

**LONG-TERM FERTILIZER EFFICIENCY RESEARCH  
FOR RICE AT  
THE INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE**  
**NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ PHÂN BÓN-DÀI HẠN CHO  
LÚA TẠI VIỆN NGHIÊN CỨU LÚA QUỐC TẾ**

Roland J. Buresh<sup>1</sup> and Teodoro Correa<sup>1</sup>, Jr.

*Người dịch: Nguyễn Văn Linh, Phạm Sỹ Tân*

**Abstract**

*The efficient use of fertilizer N for rice (*Oryza sativa* L.) involves adjusting the time of fertilizer N applications to match crop needs for N and adjusting the rate of fertilizer N to match the expected yield gain from applied N. This yield gain can be determined from the difference between the yield attained with N fertilization and the yield attained without added fertilizer N.*

*An eight-year experiment with irrigated rice in the Philippines showed that water regime during the fallow, between harvest of one rice crop and land preparation for the next crop, affected the supply of indigenous N and yield gain*

**Tóm tắt**

*Hiệu quả sử dụng phân N đối với lúa (*Oryza sativa* L.) bao gồm việc điều chỉnh thời gian bón phân N phù hợp với nhu cầu của cây và điều chỉnh lượng phân phù hợp với năng suất dự kiến sẽ đạt. Năng suất này được xác định từ sự chênh lệch giữa năng suất đạt được do có bón N và năng suất đạt được do không bón N.*

*Thí nghiệm tiến hành trong tám năm trên lúa có tưới ở Philippines cho thấy chế độ nước trong thời gian chuyển vụ (từ khi thu hoạch vụ trước tới khi xuống giống vụ sau) ảnh hưởng đến khả năng cung cấp N bản địa (N có sẵn trong đất) và năng suất lúa đạt được*

---

<sup>1</sup> International Rice Research Institute, DAPO Box 7777, Metro Manila, Philippines

from applied N for the next rice crop.

Estimated optimal rates of fertilizer N varied by 95 kg N ha<sup>-1</sup> among fallow management practices. The retention rather than the removal of rice residue, on the other hand, had no effect on yield gain from applied N.

Conventional soil analyses are unlikely to predict the influences of such water and residue management practices on fertilizer N requirements. Rice yields attainable with full fertilization in the dry season in the Long-Term Continuous Cropping Experiment (LTCCE) have fluctuated in the past 20 years between 6.5 and 9.5 t ha<sup>-1</sup>. The yields tended to parallel the potential yield determined with the Oyrza2000 model using daily climate data and phenological characteristics of the rice varieties.

This highlights the strong dependence of rice yield and optimal fertilizer N requirements on climate. In such case, an increase in the efficiency of fertilizer N use

từ lượng phân N bón vào cho vụ tiếp theo.

Ước tính lượng phân đạm khác biệt dao động khoảng 95 kg N/ha do biện pháp xử lý trong thời gian chuyển vụ. Mặt khác, việc giữ lại các tồn dư rơm rạ trong ruộng, không ảnh hưởng tới năng suất gia tăng từ việc bón phân N.

Phân tích đất theo phương pháp truyền thống không có khả năng dự đoán ảnh hưởng của nước tưới và quản lý tồn dư rơm rạ tới nhu cầu phân N. Khi được cung cấp đầy đủ phân bón trong mùa khô ở thí nghiệm dài hạn tiến hành liên tục (LTCCE) trong 20 năm qua, năng suất lúa dao động trong khoảng từ 6,5 đến 9,5t/ha. Năng suất thực tế có khuynh hướng song song với năng suất tiềm năng được xác định bởi mô hình Oyrza2000 bằng cách sử dụng các số liệu khí hậu thời tiết hàng ngày và đặc điểm hình thái của các giống lúa.

Điều này minh chứng có sự liên quan giữa năng suất lúa với lượng phân N tối hảo phụ thuộc vào khí hậu thời tiết. Trong trường hợp đó, thực hiện sự gia tăng hiệu quả của

*might be possible through use of anticipated climate to estimate climate-adjusted rice yields and fertilizer N rates for the upcoming crop season.*

*The climate-adjusted fertilizer rates would then need to be rapidly disseminated to farmers and fertilizer distributors.*

*Extractable soil P increased with P fertilization in long-term experiments reflecting a greater addition than removal of P. Exchangeable soil K declined with continuous rice cropping when rice residues were removed even with application of some fertilizer K.*

*The retention of rice residues did not reduce fertilizer N requirements or increase rice yield on flooded clay soils with relatively large soil K reserves; but the retention of residues could markedly reduce requirements for fertilizer K in the longer term.*

## **1. Introduction**

Soil, crop residues, irrigation water, and biological N<sub>2</sub> fixation supply most of the

*phân N bằng cách dự đoán khí hậu từ tiết để ước tính năng suất lúa do khí hậu thay đổi và lượng phân bón N cho vụ sắp tới.*

*Lượng phân bón theo đó điều chỉnh theo sự thay đổi thời tiết cần được thông báo nhanh chóng cho nông dân và các nhà phân phối phân bón biết.*

*Trong một thí nghiệm dài hạn, người ta thấy rằng lượng P dễ tiêu gia tăng khi phân P bón vào trong đất, điều này phản ánh lượng P bổ sung lớn hơn lượng P lấy đi. Lượng K trao đổi giảm dần theo thời gian canh tác, khi tồn dư rơm rạ được lấy đi, ngay cả khi có bón phân K.*

*Việc lưu giữ tồn dư rơm rạ không làm giảm nhu cầu phân N hoặc tăng năng suất lúa trên đất sét ngập nước với lượng K trong đất tương đối lớn, nhưng việc giữ lại tồn dư rơm rạ về lâu dài có thể làm giảm đáng kể nhu cầu phân K.*

## **1. Giới thiệu**

Đất, tồn dư thực vật, nước tưới, và vi sinh vật cố định N<sub>2</sub> cung cấp hầu hết các chất dinh

nutrients taken up by rice; but these indigenous sources of nutrients are typically not sufficient to sustain high rice yields and profits for rice farmers. Rice production consequently relies on the use of fertilizer as a supplemental source of nutrients. Nitrogen (N) is the nutrient typically required in largest quantity from fertilizers, but inefficient management of fertilizer N can lead to loss in yield arising from both an insufficient supply at critical crop growth stages and an excess supply resulting in luxuriant growth and associated disease and pests.

Research in the 1970s and 1980s showed that about one-third of the fertilizer N applied by conventional farmers' practices to irrigated lowland rice in Asia can be lost as gases to the atmosphere. Only about one-third of the fertilizer N is taken up by the rice crop. The remaining one-third of the fertilizer N remains in the soil unused by the crop (Buresh *et al.*, 2008). Research on N management during the 1970s and 1980s largely focused on increasing N fertilizer use

đưỡng cho cây lúa hấp thu, nhưng nguồn dinh dưỡng có sẵn trong đất thường không đủ để duy trì năng suất lúa và lợi nhuận cao cho nông dân trồng lúa. Sản xuất lúa do đó dựa vào phân bón như một nguồn bổ sung các chất dinh dưỡng. Đạm (N) là chất dinh dưỡng cây lúa sử dụng với số lượng lớn nhất, nhưng việc quản lý phân N không hiệu quả có thể dẫn đến thất thu năng suất do cung cấp không đủ cho cây ở các giai đoạn tăng trưởng quan trọng và cung cấp dư thừa dẫn đến lúa bị lốp đổ tạo điều kiện thuận lợi cho sâu bệnh tấn công.

Nghiên cứu trong những năm 1970 và 1980 ở châu Á cho thấy khoảng một phần ba phân N được nông dân ở vùng có hệ thống tưới tiêu bón theo phương pháp thông thường, đạm có thể bị mất mát dưới dạng khí bay vào khí quyển. Chỉ khoảng một phần ba lượng phân N bón vào được cây lúa hấp thu và một phần ba còn lại nằm trong đất không được cây trồng sử dụng (Buresh *et al.*, 2008). Nghiên cứu về quản lý phân N trong những năm 1970 và 1980 chủ yếu tập trung vào việc tăng hiệu quả sử dụng

efficiency through ‘reducing N loss’. The aim was to increase the portion of fertilizer N taken up by the rice crop. A key parameter for success was the ‘recovery efficiency of fertilizer N’ or the percentage of applied N taken up by the mature rice crop. During the past 20 years, emphasis has evolved from increasing recovery efficiency to increasing the agronomic efficiency of fertilizer N ( $AE_N$ ), which is the increase in grain yield per unit of fertilizer N applied. This emphasis on the output per unit of input without compromising on the need for high yield acknowledges the importance of ensuring increased profit for farmers (Buresh, 2007).

The greatest opportunities for widespread improvements in  $AE_N$  in farmers’ fields exist with optimizing fertilizer N rates to match the yield gain to applied fertilizer N and with splitting the application of fertilizer N to match crop needs for supplemental N at critical crop growth stages. This will require a transformation from fertilizer recommendations with a

bằng cách làm giảm lượng N bị mất mát. Mục tiêu là tăng lượng phân N cho cây lúa hấp thu. Một thông số quan trọng là “hiệu quả thu hồi phân N”, nói cách khác là lượng phân N bón vào được cây lúa hấp thu. Trong 20 năm qua, tập trung nghiên cứu phân N nhằm gia tăng hiệu quả thu hồi đã chuyển sang gia tăng hiệu quả nông học ( $AE_N$ ), đó là sự gia tăng năng suất trên một đơn vị phân N bón vào. Điều đó cho thấy gia tăng năng suất trên một đơn vị phân N đầu tư quan trọng hơn gia tăng năng suất lúa, là để đảm bảo gia tăng lợi nhuận cho người nông dân (Buresh, 2007).

Cơ hội lớn nhất để nâng cao hiệu quả nông học  $AE_N$  được lan rộng ngay trên ruộng nông dân với liều lượng phân N bón tối ưu hóa để đạt năng suất như đã đạt được khi bón phân N chia làm nhiều lần, bón đáp ứng nhu cầu đạm bổ sung tại các thời kỳ sinh trưởng quan trọng. Điều này đòi hỏi một sự chuyển đổi khuyến cáo từ bón phân cố định về lượng giống nhau cho cả vùng rộng lớn

preset, uniform rate of N across vast areas to recommendations with greater flexibility in adjusting fertilizer N rates and timings to the site-specific and growth stage-specific needs of the rice crop.

After N, phosphorus (P) and potassium (K) are the nutrients typically recommended in largest amounts from fertilizer. The recovery efficiency of fertilizer P in farmers' fields usually averages about 15% to 30% for irrigated rice. The non-recovered P is typically not mobile and adds to the indigenous P in the soil. The recovery efficiency of fertilizer K can average about 50% to 60%, but it can also be markedly lower when the gain in yield to applied K is negligible. As a general principle, a recovery efficiency of about 30% can be targeted for P and a recovery efficiency of about 60% can be targeted for K in rice-growing environments with ample water and good crop management practices. Target efficiencies for rainfed environments could be lower (Gregory *et al.*, 2010).

sang khuyến cáo linh hoạt có sự điều chỉnh lượng phân N và thời điểm bón phân phù hợp tùy thuộc vào vùng đặc thù và nhu cầu cụ thể của từng giai đoạn tăng trưởng của cây lúa.

Sau phân đạm (N), phân lân (P) và kali (K) là các chất dinh dưỡng cây trồng sử dụng với số lượng lớn. Hiệu quả sử dụng phân lân (P) trên ruộng lúa có tưới của nông dân đạt trung bình vào khoảng từ 15% đến 30%. Lượng P không được hấp thu thường không di chuyển mà được tích lũy vào lượng lân (P) bản địa sẵn có trong đất. Hiệu quả sử dụng phân K trung bình có thể đạt khoảng 50% đến 60%, nhưng cũng có thể thấp hơn nhiều khi gia tăng năng suất do bón K không thể hiện. Như một nguyên lý chung, hiệu quả thu hồi khoảng 30% được coi là mục tiêu đối với P và khoảng 60% được coi là mục tiêu đối với K trong điều kiện môi trường canh tác lúa được cấp nước đầy đủ và quản lý cây trồng tốt. Hiệu quả mục tiêu cho vùng trồng lúa nhờ nước trời có thể thấp hơn (Gregory *et al.*, 2010).



Fertilizer P and K requirements for a specific field can be determined with principles derived from site-specific nutrient management (SSNM). When the yield gain to applied P or K is negligible, fertilizer P or K requirements are derived from an estimated nutrient balance (i.e. nutrient inputs relative to nutrient removal by the crop). When a yield gain to applied P or K is certain, fertilizer P or K requirements can be determined from a combination of the nutrient balance and the anticipated yield gain from nutrient application (Buresh *et al.*, 2010).

We report recent findings from several medium- and long-term experiments at IRRI in the Philippines to provide insights into factors affecting variations among fields and seasons in fertilizer requirements for irrigated rice. This will highlight how further increases in fertilizer use efficiency require flexible fertilizer guidelines accommodating local management and climatic

Nhu cầu phân P và K cho một thửa ruộng cụ thể có thể được xác định dựa theo nguyên lý bón phân theo vùng đặc thù (SSNM). Khi gia tăng năng suất do bón P hoặc K được ghi nhận là không đáng kể, thì nhu cầu phân P hoặc K được tính toán ra từ cân bằng dinh dưỡng (tức là lượng chất dinh dưỡng bón vào liên quan đến lượng chất dinh dưỡng cây trồng lấy đi). Khi gia tăng năng suất do bón P hoặc K được ghi nhận đạt ở mức độ nào đó thì nhu cầu phân P hoặc K có thể được xác định bởi sự kết hợp giữa cân bằng dinh dưỡng và năng suất dự đoán do bón phân (Buresh *et al.*, 2010).

Báo cáo phát hiện gần đây từ các thí nghiệm trung và dài hạn tại IRRI ở Philippines cung cấp cho chúng ta các yếu tố ảnh hưởng đến sự khác biệt giữa các thửa ruộng và giữa các mùa vụ về nhu cầu phân bón cho vùng lúa có tưới. Điều đó sẽ làm sáng tỏ việc làm thế nào để gia tăng hiệu quả sử dụng phân bón hơn nữa đòi hỏi hướng dẫn bón phân cần phải đề cập tới điều kiện khí hậu thời tiết và kỹ thuật quản

conditions rather than blanket recommendations with fixed fertilizer rates across large areas.

## 2. Nitrogen management for rice

The efficient management of fertilizer N for irrigated rice in the tropics depends on

- Optimizing fertilizer N rates to match the expected yield gain from applied fertilizer N, and
- Splitting the application of fertilizer N to match crop needs for supplemental N at critical crop growth stages.

The importance of N timing to match critical crop growth stages has been well documented (IRRI, 2012), and tools such as the leaf color chart (Buresh, 2007) and the *Nutrient Manager for Rice* ([www.irri.org/nmrice](http://www.irri.org/nmrice)) are available to guide farmers in more efficient timing and distribution of fertilizer N for tropical rice. We will consequently focus on optimizing fertilizer N rates.

With the SSNM approach, the fertilizer N required by a rice

lý cây trồng của địa phương hơn là khuyến cáo một liều lượng phân bón cố định cho cả vùng rộng lớn.

## 2. Quản lý bón đạm cho lúa

Việc quản lý bón phân đạm cho lúa có tưới vùng nhiệt đới phụ thuộc vào:

- Tối ưu hóa lượng phân N phù hợp với năng suất dự kiến do bón phân N, và
- Chia nhỏ lượng phân bón làm nhiều lần đáp ứng nhu cầu bổ sung N vào các thời kỳ sinh trưởng quan trọng.

Tầm quan trọng của thời điểm bón phân N phù hợp với giai đoạn sinh trưởng của cây trồng đã được ghi trong tài liệu rất bài bản (IRRI, 2012), và trên các bảng so màu lá (Buresh, 2007) và phần mềm Quản lý dinh dưỡng cho cây lúa ([www.irri.org/nmrice](http://www.irri.org/nmrice)) có sẵn để hướng dẫn nông dân một cách hiệu quả hơn về thời điểm thích hợp và cung cấp phân đạm cho cây lúa vùng nhiệt đới. Do đó chúng tôi sẽ tập trung vào việc tối ưu hóa lượng phân N.

Với việc bón phân theo (SSNM), nhu cầu phân N của



crop (FN, expressed in kg N ha<sup>-1</sup>) to achieve an attainable target yield is determined from the anticipated yield gain to application of fertilizer N:

$$FN = (GY - GY_{0N}) / (AE_N / 1000)$$

[Equation 1]

where  $GY - GY_{0N}$  is the increase in grain yield due to fertilizer N, which is the difference between the attainable target yield (GY) expressed in t ha<sup>-1</sup> and the yield without fertilizer N ( $GY_{0N}$ ) expressed in t ha<sup>-1</sup>. The  $GY_{0N}$  is the N-limited grain yield, which reflects the yield attainable from only non-fertilizer sources of N. The amount of N taken up by a mature crop without added fertilizer N is referred to as the indigenous N supply.

The targeted  $AE_N$  is estimated from results of field trials conducted across Asia in the development and verification of SSNM principles. The  $AE_N$  measured in field trials can vary among countries and with crop response to applied N. The targeted  $AE_N$  typically ranges from a 16 to 25 kg increase in grain yield per kg applied fertilizer N (Witt et

một vụ lúa (FN, được thể hiện bằng kg N/ha) để đạt được năng suất mục tiêu được xác định từ năng suất dự kiến do bón phân N:

$$FN = (GY - GY_{0N}) / (AE_N / 1000)$$

[Phương trình 1]

trong đó  $GY - GY_{0N}$  là gia tăng năng suất do phân bón N, là sự khác biệt giữa năng suất mục tiêu có thể đạt được (GY) thể hiện bằng t/ha và năng suất không bón phân N ( $GY_{0N}$ ) thể hiện bằng t/ha.  $GY_{0N}$  là năng suất do N bị giới hạn, là năng suất đạt được do không bón phân N từ các nguồn phân bón. Lượng N cây trồng hấp thu trong trường hợp canh tác không bón đạm được xem như N cung cấp cho cây trồng là có sẵn trong đất bản địa.

Hiệu quả nông học mục tiêu của phân đạm ( $AE_N$ ) được ước tính dựa vào các kết quả thí nghiệm đồng ruộng triển khai ở châu Á trong quá trình phát triển và kiểm tra nguyên lý SSNM. Chỉ số  $AE_N$  trong các thí nghiệm đồng ruộng được ghi nhận là khác nhau giữa các nước và phản ứng của cây trồng với phân N. Chỉ số  $AE_N$  mục tiêu dao động từ 16 tới 25

al., 2007). This corresponds to fertilizer N rates of 40 to 60 kg for a 1 tonne increase in grain yield.

### 3. Variations among fields in optimal fertilizer N rates

We first examine the effect of management practices on  $GY_{0N}$  because as shown in equation 1 differences in  $GY_{0N}$  would lead to differences in fertilizer N requirements (FN) at similar target yields (GY) and  $AE_N$ . We start with a medium-term experiment at IRRI examining the effect of water management and tillage during the fallow, between harvest of one rice crop and land preparation for the next rice crop, on yield of the next rice crop. Results show management during the fallow strongly affected  $GY_{0N}$  within five years with two rice crops per year (Fig. 1). Within five years of continuous soil flooding, the  $GY_{0N}$  increased by about 2 t  $ha^{-1}$ . This increase was attributed to increased indigenous N supply arising from increased biological  $N_2$  fixation and increased mineralization of organic N.

kg lúa trên mỗi kg phân N (Witt et al, 2007). Tính ra, tương ứng với lượng phân N từ 40 đến 60 kg để gia tăng mỗi tấn năng suất hạt.

### 3. Biến động lượng phân N tối hảo ở các thửa ruộng

Trước tiên phải xem xét ảnh hưởng của thực tiễn quản lý cây trồng tới  $GY_{0N}$  vì như thể hiện trong phương trình 1, khác nhau  $GY_{0N}$  dẫn đến khác nhau về nhu cầu phân N (FN) để đạt ngang bằng nhau về năng suất mục tiêu (GY) và  $AE_N$ . Bắt đầu với thí nghiệm trung hạn tại IRRI, chúng ta xem xét ảnh hưởng của quản lý nước và làm đất trong thời gian chuyển vụ (thời gian từ thu hoạch vụ trước đến khi làm đất cho vụ kế tiếp) tới năng suất lúa trong vụ tiếp theo. Kết quả cho thấy quản lý đồng ruộng trong thời gian chuyển vụ ảnh hưởng mạnh mẽ tới  $GY_{0N}$  trong vòng năm năm với canh tác hai vụ lúa mỗi năm (Hình 1). Trong thời gian năm năm cho nước ngập liên tục,  $GY_{0N}$  tăng khoảng 2 t/ha. Sự gia tăng này là do tăng lượng N bản địa cung cấp từ việc cố định  $N_2$  sinh học gia tăng và từ quá trình khoáng hóa chất hữu cơ N gia tăng.

Grain yield with sufficient fertilizer N to meet crop requirements (GY) was not affected by the management during the fallow (Fig. 1). The yield gain ( $GY - GY_{0N}$ ) for the fallow with continuous flooding averaged  $1.3 \text{ t ha}^{-1}$  across year 5 and year 8, whereas the yield gain for the two fallow treatments with soil drying averaged  $3.2 \text{ t ha}^{-1}$ . The difference of  $1.9 \text{ t ha}^{-1}$  in yield gain between the treatments translates into a lower fertilizer N requirement of  $95 \text{ kg N ha}^{-1}$  (at  $AE_N = 20$  in equation 1) when rice follows fallow with continuous flooding rather than soil drying.

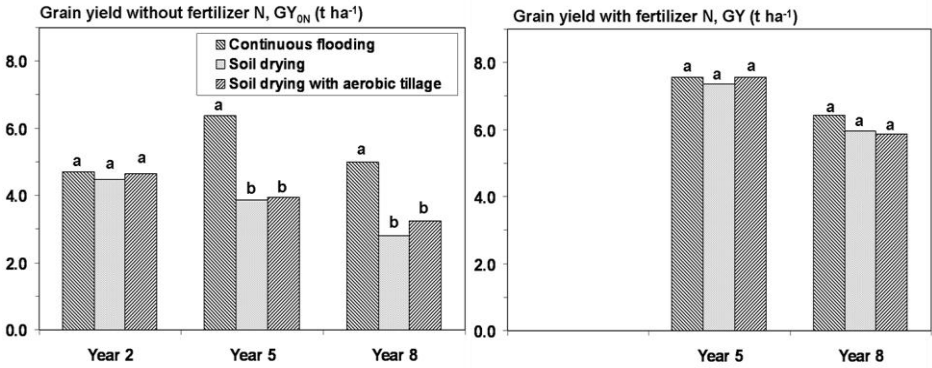
In this experiment we needed to appropriately reduce fertilizer N rates for rice after the fallow with continuous flooding. The use of similar high fertilizer N rates for all the treatments risked lower yields for rice after the fallow with continuous flooding due to lodging and greater disease arising from excessive N. These findings highlight how differences in land management between fields or locations can result in marked differences in

Khi được bón đủ phân N đáp ứng yêu cầu của cây thì việc quản lý đồng ruộng trong thời gian chuyển vụ không ảnh hưởng gì tới năng suất (GY) (Hình 1). Năng suất chênh lệch ( $GY - GY_{0N}$ ) bình quân của nghiệm thức 5 năm và 8 năm áp dụng ngập nước trong giai đoạn chuyển vụ hơn kém nhau  $1,3 \text{ t/ha}$  trong khi đó áp dụng phơi đất năng suất hơn kém nhau bình quân  $3,2 \text{ t/ha}$ . Khác biệt là  $1,9 \text{ t/ha}$  giữa 2 phương pháp xử lý dẫn tới nhu cầu phân N thấp hơn khoảng  $95 \text{ kg N/ha}$  ( $AE_N = 20$  trong phương trình 1) khi thời gian chuyển vụ áp dụng phương pháp ngập liên tục hơn là để đất khô.

Trong thí nghiệm này, giảm lượng phân N cho lúa một cách thích hợp là cần thiết khi áp dụng ngập nước liên tục trong thời gian chuyển vụ. Việc sử dụng phân N cùng liều lượng cao trong tất cả các nghiệm thức xử lý dẫn đến nguy cơ giảm năng suất do thời gian chuyển vụ áp dụng ngập nước gây ra lổp đổ và sâu bệnh nhiều hơn bởi quá dư thừa N. Phát hiện này làm sáng tỏ sự khác biệt trong việc quản lý đồng ruộng giữa các thửa khác nhau tạo ra sự khác

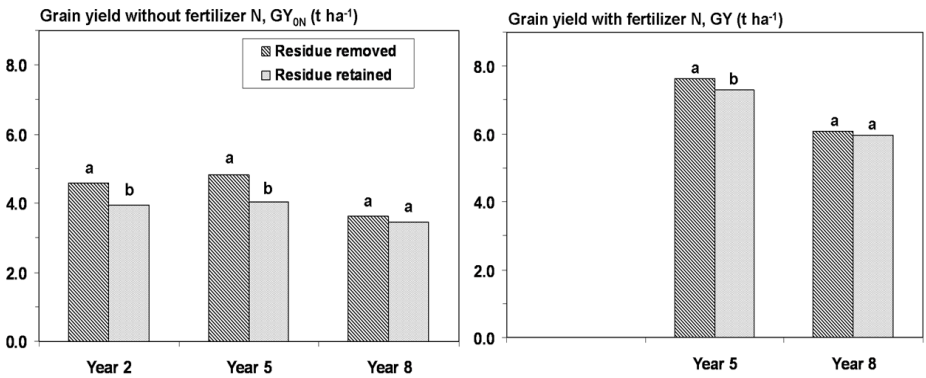
indigenous N supply and consequently the optimal requirement for fertilizer N.

nhau trong cung cấp N bản địa và dẫn tới nhu cầu tối ưu về phân N là khác nhau.



**Fig 1.** Effect of management during the fallow between harvest and land preparation on rice yield without and with fertilizer N in the dry season.

**Hình 1.** Ảnh hưởng của quản lý đồng ruộng trong thời gian chuyển vụ tới năng suất lúa có bón và không bón N trong mùa khô.



**Fig 2.** Effect of rice crop residue on rice yield without and with fertilizer N in the dry season.

**Hình 2.** Ảnh hưởng của tồn dư thực vật đối với năng suất lúa có bón và không bón phân N trong mùa khô.

The retention of rice straw has often been proposed as a

Giữ rơm rạ trong ruộng lại là đề xuất được xem như

management practice to enhance soil fertility and reduce the requirement for fertilizer. We next examine with a medium-term experiment at IRRI the effect of rice crop residue (i.e., standing biomass after harvest plus straw) on yield of the next rice crop. Results show that retention of rice residue never increased rice yield without added fertilizer N ( $GY_{0N}$ ) in this site with no limitation of P or K on crop yield (Fig. 2). Grain yield with sufficient fertilizer N to meet crop requirements (GY) was also never increased with retention of rice residue (Fig. 2). After more than 5 years, grain yields tended to be comparable with and without retention of crop residue. Retention rather than complete removal of all aboveground crop residue for 15 crops across 8 years never reduced fertilizer N requirement.

Nitrogen immobilization and anaerobic compounds arising from decomposition of residue with high C-to-N ratio might have had a detrimental effective on crop performance. These findings

phương thức nâng cao độ phì của đất và làm giảm nhu cầu phân bón. Xem xét thí nghiệm trung hạn tại IRRI về ảnh hưởng của tồn dư thực vật (tổng sinh khối lưu lại sau khi thu hoạch cộng với rơm rạ) đến năng suất của vụ lúa tiếp theo. Kết quả cho thấy duy trì tồn dư thực vật không làm tăng năng suất nếu không bón phân N ( $GY_{0N}$ ) trong lô với P hoặc K không giới hạn năng suất (Hình 2). Năng suất khi được bón đầy đủ phân N đáp ứng nhu cầu của cây (GY) cũng không thấy tăng lên do lưu giữ tồn dư thực vật (Hình 2). Sau hơn 5 năm, năng suất lúa có xu hướng tương đương nhau do lưu giữ hoặc không lưu giữ các tồn dư thực vật. Việc giữ lại thay vì loại bỏ hoàn toàn tồn dư thực vật liên tiếp 15 vụ trong 8 năm chưa bao giờ làm giảm nhu cầu phân N.

Đạm cố định và các hợp chất được hình thành từ phân giải yếm khí do quá trình phân hủy tồn dư thực vật có tỷ lệ C/N cao có thể ảnh hưởng quyết định tới sinh trưởng của cây trồng. Phát hiện này

do not support the often held perception that incorporation of crop residues can reduce the need for fertilizer N.

#### **4. Variations among seasons in optimal fertilizer N rates**

The Long-Term Continuous Cropping Experiment (LTCCE) was initiated at IRRI in the Philippines in 1963 to examine the sustainability of continuous cultivation of irrigated rice using modern high-yielding varieties with four rates of fertilizer N. Three crops of rice have been grown each year since 1968. A weather station has collected daily temperature, precipitation, and solar radiation from 1979 adjacent to the experiment. We used these data and phenological characteristics of the rice varieties with the Oryza2000 model to estimate potential yield for the highest yielding rice variety in each season. Potential yield represents the maximum plausible yield for actual climatic conditions in the absence of biotic and abiotic constraints for rice.

không ủng hộ nhận thức cho rằng vùi tồn dư thực vật vào trong đất làm giảm nhu cầu về phân N.

#### **4. Khác biệt các mùa vụ về lượng phân N tối ưu.**

Thí nghiệm dài hạn duy trì liên tục (LTCCE) bắt đầu triển khai tại IRRI ở Philippines năm 1963 để xem xét tính bền vững của việc canh tác lúa có tưới liên tục, sử dụng giống cao sản với bốn lượng phân bón N. Thí nghiệm áp dụng trồng ba vụ lúa một năm kể từ năm 1968. Một trạm khí tượng thủy văn thu thập nhiệt độ, lượng mưa, và bức xạ mặt trời hàng ngày được lắp đặt từ năm 1979 ngay bên cạnh khu thí nghiệm. Chúng tôi sử dụng các số liệu này và đặc điểm hình thái của các giống lúa, áp dụng mô hình Oryza2000 để ước tính năng suất tiềm năng cho các giống lúa có năng suất cao nhất trong mỗi vụ. Năng suất tiềm năng đại diện cho năng suất tối đa trong điều kiện khí hậu thời tiết thực tế mà không bị các cản trở sinh học và phi sinh học tới cây lúa.



We then compared estimated potential yield with the measured yield for the highest yielding rice variety with full fertilization (Fig. 3). For the past 20 years, since the early 1990s, the measured yield with crop management practices recommended for farmers has stabilized near the target of 80% of the potential yield. Measured yields prior to 1991 were constrained by insufficient application of fertilizer N.

Sau đó chúng tôi so sánh năng suất tiềm năng ước tính và năng suất thực tế với các giống lúa có năng suất cao nhất khi được bón phân đầy đủ (Hình 3). Trong 20 năm qua, kể từ những năm đầu của thập kỷ 90, năng suất thực tế ghi nhận đạt mục tiêu gần 80% năng suất tiềm năng với cách thức quản lý cây trồng theo khuyến cáo cho nông dân. Năng suất thực tế trước năm 1991 bị cản trở do lượng phân N bón không đầy đủ.

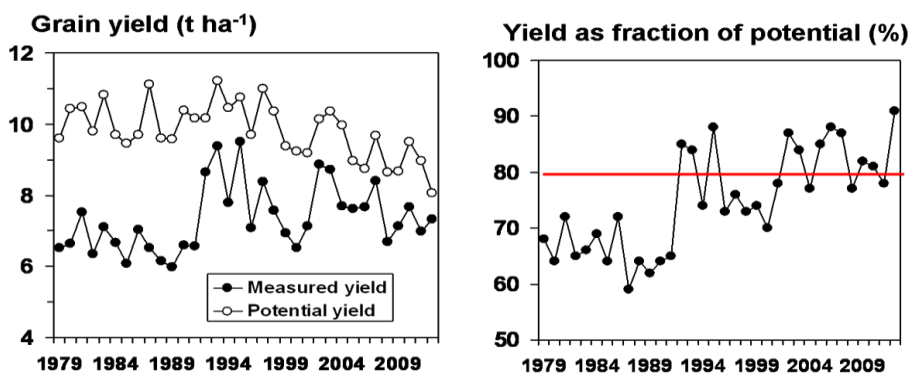


Fig 3. Measured yields relative to potential yields for the highest yielding variety in the dry season in the LTCCE at IIRI in the Philippines.

Hình 3. Năng suất thực tế liên quan với năng suất tiềm năng cho giống lúa năng suất cao nhất trong mùa khô của thí nghiệm dài hạn tại IIRI ở Philippines.

Measured yields during the dry season in the past 20 years varied between about 6.5 and

Năng suất thực tế trong mùa khô suốt 20 năm qua dao động trong khoảng 6,5 và 9,5 t/ha.

9.5 t ha<sup>-1</sup>. The trend in measured yields during the past 20 years paralleled the trend in estimated potential yields (Fig. 3), indicating a strong affect of climate on yield. The general downward trend in potential yield for the past 15 years results from climate and a downward trend in solar radiation.

These findings highlight the strong effect of climate on the yield attainable with optimal use of fertilizer N (GY). Grain yields without fertilizer N (GY<sub>0N</sub>) were relatively constant. The difference in measured yield between 7 and 9 t ha<sup>-1</sup> therefore represents a difference in optimal fertilizer N requirements of about 80 kg N ha<sup>-1</sup> at AE<sub>N</sub> = 25. Use of anticipated climate to set preseason yield targets and fertilizer N rates, and monitoring of crop performance such as through remote sensing to adjust in-season fertilizer N rates might be explored as options for further increasing the efficiency of fertilizer N use.

## 5. Phosphorus and potassium management

The addition of excess fertilizer

Khuyh hướng năng suất thực tế trong 20 năm qua chạy song song với xu hướng năng suất tiềm năng ước tính (Hình 3), điều đó cho thấy khí hậu thời tiết ảnh hưởng mạnh mẽ đến năng suất. Khuyh hướng giảm năng suất tiềm năng nói chung trong 15 năm qua là kết quả từ khí hậu thời tiết và khuyh hướng giảm bức xạ mặt trời.

Những phát hiện này minh chứng ảnh hưởng mạnh mẽ của khí hậu đối với năng suất có thể đạt được khi sử dụng tối ưu phân N (GY). Năng suất không bón phân N (GY<sub>0N</sub>) tương đối ổn định. Sự khác biệt giữa năng suất thực tế trong khoảng 7-9 t/ha thể hiện sự khác biệt về lượng phân N tối ưu yêu cầu vào khoảng 80 kg N/ha tại AE<sub>N</sub> = 25. Sử dụng khí hậu thời tiết dự kiến để thiết lập năng suất mục tiêu trước vụ lúa & liều lượng phân N, và giám sát sinh trưởng của cây trồng thông qua các cảm biến từ xa để điều chỉnh lượng phân N đang áp dụng có thể được coi như một sự lựa chọn để tiếp tục nâng cao hiệu quả phân N hơn nữa.

## 5. Quản lý bón lân và kali

Việc bổ sung quá nhiều phân N

N can result in detrimental effects on rice, such as lodging and increased damage from disease and insects. Excess fertilizer N not taken up by the crop is prone to loss, especially as gases (Buresh *et al.*, 2008). Nitrogen from fertilizer consequently does not normally built up in rice soils or have residual benefits to subsequent crops. Phosphorus and K, on the other hand, added in excess of crop uptake can remain in the soil. The SSNM approach with its use of nutrient balances to determine fertilizer P and K requirements can be used to quickly estimate the amount of fertilizer P and K required to match the net removal of P and K (Buresh *et al.*, 2010).

Fertilizer P rates in long-term experiments, like in many existing fertilizer P recommendation for rice across Asia, often exceed the net removal of P. Extractable soil P in P addition plots in both the Long-Term Fertility Experiment (LTFE) and the LTCCE at IRRI have built up through time (Table 1). This reflects greater input than removal of P.

dẫn đến tác hại cho cây lúa, chẳng hạn như lổp đổ, gia tăng sâu bệnh phá hại. Lượng phân N dư thừa cây trồng không hấp thu dễ bị mất mát dưới dạng khí bốc hơi (Buresh *et al.*, 2008). Đạm từ phân bón không đóng góp thêm gì cho đất lúa và cũng chẳng có ảnh hưởng lưu tồn cho các vụ tiếp theo. Trong khi đó lượng lân và kali bón dư thừa sau khi cây trồng hấp thu có thể vẫn tồn tại trong đất. Quản lý dinh dưỡng theo vùng đặc thù (SSNM) với cách sử dụng cân đối dinh dưỡng để xác định nhu cầu phân P và K để tính toán nhanh chóng lượng phân P và K cần thiết phải bón cân bằng với lượng P và K cây trồng lấy đi (Buresh *et al.*, 2010).

Lượng phân P trong thí nghiệm dài hạn, giống như các khuyến cáo hiện tại về phân P cho lúa trên khắp châu Á, thường vượt quá lượng P ròng đã được cây trồng lấy đi. Hàm lượng P dễ tiêu trong các lô có bổ sung P trong cả hai thí nghiệm phân bón dài hạn (LTFE) và (LTCCE) tại IRRI đã ghi nhận có tích lũy thêm theo thời gian (Bảng 1). Điều này phản ánh lượng P bổ sung lớn hơn lượng P lấy đi.

**Table 1.** Changes in soil P and K during cropping with two rice crops per year in the Long-Term Fertility Experiment (LTFE) and three rice crops per year in the Long-Term Continuous Cropping Experiment (LTCCE) at IRRI in the Philippines.

**Bảng 1.** Những thay đổi lượng P và K trong đất trong quá trình canh tác với hai vụ lúa mỗi năm trong các thí nghiệm bón phân dài hạn (LTFE) và ba vụ lúa mỗi năm trong thí nghiệm dài hạn canh tác liên tục (LTCCE) tại IRRI ở Philippines.

Parameter	LTFE			LTCCE		
	1985	2010	Diff†	1983	2009	Diff
Bicarbonate extractable P, mg kg <sup>-1</sup>	13	25	12***	19	33	14***
Exchangeable K, cmol kg <sup>-1</sup>	1.57	1.36	-0.21ns	0.96	0.22	-0.74***

\*\*\* Significant at  $P \leq 0.001$ . ns = Not significant at  $P \leq 0.05$ .

† Diff = Difference between means for two years.

Current fertilizer recommendations for irrigated rice in many Asian countries merit a new examination as soil P levels across farmers' fields build up from continual use of fertilizer P. A nutrient balance as used with the SSNM approach and now incorporated into decision tools like *Nutrient Manager for Rice* ([www.irri.org/nmrice](http://www.irri.org/nmrice)) can help determine revised fertilizer P recommendations in locations with little or no yield gain from applied fertilizer P.

Khuyến cáo phân bón hiện tại cho lúa có tưới tại nhiều quốc gia châu Á có ưu điểm là tích lũy thêm P trong đất do sử dụng phân lân liên tục. Cân bằng dinh dưỡng được sử dụng cùng với phương pháp Quản lý dinh dưỡng theo vùng đặc thù (SSNM) giờ đây được tích hợp vào phần mềm Quản lý dinh dưỡng cho cây lúa ([www.irri.org/nmrice](http://www.irri.org/nmrice)) có thể giúp thay đổi cách khuyến cáo bón phân P tại các vùng có ít hoặc không gia tăng năng suất từ việc bón phân P.

Potassium is taken up by rice in greater quantities than P, and only about 15% of the K in a mature rice plant resides in the harvested grain. The need of rice for fertilizer K is consequently influenced strongly by the fraction of the non-grain biomass of rice (i.e., crop residue) retained in the field after harvest. Irrigation water can also contain K, which should be considered in the determination of fertilizer K requirements (Buresh *et al.*, 2010).

Exchangeable soil K has not declined significantly in fully fertilized plots of the Long-Term Fertility Experiment (LTFE) at IRRI, where the biomass standing after harvest is retained (Table 1). The inputs of K from the crop residue, irrigation water, and fertilizer appear sufficient to approximately match the K removed in harvested grain and straw. But exchangeable soil K has declined within high N plots of the LTCCE where all aboveground biomass is removed after each of the three rice crops per year (Table 1). The inputs of K from the crop residue, irrigation water, and fertilizer

Kali được cây lúa hấp thu với số lượng lớn hơn so với P, và chỉ có khoảng 15% lượng K trong cây tồn tại trong hạt sau khi thu hoạch. Sự cần thiết của phân K đối với lúa là do phần sinh khối không kể phần hạt (ví dụ như, tồn dư rơm rạ) lưu tồn lại trong ruộng sau khi thu hoạch. Nước tưới cũng chứa K, cho nên nước tưới cần được đề cập khi quyết định lượng phân K theo nhu cầu của cây (Buresh *et al.*, 2010).

K trao đổi trong đất giảm không đáng kể ở các lô bón phân đầy đủ, ghi nhận từ thí nghiệm phân bón dài hạn (LTFE) tại IRRI, với tồn dư thực vật được giữ lại sau khi thu hoạch (Bảng 1). Lượng K đưa vào trong đất từ tồn dư thực vật, nước tưới và phân bón đủ để bù lượng K bị lấy đi từ hạt và rơm rạ. Tuy nhiên, hàm lượng K trao đổi trong đất giảm đi trong những lô bón nhiều N, kết quả của thí nghiệm dài hạn LTCCE, tại đó tất cả phần sinh khối trên mặt đất được lấy đi sau mỗi vụ với ba vụ lúa mỗi năm (Bảng 1). Lượng K đưa vào đất từ tồn dư thực vật, nước tưới và phân bón không đủ để bù vào lượng

were insufficient to match the K removal with aboveground crop biomass.

While medium-term experiments across 8 years reveal no savings in fertilizer N and no increase in rice yield from the retention of rice residue (Fig. 2), the retention of rice residue can dramatically reduce the removal of K and the need for fertilizer K. The approximately 5 t ha<sup>-1</sup> of retained rice residue in the experiment shown in Fig. 2 contained about 70 kg K ha<sup>-1</sup>. The accumulated difference in K removal across the 15 cropping seasons for the residue removed and residue retained treatments was about 1 tonne K ha<sup>-1</sup>.

## 6. Concluding comments

Our findings highlight the following:

- The incorporation of rice residue, despite its benefit of reducing the need for fertilizer K, can reduce rather than increase rice yield when N is the main limiting nutrient. The management of rice residue to avoid detrimental effects on

K bị lấy đi, khi mà sinh khối thực vật phân trên mặt đất không được giữ lại.

Trong khi những thí nghiệm trung hạn trên 8 năm cho thấy không tiết kiệm được phân N và cũng không có sự gia tăng năng suất do lưu giữ tồn dư thực vật (Hình 2), nhưng duy trì tồn dư thực vật có thể làm giảm đáng kể lượng K bị lấy đi và nhu cầu bón phân K. khoảng 5 t/ha tồn dư thực vật được giữ lại trong thí nghiệm trình bày ở Hình 2 chứa khoảng 70 kg K/ha. Lượng K tích lũy hoặc K mất đi trong 15 vụ gieo trồng do lưu giữ tồn dư thực vật lại trong ruộng hay lấy chúng đi khỏi ruộng, tính ra được khoảng 1 tấn K/ha.

## 6. Nhận xét kết luận

Phát hiện của chúng tôi làm sáng tỏ các vấn đề sau:

- Chôn vùi tồn dư thực vật, mặc dù lợi ích của nó là làm giảm nhu cầu phân K, nhưng có thể làm giảm hơn là gia tăng năng suất lúa khi N là chất dinh dưỡng chính quyết định sự hạn chế. Việc quản lý tồn dư thực vật để tránh các tác động có hại trong thâm canh tăng vụ



intensively cultivated rice remains a challenge.

- Current rates of fertilizer P for irrigated rice can build up extractable soil P. In such cases, fertilizer P recommendations could now be refined to better match inputs of fertilizer P with removal of P.
- The large annual variations in attainable yield with full fertilization in the LTCCE at IRRI highlight the merit of examining whether similar climate-related variations in attainable yield are occurring in major rice production areas of Asia.

### **Acknowledgment**

The development of SSNM was made possible through support from the Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC), the International Fertilizer Industry Association (IFA), the International Plant Nutrition Institute (IPNI), and the International Potash Institute (IPI). The Kellogg Company provided support for long-term research at IRRI.

vẫn còn là một thách thức.

- Lượng phân P hiện tại bón cho lúa có tưới có thể tích tụ P dễ tiêu. Trong trường hợp như vậy, khuyến cáo bón phân P có thể được điều chỉnh để lượng bón vào phù hợp với lượng bị lấy đi.
- Sự khác biệt lớn về năng suất do bón phân đầy đủ trong thí nghiệm dài hạn LTCCE tại IRRI làm sáng tỏ ưu điểm của việc kiểm tra xem có phải yếu tố khí hậu liên quan gây biến động về năng suất thực tế đang xảy ra trong vùng sản xuất lúa chủ lực ở châu Á hay không.

### **Lời cảm tạ**

Phát triển quy trình bón phân theo SSNM được thực hiện với sự hỗ trợ của Cơ quan Hợp tác và Phát triển Thụy Sĩ (SDC), Hiệp hội Công nghiệp Phân bón Quốc tế (IFA), Viện Dinh dưỡng Thực vật Quốc tế (IPNI), và Viện Kali Quốc tế (IPI). Công ty Kellogg hỗ trợ các nghiên cứu dài hạn tại IRRI.

## REFERENCES

1. Buresh R.J. 2007. Fertile Progress. *Rice Today* 6(3):32–33.
2. Buresh, R.J., M.F. Pampolino, and C. Witt. 2010. Field-specific potassium and phosphorus balances and fertilizer requirement for irrigated rice-based cropping systems. *Plant Soil*. 335:35–64.
3. Buresh R.J., K.R. Reddy, and C. van Kessel. 2008. Nitrogen transformations in submerged soils. p. 401–436. *In* J.S. Schepers, and W.R. Raun (ed.) *Nitrogen in agricultural systems*. Agronomy Monograph 49. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. (USA).
4. Gregory D.I., S.M. Haefele, R.J. Buresh, and U Singh. 2010. Fertilizer use, markets, and management. p. 231–263. *In* S. Pandey et al. (ed.) *Rice in the global economy: Strategic research and policy issues for food security*. Int. Rice Res Inst., Los Baños, Philippines.
5. IRRI (International Rice Research Institute). 2012. Site-specific nutrient management. [www.irri.org/ssnm](http://www.irri.org/ssnm). Accessed 3 February 2013.
6. Witt, C., R.J. Buresh, S. Peng, V. Balasubramanian, and A. Dobermann. 2007. Nutrient management. p. 1–45. *In* T.H. Fairhurst et al. (ed.) *Rice: A practical guide to nutrient management*. Int. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines and Int. Plant Nutrition Inst. and Int. Potash Inst., Singapore.