

PHÂN TÍCH ĐỘNG LỰC HỌC CỦA HẠT PHÂN BÓN VÔ CƠ SỬ DỤNG Đĩa QUAY LY TÂM

Nguyễn Thị Hạnh Nguyễn^{1*}, Nguyễn Chung Thông¹,
Emmanuel Piron², Denis Miclet², Lê Tiến Thịnh³

¹Học viện Nông nghiệp Việt Nam

²Viện Nghiên cứu Nông nghiệp quốc gia, Cộng hòa Pháp

³Trường Đại học Phenikaa

*Tác giả liên hệ: hanhnguyen@vnua.edu.vn

Ngày nhận bài: 04.04.2024

Ngày chấp nhận đăng: 19.03.2025

TÓM TẮT

Nông nghiệp chính xác yêu cầu rải phân bón đúng số lượng, vị trí và thời điểm để nâng cao hiệu quả canh tác, tiết kiệm tài nguyên và giảm tác động môi trường. Nghiên cứu này xây dựng mô hình lý thuyết mô phỏng quỹ đạo hạt phân bón sau khi rời khỏi đĩa quay. Phương pháp động lực học và số Runge-Kutta được áp dụng để phân tích ảnh hưởng của hệ số cản không khí, kích thước hạt và khối lượng riêng đến quãng đường di chuyển. Kết quả cho thấy, hệ số cản không khí và quãng đường di chuyển có quan hệ tỉ lệ nghịch. Khi hệ số cản tăng từ 0,4 lên 0,6, quãng đường giảm từ 17,79m xuống 15,59m. Ngược lại, đường kính và khối lượng riêng của hạt có quan hệ tỉ lệ thuận với vị trí tiếp đất. Khi đường kính tăng từ 2mm lên 4mm, quãng đường tăng từ 13,98m lên 20,79m. Khi khối lượng riêng tăng từ 1.200 kg/m³ lên 1.800 kg/m³, quãng đường tăng từ 15,59m lên 19,64m. Nghiên cứu khẳng định rằng thiết kế hệ thống rải phân cần tính đến sự tương tác giữa các thông số cơ lý tính của hạt để tối ưu hóa hiệu quả phân phối trên đồng ruộng.

Từ khóa: Đĩa quay ly tâm, hạt phân bón vô cơ, động lực học, thông số cơ lý tính của hạt.

Dynamic Analysis of Inorganic Fertilizer Particles using Centrifugal Rotating Disc

ABSTRACT

Precision agriculture requires accurate fertilizer application in terms of quantity, location, and timing to enhance cultivation efficiency, conserve resources, and reduce environmental impact. This study develops a theoretical model to simulate the trajectory of fertilizer granules after leaving the spinning disc. The dynamics and numerical Runge-Kutta methods are applied to analyze the effects of air drag coefficient, granule size, and density on travel distance. The results show an inverse relationship between the air drag coefficient and travel distance. As the air drag coefficient increases from 0.4 to 0.6, the travel distance decreases from 17.79m to 15.59m. Conversely, granule diameter and density exhibit a direct proportionality with landing position. When the diameter increases from 2mm to 4mm, the travel distance rises from 13.98m to 20.79m. Similarly, when the density increases from 1,200 kg/m³ to 1,800 kg/m³, the travel distance extends from 15.59m to 19.64m. This study confirms that designing an optimal fertilizer spreading system requires considering the interaction between the physical and mechanical properties of the granules to maximize distribution efficiency in the field.

Keywords: Centrifugal rotating disc, inorganic fertilizer particle, dynamics, particle physical parameters.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bón phân là việc làm vô cùng cần thiết để nâng cao năng suất cây trồng và cải tạo được chất lượng đất (Stewart & cs., 2005). Hiện nay, các loại phân vô cơ dạng hạt ngày càng được sử dụng nhiều vì chúng dễ dàng sản xuất, vận

chuyển và sử dụng (Nieuwenhuizen & cs., 2003). Tuy nhiên, để bón phân dạng hạt làm sao cho đúng và hiệu quả thì cần có phương pháp bón hợp lý (Zinkevičienė & cs., 2021). Cần chú ý rằng có rất nhiều tiêu chí khi thực hiện bón phân, tiêu biểu trong đó là hai tiêu chí sau đây: Đầu tiên là cần bón đúng loại

phân, mỗi loại cây trồng có nhu cầu dinh dưỡng khác nhau, vì vậy cần chọn loại phân vô cơ phù hợp (như đạm, lân, kali...) theo giai đoạn phát triển của cây; thứ hai là cần bón đúng lượng phân, tuân thủ liều lượng khuyến cáo để tránh bón quá nhiều, gây độc cho cây và lãng phí phân bón (Stewart & cs., 2005; Nieuwenhuizen & cs., 2003). Việc nghiên cứu chế tạo được máy/thiết bị bón phân đảm bảo được cả hai yếu tố này là không đơn giản. Máy, thiết bị cần làm việc với nhiều loại hạt phân vô cơ có hình dạng, kích thước, khối lượng khác nhau, để đảm bảo tiêu chí số một. Tiếp đó, để đảm bảo tiêu chí số hai, máy, thiết bị cần các thông tin cơ lý tính của hạt phân cũng như liều lượng bón để làm cơ sở tính toán. Có thể nói rằng, đây là một bài toán phức tạp do cần tính toán thiết kế thiết bị có thể làm việc phù hợp với nhiều đối tượng nghiên cứu khác nhau.

Hiện nay, có một vài nghiên cứu phát triển máy bón phân vô cơ dạng hạt đã được đề xuất. Ở khu vực châu Á, cơ giới hóa trong khâu bón phân còn đơn giản, chi phí thấp. Park & cs. (2018) cho biết ở Nepal hiện sử dụng các máy rải hạt phân bón gắn trên lồng ngực của người nông dân, phương pháp này cũng đã đem lại sự thay đổi năng suất và hiệu quả hơn so với phương pháp áp dụng bằng tay truyền thống. Tuy nhiên, rõ ràng còn rất nhiều điểm hạn chế như sức người chỉ có thể mang được khối lượng không lớn, bề rộng làm việc nhỏ do tốc độ quay nhỏ. Tại Việt Nam, một máy gieo kết hợp bón phân cũng đã được tác giả Nguyễn Chung Thông & cs. (2021) đưa vào nghiên cứu và sản xuất thử nghiệm đã cho kết quả với năng suất tốt hơn. Tuy nhiên, các phương pháp này vẫn còn đơn giản, có nhiều hạn chế về thời gian, công sức lao động và hiệu suất công việc. Do đó, việc áp dụng một phương pháp mới tiết kiệm thời gian, sức lao động, chi phí hợp lý mà vẫn đem lại năng suất cao, là điều vô cùng cần thiết (Yinyan & cs., 2018).

Một trong những phương pháp đang được sử dụng phổ biến chính là rải hạt phân vô cơ bằng máy rải đĩa quay ly tâm (Van Liedekerke & cs., 2006). Máy rải đĩa quay ly tâm được sử dụng rộng rãi ở hầu hết các nước châu Âu và châu Mỹ (Villette & cs., 2005). Với các thiết kế

ban đầu, máy chỉ có một đĩa quay. Tuy nhiên, sau đó các thiết kế đã được mở rộng ra có hai đĩa quay đối xứng, giúp tăng bề rộng làm việc của máy (Przywara & cs., 2020). Bộ phận quan trọng nhất của máy rải đĩa quay ly tâm chính là đĩa quay với các cánh gạt được gắn lên bề mặt đĩa (Villette & cs., 2012). Các cánh gạt sẽ đóng vai trò là bộ phận tạo gia tốc cho các hạt phân vô cơ trên đĩa quay khi di chuyển dọc theo các cánh gạt. Sau khi đi ra khỏi điểm cuối của cánh gạt, với các gia tốc ban đầu đó, các hạt được phóng ra xa và có quỹ đạo chuyển động như là vật ném xiên. Cuối cùng, các hạt phân bón tiếp đất và kết thúc quỹ đạo. Phương pháp này được sử dụng rộng rãi vì có những ưu điểm vượt trội như bề rộng làm việc lớn (từ 18-40m), kích thước nhỏ, cấu tạo đơn giản, chắc chắn và sản xuất dây chuyền dễ dàng (Aphale & cs., 2003; Cool & cs., 2017).

Tuy nhiên, do chuyển động trong không khí theo quỹ đạo vật ném xiên, với vận tốc ban đầu nhất định, các hạt phân vô cơ chịu lực cản của không khí. Lực cản này có ảnh hưởng rất lớn tới khả năng bay xa của các hạt. Hơn thế nữa, lực cản không khí phụ thuộc rất nhiều và kích thước và hình dạng của hạt phân vô cơ (Tran-Cong & cs., 2004; Villette & cs., 2010). Với các hạt phân vô cơ có hình thù góc cạnh, như phân bón KCl (do phương pháp chế tạo nghiền nhỏ từ các khối lớn), lực cản không khí đóng vai trò rất quan trọng và cần được nghiên cứu chi tiết (Mando & cs., 2010; Ding & cs., 2018). Do đó, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đề xuất xây dựng mô hình nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng động lực học của hạt phân bón vô cơ sử dụng nguyên lý đĩa quay ly tâm, đặc biệt cho giai đoạn quỹ đạo ngoài không khí. Các thông số cơ lý tính của hạt sẽ được xem xét như khối lượng riêng, kích thước, hình dạng, hệ số cản không khí, cùng các ảnh hưởng của chúng tới quãng đường di chuyển của hạt.

Mục tiêu nghiên cứu là xây dựng mô hình lý thuyết mô phỏng quỹ đạo chuyển động của hạt phân bón vô cơ sau khi rời khỏi đĩa quay, nhằm phân tích ảnh hưởng của các yếu tố như hệ số cản không khí, kích thước hạt và khối lượng riêng đến quãng đường di chuyển của hạt. Qua đó, nghiên cứu hướng đến việc tối ưu hóa hiệu

quả rải phân, giúp nâng cao hiệu suất canh tác, tiết kiệm tài nguyên và giảm thiểu tác động đến môi trường.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

2.1.1. Máy rải đĩa quay ly tâm

Đối tượng nghiên cứu đầu tiên là máy rải đĩa quay ly tâm. Máy có gắn hai hoặc nhiều cánh gạt quay trên bề mặt đĩa theo các hướng ngược nhau để tăng tốc và đẩy các hạt ra ngoài theo một vòng cung (Hình 1 cho sơ đồ đĩa quay ly tâm, cánh gạt và dòng cấp liệu) (Villette & cs., 2005). Hạt phân vô cơ được đưa từ bình chứa xuống đĩa thông qua máng dẫn nhờ trọng lực, sau đó cánh gạt đang chuyển động quay tiếp xúc, gom các hạt, tăng tốc dọc theo cánh gạt và ném hạt ra ngoài tại vị trí đầu mũi cánh gạt. Các hạt được ném ra ngoài với các vận tốc thông thường trong khoảng 15-50 m/s, tùy theo vận tốc vòng quay của đĩa quay (trong khoảng từ 600 tới 1.100 vòng/phút) (Przywara & cs., 2020). Nếu vận tốc khi ném xiên của hạt lớn, hạt sẽ đi được quãng đường xa hơn. Tuy nhiên, như đã đề cập, lực cản không khí sẽ phức tạp hơn do thời gian di chuyển nhiều hơn. Do đó, các yếu tố bất định sẽ xuất hiện với tần suất cao hơn và khiến cho việc ước tính chính xác quãng đường di chuyển trở nên khó khăn hơn, chưa tính đến các yếu tố môi trường bên ngoài như gió, độ dốc của cánh đồng, thời tiết... (Cool & cs., 2016; Abbou-Ou-Cherif & cs., 2017; Abbou-Ou-Cherif & cs., 2019).

2.1.2. Phân vô cơ dạng hạt

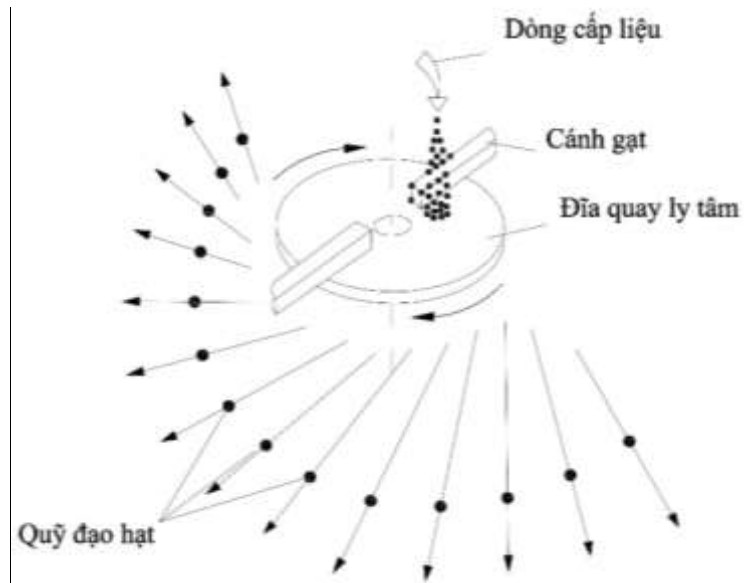
Đối tượng nghiên cứu tiếp theo là phân bón vô cơ dạng hạt. Phân vô cơ dạng hạt được sử dụng rộng rãi trong nông nghiệp và làm vườn. Sự tiện lợi, dễ sử dụng và khả năng cung cấp chất dinh dưỡng giải phóng chậm khiến nó trở nên phổ biến. Nông dân thường sử dụng phân bón dạng hạt để bón trên diện rộng, đảm bảo phân phối đồng đều các yếu tố thiết yếu nhằm thúc đẩy cây trồng phát triển khỏe mạnh và tối đa hóa năng suất cây trồng. Trong nghiên cứu sử dụng phân bón cho máy gieo kết hợp với bón phân của tác giả Nguyen & cs. (2021) đã đề cập đến sử dụng loại phân bón tổng hợp NPK dạng

hạt, chậm tan để bón cho đậu tương. Để đảm bảo cho việc bón phân bằng máy đạt hiệu quả thì một số đặc điểm của phân vô cơ dạng hạt như: các thông số về hình dạng và số đo kích thước là những thông tin cần thiết. Chúng cũng được nêu ra trong nghiên cứu của Le & cs. (2018) khi tìm hiểu trên 45 loại phân vô cơ khác nhau và chỉ ra rằng các hạt phân bón vô cơ có hình dạng hạt khác nhau từ rất góc cạnh đến gần như hình cầu. Đối với các loại ure thì có hình cầu, trong khi kali lại có hình dạng góc cạnh bất thường. Kích thước các hạt phân bón vô cơ có ý nghĩa về mặt nông hóa ảnh hưởng trực tiếp tới tốc độ hòa tan của phân trong nước ngầm trong đất, có ý nghĩa trong việc bảo quản, vận chuyển chúng. Kích thước các hạt phân bón vô cơ được nhắc tới trong nghiên cứu của Nguyễn Hoà Toàn & cs. (2019) là khoảng 1-3,35mm theo quy định tại Mỹ ở một số nước châu Âu và Nhật Bản là khoảng từ 2 đến 4mm. Kích thước các hạt phân vô cơ được xác định chủ yếu dựa trên thí nghiệm sàng tiêu chuẩn trong TCVN 2230:2007. Từ những cơ sở tài liệu tham khảo trên, nhóm tác giả lựa chọn tập trung vào phân bón vô cơ dạng hạt để sử dụng trên máy rải đĩa quay ly tâm để làm rõ các tính chất động lực học của chúng (Bảng 1).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Với các miêu tả về quá trình hoạt động của máy rải đĩa quay ly tâm ở mục 2.1.1 cho thấy quỹ đạo chuyển động của hạt ngoài không khí tuân theo mô hình ném xiên, được trình bày sơ đồ hóa như Hình 2 (Aphale & cs., 2003). Đây là mô hình nghiên cứu được ứng dụng trong vũ khí quân sự (Xian & cs., 2023), đất đá bay trong quá trình phun trào núi lửa (Stojadinović., 2011), va chạm (Xie & cs., 2024), nghiên cứu phá hủy vật liệu (Zhang & cs., 2023).

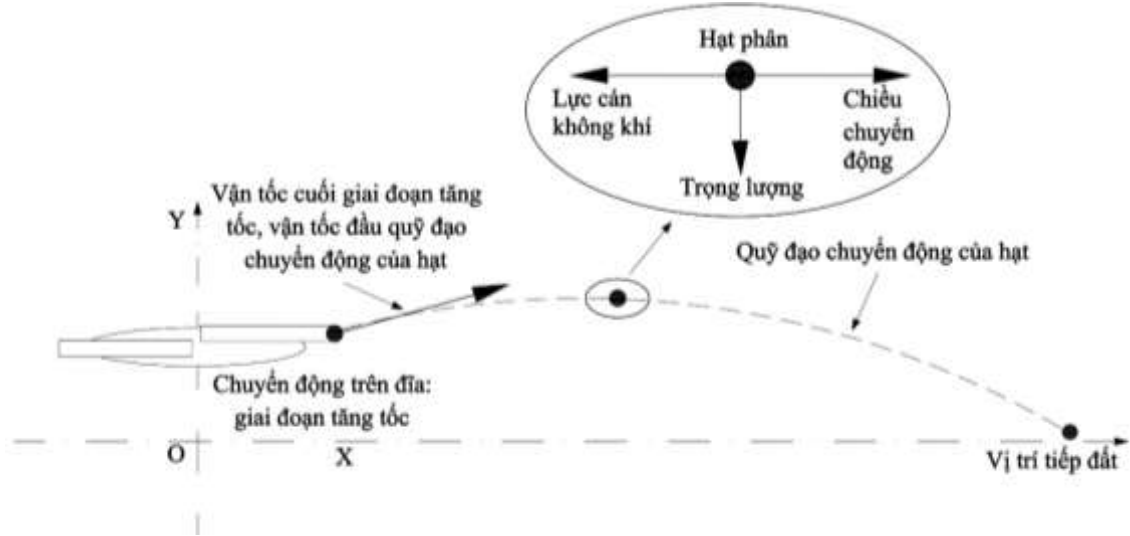
Tiếp sau đây, bài báo sẽ chỉ ra mô hình xây dựng, bao gồm phương trình chủ đạo, điều kiện biên, điều kiện ban đầu, cách giải số, hội tụ giải số và kiểm chứng so sánh kết quả. Chuyển động của hạt trong không khí theo mô hình ném xiên được biểu diễn theo định luật 2 của Newton như sau (Cool & cs., 2016) (trong nghiên cứu này, các ảnh hưởng của gió, thời tiết, độ dốc của cánh đồng không được xét tới):



Hình 1. Sơ đồ đĩa quay ly tâm, cánh gạt và dòng cấp liệu, cùng các quỹ đạo của hạt sau khi ra khỏi đĩa quay

Bảng 1. Tổng hợp thông tin hình dạng kích thước của phân bón vô cơ tiêu biểu (Nguyễn Hoà Toàn & cs., 2019)

Loại phân	Khối lượng riêng (kg/m ³)	Hình ảnh minh họa	Kích thước (mm)
Phân urê hạt đục	1.000-2.000		2-4,5
U rê hạt trong	1.000-2.000		1-2,5
Phân lân	1.000-2.000		2-4
Kali	1.000-2.000		2-5



Hình 2. Mô hình ném xiên của hạt với quỹ đạo chuyển động trong không khí

$$m \times \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{r}_d + \vec{r}_g \quad (1)$$

Trong đó m (kg) và $\vec{v}$ (m/s) lần lượt là khối lượng và vận tốc của hạt, t là biến thời gian, $\vec{r}_g$ là trọng lực và $\vec{r}_d$ là lực cản không khí. Trọng lực được tính như sau:

$$\vec{r}_g = m \times \vec{g} \quad (2)$$

Lực cản của không khí được tính như sau (Olieslagers & cs., 1996; Grift & cs., 1997; Dintwa & cs., 2004; Villette & cs., 2005):

$$\vec{r}_d = -\frac{1}{2} C_d \times A_p \times \rho_0 \times \|\vec{v}\| \vec{v} \quad (3)$$

Trong đó C_d là hệ số cản của không khí (không thứ nguyên), A_p (m²) là diện tích mặt cắt ngang của hạt vuông góc với chiều chuyển động của vectơ vận tốc $\vec{v}$, ρ_0 là khối lượng riêng của không khí (tại nhiệt độ khoảng 20°C), và $\|\vec{v}\|$ là độ lớn vectơ vận tốc $\vec{v}$.

Thay công thức (2) và (3) vào công thức (1), ta có phương trình chủ đạo của quỹ đạo ném xiên hạt:

$$m \times \frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{1}{2} C_d \times A_p \times \rho_0 \times \|\vec{v}\| \vec{v} - m \times \vec{g} \quad (4)$$

Phương trình (4) là phương trình vi phân động lực học của hạt trong không khí. Bằng cách chiếu phương trình (4) lên 3 trục của hệ tọa độ

Đề các Oxyz, ta rút ra hệ phương trình rút gọn chuyển động của hạt theo từng phương như sau:

$$\begin{cases} m \times \frac{dv_x}{dt} = -\frac{1}{2} C_d \times A_p \times \rho_0 \times \|\vec{v}\| v_x \\ m \times \frac{dv_y}{dt} = -\frac{1}{2} C_d \times A_p \times \rho_0 \times \|\vec{v}\| v_y \\ m \times \frac{dv_z}{dt} = -\frac{1}{2} C_d \times A_p \times \rho_0 \times \|\vec{v}\| v_z - m \times g \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó: v_x , v_y , v_z lần lượt là vận tốc tương ứng theo 3 phương x, y, z của hạt.

Điều kiện ban đầu để giải hệ phương trình (5) như sau:

$$t = 0; \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} v_{x0} \\ v_{y0} \\ v_{z0} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Trong đó, x_0 , y_0 , z_0 và v_{x0} , v_{y0} , v_{z0} lần lượt là vị trí ban đầu và vận tốc ban đầu của hạt, tại thời điểm $t = 0$. Cần chú ý rằng các thông số ban đầu này hoàn toàn có thể xác định, vì thời điểm $t = 0$ trùng với thời điểm hạt bắt đầu ra khỏi đầu mũi của cánh gạt. Dựa vào thông số hình của của máy, có thể xác định được các vị trí ban đầu.

Có thể nhận thấy rằng thông qua hệ phương trình vi phân (5), quỹ đạo chuyển động của hạt trong không khí phụ thuộc vào 3 nhóm thông số chính sau đây:

- Thông số cơ lý tính của hạt: bao gồm khối lượng, kích thước, diện tích mặt cắt ngang, hình dạng của hạt (hệ số cản không khí);

- Vận tốc của hạt tạo bởi cánh gạt: vận tốc ban đầu ngay tại thời điểm ra khỏi các đầu mút cánh gạt;

- Thông số môi trường: gia tốc trọng trường và khối lượng riêng của không khí, được coi là hằng số.

Cần chú ý rằng với mỗi loại phân vô cơ, các thông số cơ lý tính thay đổi, dẫn tới quỹ đạo chuyển động thay đổi, mặc dù có cùng điều kiện biên và điều kiện ban đầu. Lời giải số và hội tụ cho hệ phương trình (5) được trình bày ở các mục tiếp theo, cùng với các kết quả khảo sát tham số.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Lời giải số và hội tụ

Hệ phương trình (5) cùng các điều kiện ban đầu (6) là phi tuyến bậc hai và do đó không có lời giải giải tích thuần túy. Phương pháp số Runge-Kutta (Dormand & cs., 1980; Shampine & cs., 1997) do đó đã được đề xuất để giải hệ phương trình này. Đây là một phương pháp số được sử dụng để giải các phương trình vi phân thường bằng cách xấp xỉ nghiệm tại các điểm rời rạc. Nhóm nghiên cứu đã sử dụng phần mềm Matlab, hàm *ode45*, để giải hệ phương trình vi phân trên (The MathWorks Inc, 2018). Các bước thời gian Δt được chia khảo sát trong khoảng từ $1e-6$ tới 1 (s), với bước là $5e-5$ (s). Hình 3 thể hiện biểu đồ hội tụ tính toán cho bước thời gian Δt và cho thời gian tính toán trên máy tính CPU Intel(R) Core(TM) i5-9400 CPU @ 2,90GHz, 16Gb RAM. Có thể nhận thấy rằng, bước thời gian càng nhỏ thì quãng đường di chuyển sẽ được tính càng chính xác, tuy nhiên thời gian tính toán sẽ nhiều. Khi bước thời gian lớn hơn một giá trị xác định, các lời giải sẽ trở nên bất định với các yếu tố ngẫu nhiên. Do đó, đảm bảo được hai tiêu chí là tính toán hội tụ và thời gian tính toán ngắn, bước thời gian $\Delta t = 0,005(s)$ đã được lựa chọn làm giá trị tối ưu. Bước thời gian

này sẽ được sử dụng cho các khảo sát số trong các mục tiếp theo.

3.2. Kiểm chứng và so sánh

Để kiểm chứng, lời giải của nghiên cứu này đã được so sánh với Cool & cs. (2016). Các kết quả so sánh được thể hiện trong Bảng 2. Sáu loại hạt phân bón đã được khảo sát, bao gồm Trop, NPK18, ENTEC, PK, CAN và NPK15. Các hạt phân này được sản xuất bởi nhiều nhà máy khác nhau và có các thành phần khác nhau, cùng với đó là các hình dạng, kích thước và khối lượng riêng cũng khác nhau. Quãng đường di chuyển của các hạt trong nghiên cứu này và Cool & cs. (2016) được thể hiện trong Bảng 2, cùng với sự so sánh sai số theo phần trăm. Có thể nhận thấy rằng đối với hạt phân Trop, NPK18, ENTEC, PK, CAN và NPK15, kết quả của nghiên cứu này tương đồng với Cool & cs. (2016), với các sai số nhỏ hơn 5%. Sự sai khác xảy ra là do trong thực tế các hạt có hình dạng khác nhau, nên hệ số cản không khí khác nhau. Thậm chí cùng một loại phân bón, cũng có các dải hệ số cản không khí khác nhau.

3.3. Khảo sát tham số

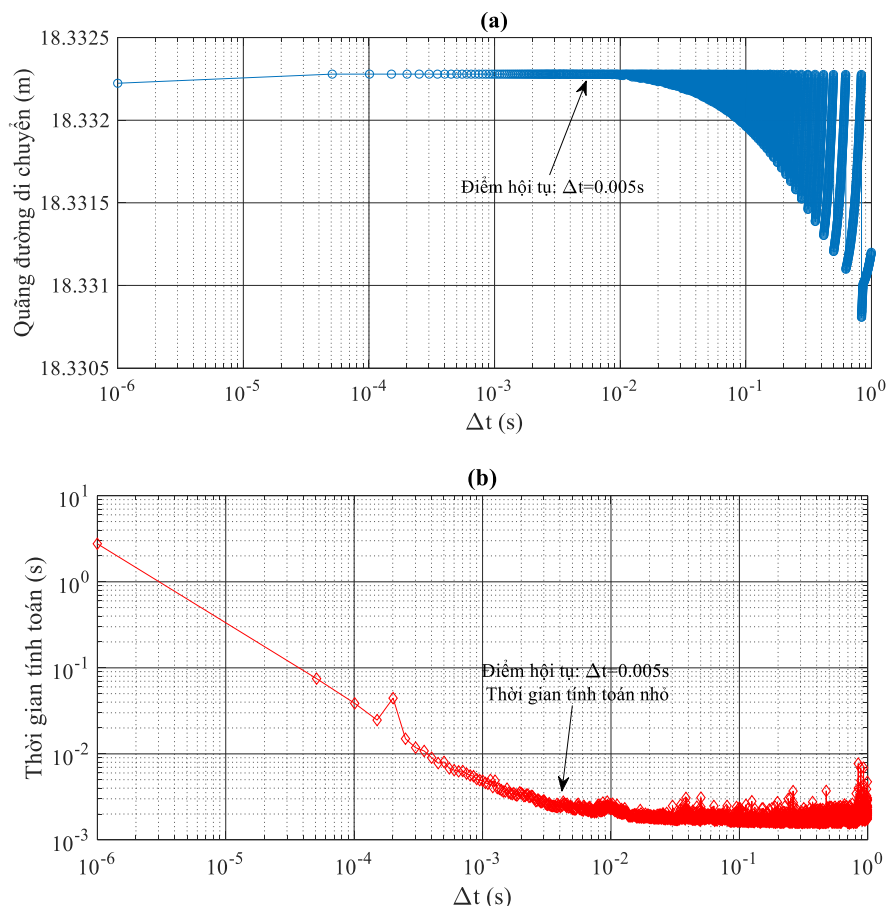
Để khảo sát tham số, nhóm tác giả thực hiện mô phỏng quãng đường di chuyển của hạt phân với đĩa quay ly tâm nằm ngang và cánh gạt có phương đi qua tâm của đĩa quay. Khoảng cách từ tâm đĩa quay tới đầu mũi của cánh gạt là 0,4m. Đầu mũi của cánh gạt ở độ cao 1m so với mặt đất (Hình 2). Nhằm mục đích khảo sát ảnh hưởng của các tham số, giả sử rằng vận tốc và vị trí ban đầu của các loại hạt là giống nhau (đĩa quay 800 vòng/phút).

3.3.1. Ảnh hưởng của hệ số cản không khí

Đầu tiên, ảnh hưởng của hệ số cản không khí được thể hiện thông qua Hình 4 và Bảng 3, với các hệ số cản không khí thay đổi từ 0,4; 0,48 tới 0,6. Các hạt có cùng đường kính 3mm và cùng khối lượng riêng 1.500 kg/m^3 . Quãng đường di chuyển của các hạt lần lượt là 17,79m; 17,75m và 15,59m. Các hạt có cùng vận tốc ban đầu 44,12 m/s. Vận tốc tại vị trí tiếp đất của các

hạt lần lượt là 10,55 m/s; 9,41 m/s và 8,26 m/s. Quan sát các kết quả này, có thể thấy rõ ràng quãng đường di chuyển thay đổi đối với các hạt phân bón có hình dạng khác nhau. Đáng chú ý,

những hạt có hình dạng tròn có khoảng cách bay xa nhất. Sự chênh lệch này nhấn mạnh mối tương quan quan trọng giữa hình dạng hạt và hệ số cản không khí.



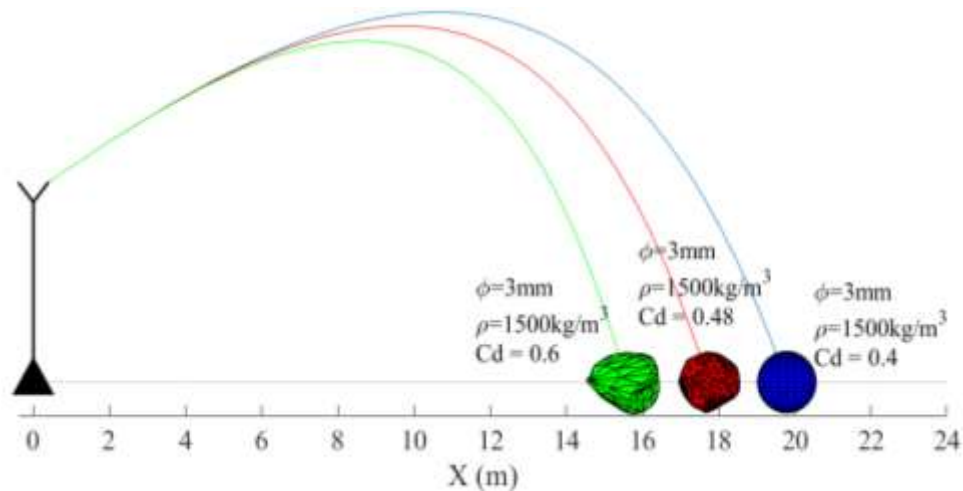
Hình 3. Khảo sát hội tụ tính toán cho bước thời gian và thời gian tính toán sử dụng CPU Intel(R) Core(TM) i5-9400 CPU @ 2.90GHz, 16 Gb RAM (trục hoành biểu diễn thang log)

Bảng 2. Bảng kết quả so sánh kiểm chứng với Cool & cs. (2016)

Thông số / Hạt phân bón	Trop	NPK18	ENTEC	PK	CAN	NPK15
Đường kính tương đương (mm)	2,425	3,53	3,005	2,305	3,455	3,565
Độ tròn trung	0,8865	0,8895	0,909	0,9135	0,9655	0,9645
Hệ số cản không khí C_d	0,7840	0,7707	0,6997	0,6854	0,5271	0,5296
Khối lượng riêng (kg/m^3)	2.020	1.840	1.690	2.220	1.790	1.910
Vận tốc ban đầu (m/s)	35	35	35	35	35	35
Cao độ ban đầu (m)	1	1	1	1	1	1
Góc ném xiên ban đầu ($^\circ$)	10	10	10	10	10	10
Quãng đường di chuyển (m): kết quả trong (Cool & cs., 2016)	12,9	14,73	13,56	14,41	18,09	18,68
Quãng đường di chuyển (m): kết quả của nghiên cứu này	12,36	14,76	13,53	13,76	17,73	18,60
Sai số (%)	4,2	-0,2	0,2	4,5	2,0	0,4

Bảng 3. Các thông số đầu vào cho khảo sát ảnh hưởng của hệ số cản không khí

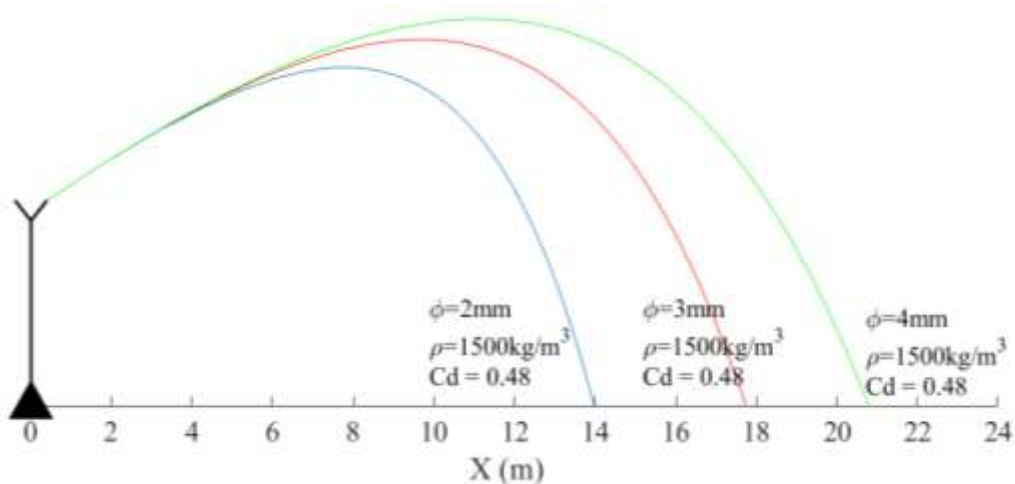
Trường hợp	Loại hạt	Đường kính hạt (mm)	Khối lượng riêng hạt (kg/m^3)	Hệ số cản không khí (-)	Quãng đường di chuyển (m)	Vận tốc ban đầu (m/s)	Vận tốc tại vị trí tiếp đất (m/s)
1	Có hình dạng tương đối tròn trịa	3	1.500	0,4	19,79	44,12	10,55
2	Có hình dạng trung gian	3	1.500	0,48	17,75	44,12	9,41
3	Có hình dạng góc cạnh	3	1.500	0,6	15,59	44,12	8,26



Hình 4. Ảnh hưởng của hệ số cản không khí: quỹ đạo bay trong không gian của 3 loại hạt với hình dạng khác nhau: từ góc cạnh tới tròn trịa

Bảng 4. Các thông số đầu vào cho khảo sát ảnh hưởng của kích thước hạt

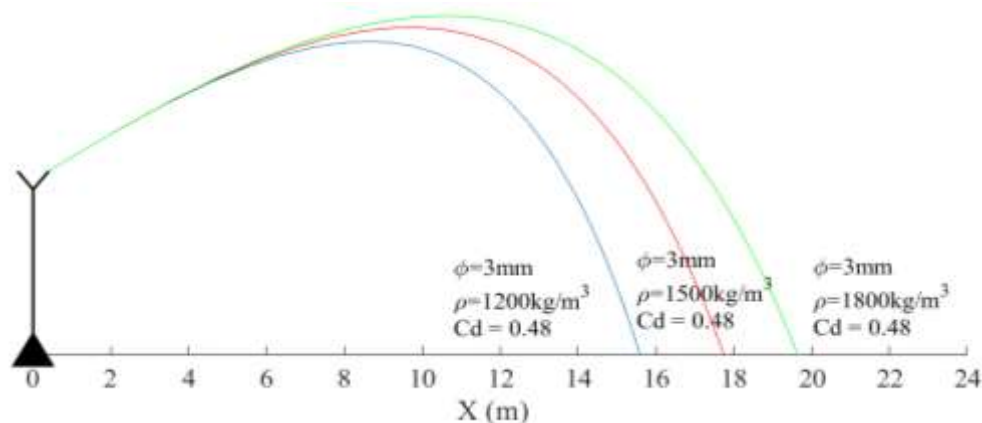
Trường hợp	Loại hạt	Đường kính hạt (mm)	Khối lượng riêng hạt (kg/m^3)	Hệ số cản không khí (-)	Quãng đường di chuyển (m)	Vận tốc ban đầu (m/s)	Vận tốc tại vị trí tiếp đất (m/s)
1	Có hình dạng trung gian	2	1.500	0,48	13,98	44,12	7,44
2		3	1.500	0,48	17,75	44,12	9,41
3		4	1.500	0,48	20,79	44,12	11,13



Hình 5. Ảnh hưởng của đường kính của hạt: quỹ đạo bay trong không gian của 3 loại hạt có các đường kính khác nhau

Bảng 5. Các thông số đầu vào cho khảo sát ảnh hưởng của khối lượng riêng

Trường hợp	Loại hạt	Đường kính hạt (mm)	Khối lượng riêng hạt (kg/m^3)	Hệ số cản không khí (-)	Quãng đường di chuyển (m)	Vận tốc ban đầu (m/s)	Vận tốc tại vị trí tiếp đất (m/s)
1	Có hình dạng trung gian	3	1200	0.48	15.59	44.12	8.26
2		3	1500	0.48	17.75	44.12	9.41
3		3	1800	0.48	19.64	44.12	10.47



Hình 6. Ảnh hưởng của khối lượng riêng của hạt: quỹ đạo bay trong không gian của 3 loại hạt có các khối lượng riêng khác nhau

3.3.2. Ảnh hưởng của kích thước hạt

Tiếp theo, ảnh hưởng của kích thước hạt được thể hiện thông qua Hình 5 và Bảng 4, với các kích thước đường kính thay đổi từ 2, 3 tới 4mm. Các hạt có cùng hệ số cản không khí 0,48 và cùng khối lượng riêng 1.500 kg/m^3 . Quãng đường di chuyển của các hạt lần lượt là 13,98m; 17,75m và 20,79m. Các hạt có cùng vận tốc ban đầu 44,12 m/s. Vận tốc tại vị trí tiếp đất của các hạt lần lượt là 7,44 m/s; 9,41 m/s và 11,13 m/s. Các hạt có đường kính lớn hơn có xu hướng di chuyển xa hơn. Điều này có ý nghĩa trong nông nghiệp, đặc biệt trong việc bón phân sử dụng nguyên lý đĩa quay ly tâm. Khi xem xét các hạt phân có hình dạng đồng nhất, đường kính càng lớn thì phạm vi phân tán càng rộng.

3.3.3. Ảnh hưởng của khối lượng riêng của hạt

Tiếp theo, ảnh hưởng của khối lượng riêng của hạt được thể hiện thông qua Hình 6 và Bảng 5, với các khối lượng riêng thay đổi từ 1.200, 1.500 tới 1.800 kg/m^3 . Các hạt có cùng hệ số cản không khí 0,48 và cùng kích thước đường

kính 3mm. Quãng đường di chuyển của các hạt lần lượt là 15,59m; 17,75m và 19,64m. Các hạt có cùng vận tốc ban đầu 44,12 m/s. Vận tốc tại vị trí tiếp đất của các hạt lần lượt là 8,26 m/s; 9,41 m/s và 10,47 m/s. Dễ thấy rằng các hạt phân có khối lượng riêng lớn hơn thể hiện khả năng di chuyển lớn hơn, tương tự như ảnh hưởng của kích thước hạt.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã xây dựng mô hình nghiên cứu lý thuyết và mô phỏng động lực học hạt phân bón vô cơ sử dụng nguyên lý đĩa quay ly tâm, đặc biệt cho giai đoạn quỹ đạo ngoài không khí. Phương pháp số Runge-Kutta đã được sử dụng để giải hệ phương trình động lực học của hạt cùng với các điều kiện ban đầu về vị trí và vận tốc. Lời giải thông qua phương pháp Runge-Kutta đã được khảo sát tính hội tụ, với bước thời gian tối ưu $\Delta t = 0,005 \text{ (s)}$. Lời giải đã được kiểm chứng so sánh với nghiên cứu đã công bố, cho thấy sai số nhỏ hơn 5%, với sáu loại phân bón vô cơ khác nhau. Tiếp đó, các thông số cơ lý tính của hạt đã được khảo sát ảnh hưởng tới

quãng đường di chuyển như hệ số cản không khí (hiệu ứng nghịch), kích thước (hiệu ứng thuận), khối lượng riêng (hiệu ứng thuận), cùng các ảnh hưởng của chúng tới quãng đường di chuyển của hạt. Cụ thể là, khi hệ số cản không khí thay đổi từ 0.4, 0.48 tới 0.6, quãng đường di chuyển của các hạt lần lượt là 17,79m; 17,75m và 15,59m. Bên cạnh đó, khi các kích thước đường kính thay đổi từ 2, 3 tới 4mm, quãng đường di chuyển của các hạt lần lượt là 13,98m; 17,75m và 20,79m. Cuối cùng, khi các hạt có khối lượng riêng thay đổi từ 1.200, 1.500 tới 1.800 kg/m³, quãng đường di chuyển của các hạt lần lượt là 15,59m; 17,75m và 19,64m.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Học viện Nông nghiệp Việt Nam thông qua đề tài mã số T2003-04-16.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Abbou-ou-cherif E.-M., Piron E., Chateaneuf A., Miclet D., Lenain R. & Koko J. (2017). On-the-field simulation of fertilizer spreading: Part 1 - Modeling. *Computers and Electronics in Agriculture*. 142: 235-247.
- Abbou-Ou-Cherif E.-M., Piron E., Chateaneuf A., Miclet D. & Villette S. (2019). On-the-Field Simulation of Fertilizer Spreading: Part 3 - Control of Disk Inclination for Uniform Application on Undulating Fields. *Computers and Electronics in Agriculture*. 158: 150-158.
- Aphale A., Bolander N., Park J., Shaw L., Svec J. & Wassgren C. (2003). Granular Fertiliser Particle Dynamics on and off a Spinner Spreader. *Biosystems Engineering*. 85(3): 319-329.
- Cool S.R., Pieters J.G., Van Acker J., Van Den Bulcke J., Mertens K.C., Nuyttens D.R.E., Van De Gucht T.C. & Vangeyte J. (2016). Determining the Effect of Wind on the Ballistic Flight of Fertiliser Particles. *Biosystems Engineering*. 151: 425-34.
- Cool Simon R., Jan G. Pieters, Dejan Seatovic, Koen C. Mertens, David Nuyttens, Tim C. Van De Gucht & Jürgen Vangeyte (2017). Development of a Stereovision-Based Technique to Measure the Spread Patterns of Granular Fertilizer Spreaders. *Sensors*. 17(6): 1396.
- Ding Shangpeng, Lu Bai, Yuxiang Yao, Bin Yue, Zuoli Fu, Zhiqi Zheng & Yuxiang Huang (2018). Discrete Element Modelling (DEM) of Fertilizer Dual-Banding with Adjustable Rates. *Computers and Electronics in Agriculture*. 152: 32-39.
- Dintwa Edward, Paul Van Liedekerke, Robert Olieslagers, Engelbert Tijssens & Herman Ramon (2004). Model for Simulation of Particle Flow on a Centrifugal Fertiliser Spreader. *Biosystems Engineering*. 87(4): 407-15.
- Dormand J.R. & Prince P.J. (1980). A Family of Embedded Runge-Kutta Formulae. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 6(1): 19-26.
- Grift T.E., Walker J.T. & Hofstee J.W. (1997). Aerodynamic Properties of Individual Fertilizer Particles. *Transactions of the Asae*. 40(1): 13-20.
- Le Tien-Thinh, Denis Miclet, Philippe Heritier, Emmanuel Piron, Alaa Chateaneuf & Michel Berducot (2018). Morphology Characterization of Irregular Particles Using Image Analysis. Application to Solid Inorganic Fertilizers. *Computers and Electronics in Agriculture*. 147: 46-57.
- Mando M. & Rosendahl L. (2010). On the Motion of Non-Spherical Particles at High Reynolds Number. *Powder Technology*. 202(1-3): 1-13.
- Nguyễn Chung Thông, Lê Minh Lư, Nguyễn Xuân Thiết & Nguyễn Thị Hạnh Nguyên (2021). Xây dựng mô hình dao động thẳng đứng của liên hợp máy gieo kết hợp với bón phân cho đậu tương. *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*. 19(5): 652-661.
- Nguyễn Hoa Toàn (2019). Phân bón hoá học. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- Nieuwenhuizen A.T., Hofstee J.W., Lokhorst C. & Muller J.. (2003). Evaluation of Fertiliser Spreading Strategies. *Precision Agriculture*. pp. 439-44.
- Olieslagers R., Ramon H. & De Baerdemaeker J. (1996). Calculation of Fertilizer Distribution Patterns from a Spinning Disc Spreader by Means of a Simulation Model. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 63(2): 137-52.
- Park Alex G., Andrew J. McDonald, Mina Devkota & Adam S. Davis (2018). Increasing Yield Stability and Input Efficiencies with Cost-Effective Mechanization in Nepal. *Field Crops Research*. 228: 93-101.
- Przywara Artur, Francesco Santoro, Artur Kraszkiewicz, Anna Pecyna & Simone Pascuzzi (2020). Experimental Study of Disc Fertilizer Spreader Performance. *Agriculture*. 10(10): 467.
- Shampine Lawrence F. & Mark W. Reichelt (1997). The MATLAB ODE Suite. *SIAM Journal on Scientific Computing*. 18(1): 1-22.
- Stewart W.M., Dibb D.W., Johnston A.E. & Smyth T.J. (2005). The Contribution of Commercial Fertilizer

- Nutrients to Food Production. *Agronomy Journal*. 97(1): 1-6.
- Stojadinović Saša, Radoje Pantović & Miodrag Žikić (2011). Prediction of Flyrock Trajectories for Forensic Applications Using Ballistic Flight Equations. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 48(7): 1086-94.
- The MathWorks Inc (2018). MATLAB 2018. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.
- Tran-Cong S., Gay M. & Michaelides E.E. (2004). Drag Coefficients of Irregularly Shaped Particles. *Powder Technology*. 139(1): 21-32.
- Van Liedekerke P., Tijskens E., Dintwa E., Anthonis J. & Ramon H. (2006). A Discrete Element Model for Simulation of a Spinning Disc Fertilizer Spreader I. Single Particle Simulations. *Powder Technology*. 170(2): 71-85.
- Villette S., Cointault F., Piron E. & Chopinet B. (2005). Centrifugal Spreading: An Analytical Model for the Motion of Fertiliser Particles on a Spinning Disc. *Biosystems Engineering*. 92(2): 157-64.
- Villette S., Piron E., Martin R., Miclet D., Boilletot M. & Gee C. (2010). Measurement of an Equivalent Friction Coefficient to Characterise the Behaviour of Fertilisers in the Context of Centrifugal Spreading. *Precision Agriculture*. 11(6): 664-83.
- Villette S., Piron E., Miclet D., Martin R., Jones G., Paoli J.N. & Gee C. (2012). How Mass Flow and Rotational Speed Affect Fertiliser Centrifugal Spreading: Potential Interpretation in Terms of the Amount of Fertiliser per Vane. *Biosystems Engineering*. 111(1): 133-38.
- Xian Yong, Le-liang Ren, Ya-jie Xu, Shao-peng Li, Wei Wu & Da-qiao Zhang (2023). Impact Point Prediction Guidance of Ballistic Missile in High Maneuver Penetration Condition. *Defence Technology*. 26: 213-30.
- Xie Ya-chen, Shao-bo Qi, Jia-qi Bai, Meng-lu Li & Guang-yan Huang (2024). Ballistic Performance of Flexible Structures Composed of UHMWPE Fibers and Airbag: Effects of the Stacking Order. *International Journal of Impact Engineering*. 191: 105008.
- Yinyan Shi, Chen Man, Wang Xiaochan, Morice Oluoch Odhiambo & Ding Weimin (2018). Numerical Simulation of Spreading Performance and Distribution Pattern of Centrifugal Variable-Rate Fertilizer Applicator Based on DEM Software. *Computers and Electronics in Agriculture*. 144: 249-59.
- Zhang Qinghui, Jianguo Li, Tengfei Ren, Bohan Ma & Tao Suo (2023). Ballistic Response and Failure Mechanisms of Gradient Structured Mg Alloy. *Journal of Materials Research and Technology*. 26: 5236-51.
- Zinkevièienė Raimonda, Eglė Jotautienė, Antanas Juostas, Antonio Comparetti & Edvardas Vaiciukevičius (2021). Simulation of Granular Organic Fertilizer Application by Centrifugal Spreader. *Agronomy*. 11(2): 247.