện điều kiện oxy trong nước bể nuôi. Theo ước tính cân bằng dinh dưỡng, hệ thống VF có thể loại bỏ 74% N và 69% P trong nước bể nuôi cá, trong khi hệ thống HF loại bỏ được 86% N và 72% P. Điều đáng lưu ý, trong thời gian nghiên cứu việc thay nước mới là không cần thiết mà chất lượng nước trong bể nuôi cá vẫn duy trì trong giới hạn cho cá sinh trưởng bình thường. Những nghiên cứu trong tương lai về hiệu quả xử lý của hệ thống trong thời gian dài hơn và tìm loài cây thích hợp hơn cho hệ thống VF là cần thiết.

Từ khóa: cá tra, đất ngập nước kiến tạo, đạm, cân bằng dinh dưỡng, lân, hiệu suất xử lý

1 GIỚI THIỆU

Cá tra là đối tượng cá nước ngọt được nuôi chủ yếu ở đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Trong những năm gần đây, nhờ có điều kiện tự nhiên thuận lợi, nguồn nước dồi dào và kỹ thuật nuôi không khó nên nghề nuôi cá tra ở ĐBSCL đang phát

¹Bộ môn Khoa học Môi trường, Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

²Bộ môn Sinh học, Khoa Khoa học, Đại học Aarhus - Đan Mạch

triển mạnh cả về diện tích lẫn mức độ thâm canh. Năm 2010, diện tích nuôi cá tra ở ĐBSCL là 5.420 ha, sản lượng bình quân đạt 1.141.000 tấn (Nguyễn Việt Thắng, 2011). Theo ước tính của Trương Quốc Phú (2007) với sản lượng cá ước đạt 1,5 triệu tấn thì lượng chất thải ra môi trường khoảng 1 triệu tấn trong đó 900.000 tấn chất hữu cơ, 29.000 tấn nitơ (N), và 9.500 tấn photpho (P). Với lượng đạm, lân này nếu thải trực tiếp ra môi trường sẽ là nguyên nhân dẫn đến hiện tượng phú dưỡng hóa, làm suy giảm chất lượng nguồn nước mặt. Thêm vào đó, hoạt động nuôi trồng thủy sản dựa vào nguồn cung dồi dào của nước ngọt có chất lượng tốt từ các con sông lân cận, nhưng do việc xả nước ao nuôi không được xử lý ra các con sông có nguy cơ làm giảm chất lượng nước và có thể là tác nhân làm lây lan bệnh dịch giữa các hệ thống nuôi trồng thủy sản khác nhau (Thien *et al.*, 2007; Nhan *et al.*, 2008).

Một trong những phương pháp tốt nhất để giảm thiểu tác nhân ô nhiễm từ ao nuôi thủy sản là giảm lượng xả thải từ việc giảm thay nước (Tucker & Hargreaves, 2003). Hệ thống nuôi trồng thủy sản tuần hoàn (RAS) cho phép canh tác thâm canh, giới hạn lượng xả thải, do đó làm giảm sử dụng nước và giảm thiểu tác động xấu về môi trường. Việc kết hợp hệ thống đất ngập nước (ĐNN) vào RAS để xử lý nước ao tôm thâm canh tuần hoàn được nghiên cứu thành công ở Đài Loan (Lin *et al.*, 2005). Và gần đây ở ĐBSCL, Trang (2009) nghiên cứu thành công việc sử dụng ĐNN kiến tạo trồng huệ nước xử lý nước thải ao nuôi cá rô bán thâm canh tuần hoàn kín với kết quả khả thi là trong 4,5 tháng nuôi cá không cần thay nước, nhưng chất lượng nước vẫn đảm bảo tốt cho cá sinh trưởng. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này tác giả chỉ thiết kế các hệ thống ĐNN chảy ngầm ngang (NN) và ngầm đứng (ND) cho việc xử lý nước thải của một ao cá, nên không thấy rõ được ảnh hưởng của từng hệ thống đến chất lượng nước ao nuôi và sinh trưởng của cá; hơn thế nữa, chất nền sử dụng là đá nên có hiệu quả xử lý lân không tốt. Theo Vymazal (2007), một hệ thống ĐNN sẽ không có hiệu suất xử lý lân tốt nếu chất nền sử dụng trong hệ thống có khả năng hấp phụ lân kém. Trong một nghiên cứu khác đã chứng minh vỏ sò huyết là vật liệu có khả năng hấp phụ lân tốt nhất và sẵn có ở ĐBSCL (Nguyễn Thị Thảo Nguyễn, 2011). Vì vậy, vỏ sò được chọn làm chất nền trong hệ thống ĐNN cho nghiên cứu hiện tại. Nhằm góp phần giảm tác động ô nhiễm môi trường từ các ao nuôi thủy sản đồng thời hiểu được cơ chế của từng hệ thống xử lý, thực nghiệm xây dựng mô hình nuôi cá tra thâm canh trong bể, làm cơ sở khoa học thiết kế hệ thống ĐNN trong xử lý nước thải ao nuôi thủy sản. Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá khả năng xử lý của hai loại hình ĐNN kiến tạo chảy ngầm ngang và ngầm đứng, và vai trò của cây bòn bòn (qua so sánh hệ thống trồng cây và không trồng cây) trong việc xử lý nước thải nuôi cá tra thâm canh.

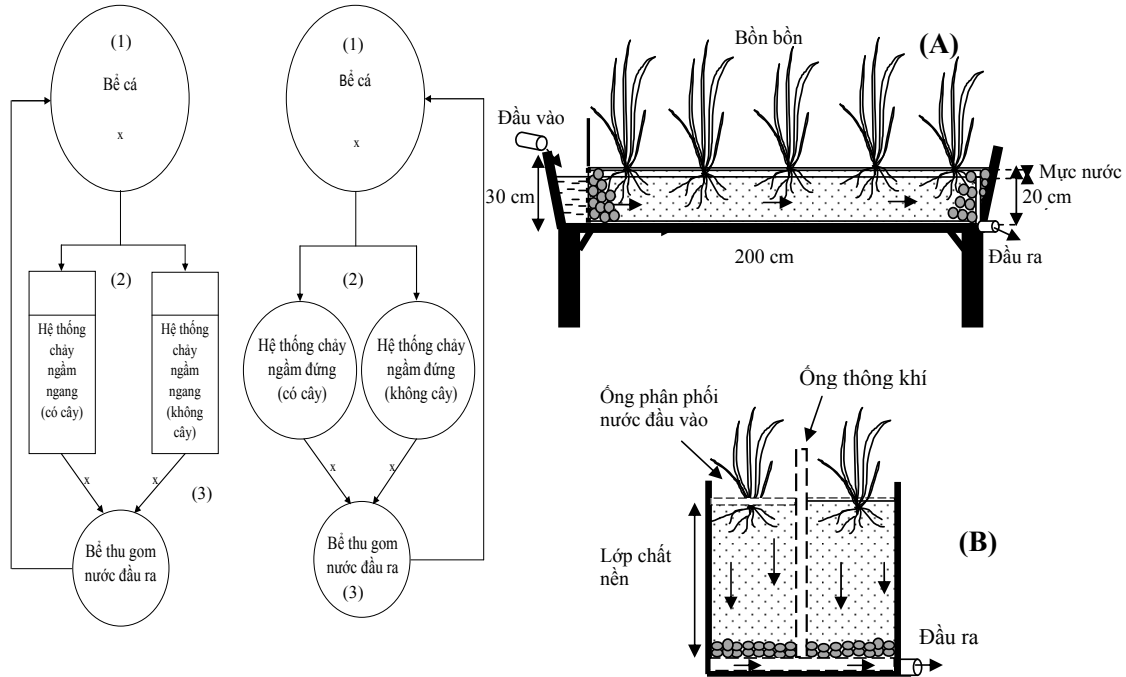
2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Hệ thống đất ngập nước

Hai loại hệ thống đất ngập nước (ĐNN) chảy ngầm ngang (Hình 1A) và ngầm đứng (Hình 1B) được thiết kế để xử lý nước thải bể nuôi cá tra thâm canh kết hợp tuần hoàn kín, mỗi loại hệ thống bao gồm: (1) Bể cá tra (thể tích nước nuôi 1m³): mật độ nuôi là 142 con/m³, trọng lượng cá trung bình 9kg (cho cá ăn 3% trọng lượng cá ban đầu bằng thức ăn viên nổi 25% N (2 lần/ngày), sau đó cho ăn dựa theo nhu cầu ăn của cá); (2) Hệ thống chảy ngầm ngang (200cm x 70cm x 30cm): hộc đầu vào 40cm, lớp chất nền dày 20cm (khoảng 190L) là vỏ sò (Ø2-5mm), mực

nước luôn giữ thấp hơn mặt chất nền 5cm. Còn đối với hệ thống chảy ngầm đứng (đường kính 80cm, cao 70cm), có lượng chất nền bằng trong hệ thống ngầm ngang, được thiết kế hệ thống phân phối nước trên bề mặt; và (3) Bể thu gom: có gắn máy bơm chìm và phao nổi để bơm nước tuần hoàn lại bể cá (Hình 1). Tỷ lệ thể tích bể xử lý nước của mỗi loại hệ thống NN và NĐ so với thể tích nước nuôi cá tra là 1:4,4 (v/v).

15 cây bèo bồng được trồng trên hệ thống NN và 8 cây trên hệ thống NĐ. Song song những bể trồng cây là những bể không trồng cây (được xem là đối chứng). Mỗi loại hệ thống được bố trí 2 lần lặp lại (Hình 1). Trong nghiên cứu này.



Hình 1: Tổng thể hệ thống xử lý tuần hoàn kín, (A) đất ngập nước kiến tạo chảy ngầm ngang và (B) chảy ngầm đứng

(Ghi chú: x là vị trí thu mẫu)

2.2 Vận hành hệ thống

Nước thải từ bể cá được bơm tới bể trồng cây và bể đối chứng, nước đầu ra của các bể này được tập trung lại ở một bể thu gom và bơm trở lại bể cá một cách tự động nhờ máy bơm thả chìm kết nối với phao điện (Hình 1). Hệ thống được vận hành 6 tuần trước khi thu mẫu để tạo điều kiện cho thực vật phát triển. Hệ thống chảy ngầm ngang (NN) được vận hành 24/24 giờ, tốc độ nước bơm từ bể cá là 1400mL/phút. Hệ thống chảy ngầm đứng hoạt động nhờ bộ hẹn giờ (được cài đặt 100 phút nghỉ, 400 giây bơm), tốc độ nước từ bể cá là 23,1L/phút. Tốc độ nước được điều chỉnh bằng các van để đảm bảo đạt 200% lưu lượng nước trong bể cá được xử lý và tuần hoàn trong 1 ngày đêm (Trang, 2009).

2.3 Thu mẫu và phân tích chất lượng nước

Mẫu nước được thu trong bể cá, đầu ra các hệ thống có trồng cây và không trồng cây mỗi tuần 1 lần, liên tục trong 8 tuần. Các vị trí thu mẫu được đánh dấu x trong Hình 1. Các chỉ tiêu pH, EC, DO và nhiệt độ được đo ngay tại khu thí nghiệm. Các chỉ tiêu còn lại: NH₄-N (đạm amôn), PO₄-P (orthophosphate), TKN (tổng N Kjeldahl) và TP (tổng lân) sẽ được phân tích theo quy trình tiêu chuẩn đánh giá nước và nước thải (APHA *et al.*, 1998).

2.4 Phân tích và xử lý số liệu

Tất cả số liệu chất lượng nước được thu thập, phân tích thống kê, so sánh kết quả trung bình giữa nghiệm thức dựa vào phần mềm thống kê Statgraphics Centurion XV (StatPoint, Inc., USA) và Excel.

3 KẾT QUẢ - THẢO LUẬN

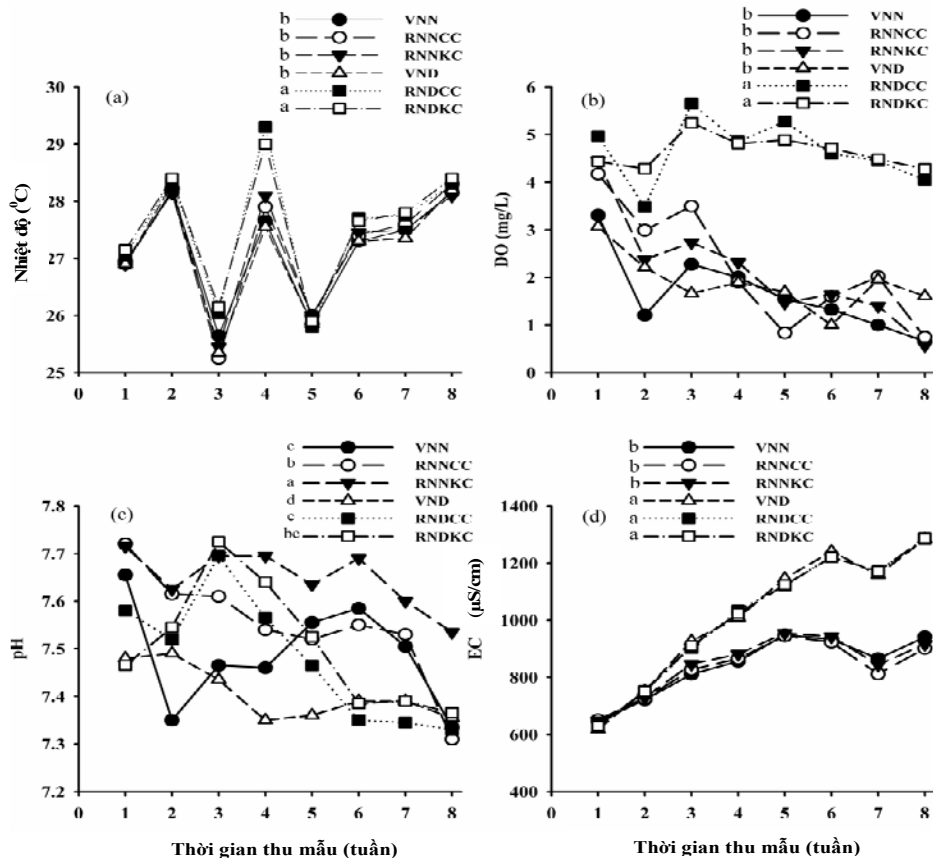
3.1 Các chỉ tiêu chất lượng nước

3.1.1 Nhiệt độ, DO, pH và EC

Nhiệt độ bình quân qua các đợt thu mẫu dao động từ 25,3-29,3⁰C. Không có sự khác biệt về nhiệt độ của nước đầu vào và đầu ra của hệ thống ngầm ngang (NN), nhưng nước đầu ra của hệ thống ngầm đứng (NĐ) lại có nhiệt độ cao hơn ($p < 0,05$; Hình 2a). Có thể do bể NĐ, nước thải không được lưu giữ lâu trong hệ thống, dưới tác dụng của ánh nắng mặt trời vào ban ngày làm gia tăng quá trình giữ nhiệt của vỏ sò dẫn đến nhiệt độ trong bể đứng luôn cao hơn.

Giống như nhiệt độ, nồng độ oxy hòa tan (DO) cao hơn trong nước đầu ra của hệ thống NĐ (Hình 2b). Vì hệ thống NĐ được thiết kế giống như một bể lọc trọng lực, nước thải được cung cấp gián đoạn (khô-ướt), tạo điều kiện cải thiện oxy trong nước đầu ra. Thêm vào đó kích cỡ vỏ sò được sử dụng trong chất nền có độ rỗng cao (55%). Đồng thời, hệ thống NĐ được thiết kế có ống thông khí từ trên xuống đáy nên lượng oxy cung cấp nhiều hơn từ không khí vào chất nền. Do đó, nồng độ DO trong nước đầu ra của hệ thống NĐ luôn duy trì >4,0mg/L.

Giá trị pH trong nước đầu ra sau khi qua các hệ thống xử lý tăng cao hơn so với nước đầu vào và có xu hướng giảm dần về cuối thí nghiệm (Hình 2c). Tuy nhiên, pH vẫn nằm trong khoảng cho phép của TT45/2010-BNNPTNT về chất lượng nước nuôi cá Tra thâm canh. Riêng giá trị EC trong nước bể cá có xu hướng tăng dần về cuối thí nghiệm, và giá trị EC của hệ thống NN thấp hơn NĐ ($p < 0,05$) (Hình 2d). Do hệ thống xử lý được thiết kế tuần hoàn liên tục, nên việc phân phối nước như là quá trình trộn nước, vì thế không thấy sự khác biệt ở EC đầu vào và đầu ra của hệ thống ĐNN. EC gia tăng là kết quả của quá trình tích lũy tăng dần các chất dinh dưỡng trong nước bể nuôi cá. Ngoài ra, ở hệ thống NĐ giá trị EC tăng cao hơn có thể là do quá trình nitrate hóa diễn ra mạnh hơn tạo ra nhiều ion NO₃⁻ (Trang, 2009).

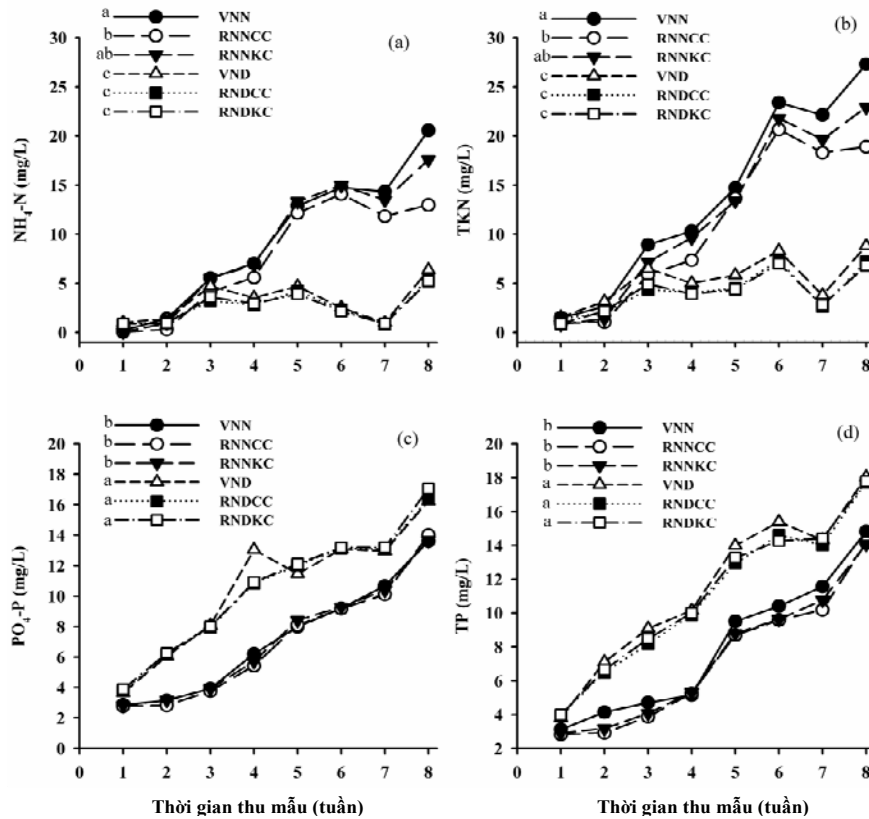


Hình 2: Giá trị nhiệt độ, DO, pH, EC trong nước đầu vào hệ thống ngâm ngang (VNN) (●), đầu ra của hệ thống ngâm ngang có cây (RNNCC) (○), và không cây (RNNKC) (▼); đầu vào của hệ thống ngâm đứng (VND) (△), đầu ra của hệ thống ngâm đứng có cây (RNDCC) (■), và không cây (RNDKC) (□)

a,b,c,d: khác ký tự chữ là khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 5% dựa trên kiểm định Turkey

3.1.2 Đạm amôn và đạm tổng

Hàm lượng đạm amôn ($\text{NH}_4\text{-N}$) và đạm tổng (TKN) trong nước bể cá và nước đầu ra có xu hướng chung là tăng dần về cuối thí nghiệm (Hình 3a,b). Do sự tích lũy thức ăn dư thừa, phân cá, dẫn đến nồng độ chất hữu cơ và $\text{NH}_4\text{-N}$ tăng trong nước nuôi cá (Kiracofe, 2000). Hàm lượng $\text{NH}_4\text{-N}$ trong nước đầu vào và đầu ra của hệ thống chảy NĐ có giá trị trung bình thấp hơn so với hệ thống chảy NN ($p < 0,05$) (Hình 3a), chứng tỏ quá trình nitrate hóa diễn ra mạnh hơn trong hệ thống chảy NĐ. Lượng NH_3 (độc tố) trong nước được ước tính dựa vào hàm lượng $\text{NH}_4\text{-N}$, giá trị nhiệt độ và pH (Masser *et al.*, 1999) tại thời điểm thu mẫu cuối cùng là 0,37 và 0,08 mg/L tương ứng trong nước bể cá của hệ thống chảy NN và NĐ. Do đó chỉ có hệ thống chảy NĐ cho chất lượng nước sau xử lý có nồng độ NH_3 đạt mức tối ưu (cho cá tra sinh trưởng và phát triển tốt nhất) theo TT45/2010-BNNPTNT.



Hình 3: Hàm lượng NH_4-N , TKN, PO_4-P , và TP (mg/L) trong nước đầu vào hệ thống ngầm ngang (VNN) (●), đầu ra của hệ thống ngầm ngang có cây (RNNCC) (○), và không cây (RNNKC) (▼); đầu vào của hệ thống ngầm đứng (VND) (Δ), đầu ra của hệ thống ngầm đứng có cây (RNDCC) (■), và không cây (RNDKC) (□)

ab,c,d: khác ký tự chữ là khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 5% dựa trên kiểm định Turkey

Do quá trình nitrate hóa xảy ra mạnh hơn trong hệ thống chảy NĐ nên hệ thống chảy NĐ luôn duy trì được nồng độ NH_4-N và TKN ở mức thấp hơn so với hệ thống chảy NN (Hình 3a,b). Nồng độ NH_4-N và TKN trong nước đầu ra tất cả các hệ thống cũng có xu hướng tăng lên theo thời gian như nước đầu vào, do sự tích lũy thức ăn dư thừa, phân cá. Điều đáng lưu ý, giá trị trung bình NH_4-N và TKN trong nước đầu ra hệ thống chảy NN có trồng cây Bồn bồn thấp hơn chất lượng nước đầu vào, trong khi đầu ra hệ thống chảy NN không trồng cây lại giống với chất lượng nước đầu vào (Hình 3a,b). Sự khác biệt này có thể được giải thích là do cây trồng hấp thụ NH_4-N và tạo sinh khối. Dẫn đến hiệu suất xử lý NH_4-N của hệ thống NN có trồng cây Bồn bồn (32,4%) cao hơn hệ thống NN không trồng cây (15,6%).

3.1.3 PO_4-P và TP

Diễn biến nồng độ PO_4-P và TP trong nước đầu vào và đầu ra ở các bể xử lý có xu hướng tăng dần qua các đợt thu mẫu và trong nước đầu ra của hệ thống NN luôn thấp hơn hệ thống NĐ ($p < 0,05$) (Hình 3c,d). Điều đó cho thấy, P được giữ lại nhiều hơn trong hệ thống NN qua cơ chế lắng lọc chất rắn và hấp phụ là những cơ

chế loại bỏ lân hiệu quả (Luederitz *et al.*, 2001). Hơn nữa chất nền trong điều kiện ngập nước liên tục (nước cách bề mặt vỏ sò 5cm) làm gia tăng sự tương tác giữa chất nền và nước thải, cũng như tạo điều kiện để cây hấp thu P tốt hơn so với hệ thống NĐ. Trong khi đó, hệ thống NĐ nước thải không được lưu giữ lâu trong hệ thống và cây Bồn bồn không phát triển tốt, dẫn đến khả năng cây hấp thu P và vỏ sò hấp phụ P trong nước thải bị giới hạn. Đây là những lý do làm cho nồng độ lân đầu ra của hệ thống NĐ luôn cao hơn NN.

3.2 Sự cân bằng đạm và lân trong hệ thống

Trong suốt thời gian thí nghiệm đạm (N), lân (P) được cung cấp vào hệ thống qua thức ăn của cá tra. Với tốc độ tuần hoàn nhanh trong ngày, nồng độ chất ô nhiễm luôn được trộn đều giữa đầu vào và đầu ra cho nên khó nhận thấy được hiệu suất xử lý của từng hệ thống. Nhưng thực tế N, P được loại bỏ và chuyển đổi ngay trong bản thân hệ thống xử lý (Bảng 1).

Bảng 1: Ước lượng cân bằng đạm, lân (g/bể) trong hệ thống ĐNN ngầm ngang và ngầm đứng

	Ngâm ngang		Ngâm đứng	
	N	P	N	P
Cung cấp qua thức ăn cá ^a	264,6	68,3	266,7	68,8
Tích lũy trong thịt cá ^b	103,0	27,1	85,1	22,3
Thải ra trong bể cá	161,6	41,2	181,7	46,5
Tổng trong nước bể cá (bắt đầu)	1,5	3,1	1,5	3,8
Tổng trong nước bể cá (kết thúc)	27,3	14,8	8,8	18,0
Ước lượng được loại bỏ	135,8	29,5	174,4	32,3

^a Dựa trên kết quả của Trang *et al.* (2009)

^b Tính toán ước lượng lân tích lũy lân trong cá dựa theo kết quả nghiên cứu của Yi *et al.* (2003)

- Kết quả tính toán bỏ qua lân trong nước máy vì lượng nước máy thêm vào hệ thống thấp và nồng độ lân trong nước máy không đáng kể.

Lượng N, P đưa vào bể qua thức ăn cá, một phần sẽ được tích lũy trong thịt cá và phần còn lại được thải ra dưới dạng thức ăn thừa và phân cá. Trong lượng chất thải được thải ra trong bể cá thì có khoảng 86% N và 72% P được loại bỏ sau khi qua hệ thống xử lý NN. Trong khi đó hệ thống NĐ loại bỏ 74% N và 69% P từ chất thải trong bể cá.

4 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT Ý KIẾN

4.1 Kết luận

- Hệ thống đất ngập nước kiến tạo chảy ngầm đứng giúp cải thiện oxy trong nước nuôi bể cá, đồng thời có khả năng duy trì hàm lượng các chất ô nhiễm TKN và NH₄-N ở mức thấp hơn so với hệ thống chảy ngầm ngang.
- Điều đáng lưu ý là trong suốt quá trình nuôi không cần thay nước mới, nhưng cá vẫn sinh trưởng tốt. Do đó hệ thống này giúp tăng hiệu quả sử dụng nước, không xả thải chất ô nhiễm, góp phần làm giảm ô nhiễm môi trường.

4.2 Đề xuất ý kiến

- Nghiên cứu thêm các loại cây trồng khác như cây huệ nước, chuối pháo, thủy trúc,... nhằm tìm ra được các loại cây phù hợp hơn với điều kiện của hệ thống ngầm đứng (điều kiện khô-ướt luân phiên).

- Cần tiến hành nghiên cứu với mô hình này nhưng kéo dài thời gian (có thể qua vài vụ nuôi cá) để đánh giá hiệu suất xử lý và tuổi thọ của hệ thống theo thời gian.
- Để phát huy tối đa hiệu suất xử lý và giúp cây sinh trưởng tốt hơn trong hệ thống ĐNN chảy ngầm đứng, nên áp dụng hệ thống này cho quy mô ao nuôi lớn hơn để tăng lưu lượng tải nạp, tăng tần suất cung cấp nước và thời gian giữ nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Control Federation (WCF), 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. Washington D.C., USA.
- Kiracofe, B.D., 2000. Performance evaluation of the town of Monterey wastewater treatment plant utilizing subsurface flow constructed wetlands. Master Thesis, Polytechnic Institute and State University.
- Lin, Y.F., S.R. Jing, D.Y. Lee, Y.F. Chang, Y.M. Chen, and K.C. Shih, 2005. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. *Environmental Pollution* 134, 411-421.
- Luederitz, V., E. Eckert, M.L. Weber, A. Lange, and R.M. Gersberg, 2001. Nutrient removal efficiency and resource economics of vertical flow and horizontal flow constructed wetlands. *Ecological Engineering* 18, 157-171.
- 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.
- Nguyễn Thị Thảo Nguyên, 2011. Đánh giá khả năng xử lý lân của nước thải bể nuôi cá tra thâm canh bằng hệ thống đất ngập nước kiến tạo. Luận văn Thạc sĩ Khoa học Môi trường. Đại học Cần Thơ.
- Nguyễn Việt Thắng, 2011. Giải pháp hỗ trợ sản xuất và tiêu thụ cá Tra. *Tạp chí thủy sản VN*. Truy cập ngày 20/09/2011 từ trang web: <http://thuysanvietnam.com.vn/index.php/news/details/index/1340.let>
- Nhan, D.K., M.C.J. Verdegem, A. Milstein, and J.A.V. Verreth, 2008. Water and nutrient budgets of ponds in integrated agriculture-aquaculture systems in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture Research* 39, 1216-1228.
- Thien, P.C., A. Dalsgaard, B.N. Thanh, A. Olsen, and K.D. Murrell, 2007. Prevalence of fishborne zoonotic parasites in important cultured fish species in the Mekong Delta, Vietnam. *Parasitol Research* 101, 1277-1284.
- Trang, N.T.D., 2009. Plants as bioengineers: treatment of polluted waters in the tropics. Doctoral Thesis, Aarhus University, Denmark.
- Trương Quốc Phú, 2007. Chất lượng nước và bùn đáy ao nuôi cá tra thâm canh. Báo cáo hội thảo: *Bảo vệ môi trường trong nuôi trồng và chế biến thủy sản trong thời kỳ hội nhập*. Bộ Nông Nghiệp và Phát triển nông thôn, ngày 27 – 28/12/2007.
- Tucker, C.S. and Hargreaves, J.A., 2003. Management of effluents from channel catfish (*Ictalurus punctatus*) embankment ponds in the southeastern United States. *Aquaculture* 226, 5-21.
- Vymazal, V., 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment* 380, 48–65.