

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

Nguyễn Minh Đông, Võ Thị Gương, Châu Minh Khôi¹

ABSTRACT

The study aimed to identify the changes in soil organic matter quality related to rice yield under intensively triple rice crops at Cai Lay, Tien Giang and to evaluate the positive effects of different rice-upland crop rotations on soil organic matter quality and its capacity in supplying available nitrogen. The results showed that rice yields gained after rotating with upland crop, i.e. baby corn or mungbean were significantly higher than those in the continuously triple rice system. Rotation with upland crops was also resulted in significant higher contents of soil mobile humic acid (MHA), labile organic nitrogen and therefore, higher capacity in soil supplying available N in the following crop. Applying labelled Urea-¹⁵N revealed that there was more soil mineral N taken up by rice in rotation systems compared to those in continuously triple rice system, corresponding with the trends in net N mineralization in these 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 tại Cai Lay, Tiền Giang 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 ¹⁵N cho thấy tổng lượng N được lúa hấp thu từ đất sau bắp rau hoặc đậu xanh đều cao hơn thí nghiệm thức canh tác lúa liên tục. Tốc độ khoáng hóa và khả năng cung cấp N hữu dụng từ đất cao trong mô hình luân canh này.

Từ khóa: chất hữu cơ, chất đạm, lúa ba vụ

1 MỞ ĐẦU

Gia nhập WTO là cơ hội tốt để Việt Nam gia nhập vào thị trường thế giới, tuy nhiên ngành nông nghiệp cũng đứng trước những vấn đề hết sức quan trọng như sản xuất cần phải tập trung, tạo ra sản phẩm an toàn cho người tiêu dùng, ứng dụng kỹ thuật cao, v.v. Bên cạnh đó, việc sử dụng triệt để nguồn tài nguyên đất đai cho sản xuất nông nghiệp nói chung và sản xuất lúa nói riêng cũng là vấn đề cần được quan tâm ở Đồng bằng Sông Cửu Long hiện nay.

¹ Khoa Nông nghiệp và Sinh học Ứng dụng

Thâm canh lúa ba vụ là cách giúp tăng thu nhập của người 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 canh tác lúa đã ảnh hưởng đến tính bền vững của hệ thống này. Trên đất thâm canh lúa nước ba vụ, sự phân hủy thường xuyên các dư thừa thực vật có thể đưa đến sự gia tăng tích lũy các hợp chất phenolic, lignin và các chất khó phân hủy khác vào thành phần mùn của đất (Dijkstra *et al.*, 1998, Huang *et al.*, 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 không sinh học (abiotic immobilization) làm giảm khả năng khoáng hóa và cung cấp N hữu dụng từ đất 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 bất động N không sinh học thông qua sự phân hủy chất hữu cơ trong điều kiện hiếu khí. 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 chất hữu cơ đất, khả năng cung cấp N khoáng và năng suất lúa vụ Thu Đông 2005 tại Cai Lậy. 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). Thí nghiệm được thực hiện tiếp tục trên nền thí nghiệm luân canh cây trồng liên tục từ năm 2001. 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-P₂O₅-K₂O/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, được bố trí theo khối hoàn toàn ngẫu nhiên (Bảng 1). Đặc tính đất thí nghiệm được trình bày ở bảng 2.

Ứng dụng kỹ thuật đồng vị ¹⁵N để tính toán tổng lượng N lúa hấp thu được từ đất, qua đó đánh giá khả năng cung cấp N khoáng của đất sau khi luân canh với cây trồng cạn. Phân Urea-¹⁵N được bón vào các “micro-plot” được bố trí trong các lô thí nghiệm. Micro-plot là các ống hình trụ có tiết diện mặt là 0,07 m², chiều cao 0,5 m, được đóng xuống đất ở độ sâu 0,35. Bón phân cho micro-plot theo công

thức 40 N-30 P₂O₅-30 K₂O, 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-¹⁵N 5% ở đợt bón thúc thứ nhất (7-10 ngày sau khi sạ). Lượng N bón cho micro-plot chỉ khoảng 2/5 tổng lượng N của cả vụ 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 và các hợp chất phenol tích lũy trong môi trường yếm khí (Olk, 2002), nên 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 với cây trồng cạn.

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 tại Cai Lậy - Tiền Giang trước thí nghiệm bố trí luân canh cây trồng vào năm 2001

| pH _{H2O} | EC (mS cm ⁻¹) | N tổng (%) | C hữu cơ (%) | CEC (cmol kg ⁻¹) | Cation trao đổi (cmol kg ⁻¹) | | | |
|-------------------|------------------------------|---------------|-----------------|---------------------------------|------------------------------------------|------|------|------|
| | | | | | Ca | Mg | K | Na |
| 5,1 | 0,36 | 0,24 | 2,6 | 22,3 | 12,9 | 4,74 | 0,36 | 0,67 |

2.2 Phương pháp lấy mẫu đất, thực vật và các đặc tính đất được phân tích

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

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 chung để lấy mẫu đại diện. Mỗi nghiệm thức 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.

Phân tích hàm lượng MHA (mobile humic acid) 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 trong số lượng và chất lượng theo điều kiện môi trường (Olk *et al.*, 1999). 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 đối với chu trình 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 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 $\text{NH}_4\text{-N}$ 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 $\text{NH}_4\text{-N}$ được khoáng hóa và tích lũy vào 0, 2, 4, 6 và 8 tuần sau khi ủ.

Đánh giá năng suất thực tế từ trọng lượng hạt thu trên 5 m^2 . Trong các microplot, lấy mẫu cho phân tích tổng lượng N hấp thu, cân sinh khối thân, lá và hạt. 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 các phương pháp sau: Hàm lượng chất hữu cơ trong đất được phân tích theo phương pháp Walkley – Black (Nelson & Sommers, 1996); N tổng số xác định bằng phương pháp chưng Kjeldahl sau khi mẫu đã được vô cơ bằng H_2SO_4 đậm đặc với hỗn hợp $\text{KNO}_3\text{:CuSO}_4\text{:Se}$ tỉ lệ 100:10:1; CEC được xác định theo phương pháp trao đổi với BaCl_2 không đậm; các cation bazơ trao đổi được xác định bằng máy hấp thu nguyên tử sau khi trích bằng dung dịch BaCl_2 không đậm. Đạm $\text{NH}_4\text{-N}$ 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 *et al.* (1995).

Đạm tổng số trong cây được xác định theo phương pháp chưng cất Kjeldahl sau khi vô cơ hóa mẫu bằng hỗn hợp sulfuric-salicylic và H_2O_2 (Walinga *et al.*, 1989). Tính toán lượng N cây hấp thu từ đất dựa trên phân tích tỷ số $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ ở dạng khí trên máy khối phổ kế (Mass Spectrometry 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

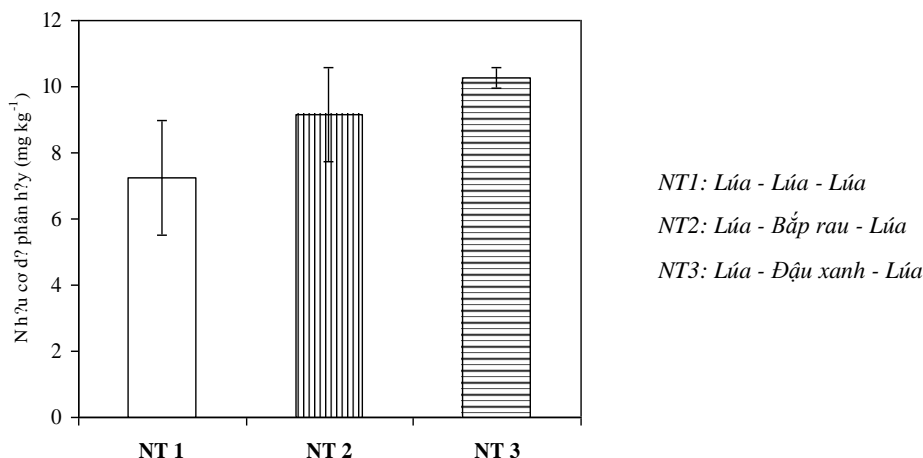
3.1 Ảnh hưởng luân canh lúa – cây trồng cạnh đến chất lượng chất hữu cơ và khả năng cung cấp N của đất

Luân canh cây trồng có ảnh hưởng một cách ý nghĩa 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 (vật liệu chứa chủ yếu là các hợp chất lignin khó phân hủy), 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 cạnh (Bảng 3).

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

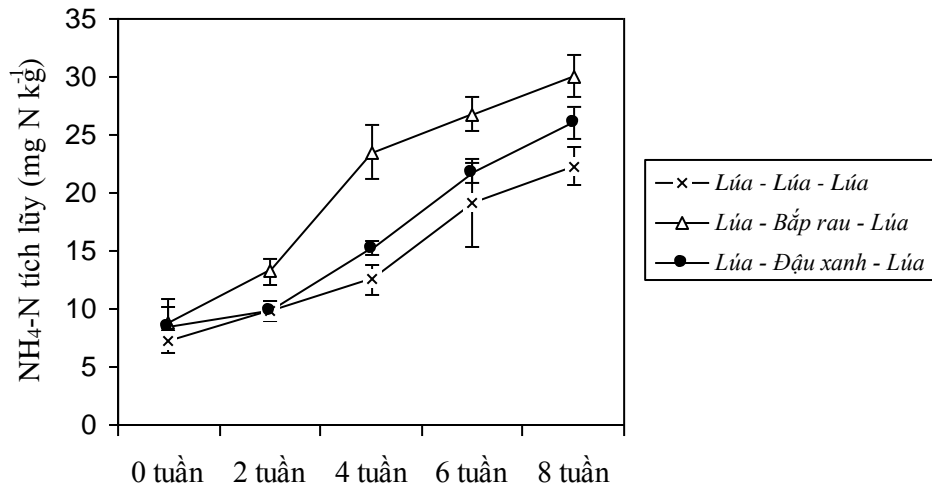
| Nghiệm thức | MHA | CaHA |
|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| Lúa - Lúa - Lúa | 2,11 ^c (± 0.58) | 6,44 ^a (± 0.30) |
| Lúa - Bắp rau - Lúa | 4,30 ^b (± 0.43) | 7,49 ^a (± 1.84) |
| Lúa - Đậu xanh - Lúa | 5,29 ^a (± 0.40) | 7,86 ^a (± 1.12) |

Hàm lượng N hữu cơ dễ phân hủy biến động từ 7 đến 10 mg N kg⁻¹, có khuynh hướng cao ở các nghiệm thức luân với cây trồng cạn nhưng không khác biệt ý nghĩa giữa hai mô hình luân canh và với mô hình canh tác lúa ba vụ (Hình 1).



Hình 1: Hàm lượng N hữu cơ dễ phân hủy (mg N kg⁻¹) trong đất sau vụ Hè Thu 2005

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 ba vụ đã đưa đến gia tăng tích lũy các hợp chất phenolic liên kết đậm, gây ra sự tích lũy N không sinh học, 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 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. 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 không sinh học (Dijkstra *et al.*, 1998; Huang *et al.*, 1998; Mahieu *et al.*, 2002; Cassman, 2002) đồng thời giúp gia tăng sự khoáng hóa N từ các nguồn chất hữu cơ khó phân hủy trong đất (Inubushi và Wada, 1987; Cabrera, 1993).



Hình 2: Hàm lượng NH₄-N (mg N kg⁻¹) tích lũy theo thời gian ủ yếm khí trong đất cuối vụ Hè Thu 2005

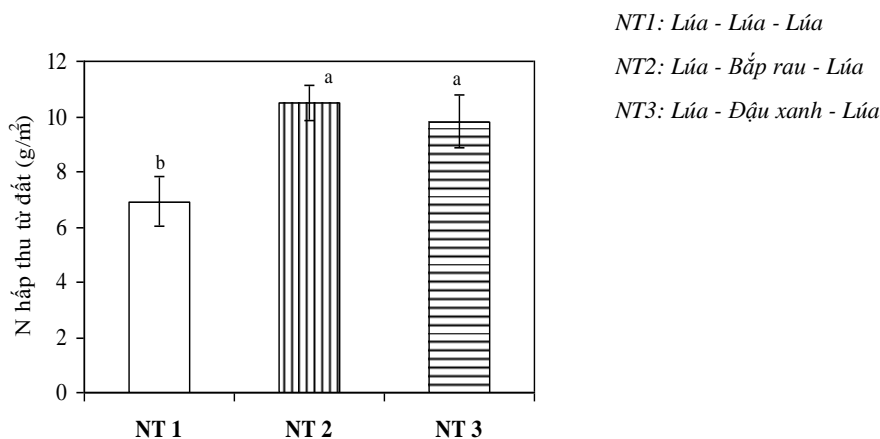
3.2 Hiệu quả của luân canh trên năng suất lúa

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⁻¹) và lúa luân canh với bắp rau (4 tấn ha⁻¹), khác biệt có ý nghĩa so với nghiệm thức canh tác ba vụ lúa liên tục (3 tấn ha⁻¹). Tương ứng với sự gia tăng năng suất lúa, sinh khối rơm và hạt lúa trong các micro-plot 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 và tổng sinh khối rơm và trọng lượng hạt thu hoạch từ microplot

| Nghiệm thức | Năng suất lúa (tấn ha ⁻¹) | 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 |

Kết quả sử dụng kỹ thuật đồng vị ¹⁵N cho thấy 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. Lượng N lúa hấp thu được từ đất luân canh bắp rau (105 kg N ha⁻¹) hoặc luân canh đậu xanh (98 kg N ha⁻¹) cao hơn có ý nghĩa thống kê so với nghiệm thức chuyên lúa (69 kg N ha⁻¹) (Hình 3). 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 với cây màu. Lượng MHA, các thành phần N hữu cơ dễ phân hủy tích lũy suốt vụ màu và dư thừa thực vật sau thu hoạch bắp và đậu xanh 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 ba vụ và luân canh với bắp rau hoặc đậu xanh

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 có thể do canh tác cây màu giữa hai vụ lúa đã giúp cải thiện độ phì tự nhiên của đất do gia tăng sự tích lũy các thành phần chất hữu cơ dễ phân hủy và hoạt động của vi sinh vật có ích. 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 không sinh học.

Sử dụng kỹ thuật ¹⁵N 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 vụ màu có hiệu quả tốt trên khả năng hấp thu N và năng suất lúa.

CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí của Chương trình VLIR-R3, Chương trình hợp tác giữa Trường Đại học Leuven, Đại học Gent, Bỉ và Đại học Cần Thơ.

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., Cassman, K.G. 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.
- Nelson & Sommers, (1996). *Methods of soil analysis. In Total carbon, Organic carbon, and Organic matter.* SSSA, Inc and American Society of Agronomy, Inc.
- 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 and T.W.M. Fan. 1995. Characterization of two humic acid fractions from a calcareous vermiculitic soil: implications for the humification process. Geoderma 65: 195–208.*
- 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.
- Stott, 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.