

NGHIÊN CỨU LÀM GIÀU SILIC HỮU HIỆU TRONG XỈ THẢI PHỐT PHO ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG LÀM NGUYÊN LIỆU SẢN XUẤT PHÂN BÓN

STUDY ON ENRICHING EFFECTIVE SILICON IN PHOSPHORUS WASTE SLAG FOR APPLICATION AS RAW MATERIAL IN FERTILIZER PRODUCTION

Phan Thị Quyên^{1,*}, Phạm Thị Mai Hương¹,
Nguyễn Văn Hoàn¹, Giang Thị Hương²

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2025.200>

TÓM TẮT

Xỉ thải phốt pho là chất rắn phát sinh trong quá trình sản xuất phốt pho vàng. Thành phần chính của xỉ thải phốt pho vàng tại Lào Cai tính theo các oxit có chứa SiO_2 lên đến 50%, trong đó lượng silic hữu hiệu từ 7,5% đến 10,19%. Việc làm giàu silic hữu hiệu trong xỉ thải không chỉ là giải pháp xử lý rác thải rắn mà còn tạo ra nguồn nguyên liệu mới trong sản xuất phân bón và tạo ra sản phẩm có giá trị kinh tế cao. Nghiên cứu được tiến hành trên cơ sở hòa tách một số tạp chất trong xỉ thải bằng dung dịch axit hoặc bazơ. Với pH là 1, tỷ lệ rắn lỏng là 1:15 g/ml, nhiệt độ là 85°C, xỉ thải sau khi làm giàu có hàm lượng silic hữu hiệu 15,4%. Với pH là 13, tỷ lệ rắn lỏng là 1:20 g/ml, nhiệt độ là 95°C, xỉ thải sau làm giàu có hàm lượng silic hữu hiệu 18,09%. Hàm lượng silic hữu hiệu trong xỉ thải thu được sau quá trình làm giàu đáp ứng tiêu chuẩn chất lượng của phân bón theo QCVN 01-189:2019/BNNPTNT.

Từ khóa: Xỉ thải phốt pho; silic hữu hiệu; phân bón, hòa tách.

ABSTRACT

Phosphorus waste slag is the solid waste from the production of yellow phosphorus. The main component of Lao Cai phosphorus waste slag calculated as oxides contains SiO_2 reaches up to 50%, in which the effective silicon ranges from 7.5% to 10.19%. Enriching effective silicon in phosphorus waste slag is not only a solution for solid waste treatment but also creates a new source of raw material in fertilizer production and creates high-value economy products. The research was conducted by separation some substances in the slag in acidic and basic environments. At pH 1, the solid-liquid ratio is 1:15 g/ml, the temperature is 85°C, the enriched phosphorus waste slag has effective silicon content of 15.4%. At pH 13, the solid-liquid ratio is 1:20 g/ml, the temperature is 95°C, the product has effective silicon content of 18.09%. The effective silicon in the enriched phosphorus waste slag reach to quality standards QCVN 01-189:2019/BNNPTNT.

Keywords: Phosphorus waste slag, effective silicon, fertilizer, separation.

¹Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Công ty TNHH Kenmec Việt Nam

*Email: ptquyen18@gmail.com

Ngày nhận bài: 28/02/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 16/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

KÝ HIỆU

Ký hiệu

Đơn vị

Ý nghĩa

h

giờ

Thời gian

g/ml

gam/mili lít

A

Độ hấp thụ quang

mgSi/L

Miligam silic/lít

C

mg/lít

Nồng độ

CHỮ VIẾT TẮT

CP	Cổ phần
TNHH	Trách nhiệm hữu hạn
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
QCVN	Quy chuẩn Việt Nam
BNNPTNN	Bộ Nông nghiệp và phát triển nông thôn
HH	Hữu hiệu

1. GIỚI THIỆU

Tổng công suất sản xuất phốt pho vàng của 7 nhà máy theo thiết kế trong khu công nghiệp Tăng Loỏng là 72 nghìn tấn/năm. Theo các báo cáo đánh giá tác động môi trường, báo cáo về hiện trạng, giải pháp công tác bảo vệ môi trường khu công nghiệp Tăng Loỏng - Lào Cai, với công suất này sẽ phát sinh ra một lượng xỉ thải khá lớn khoảng 576.000 - 792.000 tấn/năm [1-5]. Lượng xỉ thải hàng năm là rất lớn, cùng với đó là tồn dư những kim loại, oxit kim loại,... ảnh hưởng rất lớn tới môi trường và sức khỏe của người dân xung quanh khu vực bãi xỉ.

Trên thế giới và tại Việt Nam đã có một số công trình nghiên cứu về xỉ thải phốt pho và các phương pháp xử lý xỉ thải phốt pho. Nghiên cứu của Na Zhang và cộng sự cho thấy thành phần hóa học của xỉ phốt pho bao gồm 43,85% CaO, 35,87% SiO₂ và một số oxit kim loại khác như Al₂O₃, P₂O₅, MgO,... [6]. Ở một nghiên cứu khác, xỉ phốt pho được nghiền đến kích thước 300 ÷ 450 m²/kg, sau đó trộn lẫn với xi măng, cát, nước với tỷ lệ xỉ thải chiếm 30% về khối lượng để chế tạo bê tông có cường độ nén đạt 35MPa sau 28 ngày [7]. Xỉ thải còn được hoạt hóa bằng đá vôi với tỷ lệ 1:1 về khối lượng để thay thế 33% xi măng trong bê tông [8]. Ngoài ra, Bingbing Liu và cộng sự đã hoạt hóa xỉ thải bằng cách nấu chảy hỗn hợp xỉ phốt pho, silica và than đá, sau đó làm lạnh bằng nước và nghiền đến kích thước 2 ÷ 4mm, phối trộn với phân bón N, P, K đã tạo phân bón dạng hạt cho lúa [9]. Ở Việt Nam cũng có một số nghiên cứu xử lý xỉ thải phốt pho như ứng dụng trong sản xuất bê tông trải đường cường lực cao, làm phụ gia xi măng [10], làm nguyên liệu xương cho sản xuất gạch ốp tường [11], sản xuất bê tông nhẹ [12, 13], làm bột độn, phụ gia cho một số ngành công nghiệp như: sơn, nhựa, cao su, chất dẻo [14]. Xỉ thải còn được nghiên cứu làm gạch không nung, lớp lót nền đường giao thông không sử dụng xi măng với tỷ lệ xỉ thải trong gạch không nung và trong lớp lót nền đường giao thông lên đến 70% song giá thành sản phẩm còn thấp, một viên gạch không nung kích thước 200x95x60mm từ xỉ thải và các chất kết

dính có giá thành dưới 850 đồng/viên [15]. Các nghiên cứu này, hoặc sử dụng xỉ thải như một nguyên liệu phụ, phụ gia, tỷ lệ xỉ thải trong sản phẩm chỉ dưới 30% hoặc công nghệ xử lý phức tạp hoặc sản phẩm tạo ra có giá trị kinh tế chưa cao. Vì vậy, việc tìm giải pháp xử lý hiệu quả xỉ thải nguy hại phát sinh trong quá trình sản xuất phốt pho vàng, tạo sản phẩm có giá trị kinh tế, công nghệ đơn giản là cần thiết.

Bên cạnh đó, trong xỉ thải phốt pho Lào Cai có chứa lượng silic hữu hiệu lên đến 10%. Việc làm giàu silic hữu hiệu trong xỉ thải để làm nguyên liệu sản xuất phân bón là khả thi và thực tiễn. Silic là một trong những nguyên tố dinh dưỡng thiết yếu, giữ vai trò quan trọng và không thể thiếu đối với cây trồng, giúp cho rễ, thân, lá cứng cáp, chống lại sự xâm nhiễm của tác nhân gây bệnh và thực vật ký sinh, chống lại sự mất nước qua thành biểu bì lá [16]. Vì vậy, nghiên cứu làm giàu silic hữu hiệu trong xỉ thải để chế tạo phân bón sẽ giải quyết vấn đề ô nhiễm chất thải công nghiệp, tạo nguồn nguyên liệu mới trong sản xuất phân bón và tạo sản phẩm phân bón có giá trị cao.

Trong nghiên cứu này, để làm giàu silic hữu hiệu, phương pháp được ưu tiên là phương pháp hòa tách các oxit CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O,... có trong xỉ thải phốt pho bằng dung dịch HCl hoặc dung dịch NaOH ở các điều kiện khảo sát. Sản phẩm nhóm nghiên cứu thực hiện thu được ở dạng rắn, là loại chế phẩm có chứa hàm lượng silic hữu hiệu cao, đánh giá chất lượng ứng dụng làm nguyên liệu sản xuất phân bón trung lượng.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT/PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**2.1. Hóa chất, nguyên liệu**

HCl (36%), NaOH 99% dạng rắn.

Xỉ thải phốt pho được lấy tại bãi chứa xỉ thải của Công ty Cổ phần Phốt pho Việt Nam (PP1), Công ty Cổ phần Hóa chất Đức Giang Lào Cai (PP2), Công ty TNHH Phốt pho vàng Việt Nam (PP3), Công ty Cổ phần Nam Tiến (PP4) để đánh giá hàm lượng silic hữu hiệu và lựa chọn nguyên liệu cho nghiên cứu. Phương pháp lấy mẫu, bảo quản chất thải rắn được thực hiện theo TCVN 9466:2012 (ASTM D6009-12) lấy mẫu chất thải rắn từ bãi chứa và đưa về phòng thí nghiệm.

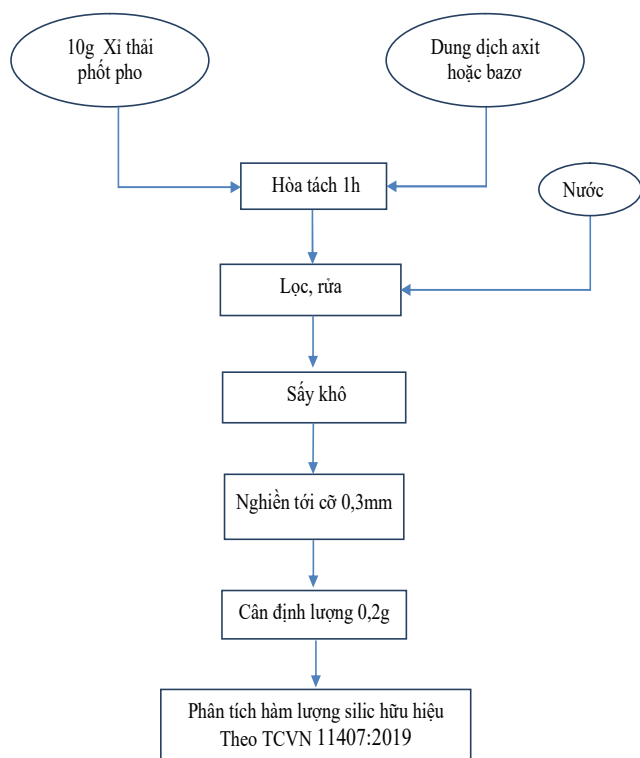
2.2. Xác định hàm lượng silic hữu hiệu có trong một số mẫu xỉ thải phốt pho

Chuẩn bị mẫu thử theo TCVN 10683:201, sau đó nghiền mẫu cho đến khi lọt qua lỗ sàng 0,3 mm. Phân tích hàm lượng silic hữu hiệu có trong xỉ thải rắn theo TCVN 11407:2019. Từ kết quả phân tích, lựa chọn xỉ thải nguyên liệu của nghiên cứu.

2.3. Khảo sát ảnh hưởng của một số yếu tố đến quá trình làm giàu silic hữu hiệu trong xỉ thải

Nhằm tối ưu điều kiện hòa tách các tạp chất trong xỉ thải phốt pho để làm giàu silic hữu hiệu, các yếu tố: pH của dung dịch axit hoặc bazơ, tỷ lệ rắn:lỏng, nhiệt độ hòa tách được tiến hành khảo sát. Trong đó, pH của các dung dịch khảo sát có nồng độ axit, bazơ từ đặc đến loãng dần, nhiệt độ khảo sát từ nhiệt độ thường đến nhiệt độ dung dịch bị bay hơi.

Quá trình hòa tách các tạp chất có trong xỉ thải tiến hành theo sơ đồ thí nghiệm được mô tả ở hình 1.



Hình 1. Sơ đồ thí nghiệm

Thông số thí nghiệm khảo sát ảnh hưởng của các yếu tố khi hòa tách tạp chất trong môi trường axit được đưa ra trong bảng 1, khi hòa tách trong môi trường bazơ được đưa ra ở bảng 2.

Bảng 1. Thông số khảo sát trong môi trường axit

Thí nghiệm khảo sát trong môi trường axit	pH	Tỷ lệ rắn:lỏng (g/ml)	Nhiệt độ (°C)
Ảnh hưởng của pH	0,1; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3	1:15	30
Ảnh hưởng tỷ lệ rắn:lỏng	1	1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25	30
Nhiệt độ	1	1:15	30; 40; 60; 75; 85

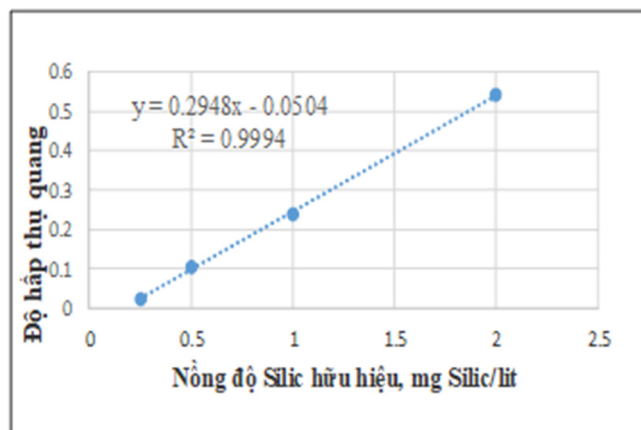
Bảng 2. Thông số khảo sát trong môi trường bazơ

Thí nghiệm khảo sát trong môi trường bazơ	pH	Tỷ lệ rắn:lỏng (g/ml)	Nhiệt độ (°C)
Ảnh hưởng của pH	12; 12,5; 13; 13,5; 14	1:15	30
Ảnh hưởng tỷ lệ rắn:lỏng	13	1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25	30
Nhiệt độ	13	1:20	30; 40; 55; 65; 75; 85; 95

2.4. Phân tích hàm lượng silic hữu hiệu trong xỉ thải

Hàm lượng silic hữu hiệu xác định theo TCVN 11407:2019.

Theo phương pháp này, dãy dung dịch chuẩn làm việc để xây dựng đường chuẩn có nồng độ silic hữu hiệu 0,25mgSi/L; 0,5mgSi/L; 1mgSi/L; 2mgSi/L. Chiết silic hữu hiệu trong mẫu thử nghiệm bằng dung dịch natri cacbonat và amoni nitrat. Dịch chiết được xử lý bằng các axit flohydric, boric và molybdic và điều chỉnh pH từ 1,7 ÷ 1,8. Axit molipdisilixic được tách bằng butanol, được khử thành phức đa dị vòng có màu xanh và xác định bằng máy quang phổ ở bước sóng 635nm.



Hình 2. Đường chuẩn silic hữu hiệu

Xây dựng phương trình đường chuẩn silic hữu hiệu (hình 2) và sử dụng để xác định hàm lượng silic có trong xỉ thải.

Hàm lượng silic hữu hiệu, tính bằng phần trăm khối lượng SiO_2 , theo công thức:

$$\% \text{SiO}_2 = \frac{(A - B) \times 200}{m \times 10^4} \times k \times 2,14$$

Trong đó:

A là nồng độ silic đo được trong mẫu thử (mg/l)

B là nồng độ silic đo được trong mẫu trắng (mg/l)

m là khối lượng mẫu cân (g)

k là hệ số pha loãng
200 là tổng thể tích mẫu thử (ml)
2,14 là hệ số quy đổi từ Si sang SiO₂
10⁴ là hệ số chuyển đổi từ mg/kg sang đơn vị %

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

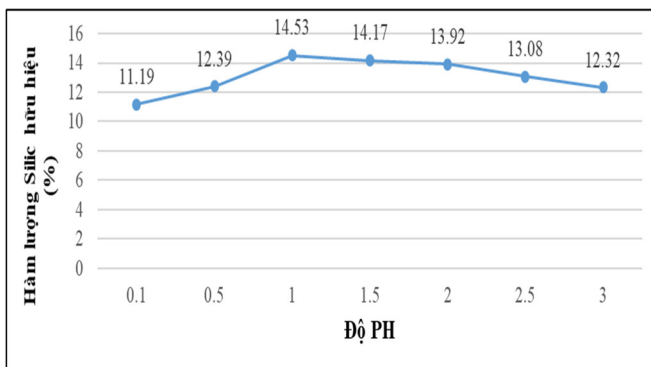
3.1. Hàm lượng silic hữu hiệu trong một số mẫu xỉ thải phốt pho

Bảng 3. Kết quả đo hàm lượng silic hữu hiệu trong mẫu xỉ nguyên bản

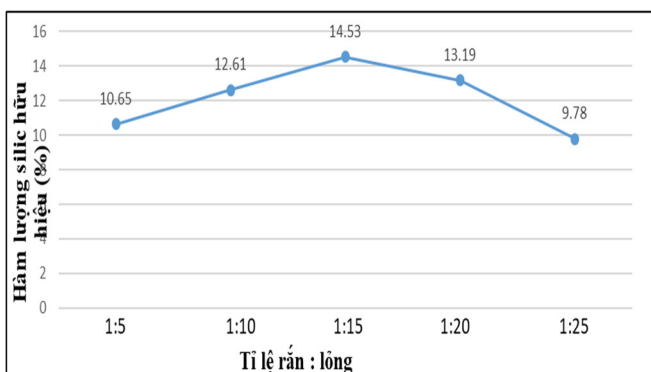
Mẫu xỉ	A	C (mg/l)	% SiO ₂ hữu hiệu
PP1	0,363	1,402	7,5
PP2	0,469	1,762	9,43
PP3	0,511	1,904	10,19
PP4	0,474	1,779	9,52

Kết quả bảng 3 cho thấy, hàm lượng silic hữu hiệu mà cây trồng có thể hấp thụ được trong các mẫu xỉ đều lớn hơn 5%. Theo QCVN 01-189:2019/BNNPTNN - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng phân bón thì các mẫu xỉ này đều có tiềm năng trở thành phân bón trung lượng. Mẫu xỉ PP3 có tiềm năng lớn nhất với hàm lượng silic hữu hiệu 10,19% được chọn làm nguyên liệu cho nghiên cứu.

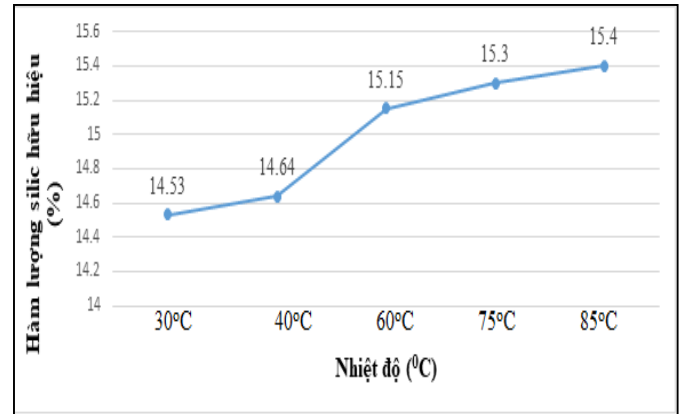
3.2. Ảnh hưởng của một số yếu tố đến quá trình làm giàu silic hữu hiệu trong xỉ thải bằng dung dịch axit HCl



Hình 3. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của pH dung dịch HCl



Hình 4. Kết quả khảo sát ảnh hưởng tỷ lệ rắn/lỏng



Hình 5. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ

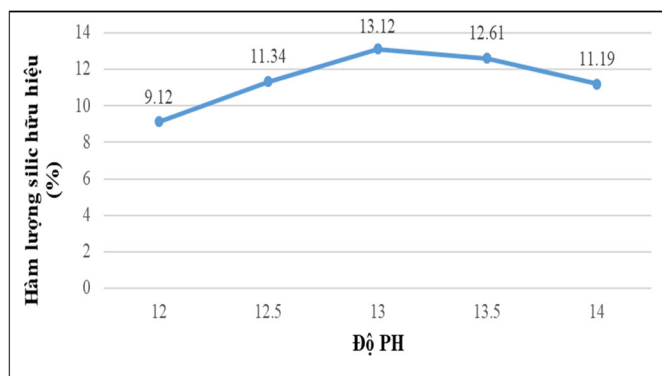
Kết quả hình 3 và 4 cho thấy, pH của dung dịch HCl bằng 1, tỷ lệ rắn:lỏng bằng 1:20 g/ml là thích hợp nhất để làm giàu silic hữu hiệu trong xỉ thải. Điều này có thể do khi tăng pH của dung dịch HCl làm nồng độ [H⁺] trong dung dịch giảm hoặc khi giảm tỷ lệ rắn:lỏng làm giảm lượng axit, do đó làm giảm khả năng loại bỏ các tạp chất CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O,... có trong xỉ, dẫn tới khả năng làm giàu silic hữu hiệu giảm. Nhưng khi pH dung dịch HCl giảm làm nồng độ [H⁺] tăng, hoặc khi tăng tỷ lệ rắn:lỏng làm tăng lượng axit, dung dịch HCl không chỉ loại bỏ các tạp chất khác mà còn hòa tan một phần silic hữu hiệu trong pha rắn cũng dẫn tới hiệu quả làm giàu silic hữu hiệu trong sản phẩm thu được giảm.

Kết quả khảo sát nhiệt độ (hình 5) cho thấy, khi tăng nhiệt độ hỗn hợp phản ứng làm tăng khả năng hòa tan để loại bỏ các tạp chất trong pha rắn. Song nếu tăng nhiệt độ lớn hơn 90°C khi đó dung dịch HCl bị bay hơi. Vì vậy để dễ dàng áp dụng vào thực tế sản xuất nhiệt độ phản ứng ở 85°C là thích hợp nhất.

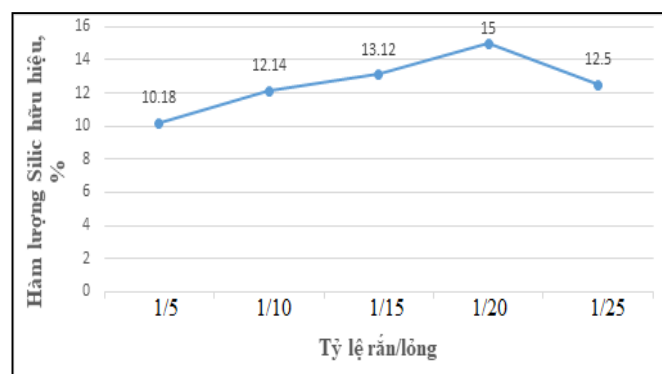
3.3. Ảnh hưởng của một số yếu tố đến quá trình làm giàu silic hữu hiệu trong xỉ thải bằng dung dịch bazơ

Kết quả khảo sát khi tăng pH của dung dịch NaOH làm nồng độ [OH⁻] trong dung dịch tăng hoặc khi tăng tỷ lệ rắn:lỏng làm lượng NaOH tăng, dung dịch NaOH không chỉ loại bỏ các tạp chất mà còn hòa tan một phần silic hữu hiệu trong pha rắn, dẫn tới hàm lượng silic hữu hiệu trong phần rắn thu được giảm. Khi pH dung dịch NaOH giảm làm nồng độ [OH⁻] giảm hoặc khi giảm tỷ lệ rắn:lỏng tăng, lượng NaOH giảm làm giảm khả năng loại bỏ các tạp chất CaO, Al₂O₃, K₂O, Na₂O,... có trong xỉ, dẫn tới hàm lượng silic hữu hiệu trong phần rắn còn lại giảm.

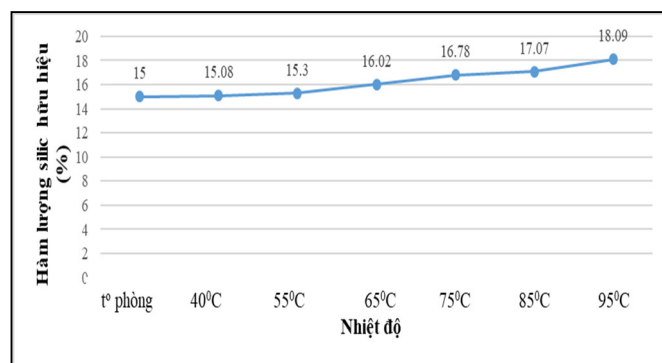
Sử dụng dung dịch NaOH có pH = 13, tỷ lệ rắn:lỏng = 1:20 g/ml thích hợp nhất cho việc làm giàu silic hữu hiệu trong xỉ thải bằng dung dịch NaOH.



Hình 6. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của pH dung dịch NaOH



Hình 7. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ rắn/lỏng



Hình 8. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ

Nghiên cứu còn cho thấy khi tăng nhiệt làm tăng khả năng hòa tan để loại bỏ các tạp chất trong pha rắn. Song nếu tăng nhiệt độ lớn hơn 100°C dung dịch bị bay hơi vì vậy nhiệt độ phản ứng 95°C là thích hợp nhất khi làm giàu bằng NaOH.

Phương pháp hòa tách loại bỏ tạp chất bằng NaOH làm tăng hàm lượng silic hữu hiệu lên đến 18,09%, trong khi dùng HCl hàm lượng này chỉ đạt 15,4%. Dung dịch NaOH khó bay hơi hơn so với dung dịch HCl, nên có thể tiến hành quá trình hòa tách ở nhiệt độ cao hơn, với lượng dung dịch nhiều hơn, vì vậy mà khả năng hòa tách các tạp chất tốt hơn so với dung dịch HCl.

Để làm rõ hiệu quả xử lý xỉ thải bằng dung dịch NaOH ứng dụng trong sản xuất phân bón, tiến hành phân tích

thành phần hóa học của xỉ thải ban đầu và chất rắn thu được sau khi hòa tách các tạp chất bằng NaOH ở điều kiện thích hợp nhất để so sánh.

Bảng 4. Hàm lượng một số chỉ tiêu trong xỉ thải ban đầu và sau khi xử lý

Thành phần	Phương pháp thực hiện	Xỉ thải, %	Xỉ thải sau xử lý, %
SiO ₂	TCVN 7131 : 2002	38	57,32
SiO _{2hh}	TCVN 11407:2019	10,19	18,09
Fe ₂ O ₃	TCVN 7131 : 2002	0,14	0,18
Al ₂ O ₃	TCVN 7131 : 2002	2,61	1,02
CaO	TCVN 7131 : 2002	47,04	31,45
CaO _{hh}	TCVN 12598:2018	-	5,36
MgO	TCVN 7131 : 2002	1,91	2,1
K ₂ O	TCVN 7131 : 2002	0,55	0,13
Na ₂ O	TCVN 7131 : 2002	0,86	0,26
P ₂ O ₅	TCVN 180:1986	0,2	0,11

Số liệu bảng 4 cho thấy, sau khi làm giàu silic hữu hiệu bằng NaOH, chất rắn thu được có một số thành phần có hàm lượng giảm như CaO, Al₂O₃, K₂O, Na₂O, trong khi có một số thành phần khác có hàm lượng tăng như Fe₂O₃, MgO và SiO₂, SiO_{2hh}, trong đó hàm lượng silic hữu hiệu tăng mạnh, từ 10,19% sau khi làm giàu tăng đến 18,09%. Đặc biệt tạp chất nhôm độc hại với cây trồng giảm đáng kể, trong khi các yếu tố vi lượng như sắt, và một số yếu tố trung lượng như magiê, canxi vẫn được giữ lại.

Mặt khác, so sánh với Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng phân bón - QCVN 01-189:2019/BNNPTNN, chỉ tiêu chất lượng chính đối với các loại phân bón trung lượng bón rễ có hàm lượng mỗi nguyên tố dinh dưỡng trung lượng (Ca, Mg, S, SiO_{2hh}) lớn hơn hoặc bằng 5%, và tổng hàm lượng từ hai đến bốn nguyên tố dinh dưỡng trung lượng lớn hơn hoặc bằng 20% thì sản phẩm thu được từ quá trình làm giàu silic hữu hiệu có tổng hàm lượng silic hữu hiệu và canxi hữu hiệu 23,45% đạt chỉ tiêu phân bón trung lượng.

Xử lý xỉ thải bằng dung dịch NaOH không chỉ hiệu quả cao trong việc làm giàu silic hữu hiệu, giữ lại các thành phần phân bón trung lượng, vi lượng tốt cho cây trồng, hạn chế ảnh hưởng của các yếu tố độc hại, tạo ra phân bón trung lượng chất lượng tốt mà công nghệ sản xuất còn đơn giản, dễ tiến hành, quá trình hòa tách tạp chất ở áp suất thường, dung dịch sau khi hòa tách có thể tuần hoàn tái sử dụng. Vì vậy, việc áp dụng kết quả nghiên cứu vào thực tiễn hoàn toàn khả thi.

4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Việc nghiên cứu làm giàu silic hữu hiệu trong xỉ thải làm phân bón có nhiều triển vọng phát triển thực tế. Trong nghiên cứu này, quá trình hòa tách để loại bỏ một số tạp chất đã làm giàu silic hữu hiệu trong xỉ thải từ 10,19% tăng lên 15,4% trong môi trường axit HCl và đạt giá trị 18,09% trong dung dịch NaOH, có tổng hàm lượng silic hữu hiệu và canxi hữu hiệu 23,45%. Các thông số trên cho thấy khả năng làm phân bón của sản phẩm sau khi xử lý có thể đáp ứng tiêu chuẩn phân bón trung lượng theo QCVN 01-189:2019/BNNPTNN. Kết quả nghiên cứu là bước đầu cho việc chế tạo phân bón trung lượng dạng rắn, có ý nghĩa thực tiễn, có tính khả thi, giúp cho việc giải quyết vấn đề ô nhiễm chất thải công nghiệp, tạo nguồn nguyên liệu mới trong sản xuất phân bón, tạo sản phẩm có giá trị cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Báo cáo đánh giá tác động môi trường Dự án đầu tư khu liên hợp sản xuất phốt pho vàng, Nhà máy công suất 10.000 tấn/năm thuộc Công ty TNHH Đông Nam Á Lào Cai (2011).
- [2]. Báo cáo hiện trạng và giải pháp về công tác bảo vệ môi trường Khu công nghiệp Tăng Loỏng, huyện Bảo Thắng, tỉnh Lào Cai (2017).
- [3]. Báo cáo đánh giá tác động môi trường của Công ty cổ phần phốt pho vàng Lào Cai (2010).
- [4]. Báo cáo đánh giá tác động môi trường (ĐTM) của Công ty Cổ phần Nam Tiến Lào Cai (2012).
- [5]. Báo cáo về việc chấp hành các quy định pháp luật về bảo vệ môi trường của các Doanh nghiệp đầu tư trong khu Công nghiệp Tăng Loỏng, huyện Bảo Thắng, tỉnh Lào Cai (2017).
- [6]. Na Zhang, Xiaoming Li, et al., "Phosphorous Slag Regarding Occurrence State of Phosphorus in Dicalcium Silicate," *Materials*, 15(21), 7450, 2022.
- [7]. Min Pang, Zhenping Sun, Ming Chen, Jianlei Lang, Jiayan Dong, Xu Tian, Jiliang Sun, "Influence of Phosphorus Slag on Physical and Mechanical Properties of Cement Mortars," *Materials*, 13, 2390, 2020.
- [8]. Kuisheng Liu, Yong Cui, "Effects of Different Content of Phosphorus Slag Composite Concrete: Heat Evolution, Sulphate-Corrosion Resistance and Volume," *Crystals* 11(11), 1293, 2021.
- [9]. Cuihong Hou, Luyi Li, Lishuang Hou, Bingbing Liu, Shouyu Gu, Yuan Yao, Haobin Wang, "Sustainable and Clean Utilization of Yellow Phosphorus Slag (YPS): Activation and Preparation of Granular Rice Fertilizer," *Materials* (Basel), 14(8):2080, 2021.
- [10]. Phạm Thế Chinh, *Nghiên cứu tái sử dụng xỉ lò phốt pho vàng*. Đề tài cấp Tổng công ty Hóa chất Việt Nam, 2007.

[11]. Quản Đình Khoa, Vũ Đình Ngọ và cộng sự, "Nghiên cứu, sử dụng xỉ phốt pho vàng Lào Cai làm nguyên liệu sản xuất gạch ceramic," *Tạp chí khoa học và Công nghệ, Đại học Công nghệ Việt Trì*, 01, 10-15, 2014.

[12]. Jiang X., Y. Y. Z. Hu, "Development of non-autoclaved aerated concrete by alkali activated phosphorus slag," *Advanced Materials Research*, 250-253, 1147-1152, 2011.

[13]. Kurama H., I.B. Topçu, C. Karakurt, "Properties of the autoclaved aerated concrete produced from coal bottom ash," *Journal of Materials Processing Technology*, 209(2), 767-773, 2009.

[14]. Viện kỹ thuật nhiệt đới, *Nghiên cứu chế biến xỉ phốt pho làm nguyên liệu cho ngành vật liệu xây dựng và làm phụ gia - bột độn cho sơn, nhựa, cao su chất dẻo*. Đề tài hợp tác với UBND tỉnh Lào Cai, 2018.

[15]. Phạm Thị Mai Hương và cộng sự, *Nghiên cứu xử lý xỉ thải từ sản xuất phốt pho vàng (Lào Cai) làm vật liệu không nung, kết cấu nền ứng dụng trong xây dựng, đường giao thông bằng chất kết dính vô cơ không sử dụng xi măng*. Báo cáo Đề tài cấp nhà nước mã số KC08.32/16-20.

[16]. Vũ Văn Chiến, Tống Văn Giang, "Nghiên cứu ảnh hưởng của phương pháp bón phân silic silicon dioxide đến sinh trưởng, phát triển và năng suất của giống lúa HĐCM tại huyện Nga Sơn, tỉnh Thanh Hóa," *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Hồng Đức*, 59, 2022.

AUTHORS INFORMATION

**Phan Thi Quyen¹, Phạm Thị Mai Hương¹, Nguyen Van Hoan¹,
Giang Thi Huong²**

¹Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry, Vietnam

²Kenmec Vietnam Company Limited, Vietnam