

MÔ HÌNH HÓA THỰC NGHIỆM QUÁ TRÌNH TẠO GIỌT POLYME TRONG CÔNG NGHỆ BỌC HẠT ỨNG DỤNG TẠO PHÂN URÊ THÔNG MINH

NGUYỄN HỮU TRUNG^{1,4}, TRẦN HOÀI ĐỨC¹, HỒ TẤN THÀNH², TRẦN NGHỊ³,
TRỊNH VĂN DŨNG⁴

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

² Khoa Công nghệ Hóa học, Trường Đại học Công nghiệp thực phẩm Thành phố Hồ Chí Minh;

³ 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.
nguyenhhuutrong@iuh.edu.vn

Tóm tắt. Quá trình tạo giọt đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực công nghệ như công nghệ bọc hạt, tạo màng, tạo hạt, quá trình làm lạnh, bay hơi, trích ly và sơn. Mô hình toán thực nghiệm của quá trình tạo giọt là cơ sở để tính toán, điều chỉnh và kiểm soát thông số hình thành giọt, từ đó giúp đánh giá được chất lượng, tính chất của sản phẩm thu được. Mục tiêu nghiên cứu nhằm xác định mô hình toán thực nghiệm của quá trình tạo giọt dung dịch polyme trong công nghệ bọc hạt, ứng dụng tạo phân urê thông minh (SUFs). Dung dịch polyme dùng tạo màng bọc cho phân urê, được tổng hợp từ tinh bột biến tính phốt phát (PDSP), poly vinyl ancol (PVA) và natri tetraborat ($\text{Na}_2 \text{B}_4 \text{O}_7$), có khả năng phân hủy sinh học và thân thiện với môi trường. Kích thước, hình dạng, khoảng cách và tốc độ rơi của giọt được xác định bằng cách sử dụng máy quay phim tốc độ cao (500 hình/giây), kết hợp với công cụ phân tích hình ảnh của phần mềm MATLAB. Kết quả của nghiên cứu đã thiết lập được mô hình toán và các thông số tính toán của mô hình bằng phương pháp phân tích thứ nguyên kết hợp hồi quy bình phương cực tiểu.

Từ khóa. Công nghệ bọc hạt, mô hình toán thực nghiệm, quá trình tạo giọt, phân urê bọc, polyvinyl alcohol, tinh bột biến tính.

MODELING OF THE POLYMER DROP PROCESS IN THE COATING TECHNOLOGY BY EXPERIMENT FOR PRODUCTION OF SMART UREA FERTILIZER

Abstract. The drop process has an important role in many production technologies, such as: coating particles, granulation, cooling, evaporation, extraction and painting technology. The experimental mathematical model of the drop process is the basis for calculating, adjusting and controlling the droplet formation parameters, thereby assessing the quality and properties of the product obtained. The objective of the study is to determine a mathematical model of the polymer drop process in the coating technology by experiment for production of coated urea fertilizer. The polymer solution was synthesized from phosphated distarch phosphate (PDSP), polyvinyl alcohol (PVA) and sodium tetraborate ($\text{Na}_2 \text{B}_4 \text{O}_7$), biodegradable and environmentally friendly, used as coating material for production of smart urea fertilizers (SUFs). Shape and size of droplet and height, velocity of drop were determined by using high-speed camera 500 frame per second (fps) and image processing toolbox of the MATLAB® software. The mathematical equations and parameters of model drop process was also built up by dimensional analysis method and the least squares regression line.

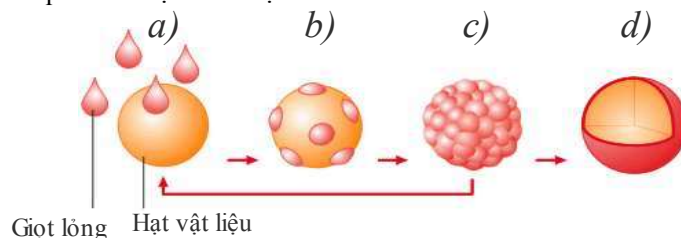
Keyword. Coating technology, coated urea fertilizer, drop process, experimental mathematical model, modified starch, polyvinyl alcohol.

1 GIỚI THIỆU

Phân bón đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao năng suất và chất lượng nguồn lương thực, ảnh hưởng đến tình hình an ninh lương thực toàn cầu. Phân bón được sử dụng ngày càng phổ biến và dự báo sẽ tăng lên trong tương lai [1]. Tuy nhiên, hiệu suất sử dụng phân bón của cây trồng tương đối thấp, nên một lượng lớn chất dinh dưỡng thất thoát ra ngoài, gây ô nhiễm môi trường, ảnh hưởng sức khỏe và hao phí nguồn nguyên vật liệu sử dụng [2], [3]. Nhiều đề xuất, hướng dẫn, nghiên cứu và khảo nghiệm khác nhau đã được giới thiệu nhằm giúp nâng cao hiệu quả sử dụng phân bón trong sản xuất nông nghiệp hiện nay [1]. Trong đó, việc sử dụng các loại phân bón hiệu suất cao có ý nghĩa quan trọng trong nền sản xuất nông nghiệp hiện đại. Phân bón hiệu suất cao giúp tiết kiệm được thời gian, chi phí sản xuất, giảm thất thoát và tác động môi trường.

Trên cơ sở cấu trúc và phương pháp phân tán chất dinh dưỡng phân bón hiệu suất cao được chia làm 3 loại: (1) phân bón nhả chậm (slow release fertilizers – SRFs) dựa trên cơ sở thay đổi thành phần, tính chất, cấu trúc của các phân tử trong quá trình tổng hợp và tạo hạt, vì vậy đòi hỏi sự thay đổi quá trình, công nghệ sản xuất. Ngoài ra, cũng khó điều chỉnh thời gian hòa tan, hàm lượng chất dinh dưỡng để phù hợp với nhu cầu của cây trồng; (2) phân bón ổn định (Stabilized Fertilizers - SFs) chứa các chất hoặc các vi sinh vật ức chế làm giảm sự chuyển hóa gốc amin trong urê thành ammoniac hoặc nitrit trong nitrat để bay hơi, tránh thất thoát, phân bón loại này thường có giá thành cao; (3) phân bón phân giải có kiểm soát (controlled release fertilizers - CRFs), còn được xem là phân thông minh (SFs). Phân này dựa vào màng bọc được tạo bên ngoài giúp kiểm soát sự phóng thích và duy trì hàm lượng dinh dưỡng ở mức độ thích hợp với cây trồng. Phân bón phân giải có kiểm soát thường được sản xuất bằng công nghệ bọc hạt, tránh thay đổi công nghệ sản xuất hiện tại, đồng thời giảm chi phí sản xuất và đầu tư [4].

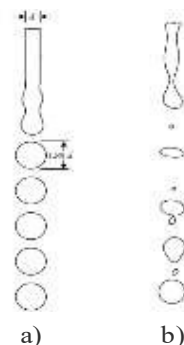
Phân urê thông minh (SUFs) được tạo thành từ công nghệ bọc hạt với màng bọc polyme được tổng hợp từ tinh bột biến tính phốt phát (PDSP), poly vinyl ancol (PVA) và natri tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) cho thời gian khuếch tán đến 20 ngày trong môi trường đất [5]. Công nghệ bọc hạt được ứng dụng nhằm tạo nên một lớp màng bao phủ vật liệu. Quá trình này được chia thành 4 loại: bọc khô, bọc ướt, bọc nóng chảy và bao phim lỏng. Trong đó, quá trình bọc ướt được sử dụng phổ biến và ứng dụng hầu hết trong sản xuất hiện tại [6]. Cơ chế quá trình bọc ướt được mô tả như *Hình 1*



Hình 1. Cơ chế quá trình bọc ướt bao gồm các giai đoạn a) sự hình thành giọt lỏng tiếp xúc với hạt; b) sự kết dính của dung dịch lỏng trên bề mặt hạt; c) quá trình bay hơi hình thành lớp màng; d) hạt sau khi được bọc hoàn toàn [7].

Quá trình tạo giọt có ý nghĩa quan trọng quá trình bọc, quyết định đến khả năng tiếp xúc của giọt lỏng và hạt vật liệu, liên kết giữa vật liệu, dung dịch bọc và hình thành màng bọc. Việc xác định cơ chế, thông số quá trình tạo giọt sẽ giúp điều chỉnh quá trình bọc, định hướng được chất lượng và tính chất của sản phẩm.

Nhiều mô hình nguyên cứu thực nghiệm và lý thuyết quá trình tạo giọt đã được giới thiệu và công bố trước đây. Động học quá trình tạo giọt của quá trình thực và lý tưởng được Rayleigh giới thiệu như *Hình 2* [8].



Hình 2. Sự hình thành giọt cho trường hợp a) lý tưởng; b) thực

Tyler [9] bằng phương pháp quang điện đã tiến hành xác định kích thước và khoảng cách của giọt được tạo ra bởi ống mao quản với các chất lỏng như: nước, thủy ngân, anilin, đồng thời cũng chứng minh được sự tương thích giữa mô hình thực nghiệm và lý thuyết. Gordon [10], Lane [11], Hansen và Rodsrud [12] bằng phương pháp thực nghiệm, phân tích hình ảnh và mô hình toán học đã xác định cơ chế quá trình tạo giọt, xác định tốc độ và hình dạng của sự hình thành giọt với các yếu tố ảnh hưởng chính của quá trình là sức căng bề mặt và độ nhớt của dung dịch lỏng. Hinze [13] thiết lập mô hình phân tán giọt phụ thuộc vào lực biến dạng và lực phá vỡ được biểu diễn bằng phương trình chuẩn số với hai chuẩn số Weber (We) và hệ số độ nhớt. Tiếp theo, John van Boxel [14], Lin và Reitz [15] đã phát triển mô hình toán cho quá trình rơi của giọt, bổ sung và thiết lập phương trình chuẩn số mô tả thông số của hạt, mô hình toán được mở rộng thêm với các chuẩn số Reynolds (Re), hệ số sức căng bề mặt. Ashgriz và Yarin [16] phát triển thêm các chuẩn số Ohnesorge (Oh), Bond (Bo) và tỉ lệ khối lượng riêng và độ nhớt giúp hoàn thiện hơn mô hình toán của quá trình. Ngoài ra, trên cơ sở các phương trình dòng liên tục, phương trình thủy lực Navier–Stokes, phương trình bảo toàn động lượng, một số mô hình lý thuyết quá trình tạo giọt cũng được nghiên cứu và thiết lập [15], [16]. Tuy nhiên các mô hình này tính thực tiễn, ứng dụng chưa cao và khó áp dụng.

Nghiên cứu nhằm tiến hành xác định mô hình toán học thực nghiệm của quá trình tạo giọt bằng phương pháp phân tích thứ nguyên dựa trên công cụ phân tích hình ảnh từ thực nghiệm. Mô hình toán này là cơ sở để giúp tính toán, tối ưu, điều chỉnh và mô phỏng quá trình bọc hạt tạo phân urê bọc sau này, ứng dụng cho sản xuất nông nghiệp hiện đại, giúp giảm chi phí, thân thiện môi trường.

2 THỰC NGHIỆM

2.1 Hóa chất và thiết bị

Hóa chất tổng hợp dung dịch bọc gồm: tinh bột biến tính photphat (PDSP, E1412) được cung cấp bởi Công ty Nam Bảo Tín, Việt Nam; polyvinyl alcohol (PVA, PCT1316, 99%) được sản xuất bởi HiMedia, Ấn Độ; Natri tetraborat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 99,5%), glycerol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$, 99%) được mua từ Guangdong, Trung Quốc.

Thiết bị sử dụng tổng hợp dung dịch bọc gồm: Máy khuấy cơ IKA RW20 – Đức, tốc độ từ 60-2000 vòng/phút; cân kỹ thuật Gibertini ($d=0,01\text{g}$, Ý); bếp điện Gali (Đài Loan). Hệ thống thiết bị xác định tính chất, thông số màng gồm: máy phân tích quang phổ hồng ngoại FT-IR Tensor 27 (Bruker Optics, Đức); nhớt kế (cốc đo) Prona RV2 (lỗ 4 mm); thiết bị đo sức căng bề mặt CSC – DuNOUY, vòng duNouy là 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. Máy ảnh Sony RX100 Mark V có tốc độ quay chậm từ 250 đến 1000 hình/giây (fps), được sử dụng để ghi nhận hình ảnh thực nghiệm.

2.2 Phương pháp thực nghiệm

2.2.1 Tổng hợp dung dịch polyme ứng dụng làm vật liệu bọc phân urê

Hồ hóa 5g tinh bột biến tính photphat với 200mL nước cất ở nhiệt độ 75 °C, tốc độ khuấy 350 vòng/phút, trong 30 phút. Thêm 0,1g $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ tiếp tục khuấy trộn trong 5 phút. Sau đó, cho thêm từ từ 4g PVA và 2g glycerol được cho tiếp vào dung dịch, khuấy trong 30 phút, với tốc độ khuấy 450 vòng/phút [5].

Ở các giai đoạn tổng hợp, dung dịch được lấy ra phủ trên đĩa petri (60x15mm) để tạo lớp màng bọc trong 30 phút, sau đó sấy khô ở 70 °C, trong 1 giờ, mẫu sau khi sấy được đem phân tích quang phổ hồng ngoại (FTIR) với chất nền KBr, bước sóng từ 500 cm^{-1} đến 4000 cm^{-1} . Dung dịch polyme sau khi tổng hợp được đem đi xác định khối lượng riêng, độ nhớt và sức căng bề mặt ở các nhiệt độ khác nhau.

2.2.2 Thực nghiệm quá trình phân tán giọt và phân tích hình ảnh

Lấy chính xác 50mL dung dịch polyme cho vào phễu chiết quả lê 125mL, đầu ra của phễu được nối bằng đầu nối có kích thước tương ứng với các thí nghiệm. Mở van điều chỉnh của phễu chiết để thực hiện quá trình tạo giọt. Toàn bộ quá trình thực nghiệm được tiến hành trong hệ thống kín tránh sự tác động các yếu tố bên ngoài như ánh sáng, không khí và nhiệt độ. Một thước đo chuẩn có bề rộng 26,4 mm được đặt vào hệ thống để xác định hệ số chuyên đổi. Máy ảnh Sony RX100 Mark V ghi lại quá trình tạo giọt với

tốc độ 500 hình/giây. Các đoạn phim sau khi được ghi nhận từ máy ảnh được đưa vào phần mềm MATLAB. Các thông số quá trình tạo giọt như: kích thước, hình dạng và khoảng cách rơi của giọt được xác định dựa trên công cụ phân tích hình ảnh của phần mềm [18].

2.2.3 Thiết lập mô hình toán thực nghiệm của quá trình tạo giọt

Mô hình toán thực nghiệm quá trình tạo giọt được xây dựng trên cơ sở phương pháp phân tích thứ nguyên, định luật Buckingham π [19]. Các thông số của quá trình tạo giọt và thứ nguyên của chúng được mô tả như Bảng 1.

Bảng 1. Thông số quá trình tạo giọt

<i>i</i>	Thông số (Z_i)	Ký hiệu	Đơn vị	Thứ nguyên
1	Khoảng cách rơi của giọt	l	m	L
2	Kích thước giọt	d	m	L
3	Đường kính đầu tạo giọt	D	m	L
4	Gia tốc trọng trường	g	m/s ²	L.T ⁻²
5	Tốc độ rơi của giọt	ω	m/s	L.T ⁻¹
6	Khối lượng riêng không khí	ρ	kg/m ³	M.L ⁻³
7	Khối lượng riêng màng	ρ_m	kg/m ³	M.L ⁻³
8	Độ nhớt không khí	μ	Pa.s	M.L ⁻¹ .T ⁻¹
9	Độ nhớt màng	μ_m	Pa.s	M.L ⁻¹ .T ⁻¹
10	Sức căng bề mặt màng	σ	N/m	M.T ⁻²

Sau khi phân tích, mô hình toán tổng quát của quá trình tạo giọt bao gồm 4 hệ số và 3 chuẩn số không thứ nguyên được mô tả như sau:

$$\frac{d}{D} = A \cdot \left(\frac{l}{d}\right)^a \cdot \left(\frac{\mu_m}{\mu}\right)^b \cdot \left(\frac{\rho_m}{\rho}\right)^c \cdot Re^d \cdot We^e \cdot Fr^f \quad (1)$$

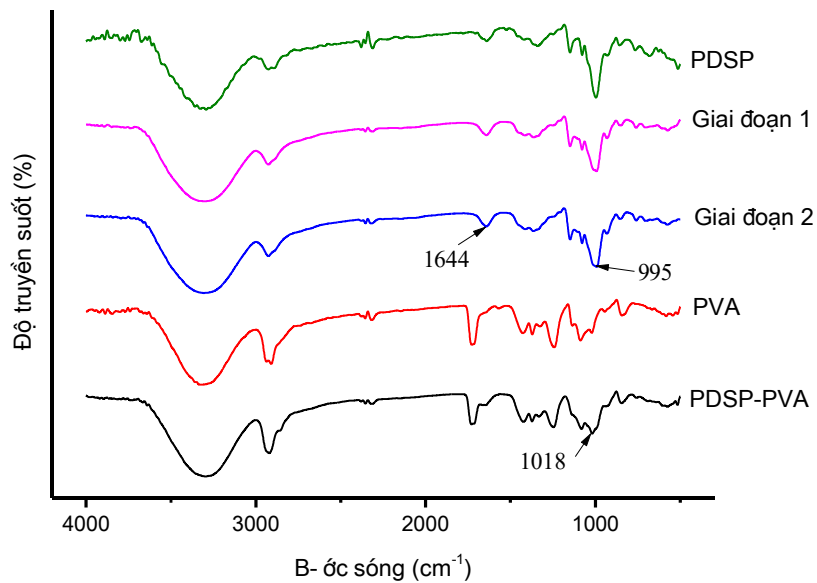
Trong đó: A là hằng số; chuẩn số Reynold, $Re = \frac{\omega \cdot d \cdot \rho_m}{\mu_m}$; chuẩn số Weber, $We = \frac{\omega^2 \cdot d \cdot \rho_m}{\sigma}$ và chuẩn số Froude, $Fr = \frac{\omega}{\sqrt{d \cdot g}}$

3 KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1 Tính chất màng polyme

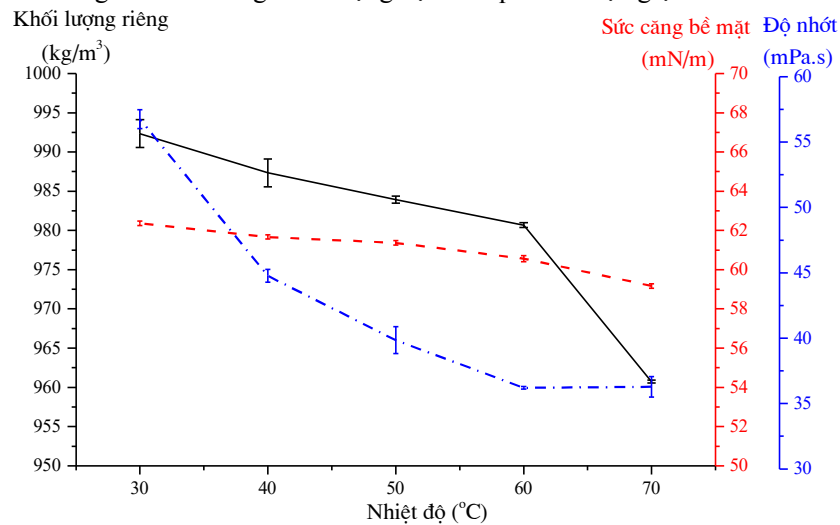
Phổ FTIR của các giai đoạn quá trình tổng hợp màng được mô tả như Hình 3. Phổ FTIR màng bọc giai đoạn 1 và giai đoạn 2 tương tự như phổ FTIR của tinh bột biến tính photphat. Điều này cho thấy ở 2 giai đoạn này chưa có phản ứng và hình thành liên kết mới, bởi vì ở giai đoạn này các phân tử tinh bột chỉ thực hiện quá trình trương nở khi hồ hóa (giai đoạn 1) và oxy hóa dưới tác nhân natri tetraborat (giai đoạn 2).

Phổ FTIR màng bọc giai đoạn 3, sau khi thêm PVA vào, không xuất hiện mũi ở bước sóng 1644 cm⁻¹ (P=O) 995 cm⁻¹ so với phổ FTIR giai đoạn 2, trong khi đó mũi ở bước sóng 1018 cm⁻¹ (-O) hình thành ở giai đoạn 3. Điều này cho thấy, có sự hình thành liên kết giữa PVA và tinh bột biến tính photphat. Kết quả đo thực nghiệm cũng cho thấy độ nhớt của dung dịch cũng tăng lên đáng kể. Màng bọc được hình thành từ các chất có nguồn gốc tự nhiên, vì vậy có khả năng phân hủy sinh học và thân thiện môi trường [20].



Hình 3. Phổ FTIR của nguyên liệu và các giai đoạn quá trình tổng hợp màng polyme

Kết quả đo thông số động học của dung dịch màng được biểu diễn như Hình 4. Sự thay đổi thông số khối lượng riêng, độ nhớt và sức căng bề mặt của dung dịch màng theo nhiệt độ không lớn. Vì vậy, nhiệt độ không làm ảnh hưởng lớn đến thông số và động học của quá trình tạo giọt.

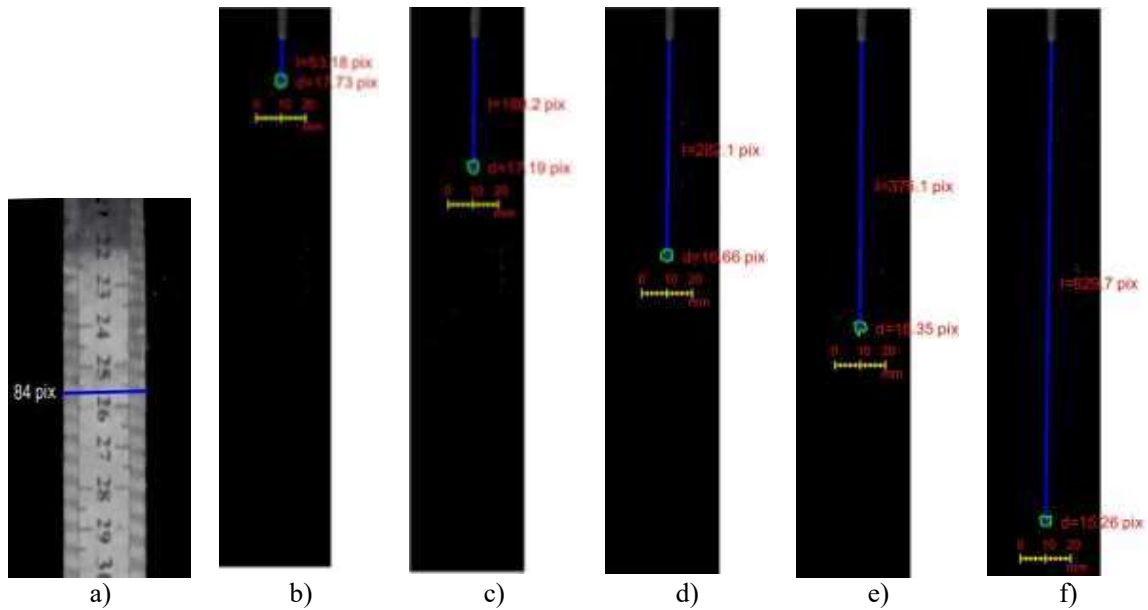


Hình 4. Thông số động học của dung dịch polyme tổng hợp làm vật liệu bọc

3.2 Phân tích hình ảnh quá trình tạo giọt

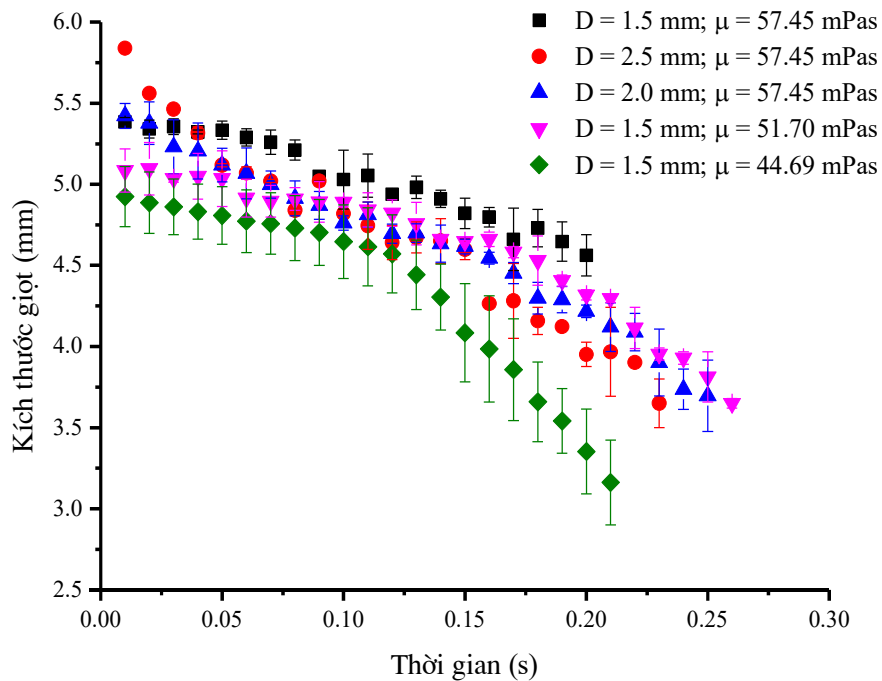
Hình ảnh thước chuẩn được cắt ra từ ảnh của quá trình tạo giọt và được tiến hành phân tích kích thước để xác định chiều rộng của thước như Hình 5a. Kích thước bề rộng của thước đo chuẩn từ kết quả phân tích hình ảnh là 84 pixel, kích thước thực của thước bề rộng là 26,4 mm, tỉ lệ chuyển đổi đơn vị đo là 3,1818 pixel/mm. Tỉ lệ này giúp chuyển đổi kích thước từ đơn vị pixel sang đơn vị mm, để xác định kích thước của giọt theo đơn vị SI.

Hình ảnh quá trình tạo giọt được phần mềm xử lý tăng độ tương phản hình ảnh. Dựa trên mức độ tương phản màu sắc của hình ảnh giọt và nền ảnh, xác định được hình dạng, kích thước và khoảng cách của giọt với đầu tạo giọt, kết quả mô tả như Hình 5b, c, d, e, f.



Hình 5. Kết quả phân tích hình ảnh thước chuẩn (a); kích thước hạt ở các thời gian rơi 0,04s (b); 0,08s (c); 0,12s (d); 0,16s (e) và 0,24s (f)

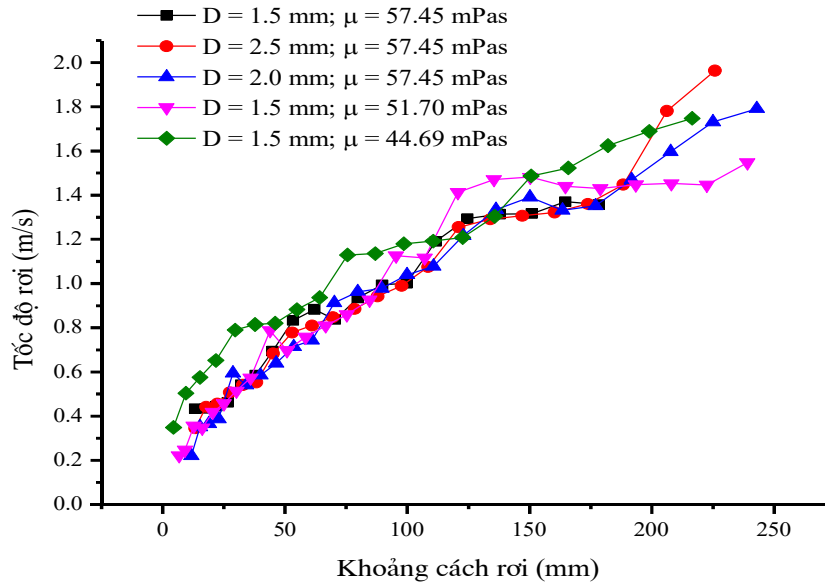
Kết quả phân tích hình ảnh xác định kích thước giọt theo thời gian rơi, ứng với đầu tạo giọt và điều kiện thực nghiệm khác nhau được mô tả như Hình 6



Hình 6. Thay đổi kích thước giọt theo thời gian rơi

Hình 6 cho thấy kích thước giọt giảm dần theo thời gian, nguyên nhân là do quá trình phân tán, bay hơi của giọt trong quá trình rơi. Đường kính đầu tạo giọt cũng ảnh hưởng đến quá trình tạo giọt, kích thước giọt lớn khi đầu tạo giọt có đường kính lớn và thời gian rơi cũng dài hơn. Dung dịch có độ nhớt thấp, kích thước giọt tạo thành nhỏ hơn và giảm nhanh theo thời gian.

Tốc độ rơi ứng với các khoảng cách rơi của giọt được tính toán và mô tả như Hình 7



Hình 7. Biến đổi tốc độ rơi của giọt theo khoảng cách rơi

Hình 7 cho thấy tốc độ rơi của giọt tăng dần theo khoảng cách rơi và thay đổi ổn định. Tốc độ rơi của giọt ở các thí nghiệm khác nhau thì tương tự nhau ít chịu ảnh hưởng nhiều của kích thước đầu tạo giọt. Điều này cho thấy tốc độ rơi và quá trình chuyển động của giọt chỉ phụ thuộc vào lực trọng trường, không bị ảnh hưởng bởi các lực tác động khác và cũng như môi trường bên ngoài.

3.3 Xác định mô hình toán thực nghiệm quá trình tạo giọt

Kết quả thực nghiệm quá trình tạo giọt sử dụng tính toán mô hình được mô tả như Bảng 2

Bảng 2. Kết quả thực nghiệm quá trình tạo giọt tính toán mô hình

TN	d	g	ω	\square_m	\square_m	\square	l	D	\square	\square
1	0.00507	0.981	0.5942	992.3	0.05745	0.0624	0.0287	0.002	1.164	0.00001872
2	0.00500	0.981	0.5403	992.3	0.05745	0.0624	0.0342	0.002	1.164	0.00001872
3	0.00491	0.981	0.5850	992.3	0.05745	0.0624	0.0400	0.002	1.164	0.00001872
4	0.00487	0.981	0.6396	992.3	0.05745	0.0624	0.0464	0.002	1.164	0.00001872
5	0.00477	0.981	0.7143	992.3	0.05745	0.0624	0.0536	0.002	1.164	0.00001872
6	0.00365	0.981	1.5474	990.0	0.05107	0.0620	0.2390	0.0015	1.164	0.00001872
7	0.00481	0.981	0.6519	987.0	0.04469	0.0617	0.0218	0.0015	1.164	0.00001872
8	0.00393	0.981	1.45292	990.0	0.05107	0.0620	0.2080	0.0015	1.164	0.00001872
9	0.00381	0.981	1.44599	990.0	0.05107	0.0620	0.2224	0.0015	1.164	0.00001872
10	0.00365	0.981	1.54747	990.0	0.05107	0.0620	0.2390	0.0015	1.164	0.00001872

Kết quả tính toán giá trị các số hạng của phương trình (1) được mô tả như Bảng 3. Tiến hành phân tích kết quả tính toán thực nghiệm và kết hợp phương pháp bình phương cực tiểu giúp xác định các hệ số của phương trình (1) [21], từ đó suy ra phương trình mô tả toán học của quá trình tạo giọt như sau:

$$\frac{d}{D} = 3.94 \cdot 10^{-5} \cdot Re^{4.6} \cdot We^{-2.95} \cdot Fr^{1.3} \quad (2)$$

Bảng 3. Kết quả tính toán giá trị chuẩn số của mô hình

TN	$\frac{d}{D}$	$\frac{l}{d}$	$\frac{\mu_m}{\mu}$	$\frac{\rho_m}{\rho}$	Re	We	Fr
1	2.5350	5.661	3068.910	852.491	52.035	28.466	8.425
2	2.5000	6.840	3068.910	852.491	46.661	23.211	7.715
3	2.4550	8.147	3068.910	852.491	49.612	26.721	8.429
4	2.4350	9.528	3068.910	852.491	53.801	31.681	9.254
5	2.3850	11.237	3068.910	852.491	58.851	38.702	10.442
6	2.4333	65.479	2728.098	850.515	109.488	139.554	25.860
7	3.2067	4.532	2387.286	847.938	69.252	32.699	9.490
8	2.6193	52.931	2728.098	850.515	110.659	132.435	23.403
9	2.5000	6.840	3068.910	852.491	46.661	23.211	7.715
10	2.4550	8.147	3068.910	852.491	49.612	26.721	8.429

Phương trình (2) cho thấy độ nhớt và khối lượng riêng của không khí không ảnh hưởng đến quá trình tạo giọt. Tương tự, khoảng cách rơi của giọt cũng không ảnh hưởng đến kích thước giọt tạo thành. Phân tích phương sai kết quả tính toán từ phương trình (2) và kết quả thực nghiệm xác định được hệ số tương quan của phương trình $R^2 = 0,934$, giá trị hệ số Fisher tính toán $F = 15,09 > F_{0,95,3,7} = 4,347$ với mức ý nghĩa $p=0,05$. Điều này chứng tỏ phương trình hoàn toàn tương thích với thực nghiệm và có thể sử dụng để tính toán, mô tả quá trình.

4 KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã tổng hợp được dung dịch polyme bằng phản ứng tạo liên kết ngang giữa tinh bột biến tính photphat (PDSP) và polyvinyl ancol (PVA) với tác nhân natri tetraborat. Thông số quá trình tạo giọt được xác định bằng phương pháp phân tích hình ảnh, được ghi nhận bằng camera tốc độ cao, kết hợp công cụ xử lý hình ảnh của phần mềm MATLAB. Đánh giá được sự ảnh hưởng của các thông số kích thước đầu tạo giọt, độ nhớt, sức căng bề mặt, khối lượng riêng đến kích thước giọt, khoảng cách rơi và tốc độ rơi của giọt. Nghiên cứu cũng xác định được phương trình chuẩn số mô tả quá trình tạo giọt và đánh giá sự tương thích, phù hợp của phương trình. Phương trình chuẩn số là phương trình mô tả toán học mô hình thực nghiệm tạo giọt và có ý nghĩa trong việc ứng dụng tính toán, điều chỉnh, dự đoán các thông số cho quá trình bọc hạt, ứng dụng sản xuất phân urê bọc.

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] J. Harold F. Reetz, Fertilizers and their efficient use, World Fertil. Use Man., pp. 1–114, 2016.
- [2] M. E. Trenkel, Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture, International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, 2010.

- [3] A. Shaviv, Controlled release fertilizers, IFA International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Frankfurt, 2005.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] K. Saleh and P. Guigon, Coating and Encapsulation Processes in Powder Technology, Granulation, pp. 323–375, 2006.
- [7] 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.
- [8] A. H. Lefebvre and V. G. McDonnell, Basic Processes in Atomization, in *Atomization and Sprays*, 2nd ed., Taylor & Francis Group, 2017.
- [9] E. Tyler, XL. Instability of liquid jets, *Philos. Mag. J. Sci.*, vol. 16, no. 105, pp. 504–518, 1933.
- [10] G. D. Gordon, Mechanism and speed of breakup of drops, *J. Appl. Phys.*, vol. 30, no. 11, pp. 1759–1761, 1959.
- [11] W. R. Lane, Shatter of Drops in Streams of Air, *Ind. Eng. Chem.*, vol. 43, no. 6, pp. 1312–1317, 1951.
- [12] S. S. Yoon and S. D. Heister, Categorizing linear theories for atomizing round jets, *At. Sprays*, vol. 13, pp. 499–516, 2003.
- [13] J. O. Hinze, Fundamentals of the hydrodynamic mechanism of splitting in dispersion processes, *AIChE J.*, vol. 1, no. 3, pp. 289–295, 1955.
- [14] John H. van Boxel, Numerical model for the fall speed of raindrops in a rainfall simulator, *Work. Wind Water Eros.*, vol. 5, pp. 77–85, 1997.
- [15] R. D. Lin, S P and Reitz, Drop and Spray Formation, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, vol. 30, pp. 85–105, 1998.
- [16] N. Ashgriz and A. L. Yarin, Capillary Instability of Free Liquid Jets, in *Handbook of Atomization and Sprays*, Toronto, 2011, pp. 3–53.
- [17] E. Villermaux and B. Bossa, Single-drop fragmentation determines size distribution of raindrops, *Nat. Phys.*, vol. 5, no. 9, pp. 697–702, 2009.
- [18] Mathworks, Image Processing Toolbox TM User 's Guide R 2016 b, 2016.
- [19] H. Hanche-Olsen, Buckingham's pi-theorem, *Math. Model.*, 2004.
- [20] J Chen, S Lü, Z Zhang, X Zhao, X Li, P Ning, M Liu, Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment, *Sci. Total Environ.*, vol. 613–614, pp. 829–839, 2018.
- [21] Z. R. Lazic, Regression analysis, in *Design of Experiments in Chemical Engineering*, Weinheim: 4 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Germany, 2004.

Ngày nhận bài: 04/08/2019

Ngày chấp nhận đăng: 11/11/2019