

# CHẤT LƯỢNG CHẤT HỮU CƠ VÀ KHẢ NĂNG CUNG CẤP ĐẠM CỦA ĐẤT THÂM CANH LÚA BA VỤ VÀ LUÂN CANH LÚA - MÀU

Võ Thị Gương, Nguyễn Minh Đông và Châu Minh Khôi<sup>1</sup>

## ABSTRACT

*The study aimed to identify the changes in soil organic matter quality under intensively triple rice cropping system and to evaluate the positive effects of different rice-upland crop rotation models on soil organic matter quality and its capacity in supplying available nitrogen (N). The results showed that rice yield gained in the treatments in which rice were rotated with upland crops, i.e. baby corn or mungbean was significantly higher than those in the triple rice cropping system. Rotating rice with baby corn or mungbean also resulted in significantly high contents of soil mobile humic acid (MHA), labile organic nitrogen and therefore, high soil available N supplying capacity in the following crop. Using labelled urea-<sup>15</sup>N to discriminate soil-N from fertilizer-N taken up by rice showed that there was more soil mineral N taken up in rotation systems compared to those in continuously triple rice system. This result revealed that net N mineralization was potentially higher in the rice-upland crops rotation systems.*

**Keywords:** soil organic matter; available nitrogen, triple rice, crop rotation

**Title:** Soil organic matter quality and nitrogen supplying capacity in continuously triple rice and rice – upland crop rotation systems

## TÓM TẮT

*Thí nghiệm được thực hiện nhằm mục đích đánh giá hiệu quả của luân canh cây màu trên đất ruộng lúa thâm canh ba vụ đối với chất lượng chất hữu cơ, khả năng cung cấp đạm (N) hữu dụng của đất và năng suất lúa trồng sau vụ luân canh. Kết quả thí nghiệm ghi nhận năng suất lúa cao khác biệt có ý nghĩa khi đất lúa được luân canh với bắp rau hoặc đậu xanh. Giai đoạn cuối vụ màu đầu vụ canh tác lúa, đất luân canh cây trồng cạn có sự gia tăng sự tích lũy thành phần chất mùn trẻ, dễ di động MHA (mobile humic acid) và N hữu cơ dễ phân hủy. Khả năng khoáng hóa N cũng tăng cao ở đất luân canh so với đất thâm canh ba vụ lúa liên tục. Kết quả sử dụng đồng vị <sup>15</sup>N trong phân Urea cung cấp cho lúa đã cho thấy tổng lượng N được lúa hấp thu từ đất sau khi canh tác với bắp rau hoặc đậu xanh đều cao hơn nghiệm thức canh tác lúa liên tục, tương ứng với kết quả khảo sát tốc độ khoáng hóa, cung cấp N hữu dụng từ đất giữa các mô hình.*

**Từ khóa:** chất hữu cơ đất, đạm hữu dụng, lúa thâm canh ba vụ, luân canh

## 1 MỞ ĐẦU

Thâm canh lúa ba vụ giúp tăng thu nhập của nông dân, đảm bảo yêu cầu an toàn lương thực và xuất khẩu. Tuy nhiên, các bất lợi về mặt phì nhiêu đất do đất ngập nước liên tục trong thâm canh lúa ba vụ đã ảnh hưởng đến tính bền vững của hệ thống này. Trong điều kiện ngập nước liên tục, sự phân hủy các dư thừa thực vật có thể đưa đến sự gia tăng tích lũy các hợp chất phenolic, lignin và các hợp chất khó phân hủy khác vào thành phần mùn của đất (Dijkstra *et al.*, 1998, Huang *et al.*,

<sup>1</sup> Bộ môn Khoa Học Đất và Quản Lý Đất Đai, Khoa NN & SHƯĐ, Trường Đại học Cần Thơ

1998; Olk và Cassman, 2002). Các hợp chất này có thể kết hợp với dưỡng chất trong đất, đặc biệt là đạm (N) gây ra bất động N vô cơ trong đất, làm giảm khả năng khoáng hóa và cung cấp N hữu dụng cho những vụ kế tiếp (Olk và Cassman, 2002; Schmidt *et al.*, 2004) và dẫn đến suy giảm năng suất lúa (Olk *et al.*, 2004). Các giả thuyết được đặt ra để hạn chế ảnh hưởng bất lợi của thời gian ngập liên tục trong canh tác lúa ba vụ đến độ phì nhiêu đất là luân canh cây trồng cạn giữa các vụ lúa để đất có thời gian thoáng khí, do đó hạn chế sự kết hợp N vô cơ vào các thành phần của hợp chất mùn và gia tăng sự phân hủy háo khí của chất hữu cơ. Biện pháp này có thể giúp nâng cao năng suất lúa do được cung cấp nhiều N hữu dụng từ đất.

Được sự hỗ trợ của chương trình VLIR (chương trình hợp tác giữa các trường Đại học ở Bỉ và Đại học Cần Thơ), từ năm 2001 chúng tôi đã thực hiện các nghiên cứu về sự suy giảm độ phì nhiêu của đất trồng lúa do thâm canh tăng vụ và do các ảnh hưởng bất lợi của việc bao đê ngăn lũ. Các thí nghiệm được thực hiện trên các biểu loại đất trồng lúa khác nhau và ở các vùng sinh thái khác nhau. Một số mô hình cây trồng cạn được thiết lập trong hệ thống luân canh lúa ba vụ để đánh giá khả năng cải thiện độ phì nhiêu đất, năng suất lúa và hiệu quả kinh tế của các mô hình luân canh lúa và cây màu. Trong phạm vi bài báo cáo này, chúng tôi trình bày một số kết quả nghiên cứu về hiệu quả của luân canh cây trồng cạn đến chất lượng đất hữu cơ đất, khả năng cung cấp N khoáng và năng suất lúa vụ Thu Đông 2005 tại xã Long Khánh, thị trấn Cai Lậy, tỉnh Tiền Giang. Điểm thí nghiệm nằm trong khu vực bao đê ngăn lũ và có lịch sử canh tác lúa ba vụ lâu đời tại đồng bằng sông Cửu Long.

## 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Bố trí thí nghiệm đồng ruộng

Ruộng thí nghiệm thuộc loại đất phù sa, không ngập lũ, đã được canh tác lúa ba vụ trên 20 năm, thuộc biểu loại đất Mollic Endoaquept (phân loại theo USDA). Từ năm 2001, ruộng thí nghiệm đã được thực hiện mô hình luân canh giữa lúa và cây trồng cạn. Cây trồng cạn được luân canh là bắp rau và đậu xanh được gieo trồng vào vụ Hè Thu mỗi năm. Lượng phân bón sử dụng cho mỗi vụ tính theo N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O/ha là 100-60-30 cho lúa, 150-30-60 cho bắp rau và 40-30-60 cho đậu xanh. Thí nghiệm gồm 3 nghiệm thức với 4 lặp lại cho mỗi nghiệm thức. Mỗi lô thí nghiệm có diện tích 100 m<sup>2</sup>. Thí nghiệm được bố trí theo khối hoàn toàn ngẫu nhiên (Bảng 1). Đặc tính đất thí nghiệm được trình bày ở bảng 2.

**Bảng 1: Bố trí lịch thời vụ và các nghiệm thức**

	Đông Xuân	Hè Thu	Thu Đông
Nghiệm thức 1 (NT 1)	Lúa	Lúa	Lúa
Nghiệm thức 2 (NT 2)	Lúa	Bắp rau	Lúa
Nghiệm thức 3 (NT 3)	Lúa	Đậu xanh	Lúa

**Bảng 2: Đặc tính hóa, lý của tầng đất mặt 0-15 cm của ruộng thí nghiệm trước thí nghiệm bố trí luân canh cây trồng vào năm 2001**

pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	EC (mS cm <sup>-1</sup> )	N tổng (%)	C hữu cơ (%)	CEC (cmol kg <sup>-1</sup> )	Cation trao đổi (cmol kg <sup>-1</sup> )			
					Ca	Mg	K	Na
5,1	0,36	0,24	2,6	22,3	12,9	4,74	0,36	0,67

**2.2 Các đặc tính đất được nghiên cứu, phương pháp lấy mẫu và phân tích mẫu**

Mẫu đất được thu vào cuối vụ Hè Thu 2005. Trên mỗi lô thí nghiệm, thu mẫu đất tại 5 điểm theo đường chéo góc, ở độ sâu 0-15 cm. Các mẫu đất trên cùng lô được trộn đều để lấy mẫu đại diện. Mỗi thí nghiệm sẽ có bốn mẫu đất đại diện tương ứng với bốn lần lặp lại. Mẫu đất được phơi khô không khí trong phòng thí nghiệm, nghiền mịn và bảo quản cho phân tích.

*2.2.1 Đánh giá chất lượng chất hữu cơ giữa các mô hình*

Phân tích hàm lượng acid mùn dễ phân hủy (mobile humic acid-MHA) và N hữu cơ dễ phân hủy để so sánh sự thay đổi đặc tính của chất hữu cơ đất giữa các mô hình thâm canh lúa ba vụ và luân canh lúa với cây trồng cạn. MHA là hợp chất mùn trẻ được hình thành sớm trong quá trình mùn hóa chất hữu cơ, dễ phân hủy và dễ biến đổi về số lượng và chất lượng theo điều kiện môi trường (Olk *et al.*, 1999). Hợp chất MHA giàu N (22-42% N), nhiều S, H và có hàm lượng amino acid thủy phân, carbohydrate cao (Olk *et al.*, 1999; Mahieu *et al.*, 2002). So với các thành phần khác của chất hữu cơ như calcium humate (CaHA), MHA trẻ hơn và có vai trò quan trọng đối với chu trình N và độ hữu dụng của N trong đất (Scott và Martin, 1990). Đạm được khoáng hóa từ MHA cao gấp 2-5 lần so với N được khoáng hóa từ CaHA (Nguyễn Bảo Vệ, 1996).

Đạm hữu cơ dễ phân hủy gồm các acid amin đơn giản, dễ được vi sinh vật phân hủy và cung cấp N khoáng cho đất (Curtin và Wen, 1999).

*2.2.2 Đánh giá khả năng cung cấp N khoáng của đất, khả năng hấp thu N của lúa và năng suất lúa giữa các mô hình*

Sau vụ Hè Thu 2005, giai đoạn 10 ngày trước khi thu hoạch, lấy mẫu đất đại diện cho các lô thí nghiệm tương tự như trên. Mẫu đất sử dụng cho thí nghiệm này được bảo quản trong thùng giữ lạnh, mang nhanh về phòng thí nghiệm, phân tích hàm lượng NH<sub>4</sub>-N và tiến hành ủ yếm khí theo phương pháp của Keeney (1982). Để đánh giá khả năng cung cấp N khoáng của đất, phân tích hàm lượng NH<sub>4</sub>-N được khoáng hóa và tích lũy vào 0, 2, 4, 6 và 8 tuần sau khi ủ. Do tiến trình nitrate hóa không xảy ra trong điều kiện ủ yếm khí nên thí nghiệm này không phân tích NO<sub>3</sub>-N tích lũy theo thời gian.

Bón phân urea chứa đồng vị <sup>15</sup>N (urea-<sup>15</sup>N) cho lúa để phân biệt lượng N cây hấp thu được từ đất và từ phân bón, qua đó đánh giá khả năng cung cấp N khoáng của đất sau khi luân canh với cây trồng cạn. Phân urea-<sup>15</sup>N được bón vào các ống hình trụ có tiết diện mặt là 0,07 m<sup>2</sup>, chiều cao 0,5 m được đóng xuống đất ở độ sâu 0,35 cm trong mỗi lô thí nghiệm. Lúa trồng trong các ống hình trụ được bón phân theo công thức 40 N-30 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-30 K<sub>2</sub>O, trong đó lân (1,6 g super lân) và kali (0,4 g KCl) được bón lót toàn bộ. Đối với phân N, bón 0,62 g urea-<sup>15</sup>N 5% ở đợt bón thúc thứ nhất (7-10 ngày sau khi sạ). Lượng N được cung cấp trong thí nghiệm này chỉ

khoảng 2/5 tổng lượng N được khuyến cáo bón cho cả vụ lúa dựa trên giả thuyết rằng sự thiếu hụt N thường xảy ra vào giai đoạn cuối vụ do bởi sự cố định hóa học giữa N vô cơ và các hợp chất phenol tích lũy trong môi trường yếm khí (Olk, 2002). Với liều lượng N và thời gian bón như trên sẽ giúp đánh giá khả năng cung cấp N khoáng của đất và khả năng hấp thu N từ đất của lúa trên các mô hình thâm canh và luân canh lúa với cây trồng cạn.

Vào cuối vụ, lấy mẫu lúa trong các ống hình trụ để phân tích tổng lượng N hấp thu, cân sinh khối thân, lá và hạt. Tương tự, năng suất thực tế được tính toán từ trọng lượng hạt thu trên 5 m<sup>2</sup> trong mỗi lô thí nghiệm. Mẫu được rửa sạch nhanh bằng nước khử khoáng, sau đó sấy khô ở 70°C, nghiền mịn và bảo quản cho phân tích và tính sinh khối khô.

### 2.2.3 Phương pháp phân tích

Các đặc tính hóa học của đất được phân tích theo phương pháp chuẩn (Houba *et al.*, 1989): hàm lượng chất hữu cơ trong đất được phân tích theo phương pháp Walkley – Black; đạm tổng số được phân tích theo phương pháp Kjeldahl sau khi vô cơ hóa mẫu bằng H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> đậm đặc và hỗn hợp xúc tác K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + CuSO<sub>4</sub> + Se; CEC được phân tích theo phương pháp trao đổi cation với dung dịch 0,1M BaCl<sub>2</sub> không đậm; hàm lượng các cation bazơ trao đổi được xác định bằng máy hấp thu nguyên tử (Atomic Absorption Spectrometry). Đạm NH<sub>4</sub>-N được phân tích theo phương pháp so màu blue-indophenol sau khi trích đất với dung dịch 2M KCl với tỷ lệ 1:10. Hàm lượng N hữu cơ dễ phân hủy trong đất được phân tích theo phương pháp của Curtin và Wen (1999). Hàm lượng MHA trong thành phần mùn của đất được xác định theo phương pháp của Olk và Cassman (2002).

Đạm tổng số trong cây được xác định theo phương pháp chung cất Kjeldahl sau khi vô cơ hóa mẫu bằng hỗn hợp sulfuric-salicylic và H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Walinga *et al.*, 1989). Tính toán lượng N cây hấp thu từ đất dựa trên phân tích tỷ số <sup>14</sup>N/<sup>15</sup>N ở dạng khí trên máy khối phổ kế (Mass Spetrometry NOI-7 PC).

### 2.2.4 Xử lý kết quả thí nghiệm

Sử dụng chương trình thống kê MSTATC để so sánh trung bình theo phương pháp ANOVA và kiểm định LSD khác biệt giữa các trung bình nghiệm thức ở mức ý nghĩa 5%.

## 3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1 Ảnh hưởng luân canh lúa – cây trồng cạn đến chất lượng chất hữu cơ và khả năng cung cấp N của đất

Luân canh cây trồng có ảnh hưởng đến sự tạo thành MHA, do hàm lượng và chất lượng MHA chủ yếu bị chi phối bởi các yếu tố về chất lượng và số lượng của các dư thừa thực vật để lại sau mỗi mùa vụ (Legorreta *et al.*, 2004). Sau vụ luân canh, hàm lượng MHA trong đất lúa luân canh với đậu xanh hoặc bắp rau cao khác biệt có ý nghĩa thống kê so với đất canh tác lúa ba vụ liên tục. Đậu xanh và bắp rau là các vật chất hữu cơ dễ phân hủy hơn so với rơm rạ do rơm rạ chứa chủ yếu là các hợp chất lignin khó phân hủy. Đây có thể là nguyên nhân chính dẫn đến sự khác biệt trong hàm lượng MHA giữa các mô hình canh tác. Tuy vậy, kết quả thí

nghiệm chưa thấy rõ sự tích lũy khác nhau của hợp chất mùn khó phân hủy CaHA trong đất thâm canh lúa liên tục và đất lúa được luân canh với cây trồng cạn (Bảng 3).

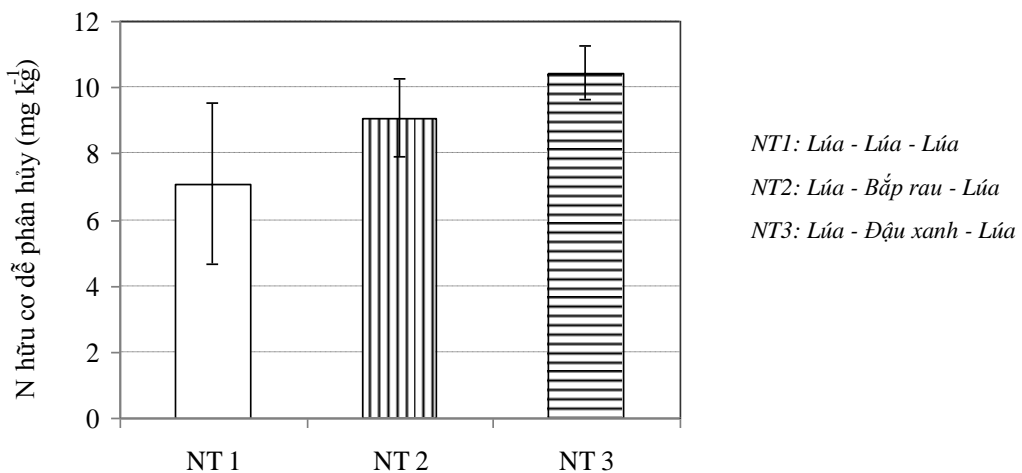
**Bảng 3: Hàm lượng MHA và CaHA trong đất (g kg<sup>-1</sup>) ở nghiệm thức thâm canh lúa 3 vụ và các nghiệm thức luân canh với cây trồng cạn**

Nghiệm thức	MHA	CaHA
Lúa - Lúa - Lúa	2,11 (± 0.58) c	6,44 (± 0.30) a
Lúa - Bắp rau - Lúa	4,30 (± 0.43) b	7,49 (± 1.84) a
Lúa - Đậu xanh - Lúa	5,29 (± 0.40) a	7,86 (± 1.12) a

*Ghi chú:* - Các giá trị trung bình có cùng chữ cái a, b hoặc c trong cùng một cột có khác biệt không ý nghĩa thống kê.

Các giá trị (±) biểu diễn độ lệch chuẩn (standard deviation) của giá trị trung bình của các nghiệm thức.

Hàm lượng N hữu cơ dễ phân hủy biến động từ 7 đến 10 mg N kg<sup>-1</sup>, có khuynh hướng cao ở các nghiệm thức luân canh với cây trồng cạn nhưng không khác biệt ý nghĩa với nghiệm thức canh tác lúa liên tục (Hình 1).

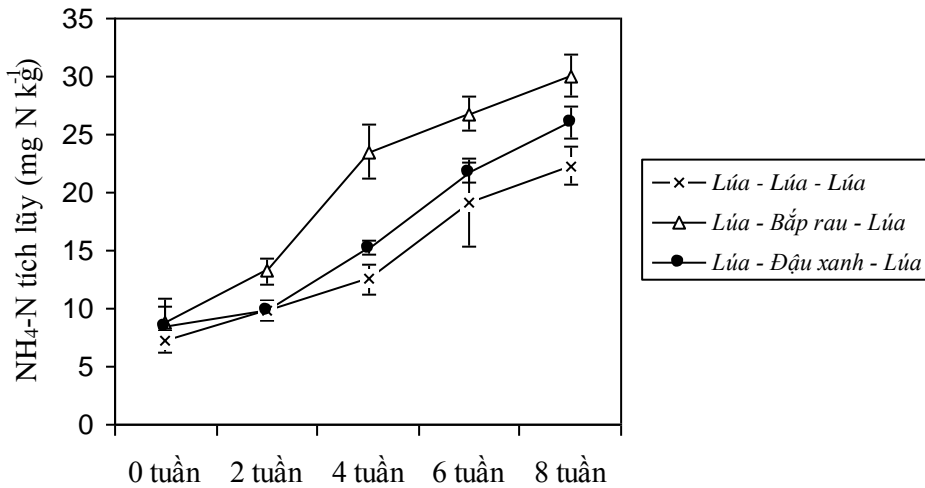


**Hình 1: Hàm lượng N hữu cơ dễ phân hủy (mg N kg<sup>-1</sup>) trong đất sau vụ Hè Thu 2005**

*Ghi chú:* Vạch dọc trên các thanh đồ thị biểu diễn độ lệch chuẩn (standard deviation) của giá trị trung bình của các nghiệm thức.

Các nghiên cứu dài hạn về thâm canh lúa nước đã chứng minh sự phân hủy chất hữu cơ yếm khí trong đất ruộng canh tác lúa nước ba vụ đã đưa đến gia tăng tích lũy các hợp chất phenolic liên kết đạm vô cơ, làm giảm khả năng khoáng hóa và cung cấp N hữu dụng từ đất của những vụ kế tiếp (Olk và Cassman, 2002; Schmidt *et al.*, 2004). Khi đất lúa được luân canh với cây trồng cạn, hàm lượng mùn di động MHA gia tăng và xu hướng tích lũy cao N hữu cơ dễ phân hủy có thể xem là dấu hiệu tốt cho sự phân hủy mùn và cung cấp N hữu dụng cho vụ kế tiếp. Kết quả phân tích hàm lượng N khoáng tích lũy theo thời gian cho thấy đất lúa sau vụ luân canh với bắp rau hoặc đậu xanh đã cung cấp N khoáng cho vụ lúa sau cao khác biệt so với đất canh tác lúa liên tục (Hình 2). Kết quả này đã chứng minh rằng luân canh cây màu trong hệ thống thâm canh lúa giúp cho sự phân hủy chất hữu cơ và khoáng hóa N tốt hơn so với canh tác lúa ba vụ. Kết quả này cũng có thể do điều kiện khô - ngập luân phiên suốt chu kỳ luân canh đã hạn chế sự hình thành các hợp chất hữu cơ khó phân hủy và bất động N vô cơ (Dijkstra *et al.*, 1998; Huang *et al.*, 1998; Mahieu *et al.*, 2002; Cassman, 2002) đồng thời giúp gia tăng sự phân hủy

chất hữu cơ và khoáng hóa N từ các nguồn chất hữu cơ khó phân hủy trong đất (Inubushi và Wada, 1987; Cabrera, 1993).



**Hình 2:** Hàm lượng NH<sub>4</sub>-N ( $\pm$  độ lệch chuẩn) (mg N kg<sup>-1</sup>) tích lũy theo thời gian ủ yếm khí trong đất cuối vụ Hè Thu 2005

### 3.2 Hiệu quả của luân canh trên năng suất lúa

Sau vụ canh tác màu (Hè Thu 2005), năng suất lúa đạt cao ở nghiệm thức lúa luân canh với đậu xanh (4,6 tấn ha<sup>-1</sup>) và lúa luân canh với bắp rau (4 tấn ha<sup>-1</sup>), khác biệt có ý nghĩa so với nghiệm thức canh tác ba vụ lúa liên tục (3 tấn ha<sup>-1</sup>). Tương ứng với sự gia tăng năng suất lúa, sinh khối rơm và hạt lúa trong diện tích thí nghiệm bón urea-<sup>15</sup>N ở các nghiệm thức luân canh màu cũng cao khác biệt có ý nghĩa thống kê so với canh tác lúa ba vụ liên tục (Bảng 4).

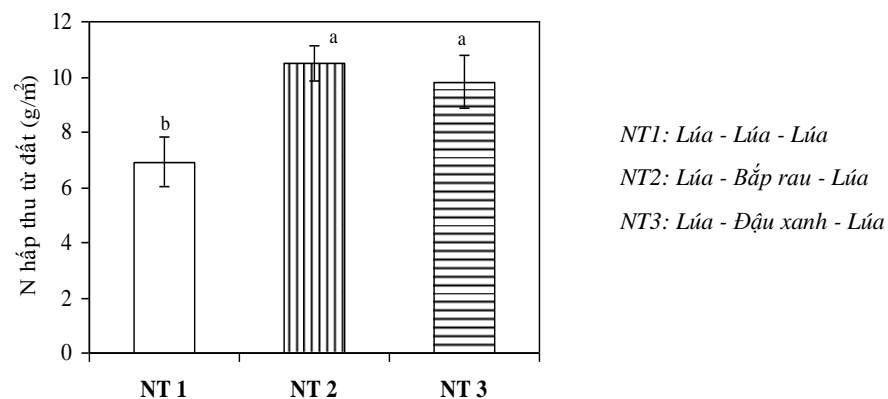
**Bảng 4:** Năng suất lúa thực tế, tổng sinh khối rơm và trọng lượng hạt thu hoạch từ thí nghiệm bón urea-<sup>15</sup>N

Nghiệm thức	Năng suất lúa (tấn ha <sup>-1</sup> )	Sinh khối rơm và trọng lượng hạt (g/microplot)
Lúa - Lúa - Lúa	3,0 c	54,3 b
Lúa - Bắp rau - Lúa	4,0 b	80,7 a
Lúa - Đậu xanh - Lúa	4,6 a	83,3 a
F	**	**
CV (%)	5,76	8,94
LSD 5%	0,39	11,26

*Ghi chú:* Các giá trị trung bình trong cùng một cột được theo sau bởi cùng chữ cái a, b hoặc c có khác biệt không ý nghĩa thống kê.

Sử dụng kỹ thuật đánh dấu urea-<sup>15</sup>N cho thấy lượng N lúa hấp thu được từ đất luân canh bắp rau (105 kg N ha<sup>-1</sup>) hoặc luân canh đậu xanh (98 kg N ha<sup>-1</sup>) cao hơn có ý nghĩa thống kê so với nghiệm thức thâm canh lúa ba vụ (69 kg N ha<sup>-1</sup>) (Hình 3). Do đó, năng suất lúa gia tăng ở các nghiệm thức luân canh lúa với cây trồng cạn có thể là do luân canh đã cải thiện khả năng cung cấp N hữu dụng từ đất cho sự hấp thu của cây. Kết quả này giúp khẳng định khả năng cải thiện độ phì nhiêu tự nhiên của đất, đặc biệt là chất lượng chất hữu cơ khi có sự luân canh giữa lúa với cây trồng cạn. Lượng MHA, các thành phần N hữu cơ dễ phân hủy tích lũy suốt vụ bắp

hoặc đậu xanh và dư thừa thực vật sau thu hoạch có thể đã cung cấp nguồn nguyên liệu cho tiến trình khoáng hóa N cung cấp cho lúa ở vụ sau.



**Hình 3: Lượng N lúa hấp thu từ đất lúa thâm canh lúa ba vụ và luân canh lúa với bắp rau hoặc đậu xanh**

*Ghi chú:* Vạch dọc trên các thanh đồ thị biểu diễn độ lệch chuẩn (standard deviation) của giá trị trung bình của các nghiệm thức.

#### 4 KẾT LUẬN

Luân canh đất lúa ba vụ với cây trồng cạn dài hạn đã giúp cải thiện năng suất lúa. Kết quả này là do canh tác cây trồng cạn giữa hai vụ lúa đã giúp cải thiện độ phì tự nhiên của đất do giảm sự tích lũy các thành phần hữu cơ có khả năng cố định N vô cơ, đồng thời giúp gia tăng các thành phần chất hữu cơ dễ phân hủy. Giai đoạn ngập – khô trong hệ thống luân canh đã giúp thúc đẩy tiến trình phân hủy chất hữu cơ, phóng thích N hữu dụng và hạn chế bất động N vô cơ của đất.

Sử dụng kỹ thuật đánh dấu <sup>15</sup>N của phân đạm đã giúp làm rõ vai trò của N hữu dụng được cung cấp từ đất đối với sự hấp thu N và cải thiện năng suất lúa ở các mô hình luân canh. Tốc độ phân hủy chất hữu cơ và khoáng hóa N nhanh ở các mô hình luân canh hai vụ lúa và cây trồng cạn có hiệu quả tốt trên khả năng hấp thu N và năng suất lúa.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Cabrera, M.L., 1993. Modeling the flush of nitrogen mineralization caused by drying and rewetting soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 63-66.
- Cassman, K.G. and P.L. Pingali, 1995. Intensification of irrigated rice systems: Learning from the past to meet future challenges. *GeoJournal.* 35: 299-305.
- Curtin, D. and G. Wen, 1999. Organic matter fractions contributing to soil nitrogen mineralization potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 410-415.
- Dijkstra, E.F., J.J. Boon and J.M. van Mourik, 1998. Analytical pyrolysis of a soil profile under Scots pine. *Eur. J. Soil Sci.* 49: 295-304.

- Houba, V.J.G., J.J. Van der Lee, I. Novozamsky and I. Walinga, 1989. Soil and Plant analysis – a series of syllabi. Part 5: Soil Analysis Procedures.
- Huang, Y., G. Eglinton, E.R.E. van der Hage, J.J. Boon, R. Bon and P. Ineson, 1998. Dissolved organic matter and its parent organic matter in grass upland soil horizons studied by analytical pyrolysis techniques. *Eur. J. Soil Sci.* 49: 1-15.
- Inubushi, K., and H. Wada, 1987. Easily decomposable organic matter in paddy soil VII. Effect of various pretreatments on N mineralization in submerged soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 33: 567-576.
- Keeney, D.R., 1982. Nitrogen availability indices. In *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties* (Eds. C.A. Black et al.). American Society of Agronomy Madison. Wisconsin. USA. pp: 711-733.
- Legorreta, F., Walters, D.T., Olk, D.C., Madhavan, S., K.G. Cassman, 2004. Long-Term Management Effects On The Mobile Humic Acid Fraction [cd-Rom]. Asa-Cssa-Sssa Annual Meeting Abstracts.
- Mahieu, N., D.C. Olk, and E.W. Randall, 2002. Multinuclear magnetic resonance analysis of two humic acid fractions from lowland rice soils. *J. Environ. Qual.* 31 : 421-430.
- Nguyễn Bảo Vệ, 1996. Characterization of two humic acid fractions and their contribution to soil nitrogen supplying capacity of tropical lowland rice soils. Thesis of Soil Science Ph.D. University of the Los Baños, Philippines.
- Olk, D.C., G. Brunetti and N. Senesi, 1999. Organic matter in double-cropped lowland rice soils: Chemical and spectroscopic properties. *Soil Sci.* 164: 633-649.
- Olk, D.C., and K.G. Cassman, 2002. The role of organic matter quality in nitrogen cycling and yield trends in intensively cropped paddy soils. In the 17th World Congress Soil Science, 14-21 August 2002. Thailand. Paper no: 1355.
- Olk, D. C., K. G. Cassman, M.M. Anders, K. Schmidt-rohr and J.D. Mao, 2004. Does anaerobic decomposition of crop residues impair soil nitrogen cycling and yield trends in lowland rice? Submitted to: “World Rice Research Conference”.
- Schmidt, R.K., J.D. Mao and D.C. Olk, 2004. Nitrogen-bonded aromatics in soil organic matter and their implication for a yield decline in intensive rice cropping. *PNAS.* Vol. 101. No 17. pp: 6351-6354.
- Scott, D.E. and J.P. Martin, 1990. Synthesis and degradation of natural and synthesis humic material in soil. In P.MacCarthy, C.E. Clapp, R.L. Malcom, and P.R. Bloom (eds.). *Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings.* SAS and SSSA, Wisconsin, USA. pp: 37-63.
- Walinga, I., W. van Vark, V.J.G. Houba, J.J. van der Lee, 1989. Soil and Plant analysis. Part 7: Plant analysis procedures. Wageningen Agricultural University.