

XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ THỰC NGHIỆM QUÁ TRÌNH GIẢI PHÓNG URÊ CỦA PHÂN URÊ THÔNG MINH

NGUYỄN HỮU TRUNG^{1,4}, ĐỖ TRẦN HỒNG HẠT¹, NGUYỄN THỊ HÀ², TRẦN NGHỊ³,
TRỊNH VĂN DŨNG⁴

¹ Khoa Công nghệ Hóa học, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh;

² Cơ sở Thanh Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh;

³ Phòng Nghiên cứu và Phát triển, Tổng Công ty Phân bón và Hóa chất Dầu khí Việt Nam;

⁴ Khoa Kỹ thuật Hóa học, Trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh.

nguyenhuu trung@iuh.edu.vn

Tóm tắt. Phân urê thông minh (SUF) có cấu tạo gồm lớp màng bọc bên ngoài nên giúp kiểm soát quá trình giải phóng và duy trì hàm lượng dinh dưỡng phù hợp với nhu cầu cây trồng. Quá trình giải phóng chất dinh dưỡng có ý nghĩa quan trọng cho việc đánh giá chất lượng và tính chất của sản phẩm SUF. Mục tiêu nghiên cứu nhằm xác định cơ chế và mô hình giải phóng chất dinh dưỡng của phân SUF, từ đó khảo sát và tính toán các thông số thực nghiệm của quá trình giải phóng. SUF được sản xuất bằng hệ thống thiết bị bọc đĩa quay với màng bọc được làm từ vật liệu polyme phân hủy sinh học, thân thiện môi trường. Các thông số kích thước hạt và độ dày màng bọc được xác định bằng phương pháp phân tích hình ảnh trên phần mềm MATLAB. Quá trình giải phóng urê được đo bằng phương pháp phân tích quang phổ. Kết quả của nghiên cứu đã cho thấy cơ chế và mô hình giải phóng của SUF là mô hình khuếch tán màng. Các thông số quá trình như: áp suất thẩm thấu, hệ số khuếch tán của màng, thời gian trễ, thời gian ổn định và tỉ lệ giải phóng urê ổn định cũng được xác định. Đây là các thông số quan trọng để thiết lập mô hình giải phóng chất dinh dưỡng đảm bảo tương thích với nhu cầu của cây trồng.

Từ khóa. Công nghệ bọc hạt, mô hình giải phóng chất dinh dưỡng, quá trình khuếch tán, phân tích hình ảnh, phân urê bọc.

DETERMINE THE EXPERIMENTAL PARAMETERS OF UREA RELEASE FROM SMART UREA FERTILIZER

Abstract. Smart urea fertilizers (SUF), in which a coating layer (encapsulation) prevents the direct interaction of the nutrients with the environment in order to regulate the release of nutrients and maintain nutrient content at an appropriate level with the crop. The nutrients release is important for evaluating the quality and properties of the products. The aim of the study is to determine the mechanism and nutrient release model of SUF, from which to survey and calculate important experimental parameters of release process. SUFs are produced by pan coating systems with the coating, which is made from environmentally friendly, biodegradable polymer materials. Particle size and the coating thickness were determined by image analysis method using MATLAB software, urea release was measured by a spectrophotometric method. The results of the study showed that the mechanism and release model of SUF is the membrane diffusion model. Process parameters such as: water permeability and diffusion coefficient of membrane, delay time, stability time and urea release rate are also determined. These are important parameters to establish a nutrient release model that is compatible with crop needs.

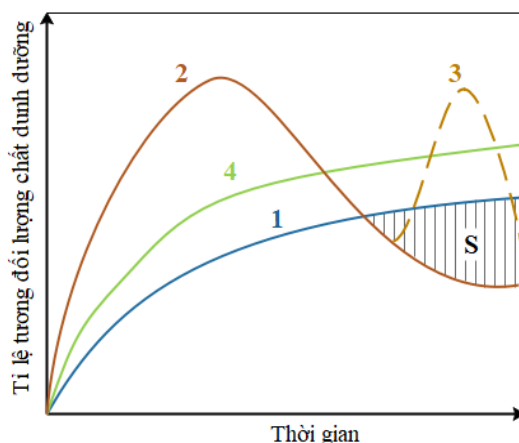
Keyword. Coating technology, diffusion process, image analysis, urea release, urea coated fertilizer.

1 GIỚI THIỆU

Với những lợi ích về kinh tế, môi trường, nguyên liệu sử dụng và sức khỏe, phân bón hiệu suất cao đóng vai trò ngày càng quan trọng trong sản xuất nông nghiệp hiện đại. Hiệu suất sử dụng phân bón hiệu suất cao được cải thiện đáng kể so với phân bón thông thường, giúp tiết kiệm nguồn tài nguyên, lượng phân bón sử dụng và giảm tác động môi trường [1–3]. Trong đó, phân bón giải phóng có kiểm soát (CRF), còn được gọi là phân thông minh (SF) [4] được sản xuất dựa trên phương pháp chủ yếu là bọc một lớp màng bảo vệ lên phân thông thường, lớp màng này thường được làm từ các vật liệu không tan, bán thấm, hoặc không thấm nước nên kiểm soát được khả năng thẩm thấu của nước, tốc độ giải phóng chất dinh dưỡng, đảm bảo

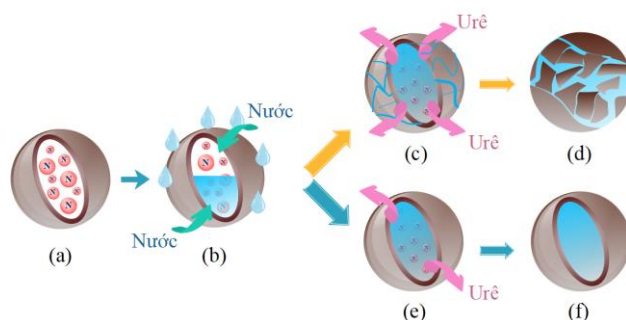
đáp ứng đầy đủ và phù hợp lượng chất dinh dưỡng cần thiết theo nhu cầu cây trồng [5]. Ngoài ra, công nghệ chính trong quy trình sản xuất SF là công nghệ bọc hạt. Cho nên, nhà sản xuất không cần thay đổi công nghệ sản xuất hiện tại mà chỉ cần bổ sung thêm công nghệ bọc hạt cho các dây chuyền sản xuất hiện có, giảm chi phí đầu tư và sản xuất [6].

Năm 1999, Dave và cộng sự [7] đã công bố một sơ đồ mô tả mối quan hệ giữa hàm lượng dinh dưỡng do phân bón cung cấp và nhu cầu dinh dưỡng cho sự phát triển của cây trồng trong một vụ mùa như *Hình 1*. Đường cong (2) đại diện cho mô hình cung cấp chất dinh dưỡng của sản phẩm phân bón thông thường trong khi yêu cầu thực tế được thể hiện ở đường cong (1). Đồ thị cho thấy có sự dư thừa dinh dưỡng ở giai đoạn đầu, nhưng thiếu hụt ở giai đoạn sau (khu vực bóng mờ S), vì vậy cần phải bổ sung một lượng chất dinh dưỡng từ phân bón như đường cong (3). Điều này giúp khắc phục sự thiếu hụt chất dinh dưỡng nhưng lượng phân bón sử dụng và dư thừa tăng lên. Đường cong mô tả sự giải phóng chất dinh dưỡng của SF, được thiết kế phù hợp, sẽ tuân theo mô hình như đường cong (4). Trên thực tế, với một sản phẩm SF lý tưởng, đường cong (4) sẽ chồng lên trên đường cong (1) và tránh các vùng thừa hoặc thiếu. Vì vậy, việc xác định cơ chế, mô hình và thông số quá trình giải phóng chất dinh dưỡng của SF là rất cần thiết để đảm bảo chất lượng sản phẩm, đáp ứng phù hợp với nhu cầu cây trồng.



Hình 1. Sơ đồ mô tả mối quan hệ tương đối của phân bón với cây trồng, trong đó (1) nhu cầu cây trồng, (2) phân bón thông thường, (3) bón hai lần với phân thông thường và (4) SF.

Cơ chế giải phóng urê đầu tiên được Jarrell và Boersma [8], [9] phát triển cho phân urê bọc lưu huỳnh trong môi trường đất. Quá trình này được xem là quá trình một chiều, sự ảnh hưởng của bán kính hạt, độ dày lớp màng không đáng kể, yếu tố chính kiểm soát sự giải phóng chất dinh dưỡng là bề mặt lỗ xốp và sự vỡ của màng. Một cơ chế giải phóng chất dinh dưỡng khác đã được phát triển để áp dụng cho các loại CRF với vật liệu polyme siêu hấp thụ. Trong đó, khả năng trương nở, giữ nước và chất dinh dưỡng của lớp màng, độ dày tới hạn là những yếu tố quyết định đến mô hình giải phóng chất dinh dưỡng của chúng [10]. Các cơ chế này không phù hợp với những trường hợp màng bọc polyme, màng bọc hầu như không chứa lỗ xốp, không trương nở hoặc bị phá vỡ, và các cơ chế này cũng không thể giải thích được sự xuất hiện khoảng thời gian trễ, ảnh hưởng của tính chất và cấu trúc của lớp màng đến quá trình giải phóng chất dinh dưỡng. Năm 2000, Shaviv [11] cung cấp một cơ chế khá toàn diện quá trình giải phóng chất dinh dưỡng của phân urê giải phóng có kiểm soát (CRUF) với màng bọc polyme như *Hình 2*. Giai đoạn đầu là sự xâm nhập của nước qua lớp màng bọc và hòa tan một phần hạt rắn (*Hình 2b*). Sau đó, có hai trường hợp xảy ra: nếu chênh lệch áp suất hai bên lớp màng vượt quá độ bền liên kết của màng, lớp màng bị nứt, vỡ ra và toàn bộ chất dinh dưỡng giải phóng nhanh chóng (*Hình 2c và d*), do đó được gọi là cơ chế thất bại hay cơ chế phá vỡ; nếu màng chống lại được sự tác động của áp suất, chất dinh dưỡng sẽ được giải phóng theo cơ chế khuếch tán qua màng (*Hình 2e và f*) được kiểm soát bởi gradient nồng độ, và tuân theo định luật khuếch tán Fick.



Hình 2. Cơ chế giải phóng chất dinh dưỡng qua màng bọc: (a) CRUF, (b) thấm thấu nước, (c) nứt gãy, (d) phá vỡ màng, (e) khuếch tán urê qua màng và (f) lớp màng bọc

Tương tự Shaviv, Du và cộng sự đã phát triển một mô hình toán dự đoán tốc độ khuếch tán chất dinh dưỡng của phân bọc polyme bằng phương pháp số và phân tích chuỗi Fourier [12], phương pháp hồi quy tổng quát mạng neuron [13]. Năm 2008, Basu và Kumar [14] đã biến đổi phương trình vi phân riêng phần thành phương trình vi phân toàn phần bằng cách giả định quá trình khuếch tán là khuếch tán phân tử và làm việc ổn định. Gần đây, nhiều tác giả đã sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để dự đoán, đánh giá, tính toán và mô phỏng quá trình khuếch tán chất dinh dưỡng qua màng dựa trên định luật Fick II [15–18]. Tuy nhiên, thời gian tính toán lớn, kết quả tính toán chưa được đánh giá đảm bảo sự tương thích, phù hợp với thực nghiệm [19].

Tương tự như nhiều nghiên cứu trước đây về phân bón thông minh, nghiên cứu này cũng nhằm phát triển các sản phẩm SF đáp ứng được nhu cầu dinh dưỡng của cây trồng, đảm bảo đúng thời điểm, vừa đủ và hiệu quả. Mục tiêu của nghiên cứu là tiến hành đánh giá và lựa chọn một cơ chế giải phóng chất dinh dưỡng phù hợp với sản phẩm phân bón thông minh hay phân bón giải phóng có kiểm soát đã được sản xuất từ kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả [20]. Sau đó thiết lập mô hình toán quá trình giải phóng chất dinh dưỡng nhằm mô tả đầy đủ các giai đoạn, các thông số quá trình và tương thích với thực nghiệm. Trên cơ sở các số liệu, điều kiện và kết quả thực nghiệm, nghiên cứu cũng tiến hành đánh giá và điều chỉnh mô hình giải phóng dinh dưỡng, tiến tới xác định các thông số của mô hình bằng thực nghiệm.

2 THỰC NGHIỆM

2.1 Hóa chất

Hóa chất tổng hợp dung dịch bọc gồm: tinh bột biến tính photphát (PS, E1412, Nam Bảo Tín, Việt Nam); poly vinyl alcohol (PVA, PCT1316, 99%, HiMedia, Ấn Độ); Natri tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 99,5%, Xillong, Trung Quốc), glycerol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$, 99%, Guangdong, Trung Quốc); poly acrylic axit (nhũ tương, PAA, 2030, Nuplex Resins, Việt Nam). Hóa chất xác định hàm lượng urê bao gồm: urê tinh khiết (sử dụng cho phân tích, Guangdong, Trung), *p*-dimethyl aminobenzaldehyde (*p* – DMAB, GRM1425, 99%, HiMedia, Ấn Độ). Nguyên liệu là urê hạt đọt, sản phẩm thương mại của Công ty Phân bón Dầu khí Cà Mau (46,3% N).

2.2 Phương pháp thực nghiệm

2.2.1 Sản xuất phân urê thông minh

Dung dịch polyme dùng làm vật liệu bọc là hỗn hợp polyme được tổng hợp từ các nguyên liệu có khả năng phân hủy sinh học như: tinh bột biến tính photphát, PVA, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ và PAA. Dung dịch được tổng hợp theo quy trình đã được công bố bởi các tác giả năm 2019 [20], được đo và điều chỉnh độ nhớt bằng nhớt kế (cốc đo) Prona RV2 (lỗ 4 mm), sức căng bề mặt bằng thiết bị CSC – DuNOUY, vòng duNouy 60 mm, khoảng đo từ -10 đến 100 dynes/cm, sai số $\pm 0,05$ dynes/cm, thuộc Khoa Công nghệ Hóa học, Trường Đại học Công nghiệp TP.HCM. Dung dịch polyme sau đó được đưa vào hệ thống phun tự động Prona để thực hiện quá trình phun tạo màng bọc, với lưu lượng phun 2,0 mL/phút. Thông số làm việc quá trình phun đã được thiết lập như trong báo cáo bởi các tác giả năm 2020 [21].

Quá trình bọc được tiến hành trong hệ thống thiết bị bọc đĩa quay có đường kính 0,5 m. Ban đầu, cho 100 g hạt phân urê nguyên liệu đã được phân loại bằng hệ thống rây RETSCH (Đức) có kích thước lỗ từ 2,8 đến 4,75mm vào thiết bị bọc. Đĩa quay được điều chỉnh ở tốc độ 60 vòng/phút, với góc nghiêng 50° . Không khí sấy có nhiệt độ 70°C và tốc độ 7,8 m/s. Cuối cùng, sản phẩm sau bọc được sấy ở 70°C trong 15 phút.

2.2.2 Phân tích hình ảnh và xác định kích thước hạt

Hình ảnh của nguyên liệu (phân urê chưa bọc) và sản phẩm được ghi bằng máy ảnh Sony RX100 Mark V với độ phân giải 5472 pixels, cùng với vật chuẩn có kích thước xác định để tính toán hệ số chuyển đổi kích thước. Các hình ảnh này được đưa vào phần mềm MATLAB và tiến hành phân tích hình ảnh để xác định kích thước hạt [22]. Các thông số của khối hạt như hàm phân bố kích thước hạt, độ lệch chuẩn cũng được xác định, đường kính trung bình Sauter (SMD) của hỗn hợp hạt được tính toán như phương trình (1) [23].

$$SMD = \frac{\sum(n_i \cdot d_i^3)}{\sum(n_i \cdot d_i^2)} = \frac{1}{\sum\left(\frac{x_i}{d_i}\right)} \quad (1)$$

Trong đó, n_i , d_i và x_i lần lượt là số lượng, đường kính và phần khối lượng hạt.

2.2.3 Xác định hàm lượng urê hòa tan

Hàm lượng urê hòa tan được xác định bằng phương pháp quang phổ [24] trên máy quang phổ GENESYS 20 (Thermo Scientific, Mỹ). Lấy 0,50 g mẫu SUF cho vào bình tam giác chứa 200 mL nước tinh khiết ở 25°C. Ứng với các khoảng thời gian đánh dấu, tiến hành lấy 2 mL mẫu trộn với 2 mL thuốc thử đem đi xác định hàm lượng urê hòa tan. Tỷ lệ giải phóng urê (g_i) được tính toán theo phương trình (2).

$$g_i = \frac{C_i}{C_*} \quad (2)$$

Trong đó, C_i là hàm lượng urê của mẫu ở các thời điểm đánh dấu, C_* là hàm lượng urê tổng, được xác định bằng cách lấy 0,50 g loại phân trên cất hạt và hòa tan với 200 mL nước tinh khiết, khuấy với tốc độ 200 vòng/phút trong 30 phút để hòa tan hoàn toàn. Lấy 2 mL dung dịch này trộn với 2 mL thuốc thử đem xác định hàm lượng urê hòa tan.

2.2.4 Mô hình thực nghiệm quá trình giải phóng chất dinh dưỡng qua màng

Mô hình toán học mô tả tỉ lệ giải phóng chất dinh dưỡng ($g(r, l, t)$) của hạt hình cầu qua màng bọc polyme được mô tả như phương trình (3) [12].

$$g(r, l, t) = \begin{cases} 0, & t \leq t' \\ \frac{3}{\rho_s r} \left(\frac{D(t-t')}{l} C_s - \frac{l}{6} \right), & t' < t \leq t^* \\ 1 - \frac{C_s}{\rho_s} \exp \left[-\frac{3D}{r l} (t - t^*) \right], & t \geq t^* \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó, D là hệ số khuếch tán của màng ($\text{m}^2/\text{phút}$), C_s là nồng độ bão hòa của urê trong nước (kg/m^3), ρ_s là khối lượng riêng của phân urê nguyên liệu (kg/m^3), r là bán kính hạt (m), l là chiều dày màng (m), t' là thời gian trễ (phút) và t^* là thời gian ổn định (phút) được tính theo phương trình (4) và (5) [11].

$$t' = \frac{\gamma r l}{3 P_h \Delta P} \quad (4)$$

$$t^* = t' + \left(1 - \frac{C_s}{\rho_s} \right) \frac{l Q}{D A C_s} \quad (5)$$

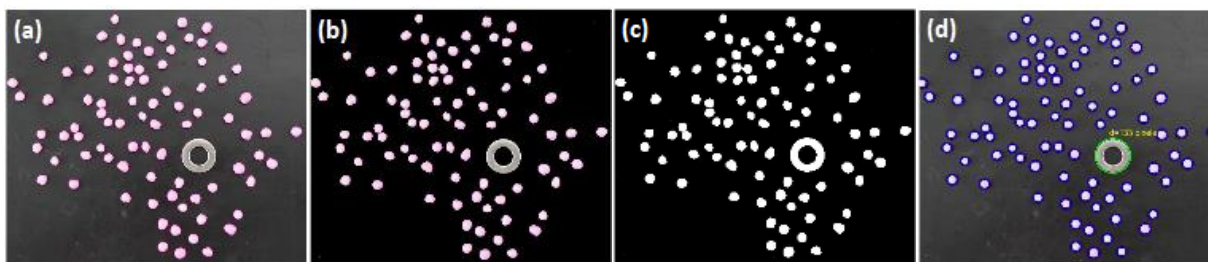
Với, P_h là áp suất thẩm thấu của nước ($\text{m}^2 \text{phút}^{-1} \text{Pa}^{-1}$), ΔP là chênh lệch giữa áp suất hơi nước và áp suất hơi bão hòa của urê (Pa), γ là tỉ lệ phần thể tích rỗng của hạt phân, Q là khối lượng hạt (kg) và $A = 4\pi r^2$ là diện tích bề mặt hạt (m^2).

Các thông số thực nghiệm của mô hình được tính toán theo phương pháp lập trên phần mềm MATLAB. Giá trị áp suất thẩm thấu và hệ số khuếch tán của màng được giả sử để tính toán tỉ lệ giải phóng urê theo mô hình. Quá trình tính toán kết thúc khi giá trị hệ số tương quan (R^2) giữa kết quả tính toán và thực nghiệm đạt cực đại, đảm bảo sự tương thích giữa mô hình và thực nghiệm.

3 KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

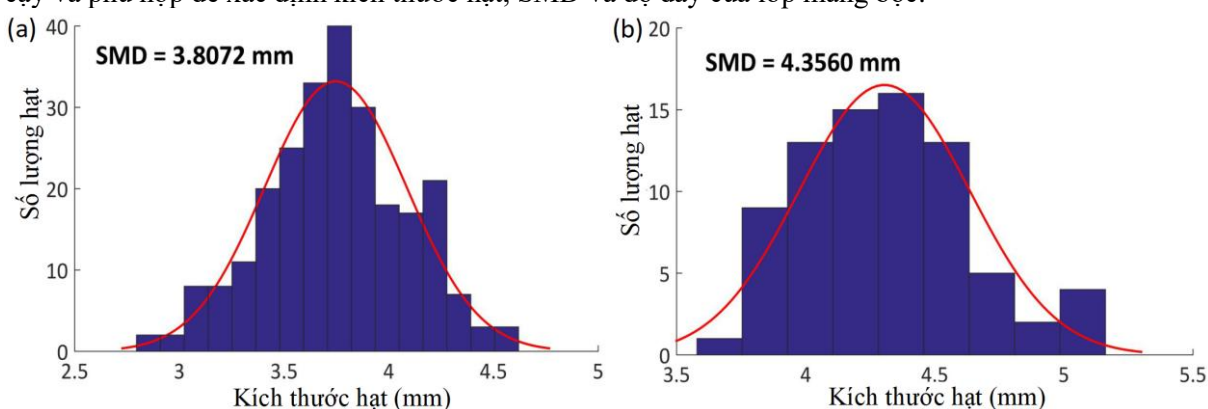
3.1 Xác định kích thước hạt và độ dày màng bọc của phân urê thông minh

Kết quả quá trình phân tích hình ảnh của một mẫu sản phẩm được biểu diễn như Hình 3. Kích thước của các hạt được xác định dựa trên tỉ lệ diện tích điểm ảnh (pixel) của hạt và vật chuẩn.



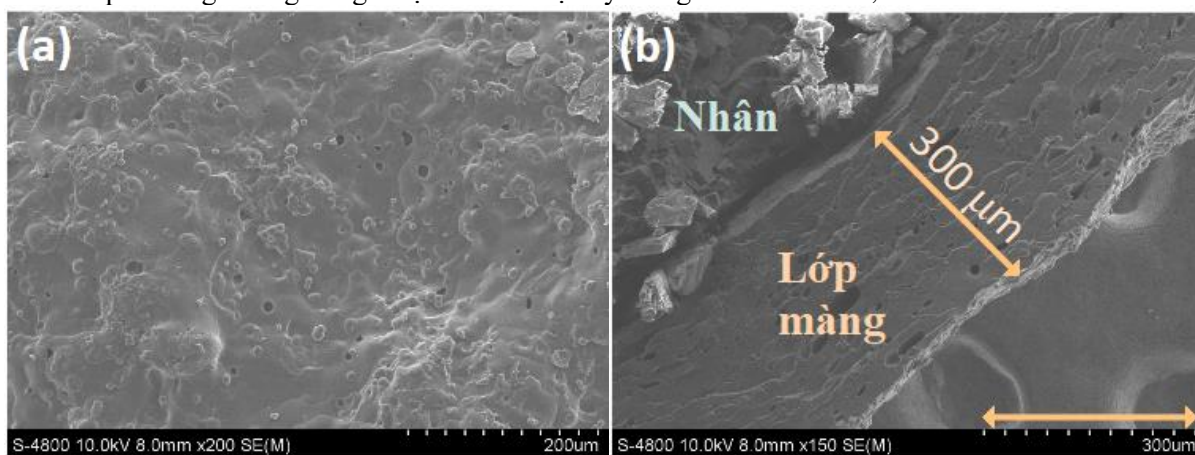
Hình 3. Kết quả phân tích hình ảnh để xác định kích thước hạt: (a) hình ảnh của hạt, (b) ảnh đã được cải thiện, (c) hình ảnh nhị phân và (d) kết quả phân tích hình ảnh

Trên cơ sở kết quả kích thước hạt đã xác định được, hàm phân bố kích thước hạt và đường kính trung bình của hỗn hợp hạt được tính toán và mô tả như Hình 4. Hàm phân bố kích thước được đánh giá và cho thấy tương thích với hàm phân bố chuẩn (normal distribution). Điều này cho thấy kích thước hạt nguyên liệu và sản phẩm có độ đồng đều tốt, quá trình bọc có tính ổn định cao. Phương pháp phân tích hình ảnh đáng tin cậy và phù hợp để xác định kích thước hạt, SMD và độ dày của lớp màng bọc.



Hình 4. Phân bố kích thước hạt và đường kính trung bình Sauter của (a) phân nguyên liệu (không bọc) và (b) một mẫu SUF.

Tính chất và độ dày của màng bọc của phân urê thông minh cũng được xem xét dựa vào kết quả ảnh SEM mặt cắt hạt như Hình 5. Ảnh SEM bề mặt lớp màng bọc được trình bày như Hình 5a và cho thấy cấu trúc bề mặt láng mịn, đồng nhất và bao phủ hoàn toàn nhân hạt. Cấu trúc lớp màng (như Hình 5b) có khả năng liên kết tốt, không có sự hiện diện của lỗ xốp, vết nứt và các khuyết tật khác. Những điều này giúp làm giảm khả năng trương nở, phá hủy lớp màng và bốc hơi bề mặt, vì vậy tăng khả năng bảo quản và thời gian giải phóng chất dinh dưỡng. Độ dày của lớp màng bọc được xác định dựa vào mặt cắt lớp màng bọc cũng cho kết quả tương đương với giá trị tính toán độ dày màng theo SMD là 0,3032 mm.



Hình 5. Hình ảnh SEM của mẫu SUF với (a) bề mặt hạt và (b) mặt cắt hạt

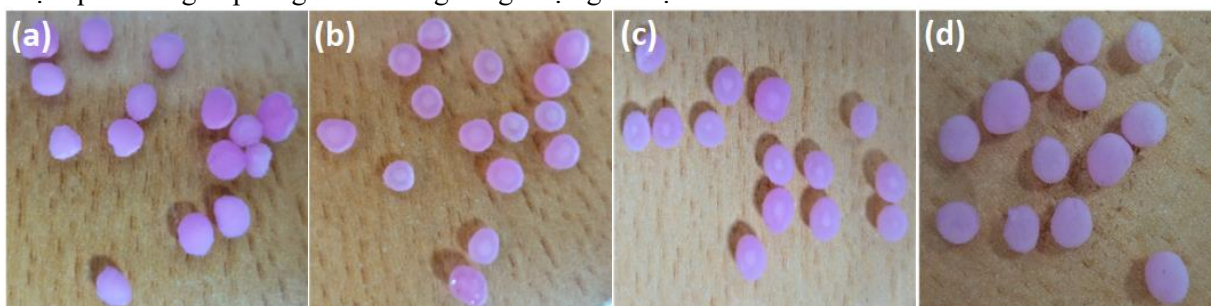
3.2 Xác định thông số thực nghiệm quá trình giải phóng dinh dưỡng

Kết quả thực nghiệm xác định hàm lượng urê hòa tan trong môi trường nước theo thời gian của các sản phẩm SUF được mô tả như Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thực nghiệm hàm lượng urê hòa tan

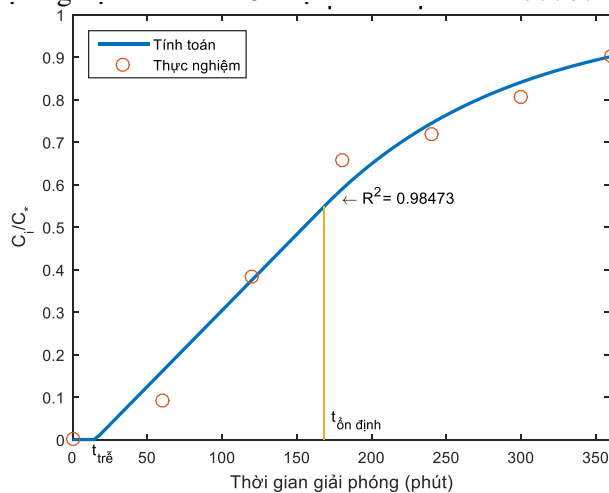
Mẫu	C_i (mg/L)						C^* (mg/L)
	1 giờ	2 giờ	3 giờ	4 giờ	5 giờ	6 giờ	
1	4,39	16,16	28,58	29,97	34,7	36,38	41,91
2	5,10	17,16	27,22	29,73	39,58	40,36	44,06
3	3,11	11,67	28,43	31,99	35,76	39,16	45,42
4	4,43	14,48	28,17	34,63	40,94	47,50	50,71
5	3,24	15,01	28,21	30,46	35,86	40,14	43,86
6	3,84	16,20	27,78	30,38	34,02	38,16	42,26

Bảng 1 cho thấy thời gian giải phóng urê được khảo sát trong 6 giờ, tỉ lệ giải phóng dinh dưỡng của hầu hết các sản phẩm khi đó đều đạt trên 85% và quá trình được xem như giải phóng gần như hoàn toàn. Các giai đoạn quá trình giải phóng dinh dưỡng cũng được ghi nhận và biểu diễn như Hình 6.



Hình 6. Hình ảnh CRUF trong nước tại thời điểm: (a) ban đầu, (b) 1 giờ, (c) 2 giờ, (d) 5 giờ

Như Hình 6, các giai đoạn giải phóng chất dinh dưỡng tương thích với các giai đoạn theo cơ chế khuếch tán chất dinh dưỡng qua màng được mô tả Hình 2. Vì vậy, các thông số quá trình giải phóng dinh dưỡng có thể được xác định theo mô hình 3 giai đoạn được mô tả ở phương trình (3), (4) và (5). Kết quả tính toán theo mô hình và kết quả thực nghiệm của Mẫu 6 được biểu diễn như Hình 7.



Hình 7. Đường cong mô tả quá trình giải phóng urê của Mẫu 6

Hình 7 cho thấy đường cong biểu diễn kết quả tính toán tương thích với kết quả thực nghiệm, trong đó hệ số tương quan (R^2) đạt 0,985, nên kết quả tính toán hoàn toàn phù hợp để dự đoán và xác định thông số mô hình. Đường cong cho thấy quá trình giải phóng chia làm ba giai đoạn, phù hợp cơ chế quá trình giải phóng chất dinh dưỡng, trong đó gồm: giai đoạn trễ, giai đoạn khuếch tán ổn định, giai đoạn cân bằng và được phân chia bởi hai thông số là thời gian trễ và thời gian ổn định. Kết quả tính toán này là cơ sở giúp xác định được các thông số thực nghiệm quá trình giải phóng chất dinh dưỡng.

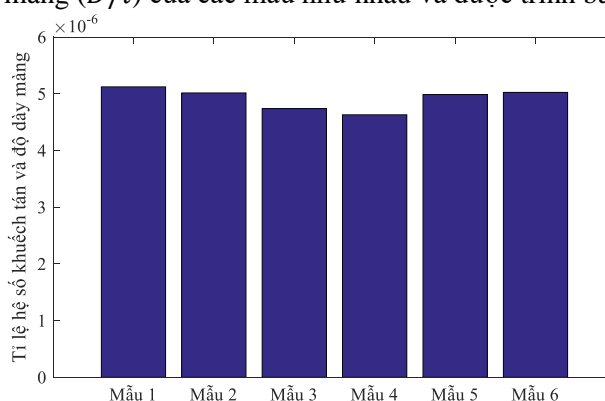
3.3 Đánh giá sự ảnh hưởng của thông số quá trình

Kết quả tính toán thực nghiệm thông số quá trình giải phóng chất dinh dưỡng của các sản phẩm được mô tả theo Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính toán thực nghiệm quá trình giải phóng chất dinh dưỡng

Mẫu	SMD	l	t'	t^*	g^*	$P_h \times 10^{-12}$	$D \times 10^{-9}$	R^2
	mm	mm	phút	phút	-	$m^2/(\text{phút Pa})$	$m^2/\text{phút}$	-
1	4,5674	0,3563	14,887	164,91	0,5476	1,700	1,825	0,9815
2	4,5227	0,3340	14,644	167,87	0,5476	1,620	1,675	0,9853
3	4,5410	0,3431	20,308	182,55	0,5476	1,200	1,625	0,9749
4	4,4920	0,3186	19,508	185,49	0,5476	1,160	1,475	0,9884
5	4,5569	0,3511	18,893	173,06	0,5476	1,320	1,750	0,9839
6	4,4618	0,3035	15,181	168,11	0,5477	1,420	1,525	0,9847

Giá trị hệ số tương quan xác định được đều lớn hơn 97% (như Bảng 2) cho thấy kết quả tính toán có độ chính xác cao. Hầu hết các thông số quá trình giải phóng như: thời gian trễ, thời gian ổn định, áp suất thẩm thấu và hệ số khuếch tán của màng phụ thuộc vào độ dày của màng bọc. Tuy nhiên, tỉ lệ giải phóng chất dinh dưỡng tại thời gian ổn định (g^*) của các mẫu lại không có sự sai lệch lớn, điều này cho thấy tỉ lệ hệ số khuếch tán với độ dày của màng (D/l) của các mẫu như nhau và được trình bày như Hình 8.



Hình 8. Tỉ lệ hệ số khuếch tán và độ dày của màng

Kết quả tính toán tỉ lệ D/l trung bình là $4,918 \times 10^{-6}$ m/phút, với độ lệch chuẩn trong đối là 3,89 % (sai số là $1,913 \times 10^{-7}$ m/phút) cũng cho thấy tỉ lệ này thay đổi rất ít. Tỉ lệ này đặc trưng cho sự ảnh hưởng của cấu trúc, tính chất của màng bọc đến quá trình giải phóng chất dinh dưỡng.

4 KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã thực hiện sản xuất SUF với màng bọc polyme được tổng hợp từ phản ứng giữa tinh bột biến tính phốt phát và poly vinyl ancol và poly acrylic axit bằng hệ thống thiết bị bọc đĩa quay. Kích thước hạt, phân bố kích thước và đường kính trung bình Sauter của hỗn hợp hạt được xác định bằng phương pháp phân tích hình ảnh trên phần mềm MATLAB, từ đó tiến hành xác định độ dày của màng bọc. Kết quả này cũng được so sánh, đánh giá dựa trên ảnh SEM mặt cắt của hạt. Dựa trên hình ảnh quá trình giải phóng dinh dưỡng và sự biến đổi hàm lượng urê hoà tan của SUF được xác định bằng phương pháp quang phổ, đã tiến hành đánh giá và xác định được cơ chế quá trình giải phóng dinh dưỡng. Từ đó, tiến hành xác định mô hình thực nghiệm, đồng thời kết hợp với số liệu thực nghiệm tiến hành tính toán được các thông số quá trình. Kết quả cho thấy tỉ lệ hệ số khuếch tán với độ dày của màng (D/l) có giá trị ổn định là $4,918 \times 10^{-6}$ m/phút. Đây là thông số quan trọng để tính toán, mô phỏng và thiết kế quá trình giải phóng dinh dưỡng của phân urê thông minh nhằm đảm bảo phù hợp với nhu cầu của từng loại cây trồng trong sản xuất nông nghiệp. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu còn hạn chế là chưa đánh giá được sự ảnh hưởng của các thông số quá trình bọc đến hệ số khuếch tán của màng. Điều này cần được xem xét trong các nghiên cứu tiếp theo.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Khoa Công nghệ Hóa học, Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh đã giúp đỡ, hỗ trợ để chúng tôi hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU TRÍCH DẪN

- [1] M. E. Trenkel, *Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient*

Use Efficiency in Agriculture, 1st ed. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010.

- [2] A. Shaviv, "Controlled release fertilizers", in *IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*, 2005, no. June, pp. 1–15.
- [3] H. F. Reetz, *Fertilizers and their efficient use*, 1st ed. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2016.
- [4] P. Lu, M. Zhang, Q. Li, and Y. Xu, "Structure and Properties of Controlled Release Fertilizers Coated with Thermosetting Resin", *Polym. Plast. Technol. Eng.*, vol. 52, no. 4, pp. 381–386, 2013.
- [5] Y. P. Timilsena, R. Adhikari, P. Casey, T. Muster, H. Gill, and B. Adhikari, "Enhanced efficiency fertilisers: A review of formulation and nutrient release patterns", *J. Sci. Food Agric.*, vol. 95, no. 6, pp. 1131–1142, 2015.
- [6] M. Y. Naz and S. A. Sulaiman, "Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: A review", *J. Control. Release*, vol. 225, pp. 109–120, 2016.
- [7] A. M. Dave, M. H. Mehta, T. M. Aminabhavi, A. R. Kulkarni, and K. S. Soppimath, "A review on controlled release of nitrogen fertilizers through polymeric membrane devices", *Polym. Plast. Technol. Eng.*, vol. 38, no. 4, pp. 675–711, 1999.
- [8] W. M. Jarrell and L. Boersma, Model for the Release of Urea by Granules of Sulfur-Coated Urea Applied to Soil", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 43, no. 5, pp. 1044–1050, 1979.
- [9] W. M. Jarrell and L. Boersma, "Release of Urea by Granules of Sulfur-Coated Urea", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 44, pp. 418–422, 1980.
- [10] Z. Majeed, N. K. Ramli, N. Mansor, and Z. Man, "A comprehensive review on biodegradable polymers and their blends used in controlled-release fertilizer processes", *Rev. Chem. Eng.*, vol. 31, no. 1, pp. 69–95, 2015.
- [11] A. Shaviv, "Advances in controlled-release fertilizers", *Adv. Agron.*, vol. 71, pp. 1–49, 2000.
- [12] C. Du, J. Zhou, A. Shaviv, and H. Wang, "Mathematical model for potassium release from polymer-coated fertiliser", *Biosyst. Eng.*, vol. 88, no. 3, pp. 395–400, 2004.
- [13] C. Du, D. Tang, J. Zhou, H. Wang, and A. Shaviv, "Prediction of nitrate release from polymer-coated fertilizers using an artificial neural network model", *Biosyst. Eng.*, vol. 99, no. 4, pp. 478–486, 2008.
- [14] S. K. Basu and N. Kumar, "Mathematical model and computer simulation for release of nutrients from coated fertilizer granules", *Math. Comput. Simul.*, vol. 79, no. 3, pp. 634–646, 2008.
- [15] T. H. Trinh, K. KuShaari, A. Basit, B. Azeem, and A. Shuib, "Use of Multi-diffusion Model to Study the Release of Urea from Urea Fertilizer Coated with Polyurethane-like Coating (PULC)", *APCBEE Procedia*, vol. 8, no. Caas 2013, pp. 146–150, 2014.
- [16] T. H. Trinh, K. KuShaari, A. Basit, and B. Azeem, "Effect of Particle Size and Coating Thickness on the Release of Urea Using Multi-Diffusion Model", *Int. J. Chem. Eng. Appl.*, vol. 5, no. 1, pp. 58–63, 2014.
- [17] T. H. Trinh, K. Kusaari, and A. Basit, "Modeling the Release of Nitrogen from Controlled-Release Fertilizer with Imperfect Coating in Soils and Water", *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 54, no. 26, pp. 6724–6733, 2015.
- [18] M. Vashishtha, S. O. Meena, and A. Meena, "Modelling and Simulation of Nutrient Release from Neem (*Azadirachta Indica*) Oil Coated Urea", *Chem. Methodol.*, vol. 2, no. 1, pp. 299–307, 2018.
- [19] S. A. Irfan, R. Razali, K. Kusaari, N. Mansor, and B. Azeem, "Analytical solution of diffusion model for nutrient release from controlled release fertilizer", *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 890, no. 2017, pp. 1–5, 2017.

- [20] H. T. Nguyen, V. D. Doan, and V. D. Trinh, "Synthesis of Biodegradable Mixing-Polymer as Coating Material for Controlled-Release Urea Fertilizer", *Adv. Mater. Res.*, vol. 1152, no. 3, pp. 43–51, 2019.
- [21] T. H. Nguyen, A. M. N. Tran, N. Tran, and D. V. Trinh, "Modelling of the Spray Coating Process with Biodegradable Polymer Solution for Production of Controlled-Release Fertiliser", *Chem. Eng. Trans.*, vol. 78, no. 1986, pp. 91–96, 2020.
- [22] Mathworks, *Image Processing Toolbox™ User's Guide R2019b*. Massachusetts: The MathWorks, Inc, 2019.
- [23] R. Chhabra and M. G. Basavaraj, "Particulate Systems and Particle Technology", in *Coulson and Richardson's Chemical Engineering*, 2nd ed., R. Chhabra, Ed. Punjab: Butterworth-Heinemann, 2019, p. 851.
- [24] I. Hussain, Z. Mahmood, R. Yasmeen, M. Jahangir, R. Hammed, and R. Nasir, "Assay of urea with p-dimethylaminobenzaldehyde", *Journal Chemical Society of Pakistan*, vol. 24, no. 2, pp. 122–128, 2002.

Ngày nhận bài: 14/08/2020

Ngày chấp nhận đăng: 10/12/2020