

Эмийн хүргэлтийн системийн шинж чанарыг нано хэмжээст мөнгө ашиглан сайжруулах инженерчлэлийн өнөөгийн байдал

О.Олдох¹, М.Алтантогос^{1,2}, Б. Моломжамц¹, Ц.Алтансүх^{3,4}

¹АШУУИС, Био-АС, Анагаахын химийн тэнхим

²МУИС, Инженер технологийн сургууль, Хими, биологийн инженерчлэлийн тэнхим

³АШУУИС, Ахисан түвшний сургууль

⁴АШУУИС, Био-АС, Молекул биологи Удамзүйн тэнхим
Цахим иуудан: altansukh.ts@mnmus.edu.mn, Утас: 86891133

Түлхүүр үг:

Мөнгө
Нано жижиг
хэсэг
Эмийн хүргэлт
Зорилтот
хүргэлт
Эмчилгээний
идэвх

Товч утга:

Удиртгал: Сүүлийн 10 гаруй жилийн хугацаанд мөнгөний нано жижиг хэсэг нь био-анагаахын салбарт шинэлэг, өндөр үр ашигтай материалд тооцогдож байгаа учир судлаачдын анхаарлын төвд байна. Мөнгөний нано жижиг хэсэг нь өвөрмөц физик-химийн болон биологийн идэвхт шинж чанартай нано хэмжээст материал бөгөөд эмийн хүргэлтийн системийн шинэ платформыг хөгжүүлж, эмийг зорилтот хэсэгт аажим, хяналттайгаар хүргэх боломжийг олгодог. Энэхүү тойм өгүүлэлд цеолитийн шинж чанарыг мөнгөний нано жижиг хэсэг ашиглан сайжруулалт хийсэн үр дүнг тоймоллоо. Мөнгөний нано жижиг хэсэг агуулсан эмийн хүргэлтийн системүүд нь антибиотик, үрэвслийн эсрэг болон хавдрын эсрэг эмийг зорилтот газарт хүргэх идэвхгүй болон идэвхтэй механизмаар ажилладаг. Мөнгөний нано жижиг хэсгийн физик-химийн болон гадаргуугийн функциональ шинж чанар нь эмийн хүргэлтийн системийн онцлогийг бүрдүүлдэг. **Арга, аргачлал:** Энэхүү тойм өгүүллийг боловсруулахдаа Scopus болон Web of Science мэдээллийн санд бүртгэлтэй 2005–2025 оны хооронд хэвлэгдсэн, мөнгөний нано жижиг хэсэг (AgNPs)-ийн шинж чанар, AgNPs-ээр сайжруулсан цеолитод суурилсан эмийн хүргэлтийн систем (ЭХС), түүний хэрэглээтэй холбоотой өгүүллийг сонгон авч, тоймлон дүн шинжилгээ хийсэн. **Дүгнэлт:** Мөнгөний нано хэсгүүд нь эмийн хүргэлтийн дэвшилтэт платформыг бүрдүүлж, зорилтот, аажим, тогтвортой хүргэлт, бактерийн эсрэг синергетик үйлчлэл үзүүлдэг зэрэг олон давуу талтай.

Удиртгал: Нанотехнологийн хөгжлийн явцад сүүлийн үед мөнгөний нано жижиг хэсэг нь био-анагаахын салбарт онцгой анхаарал татаж байгаа материалын нэг болоод байна. Эмчилгээний шинэ стратеги эрэлхийлж буй энэ үед AgNPs-ийн өвөрмөц физик-химийн шинж чанар, гадаргуугийн идэвх, адсорбцлогдох чанар, коллоидын тогтвортой байдал нь давуу тал болж байгаа бөгөөд эмийн хүргэлтийн системд шинэ платформуудыг хөгжүүлэх боломжийг нээж өгч байна.¹ AgNPs-ийг гарган авахад физик (лазер абляци, ууршуулах-конденсацилах), химийн (ангжруулах арга, химийн тогтворжуулагч ашиглах) болон биологийн буюу “ногоон нийлэгжүүлэлт”-ийн (ургамлын ханд, бичил биетэн ашиглах) аргуудыг өргөн хэрэглэж

байна. Физикийн арга нь дулааны аргаар атомжуулах, лазер технологи ашиглах, механик нунтаглалт зэрэг арга хэрэглэдэг бол химийн арга нь мөнгөний давс (ихэвчлэн AgNO_3)-ыг цитрат, натрийн борогидрид зэрэг ангжруулагч ашиглан AgNPs гарган авч байна. Мөн байгальд ээлтэй арга болох биологийн аргад бактери, мөөгөнцөр, ургамлын ханд зэрэг байгалийн гаралтай эх үүсвэрийг ашигладаг.^{2,3}

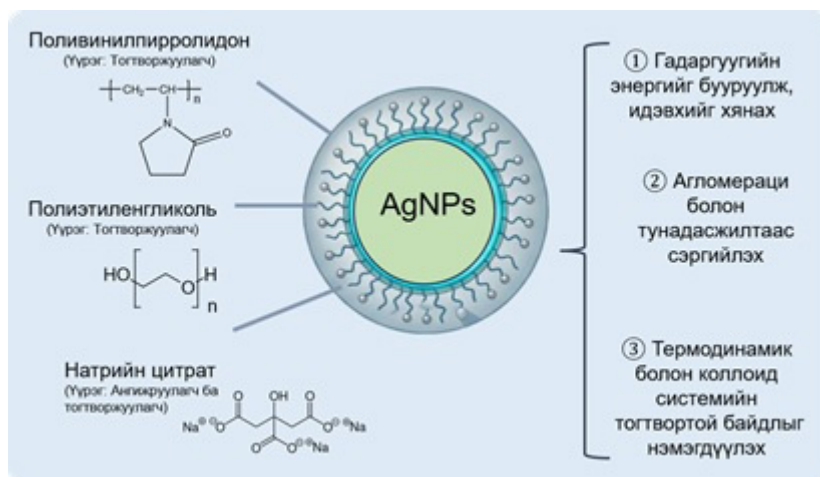
AgNPs-т суурилсан ЭХС нь зөвхөн бактерийн эсрэг үйлчлэл үзүүлээд зогсохгүй хавдрын эсрэг, үрэвслийн эсрэг үйлдэлтэй эм болон бусад био-идэвхт нэгдлүүдийг зорилтот газарт аажим, тогтвортой, хяналттайгаар хүргэх боломжийг бүрдүүлж байна. Сүүлийн жилүүдэд нано хэмжээст эмийн технологи

нь хавдрын эмчилгээний ирээдүйн стратегид шинэ боломжийг нээж өгч байна. Химийн эмчилгээ, цацрагийн технологид суурилсан эмчилгээ, мэс засал зэрэг уламжлалт хавдрын эмчилгээ нь эмийн хордлого, урьдчилан таамаглах боломжгүй гаж нөлөө, эмэнд тэсвэртэй байдал, зорилтот бус үйлчлэл зэрэг хязгаарлалтуудтай байдаг.^{4,5} AgNPs нь эдгээр дутагдлыг даван туулах боломжийг олгох нэг шийдэл байж болно гэж судлаачид үздэг. Ингэснээр эмийн гаж нөлөөг бууруулж, хавдрын эмчилгээний үр ашгийг нэмэгдүүлэх боломжтой болохыг тогтоожээ.

Арга, аргачлал: Энэхүү тойм өгүүллийг боловсруулахдаа олон улсын эрдэм шинжилгээний

мэдээллийн сан (Scopus болон Web of Science)-д бүртгэлтэй эрдэм шинжилгээний өгүүллийг системтэйгээр судлан шинжилсэн. Судалгаанд 2005–2025 оны хооронд хэвлэгдсэн AgNPs-ийн шинж чанар, AgNPs-ээр сайжруулсан цеолитийг эмийн хүргэлтийн систем, түүний хэрэглээтэй холбоотой өгүүллийн түлхүүр үгсээр ашиглан хайж, холбогдох өгүүллүүдийг сонгон авч дүн шинжилгээ хийв.

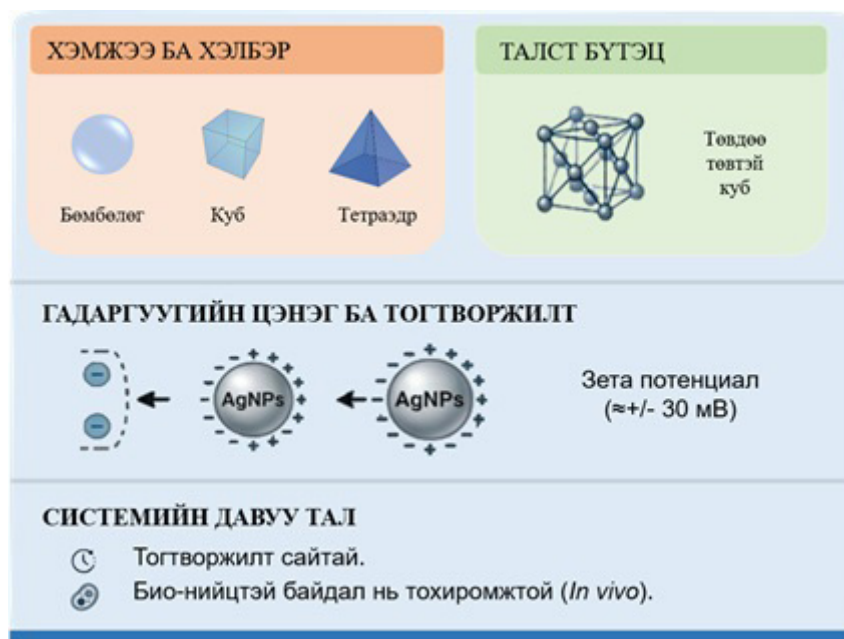
Мөнгөний nano жижиг хэсгийн шинж чанар: AgNPs нь коллоид тогтоцтой бөгөөд тогтворжуулахын тулд натрийн цитрат, поливинилпирролидон, полиэтиленгликоль зэрэг тогтворжуулагч бодисуудыг өргөн хэрэглэдэг (Зураг 1).



Зураг 1. AgNPs-ийн тогтворжилт ба шинж чанар

Эдгээр бодисууд нь nano бөөмийн гадаргууд адсорбцлогдон электростатик болон стерик хамгаалалтын давхарга үүсгэснээр бөөмсийн хоорондын таталцыг бууруулж, агломераци болон тунадасжилтаас сэргийлдэг. Үүний үр дүнд nano бөөмийн хэмжээ, тархалтын жигд байдал, цэнэг болон бионийцтэй байдал сайжирч, ЭХС-д хэрэглэхэд тохиромжтой болдог.^{6,7}

Тогтворжуулсан AgNPs нь куб, бөмбөлөг, гурвалжин зэрэг янз бүрийн хэлбэртэй, хэлбэрээс хамааран оптик болон гадаргуугийн идэвх нь харилцан адилгүй байна (Зураг 2). Гадаргуугийн цэнэг нь коллоид уусмал дахь тархалтыг тодорхойлж, жижиг хэсэг хоорондын харилцан түлхэлцлийг нэмэгдүүлснээр тогтвортой байдлыг дэмждэг.⁸⁻¹⁰



Зураг 2. AgNPs-ийн физик-химийн шинж чанар

AgNP нь гадаргуугийн плазмон резонансын онцгой оптик шинж чанартай бөгөөд тодорхой долгионы уртад гэрэл шингээх, сарниулах чадвартай. Энэ нь аналитик шинжилгээ, мэдрэгч, дүрс оношилгоо болон өдөөлтөд мэдрэмтгий систем боловсруулахад ашиглах боломжийг бүрдүүлдэг. Мөн молийн шингээлт утга өндөр, гадаргуу дээр байрлах сорбцын төвийн тоо олон байдагтай холбоотой органик болон биологийн молекулуудтай холбогдох чадварыг нэмэгдүүлдэг.¹¹⁻¹³

Мөнгөний нано жижиг хэсэг нь харьцангуй бага концентрацийн үед идэвх үзүүлэх боломжтой бөгөөд тохиромжтой гадаргуугийн идэвхжүүлэлт сайжруулалт хийснээр хүний биед био-нийцтэй болдог. AgNPs-ийн тогтвортой байдал, хэмжээ, концентраци болон гадаргуугийн шинж чанар нь эс хордуулалтын түвшинд харилцан адилгүй нөлөөлдөг тул био-анагаахын хэрэглээнд аюулгүй байдлын үнэлгээг нарийвчлан хийх шаардлагатай байдаг. Иймд мөнгөний нано жижиг хэсгийн нано хэмжээ, гадаргуугийн идэвх, тохиромжтой физик-химийн шинж чанар, оптик шинж, гадаргуугийн функциональ шинж чанар зэрэг нь ЭХС болон эмнэлзүйн дэвшилтэт системд хэрэглэгдэх ирээдүйтэй материал болохыг харуулдаг.^{11,12,14}

AgNPs агуулсан ЭХС-ийн бактерийн эсрэг үйлчлэх механизм: AgNPs-ийн бактерийн эсрэг идэвх нь хэд хэдэн механизмаар тайлбарлагддаг бөгөөд бичил биетний эсийн бүтэц болон бодисын солилцоонд шууд нөлөөлдөг. AgNPs бактерийн эсийн ханатай электростатик харилцан үйлчлэлээр холбогдож, эсийн мембраны бүтцийг өөрчилж нэвчимтгий чанарыг алдагдуулдаг. Үүний үр дүнд эсийн доторх ион болон бодисын тэнцвэр алдагдаж, эсийн хэвийн үйл ажиллагаа саатдаг. Дараагийн шатанд нано жижиг хэсгүүд эсийн мембранаар нэвтэрч, дотоод орчинд орсноор амьсгалын гинжин урвал болон энерги үүсэх процессыг саатуулдаг.^{15,16}

AgNPs-ээс Ag^+ ионууд нь бактерийн уургийн тиол (-SH) бүлэгтэй холбогдож ферментийн үйл ажиллагааг дарангуйлдаг бөгөөд ингэснээр бодисын солилцоо болон эсийн өсөлт, үржил зогсонги байдалд ордог.^{17,18} Мөн Ag^+ нь ДНХ-тэй харилцан үйлчилж генетикийн мэдээллийн хуулбарлалт болон уураг нийлэгжилтийг саатуулснаар эсийн хуваагдлыг зогсоодог.^{17,19} Үүнээс гадна мөнгөний нано жижиг хэсгүүд эсийн дотор хүчилтөрөгчийн идэвхтэй хэлбэрүүдийг (reactive oxygen species, ROS) үүсгэж, исэлдэлтийн стрессийг нэмэгдүүлснээр липид, уураг, нуклейн хүчлийг гэмтээж эсийг үхэлд хүргэдэг.¹⁹⁻²¹ Зарим судалгаанд энэ үйл явцыг “Trojan horse” механизм гэж тайлбарладаг. Нано жижиг хэсгүүд эхлээд эсийн гадаргууд холбогдон дараа нь эсийн дотор нэвтрэн орж, улмаар дотоод орчинд мөнгөний ионыг ялгаруулснаар бактерийн амьдрах чадварыг алдагдуулдаг.^{17,19} Мөн мөнгөний нано жижиг хэсгүүд нь бактерийн биофильмийг задлаж, экзополимер матриксыг эвдэн эс хоорондын дохиоллын процессыг саатуулдаг тул эмэнд тэсвэртэй бичил биетний эсрэг үр дүнтэй нөлөө үзүүлдэг.^{22,23} Ийм олон талт үйлчлэх механизм нь мөнгөний нано жижиг хэсгийг өргөн хүрээний бактерийн эсрэг идэвхтэй материал болгон

ашиглах боломжийг бүрдүүлдэг.

AgNPs агуулсан цеолитийг ЭХС-д ашигласан байдал: AgNPs агуулсан ЭХС нь тодорхой эмийн бодисыг AgNPs болон мөнгөөр сайжруулсан цеолит дээр ачаалж, хяналттай байдлаар зорилтот байнд хүргэдэг. Антибиотикийн хувьд амоксициллин, гентамицин, ципрофлоксацин, ванкомицин, тетрациклин зэрэг эмүүдийг AgNPs болон Ag-цеолит дээр адсорбцлон, шарх, түлэнхийн үеийн халдвар, бусад төрлийн халдвараас сэргийлэх зорилгоор удаан хугацаанд тогтвортой ялгаруулах систем боловсруулсан ашигладаг. Мөн метронидазол, левофлоксацин зэрэг бактерийн эсрэг эмүүд бүхий мөнгө агуулсан гидрогель болон бүрхүүл материалыг бэлтгэж байна.²⁴⁻²⁶

AgNPs агуулсан ЭХС-ийг эмийн хүргэлтэд ашиглах судалгаанд AgNPs болон мөнгөөр сайжруулсан олон төрлийн материалуудыг (цеолит, гидрогель, бүрхүүл материал болон бусад нанобүтцэт материал) туршиж, төрөл бүрийн эмийн бодисыг ачаалж хүргэх арга, аргачлал боловсруулаад байна. Үүнд антибиотик (амоксициллин, гентамицин, ципрофлоксацин, ванкомицин, тетрациклин), үрэвслийн эсрэг эм (диклофенак, ибупрофен, напроксен, дексаметазон), хавдрын эсрэг үйлдэлтэй эм (доксорубин, цисплатин, паклитаксел, 5-фторурацил, метотрексат), мөн ургамлын гаралтай антиоксидант болон био-идэвхт нэгдлүүд (кверцетин, куркумин, ресвератрол)-ийн хүргэлтэнд ашиглажээ. Энэ төрлийн ЭХС нь зөвхөн тодорхой эмийг ачаалах төдийгүй, тэдгээрийг шаардлагатай хэсэгт хүргэж аажим, хяналттайгаар, зорилтот байнд хүргэх боломжийг олгодог болохыг тогтоожээ.^{26,27} Үүнээс үзвэл эдгээр нано хэмжээст мөнгө агуулсан ЭХС-ийн гол давуу тал нь аажим, тогтвортой, зорилтот эмийн хүргэлтийг хангаж зөвхөн шаардлагатай хэсэгт чөлөөлж, эмчилгээний идэвхээ хадгалдаг. Мөн AgNPs нь өөрөө бактерицид шинж чанартай тул антибиотиктой хослуулснаар халдварын эрсдэлийг бууруулж, бактерийн эсрэг үр дүнтэй үйлчилдэг биофильм бэлтгэх, эдгээр системийг физиологийн орчны өөрчлөлт, тухайлбал эдийн онцлог, рН, фермент болон температурт мэдрэмтгий байдлаар боловсруулсан учир эм зөвхөн шаардлагатай газарт хүрч, эрүүл эдэд үзүүлэх сөрөг нөлөөг багасгадаг. Ийнхүү нано хэмжээст мөнгө агуулсан ЭХС нь эмийн хүргэлтийн дэвшилтэт платформ болж, тогтвортой, үр дүнтэй, зорилтот, олон талын хэрэглээтэй, эмийн гаж нөлөөг бууруулсан шийдэл болж, уламжлалт хүргэлтийн аргатай харьцуулахад эмчилгээний үр ашгийг нэмэгдүүлэх, халдвар, үрэвсэл, хавдрын эсрэг эмийн хэрэглээг илүү аюулгүй, үр дүнтэй болгох боломжийг бүрдүүлдэг байна.^{5,28,29}

Дүгнэлт: Нанохэмжээст мөнгө агуулсан эмийн хүргэлтийн систем нь эмийг аажим, зорилтот, хяналттайгаар хүргэх, нянгийн эсрэг синергетик идэвх үзүүлэх дэвшилтэт платформыг бүрдүүлдэг. Гэсэн хэдий ч бактерийн эсрэг болон эс хордуулах идэвхийг сайжруулах, тунгийн зохицуулалт зэрэг сорилтуудыг цаашид судалж, аюулгүй, үр дүнтэй хүргэлтийн системийг хөгжүүлэх шаардлагатай.

Ном зүй:

1. Iravani S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*. 2011;13(10). doi:10.1039/c1gc15386b
2. Tran QH, Nguyen VQ, Le AT. Corrigendum: Silver nanoparticles: Synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives (*Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology* 4 (033001) DOI: 10.1088/2043-6262/4/3/033001). *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 2018;9(4). doi:10.1088/2043-6254/aad12b
3. Tran QH, Nguyen VQ, Le AT. Silver nanoparticles: Synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 2013;4(3). doi:10.1088/2043-6262/4/3/033001
4. Eker F, Duman H, Akdaşçi E, Witkowska AM, Bechelany M, Karav S. Silver Nanoparticles in Therapeutics and Beyond: A Review of Mechanism Insights and Applications. *Nanomaterials*. 2024;14(20). doi:10.3390/nano14201618
5. Jangid H, Singh S, Kashyap P, Singh A, Kumar G. Advancing biomedical applications: an in-depth analysis of silver nanoparticles in antimicrobial, anticancer, and wound healing roles. *Front Pharmacol*. 2024;15. doi:10.3389/fphar.2024.1438227
6. Valenti LE, Giacomelli CE. Stability of silver nanoparticles: agglomeration and oxidation in biological relevant conditions. *Journal of Nanoparticle Research*. 2017;19(5). doi:10.1007/s11051-017-3860-4
7. Velgosova O, Varga P, Ivánová D, Lisnichuk M, Hudá M. Effect of Storage Conditions on the Stability of Colloidal Silver Solutions Prepared by Biological and Chemical Methods. *Metals (Basel)*. 2024;14(5). doi:10.3390/met14050513
8. Xu L, Wang YY, Huang J, Chen CY, Wang ZX, Xie H. Silver nanoparticles: Synthesis, medical applications and biosafety. *Theranostics*. 2020;10(20). doi:10.7150/thno.45413
9. Duman H, Eker F, Akdaşçi E, Witkowska AM, Bechelany M, Karav S. Silver Nanoparticles: A Comprehensive Review of Synthesis Methods and Chemical and Physical Properties. *Nanomaterials*. 2024;14(18). doi:10.3390/nano14181527
10. Venkatesan J, Gupta PK, Son SE, Hur W, Seong GH. Silver-Based Hybrid Nanomaterials: Preparations, Biological, Biomedical, and Environmental Applications. *J Clust Sci*. 2023;34(1). doi:10.1007/s10876-021-02212-3
11. Sati A, Ranade TN, Mali SN, Ahmad Yasin HK, Pratap A. Silver Nanoparticles (AgNPs): Comprehensive Insights into Bio/Synthesis, Key Influencing Factors, Multifaceted Applications, and Toxicity—A 2024 Update. *ACS Omega*. 2025;10(8). doi:10.1021/acsomega.4c11045
12. Beck F, Loessl M, Baeumner AJ. Signaling strategies of silver nanoparticles in optical and electrochemical biosensors: considering their potential for the point-of-care. *Microchimica Acta*. 2023;190(3). doi:10.1007/s00604-023-05666-6
13. Loiseau A, Asila V, Boitel-Aullen G, Lam M, Salmain M, Boujday S. Silver-based plasmonic nanoparticles for and their use in biosensing. *Biosensors (Basel)*. 2019;9(2). doi:10.3390/bios9020078
14. Hak J, Sharma DK, Farooqui NA. A SYSTEMIC REVIEW ON SILVER NANOPARTICLES: CURRENT PROSPECTIVE AND QUALITY OPTIMIZATION APPROACHES AND APPLICATION. *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology*. 2022;29(04).
15. Roy A, Bulut O, Some S, Mandal AK, Yilmaz MD. Green synthesis of silver nanoparticles: Biomolecule-nanoparticle organizations targeting antimicrobial activity. *RSC Adv*. 2019;9(5). doi:10.1039/c8ra08982e
16. Rai M, Yadav A, Gade A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnol Adv*. 2009;27(1). doi:10.1016/j.biotechadv.2008.09.002
17. Lok CN, Ho CM, Chen R, et al. Silver nanoparticles: Partial oxidation and antibacterial activities. *Journal of Biological Inorganic Chemistry*. 2007;12(4). doi:10.1007/s00775-007-0208-z
18. Feng QL, Wu J, Chen GQ, Cui FZ, Kim TN, Kim JO. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *J Biomed Mater Res*. 2000;52(4). doi:10.1002/1097-4636(20001215)52:4<662::AID-JBM10>3.0.CO;2-3
19. Morones JR, Elechiguerra JL, Camacho A, et al. The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*. 2005;16(10). doi:10.1088/0957-4484/16/10/059
20. Parveen A, Rao S. Cytotoxicity and Genotoxicity of Biosynthesized Gold and Silver Nanoparticles on Human Cancer Cell Lines. *J Clust Sci*. 2015;26(3). doi:10.1007/s10876-014-0744-y
21. Foldbjerg R, Dang DA, Autrup H. Cytotoxicity and genotoxicity of silver nanoparticles in the human lung cancer cell line, A549. *Arch Toxicol*. 2011;85(7). doi:10.1007/s00204-010-0545-5
22. Habash MB, Park AJ, Vis EC, Harris RJ, Khursigara CM. Synergy of Silver nanoparticles and aztreonam against *Pseudomonas aeruginosa* PAOI Biofilms. *Antimicrob Agents Chemother*. 2014;58(10). doi:10.1128/AAC.03170-14
23. Sedighi O, Bednarke B, Sherriff H, Doiron AL. Nanoparticle-Based Strategies for Managing Biofilm Infections in Wounds: A Comprehensive Review. *ACS Omega*. 2024;9(26). doi:10.1021/acsomega.4c02343
24. Unnikrishnan G, Joy A, Megha M, Kolanthai E, Senthilkumar M. Exploration of inorganic nanoparticles for revolutionary drug delivery applications: a critical review. *Discover Nano*. 2023;18(1). doi:10.1186/s11671-023-03943-0
25. Habeeb Rahuman HB, Dhandapani R, Narayanan S, et al. Medicinal plants mediated the green synthesis of silver nanoparticles and their biomedical applications. *IET Nanobiotechnol*. 2022;16(4). doi:10.1049/nbt2.12078
26. Al-Awsi GRL, Alameri AA, Al-Dhalimy AMB, Gabr GA, Kianfar E. Application of nano-antibiotics in the diagnosis and treatment of infectious diseases. *Brazilian Journal of Biology*. 2024;84. doi:10.1590/1519-6984.264946
27. Miguel SP, Sequeira RS, Moreira AF, et al. An overview of electrospun membranes loaded with bioactive molecules for improving the wound healing process. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 2019;139. doi:10.1016/j.ejpb.2019.03.010
28. Kurul F, Turkmen H, Cetin AE, Topkaya SN. Nanomedicine: How nanomaterials are transforming drug delivery, bio-imaging, and diagnosis. *Next Nanotechnology*. 2025;7. doi:10.1016/j.nxnano.2024.100129
29. Almatroudi A. Silver nanoparticles: Synthesis, characterisation and biomedical applications. *Open Life Sci*. 2020;15(1). doi:10.1515/biol-2020-0094

Current Engineering Advances in Drug Delivery Systems Utilizing Silver Nanoparticles

Oldokh O¹, Altantogos M^{1,2}, Molomjamts B¹, Altansukh Ts^{3,4}

¹Department of Medical Chemistry, School of Biomedicine, MNUMS

²Department of Chemical and Biological engineering, School of Engineering and Technology, NUM

³Graduate school of Medical Science, MNUMS

⁴Department of Molecular Biology and Genetics, School of Biomedicine, MNUMS

E-mail: altansukh.ts@mnums.edu.mn, Ymac: +976-86891133

Abstract:

Background: Over the past decade, silver nanoparticles (AgNPs) have gained considerable attention in biomedical research due to their unique physicochemical properties and intrinsic biological activity. Their nanoscale dimensions, high surface-to-volume ratio, and tunable surface chemistry make them promising candidates for advanced drug delivery applications. AgNP-based systems provide a versatile platform for controlled and site-specific drug release, thereby enhancing therapeutic efficacy while minimizing systemic side effects. This review article summarizes the properties of zeolites enhanced with silver nanoparticles (AgNPs). Drug delivery systems incorporating AgNPs operate through both passive and active targeting mechanisms to transport therapeutic agents, including antibiotics, anti-inflammatory drugs, and anticancer compounds, to specific tissues or pathological sites. The performance of these systems is largely governed by the physicochemical characteristics of AgNPs, such as particle size, morphology, surface charge, stability, and surface functionalization. Surface modification enables improved biocompatibility, enhanced drug loading capacity, and controlled release kinetics. Furthermore, the inherent antibacterial activity of AgNPs contributes synergistically to therapeutic outcomes, particularly in the treatment of infected wounds and biofilm-associated infections.

Materials and Methods: This review article was prepared by selecting and analyzing relevant publications indexed in Scopus and Web of Science published between 2005 and 2025, focusing on characteristics of AgNPs, drug delivery systems based on zeolites modified with AgNPs and their applications.

Conclusion: Silver nanoparticle-based drug delivery systems represent an advanced and multifunctional therapeutic platform. Their capacity for targeted, sustained, and controlled drug release, combined with intrinsic antimicrobial activity, offers significant advantages over conventional delivery systems. These properties position AgNPs as promising materials for the development of next-generation biomedical and pharmaceutical applications.

Keywords: Silver, Nanoparticles, Drug delivery, Targeted delivery, Therapeutic activity