

## **ĐÁNH GIÁ HÀM LƯỢNG LÂN ĐA (POLYPHOSPHATE) TRONG CÁC LOẠI PHÂN NPK 16-16-8 TẠI VIỆT NAM**

**Lâm Văn Thông<sup>1\*</sup>, Nguyễn Minh Đông<sup>2\*</sup>, Trần Huỳnh Khanh<sup>2</sup>, Trần Văn Dũng<sup>2</sup>, Phan Thị Khánh Ly<sup>1</sup>, Nguyễn Hồng Giang<sup>1</sup>, Lê Hoàng Kiệt<sup>1</sup>, Văn Tiến Thanh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Công ty Cổ phần phân bón Dầu Khí Cà Mau;

<sup>2</sup>Khoa Khoa học đất, Trường Nông nghiệp, Đại học Cần Thơ.

\*Tác giả liên hệ: thonglv@pvcfc.com.vn

*Nhận bài:* 17/08/2025    *Hoàn thành phản biện:* 08/12/2025    *Chấp nhận bài:* 08/12/2025

### **TÓM TẮT**

Polyphosphate gồm các chuỗi phosphate nối bằng cầu oxy. Khi bón vào đất, chúng thủy phân dần thành orthophosphate nhờ enzyme phosphatase hoặc phản ứng hóa học. Quá trình này giúp cung cấp P ổn định hơn so với MAP hoặc DAP. Nhờ đó, dạng phân bón ammonium polyphosphate và phân bón NPK chứa polyphosphate đang được quan tâm như một hướng đi quan trọng trong nông nghiệp hiện đại. Nghiên cứu này nhằm đánh giá hàm lượng P đa (polyphosphate) trong phân NPK 16-16-8 sản xuất theo công nghệ polyphosphate của Công ty Cổ phần Phân bón Dầu khí Cà Mau và so sánh với các loại phân NPK 16-16-8 phổ biến sử dụng công nghệ khác. Thí nghiệm được thực hiện tại phòng thí nghiệm Hóa học đất, Trường Đại học Cần Thơ, sử dụng phương pháp hòa tan trong nước, kết tủa với FeSO<sub>4</sub> và đo màu xanh molybdophosphate để xác định hàm lượng P đơn và P đa. Kết quả cho thấy phân NPK 16-16-8 Cà Mau (SPM6) có hàm lượng P đa (polyphosphate) hòa tan cao nhất (89,7%), vượt trội so với các loại phân NPK 16-16-8 khác. Hàm lượng P đa (polyphosphate) đạt 9,66% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, trong khi các sản phẩm khác dao động từ 4,97 đến 8,28%. Công nghệ polyphosphate giúp giảm kết tủa P với Fe, Al và Ca, duy trì hiệu lực cung cấp P trong điều kiện đất bất lợi như đất phèn và đất kiềm. Kết quả này khẳng định sự khác biệt rõ về hàm lượng P đa của phân NPK 16-16-8 Cà Mau so với các sản phẩm phân NPK 16-16-8 hiện có tại Việt Nam.

**Từ khóa:** Công nghệ sản xuất, Hàm lượng P, NPK 16-16-8, P đa, P hữu dụng

## **EVALUATION OF POLYPHOSPHATE CONTENT IN COMMERCIAL NPK 16-16-8 FERTILIZERS IN VIETNAM**

**Lam Van Thong<sup>1\*</sup>, Nguyen Minh Dong<sup>2</sup>, Tran Huynh Khanh<sup>2</sup>, Tran Van Dung<sup>2</sup>, Phan Thi Khanh Ly<sup>1</sup>, Nguyen Hong Giang<sup>1</sup>, Le Hoang Kiet<sup>1</sup>, Van Tien Thanh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>PetroVietnam Ca Mau Fertilizer Joint Stock Company;

<sup>2</sup>Faculty of Soil Science, College of Agriculture, Can Tho University.

\*Corresponding author: thonglv@pvcfc.com.vn

*Received:* 17/08/2025

*Revised:* 08/12/2025

*Accepted:* 08/12/2025

### **ABSTRACT**

Polyphosphate consists of phosphate chains linked by oxygen bridges. When applied to soil, they gradually hydrolyze into orthophosphates through the action of phosphatase enzymes or chemical reactions. This process enabled a more sustained release of phosphorus compared to monoammonium phosphate (MAP) or diammonium phosphate (DAP). Consequently, ammonium polyphosphate fertilizers and NPK formulations containing polyphosphate have attracted considerable attention as a promising strategy in modern agriculture. This study aimed to evaluate the polyphosphate content in NPK 16-16-8 produced using polyphosphate technology by Petro Vietnam Ca Mau Fertilizer JSC and compare it with other common NPK fertilizers 16-16-8 produced by different technologies. The experiment was conducted at the Soil chemistry laboratory, Can Tho University, using water extraction, FeSO<sub>4</sub> precipitation, and molybdophosphate blue colorimetry to determine the contents of ortho- and polyphosphate. The results showed that Ca Mau NPK 16-16-8 fertilizer had the highest proportion of

polyphosphate in water-soluble phosphorus (89.7%), significantly higher than other products. The polyphosphate content reached 9.66%  $P_2O_5$ , while other NPK fertilizers ranged from 4.97% to 8.28%. This production technology reduced phosphorus fixation with Fe, Al, and Ca, thereby maintaining phosphorus availability under unfavorable soil conditions such as acid sulfate and alkaline soils. These findings indicated the distinctive polyphosphate composition in Ca Mau NPK 16-16-8 compared to other currently available NPK 16-16-8 fertilizers in Vietnam.

**Keywords:** Available phosphorus, NPK 16-16-8, P content, Polyphosphate, Production technology

## 1. MỞ ĐẦU

Phosphorus (P) là một trong ba nguyên tố đa lượng thiết yếu cho cây trồng, tuy nhiên tính hữu dụng của P trong đất thường bị hạn chế do các phản ứng cố định với Ca, Fe, Al (Barrow và cs., 2023, He và Xu, 2025). Các dạng phân P truyền thống như MAP (monoammonium phosphate), DAP (diammonium phosphate), TSP (triple superphosphate) và SSP (single superphosphate) chủ yếu chứa orthophosphate, dễ bị kết tủa trong đất kiềm hoặc acid (Tisdale và cs., 1993). Ngược lại, ammonium polyphosphate (APP) có ưu thế nhờ khả năng thủy phân dần thành orthophosphate, giúp kéo dài thời gian cung cấp P cho cây và hạn chế cố định P (Mao và Harrison, 2017, Yan và cs., 2023, Dong và cs., 2024).

Theo Yang và cs. (2018) thì ammonium polyphosphate (APP) với mức độ polymer hóa tối đa nhỏ hơn 10 được thu được khi cho MAP phản ứng với dịch urea ở nhiệt độ cao để ứng dụng làm phân bón. Trong quy trình sản xuất NPK trên dây chuyền công nghệ của Công ty Cổ phần Phân bón Dầu khí Cà Mau, quá trình tạo hạt ở nhiệt độ cao trong điều kiện dịch urea lỏng rất hao nước thì các dạng phân từ P đơn (orthophosphate) từ nguồn nguyên liệu như DAP, MAP sẽ bị hấp phụ các phân tử nước để tạo thành dạng phân từ P đa (polyphosphate). Polyphosphate do một số polymer cấu thành chính là pyrophosphate (hai phân tử P liên kết nhau), nhưng cũng có sự hiện diện của các chuỗi dài hơn.

Polyphosphate được sản xuất từ orthophosphate nhờ nhiệt độ cao. Nước bị tách ra (bốc hơi) rồi các mối nối ortho- nối với nhau để tạo thành chuỗi với độ dài khác nhau, đây là quy trình sản xuất phân NPK 16-16-8 Cà Mau. Trung bình, hỗn hợp P đa chiếm 20-30% và P đơn chiếm 70 - 80% trong P tổng số.

Phần lớn các thành phần polyphosphate hòa tan tốt trong nước và không bị kết tủa khi có sự hiện diện của  $Ca(NO_3)_2$  trên đất kiềm và  $FeSO_4$ ;  $Al_2(SO_4)_3$  trên đất phèn. Ngược lại, orthophosphate mặc dù tan tốt trong nước nhưng rất dễ bị kết tủa bởi Ca trên đất kiềm hay Fe, Al trên đất phèn, dẫn đến giảm độ hữu dụng cho sự hấp thu của cây trồng. Các nghiên cứu gần đây cho thấy rằng polyphosphate có trong NPK, một dạng P di động cung cấp P nhiều hơn và sâu hơn vào trong đất, giúp tăng độ hữu dụng của lân trong dung dịch đất, tăng tính hữu dụng của các chất vi lượng qua hiện tượng phức hóa, làm rễ phát triển tốt hơn (Shah và Chu, 2021, Ji và cs., 2025). Sự thủy phân polyphosphate làm cho nồng độ P trong dung dịch đất tăng lên trong một thời gian lâu (Zhang và cs., 2024, Hansen-Bruhn và cs., 2025). Hơn nữa, tính hữu dụng của P cao hơn từ polyphosphate làm gia tăng sự hấp thu P. Như vậy, quy trình công nghệ sản xuất phân NPK gia tăng hàm lượng polyphosphate có trong thành phần P hòa tan của phân bón, giúp gia tăng hiệu quả sử dụng P trong những điều kiện bất lợi của đất đai (nhiễm phèn, nhiễm mặn)

là rất quan trọng. Do đó, nghiên cứu được thực hiện để đánh giá hàm lượng lân đa (polyphosphate) có trong phân NPK 16-16-8 Cà Mau và các loại NPK 16-16-8 phổ biến ở Việt Nam.

## 2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

**Bảng 1.** Nguồn gốc và công nghệ sản xuất các loại phân NPK 16-16-8 dùng trong thí nghiệm

Ký hiệu	Công nghệ sản xuất NPK (16-16-8)	Nhà máy
SPM6	NPK 16-16-8+TE: sản xuất theo công nghệ polyphosphate NPK 16-16-8+6S+TE: sản xuất theo công nghệ vo viên hơi nước (dây chuyền sản xuất phân bón tạo hạt hơi nước NPK 1 hạt, pns.vn), nguồn vốn đầu tư và nhà máy sản xuất tại Việt Nam	Công ty Cổ phần Phân bón Dầu khí Cà Mau sản xuất
SPM7	NPK 16-16-8+13S sản xuất theo công nghệ vo viên hơi nước vốn nước ngoài, nhập khẩu trực tiếp sản phẩm nước ngoài hoặc công nghệ và nguồn vốn nước ngoài, nhà máy đặt tại Việt Nam	Nhà máy Phân bón Bình Điền
SPM8	NPK 16-16-8 urea lỏng	Nhà máy Phân bón NPK Phú Mỹ
SPM9	NPK 16-16-8 sản xuất theo kiểu trộn ba màu ngoài thị trường	Nhà máy Phân bón BACONCO
SPM10	NPK 16-16-8 tự trộn từ các loại phân urea, DAP, KCl	Công ty Cổ phần Phân bón Dầu khí Cà Mau, phối trộn từ nguyên liệu
SPM11		

### 2.2. Phương pháp nghiên cứu

#### 2.2.1. Phương pháp thí nghiệm

Thí nghiệm phân tích hàm lượng polyphosphate được thực hiện trong phòng thí nghiệm Hóa học đất, Khoa Khoa học đất, Trường Đại học Cần Thơ trong tháng 12/2024. Các mẫu phân NPK được thu thập trên thị trường với các công nghệ sản xuất phổ biến khác nhau, mỗi loại phân thu 3 mẫu, mỗi mẫu 2 kg, mẫu phân được thu từ các bao phân mới còn nguyên vẹn chưa mở ra sử dụng. Sau khi thu, các mẫu phân sẽ lần lượt phân tích theo các bước sau:

- Bước 1: Thu mẫu trên thị trường các sản phẩm phân NPK 16-16-8 như mô tả ở Bảng 2. Riêng mẫu SPM11 được trộn từ các dạng phân Urea, DAP và KCl do công ty Cổ phần Phân bón Dầu khí Cà Mau sản xuất. Từng loại phân được cân theo đúng khối

### 2.1. Vật liệu nghiên cứu

Các dòng sản phẩm NPK 16-16-8 được sản xuất tại Công ty Cổ phần Phân bón Dầu khí Cà Mau và các công ty khác đang kinh doanh trên thị trường (Bảng 1).

lượng sau: DAP (34,78 g), Urea hạt đục (21,03 g) và KCl (13,11 g) để đạt được 100 g mẫu phân ba màu NPK 16-16-8 (không có trộn thêm phụ gia, kết dính). Mỗi loại phân NPK 16-16-8 được phân tích riêng biệt 4 lần lặp lại để đảm bảo độ chính xác và mang tính thống kê.

- Bước 2: Phân tích ẩm độ và hàm lượng N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O và S tổng số có trong các loại phân NPK 16-16-8 này.

- Bước 3: Sau khi có kết quả phân tích hàm lượng P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tổng số có trong các loại phân NPK 16-16-8 thử nghiệm, tiến hành tính toán cân ở ẩm độ thực tế để đạt lượng P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> cung cấp ban đầu như nhau giữa các loại phân NPK 16-16-8 là 1,65 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/mẫu. Lấy mẫu phân tích P đơn và P đa có trong 24 mẫu nước lọc ban đầu. Phần còn lại được sử

dụng để tiến hành cho phản ứng kết tủa P đơn (orthophosphate).

- Bước 4: Tiến hành hút 50 ml dung dịch lọc còn lại bên trên vào bình tam giác 250 ml, cho từ từ 25 ml dung dịch 10%  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Phản ứng kết tủa trắng-xanh sẽ bắt đầu xảy ra. Để cho phản ứng kết tủa xảy ra trong vòng 3 giờ. Sau phản ứng kết tủa 3 giờ, lọc lại phần bị kết tủa bằng giấy lọc 42 đã cân khối lượng giấy. Sau khi lọc xong, tiến hành sấy khô ở nhiệt độ  $60^\circ\text{C}$  trong 5

giờ. Cân khối lượng kết tủa và tính tỷ lệ kết tủa sau khi trừ đi khối lượng của giấy lọc. Song song đó, phân tích hàm lượng P đa (polyphosphate) còn lại trong dung dịch sau khi lọc kết tủa (đây xem như là hàm lượng P đa có trong phân bón).

- Bước 5: Tính toán, ước lượng và đánh giá so sánh hàm lượng P đa (polyphosphate) có trong NPK 16-16-8 trên tổng số hàm lượng P ban đầu có trong các loại phân NPK 16-16-8 trên.

**Bảng 2.** Khối lượng NPK cân cần thiết để đạt hàm lượng  $\text{P}_2\text{O}_5$  như nhau (1,65 g) giữa các loại phân NPK 16-16-8 lúc bắt đầu thí nghiệm kết tủa với  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

KH	Lặp lại	P tổng số (% $\text{P}_2\text{O}_5$ )	KL cân (gram)	KH	Lặp lại	P tổng số (% $\text{P}_2\text{O}_5$ )	KL cân (gram)
SPM6	1	16,2	10,19	SPM9	1	16,8	9,821
	2	15,9	10,38		2	16,1	10,25
	3	15,8	10,44		3	16,9	9,763
	4	16,5	10,00		4	16,4	10,06
SPM7	1	15,5	10,65	SPM10	1	16,2	10,17
	2	16,0	10,31		2	16,2	10,17
	3	17,3	9,538		3	16,2	10,17
	4	16,6	9,940		4	16,2	10,17
SPM8	1	16,2	10,19	SPM11	1	24,1	6,850
	2	15,9	10,38		2	24,5	6,730
	3	16,0	10,31		3	24,3	6,790
	4	15,7	10,51		4	23,9	6,900

*Tính toán lượng cân ở ẩm độ thực tế để đạt lượng  $\text{P}_2\text{O}_5$  cung cấp ban đầu như nhau giữa các loại phân NPK là 1,65 gram  $\text{P}_2\text{O}_5$ /mẫu; KH là ký hiệu; KL là khối lượng.*

2.2.2. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu trong thí nghiệm

**Bảng 3.** Phương pháp phân tích được dùng trong thí nghiệm

Chỉ tiêu	Phương pháp phân tích	Tóm tắt phương pháp
Âm độ	TCVN 9297:2012	Sấy mẫu ở nhiệt độ 50°C trong 2 giờ
N tổng số	TCVN 5815:2018	Chuyển hóa N dạng hữu cơ và urea thành ammonium sulfate bằng acid sulfuric và chất xúc tác. Chung cất ammonium từ dung dịch kiềm và hấp thụ vào một lượng dư dung dịch acid boric. Chuẩn độ lượng amonitetraborate bằng dung dịch acid sulfuric chuẩn với sự có mặt của chỉ thị màu
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> tổng số	TCVN 8559:2010	Trích mẫu bằng dung dịch acid citric 2%. Sau đó giải phóng phosphate liên kết với citric bằng H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> và HNO <sub>3</sub> . Orthophosphate tự do phản ứng với molybdate và ion antimon trong môi trường acid tạo ra phức chất antimon phosphomolybdate. Khử phức chất bằng ascorbic acid tạo thành phức chất phosphomolybdate blue (PMB). Đo độ hấp thụ của phức chất ở bước sóng 880nm trên máy quang phổ để xác định nồng độ orthophosphate
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> hòa tan		Phương pháp so màu xanh dương của phức phosphomolybdates
K <sub>2</sub> O tổng số	TCVN 8560:2018	Chiết K trong phân bón bằng dung dịch hydrochloric acid (HCl) 0,05 N. Sau đó xác định K trong dung dịch mẫu bằng máy hấp thụ nguyên tử ngọn lửa

2.3. Xử lý số liệu

Số liệu được phân tích thống kê bằng phần mềm Minitab phiên bản 16. So sánh các giá trị trung bình giữa các loại phân bón NPK 16-16-8 để phân tích ANOVA và đánh giá sự khác biệt có ý nghĩa bằng phép kiểm định Tukey ở mức ý nghĩa 1%.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hàm lượng dinh dưỡng ban đầu của các loại phân NPK (16-16-8) thử nghiệm

Kết quả phân tích ẩm độ cho thấy trong các loại phân NPK 16-16-8 thì mẫu SPM9 (công nghệ urea lỏng) có ẩm độ cao hơn khác biệt (2,84%) so với các loại phân NPK 16-16-8 còn lại (Bảng 4). Trong khi đó, phân NPK 16-16-8 được sản xuất theo công nghệ polyphosphate Cà Mau (SPM6) và công nghệ vo viên hơi nước, vốn nước ngoài (SPM8) thì hạt phân hút ẩm thấp nhất, ẩm độ dao động 0,54-0,99%. Ngoài ra, phân NPK 16-16-8 tự trộn (SPM11) do không có

bổ sung thêm chất phụ gia, kết dính và chống ẩm nên thành phần urea rất dễ hút ẩm dẫn đến độ ẩm khi làm thí nghiệm của phân này tăng cao (2,16%). Kết quả này cho thấy công nghệ phối trộn, sản xuất có ảnh hưởng nhiều đến độ ẩm của thành phẩm NPK 16-16-8, vốn khá quan trọng trong việc vận chuyển, lưu kho và ảnh hưởng đến chất lượng thành phần các dưỡng chất NPK có trong phân nếu tồn trữ lâu.

Trong các loại phân NPK 16-16-8 thử nghiệm thì phân NPK 16-16-8 sản xuất theo công nghệ polyphosphate Cà Mau (SPM6) có hàm lượng dưỡng chất NPK cao nhất, khá ổn định so với các loại phân NPK 16-16-8 khác và cao hơn mức chuẩn công bố là 16,5% N, 16,3% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 8,83% K<sub>2</sub>O (Bảng 4). Điều này cho thấy công nghệ NPK polyphosphate rất ưu việt trong việc ổn định và duy trì hàm lượng dưỡng chất NPK khi phối trộn.

Các loại phân NPK 16-16-8 một màu còn lại (SPM7, SPM8, SPM9) được sản xuất bằng công nghệ vo viên hơi nước hay urea lỏng cũng cho kết quả NPK ổn định so với tiêu chuẩn công bố ngoại trừ NPK 16-16-8 sản xuất vo viên hơi nước, nhập khẩu (SPM9) có hàm lượng N tổng số thấp hơn tiêu chuẩn nhưng chưa khác biệt ý nghĩa thống kê (Bảng 4). Tuy nhiên, các loại phân NPK ba màu (SPM10) và phân tự trộn từ phân đơn (SPM11) có hàm lượng N đạt thấp hơn nhiều so với chuẩn công bố lần lượt là 13,2% N và 15,2% N; tương tự cho hàm lượng K<sub>2</sub>O phân tích đạt được chỉ là 6,47% cho phân tự trộn (SPM11). Kết quả này có

thể do lấy mẫu các hạt phân không đồng đều cho loại phân ba màu, dẫn đến thành phần NPK trong mẫu phân tích không đúng tỷ lệ trộn NPK là 16-16-8. Điều này cho thấy sản xuất NPK theo công nghệ trộn cơ giới từ phân đơn dễ dẫn đến việc cung cấp không đúng liều lượng và tỷ lệ NPK cho nhu cầu cây trồng khi cần bón phân đúng thời điểm. Kết quả này một lần nữa chứng minh rằng công nghệ sản xuất phân NPK 16-16-8 một màu rất hữu dụng trong việc đảm bảo đúng về hàm lượng và tỷ lệ các dưỡng chất NPK cần cung cấp so với phân NPK 16-16-8 trộn ba màu.

**Bảng 4.** Biến động hàm lượng dưỡng chất các loại phân NPK (16-16-8) thử nghiệm (mẫu khô kiệt)

Ký hiệu	Ẩm độ (%)	N tổng số (%N)	P tổng số (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	K tổng số (%K <sub>2</sub> O)
SPM6	0,99 <sup>cd</sup>	16,5 <sup>a</sup>	16,3 <sup>a</sup>	8,83 <sup>b</sup>
SPM7	1,64 <sup>bc</sup>	16,0 <sup>a</sup>	16,5 <sup>a</sup>	8,05 <sup>b</sup>
SPM8	0,54 <sup>d</sup>	14,9 <sup>ab</sup>	16,1 <sup>a</sup>	8,03 <sup>b</sup>
SPM9	2,84 <sup>a</sup>	15,5 <sup>a</sup>	16,7 <sup>a</sup>	8,43 <sup>b</sup>
SPM10	1,10 <sup>cd</sup>	13,2 <sup>b</sup>	16,4 <sup>a</sup>	13,6 <sup>a</sup>
SPM11	2,16 <sup>ab</sup>	15,2 <sup>ab</sup>	16,9 <sup>a</sup>	6,47 <sup>b</sup>
<i>F</i> tính	28,5 <sup>**</sup>	5,35 <sup>**</sup>	1,98 <sup>ns</sup>	13,3 <sup>**</sup>
CV (%)	9,4	6,20	2,24	4,8

Trong cùng một cột các trung bình theo sau bởi các chữ cái giống nhau thì không khác biệt thống kê theo phép kiểm định Tukey/MiniTAB/Version 16; (\*\*): khác biệt thống kê ở mức ý nghĩa 1% qua phân tích ANOVA, "ns": không khác biệt thống kê giữa các loại phân NPK

### 3.2. Thành phần P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hòa tan trong nước của các loại phân NPK (16-16-8) thử nghiệm

P hòa tan trong dung dịch được xem là dạng P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hữu dụng cho cây trồng. Dạng P này bao gồm tất cả các loại P đơn (orthophosphate) và P đa (polyphosphate) có trong thành phần P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thực sự hữu dụng (hòa tan trong nước) của phân NPK. Kết quả phân tích hàm lượng P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hòa tan trong dung dịch trích bằng nước trước và sau phản ứng kết tủa với FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O của các loại phân NPK 16-16-8 được trình bày trong Bảng 5. Không có sự khác biệt về hàm lượng P hòa tan trong nước giữa các loại phân NPK 16-16-8 một màu khi thử

thử nghiệm. Công nghệ vo viên hơi nước lần lượt có hàm lượng P hòa tan là 4,97g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L (SPM8) và cao nhất là 5,21g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L (SPM7). Kế đến là công nghệ polyphosphate với hàm lượng P hòa tan là 4,42g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L (SPM6) và công nghệ urea lỏng với 4,94g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L (SPM9). Đối với nhóm phân NPK 16-16-8 sản xuất theo công nghệ trộn ba màu thì mức độ P hòa tan vào trong nước thấp hơn khác biệt so với nhóm phân NPK 16-16-8 một màu, lần lượt là 4,11g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L (SPM10) và 2,21g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L (SPM11). Kết quả này lần nữa cho thấy công nghệ NPK 16-16-8 một màu rất có ưu điểm trong việc gia tăng tính hòa tan của P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> tổng số có trong phân hơn là công nghệ phối trộn phân NPK 16-16-8.

**Bảng 5.** Hàm lượng P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hòa tan trong dung dịch trích bằng nước (tỷ lệ 1:25) trước và sau phản ứng kết tủa với FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O của các loại phân NPK (16-16-8) thử nghiệm

Ký hiệu	P hòa tan (g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L)	P đa hòa tan (g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L)	P đơn hòa tan (g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L)	P đa hòa tan (%)
SPM6	4,42 <sup>b</sup>	3,96 <sup>a</sup>	0,46 <sup>d</sup>	89,7 <sup>a</sup>
SPM7	5,21 <sup>a</sup>	2,76 <sup>c</sup>	2,45 <sup>a</sup>	53,0 <sup>c</sup>
SPM8	4,97 <sup>a</sup>	3,22 <sup>b</sup>	1,75 <sup>c</sup>	64,9 <sup>b</sup>
SPM9	4,94 <sup>a</sup>	3,30 <sup>b</sup>	1,63 <sup>c</sup>	66,9 <sup>b</sup>
SPM10	4,11 <sup>b</sup>	2,02 <sup>d</sup>	2,09 <sup>b</sup>	49,2 <sup>c</sup>
SPM11	2,21 <sup>c</sup>	1,52 <sup>e</sup>	0,69 <sup>d</sup>	69,0 <sup>b</sup>
<i>F tính</i>	102 **	201 **	139 **	238 **
<i>CV (%)</i>	5,06	4,52	8,78	2,83

Trong cùng một cột các trung bình theo sau bởi các chữ cái giống nhau thì không khác biệt thống kê theo phép kiểm định Tukey/MiniTAB/Version 16; (\*\*): khác biệt thống kê ở mức ý nghĩa 1% qua phân tích ANOVA, “ns”: không khác biệt thống kê giữa các loại phân NPK

Đặc biệt, khi xét về thành phần P hòa tan thì kết quả cho thấy việc sản xuất phân NPK 16-16-8 theo công nghệ polyphosphate của Cà Mau (SPM6) rất có hiệu quả trong việc làm gia tăng khác biệt thành phần P đa (polyphosphate), cao hơn khác biệt (3,96g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L) so với tất cả các loại phân NPK 16-16-8 còn lại, chiếm tỷ lệ 89,7% polyphosphate có trong thành phần P hữu hiệu của NPK 16-16-8 Cà Mau, trong khi đó hàm lượng P đơn (orthophosphate) trong SPM6 là thấp nhất (0,46g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L) so với các P đơn hòa tan của các loại phân NPK 16-16-8 khác (Bảng 5). Công nghệ

phân NPK vô viên trong và ngoài nước (SPM7, SPM8) có hàm lượng P đơn khá cao so với các loại phân NPK 16-16-8 thử nghiệm, lần lượt là 2,45g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L và 1,75g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L. Kết quả cũng cho thấy loại phân NPK 16-16-8 ba màu ngoài thị trường (SPM10) và tự trộn (SPM11) có hàm lượng P đa hòa tan thấp nhất, khác biệt thống kê so với các loại phân NPK 16-16-8 còn lại, lần lượt là 2,02 và 1,52g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L (Bảng 5).

**3.3. Ảnh hưởng của công nghệ sản xuất đến thành phần lân (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) có trong các loại phân NPK (16-16-8) thử nghiệm**

**Bảng 6.** Thành phần P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> có trong các loại phân NPK (16-16-8) thử nghiệm (mẫu khô kiệt)

Ký hiệu	P hữu dụng (%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	P đa (% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	P đơn (% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
SPM6	10,8 <sup>bc</sup>	9,66 <sup>a</sup>	1,11 <sup>e</sup>
SPM7	12,9 <sup>a</sup>	6,83 <sup>c</sup>	6,06 <sup>a</sup>
SPM8	12,0 <sup>ab</sup>	7,79 <sup>b</sup>	4,22 <sup>c</sup>
SPM9	12,4 <sup>a</sup>	8,28 <sup>b</sup>	4,10 <sup>c</sup>
SPM10	10,1 <sup>c</sup>	4,97 <sup>d</sup>	5,13 <sup>b</sup>
SPM11(*)	8,12 <sup>d</sup>	5,58 <sup>d</sup>	2,54 <sup>d</sup>
<i>F tính</i>	33,2 **	123 **	88,4 **
<i>CV (%)</i>	5,57	4,38	9,83

Trong cùng một cột các trung bình theo sau bởi các chữ cái giống nhau thì không khác biệt thống kê theo phép kiểm định Tukey/MiniTAB/Version 16; (\*\*): khác biệt thống kê ở mức ý nghĩa 1% qua phân tích ANOVA, “ns”: không khác biệt thống kê giữa các loại phân NPK

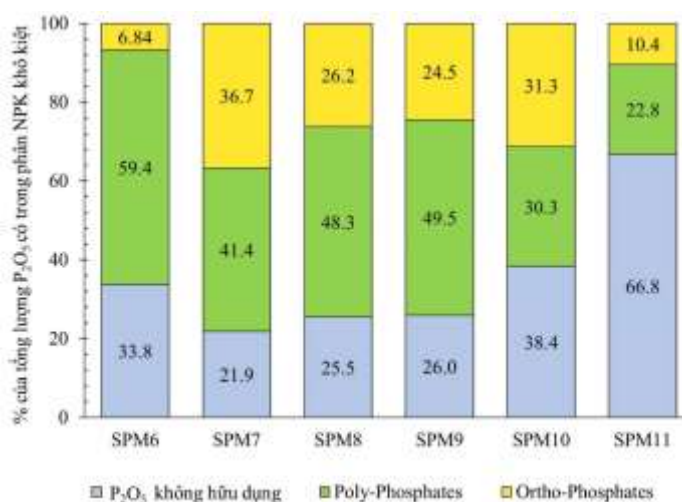
Theo Wang và cs. (2021) thì các đặc tính của ammonium polyphosphate (APP), bao gồm mức độ trùng hợp, tốc độ trùng hợp, độ hòa tan và tỷ lệ thu hồi N và P, thay đổi đáng kể và bị ảnh hưởng bởi tỷ lệ mol của nguyên liệu thô (P:N), nhiệt độ phản ứng, thời gian và áp suất trong các điều kiện sản xuất khác nhau. Trong quy trình sản

xuất có MAP và urea, các sản phẩm ammonium polyphosphate tối ưu thu được trong điều kiện kết hợp tỷ lệ mol = 1,6:1, T = 130°C và t = 45 phút, trong khi điều này xảy ra trong điều kiện tỷ lệ mol = 1:1,7, T = 180 °C và t = 60 phút trong quy trình PA (phosphoric acid)-urea. Nhìn chung, các đặc tính của phân bón APP được sản xuất

bằng quy trình MAP-urea tốt hơn so với quy trình PA-urea.

Kết quả tính toán, ước lượng, đánh giá và so sánh hàm lượng P đa (polyphosphate) có trong phân NPK 16-16-8 trên tổng số hàm lượng P ban đầu có trong các loại phân NPK 16-16-8 thử nghiệm được trình bày ở Bảng 6. Kết quả cho thấy so với tiêu chuẩn công bố (16%  $P_2O_5$ ) thì phân nhóm phân NPK 16-16-8 được sản xuất bằng công nghệ vo viên hơn nước (SPM7, SPM8) và công nghệ urea lỏng (SPM9) có hàm lượng P hữu dụng (hòa tan tốt trong nước) cao hơn ý nghĩa (lần lượt là 12,9; 12,0; 12,4%  $P_2O_5$ ) so với phân NPK 16-16-8 công nghệ polyphosphate (SPM6: 10,8%  $P_2O_5$ ) và NPK 16-16-8 trộn cơ học (SPM10: 10,1 % $P_2O_5$  và SPM11: 8,12%  $P_2O_5$ ). Tuy nhiên, khi xét về thành phần và tỷ lệ P đa (polyphosphate) có trong tổng

hàm lượng P thực sự dễ tiêu (hòa tan trong nước) thì công nghệ polyphosphate sản xuất phân NPK 16-16-8 của Công ty Cổ phần Phân bón Dầu khí Cà Mau (SPM6) cao hơn khác biệt so với tất cả các công nghệ cho sản xuất phân NPK 16-16-8 còn lại. Hàm lượng P đa có trong phân NPK 16-16-8 Cà Mau là 9,66 % $P_2O_5$  cao hơn khác biệt so với các loại phân NPK 16-16-8 còn lại, dao động 4,97-8,28%  $P_2O_5$  (Bảng 6). Trái lại, hàm lượng P đơn (orthophosphate) có trong phân NPK 16-16-8 Cà Mau là thấp nhất (1,11%  $P_2O_5$ ), kể đến là nhóm phân NPK 16-16-8 tự trộn (SPM11) và cao nhất là nhóm phân NPK 16-16-8 được sản xuất bằng công nghệ vo viên hơi nước (SPM7 và SPM8), lần lượt là 6,06 và 4,22%  $P_2O_5$ . Riêng phân NPK 16-16-8 ba màu ngoài thị trường (SPM10) có hàm lượng P đơn (orthophosphate) cao khác biệt (5,13%  $P_2O_5$ ).



**Hình 1.** Phần trăm của tổng lượng  $P_2O_5$  có trong các loại phân NPK (16-16-8) thử nghiệm (mẫu khô kiệt)

Trong nghiên cứu này thì hàm lượng  $P_2O_5$  không hữu dụng được xem là lượng  $P_2O_5$  còn sót lại trong phần cặn bã của phân NPK 16-16-8 sau khi hòa tan toàn bộ NPK vào nước trong 1 giờ. Kết quả so sánh trực quan ở Hình 1 cho thấy nhóm phân NPK 16-16-8 ba màu được sản xuất bằng cách trộn

cơ học thì có hàm lượng  $P_2O_5$  không hữu dụng chiếm tỷ lệ (%) cao hơn các phân NPK còn lại, lần lượt là 38,4 và 66,8% cho SPM10 và SPM11. Kết quả cũng cho thấy các loại phân NPK 16-16-8 với công nghệ vo viên hơi nước (SPM7, SPM8, công nghệ urea lỏng (SPM9), và công nghệ trộn NPK

16-16-8 ba màu ngoài thị trường có tỷ lệ P đơn (orthophosphate) trong thành phần  $P_2O_5$  có trong phân NPK cao hơn khác biệt (dao động từ 24,5-36,7%) so với công nghệ NPK polyphosphate của Công ty Cổ phần Phân bón Dầu khí Cà Mau, lân đơn chiếm tỷ lệ rất thấp (6,84%). Đặc biệt, so với tổng  $P_2O_5$  có trong phân, thì công nghệ NPK polyphosphate của Công ty Cổ phần Phân bón Dầu khí Cà Mau làm gia tăng tỷ lệ lân đa (polyphosphate) có trong phân cao rất khác biệt so với các loại phân NPK 16-16-8 thử nghiệm còn lại, P đa chiếm đến 59,4% P trong phân NPK 16-16-8 của Cà Mau, cao hơn rất nhiều so với các công bố của các công ty khác là chỉ 20-30% P đa.

#### 4. KẾT LUẬN VÀ ĐỀ NGHỊ

##### 4.1. Kết luận

Kết quả thí nghiệm đã chứng minh được hàm lượng P đa (polyphosphate) có trong phân bón NPK 16-16-8 Cà Mau là một đặc trưng công nghệ khác biệt so với các loại phân NPK 16-16-8 phổ biến ở Việt Nam, cụ thể: (i) NPK 16-16-8 được sản xuất theo công nghệ polyphosphate của Cà Mau (SPM6) rất có hiệu quả trong việc làm gia tăng khác biệt thành phần P đa (polyphosphate), cao hơn khác biệt (3,96g  $P_2O_5/L$ ) so với tất cả các loại phân NPK 16-16-8 còn lại, chiếm tỷ lệ 89,7% polyphosphate có trong thành phần P hữu hiệu của NPK 16-16-8 Cà Mau; (ii) Công nghệ NPK polyphosphate của Công ty Cổ phần Phân bón Dầu khí Cà Mau làm gia tăng tỷ lệ P đa (polyphosphate) có trong phân cao rất khác biệt so với các loại phân NPK 16-16-8 thử nghiệm còn lại, P đa polyphosphate chiếm đến 59,4% P trong phân NPK 16-16-8 của Cà Mau, cao hơn nhiều so với các công bố của các công ty khác là chỉ 20-30% P đa.

##### 4.2. Đề nghị

Tiếp tục nghiên cứu cấu trúc mạch polyphosphate và tỷ lệ của chúng có trong thành phần P trong các loại phân NPK giúp nghiên cứu được khả năng giải phóng P để

tối ưu hóa việc bón phân P đáp ứng nhu cầu cho cây trồng.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Barrow, N. J., Debnath, A., & Sen, A. (2023). Investigating the dissolution of soil phosphate. *Plant and Soil*, 2023(490), 591–599. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06102-7>.
- Chien, S. H., & Menon, R. G. (1995). Agronomic evaluation of ammonium polyphosphate as a phosphorus source for crops. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 42(3), 165–174.
- Dong, S., Bismark, A.-B., Li, S., Gao, Q., Zhou, X., & Li, C. (2024). Ammonium Polyphosphate Promotes Maize Growth and Phosphorus Uptake by Altering Root Properties. *Plants*, 13(23). DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13233407>.
- Hansen–Bruhn, I., Craig, J. L., Hinge, M., & Hull, T. R. (2025). Review: Ammonium polyphosphates: Correlating structure to application. *European Polymer Journal* 223, (2025), 113644. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2024.113644>.
- He, H. & Xu, X. (2025). Effects of Phosphorus Addition on Inorganic Phosphorus Fractions and Phosphorus Accumulation in Alfalfa in Alkaline Soils. *Agriculture*, 15(9), 973. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture15090973>.
- Ji, T., Lu, Z., Zhu, X., Li, H., Shi, R., Sun, Y., Zhou, L., Wang, F., Huang, C., & Zhang, F. (2025). Enhancing Phosphorus Efficiency in Calcareous Soils: Role of Polyphosphate Properties in Nutrient Solubility, Maize Nutrient Uptake, and Growth. *ACS Omega* 2025, 10(4), 4057–4067. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c10415>.
- Shah, J. A., & Chu, G. (2021). Short-chain soluble polyphosphate fertilizers increased soil P availability and mobility by reducing P fixation in two contrasting calcareous soils. *PeerJ* (9), e11493. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.11493>.
- Syers, J. K., Johnston, A. E., & Curtin, D. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin*. Rome: FAO.
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D., & Havlin, J. L. (1993). *Soil Fertility and*

- Fertilizers* (5th ed.). New York: Macmillan Publishing.
- Wang, X., Gao, Y., & Chu, G. (2021). Optimization and characterization of polyphosphate fertilizers by two different manufacturing processes. *ACS Omega*, 6(29), 18811–18822.
- Yan, Z., Wang, Y., Xu, D., Yang, J., Wang, X., Luo, T., & Zhang, Z. (2023). Hydrolysis Mechanism of Water-Soluble Ammonium Polyphosphate Affected by Zinc Ions. *ACS Omega*, 8(20), 17576-17582. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07642>.
- Yang, J., Xie, W., Kong, X., Xu, D., & Wang, X. (2018). Reactive extrusion of ammonium polyphosphate in a twin-screw extruder: polydispersity improvement. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 133, 58-65.
- Zhang, M., Shi, F., Peng, S., Chai, R., Zhang, L., Zhang, C., & Luo, L. (2024). Trade-Off Strategy for Usage of Phosphorus Fertilizer in Calcareous Soil-Grown Winter Wheat: Yield, Phosphorus Use Efficiency, and Zinc Nutrition Response. *Agriculture*, 14(3), 373. DOI:<https://doi.org/10.3390/agriculture14030373>.