

ẢNH HƯỞNG CỦA KỸ THUẬT TƯỚI LUÂN PHIÊN LÊN SỰ KHOÁNG HÓA ĐẠM CỦA ĐẤT PHÙ SA TRỒNG LÚA Ở ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Nguyễn Quốc Khương¹, Lý Ngọc Thanh Xuân², Nguyễn Minh Đông¹ và Ngô Ngọc Hưng¹

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of alternate wetting and drying (AWD) compared to continuous flooding (CF) irrigation on nitrogen mineralization and potential nitrification (nitrate and nitrite) from paddy soil. The research has been conducted under two water management regimes in alluvial rice soil in Cuu Long Rice Research Institute during dry season 2010. Rate of NH_4^+ -N has been determined by ^{15}N technique. Contents of soil NH_4^+ -N and $NO_3^- + NO_2^-$ -N increased by applying alternate wetting and drying (AWD) and the rate of $NO_3^- + NO_2^-$ -N mineralized reached highest at 65 days after sowing (DAS), while NO_3^- -N in continuously flooded (CF) soil almost disappeared at 15 DAS. Implementation of AWD irrigation may considered as one of important factors accelerated N mineralization in Mekong delta rice soils.

Keywords: Alternate wetting and drying, AWD, continuously flooded, CF, N mineralization, Mekong delta rice soils

Title: Effect of alternate wetting and drying irrigation on N mineralization of Mekong delta alluvial rice soils

TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu là xác định ảnh hưởng của chế độ tưới ngập luân tục và khô ngập luân phiên lên sự khoáng hóa đạm và tiềm năng nitrate hóa từ đất lúa ngập nước. Nghiên cứu được thực hiện trong vụ Đông Xuân 2010 dưới hai chế độ quản lý nước trên đất phù sa trồng lúa tại Viện lúa ĐBSCL. Tốc độ khoáng hóa NH_4^+ -N được xác định bằng kỹ thuật bổ sung ^{15}N . Hàm lượng NH_4^+ -N và $NO_3^- + NO_2^-$ -N trong đất gia tăng ở nghiệm thức khô ngập xen kẽ và tốc độ khoáng hóa $NO_3^- + NO_2^-$ -N đạt cao nhất vào giai đoạn 65NSS, trong khi hàm lượng NO_3^- -N trong điều kiện ngập luân tục hầu như biến mất sau 15 ngày sạ. Kỹ thuật tưới luân phiên được xem là một trong những yếu tố quan trọng thúc đẩy sự khoáng hóa N trong đất lúa ở ĐBSCL.

Từ khóa: Khô ngập luân phiên, AWD, ngập luân tục, CF, khoáng hóa đạm, đất trồng lúa ở đồng bằng sông Cửu Long

1 MỞ ĐẦU

Đạm là yếu tố quan trọng góp phần nâng cao năng suất cây trồng. Nhiều nghiên cứu cho thấy đạm có nguồn gốc từ sự khoáng hóa N hữu cơ đất là nguồn đạm chính mà cây trồng hấp thu, ngay cả khi bón phân đạm liều lượng cao cũng không thay thế được đạm từ đất (Cassman *et al.*, 1994). Theo Manguiat *et al.* (1993) hàm lượng đạm khoáng hóa tích lũy tương quan thuận với lượng đạm hấp thu và năng suất cây trồng. Bên cạnh đó, đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) với diện tích

1 Khoa Nông nghiệp và Sinh học Ứng dụng, Trường Đại học Cần Thơ

2 Trường Đại học An Giang

trồng lúa lớn, nhu cầu nước tưới cho lúa là rất lớn. Theo Lê Sâm (1996), vào mùa khô lượng nước ngọt đổ về ĐBSCL từ thượng nguồn sông Mê Kông tương đối ít. Do đó, cần thực hiện các biện pháp giảm nước tưới nhưng vẫn đảm bảo đủ lượng nước cần thiết cho cây trồng. Chính vì thế, việc khảo sát khả năng khoáng hóa đạm trong hai điều kiện tưới là cần thiết.

2 PHƯƠNG TIỆN VÀ PHƯƠNG PHÁP

2.1 Phương tiện

Thí nghiệm được thực hiện trong vụ Đông Xuân 2010 trên đất phù sa tại Viện lúa ĐBSCL với các đặc tính vật lý, hóa học ban đầu như trình bày ở bảng 1. Giống lúa được sử dụng là OM4498 có thời gian sinh trưởng 85 - 90 ngày. Phân được bón theo khuyến cáo 100N - 60P₂O₅ - 30K₂O kg ha⁻¹ và chia thành 3 lần bón vào các giai đoạn 8, 22 và 44 ngày sau khi sạ (NSS).

Bảng 1: Tính chất vật lý, hóa học ban đầu của đất thí nghiệm. Viện nghiên cứu lúa ĐBSCL, tháng 12/2010

Độ sâu (cm)	pH	EC (mS/cm)	Hữu cơ (% C)	N tổng số (%)	P dễ tiêu (Bray-2)	Thành phần cơ giới (%)		
						Cát	Thịt	Sét
0-20	4,9	0,4	1,34	0,15	0,4	6,0	48,6	45,4
20-50	5,7	0,3	0,99	0,11	0,3	4,6	48,7	46,7

2.2 Phương pháp

Thí nghiệm được bố trí theo thể thức khối hoàn toàn ngẫu nhiên. Mỗi nghiệm thức có 4 lặp lại và mỗi lô thí nghiệm có diện tích (6m x 5m) = 30m².

2.2.1 Mô tả phương pháp tưới

- Tưới ngập thường xuyên (Continuously flooded: CF): giữ mức nước khoảng 5cm trên mặt ruộng trong suốt thời gian sinh trưởng của cây lúa ngoại trừ giai đoạn 80 - 100 ngày sau khi sạ và 7 ngày sau khi thu hoạch. Thời kỳ 80 - 100NSS đất được giữ ẩm.
- Tưới luân phiên (Alternate wetting and drying: AWD) còn gọi là tưới tiết kiệm: giữ ngập thường xuyên từ 3-10NSS. Đất thí nghiệm được tưới khi mực nước trên ruộng giảm xuống đến độ sâu 10 - 15cm cách mặt đất thì tưới nước trở lại ở mức 5 cm. Chu kỳ khô ngập được áp dụng ở giai đoạn từ 10 - 55NSS.

2.2.2 Phương pháp xác định khoáng hóa NH₄⁺-N

Phương pháp xác định khoáng hóa NH₄⁺-N: sử dụng kỹ thuật bổ sung ¹⁵N xác định cả tổng đạm và đạm thuần theo Blackburn (1979) và được bổ sung bởi Laws (1984). Phân tích nồng độ NH₄⁺ theo phương pháp Verdouw *et al.* (1978). Nồng độ ¹⁵NH₄⁺ trong NH₄⁺-N tổng được xác định theo Risgaard-Petersen *et al.* (1995).

Tính tốc độ khoáng hóa dựa trên thời gian ủ theo đề nghị Blackburn (1979). Khoáng hóa thuần được tính toán dựa trên sự thay đổi của tổng NH₄⁺-N theo thời gian (công thức 1) nghĩa là hệ số góc (X) của đồ thị tổng NH₄⁺-N theo thời gian. Để ước tính tổng lượng NH₄⁺-N đầu tiên ln (R), dựa trên đồ thị ln[(d-i) × t + P₀]/

P_0] và phương trình hồi quy có hệ số góc (Y) theo công thức 2. Tổng lượng NH_4^+ -N khoáng hóa (công thức 3) và bất động N từ công thức 4 (Blackburn, 1979).

$$P(t) = P_0 + (d-i) \times t; \text{ slope} = (d-i) = X \quad (1)$$

$$\ln(R) = \ln(R_0) - (d/d-i) \times \ln\{[(d-i) \times t + P_0]/P_0\}; \text{ slope} = -(d/d-i) = Y \quad (2)$$

$$d = -XY \quad (3); i = -X-XY \quad (4)$$

Trong đó: P(t): tổng hàm lượng ammonium tại thời điểm t;

P_0 : hàm lượng ammonium tại thời điểm t_0 ;

d: tốc độ khoáng hóa tổng ammonium;

i: tốc độ bất động ammonium;

d-i: tốc độ khoáng hóa thuần ammonium;

R: tỷ lệ $[^{15}NH_4^+]/[NH_4^+]_{total}$.

2.2.3 Phương pháp xác định khoáng hóa $NO_3^- + NO_2^-$ -N

Tiềm năng nitrate và nitrite hóa của đất được xác định bởi ủ đất hiếu khí bằng cách làm giàu ammonium trong dung dịch đất dựa trên tốc độ nitrate và sản phẩm nitrite (Nicolaisen *et al.*, 2004). Phương pháp thực hiện theo Henriksen (1980). Các mẫu đất được ủ 24 giờ ở nhiệt độ phòng. NO_x^- được trích 5 lần trong suốt quá trình ủ và được xác định dựa trên phương pháp giảm cadmium (Huffman và Barbarick, 1981). Tốc độ NO_x^- hóa được tính toán từ sự tích lũy NO_x^- theo thời gian.

Tốc độ nitrate hóa được tính như sau: Tốc độ trên lít nước = hệ số góc của đường hồi quy $\mu \text{ mol l}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (α); Hệ số góc của đường hồi quy dựa trên đồ thị nồng độ NO_x^- thay đổi theo thời gian.

$$\text{Tốc độ trên lít dung dịch đất} = \frac{\text{Tốc độ trên lít nước} \quad (\mu \text{ mol l}^{-1} \text{ h}^{-1})}{\text{Hàm lượng nước trong dung dịch đất} \quad (\text{lít nước/ lít dung dịch đất})} \quad (\mu \text{ mol l}^{-1} \text{ h}^{-1})$$

$$\text{Tốc độ trên gram đất khô} = \frac{\text{Tốc độ trên lít dung dịch đất} \quad (\mu \text{ mol l}^{-1} \text{ h}^{-1})}{\text{Hàm lượng đất khô} \quad (\text{gram đất khô/ lít dung dịch đất})} \quad (\mu \text{ mol g}^{-1} \text{ h}^{-1})$$

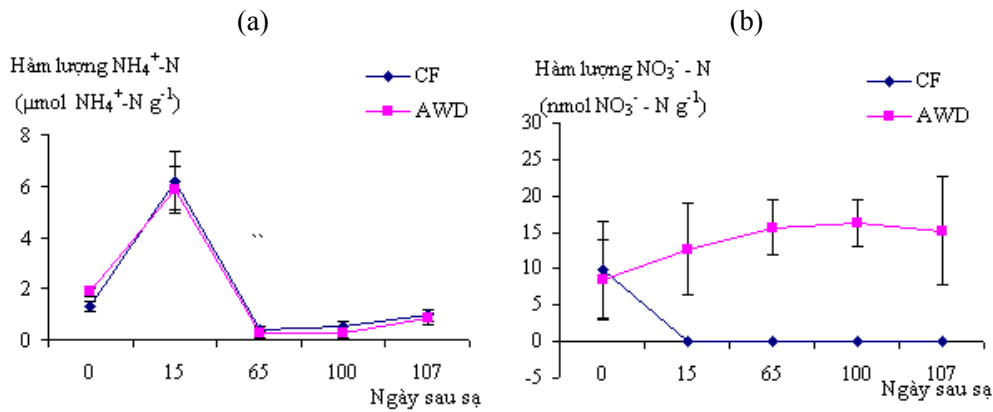
2.2.4 Phương pháp xử lý số liệu

Sử dụng phần mềm MSTATC phân tích phương sai, so sánh khác biệt trung bình và phân tích hồi qui - tương quan với kiểm định Duncan.

3 KẾT QUẢ THẢO LUẬN

3.1 Ảnh hưởng của biện pháp tưới lên diễn biến NH_4^+ -N và NO_3^- -N

Hàm lượng NH_4^+ -N đạt cao nhất ở 15NSS với $6,21 \mu \text{ mol } NH_4^+$ -N g^{-1} trong điều kiện ngập liên tục và $5,85 \mu \text{ mol } NH_4^+$ -N g^{-1} ở khô ngập luân phiên (Hình 1a).



Hình 1: Diễn biến hàm lượng (a) NH₄⁺-N, (b) NO₃⁻-N. Các thanh dọc trên đồ thị biểu diễn độ lệch chuẩn cho các giá trị NH₄⁺ (μmol NH₄⁺-N g⁻¹) và NO₃⁻ (nmol NO₃⁻-N g⁻¹)

Ghi chú: CF: đất ngập liên tục;

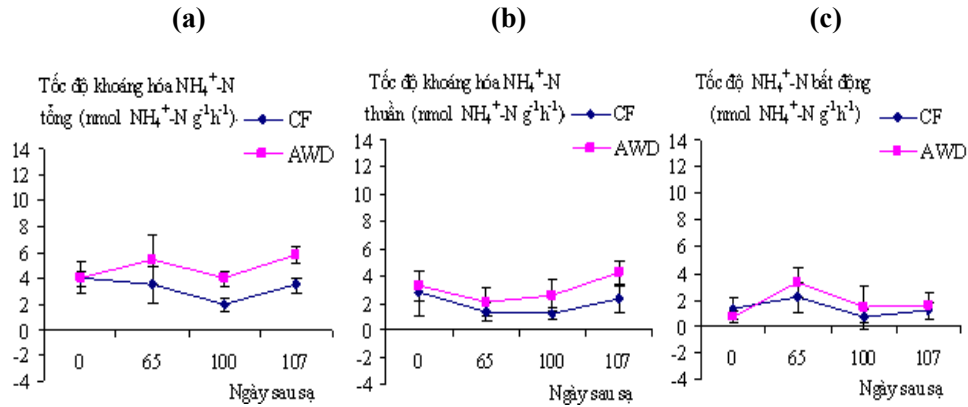
AWD: đất khô ngập luân phiên.

NO₃⁻-N thường gặp trong môi trường thoáng khí và khô (Campbell *et al.*, 1993). Hàm lượng NO₃⁻-N trong điều kiện ngập liên tục gần như biến mất sau 15 ngày sạ (Hình 1b). Ngược lại, hàm lượng NO₃⁻-N ở nghiệm thức khô ngập luân phiên được duy trì trong khoảng 15 nmol NO₃⁻-N g⁻¹ do đất thoáng khí và hoạt động của vi sinh vật nitrate hóa gia tăng, sự khác biệt từ 15NSS giữa hai nghiệm thức có ý nghĩa thống kê (p<0,05).

3.2 Ảnh hưởng của biện pháp tưới lên tốc độ khoáng hóa NH₄⁺-N

3.2.1 Tốc độ khoáng hóa NH₄⁺-N tổng

Tốc độ khoáng hóa đạm tổng ở AWD cao hơn CF. Tốc độ khoáng hóa đạm tổng ở AWD qua các giai đoạn 0, 65, 100, 107 NSS lần lượt 4,00; 5,43; 4,02; 5,81 μmol NH₄⁺-N g⁻¹h⁻¹ trong khi CF là 4,10; 3,55; 2,04; 3,47 μmol NH₄⁺-N g⁻¹h⁻¹ (Hình 2a). Cùng với sự gia tăng chu kỳ khô ngập thì sự khác biệt giữa tốc độ khoáng hóa ở hai nghiệm thức càng rõ rệt. Đến giai đoạn 65NSS giữa hai nghiệm thức không khác biệt thống kê (5%), ở giai đoạn 100, 107NSS, tốc độ khoáng hóa NH₄⁺-N có khác biệt thống kê (5%) (p = 0,020 và 0,016). Ở giai đoạn 107NSS tốc độ khoáng hóa NH₄⁺-N của AWD cao gần gấp hai lần so với CF. Sự khác biệt này là do đất được ẩm ướt trở lại tạo điều kiện thuận lợi cho vi sinh vật hoạt động tốt hơn ở AWD và đạt giá trị cao nhất. Ngoài ra, nguyên nhân dẫn đến kết quả trên là dưới điều kiện thoáng khí rễ cây có thể tiết ra những enzyme như protease và/hoặc các acid hữu cơ làm thúc đẩy hoạt động của quần thể vi sinh vật đất hơn điều kiện ngập liên tục. Trong khi ở đất ngập liên tục, thiếu oxy dẫn đến giới hạn khoáng hóa N bởi vì chỉ có những vi sinh vật đất mà có thể sống sót trong điều kiện kỵ khí hoạt động (Jonathan Deenik, 2006).



Hình 2: Ảnh hưởng của biện pháp tưới lên (a) tốc độ khoáng hóa NH₄⁺-N tổng, (b) tốc độ khoáng hóa NH₄⁺-N thuần, (c) tốc độ bất động NH₄⁺-N. Các thanh dọc trên đồ thị biểu diễn độ lệch chuẩn các giá NH₄⁺-N (nmol NH₄⁺-N g⁻¹ h⁻¹)

Ghi chú: CF: đất ngập liên tục;

AWD: đất khô ngập luân phiên.

3.2.2 Tốc độ khoáng hóa NH₄⁺-N thuần

Khoáng hóa đạm thuần là kết quả của hai tiến trình đối lập: khoáng hóa đạm tổng (sự phóng thích đạm) và sự bất động đạm (sự đồng hóa đạm) bởi hoạt động của vi sinh vật (Mengel, 1987). Hàm lượng N tổng số trong đất chưa dự đoán được khả năng cung cấp N hữu dụng từ đất cho sự hấp thu của cây trồng (Sims *et al.*, 1967) và tiềm năng khoáng hóa đạm thuần thì rất quan trọng cho việc điều chỉnh lượng phân đạm bón vào đối với nhu cầu mùa vụ (Ward Chesworth, 2008). Do đó, xác định lượng N thuần nhằm xác định được lượng N thật sự mà cây trồng sử dụng.

Tương tự tốc độ khoáng hóa NH₄⁺-N tổng, tốc độ khoáng hóa NH₄⁺-N thuần ở AWD cao hơn CF. Tốc độ khoáng hóa đạm thuần ở AWD ở các giai đoạn 0, 65, 100, 107NSS lần lượt 2,77; 1,36; 1,27; 2,32 nmol NH₄⁺-N g⁻¹h⁻¹ trong khi ở CF là 3,31; 2,12; 2,60; 4,28 nmol NH₄⁺-N g⁻¹h⁻¹ (Hình 2b), theo thứ tự. Trong đó, ở thời điểm 100NSS và 107NSS có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% (p = 0,020 và p = 0,016).

Có mối tương quan thuận chặt chẽ giữa tốc độ khoáng hóa thuần so với tốc độ khoáng hóa tổng (hệ số tương quan r = 0,70). Tùy thuộc vào những giai đoạn khác nhau thì tốc độ khoáng hóa N thuần so với tốc độ khoáng hóa tổng cũng khác nhau. Tốc độ khoáng hóa thuần trên đất phù sa ở AWD đạt cao nhất khoảng 82,8% so với tốc độ khoáng hóa tổng (Bảng 2).

Bảng 2: Tốc độ khoáng hóa NH₄⁺-N thuần (%) so với tốc độ khoáng hóa NH₄⁺-N tổng

NT	NSS	0	65	100	107
		(%)			
CF		67,6	38,3	62,3	66,6
AWD		82,8	39,1	64,6	73,7

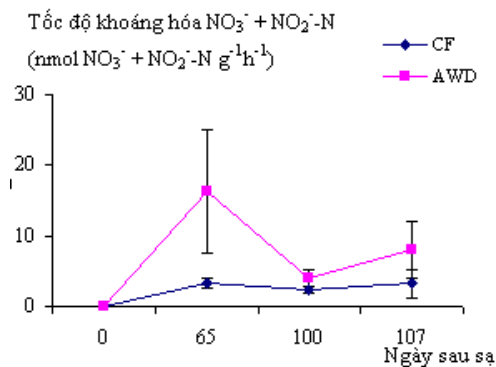
3.2.3 Tốc độ NH₄⁺-N bị bất động bởi vi sinh vật đất

Sự bất động N là sự chuyển hóa N từ dạng đạm vô cơ sang N hữu cơ trong cơ thể vi sinh vật. Tốc độ NH₄⁺-N bị bất động bởi vi sinh vật đất ở AWD cao hơn CF qua các giai đoạn 0, 65, 100, 107NSS lần lượt 0,69; 3,30; 1,42; 1,53nmol NH₄⁺-Ng⁻¹h⁻¹ trong khi ở CF 1,33; 2,19; 0,77; 1,16 nmol NH₄⁺-N g⁻¹h⁻¹ (Hình 2c). Nguyên nhân dẫn đến kết quả NH₄⁺-N bị bất động ở 65NSS cao hơn các giai đoạn khác là do ẩm độ đất cao hơn (71,5%) và phù hợp cho hoạt động của vi sinh vật hơn so với CF. Ngoài ra, giai đoạn này có sự tăng cao là do vi sinh vật phân huỷ hợp chất hữu cơ chứa carbon trong đất, chúng có nhu cầu N cao hơn lượng N có trong hợp chất hữu cơ được chúng phân huỷ để phát triển mô cơ thể, vì thế chúng sử dụng đến lượng N vô cơ (NH₄⁺-N và NO₃⁻-N) có sẵn trong đất.

3.3 Ảnh hưởng của biện pháp tưới lên tốc độ khoáng hóa NO₃⁻+NO₂⁻-N

pH là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến tiến trình nitrate hóa (Staley *et al.*, 1990), khoảng pH tối hảo cho tiến trình nitrate hóa là 6,6 - 8,0. Tuy nhiên, tiến trình trên bị hạn chế khi pH thấp hơn 6 (Sauvé *et al.*, 1998).

Qua hình 3, tốc độ nitrate hóa ở AWD cao hơn CF vì tiến trình NO_x⁻ hóa cần sự hiện diện của oxy để biến đổi NH₄⁺-N thành NO₃⁻-N. Chính vì vậy, oxy là yếu tố chính ảnh hưởng đến tiến trình nitrate (Elke Stehfest, 2005). Khả năng hoạt động của vi sinh vật hiếu khí có liên quan chặt với lượng nước vào tế không. Nó cũng được quan sát rằng, tiến trình nitrate giảm khi lượng nước trong tế không chiếm trên 50% bởi vì điều kiện yếm khí trong đất gia tăng (Firestone và Davidson, 1989).



Hình 3: Tốc độ khoáng hóa NO₃⁻ + NO₂⁻-N vụ Đông Xuân. Các thanh dọc trên đồ thị biểu diễn độ lệch chuẩn của NO₃⁻ + NO₂⁻-N (nmol NO₃⁻ + NO₂⁻-N g⁻¹ h⁻¹)

Ghi chú: CF: đất ngập liên tục;
AWD: đất khô ngập luân phiên

Tốc độ nitrate hóa trên đất phù sa luôn thay đổi theo thời gian (Hình 3). Tốc độ nitrate hóa của AWD có sự thay đổi đáng kể trong khi CF gần như ổn định cả mùa vụ. Điều này chứng tỏ bằng biện pháp tưới luân phiên giúp tăng khả năng khoáng hóa NO₃⁻ + NO₂⁻-N. Tốc độ nitrate hóa ở AWD thời điểm 65NSS lần lượt 16,3 nmol NO₃⁻ + NO₂⁻-N g⁻¹ h⁻¹ trong khi ở CF 3,31 nmol NO₃⁻ + NO₂⁻-N g⁻¹ h⁻¹, có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5% (p = 0,049). Tương tự, thời điểm 100NSS

cũng giảm xuống còn 2,36 và 4,07 nmol $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- \text{-N g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ở CF và AWD. Thời gian ngập ở AWD kéo dài hơn so với các chu kỳ trước nên có thể gây bất lợi cho vi sinh vật hiếu khí, dẫn đến tốc độ khoáng hóa $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- \text{-N}$ ở giai đoạn này thấp hơn so với giai đoạn trước.

Việc khảo sát tốc độ khoáng hóa $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- \text{-N}$ trong điều kiện khử cho ta dự đoán được khả năng bốc thoát NO và N_2O từ đất. Qua đồ thị cũng thấy được rằng khả năng bốc thoát N ở giai đoạn này cao nhất (65NSS) và giai đoạn sau thu hoạch ở nghiệm thức AWD. Theo một số nghiên cứu trước đây, sự nitrate hóa là nguồn quan trọng của bốc thoát NO và N_2O (Papen và Butterbach-Bahl, 1999).

4 KẾT LUẬN

Trên đất phù sa, kỹ thuật tưới luân phiên giúp tăng khả năng khoáng hóa N ở cả 2 dạng $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ và $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- \text{-N}$. Tốc độ khoáng hóa $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ tổng, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ thuần, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ bất động ở AWD cao hơn CF trong cả mùa vụ và có sự tương quan chặt chẽ giữa tổng khoáng hóa $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ và khoáng hóa $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ thuần.

Chu kỳ khô ngập đã giúp gia tăng lượng đạm $\text{NO}_3^- \text{-N}$ trong đất và tốc độ $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- \text{-N}$ hóa ở AWD cũng cao hơn so với CF. Tốc độ khoáng hóa $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- \text{-N}$ đạt cao nhất ở AWD (23,3 nmol $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- \text{-N g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) vào giai đoạn 65NSS trong khi hàm lượng $\text{NO}_3^- \text{-N}$ trong điều kiện ngập liên tục biến mất sau 15 ngày sạ.

Kỹ thuật tưới luân phiên được xem là một trong những tác nhân quan trọng xúc tiến sự khoáng hóa N trong đất lúa ở ĐBSCL.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Blackburn (1979), Method for Measuring Rates of NH_4^+ Turnover in anoxic marine sediments, using a $^{15}\text{N-NH}_4^+$ dilution technique. Applied and environmental microbiology, Apr. 1979, Vol 37: 760-765.
- Campbell, A. K. and G. B. Sala-Newby (1993), Bioluminescent and chemiluminescent indicators for molecular signaling and function in living cells. In fluorescent and luminescent probes for biological activity (Mason, W. T., Ed.), pp 58-82, Academic Press, London.
- Cassman K. G., M. J. Kropff and Y. Zhen-De (1994), Conceptual framework for nitrogen management of irrigated rice in high - field environments. In S.S Virmani (ed). Hybrid Rice Technology. New Development and Future Prospects. International Rice Research Institute, Banos Philippines, 1997. Pp 81-96.
- Elke Stehfest (2005), Modelling of global crop production and resulting N_2O emissions. PhD Thesis prepared within the International Max Planck Research School on Earth System Modelling.
- Firestone, M. K., and E. A. Davidson (1989), Microbiological basis for NO and N_2O production and consumption in soils, in Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere, edited by M. O. Andreae and D. S. Schimel., Wiley and Sons, Chichester. pp. 7-21.
- Henriksen, K (1980). Measurement of in situ rates of nitrification in sediment. Microbial Ecology 6: 329-337
- Huffman, S. A. and K. A. Barbarick (1981). Soil nitrate analysis by cadmium reduction. Communications in Soil Science and Plant Analysis 12:79-89.

- Jonathan Deenik (2006), Nitrogen mineralization potential in important agricultural soils of Hawaii. *Soil and Crop Management: SCM-15*.
- Laws (1984), Isotope dilution models and the mystery of the vanishing ^{15}N . *Limnol Oceanogr* 29 (2): 379-386.
- Lê Sâm (1996), Thủy nông ở Đồng bằng sông Cửu Long, Nhà xuất bản Nông nghiệp TP. Hồ Chí Minh.
- Manguiat I. J., G. B. Mascarina, J. K. Ladha, R. J. Buresh and J. Tallada (1993), Prediction of nitrogen availability and rice yield in lowland soils: Nitrogen mineralization parameters. *Plant and soil* 160: 131-137.
- Mengel, K., and E. A. Kirkby (1987), *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute. Bern, Switzerland. p. 436-437.
- Nicolaisen, M. H., N. Risgaard-Petersen, N. P. Revsbech, W. Reichardt, and N. B. Ramsing (2004). Nitrification-denitrification dynamics and community structure of NH_3 -oxidizing bacteria in a high yield irrigated Philippine rice field. *FEMS Microbiology Ecology* 49:359-369.
- Papen, H., and K. Butterbach-Bahl (1999), A 3-year continuous record of nitrogen trace gas fluxes from untreated and limed soil of a N-saturated spruce and beech forest ecosystem in Germany 1. N_2O emissions. *Journal of Geophysical Research*, 104: 18487-18503.
- Risgaard-Petersen, N., S. Rysgaard, and N. P. Revsbech (1995). Combined microdiffusion-hypobromite oxidation method for determining nitrogen-15 isotope in ammonium. *Soil Science Society of America Journal* 59:1077-1080.
- Sauvé, S., McBride, M., Hendershot, W. (1998a), Lead phosphate solubility in water and soil suspensions. *Environ. Sci. Technol.* 32: 388-393.
- Sims, P. & Grover, P. L. (1967), Variations dependent on age and diet in the metabolism of 7,12-dimethylbenz (a) anthracene by rat liver homogenates. *Nature* 216: 77-78.
- Staley, T. E., Caskey, W. H., Boyer, D. G. (1990), Soil denitrification and nitrification potentials during the growing season relative to tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 1602-160.
- Verdouw H., C. J. A. van Echteld, and E. M.J. Dekkers (1978). NH_3 determination based on indophenol formation with sodium salicylate. *Water Res.* 12: 399-402.
- Ward Chesworth (2008), *Encyclopedia of Soil Science*. Springer Dordrecht, Berlin, Heidelberg, New York.