

NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP NANO BẠC MANG ĐẶC TÍNH KHÁNG KHUẨN VÀ TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG TRONG NÔNG NGHIỆP

Nguyễn Như Khải¹, Đặng Thị Oanh Yên², Nguyễn Ngọc Thanh³,
Nguyễn Nhật Nam^{4*}

FABRICATION OF SILVER NANOPARTICLES AND THEIR ANTIBACTERIAL POTENTIAL FOR AGRICULTURAL APPLICATION

Nguyen Nhu Khai¹, Dang Thi Oanh Yen², Nguyen Ngoc Thanh³,
Nguyen Nhat Nam^{4*}

Tóm tắt – Vật liệu nano ra đời và phát triển với nhiều ứng dụng trong nông nghiệp bền vững như phòng trị bệnh, xử lý môi trường canh tác và chuẩn đoán bệnh trên cây trồng. Hệ nano bạc (AgNPs) được triển khai thiết kế và chế tạo bằng phương pháp mới mang đặc tính kháng khuẩn đem lại tiềm năng ứng dụng cao trong nông nghiệp. Trong nghiên cứu này, AgNPs được tổng hợp thông qua sự kết hợp các chất hoạt động bề mặt sinh học không ion với chất hoạt động bề mặt ion ở 65°C trong 1 giờ. Các đặc tính quang học và hình thái AgNPs được xác định bằng quang phổ hấp thụ UV-Vis và kính hiển vi điện tử quét (SEM). AgNPs tổng hợp được có sự phân bố đồng nhất đạt kích thước $62 \pm 2,8$ nm và phổ hấp thụ UV-Vis thu nhận với đỉnh thấp thu ở ~ 420 nm. Đồng thời, các hạt AgNPs biểu hiện đặc tính kháng khuẩn đối với *Staphylococcus aureus* ở các nồng độ 80, 8 và 0,8 ppm với vòng tròn đường kính kháng khuẩn tương ứng là 12, 10 và 8 mm. Các thử nghiệm ban đầu cho thấy hệ AgNPs tổng hợp được không gây độc cho cây, có khả năng ứng dụng trong phòng và trị bệnh cho cây trồng.

Từ khóa: chất hoạt động bề mặt, kháng khuẩn, nano bạc.

Abstract – The development of nanomaterials has led to numerous applications in sustainable agriculture including disease prevention and treatment, cultivation environment management, and crop disease diagnostics. As-prepared silver nanoparticles have been designed and synthesized using a novel method, showcasing antibacterial properties that hold significant potential for agricultural use. In this study, silver nanoparticles were synthesized through the combination of non-ionic biological surfactants with ionic surfactants at 65°C for 1 hour. The optical properties and morphology of silver nanoparticles were characterized by UV-Vis absorbance and scanning electron microscope (SEM), respectively. The results showed that AgNPs had a high-homogeneity of size distribution of 62 ± 2.8 nm and a single UV-vis absorbance band was obtained at ~ 420 nm. Moreover, as-prepared silver nanoparticles showed antibacterial activity with *Staphylococcus aureus* with diameters zones of 12, 10, and 8 mm in silver nanoparticles concentrations range of 80, 8, and 0.8 ppm, respectively. Initial tests indicate that the synthesized silver nanoparticles are non-toxic to plants and have potential applications in the prevention and treatment of plant diseases.

Keywords: anti-bacteria, co-surfactant, silver nanoparticle.

^{1,2,4}Trường Đại học Trà Vinh, Việt Nam

³Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Việt Nam

Ngày nhận bài: 02/4/2024; Ngày nhận bài chỉnh sửa: 22/4/2024; Ngày chấp nhận đăng: 14/5/2024

*Tác giả liên hệ: nnnam@tvu.edu.vn

^{1,2,4}Tra Vinh University, Vietnam

³Nguyen Tat Thanh University, Vietnam

Received date: 02nd April 2024; Revised date: 22nd April 2024; Accepted date: 14th May 2024

*Corresponding author: nnnam@tvu.edu.vn

I. GIỚI THIỆU

Vật liệu nano ngày càng được quan tâm nghiên cứu để cung cấp các giải pháp trong nhiều lĩnh vực khác nhau và đem lại tiềm năng ứng dụng cao trong nông nghiệp, thực phẩm, năng lượng và thủy sản [1–3]. Ở lĩnh vực nông nghiệp, công nghệ nano mang lại nhiều bước tiến đột phá trong công tác quản lý, phân bón nano, chẩn đoán và liệu pháp điều trị bệnh, xử lý môi trường. Trong nhóm vật liệu nano kháng khuẩn, nano bạc được đánh giá là vật liệu có khả năng điều trị và bảo vệ cây trồng khỏi các tác nhân gây bệnh như vi khuẩn, nấm, và virus [4]. Do đó, các nghiên cứu cơ bản và chuyên sâu trong việc thiết kế và tổng hợp vật liệu nano nói chung và nano bạc nói riêng cần được triển khai thực hiện để làm chủ công nghệ và khai thác tiềm năng ứng dụng một cách hiệu quả. Chiến lược được đặt ra trong tổng hợp AgNPs là có hoạt tính cao, chi phí thấp và an toàn. Tại Việt Nam, nhiều phương pháp tổng hợp sử dụng các phân tử sinh học và dịch chiết các hoạt chất được liệu trong tổng hợp nano bạc đang ngày càng cho thấy nhiều tiềm năng và ưu thế với hoạt tính sinh học cao, quy trình tổng hợp đơn giản và thân thiện với môi trường [5]. Các hoạt chất thiên nhiên thường được thiết kế với vai trò tập trung làm chất khử như các chất chuyển hóa thứ cấp thực vật [6]. Các nghiên cứu hiện nay chủ yếu sử dụng dịch chiết và các hoạt chất sinh học với vai trò hoạt chất chính trong cấu trúc bằng chất khử trong quá trình tổng hợp nano bạc. Phương pháp này còn gặp một số hạn chế trong ứng dụng sản xuất nano bạc ở quy mô lớn do hàm lượng bạc thường thấp. Trong bài báo này, saponin từ bã hạt cây dầu trà (*Camellia oleifera*) được chiết tách và sử dụng với vai trò chất hoạt động bề mặt (CHĐBM) không ion sinh học trong quá trình tổng hợp nano bạc dưới phản ứng hóa học kết hợp với CHĐBM ion để sinh tổng hợp nano bạc với hàm lượng cao.

II. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

AgNPs được đánh giá có hoạt lực kháng khuẩn cao và ít gây độc cho con người so với các kim loại khác. Với phổ kháng khuẩn rộng, AgNPs mang lại triển vọng cải thiện quản lý chất lượng trong nông phẩm, xây dựng các liệu pháp trong thiết bị chẩn đoán và phòng trị bệnh trên cây

trồng, cũng như kiểm soát các loại dịch bệnh [7]. Ngoài ra, AgNPs còn có khả năng thúc đẩy sự lớn lên của nhiều loại thực vật thông qua các cơ chế về sinh hóa, sinh lý và phân tử khác nhau. Krishnrraj et al. [8] thông tin ban đầu về AgNPs có vai trò trong sinh tổng hợp các chất chuyển hóa quan trọng như carbohydrate, protein và làm giảm hoạt động của các enzyme catalase và peroxidase đối *Bacopa monnieri* trong giai đoạn nảy mầm. AgNPs kích thích sự nảy mầm và phát triển của cây con trên *Boswellia ovalifoliolata* [9], thúc đẩy các chỉ số tăng trưởng thực vật bao gồm chiều dài rễ, chồi, lá, chất diệp lục, carbohydrate, protein và enzyme chống oxy hóa ở *Brassica juncea*, *Phaseolus Vulgaris* và *Zea mays* [7, 10]. Tiềm năng ứng dụng AgNPs trong nông nghiệp đòi hỏi các nghiên cứu mới về phương pháp tổng hợp nano bạc với chi phí thấp, an toàn và có ứng dụng cao. AgNPs có thể được tạo ra bằng nhiều kỹ thuật bao gồm ‘top-down’ và ‘bottom-up’. AgNPs tổng hợp từ vật liệu thiên nhiên hoặc kết hợp cho thấy các tác động giảm tải ảnh hưởng với môi trường. Trong nhóm các nguyên vật liệu sinh học, bã hạt dầu trà (*Camellia oleifera*) được sử dụng trong nông nghiệp với thành phần chính là saponin. Đây là một trong những nguyên liệu thảo mộc phong phú, có giá thành rẻ. Trong quá trình sản xuất trước đây, bã hạt dầu trà thường được bỏ đi cùng với bánh dầu hoặc dùng làm phân bón có giá trị hấp theo phương pháp chế biến dầu truyền thống và không tận dụng được các hoạt chất trong bã dầu trà gây nên sự lãng phí trong sản xuất nông nghiệp. Saponin trong *Camellia oleifera* được nghiên cứu không chỉ là CHĐBM không ion sinh học mà còn có khả năng tạo bọt mạnh, nhũ hóa, phân tán và làm ướt, kháng khuẩn, chống ung thư, chống viêm [11]. Ngoài ra, nó còn được áp dụng trong y học, thuốc trừ sâu, thực phẩm và các khía cạnh khác. Từ những cơ sở đó, việc điều chế AgNPs sử dụng cách mới có sự kết hợp saponin từ bã hạt dầu trà như một CHĐBM không ion với CHĐBM ion đảm bảo đặc tính kháng khuẩn được tiến hành thực hiện. AgNPs được tạo ra biểu hiện khả năng kháng khuẩn và các khảo sát ban đầu cho thấy tiềm năng ứng dụng của AgNPs trong nông nghiệp cây trồng.

III. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Silver nitrate (AgNO_3 , 99%) được cung cấp bởi Sigma-Aldrich, cetylmethylammonium bromine (CTAB, 90%). L-ascorbic acid ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$, 99%) và amonium hydroxide (NH_4OH , 25–28%) được cung cấp bởi Daejung. Bột bã hạt dầu trà hàm lượng 30% saponin dạng thương mại xuất xứ Trung Quốc. Mueller Hinton Agar (MHA) được cung cấp bởi Himedia.

Đầu tiên, bột bã hạt dầu trà được tiến hành tách chiết theo quy trình công bố bởi Yu et al. [12]. Sau đó, hỗn hợp dịch chiết saponin (0,5 g) và CTAB (0,5 g) được khuấy đều trong 20 mL nước cất hai lần trong 05 phút cho đồng nhất. Tiếp tục cho vào hỗn hợp AgNO_3 (0,075 M) và NH_4OH (0,1 M) trong nước cất và khuấy liên tục trong 10 phút. Sau đó, thêm 10 mL dung dịch chất khử ascorbic acid (0,1 M) từ từ vào đến khi thu được hỗn hợp đồng nhất. Quá trình gia nhiệt phản ứng ở tốc độ chậm 3–5°C/phút và duy trì 01 giờ sau khi đạt 65°C. Hình thái AgNPs được xác định bằng SEM. Đặc tính quang học AgNPs được ghi nhận bằng máy đo Cary 60 UV-vis (Agilent). Các khảo sát kháng khuẩn được tiến hành trên *Staphylococcus aureus* bằng kỹ thuật khuếch tán đĩa thạch (Kirby Bauer) trên MHA với nồng độ AgNPs là 80, 8, 0,8 và 0,08 ppm [13]. Vi khuẩn ở mật số tương đương $1-2 \times 10^8$ CFU/mL được trải đều. Sau đó, các đĩa giấy đã được tẩm 20 μL AgNPs được đặt lên đĩa và ủ ở nhiệt độ 37°C trong 24 giờ. Mỗi nồng độ AgNPs được thực hiện lặp lại ba lần. Khả năng kháng khuẩn của vật liệu được xác định thông qua vòng ức chế xung quanh đĩa giấy.

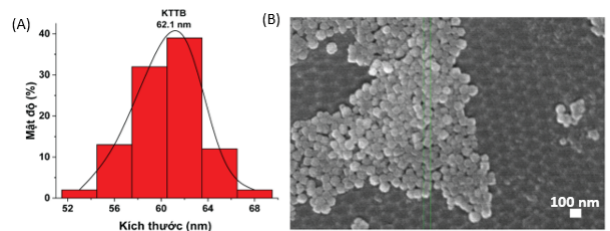
IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kích thước của AgNPs được biểu thị trong Bảng 1. AgNPs tổng hợp được có đường kính hạt phân bố đồng đều (min: 53,7 nm; max: 68,7 nm) với đường kính trung bình đạt $62,1 \pm 2,8$ nm (Hình 1). Dung dịch AgNPs phân tán tốt trong nước và có màu vàng ánh kim. Phổ UV-vis được ghi nhận với đỉnh hấp thụ tại vị trí ~ 420 nm. Trong nghiên cứu này, sự hình thành AgNPs với quá trình khử diễn ra chủ yếu bởi tác nhân khử hóa học glucose, dịch chiết saponin với vai trò là CHĐBM sinh học kết hợp cộng hưởng với CTAB hỗ trợ ổn định các hạt AgNPs. Sự kết

hợp CHĐBM có các tác động đến tính chất nhiệt động học, sức căng bề mặt và sự phân bố của các phân tử trên bề mặt phần lớn là do các đặc tính của CHĐBM ion như chiều dài chuỗi alkyl và tỉ lệ giữa các CHĐBM [14]. Các nhóm chức năng ái nước của hợp chất bao quanh giúp ổn định cấu trúc hạt trong môi trường phân tán [15]. Vai trò CHĐBM của hoạt chất sinh học như saponin và glycoside vừa được đánh giá có tính đặc trưng và hiệu quả trong ổn định cấu trúc hạt [16], vừa có các hỗ trợ kép đến các hoạt tính sinh học [17, 18]. Thành phần chính saponin bột bã dầu trà gồm sapogenins, saccharides và các acid hữu cơ. Saponin cũng có đặc tính sinh học trong kháng khuẩn và chống oxy hóa [19–22]. Đặc tính CHĐBM và tạo CMC (critical micelle concentration) của saponin cho thấy khi este hóa, este saponin trong trà có hoạt động bề mặt tốt. Độ tạo bọt, độ ổn định và nhũ hóa của saponin cũng tương đối ổn định [23].

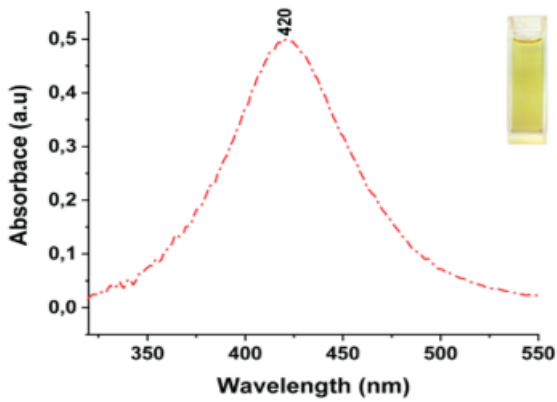
Bảng 1: Thống kê đường kính các hạt AgNPs

TT	Đường kính hạt (nm)	Mật độ (%)
1	53-55	2
2	56-58	13
3	59-61	32
4	62-64	39
5	65-68	14
Đường kính trung bình: 62,1 nm Min: 53,7 nm; Max 68,7 nm		

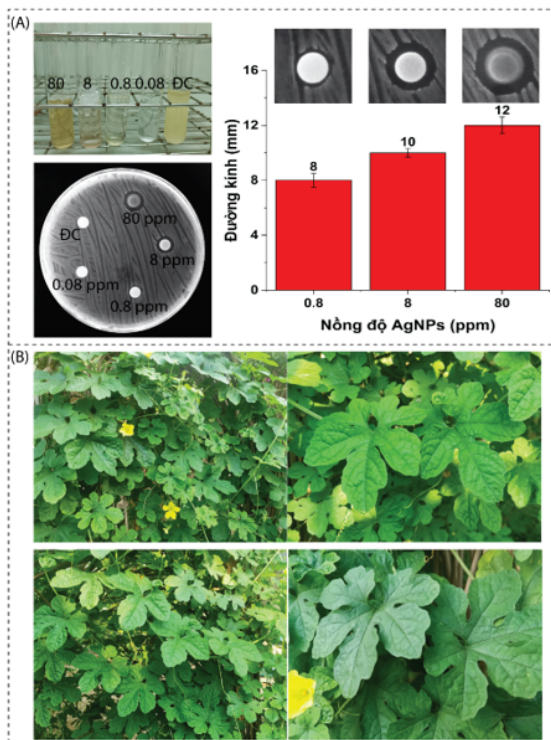


Hình 1: (A) Biểu đồ phân bố đường kính các hạt AgNPs tổng hợp được, đường kính trung bình đạt $62,1 \pm 2,8$ nm; (B) Hình ảnh SEM của các hạt AgNPs

Hoạt tính kháng khuẩn của AgNPs được thể hiện thông qua phương pháp khuếch tán đĩa thạch. Kết quả AgNPs kháng vi khuẩn *Staphylococcus aureus* được trình bày trong Hình 3(A). Dung dịch AgNPs được thực hiện thử nghiệm ở dãy nồng độ là 80, 8, 0,8, 0,08 ppm. Hoạt



Hình 2: Phổ UV-vis hấp thụ của AgNPs (~420 nm) và ảnh chụp màu vàng ánh kim của AgNPs phân tán trong nước



Hình 3: (A) Khảo sát đặc tính kháng khuẩn của AgNPs đối với *Staphylococcus aureus*; (B) Hình ảnh cây mướp đắng rừng sau 14 ngày tưới dung dịch AgNPs (tần suất 02 lần/tuần)

lực kháng khuẩn *Staphylococcus aureus* ở điều kiện nuôi lỏng (0,08 ppm) trong môi trường Nutrient Broth tốt hơn so với nuôi trên đĩa cấy (0,8 ppm). Vòng tròn của kháng khuẩn với đường kính đạt 12 mm, 10 mm, và 8 mm tương ứng với nồng độ AgNPs là 80 ppm, 8 ppm và 0,8 ppm. Thử nghiệm ban đầu trên mướp đắng rừng (*Momordica charantia*) với nồng độ tưới đậm hai mặt lá trong 14 ngày (tần suất tưới 02 lần/tuần) cho thấy dung dịch AgNPs tổng hợp được không làm nóng cây. Sau 02 tuần sử dụng, cây sinh trưởng và lớn tốt, lá có màu xanh mướt, không bị cháy và chưa xuất hiện bệnh trên cây (Hình 3(B)). Kết quả ban đầu cho thấy AgNPs tổng hợp được trong nghiên cứu này có thể ứng dụng tạo ra các sản phẩm phòng trị bệnh cây trồng trong nông nghiệp. Tuy nhiên, các nghiên cứu tiếp theo để khảo sát và thử nghiệm lên nhiều đối tượng giống cây trồng, các giai đoạn khác nhau của cây và trên đối tượng cây bệnh cần được thực hiện. Đồng thời, việc hiểu biết về ảnh hưởng môi trường, các ảnh hưởng đối với lâm sàng và cận lâm sàng AgNPs cũng cần quan tâm nghiên cứu.

Hiện nay, nhiều nghiên cứu chỉ ra các cơ chế kháng khuẩn của AgNPs được đề xuất. Tuy nhiên, cơ chế chính xác vẫn chưa được làm rõ [24]. Các hạt AgNPs giải phóng Ag^+ có khả năng bám, xuyên qua màng và tế bào chất của tế bào vi khuẩn thông qua các ái lực tĩnh điện và lực hút đối với các phân tử của sinh học làm tăng tính thấm và có thể làm phá vỡ của lớp vỏ vi khuẩn [25]. Ngoài ra, các tác nhân như Ag^+ và ROS có khả năng làm biến đổi DNA gây các bất lợi trong sự sao chép, tăng sinh và thậm chí tiêu diệt trực tiếp tế bào vi khuẩn. Trong một số trường hợp, AgNPs có khả năng tích tụ ở thành vách tế bào gây biến tính màng, dẫn đến sự xuyên màng, phá vỡ cấu trúc và li giải tế bào vi khuẩn [26]. AgNPs có thể làm gián đoạn các quá trình truyền tín hiệu của tế bào, dẫn đến hiện tượng tế bào chết theo chương trình (apoptosis) và ngăn cản quá trình tăng sinh của tế bào [27]. Từ những cơ sở đó, AgNPs hiện nay được quan tâm và sử dụng trong phòng trị bệnh cây trồng. Các đặc tính kháng khuẩn của AgNPs ảnh hưởng bởi các yếu tố kích thước, hình dạng, đặc tính bề mặt và lí hóa, cho phép các mức độ tương tác với tế bào vi khuẩn. AgNPs đã được chứng minh có

tiềm năng ứng dụng hiệu quả trong nông nghiệp, trong công tác chống lại côn trùng và vi sinh vật gây bệnh.

V. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

AgNPs được chế tạo thành công thông qua việc kết hợp CHĐBM tự nhiên với CHĐBM hóa học và định hướng tăng cường các đặc tính CHĐMB, từ đó làm tăng sự tương tác và ức chế mầm bệnh bằng nhiều cơ chế khác nhau. AgNPs được tạo ra có kích thước và hình dạng đồng đều với đường kính trung bình đạt $62,1 \pm 2,8$ nm. Các đánh giá ban đầu biểu thị rằng AgNPs tổng hợp được có thể kháng khuẩn, hứa hẹn tiềm năng triển khai các ứng dụng trong sản xuất sản phẩm phòng trị bệnh cây trồng. Tuy nhiên, nhiều nghiên cứu tiếp theo cần được thực hiện trên nhiều đối tượng vi khuẩn khác nhau; đồng thời, các tính chất về độc tính của AgNPs cũng cần được nghiên cứu song song để có các chiến lược sử dụng AgNPs một cách bền vững, an toàn và hiệu quả.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Trà Vinh thông qua Hợp đồng số 09/2024/HĐ.HĐKH&ĐT-ĐHTV.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Nhật Nam, Do Hoàng Dang Khoa, Trinh Kieu The Loan, Nae YL. Recent progress in nanotechnology-based approaches for food monitoring. *Nanomaterials*. 2022;12(23): 4116. <https://doi.org/10.3390/nano12234116>.
- [2] Nguyễn Nhật Nam, Nguyễn Thanh Tung, Nguyễn Thủy An, Ngô Hải Đăng, Nguyễn Thị Hải Yến, Trần Văn Mạnh et al. Hydrothermal fabrication of Sn/SnO/SnO₂ hybrid nanocomposites as highly reliable anodes for advanced lithium-ion batteries. *New Journal of Chemistry*. 2023;47: 14675–14683. <https://doi.org/10.1039/D3NJ01752D>.
- [3] Nguyễn Nhật Nam. Engineering the NaYF₄: Yb³⁺/Tm³⁺ upconversion nanoparticle luminescence energy transfer for a ratiometric pH indicator. *Dalat University Journal of Science*. 2023;1: 71–82. [https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.13.1.1044\(2023\)](https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.13.1.1044(2023)).
- [4] Sajad K, Muhammad Z, Raham SK, Muhammad I, Noor UI. The impact of silver nanoparticles on the growth of plants: The agriculture applications. *Heliyon*. 2023;9(6): e16928. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16928>.
- [5] Hoàng Đức Thuận, Ngô Văn Cường, Lê Thị Thu Hồng, Trần Thạch Thảo, Nguyễn Thị Như Quỳnh, Cao Văn Dư. Tổng hợp xanh nano bạc từ dịch chiết dược liệu (trầu không, trứng cá). *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Lạc Hồng*. 2021;12: 79–84. [Hoàng Đức Thuận, Ngô Văn Cường, Lê Thị Thu Hồng, Trần Thạch Thảo, Nguyễn Thị Như Quỳnh, Cao Văn Dư. Green synthesis of silver nanoparticles using herbal extract (piper betle, muntingia calabura). *Journal of Science of Lac Hong University*. 2021;12: 79–84].
- [6] Jahanzeb K, Irsa N, Saiqa B, Shakeel A, Faizah A, Muhammad H, et al. Green synthesis of silver nanoparticles (Ag-NPs) using *debregeasia salicifolia* for biological applications. *Materials*. 2023;16: 129. <https://doi.org/10.3390/ma16010129>.
- [7] Priyadarshini S, Deepesh B, Zaidi MGH, Pardha S, Khanna PK, Sandeep A. Silver nanoparticle-mediated enhancement in growth and antioxidant status of brassica juncea. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2012;167: 2225–2233. <https://doi.org/10.1007/s12010-012-9759-8>.
- [8] Krishnaraj C, Jagan EG, Ramachandran R, Abirami SM, Mohan N, Kalaichelvan PT. Effect of biologically synthesized silver nanoparticles on *Bacopa monnieri* (Linn.) Wettst. Plant growth metabolism. *Process Biochemistry*. 2012;47: 651–658. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.01.006>.
- [9] Savithramma N, Ankanna S, Bhumi G. Effect of nanoparticles on seed germination and seedling growth of *Boswellia ovalifoliolata* an endemic and endangered medicinal tree taxon. *Nano Vision*. 2012;2(1,2&3): 61–68.
- [10] Salama HMH. Effects of silver nanoparticles in some crop plants, common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and corn (*Zea mays* L.). *International Research Journal of Biotechnology*. 2012;3(10): 190–197.
- [11] Ying Z, Ruiqi S, Wenting Z, Yao GL, Jian C. Antibacterial activity of tea saponin from *Camellia oleifera* shell by novel extraction method. *Industrial Crops and Products*. 2020;153: 112604–112613. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112604>.
- [12] Yu XL, He Y. Optimization of tea-leaf saponins water extraction and relationships between their contents and tea (*Camellia sinensis*) tree varieties. *Food Science and Nutrition*. 2018;6(6): 1734–1740. <https://doi.org/10.1002/fsn3.724>.
- [13] Kirby B. *Disk diffusion susceptibility test protocol*. Washington, DC, USA: American Society for Microbiology; 2009.
- [14] PAhmad B, Paresa K. Synergism between non-ionic and cationic surfactants in a concentration range of mixed monolayers at an air–water interface. *RSC Advance*. 2017;7: 18151–18161. <https://doi.org/10.1039/C6RA27382C>.
- [15] Alireza E, Saeed T, Ghasemi Y. Green synthesis of silver nanoparticles using mediterranean cypress (*Cupressus sempervirens*) leaf extract. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 2017;13: 1–6. <https://doi.org/10.3844/ajbbsp.2017.1.6>.

- [16] Ekaterina OM. Silver nanoparticles: Mechanism of action and probable bio-application. *Journal of Functional Biomaterial*. 2020;11(4): 84–110. <https://doi.org/10.3390/jfb11040084>.
- [17] Mashwani ZR, Tariq K, Khan MA, Akhtar N. Synthesis in plants and plant extracts of silver nanoparticles with potent antimicrobial properties: current status and future prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2015;99: 9923–9934. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6987-1>.
- [18] Bharathi A, Vigneshwaran K, Loganathan K. Green synthesis of silver nanoparticles from *Ficus racemosa* L. extract and their antifungal activity. *Nano Biomedical Engineering*. 2014;10: 93–96.
- [19] Sur P, Chaudhuri T, Vedasiromoni JR, Gomes A, Ganguly DK. Antiinflammatory and antioxidant property of saponins of tea [*Camellia sinensis* (L) O. Kuntze] root extract. *Phytotherapy Research*. 2001;15(2): 174–176. <https://doi.org/10.1002/ptr.696>.
- [20] Xiaoyan L, Liya C, Qian W, Xinying Z, Xiaoxin H. Effect of tea saponin on phytoremediation of Cd and pyrene in contaminated soils by *Lolium multiflorum*. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24(23): 18946–18952. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9515-2.v>.
- [21] Huilong X, Xiaoya C, Zhijun Y, Wenwei C. Enhancing plant uptake of polychlorinated biphenyls and cadmium using tea saponin. *Bioresource Technology*. 2009;100(20): 4649–4653. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.069>.
- [22] Jie H, Jinshao Y, Jiawen M, Jiong G, Siqin C, Xiaoling W. Triphenyltin biosorption, dephenylation pathway and cellular responses during triphenyltin biodegradation by *Bacillus thuringiensis* and tea saponin. *Chemical Engineering Journal*. 2014;249: 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.03.110>.
- [23] Jin F, Ying C, Xin L, Songbai L. Efficient improvement of surface activity of tea saponin through Gemini-like modification by straightforward esterification. *Food Chemistry*. 2015;171: 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.125>.
- [24] Iris XY, Jing Z, Irene SZ, May LM, Quanli L, Chun HC. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *International Journal of Nanomedicine*. 2020;15: 2555–2562. <https://doi.org/10.2147/IJN.S246764>.
- [25] Ranjeet AB, Tanay VC, Chaitanya PJ, Prachi RB, Hira C, Manisha P, et al. An overview of application of silver nanoparticles for biomaterials in dentistry. *Materials Science and Engineering: C*. 2018;91: 881–898. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.05.069>.
- [26] Chengzhu L, Yuchao L, Sie CT. Bactericidal and cytotoxic properties of silver nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019;20(2): 449–496. <https://doi.org/10.3390/ijms20020449>.
- [27] Lin L, Lu L, Xuejiao Z, Yang Y, Zengqiang L, Daiying Z, et al. Silver nanoparticles induce protective autophagy via $Ca^{2+}/CaMKK\beta/AMPK/mTOR$ pathway in SH-SY5Y cells and rat brains. *Nanotoxicology*. 2019;13(3): 369–391. <https://doi.org/10.1080/17435390.2018.1550226>.

