Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Khoa học Tự nhiên
Tập 134, Số 1A, 31–41, 2025

pISSN 1859-1388
eISSN 2615-9678

TỔNG HỢP NANO zinc oxide BẰNG PHƯƠNG PHÁP THUỶ NHIỆT VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA NÓ ĐẾN KHẢ NĂNG NẢY MẦM HẠT GIỐNG CÂY DẺ (*Castanea mollissima*)

Nguyễn Giang Nam[1, 5], Nguyễn Thanh Bình[2], Trần Thị Khánh Ly[3, 5], Nguyễn Mậu Thành[4*]

[1] Sở Giáo dục và Đào tạo Quảng Bình, 187 Hữu Nghị, Đồng Hới, Quảng Bình, Việt Nam
[2] Viện Nghiên cứu Hạt nhân, 1 Nguyễn Tự Lực, Đà Lạt, Việt Nam
[3] Trường THPT Quảng Ninh, Quảng Ninh, Quảng Bình, Việt Nam
[4] Trường Đại học Quảng Bình, 312 Lý Thường Kiệt, Đồng Hới, Quảng Bình, Việt Nam
[5] Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, 77 Nguyễn Huệ, Huế, Thừa Thiên Huế, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Nguyễn Mậu Thành <thanhnm@quangbinhuni.edu.vn>
(*Ngày nhận bài: 24-11-2024; Hoàn thành phản biện: 14-02-2025; Ngày chấp nhận đăng: 26-02-2025*)

Tóm tắt. Việc sử dụng phân bón với lượng lớn gây ra những hệ lụy không nhỏ cho môi trường. Trong bối cảnh đó, công nghệ nano mang đến một hướng đi mới cho nền nông nghiệp bền vững và thân thiện với môi trường. Hạt nano zinc oxide (ZnO) được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như y học hoặc điện tử. Một số nghiên cứu cho thấy rằng nano ZnO cũng có thể được coi là một loại phân bón nano tiềm năng. Việc sử dụng vật liệu này trong giai đoạn gieo hạt sớm, tức là mồi hạt, đã chứng tỏ có hiệu quả trong việc cải thiện tỷ lệ nảy mầm của hạt, sự phát triển và cải thiện các chỉ số về sức khỏe của cây con. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã tổng hợp các hạt nano ZnO bằng phương pháp thủy nhiệt. Phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FT-IR), nhiễu xạ tia X (XRD), kính hiển vi điện tử quét (SEM) và quang phổ UV-vis đã được sử dụng để phân tích cấu trúc của vật liệu. Hạt nano ZnO có dạng hình cầu với đường kính 11,379–23,729 nm. Các hạt nano ZnO này được sử dụng trong quá trình nảy mầm và phát triển rễ của hạt giống cây dẻ (*Castanea mollissimab*). Các thí nghiệm cho thấy các hạt nano này cải thiện đáng kể sự nảy mầm và phát triển rễ của hạt giống cây dẻ.

Từ khoá: nano zinc oxide, phương pháp thủy nhiệt, kích thích nảy mầm, hạt giống cây dẻ, Castanea mollissimab

Synthesis of nano zinc oxide by using hydrothermal method and its effect on germination ability of chestnut seeds (*Castanea mollissima*)

Nguyen Giang Nam[1, 5], Nguyen Thanh Binh[2], Tran Thi Khanh Ly[3, 5], Nguyen Mau Thanh[4*]

[1] Department of Education and Training Quang Binh, 312 Huu Nghi St., Dong Hoi, Quang Binh, Vietnam
[2] Dalat Nuclear Research Institute, 1 Nguyen Tu Luc St., Da Lat, Vietnam
[3] Quang Ninh High School, Quang Ninh, Quang Binh, Vietnam
[4] Quang Binh University, 312 Ly Thuong Kiet St., Dong Hoi, Quang Binh, Vietnam
[5] University of Sciences, Hue University, 77 Nguyen Hue St., Hue, Vietnam

* Correspondence to Nguyen Mau Thanh <thanhnm@quangbinhuni.edu.vn>
(*Received: 24 November 2024; Revised: 14 February 2025; Accepted: 26 February 2025*)

Abstract. The traditional use of large quantities of fertilizers causes tremendous consequences to the environment. In this context, nanotechnology emerges as a new direction for sustainable and environmentally friendly agriculture. Zinc oxide nanoparticles (ZnO) are widely used in various fields, such as medicine or electronics. Several studies indicate that nano ZnO may be considered a potential nanofertilizer. Its administration in the early sowing stages, i.e., seed priming, proved to be effective in improving the germination rate, seedling and plant growth, and ameliorating the indicators of the plants. In this study, we synthesized ZnO nanoparticles by using the hydrothermal method. Fourier transform infrared (FT-IR), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and UV-vis spectroscopy were used to analyze the structure of the obtained ZnO nanoparticles. The results show that ZnO nanoparticles are spherical, with diameters ranging from 11.379 to 23.729 nm. These ZnO nanoparticles were used in the germination and root stimulation of chestnut seeds *(Castanea mollissimab*). The experiments show that these nanoparticles significantly improved the germination rate and root growth of chestnut seeds.

Keywords: Nano zinc oxide, hydrothermal method, germination, chestnut seeds, *Castanea mollissimab*

1 Mở đầu

Nhiệt độ toàn cầu gia tăng cùng với các mối đe dọa ngày càng nghiêm trọng đối với rừng, chẳng hạn như sâu bệnh, mầm bệnh và cháy rừng, xảy ra với tần suất lớn, đã tạo ra một nhu cầu cần thiết phải thực hiện các biện pháp quản lý rừng thích ứng để bảo vệ và duy trì chức năng, cấu trúc cũng như thành phần của rừng [1]. Trong số các chiến lược thích ứng này thì việc trồng cây giống có khả năng thích nghi với những yếu tố thay đổi đó đã được xác định là một giải pháp để duy trì hoặc điều chỉnh các hệ sinh thái rừng [2]. Hạt dẻ (chi Castanea, họ Fagaceae), là một loại cây trồng lấy hạt chính ở Đông Á và Nam Âu. Cây này được xem là độc đáo ở vùng ôn đới vì hạt của nó chứa nhiều tinh bột hơn dầu, khiến nó có giá trị về mặt kinh tế và sinh thái [3]. Là một loại cây trồng lâu năm, cây dẻ cho hạt không chỉ sử dụng như một sản phẩm thực phẩm quan trọng chứa tinh bột được người dân sống ở vùng nông thôn tiêu thụ mà còn là một loại thực phẩm chức năng tiềm năng vì hạt dẻ là nguồn cung cấp dồi dào các hợp chất có hoạt tính sinh học, trong đó có các hợp chất phenol [4]. Hoa dẻ là đơn tính và bắt buộc giao phối ngoài, phấn hoa phát tán chủ yếu qua gió với sự hỗ trợ của côn trùng [5]. Mặt khác, một cây dẻ trung bình thường cao khoảng 10 m và cho tán lá rộng lớn nên gỗ cũng là sản phẩm của cây dẻ, nó chắc nhưng tương đối nhẹ, dẻo dai và có độ bền cao nên được sử dụng rộng rãi trong xây dựng các tòa nhà và đồ nội thất [6]. Đáng chú ý là tốc độ phát tán và di cư của cây chậm hơn tốc độ biến đổi khí hậu dẫn đến sự không phù hợp tiềm ẩn của các quần thể loài hiện tại với các điều kiện khí hậu trong tương lai [7]. Bên cạnh các mục tiêu kinh tế, Dự án trồng lại rừng năm triệu ha của Chính phủ Việt Nam còn hướng đến mục tiêu bảo vệ môi trường, phục hồi hệ sinh thái rừng và bảo tồn đa dạng sinh học. Hơn nữa, việc bảo tồn các loài bản địa có ý nghĩa đặc biệt đối với đất nước [8].

Công nghệ nano là một lĩnh vực khoa học mới, đang nổi lên và hấp dẫn, hiện đang được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khoa học khác nhau và có tiềm năng to lớn trong nông nghiệp và các lĩnh vực liên quan [9]. Trong nông nghiệp, việc sử dụng công nghệ nano có tiềm năng tăng hiệu quả sử dụng chất dinh dưỡng thông qua việc sản xuất phân bón nano, phát triển thuốc trừ sâu thế hệ mới và chất mang của chúng, cải tạo đất bị nhiễm mặn và nhiều khía cạnh khác [10]. Công nghệ nano có thể tăng sản lượng nông nghiệp và bổ sung cho ngành công nghiệp thực phẩm chế biến bằng cách sử dụng các đặc tính độc đáo của hạt nano trong lĩnh vực nông nghiệp [11]. Phân bón nano ức chế các chất dinh dưỡng bị chuyển đổi sớm thành dạng hóa học hoặc khí mà cây trồng không thể hấp thụ và giải phóng các chất

pISSN 1859-1388
eISSN 2615-9678

dinh dưỡng theo yêu cầu. Phân bón nano có khả năng tạo ra cuộc cách mạng xanh thứ hai trong nông nghiệp [12]. Nano zinc oxide (ZnO) có các đặc tính vật lý và hóa học độc đáo của nó như hệ số liên kết điện hóa cao, độ ổn định tốt, phạm vi bức xạ hấp thụ đa dạng, năng lượng liên kết exciton lớn (60 meV) và năng lượng vùng cấm rộng (3,37 eV). Chúng dễ tổng hợp, với hình dạng và kích thước có thể kiểm soát và không độc hại. Sự tồn tại của ngoại sinh và nội sinh tại trung tâm phát xạ nên khả năng phát ra nhiều sắc thái khác nhau. Do khả năng truyền điện tích và phản ứng nhanh, đồng thời dễ sử dụng và chi phí thấp, nên các hạt nano ZnO là lựa chọn phổ biến cho nhiều ứng dụng khác nhau [13] như khoa học sự sống [14], y sinh, chăm sóc sức khỏe [15] và an ninh cũng như sản xuất, lưu trữ năng lượng [16], cơ sở hạ tầng [17] và xây dựng và thi công [18], mà điển hình là trong nông nghiệp [19]. Việc hấp thụ nano ZnO của cây đóng vai trò quan trọng nhằm khắc phục tình trạng thiếu hụt nguồn dinh dưỡng Zn ở cây trồng. Hơn nữa, nano ZnO dễ dàng được hấp thụ và truyền đến cây trồng so với phân bón hóa học chứa Zn [20]. Có nhiều phương pháp hóa học và vật lý đã được phát triển để tổng hợp một lượng lớn vật liệu nano zinc oxide trong thời gian ngắn. Các phương pháp thường xuyên nhất bao gồm kỹ thuật sol-gel [21], điện hóa [22], kết tủa hóa học [23], vi sóng [24] và thủy nhiệt [25, 26]. So với các phương pháp khác, thì phương pháp thủy nhiệt có thể tạo ra các hạt nhỏ hơn nhiều, thao tác đơn giản, sản phẩm với độ tinh khiết cao, kích thước ổn định, tiêu tốn ít năng lượng, xảy ra hoàn toàn, dễ dàng kiểm soát quá trình và hơn nữa là có thể được mở rộng một cách thích hợp để tổng hợp hạt nano ở quy mô lớn [26]. Vì vậy, trong bài báo này chúng tôi đề cập đến các kết quả nghiên cứu chi tiết hơn về tổng hợp nano zinc oxide bằng phương pháp thuỷ nhiệt và ảnh hưởng của nó đến khả năng nảy mầm hạt giống cây dẻ (*Castanea mollissima*).

2 Phương pháp

2.1 Hóa chất và thiết bị

Các hóa chất sử dụng trong nghiên cứu là các hóa chất tinh khiết được mua từ hãng Merck, Đức, gồm NaOH và $ZnSO_4{\cdot}7H_2O$. Còn ethanol (C_2H_5OH) được mua từ hãng Guangzhou, Trung Quốc. Nước cất hai lần (cất trên thiết bị cất nước Fistream Cyclon, Anh quốc) được sử dụng để pha chế hóa chất và tráng, rửa các dụng cụ thủy tinh. Hạt giống cây dẻ *(Castanea mollissima)* được thu hái trên cây mẹ khoẻ mạnh, không sâu bệnh từ vùng đồi núi thuộc địa phận huyện Bố Trạch, tỉnh Quảng Bình, theo tiêu chuẩn quốc gia TCVN 13276:2021 Giống cây lâm nghiệp - Hạt giống. Cốc thủy tinh chịu nhiệt 100 ml, 200 ml và 500 ml, micropipet các loại, cốc niken có nắp, cân phân tích, máy khuấy từ gia nhiệt, máy lắc, cối chày mã não, lò nung, tủ sấy, bình thuỷ nhiệt (bộ Autoclave) được sử dụng trong nghiên cứu.

Vật liệu tổng hợp được đặc trưng bằng các phương pháp vật lý hiện đại. Cấu trúc tinh thể được nghiên cứu bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) trên máy D8-Advance, Brucker với tia phát xạ CuK_a có bước sóng λ = 1,5406 Å. Hình thái của mẫu được quan sát trên kính hiển vi điện tử quét (SEM) SEM-JEOL-JSM 5410 LV (Nhật Bản) ở điện thế 10 kV. Bên cạnh đó, vật liệu được nhận dạng bằng phổ hồng ngoại, ghi trên máy IR-Prestige-21(Shimadzu) trong khoảng 400 đến 4000 cm^{-1}. Nồng độ của ZnO và $ZnSO_4$ trong dung dịch lọc được xác định bằng máy quang phổ hấp thụ phân tử UV-vis (UV-1800, Nhật Bản).

2.2 Tổng hợp nano zinc oxide bằng phương pháp thuỷ nhiệt

Cho 11,12 g $ZnSO_4{\cdot}7H_2O$ vào một cốc thuỷ tinh 250 mL, thêm 180 mL nước cất, dùng máy khuấy từ khuấy đều và thu được dung dịch A. Hòa tan 3,20 g NaOH vào 20 mL nước cất, sau đó nhỏ từng giọt dung dịch NaOH vào cốc thuỷ tinh chứa dung dịch A và tiếp tục khuấy đều bằng

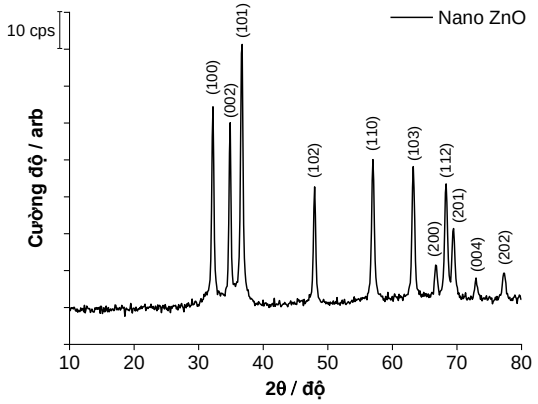
máy khuấy từ; giữ dung dịch ở nhiệt độ phòng trong 15 phút; xuất hiện kết tủa màu trắng sữa (dung dịch B). Cho dung dịch B vào bình teflon 250 mL, đậy nắp rồi đưa vào bộ Autoclave, vặn chặt. Thủy phân hỗn hợp trên bằng cách cho bộ Autoclave chứa dung dịch B vào lò nung. Tiến hành gia nhiệt ở 180 °C trong 10 giờ [26], sau đó để nguội bình thuỷ nhiệt đến nhiệt độ phòng, thu được dung dịch chứa kết tủa và các chất hoà tan. Gạn lấy kết tủa rồi rửa bằng ethanol và nước cất nhiều lần đến pH ≈ 7. Cuối cùng sản phẩm được sấy khô ở 70 °C trong 12 giờ; nghiền mịn và thu được các hạt nano zinc oxide.

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Đặc trưng các vật liệu bằng kết quả XRD

Phương pháp nhiễu xạ tia X là một trong những phương pháp thường được sử dụng để mô tả đặc điểm, nhận dạng cấu trúc và độ kết tinh của vật liệu và nó còn cho phép tính kích thước của hạt có trong vật liệu. Giản đồ XRD của mẫu nano zinc oxide tổng hợp bằng phương pháp thủy nhiệt được trình bày trên Hình 1.

Trên giản đồ XRD của mẫu nano ZnO xuất hiện các đỉnh ở 2θ = 32,22°, 34,88°, 36,73°, 47,95°, 56,98°, 63,23°, 66,82°, 68,32°, 69,48°, 72,95° và 77,35° tương ứng với các mặt (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004), và (202). Các đỉnh này hoàn toàn phù hợp với thẻ chuẩn JCPDS số 36-1451. Điều này làm sáng tỏ cấu trúc tinh thể wurtzite lục giác tương ứng với các hạt nano ZnO tinh khiết [27]. Ngoài ra, không quan sát thấy các đỉnh khác liên quan đến tạp chất. Điều này chứng tỏ vật liệu nano ZnO mà chúng tôi tổng hợp được có độ tinh khiết cao.



Hình 1. Giản đồ XRD của nano ZnO

Để nghiên cứu sâu hơn, chúng tôi tính kích thước tinh thể, khoảng cách mặt mạng, cũng như ứng suất bề mặt dựa vào phương pháp Scherrer-Debye [28].

$$D = \frac{0{,}89 \times \lambda}{\rho \times \cos(\theta)} \quad (1)$$

trong đó D là kích thước tinh thể trung bình; λ là bước sóng tia X (1,5418 Å); ρ là độ bán rộng bán chiều cao đỉnh (full-width half-maximum – FWHM); θ là góc nhiễu xạ tương ứng (góc Bragg). Giá trị kích thước hạt tính cho các đỉnh XRD khác nhau của bột nano ZnO được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Các thông số của tinh thể nano ZnO được tính theo giản đồ XRD

TT	Peak	2θ (°)	λ (nm)	FWHM	cosθ (radian)	Kích thước tinh thể (nm)	D (nm)
1	100	32,22	0,15418	0,4436	0,9607	18,450	19,055 ± 1,285
2	002	34,88	0,15418	0,3513	0,9540	23,462	
3	101	36,73	0,15418	0,4315	0,9491	19,199	
4	102	47,95	0,15418	0,4283	0,9137	20,092	
5	110	56,98	0,15418	0,4294	0,8789	20,836	

pISSN 1859-1388
eISSN 2615-9678

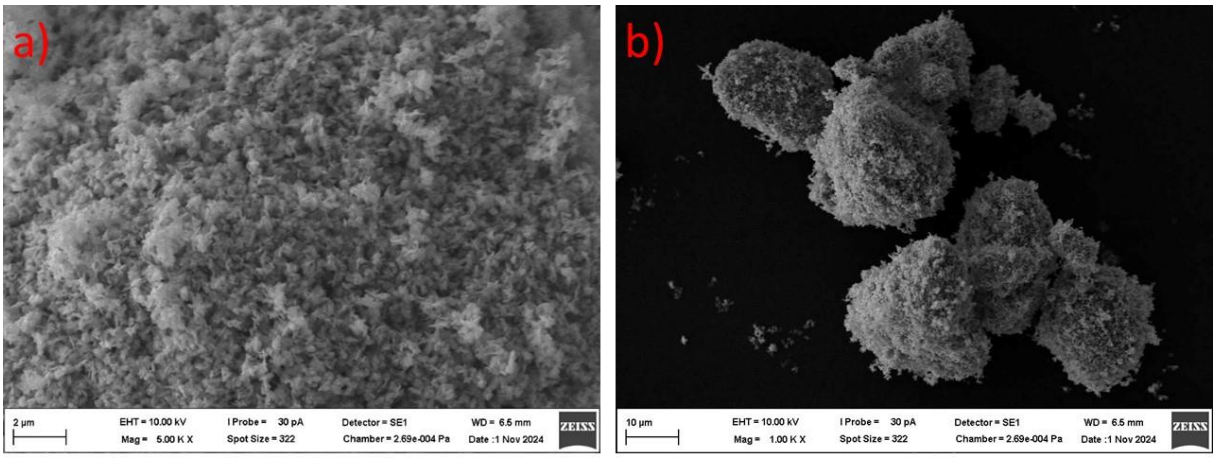
TT	Peak	2θ (°)	λ (nm)	FWHM	cosθ (radian)	Kích thước tinh thể (nm)	*D* (nm)
6	103	63,23	0,15418	0,4151	0,8516	22,244	
7	200	66,82	0,15418	0,3970	0,8348	23,729	
8	112	68,32	0,15418	0,8351	0,8275	11,379	
9	201	69,48	0,15418	0,4320	0,8217	22,152	
10	004	72,95	0,15418	0,6175	0,8041	15,835	
11	202	77,35	0,15418	0,8238	0,7807	12,226	

Bảng 1 cho thấy kích thước tinh thể của các hạt nano ZnO được tổng hợp tương đối nhỏ từ khoảng 11,379 đến 23,729 nm và trung bình là 19,055 ± 1,285 nm. Điều đó cho thấy vật liệu nano zinc oxide này nằm trong phạm vi kích thước từ 1 đến 100 nm nên phù hợp để sử dụng trong việc kích thích hay tăng cường khả năng chống chịu các điều kiện ngoại cảnh bất lợi đến cây trồng [29].

3.2 Đặc trưng các vật liệu bằng ảnh SEM

Để đánh giá hình thái bề mặt của vật liệu, chúng tôi tiến hành khảo sát vật liệu nano zinc oxide qua ảnh hiển vi điện tử quét SEM với các độ phóng đại khác nhau (2 và 10 µm) (Hình 2a và 2b).

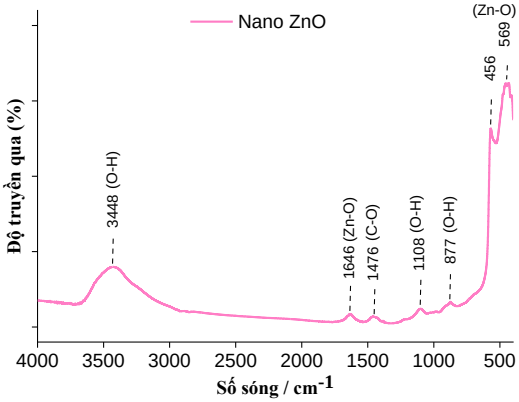
Hình 2a cho thấy các có hình cầu tương đối đồng nhất, với kích thước vài chục micromet. Các hạt kết hợp để tạo thành các hạt lớn hơn. Các hạt ở tầng trên hợp nhất với nhau do hiệu ứng hiệp đồng của chúng và điều này dẫn đến sự hình thành các tấm nano với kích thước hạt lớn hơn và tỷ lệ bề mặt trên thể tích cao hơn [30]. Nguồn gốc là từ các hạt sơ cấp có thể tạo thành tập hợp phức tạp hoặc kết tập với nhau trong quá trình hình thành và phát triển hạt nano [31]. Các vật liệu này thường bao gồm sự lan rộng của các hạt sơ cấp ở cấp độ nano (5–50 nm) bằng liên kết hóa học hay hiệu ứng cộng hưởng. Nếu cấu trúc lớn hơn thì chúng được tạo ra do sự tập hợp gọi là các khối kết tụ và được giữ lại với nhau bằng những lực yếu hơn như lực tĩnh điện, lực van der Waals, lực dung môi hoặc lực mao dẫn [32]. Có thể thấy rằng tất cả các hạt nano trông giống như hoa và được nhóm lại lỏng lẻo, sắp xếp không theo trật tự với nhiều khoảng trống giữa các hạt (Hình 2b).



Hình 2. Ảnh SEM của vật liệu ở các độ phóng đại khác nhau

3.3 Đặc trưng vật liệu bằng phương pháp FT-IR

Phương pháp phổ hồng ngoại (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) là một kỹ thuật thường được dùng để phân tích định tính sự có mặt của các liên kết hữu cơ và vô cơ trong mẫu vật liệu. Phân tích phổ hồng ngoại giúp xác định vị trí của các vân phổ, cường độ và hình dạng của vân phổ. Kết quả phân tích bằng FT-IR được trình bày trên Hình 3.

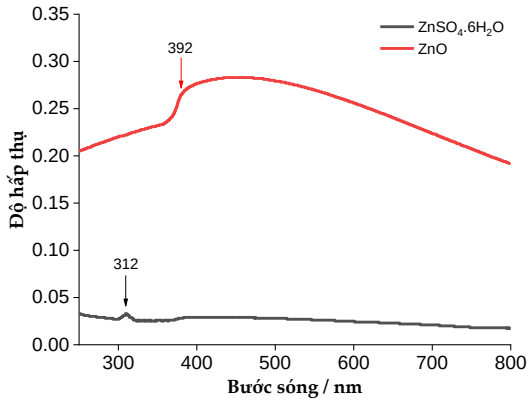


Hình 3. Phổ FT-IR của vật liệu nano zinc oxide

Hình 3 có các đỉnh cho biết các nhóm chức đặc trưng cho các liên kết hóa học khác nhau trong hạt nano zinc oxide tổng hợp được. Cụ thể có bảy đỉnh hấp thụ chính tại 3448 cm^{-1}, 1646 cm^{-1}, 1476 cm^{-1}, 1108 cm^{-1}, 877 cm^{-1}, 569 cm^{-1} và 456 cm^{-1}, tương ứng với các các dao động sau đây. Đỉnh rộng ở 3448 cm^{-1} và đỉnh ở 1108 cm^{-1} được gán cho dao động biến dạng và dao động hoá trị của nhóm hydroxyl (–OH) trong các phân tử nước hấp phụ trên bề mặt của các hạt nano ZnO [33]. Dải quan sát được ở 810 cm^{-1} cũng là do dao động biến dạng của các phân tử nước [34]. Đỉnh ở 1476 cm^{-1} ứng với dao động hoá trị và biến dạng của liên kết C–O có liên quan đến CO_2 từ môi trường thực nghiệm [35] hoặc dao động trong mặt phẳng của alcohol khi rửa trong quá trình tổng hợp [36]. Đáng chú ý là dải hấp thụ mạnh trong khoảng từ 420 cm^{-1} đến 570 cm^{-1}, tương ứng với sự có mặt của phonon dao động kéo dài liên kết kim loại–oxygen (Zn–O) của các hạt nano zinc oxide và cường độ của đỉnh này giảm sau khi hình thành các hạt nano ZnO [33]. Cuối cùng là đỉnh ở 1646 cm^{-1} được gán cho dao động hoá trị và dao động biến dạng của liên kết Zn–O [37]. Những kết quả này biểu thị sự thành công của quá trình tổng hợp các hạt nano ZnO với chất lượng tốt [38]. Như vậy, có thể nói rằng việc tổng hợp nano zinc oxide bằng phương pháp thuỷ nhiệt sử dụng NaOH để hoạt hoá có sản phẩm hoàn toàn tương đồng với các nghiên cứu đã được công bố trước đây.

3.4 Đặc trưng bằng phương pháp phổ phản xạ khuếch tán UV-vis

Đối với nghiên cứu quang phổ UV-Vis, nano zinc oxide và zinc sulfate (5 mg/20 mL) lần lượt được phân tán trong nước cất hai lần bằng siêu âm, sau đó chuyển vào cuvet và ghi phổ trong phạm vi bước sóng 250–800 nm để tìm bước sóng thích hợp cho độ hấp thụ tối đa; kết quả được trình bày trên Hình 4.



Hình 4. Phổ phản xạ khuếch tán UV-vis của nano ZnO và $ZnSO_4 \cdot 6H_2O$

Phổ hấp thụ của zinc sulfate hexahydrate có một đỉnh hấp thụ ở 312 nm. Trong khi đó phổ của zinc oxide có một dải hấp thụ mạnh và tù ở 392 nm; đây là đỉnh đặc trưng của ZnO tinh khiết [39]. Đỉnh hấp thụ gần 390 nm đối với nano ZnO có thể là do sự hấp thụ khoảng cách dải nội tại của ZnO do sự chuyển đổi trực tiếp của các electron giữa vùng hóa trị và vùng dẫn [40]. Điều

pISSN 1859-1388
eISSN 2615-9678

này cho thấy rõ ràng sự hình thành ZnO từ zinc sulfate trong quá trình thủy nhiệt. Hơn nữa, sự dịch chuyển của dải từ 312 nm sang 392 nm xác nhận tính chất nano của các hạt nano ZnO [9]. Bên cạnh đó, từ đỉnh hấp thụ sắc nét đáng kể của các hạt ZnO và phù hợp với các kết quả đã công bố trước đây, có thể suy ra rằng phân bố kích thước tương ứng với hạt nhỏ, nên khẳng định thêm kích thước nano của các hạt [38]. Đỉnh hấp thụ sắc nét cũng suy ra bản chất phân tán đơn và dạng hình cầu của các hạt nano [41]. Ngoài ra, quang phổ UV-Vis chứng minh rằng các hạt nano đã chế tạo có thể chống lại cả bức xạ UVB (290–320 nm) và UVA (320–400 nm). Hiệu ứng chiếu sáng UV cũng ảnh hưởng đến hoạt động sinh học của các cấu trúc nano ZnO [42].

3.5 Khả năng kích thích nảy mầm hạt giống cây dẻ của nano ZnO

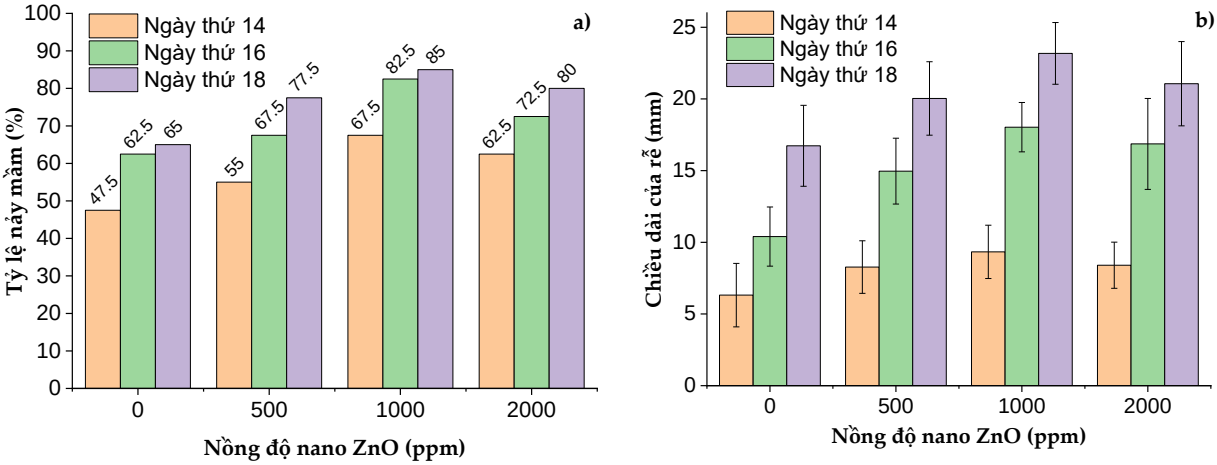
Tỉ lệ nảy mầm và chiều dài rễ là chỉ tiêu quan trọng để đánh giá khả năng phát triển cũng như năng suất của hạt khi gieo. Bên cạnh đó, căn cứ vào đặc tính sinh dưỡng của cây trồng, việc xử lý nano ZnO đã nâng cao quá trình trao đổi chất tổng thể cho cây. Vào năm 2007, Lin và Xing [17] đã công bố ảnh hưởng có lợi của các hạt nano đó đối với sự phát triển của củ cải *(Raphanus sativus)* và hạt cải dầu *(Brassica napus)*. Việc sử dụng hạt nano ZnO có nồng độ thấp đã tăng cường sự nảy mầm của hạt giống và thúc đẩy sự kéo dài rễ [43]. Do đó, để nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ nano ZnO đến khả năng nảy mầm và chiều dài rễ của hạt giống cây dẻ, chúng tôi tiến hành làm thí nghiệm gồm 4 nghiệm thức, bố trí theo kiểu hoàn toàn ngẫu nhiên, lặp lại 3 lần. Mỗi nghiệm thức được tiến hành trên 40 hạt giống cây dẻ và thực hiện ở nhiệt độ phòng. Nghiệm thức 1: Ngâm hạt trong nước sạch – đối chứng; nghiệm thức 2, 3 và 4: Ngâm hạt trong dung dịch nano ZnO với nồng độ lần lượt là 500, 1000 và 2000 ppm.

Trước khi thử nghiệm, hạt giống được khử trùng bề mặt bằng sodium hypochlorite (NaClO) 4% và sau đó rửa sạch bằng nước cất để tránh nhiễm bẩn bề mặt. Tiến hành ngâm hạt trong dung dịch đã pha với các nồng độ khác nhau của các nghiệm thức (NT) trên để làm thí nghiệm. Thời gian ngâm hạt cho các nghiệm thức thí nghiệm là 24 giờ. Sau khi ngâm đủ thời gian, vớt hạt ra rồi rửa sạch lớp màng trên các vỏ hạt bằng nước cất, để ráo và ủ vào giấy báo sạch, gập kín theo từng nghiệm thức, rồi đặt lên cùng một khay, để trong điều kiện thoáng mát ở nhiệt độ phòng cho hạt nảy mầm. Theo dõi đến ngày thứ 14, 16 và 18 thì kiểm tra. Kết quả được trình bày trong Bảng 2 và Hình 5.

Bảng 2. Ảnh hưởng của các nồng độ nano ZnO khác nhau đến tỷ lệ nảy mầm của hạt và sự phát triển chiều dài rễ hạt cây dẻ (*Castanea mollissima)* vào ngày thứ 14, 16 và 18

Nghiệm thức	ZnO (ppm)	14 ngày		16 ngày		18 ngày	
		Tỷ lệ nảy mầm (%)	Chiều dài rễ (mm)	Tỷ lệ nảy mầm (%)	Chiều dài rễ (mm)	Tỷ lệ nảy mầm (%)	Chiều dài rễ (mm)
NT1	0	47,5	6,32 ± 2,21*	62,5	10,40 ± 2,06	65,0	16,73 ± 2,82
NT2	500	55,0	8,27 ± 1,83	67,5	14,96 ± 2,30	77,5	20,03 ± 2,56
NT3	1000	67,5	9,33 ± 1,86	82,5	18,03 ± 1,72	85,0	23,18 ± 2,15
NT4	2000	62,5	8,40 ± 1,61	72,5	16,86 ± 3,17	80,0	21,06 ± 2,94

*NT1: Nghiệm thức đối chứng; *SD: Độ lệch chuẩn tương đối; n = 3*



Hình 5. Ảnh hưởng của nồng độ nano ZnO đến tỷ lệ nảy mầm (a) và chiều dài rễ (b) của giống hạt dẻ

Hình 5a cho thấy khi nồng độ ZnO tăng từ 0 đến 1000 ppm thì tỷ lệ nảy mầm của hạt cây dẻ tăng dần ở tất cả các ngày kiểm tra và đạt 85,0% vào ngày thứ 18, cao hơn 20,0% so với nghiệm thức đối chứng. Bên cạnh đó, ở nồng độ 1000 ppm (NT3) thì tỷ lệ nảy mầm của các hạt là cao nhất. Đặc biệt, vào ngày thứ 16 và 18 thì tỉ lệ nảy mầm là gần giống nhau tương ứng (82,5%) và (85,0%). Điều này cho thấy zinc oxide đóng vai trò quan trọng tạo ra một loạt các thay đổi sinh hóa cần thiết trong hạt giống để bắt đầu quá trình nảy mầm, chẳng hạn như phá vỡ trạng thái ngủ đông, thủy phân hoặc chuyển hóa chất ức chế, hấp thụ và hoạt hóa enzyme, hay tạo ra các loại oxy phản ứng/reactive oxygen species (ROS) – sản phẩm phụ của quá trình chuyển hóa tế bào [44]. Ngoài ra, các hạt nano ZnO có kích thước nhỏ giúp tăng diện tích bề mặt tiếp xúc với nước và chất dinh dưỡng trong môi trường, làm cho hạt giống hấp thụ nước và chất dinh dưỡng dễ dàng hơn, nên thúc đẩy quá trình nảy mầm. Bên cạnh đó, ZnO có tính kháng khuẩn và kháng nấm nên giúp bảo vệ hạt giống khỏi các tác nhân gây bệnh trong môi trường, làm tăng tỷ lệ nảy mầm thành công và giảm thiểu thiệt hại do bệnh tật và tất cả đều góp phần vào tỷ lệ nảy mầm hạt cây dẻ. Tuy nhiên, khi nồng độ của ZnO tăng lên 2000 ppm thì tỷ lệ nảy mầm của các hạt đều giảm xuống ở các ngày theo dõi. Điều này cho thấy khi nồng độ ZnO từ 2000 ppm trở lên thì sự ức chế nảy mầm của hạt xẩy ra. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả của Prasad và cs. đối với hạt cây đậu phộng (*Arachis hypogaea L*) [20], hay Solanki và cs. đối với giống lúa mì (*Triticum aestivum*) [45]. Xu hướng tương tự cũng xẩy ra đối với chiều dài rễ (Hình 5b). Ở ngày thứ 14, chiều dài của rễ cây dẻ tăng nhưng không đáng kể khi nồng độ ZnO tăng từ 0 lên 500 ppm. Sau hai ngày (ngày thứ 16), chiều dài rễ tăng nhẹ ở nồng độ 500–1000 ppm và bắt đầu giảm ở nồng độ 2000 ppm. Việc kiểm tra và quan sát cho thấy ở ngày thứ 18, chiều dài của rễ cây hạt dẻ phát triển mạnh trong khoảng nồng độ ZnO từ 0 đến 1000 ppm, ứng với 16,73 ± 2,82 mm (NT1 – đối chứng) và dài nhất 23,18 ± 2,15 mm ở NT3, nhưng lại giảm xuống 21,06 ± 2,94 mm ở nồng độ 2000 ppm (NT4). Điều này một lần nữa cho thấy nồng độ ZnO từ 2000 ppm trở lên thì ức chế sự phát triển chiều dài của rễ cây dẻ. Do đó, nồng độ ZnO tối ưu cho sự nảy mầm của hạt và sự phát triển của cây con, tức là chiều dài rễ, là 1000 ppm. Nồng độ ZnO từ 2000 ppm trở lên ức chế sự nảy mầm của hạt, sự phát triển của cây con và các đặc tính sinh dưỡng

pISSN 1859-1388
eISSN 2615-9678

4 Kết luận

Sodium hydroxide và zinc sulfate hexahydrate được sử dụng để tạo ra các hạt nano ZnO bằng phương pháp thủy nhiệt. Các phương pháp phân tích hóa lý hiện đại như phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FT-IR), nhiễu xạ tia X (XRD), quang phổ UV-vis và kính hiển vi điện tử quét (SEM) đã được sử dụng để xác định đặc trưng của vật liệu tổng hợp. Sự có mặt của các hạt nano và các nhóm chức khác nhau đã được chứng minh từ kết quả phân tích FT-IR. Kết quả XRD cho thấy vật liệu được tạo ra ở kích thước nano với cỡ hạt trung bình là 19,055 nm. Hình thái và phân bố kích thước của các hạt nano ZnO được đánh giá bằng ảnh SEM và cho thấy các hạt tương đối đồng nhất, có hình cầu. Độ hấp thụ quang cực đại của các hạt nano ZnO đạt được tại bước sóng 392 nm và được xác định bằng quang phổ UV-vis. Bước đầu thử nghiệm kích thích tăng trưởng sự nảy mầm của hạt cây dẻ (*Castanea mollissima*) cho thấy ở nồng độ 1000 ppm thì nano ZnO kích thích sự nảy mầm của hạt và phát triển chiều dài rễ là tối ưu. Tuy nhiên, khi nồng độ nano ZnO từ 2000 ppm trở lên, quá trình ức chế nảy mầm của hạt xẩy ra và sự phát triển chiều dài rễ của cây dẻ con chậm lại.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự tài trợ của Sở Khoa học và Công Nghệ tỉnh Quảng Bình, theo hợp đồng Thực hiện Nhiệm vụ Khoa học và Công nghệ, số 34-24/HĐ-KHCN ngày 02 tháng 10 năm 2024.

Tài liệu tham khảo

1. Nagel LM, Palik BJ, Battaglia MA, D'Amato AW, Guldin JM, Swanston CW, et al. Adaptive silviculture for climate change: a national experiment in manager-scientist partnerships to apply an adaptation framework. Journal of Forestry. 2017;115(3):167-78.
2. Domke GM, Oswalt SN, Walters BF, Morin RS. Tree planting has the potential to increase carbon sequestration capacity of forests in the United States. Proceedings of the national academy of sciences. 2020;117(40):24649-24651.
3. Xing Y, Liu Y, Zhang Q, Nie X, Sun Y, Zhang Z, et al. Hybrid de novo genome assembly of Chinese chestnut (Castanea mollissima). Gigascience. 2019;8(9):112.
4. De Vasconcelos MC, Bennett RN, Rosa EA, Ferreira-Cardoso JV. Composition of European chestnut (Castanea sativa Mill.) and association with health effects: fresh and processed products. Journal of the Science of Food Agriculture. 2010;90(10):1578-1589.
5. Anagnostakis SL. Chestnut breeding in the United States for disease and insect resistance. Plant disease. 2012;96(10):1392-1403.
6. Dinis L, Peixoto F, Pinto T, Costa R, Bennett R, Gomes-Laranjo. Study of morphological and phenological diversity in chestnut trees ('Judia'variety) as a function of temperature sum. Environmental Experimental Botany. 2011;70(2–3):110-120.
7. Sittaro F, Paquette A, Messier C, Nock CA. Tree range expansion in eastern North America fails to keep pace with climate warming at northern range limits. Global Change Biology. 2017;23(8):3292-3301.
8. Sein ChawChaw SC, Mitlöhner R. Erythrophloeum fordii Oliver: ecology and silviculture in Vietnam. 2011.
9. Adhikari T, Kundu S, Biswas A, Tarafdar J, Subba Rao A. Characterization of zinc oxide nano particles and their effect on growth of maize (Zea mays L.) plant. Journal of Plant Nutrition. 2015;38(10):1505-1515.
10. Amooaghaie R, Norouzi M, Saeri M. Impact of zinc and zinc oxide nanoparticles on the physiological and biochemical processes in tomato and wheat. Botany. 2017;95(5):441-455.
11. Alwan RM, Kadhim QA, Sahan KM, Ali RA, Mahdi RJ, Kassim NA, et al. Synthesis of zinc oxide nanoparticles via sol–gel route and their characterization. Nanoscience Nanotechnology. 2015;5(1):1-6.
12. DeRosa MC, Monreal C, Schnitzer M, Walsh R, Sultan Y. Nanotechnology in fertilizers. Nature nanotechnology. 2010;5(2):91-98.

13. Bulcha B, Leta Tesfaye J, Anatol D, Shanmugam R, Dwarampudi LP, Nagaprasad N, et al. Synthesis of zinc oxide nanoparticles by hydrothermal methods and spectroscopic investigation of ultraviolet radiation protective properties. Journal of Nanomaterials. 2021;2021(1):8617290.

14. Noorian SA, Hemmatinejad N, Navarro JA. Ligand modified cellulose fabrics as support of zinc oxide nanoparticles for UV protection and antimicrobial activities. International journal of biological macromolecules. 2020;154:1215-1226.

15. Rahdar A, Hajinezhad MR, Sivasankarapillai VS, Askari F, Noura M, Kyzas GZ. Synthesis, characterization, and intraperitoneal biochemical studies of zinc oxide nanoparticles in Rattus norvegicus. Applied Physics A. 2020;126:1-9.

16. El-Naggar ME, Shaarawy S, Hebeish A. Multifunctional properties of cotton fabrics coated with in situ synthesis of zinc oxide nanoparticles capped with date seed extract. Carbohydrate polymers. 2018;181:307-16.

17. Zhang W, Chen X, Ma Y, Xu Z, Wu L, Yang Y, et al. Positive aging effect of ZnO nanoparticles induced by surface stabilization. The Journal of Physical Chemistry Letters. 2020;11(15):5863-70.

18. Awad A, Abou-Kandil AI, Elsabbagh I, Elfass M, Gaafar M, Mwafy E. Polymer nanocomposites part 1: Structural characterization of zinc oxide nanoparticles synthesized via novel calcination method. Journal of thermoplastic composite materials. 2015;28(9):1343-1358.

19. Fouda A, Saad E, Salem SS, Shaheen TI. In-Vitro cytotoxicity, antibacterial, and UV protection properties of the biosynthesized Zinc oxide nanoparticles for medical textile applications. Microbial pathogenesis. 2018;125:252-261.

20. Prasad T, Sudhakar P, Sreenivasulu Y, Latha P, Munaswamy V, Reddy KR, et al. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of plant nutrition. 2012;35(6):905-927.

21. Kwon SJ, Park J-H, Park J-G. Patterned growth of ZnO nanorods by micromolding of sol-gel-derived seed layer. Applied Physics Letters. 2005;87(13):1-10.

22. Shohel M, Miran MS, Susan MABH, Mollah MYA. Calcination temperature-dependent morphology of photocatalytic ZnO nanoparticles prepared by an electrochemical–thermal method. Research on Chemical Intermediates. 2016;42:5281-5297.

23. Sangari NU, Devi SC. Synthesis and characterization of nano ZnO rods via microwave assisted chemical precipitation method. Journal of Solid State Chemistry. 2013;197:483-488.

24. Al-Gaashani R, Radiman S, Daud A, Tabet N, Al-Douri Y. XPS and optical studies of different morphologies of ZnO nanostructures prepared by microwave methods. Ceramics International. 2013;39(3):2283-2292.

25. Chae K-W, Zhang Q, Kim JS, Jeong Y-H, Cao G. Low-temperature solution growth of ZnO nanotube arrays. Beilstein journal of nanotechnology. 2010;1(1):128-134.

26. Madathil ANP, Vanaja K, Jayaraj M, editors. Synthesis of ZnO nanoparticles by hydrothermal method. Nanophotonic materials IV. 2007;6639:1-8.

27. Pandey P, Parra MR, Haque FZ, Kurchania R. Effects of annealing temperature optimization on the efficiency of ZnO nanoparticles photoanode based dye sensitized solar cells. Journal of Materials Science: Materials in Electronics. 2017;28:1537-4165.

28. Patterson A. The Scherrer formula for X-ray particle size determination. Physical review. 1939;56(10):978.

29. Wang Z, Wang S, Ma T, Liang Y, Huo Z, Yang F. Synthesis of zinc oxide nanoparticles and their applications in enhancing plant stress resistance: A review. Agronomy. 2023;13(12):3060.

30. Kaviyarasu K, Magdalane CM, Kanimozhi K, Kennedy J, Siddhardha B, Reddy ES, et al. Elucidation of photocatalysis, photoluminescence and antibacterial studies of ZnO thin films by spin coating method. Journal of Photochemistry Photobiology B: Biology. 2017;173:466-475.

31. Eggersdorfer ML, Pratsinis SE. Agglomerates and aggregates of nanoparticles made in the gas phase. Advanced Powder Technology. 2014;25(1):71-90.

32. Endres SC, Ciacchi LC, Mädler L. A review of contact force models between nanoparticles in agglomerates, aggregates, and films. Journal of Aerosol Science. 2021;153:105719.

33. Das J, Khushalani D. Nonhydrolytic route for synthesis of ZnO and its use as a recyclable photocatalyst. The Journal of Physical Chemistry C. 2010;114(6):2544-50.

34. Bulcha B, Leta Tesfaye J, Anatol D, Shanmugam R, Dwarampudi LP, Nagaprasad N, et al. Synthesis of zinc oxide nanoparticles by hydrothermal methods

pISSN 1859-1388
eISSN 2615-9678

and spectroscopic investigation of ultraviolet radiation protective properties. Journal of Nanomaterials. 2021;2021(1):8617290.

35. Fiedot-Toboła M, Ciesielska M, Maliszewska I, Rac-Rumijowska O, Suchorska-Woźniak P, Teterycz H, et al. Deposition of zinc oxide on different polymer textiles and their antibacterial properties. Materials. 2018;11(5):707.
36. Jayarambabu N, Kumari BS, Rao KV, Prabhu Y. Germination and growth characteristics of mungbean seeds (Vigna radiata L.) affected by synthesized zinc oxide nanoparticles. Int J Curr Eng Technol. 2014;4(5):3411-6.
37. Kumar H, Rani R. Structural and optical characterization of ZnO nanoparticles synthesized by microemulsion route. International Letters of Chemistry, Physics Astronomy. 2013;14:1-14.
38. Mahamuni PP, Patil PM, Dhanavade MJ, Badiger MV, Shadija PG, Lokhande AC, et al. Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles by using polyol chemistry for their antimicrobial and antibiofilm activity. Biochemistry biophysics reports. 2019;17:71-80.
39. Sadhukhan P, Kundu M, Rana S, Kumar R, Das J, Sil PC. Microwave induced synthesis of ZnO nanorods and their efficacy as a drug carrier with profound anticancer and antibacterial properties. Toxicology Reports. 2019;6:176-185.
40. Agarwal S, Rai P, Gatell EN, Llobet E, Güell F, Kumar M, et al. Gas sensing properties of ZnO nanostructures (flowers/rods) synthesized by hydrothermal method. Sensors Actuators B: Chemical. 2019;292:24-31.
41. Talam S, Karumuri SR, Gunnam N. Synthesis, characterization, and spectroscopic properties of ZnO nanoparticles. Jnternational Scholarly Research Notices. 2012;2012(1):372505.
42. Sirelkhatim A, Mahmud S, Seeni A, Kaus NHM, Ann LC, Bakhori SKM, et al. Review on zinc oxide nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism. Nano-micro letters. 2015;7:219-242.
43. Lin D, Xing B. Phytotoxicity of nanoparticles: inhibition of seed germination and root growth. Environmental pollution. 2007;150(2):243-250.
44. Sharma D, Afzal S, Singh NK. Nanopriming with phytosynthesized zinc oxide nanoparticles for promoting germination and starch metabolism in rice seeds. Journal of Biotechnology. 2021;336:64-75.
45. Solanki P, Laura J. Effect of ZnO nanoparticles on seed germination and seedling growth in wheat (Triticum aestivum). Journal of Pharmacognosy Phytochemistry. 2018;7(5):2048-52.