

# SẢN XUẤT VÀ ĐỊNH HƯỚNG SỬ DỤNG PHÂN BÓN URÊ GIẢI PHÓNG KIỂM SOÁT CHO CANH TÁC LÚA NƯỚC Ở VIỆT NAM

NGUYỄN HỮU TRUNG<sup>1,\*</sup>, LÊ VĂN NHIỀU<sup>1</sup>, TRẦN HOÀI ĐỨC<sup>1</sup>, TRINH VĂN DŨNG<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Khoa Kỹ thuật Hóa học, Trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh.

\*Tác giả liên hệ: nguyenuhtruong@iuh.edu.vn

DOIs: <https://doi.org/10.46242/jstiuh.v68i02.5084>

**Tóm tắt.** Phân bón giải phóng kiểm soát là giải pháp đầy hứa hẹn cho sự phát triển của sản xuất nông nghiệp hiện đại và bền vững. Chúng giúp giảm chi phí sản xuất, tiết kiệm nguồn tài nguyên, tăng năng suất và chất lượng cây trồng, đồng thời ngăn ngừa được những tác hại về môi trường. Mục đích của nghiên cứu này là nhằm phát triển, sản xuất phân urê giải phóng kiểm soát và tiến hành xây dựng công thức sử dụng sản phẩm cho canh tác lúa nước ở Việt Nam. Nghiên cứu đã tiến hành sử dụng công nghệ bọc hạt phân urê với vật liệu bọc là hỗn hợp polyme phân hủy sinh học được phát triển các nguyên liệu như: poly(vinyl alcohol), tinh bột biến tính phốt phát, và poly(acrylic acid). Đặc trưng của sản phẩm được xác định bằng kính hiển vi quang học, kính hiển vi điện tử quét, phương pháp phân tích hình ảnh và so sánh với các sản phẩm urê khác. Nghiên cứu cũng đã thiết lập cơ chế và mô hình toán quá trình giải phóng urê của sản phẩm, từ đó xác định được thời gian trễ 1,5 giờ, thời gian ổn định 13,73 giờ, tỉ lệ giải phóng ổn định 0,548, hệ số khuếch tán nước  $1,47 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/h và hệ số khuếch tán urê qua màng  $2,2 \times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/h. Các kết quả này được sử dụng để tính toán, đánh giá sự phù hợp giữa lượng urê giải phóng và nhu cầu của cây lúa nước, đề xuất được công thức sử dụng sản phẩm đáp ứng cho điều kiện canh tác lúa nước ở Đồng Bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL).

**Từ khóa.** Polyme phân hủy sinh học, công nghệ bọc hạt, phân urê giải phóng kiểm soát, lúa nước.

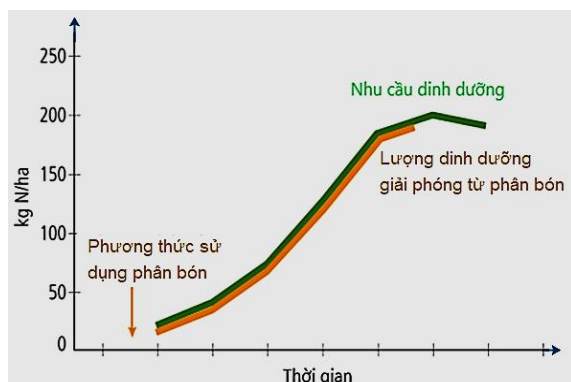
## 1 GIỚI THIỆU

Phân bón hiệu suất cao được sử dụng ngày càng phổ biến trong sản xuất nông nghiệp hiện đại. Hiệu suất sử dụng phân bón loại này cao hơn nhiều so với phân bón thông thường, giúp tiết kiệm lượng phân bón và nguồn tài nguyên sử dụng, giảm chi phí sản xuất và tác động môi trường, đồng thời nâng cao năng suất và chất lượng nguồn lương thực [1–3]. Trong đó, phân bón giải phóng kiểm soát (CRF), còn được gọi là phân bón thông minh (SF), được sản xuất bằng công nghệ bọc hạt [4], [5] với vật liệu được sử dụng làm màng bọc không tan, bán thấm, hoặc không thấm nước. Màng bọc giúp giảm khả năng thẩm thấu của nước, kiểm soát được tốc độ giải phóng chất dinh dưỡng, đảm bảo cung cấp lượng chất dinh dưỡng phù hợp nhu cầu cây trồng [6].

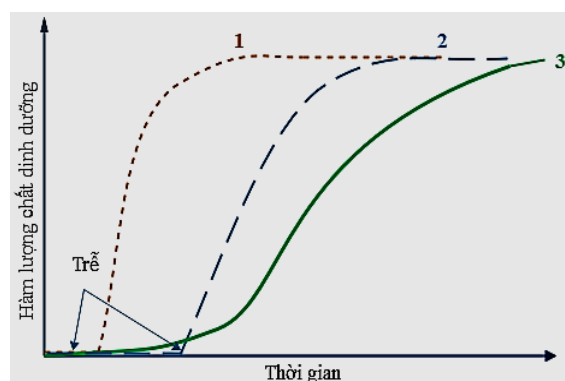
Mục tiêu chính cho việc phát triển CRF là nhằm quản lý hàm lượng dinh dưỡng giải phóng tương thích với nhu cầu của cây trồng, khả năng phân tán trong đất, tác động môi trường và tích tụ lâu dài sau này. Nhu cầu dinh dưỡng của cây trồng thay đổi trong suốt thời gian sinh trưởng từ các giai đoạn sinh dưỡng, qua các giai đoạn sinh sản và đến khi trưởng thành. Ngoài ra, nó còn phụ thuộc vào phương pháp canh tác, điều kiện khí hậu, tính chất nguồn nước sử dụng, đặc điểm của thổ nhưỡng và loại cây trồng [3]. Đường cong mô tả sự biến đổi hàm lượng chất dinh dưỡng của CRF lý tưởng theo thời gian phải tương thích với đường cong nhu cầu dinh dưỡng của cây trồng như Hình 1 [3]. Vì vậy, một nghiên cứu về sản xuất, đặc tính và mô hình toán quá trình giải phóng dinh dưỡng của CRF là rất cần thiết để từ đó có thể đánh giá, dự đoán và định hướng thiết kế một sản phẩm phù hợp với yêu cầu của loại cây trồng.

Các nghiên cứu cho thấy rằng quá trình giải phóng dinh dưỡng của các loại CRF phụ thuộc vào các yếu tố môi trường như loại đất, nhiệt độ, độ ẩm, mức nước canh tác, phương pháp bón, độ pH của đất và hoạt động của vi sinh vật, và yếu tố bên trong như cấu trúc, độ ẩm, khả năng thấm nước của màng bọc [1], [3]. Một số mô hình giải phóng chất dinh dưỡng của CRF được đề xuất bởi các nghiên cứu của Du và cộng sự (2008) [7], Irfan và cộng sự (2017) [8] như Hình 2.

## SẢN XUẤT VÀ ĐỊNH HƯỚNG SỬ DỤNG PHÂN BÓN URÊ GIẢI PHÓNG KIỂM SOÁT...



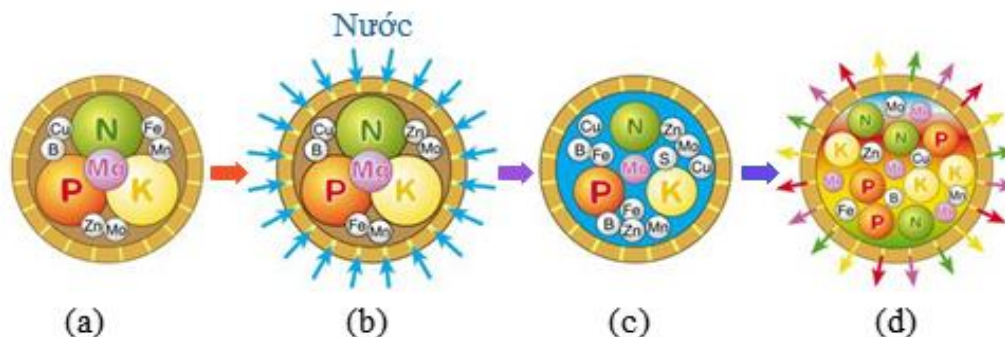
Hình 1: Sự đồng bộ giữa sự giải phóng chất dinh dưỡng của phân bón lý tưởng và yêu cầu chất dinh dưỡng của cây trồng



Hình 2: Mô hình giải phóng chất dinh dưỡng của CRF: (1) cơ chế phá vỡ, (2) cơ chế màng siêu hấp phụ và (3) cơ chế khuếch tán.

Hình 2 cho thấy sự biến đổi hàm lượng dinh dưỡng theo cơ chế phá vỡ và cơ chế màng bọc siêu hấp phụ (đường cong (1) và (2)) là tương tự nhau, chỉ khác nhau thời gian trễ và độ dốc của đường cong. Sau khoảng thời gian trễ, hàm lượng chất dinh dưỡng tăng nhanh và dừng lại khi giải phóng hoàn toàn. Điều này cho thấy, màng bọc chỉ giúp thay đổi thời điểm giải phóng chứ không làm thay đổi tốc độ giải phóng, hàm lượng chất dinh dưỡng không tương thích với đường cong nhu cầu chất dinh dưỡng của cây trồng như Hình 1 [1]. Ngược lại, mô hình giải phóng dinh dưỡng theo cơ chế khuếch tán (đường cong 3) cho thấy sự tương thích về hình dạng giữa đường cong mô tả sự biến đổi chất dinh dưỡng và nhu cầu cây trồng. Một sản phẩm CRF lý tưởng được thiết kế với thời gian trễ, tốc độ khuếch tán thích hợp sẽ đảm bảo tương thích hoàn toàn hoặc một phần đường cong nhu cầu. Vì vậy, cơ chế giải phóng chất dinh dưỡng của CRF thường được xác định dựa vào cơ chế khuếch tán qua màng và được xác định gồm 3 giai đoạn: thấm nước, hòa tan và khuếch tán nối tiếp nhau, mô tả như Hình 3 [9], [10] và cụ thể:

- Giai đoạn đầu, nước xâm nhập vào trong hạt và hòa tan một phần phân bón trong hạt. Thê tích bị giới hạn bởi phần không gian rỗng trong hạt rắn và lớp bọc. Trọng lượng của hạt tăng nhẹ đồng thời với áp lực bên trong.
- Giai đoạn thứ hai, chất dinh dưỡng hòa tan vào trong nước và đạt đến trạng thái bão hòa bên trong hạt, điều này cũng gây ra sự tích tụ áp lực và tạo động lực quá trình khuếch tán.
- Giai đoạn thứ ba là giai đoạn khuếch tán. Nồng độ (bão hòa) không đổi nên động lực quá trình không đổi do đó tốc độ quá trình khuếch tán không đổi. Các kết quả thực nghiệm cho thấy khối lượng hạt thực tế thay đổi không đáng kể trong giai đoạn này, bởi vì lượng chất dinh dưỡng bị giảm do khuếch tán được thay bằng lượng nước liên tục xâm nhập vào hạt. Khi lõi hạt hòa tan hoàn toàn, nồng độ của dung dịch bên trong sẽ giảm do bị pha loãng và động lực cho quá trình khuếch tán cũng giảm. Tốc độ khuếch tán rất chậm tạo ra một loại hiệu ứng đuôi kéo dài.



Hình 3: Cơ chế giải phóng dinh dưỡng qua màng bọc: phân bón giải phóng kiểm soát (a), giai đoạn thấm nước (b), giai đoạn hòa tan (c) và giai đoạn giải phóng hay khuếch tán (d)

Tổng hợp các nghiên cứu cho thấy những CRF được xem có tính ứng dụng và hiệu quả chỉ khi chúng

tương thích, đáp ứng được nhu cầu của cây trồng. CRF phải đảm bảo được các điều kiện thời gian, tốc độ giải phóng và hàm lượng chất dinh dưỡng trong môi trường. Trong nghiên cứu này, phân urê giải phóng kiểm soát (CRUF) được sản xuất bằng công nghệ bọc hạt với vật liệu bọc hỗn hợp polyme phân hủy sinh học, rẻ tiền, dễ tổng hợp. Tiếp theo, dựa trên hình ảnh CRUF qua các giai đoạn quá trình giải phóng urê và đường biểu diễn quan hệ tỉ lệ giải phóng urê theo thời gian, cơ chế giải phóng urê của sản phẩm được chứng minh phù hợp với cơ chế khuếch tán qua màng. Điều này đảm bảo sản phẩm thu được đạt tiêu chuẩn của phân bón giải phóng kiểm soát. Sau đó, mô hình toán quá trình giải phóng urê theo cơ chế khuếch tán cũng được xác định dựa trên định luật Fick II và tính toán bằng phương pháp sai phân hữu hạn (FDM). Kết quả tính toán mô phỏng kết hợp với kết quả thực nghiệm giúp xác định các thông số quá trình giải phóng urê của sản phẩm. Nghiên cứu cũng tiến hành khảo sát và xác định một đường cong nhu cầu urê của cây lúa nước ở Đồng Bằng Sông Cửu Long. Từ đó, sử dụng mô hình để tính toán, đánh giá sự phù hợp và tương thích giữa đường cong nhu cầu cây trồng và đường cong giải phóng urê, và định hướng cho việc sử dụng CRUF trong trồng trọt một cách phù hợp.

## 2 THỰC NGHIỆM VÀ TÍNH TOÁN MÔ HÌNH

### 2.1 Phương pháp thực nghiệm

#### 2.2.1 Sản xuất phân urê giải phóng kiểm soát

Vật liệu bọc được tổng hợp các nguyên liệu bao gồm tinh bột biến tính photphat (PS, Nam Bảo Tín, Việt Nam); poly(vinyl alcohol) (PVA, 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); poly(acrylic acid) (PAA, Nuplex Resins, Việt Nam). Các nguyên liệu này đều có khả năng phân hủy sinh học, có sẵn và thân thiện với môi trường. Quy trình tổng hợp dung dịch được mô tả trong công bố của các tác giả năm 2019 [11]. Dung dịch sau khi tổng hợp được kiểm tra và điều chỉnh độ nhớt bằng cốc đo nhớt kế Prona RV2. Quá trình phun tạo màng bọc được thực hiện trên hệ thống phun tự động Prona.

Hạt urê nguyên liệu sử dụng là urê thương mại hạt đục của Công ty Phân bón Dầu khí Cà Mau. Nguyên liệu được phân loại bằng hệ thống rây có kích thước từ 2,8 đến 4,75 mm của hãng RETSCH (Đức) trước khi cho vào thiết bị bọc. Quá trình bọc được tiến hành trong hệ thống bọc hạt dạng đĩa quay có đường kính 0,5 m. Các thông số chính của hệ thống bao gồm: độ nhớt dung dịch phun 0,05 Pa·s, khối lượng vật liệu 50 g, góc nghiêng của đĩa quay  $40^\circ$ , lưu lượng phun 1,5 ml/phút, thời gian bọc 60 phút, tốc độ quay 60 vòng/phút, nhiệt độ tác nhân sấy  $70^\circ\text{C}$  và lưu lượng tác nhân  $45\text{ m}^3/\text{h}$ . Sản phẩm sau bọc tiếp tục được sấy ở  $70^\circ\text{C}$ , trong 15 phút.

Các sản phẩm phân urê thương mại được sử dụng để so sánh với sản phẩm CRUF bao gồm: urê hạt trong Phú Mỹ (UPM), urê hạt đục Cà Mau (UCM), urê – Agrotain (UBD) sản xuất bởi công ty phân bón Bình Điền và phân urê thông minh (giải phóng kiểm soát) nhãn hiệu RYNAN (URN) của Công ty TNHH Kỹ thuật RYNAN.

#### 2.2.2 Xác định tỉ lệ giải phóng urê

Tỉ lệ giải phóng urê ( $g_i$ ) được xác định theo phương trình (1)

$$g_i = \frac{C_i}{C_*} \quad (1)$$

Trong đó,  $C_i$  là hàm lượng urê hoà tan của các sản phẩm tại các thời điểm lấy mẫu,  $C_*$  là hàm lượng urê hoà tan hoàn toàn được xác định bằng cách cắt 0,50 g hạt sản phẩm cho vào 100 mL nước tinh khiết, khuấy trong 30 phút với tốc độ 200 vòng/phút. Quá trình xác định  $C_i$  được tiến hành bằng cách lấy 0,50 g sản phẩm cho vào 100 mL nước tinh khiết, giữ ổn định ở nhiệt độ  $25^\circ\text{C}$ . Sau mỗi thời gian đánh dấu, lấy 2 mL dung dịch hoà trộn với 2 mL thuốc thử sau đó đem đi xác định hàm lượng urê bằng máy đo quang GENESYS 20 (Thermo Scientific, Mỹ) [12]. Thuốc thử được pha trộn từ các nguyên liệu *p*-dimethyl aminobenzaldehyde (*p* – DMAB, HiMedia, Ấn Độ), ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , Xilong, Trung Quốc) và acid hydrochloric (HCl, 36%, Xilong, Trung Quốc). Quá trình thực nghiệm được tiến hành lặp lại 3 lần để đạt độ chính xác cao.

### 2.2 Mô hình toán quá trình giải phóng dinh dưỡng qua màng bọc

Dựa trên cơ chế quá trình giải phóng chất dinh dưỡng (như Hình 3), mô hình toán mô tả quá trình giải phóng chất dinh dưỡng với giả thuyết hạt có dạng hình cầu được bọc màng polyme đồng đều, không bị

phân hủy, không có sự biến đổi hình dạng và cấu trúc trong môi trường nước được Shaviv công bố năm 2000 [13], gồm ba giai đoạn: giai đoạn ban đầu trong đó hầu như không giải phóng (giai đoạn trễ), giai đoạn giải phóng liên tục (giai đoạn tốc độ giải phóng ổn định) và giải phóng chậm (giai đoạn giới hạn).

### 2.2.1. Giai đoạn trễ

Ở giai đoạn trễ, nước bên ngoài khuếch tán qua lớp màng vào trong hạt. Giai đoạn này có tốc độ khuếch tán nước khá lớn nên xem như không đáng kể. Tốc độ khuếch tán của nước qua màng được xác định theo phương trình (2)

$$\frac{dw(t)}{dt} = \frac{D_w}{d} \cdot A \cdot \rho_w \quad (2)$$

Trong đó,  $w(t)$  là khối lượng nước trong nhân (kg),  $D_w$  là hệ số khuếch tán của nước qua màng ( $m^2/s$ ),  $A = 4\pi r^2$  là diện tích bề mặt hạt ( $m^2$ ),  $\rho_w$  là khối lượng riêng của nước ( $kg/m^3$ ),  $d$  là độ dày lớp màng (m). Thời gian trễ ( $t'$ , s) là thời gian lượng nước chiếm toàn bộ phần thể tích rỗng của hạt, khi đó khối lượng nước trong hạt:

$$w(t') = \gamma \cdot \rho_w \cdot V \quad (3)$$

Trong đó,  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$  là thể tích hạt ( $m^3$ ),  $\gamma$  là tỉ lệ phần thể tích rỗng của hạt.

Thời gian trễ được tính toán bằng cách giải phương trình (2) với điều kiện ban đầu  $w(0) = 0$ . Khoảng thời gian này là không đáng kể so với thời gian khuếch tán phân tử trong quá trình giải phóng dinh dưỡng. Ở giai đoạn này tỉ lệ giải phóng dinh dưỡng ( $g(r, d, t)$ ) gần như bằng không [14].

### 2.2.2. Giai đoạn giải phóng liên tục

Sau giai đoạn trễ, quá trình giải phóng chất dinh dưỡng bắt đầu diễn ra, nồng độ chất dinh dưỡng giải phóng được tính toán theo định luật Fick II trong hệ tọa độ cầu được mô tả như phương trình (4). Phương trình này cũng cho thấy tốc độ khuếch tán chất dinh dưỡng phụ thuộc chủ yếu vào hệ số khuếch tán qua màng, kích thước của mao quản và bề dày của màng bọc.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_u \cdot \left( \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial C}{\partial r} \right) \quad (4)$$

Trong đó,  $D_u$  là hệ số khuếch tán dinh dưỡng ở mao quản của màng ( $m^2/s$ ),  $C$  là nồng độ chất dinh dưỡng ( $kg/m^3$ ),  $r$  là bán kính (m). Đặt  $u = C \cdot r$ , phương trình (4) được biến đổi thành phương trình vi phân riêng phần như phương trình (5).

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D_u \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} \quad (5)$$

Điều kiện ban đầu của phương trình,

$$u(r, 0) = 0 \quad (6)$$

Điều kiện biên,

$$u(r = a, t) = C_s \cdot a, \quad t > t' \quad (7)$$

Với  $C_s$  là nồng độ dinh dưỡng bão hoà bên trong nhân ( $kg/m^3$ ),  $a$  bán kính của lõi (m),  $b$  là bán kính sản phẩm (m).

Tốc độ quá trình hoà tan và khuếch tán dinh dưỡng nhanh nên nồng độ bên trong nhân hạt luôn đạt nồng độ bão hoà. Tốc độ biến đổi kích thước hạt nhân theo phương trình cân bằng vật chất:

$$\rho_s \cdot \frac{dR_s}{dt} = J_u \quad (8)$$

$J_u$ : tốc độ khuếch tán qua màng ( $kg/(s \cdot m^2)$ ). Tốc độ khuếch tán được xác định theo định luật Fick I

$$J_u = -D_u \cdot \frac{\partial C}{\partial r} \quad (9)$$

Suy ra

$$\rho_s \cdot \frac{dR_s}{dt} = -D_u \cdot \frac{\partial C}{\partial r} \quad (10)$$

Tỉ lệ dinh dưỡng khuếch tán được tính như sau:

$$g(r, d, t) = \frac{J_u \cdot 4\pi b^2 t}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r_s^3 \cdot \rho_s} = \frac{3 \cdot J_u \cdot b^2 \cdot t}{r_s^3 \cdot \rho_s} \quad (11)$$

Giai đoạn giải phóng liên tục kết thúc khi toàn bộ hạt nhân hòa tan hoàn toàn, tức  $\frac{dR_s}{dt} = 0$ , thời gian kết

thức giai đoạn này được gọi là thời gian ổn định ( $t^*$ , s).

### 2.2.3. Giai đoạn giới hạn

Sau khi toàn bộ hạt nhân trong phân bố hòa tan hoàn toàn, nồng độ chất dinh dưỡng bên trong ( $C_t$ , kg/m<sup>3</sup>) giảm dần theo thời gian, tức là  $u(r = a, t) \neq C_s a$ ,  $t > t^*$ . Nồng độ chất dinh dưỡng được tính như sau:

$$C_t = \rho_s(1 - g(r, d, t)) \quad (12)$$

Từ phương trình (11) ta suy ra được phương trình vi phân khuếch tán

$$\frac{dg}{dt} = \frac{3 \cdot D_u \cdot C_s}{\rho_s \cdot r \cdot d} \quad (13)$$

Kết hợp phương trình (12) và (13) ta được:

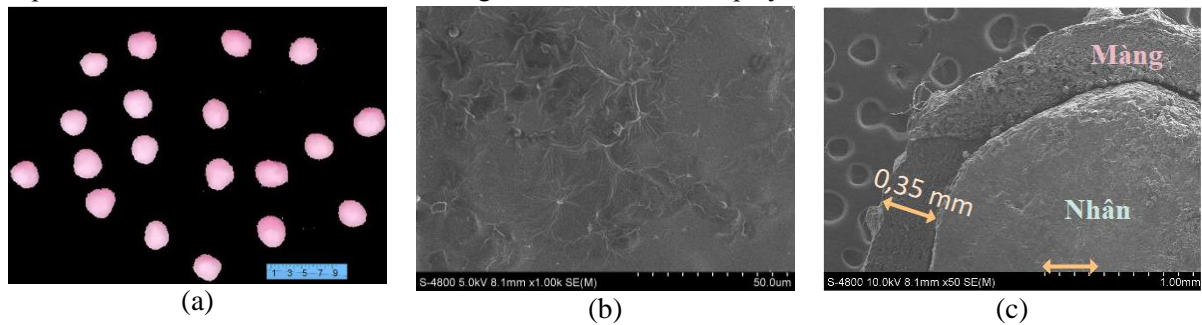
$$\frac{dg}{dt} = \frac{3 \cdot D_u}{r \cdot d} (1 - g) \quad (14)$$

Các phương trình vi phân được tính toán mô phỏng bằng phương pháp sai phân hữu hạn (FDM) trên phần mềm MATLAB. Kết quả tính toán mô hình được kiểm tra với các số liệu thực nghiệm để xác định các thông số quá trình giải phóng bằng phương pháp lặp. Các giá trị hệ số khuếch tán nước và urê qua màng được giả sử để xác định tỉ lệ giải phóng urê. Giá trị hệ số tương quan ( $R^2$ ) cực đại giữa kết quả thực nghiệm và tính toán từ mô hình được sử dụng làm điều kiện dừng mô hình, và đảm bảo sự tương thích giữa mô hình và thực nghiệm.

## 3 KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

### 3.1. Xác định thông số và đánh giá chất lượng phân urê giải phóng kiểm soát

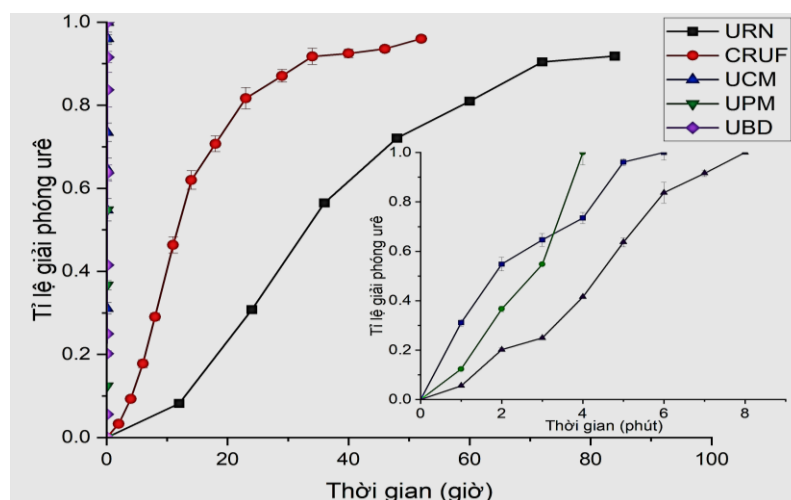
Sản phẩm CRUF được sản xuất từ hệ thống thiết bị bọc hạt đĩa quay được mô tả như Hình 4.



Hình 4: Hình ảnh sản phẩm CRUF (a), ảnh SEM bề mặt hạt (b) và ảnh SEM mặt cắt hạt (c)

Hình 4a cho thấy sản phẩm CRUF có kích thước đồng đều, màng bọc hoàn toàn hạt phân. Bằng cách sử dụng phương pháp phân tích hình ảnh, đường kính trung bình của hạt tính toán được là 4,5072 mm. Ảnh SEM bề mặt lớp màng bọc như Hình 4b cho thấy cấu trúc bề mặt liên tục, đồng nhất và bao phủ hoàn toàn nhân hạt. Cấu trúc lớp màng được biểu diễn như Hình 4c cũng cho thấy màng bọc có độ liên kết tốt, bám chặt, tỉ lệ lỗ xốp thấp, không xuất hiện vết nứt và các khuyết tật khác. Cho nên, chúng giúp hạn chế khả năng trương nở, phá hủy màng và bay hơi trên bề mặt, giúp tăng khả năng bảo quản và thời gian giải phóng dinh dưỡng. Dựa vào hình ảnh SEM mặt cắt hạt, bằng cách sử dụng phương pháp phân tích hình ảnh cũng giúp xác định được tỉ lệ phần thể tích rỗng của hạt CRUF là 1%, độ dày màng trung bình 0,35 mm.

Tỉ lệ giải phóng urê của các loại phân urê thương mại và sản phẩm theo thời gian trong môi trường nước, tại điều kiện nhiệt độ 25 °C và pH = 7, được xác định và biểu diễn như Hình 5.

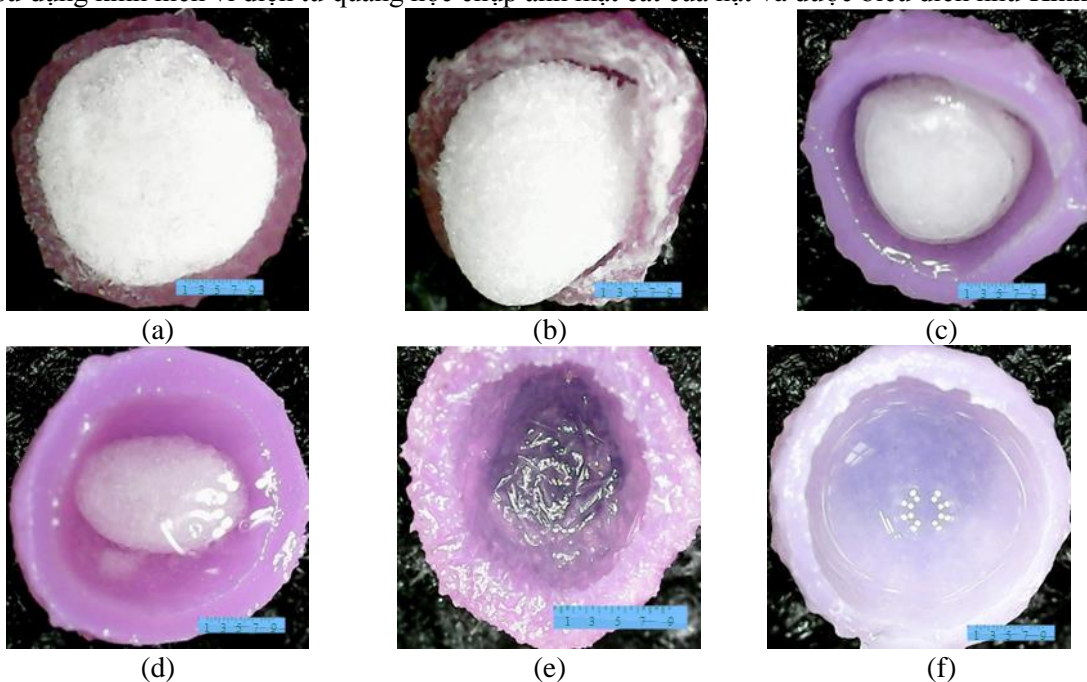


Hình 5: Tỷ lệ giải phóng urê của các loại phân urê khác nhau

Hình 5 cho thấy thời gian giải phóng của CRUF và URN (40 ÷ 80 giờ) lớn hơn 100 lần thời gian giải phóng của UPM, UCM và UBD (4 ÷ 8 phút). Tốc độ khuếch tán các sản phẩm phân bón giải phóng kiểm soát cũng chậm hơn (độ dốc đường cong nhỏ hơn) nên đảm bảo được khả năng cung cấp dinh dưỡng hợp lý, giảm thất thoát ra ngoài môi trường. Đồ thị cũng cho thấy thời gian giải phóng của sản phẩm CRUF sản xuất được (80% trong 24 giờ) vẫn nhỏ hơn so với URN (80% trong 58 giờ). Điều này có thể khắc phục, điều chỉnh và cải tiến bằng cách kết hợp giữa mô hình toán công nghệ bọc hạt và mô hình quá trình giải phóng dinh dưỡng như tăng thời gian bọc để tăng bề dày màng bọc, điều chỉnh góc nghiêng đĩa quay, lưu lượng phun và tăng tốc độ quay hợp lý sẽ giúp giảm kích thước lỗ xốp của màng, giảm hệ số khuếch tán và tăng thời gian giải phóng.

### 3.2. Xác định thông số quá trình giải phóng urê của CRUF

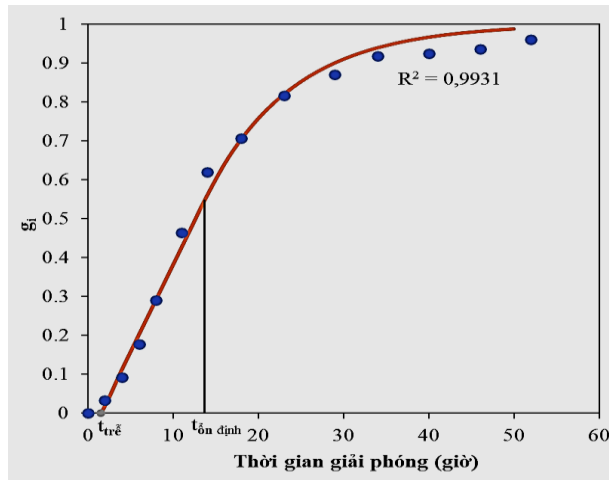
Hình ảnh của sản phẩm CRUF qua các giai đoạn của quá trình giải phóng dinh dưỡng được ghi nhận bằng cách sử dụng kính hiển vi điện tử quang học chụp ảnh mặt cắt của hạt và được biểu diễn như Hình 6.



Hình 6: Hình ảnh CRUF tại các thời điểm: ban đầu (a), 2 giờ (b), 6 giờ (c), 12 giờ (d), 2 ngày (e) và 4 ngày (f)



Hình 6 chứng minh giai đoạn đầu nước thẩm thấu qua màng bọc vào trong hạt, sau đó hòa tan lõi phân urê (nhân hạt) tạo dung dịch urê. Urê khuếch tán từ trong nhân hạt qua màng bọc ra ngoài môi trường và kích thước của lõi giảm dần. Hình ảnh cũng chứng minh rằng hình dạng, tính chất màng bọc không thay đổi trong suốt quá trình khuếch tán trong 2 ngày đầu và bắt đầu biến tính sau đó (Hình 6f) giúp tránh tác động đến môi trường. Điều này chứng tỏ cơ chế quá trình giải phóng urê của CRUF tương thích với các giai đoạn giải phóng theo cơ chế khuếch tán qua màng được mô tả như Hình 4. Kết quả tính toán theo mô hình và kết quả thực nghiệm của quá trình giải phóng urê của CRUF được biểu diễn như Hình 7.

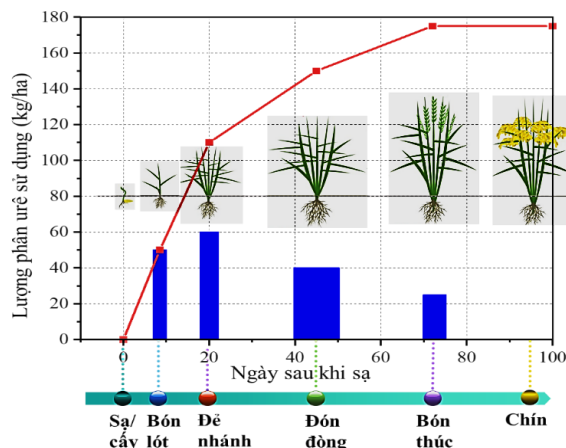


Hình 7: Đường cong mô tả quá trình giải phóng của sản phẩm CRUF

Hình 7 cho thấy kết quả tính toán tương thích với kết quả thực nghiệm thu được với hệ số tương quan ( $R^2$ ) đạt 0,9931. Đồ thị cũng cho thấy quá trình giải phóng urê cũng chia làm ba giai đoạn, phù hợp cơ chế quá trình giải phóng đã lựa chọn. Kết quả tính toán cũng đã xác định được giá trị các thông số thực nghiệm quá trình giải phóng như sau: thời gian trễ 1,5 giờ, thời gian ổn định 13,73 giờ, tỉ lệ giải phóng ổn định ( $g^*$ ) 0,548, hệ số khuếch tán nước qua màng  $1,47 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{h}$  và hệ số khuếch tán urê  $2,2 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{h}$ .

### 3.3. Đánh giá và định hướng sử dụng sản phẩm CRUF trong sản xuất lúa nước

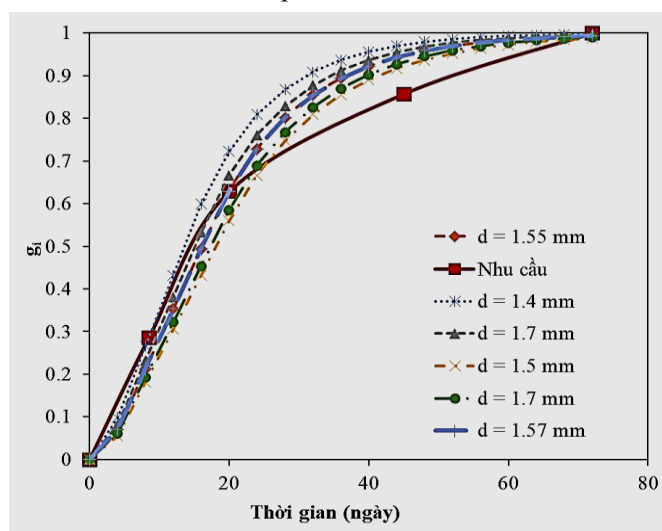
Lúa gạo là một trong những cây lương thực chính và đóng vai trò chiến lược trong an ninh lương thực của Việt Nam. Công thức sử dụng phân bón cho cây lúa phụ thuộc nhiều vào các điều kiện sản xuất khác nhau như: giống lúa, thổ nhưỡng, mùa vụ, vùng trồng, điều kiện khí hậu, lượng nước sử dụng,... Theo Trung tâm khuyến nông Quốc gia, lượng phân bón urê sử dụng với giống lúa có thời gian sinh trưởng từ 95 đến 100 ngày, trên đất phù sa ở vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), vụ đông xuân được chia làm 4 đợt theo thời gian canh tác [15] như Hình 8.



Hình 8: Lượng phân bón sử dụng theo thời gian sinh trưởng của cây lúa

Đường cong lượng phân urê trung bình cần sử dụng theo thời gian đối với cây lúa (như Hình 8) cho thấy lượng urê dùng nhiều ở giai đoạn đầu và ít hơn ở các giai đoạn sau. Trên cơ sở lượng phân urê sử dụng và hiệu suất sử dụng (recovery efficiency, Re) trung bình của phân urê cho cây lúa ở vùng ĐBSCL là 40% [16], tỉ lệ nhu cầu phân urê (tỉ lệ giữa lượng urê cây hấp thụ và tổng lượng urê cần thiết) của cây lúa có thể được xác định và mô tả như Hình 8. Việc sử dụng CRUF phải đảm bảo phù hợp hoàn toàn hoặc một phần đường cong nhu cầu này.

Ở trường hợp thứ nhất, thực hiện bón phân một lần trong suốt quá trình canh tác, CRUF được thiết kế sao cho đường cong giải phóng của phân bón và đường cong nhu cầu tương thích nhau. Kết quả quá trình tính toán được biểu diễn như Hình 9 và các kết quả tính toán tối ưu được trình bày trong Bảng 1.



Hình 9: Đánh giá kết quả tính toán lượng urê giải phóng và nhu cầu của cây lúa khi bón 1 lần

Hình 9 cho thấy các đường cong tính toán ứng với các bề dày của màng khác nhau có sự tương thích với đường cong nhu cầu của cây lúa ở giai đoạn đầu (trước ngày thứ 20). Từ ngày thứ 20 trở đi, lượng phân bón cung cấp cao hơn nhu cầu của cây trồng tạo nên sự dư thừa, sự chênh lệch giữa các đường cong giải phóng urê và đường cong nhu cầu được đánh giá qua hệ số tương quan ( $R^2$ ) và được biểu diễn như Bảng 1.

Bảng 1: Kết quả tính toán thông số quá trình bón 1 lần

Mẫu	d mm	t' ngày	t* ngày	R <sup>2</sup>
1	1,4 ± 0,098	1,80	13,15	0,9389
2	1,5 ± 0,0375	2,13	15,56	0,9738
3	1,6 ± 0,032	2,49	18,22	0,9797
4	1,7 ± 0,051	2,89	21,16	0,9556
<b>5</b>	<b>1,57 ± 0,047</b>	<b>2,38</b>	<b>17,39</b>	<b>0,9810</b>

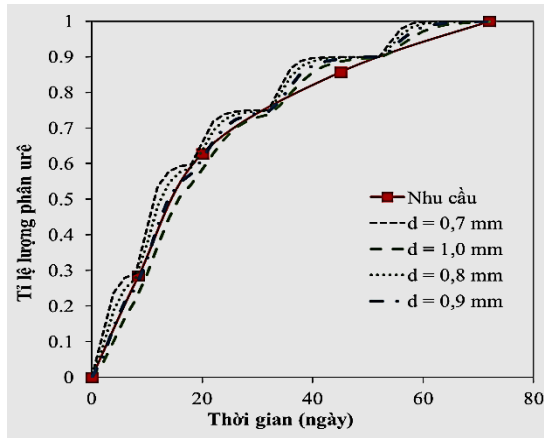
Kết quả tính toán trong Bảng 1 cho thấy hệ số tương quan lớn nên đảm bảo sự phù hợp giữa đường cong giải phóng và đường cong nhu cầu. Giá trị tối ưu của quá trình tính toán ở trường hợp bề dày màng bằng 1,57 mm, hệ số tương quan đạt 0,981. Tuy nhiên, kích thước màng quá lớn dẫn đến kích thước hạt to, đòi hỏi thời gian bọc dài, quá trình sản xuất vận hành phức tạp, khó áp dụng thực tế trong sản xuất.

Trường hợp nhiều lần bón, chúng ta có thể sử dụng cùng một loại CRUF hoặc tiến hành nhiều loại khác nhau mà vẫn đảm bảo được yêu cầu của cây trồng. Một số công thức sử dụng tối ưu được xác định và mô tả như Bảng 2. Với trường hợp bón nhiều lần, nhiều loại phân, ba lần đầu sử dụng sản phẩm độ dày 0,7mm (3-0,7 mm), hai lần sau có thể sử dụng sản phẩm 0,8 mm (2-0,8mm); 0,9 mm (2-0,9mm) và 1,0 mm (2-1,0mm). Kết quả tính toán đánh giá sự phù hợp giữa nhu cầu urê của cây và lượng urê cung cấp cho trường hợp bón nhiều lần được biểu diễn như Hình 10.

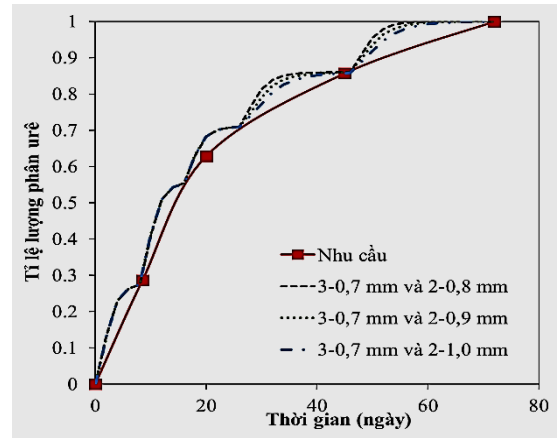


Bảng 2: Một số công thức sử dụng CRUF trường hợp bón nhiều lần

Lần bón	Một loại phân CRUF		Hai loại phân CRUF		
	Ngày thứ	Tỉ lệ	Ngày thứ	Tỉ lệ	Loại phân
1	0	30%	0	28%	$d = 0,7 \text{ mm}$
2	8	30%	8	28%	$d = 0,7 \text{ mm}$
3	18	15%	18	15%	$d = 0,7 \text{ mm}$
4	32	15%	26	15%	0,8 hoặc 0,9 hoặc 1,0 mm
5	52	10%	46	14%	0,8 hoặc 0,9 hoặc 1,0 mm



(a)



(b)

Hình 10: Đánh giá kết quả tính toán lượng urê giải phóng và nhu cầu của cây trong trường hợp bón nhiều lần một loại phân (a) và hai loại phân (b)

Lượng urê giải phóng cho các công thức đều đáp ứng được nhu cầu của cây lúa, nhưng trong trường hợp bón nhiều lần với hai loại phân cho thấy sự chênh lệch giữa lượng urê giải phóng và nhu cầu không lớn cho nên tránh được thất thoát và dư thừa phân bón nhiều hơn. Đồ thị cũng cho thấy hiệu quả đáp ứng tốt nhất với sản phẩm có độ dày 0,9 mm cho trường hợp bón nhiều lần một loại và khi bón kết hợp CRUF có độ dày 0,7 mm cùng CRUF dày 1,0 mm.

Các phương pháp, công thức sử dụng CRUF trong sản xuất nông nghiệp được lựa chọn sao cho lượng nguyên liệu sử dụng là tối thiểu, chi phí sản xuất thấp nhất đồng thời tránh thất thoát tác động ra ngoài môi trường. Dự toán lượng nguyên liệu cần dùng cho một số các công thức sử dụng CRUF tối ưu được trình bày trong Bảng 3.

Bảng 3: Dự toán lượng nguyên liệu sử dụng

TT	Công thức	Lượng phân urê (kg/ha)	Lượng vật liệu bọc (kg/ha)	Tổng lượng nguyên liệu (kg/ha)
1	Phân urê thông thường	$175 \pm 5.25$	0	$175 \pm 10.5$
2	Phân CRUF bón 1 lần với $d = 1,57 \text{ mm}$	$70 \pm 2.8$	$163 \pm 4.89$	$233 \pm 6.99$
3	Phân CRUF bón nhiều lần với $d = 0,9 \text{ mm}$	$70 \pm 4.2$	$70 \pm 2.1$	$140 \pm 5.6$
4	Phân CRUF bón nhiều lần với $d_1 = 0,7 \text{ mm}; d_2 = 1 \text{ mm}$	$70 \pm 5.6$	$59.3 \pm 2.965$	$129.3 \pm 3.879$

Bảng 3 cho thấy, nếu sử dụng CRUF thì lượng phân urê cần dùng sẽ chỉ bằng 40% so với sử dụng phân urê thông thường nên giảm lượng phân bón thất thoát, tránh tác động môi trường. Tuy nhiên, lượng nguyên liệu bọc sử dụng sẽ quyết định đến chi phí sản xuất. Với công thức bón 1 lần thì lượng nguyên liệu sử dụng khá lớn (163 kg/ha), ngược lại trường hợp bón nhiều lần giúp tiết kiệm được nguyên liệu ( $59 \div 70 \text{ kg/ha}$ ) nhưng chi phí canh tác tăng. Vì vậy, tùy theo từng điều kiện canh tác, sản xuất mà công thức và loại phân sử dụng được xem xét lựa chọn sao cho hợp lý nhằm tối thiểu chi phí canh tác và chi phí nguyên vật liệu sử dụng.

#### 4 KẾT LUẬN

Bằng hệ thống bọc hạt đĩa quay, nghiên cứu đã sản xuất được sản phẩm phân urê giải phóng kiểm soát với màng bọc polyme phân hủy sinh học, giúp tăng thời gian giải phóng và giảm lượng dinh dưỡng thất thoát ra ngoài môi trường. Sản phẩm có thời gian giải phóng hơn 100 lần với phân urê thông thường và tương ứng với các loại CRUF thương mại khác. Nghiên cứu cũng đã chứng minh được cơ chế, xác định được mô hình thực nghiệm quá trình giải phóng theo cơ chế khuếch tán qua màng bằng FEM và tính toán các thông số thực nghiệm của quá trình giải phóng urê của CRUF sản phẩm. Các kết quả này được sử dụng để tính toán, đánh giá sự phù hợp giữa lượng urê giải phóng với nhu cầu của cây lúa nước, từ đó định hướng việc thiết kế sản phẩm CRUF và công thức sử dụng tối ưu trong sản xuất lúa nước ở vùng Đồng Bằng Sông Cửu Long bao gồm: bón một lần một loại phân có độ dày 1,57 mm, bón nhiều lần 1 loại phân  $d=0,9$ mm và 2 loại phân  $d=0,7$  mm và  $d=0,8$  hoặc  $0,9$  hoặc  $1,0$  mm. Mặc dù, kết quả nghiên cứu đã đề xuất được công thức và phương pháp sử dụng sản phẩm CRUF trong sản xuất nông nghiệp nhưng vẫn chưa thử nghiệm trực tiếp trong thực tế. Ngoài ra, các yếu tố ảnh hưởng khác như: điều kiện môi trường, nhiệt độ, độ pH, tính chất của đất... chưa được đánh giá đầy đủ. Đây là những định hướng cần tiến hành cho 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 và 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*, Frankfurt, 2005, pp. 1–15.
- [3] H. F. Reetz, *Fertilizers and their efficient use*, 1st ed. 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," *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, vol. 52, no. 4, pp. 381–386, 2013, doi: 10.1080/03602559.2012.752000.
- [5] M. Y. Naz and S. A. Sulaiman, "Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: A review," *Journal of Controlled Release*, vol. 225, pp. 109–120, 2016, doi: 10.1016/j.jconrel.2016.01.037.
- [6] 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, doi: 10.1002/jsfa.6812.
- [7] 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, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2007.12.003.
- [8] 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, doi: 10.1088/1742-6596/890/1/012078.
- [9] A. Shaviv, "Advances in controlled-release fertilizers," *Advances in Agronomy*, vol. 71, pp. 1–49, 2000, doi: 10.1016/S0065-2113(01)71011-5.
- [10] A. Shaviv, "Plant response and environmental aspects as affected by rate and pattern of nitrogen release from controlled release N fertilizers," in *Progress in Nitrogen Cycling Studies*, V. Cleemput, Ed., Kluwer Academic, 1996, pp. 285–291. doi: 10.1007/978-94-011-5450-5\_48.
- [11] H. T. Nguyen, V. D. Doan, and V. D. Trinh, "Synthesis of Biodegradable Mixing-Polymer as Coating Material for Controlled-Release Urea Fertilizer," *Adv Mat Res*, vol. 1152, no. 3, pp. 43–51, 2019, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1152.43.
- [12] 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. doi: 10.1016/0026-265X(68)90115-X.

- [13] A. Shaviv, “Advances in controlled-release fertilizers,” *Advances in Agronomy*, vol. 71, pp. 1–49, 2000, doi: 10.1016/S0065-2113(01)71011-5.
- [14] A. Shaviv, S. Raban, and E. Zaidel, “Modeling controlled nutrient release from polymer coated fertilizers: Diffusion release from single granules,” *Environ Sci Technol*, vol. 37, no. 10, pp. 2251–2256, 2003, doi: 10.1021/es011462v.
- [15] T. P. Mai, “Bón phân cho lúa ở Đồng bằng sông Cửu Long”, Trung tâm khuyến nông quốc gia. [Online]. Available: <https://khuyennongvn.gov.vn/khoa-hoc-cong-nghe/khcn-trong-nuoc/bon-phan-cho-lua-o-dong-bang-song-cuu-long-18450.html>, 09/04/2019.
- [16] P. S. Tân and C. V. Hách, “Bón phân cho lúa vùng đồng bằng sông cửu long,” vol. 2010, pp. 154–167, 2012.
- [17] A. Shaviv, S. Raban, and E. Zaidel, “Modeling controlled nutrient release from polymer coated fertilizers: Diffusion release from single granules,” *Environ Sci Technol*, vol. 37, no. 10, pp. 2251–2256, 2003, doi: 10.1021/es011462v.
- [18] 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,” *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, vol. 5, no. 1, pp. 58–63, 2014, doi: 10.7763/IJCEA.2014.V5.351.

## PRODUCTION AND USING ORIENTATION OF CONTROLLED RELEASE UREA FERTILIZER FOR WET-RICE CULTIVATION IN VIETNAM

TRUNG NGUYEN HUU <sup>1,\*</sup>, VAN NHIEU LE <sup>1</sup>, HOAI DUC TRAN <sup>1</sup>, DUNG TRINH VAN <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Chemical Engineering, Industrial University of Ho Chi Minh City;

<sup>2</sup> Faculty of Chemical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology.

\*Corresponding author: [nguyenhuutrong@iuh.edu.vn](mailto:nguyenhuutrong@iuh.edu.vn)

**Abstract.** Controlled-release fertilizers (CRFs) are a promising way to develop sustainable and modern agriculture. CRFs have lower production costs, save resources, enhance crop yield and quality, and prevent environmental damage. This study aimed to develop and produce controlled-release urea fertilizer (CRUF) and design formulation for wet-rice growth in Vietnam. The coating particle technology with a biodegradable polymer mixture, which was synthesized from distarch phosphate, poly(vinyl alcohol), and poly(acrylic acid), was used to produce CRUF. The CRUF characteristics were measured using optical microscopy, scanning electron microscopy, and image analysis methods. The obtained product was also compared with commercial urea products. The study also established the mechanism and mathematical model for the urea release process of CRUF. The calculated diffusion coefficient of water and urea through the membrane is  $1.47 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{h}$  and  $2.2 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{h}$ , lag period of 1.5 hours, period of linear release of 13.73 hours and steady release rate of 0.548. These results were used to calculate and evaluate the suitability between the amount of urea released and the needs of wet rice which can design and apply them in the production of the Mekong Delta's wet rice.

**Keyword.** Biodegradable polymer, coating particle technology, controlled-release urea, wet-rice.

Ngày gửi bài: 04/12/2023

Ngày chấp nhận đăng: 26/04/2023