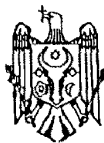




MD 1685 Z 2023.11.30

REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat  
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) **1685** (13) **Z**  
(51) Int.Cl: *A61K 33/38* (2006.01)  
*B82B 3/00* (2006.01)  
*C01G 5/00* (2006.01)  
*A61P 31/04* (2006.01)

(12) **BREVET DE INVENȚIE  
DE SCURTĂ DURATĂ**

<p>(21) Nr. depozit: s 2022 0054 (22) Data depozit: 2022.08.12</p>	<p>(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2023.04.30, BOPI nr. 4/2023</p>
<p>(71) Solicitanți: IP UNIVERSITATEA DE STAT DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE "NICOLAE TESTEMIȚANU" DIN REPUBLICA MOLDOVA, MD; AGENȚIA NAȚIONALĂ PENTRU SĂNĂTATE PUBLICĂ AL MINISTERULUI SĂNĂTĂȚII AL REPUBLICII MOLDOVA, MD</p> <p>(72) Inventatori: BURDUNIUC Olga, MD; COȘERI Sergiu, RO; MAREȘ Mihai, RO; BILIUȚA Gabriela, RO; NASTASA Valentin, RO; ILIESCU Bogdan-Ștefan, RO; BOSTĂNARU-ILIESCU Andra-Cristina, RO</p> <p>(73) Titulari: IP UNIVERSITATEA DE STAT DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE "NICOLAE TESTEMIȚANU" DIN REPUBLICA MOLDOVA, MD; AGENȚIA NAȚIONALĂ PENTRU SĂNĂTATE PUBLICĂ AL MINISTERULUI SĂNĂTĂȚII AL REPUBLICII MOLDOVA, MD</p>	

(54) **Procedeu de obținere a materialelor pe bază de nanoparticule de argint cu activitate antibacteriană**

(57) **Rezumat:**

1  
Invenția se referă la nanotehnologie și medicină, în special la un procedeu de obținere a materialelor pe bază de nanoparticule de argint, stabilizate cu derivați celulozici cu activitate antibacteriană.

Esența invenției constă în aceea că se prepară o soluție de azotat de argint cu concentrația de 0,01 M prin dizolvarea lui în apă bidistilată sau dimetilsulfoxid, de asemenea, se prepară o soluție cu concentrația

2  
de 1% de un derivat celulozic în apă bidistilată sau dimetilsulfoxid, apoi în soluția cu derivatul celulozic se adaugă soluție de azotat de argint într-un raport volumic de 4:1, care se agită continuu, timp de 2 ore, la temperatura camerei. În calitate de derivat celulozic se utilizează hidroxipropilceluloză, metilceluloză, etilceluloză sau acetat de celuloză.

Revendicări: 2

Figuri: 2

MD 1685 Z 2023.11.30

#### **(54) Process for producing materials based on silver nanoparticles with antibacterial activity**

##### **(57) Abstract:**

1  
The invention relates to nanotechnology and medicine, in particular to a process for producing materials based on silver nanoparticles stabilized with cellulose derivatives with antibacterial activity.

Summary of the invention consists in that is prepared a silver nitrate solution with a concentration of 0.01 M by dissolving it in bidistilled water or dimethyl sulfoxide, it is also prepared a solution with a concentration

2  
of 1% of a cellulose derivative in bidistilled water or dimethyl sulfoxide, then to the solution with cellulose derivative is added silver nitrate solution in a volume ratio of 4:1, which is continuously stirred for 2 hours, at room temperature. As cellulose derivative is used hydroxypropylcellulose, methylcellulose, ethylcellulose or cellulose acetate.

Claims: 2

Fig.: 2

#### **(54) Способ получения материалов на основе наночастиц серебра с антибактериальной активностью**

##### **(57) Реферат:**

1  
Изобретение относится к нанотехнологии и медицине, в частности к способу получения материалов на основе наночастиц серебра, стабилизированных производными целлюлозы с антибактериальной активностью.

Сущность изобретения состоит в том, что приготавливают раствор нитрата серебра с концентрацией 0,01 М путем его растворения в бидистиллированной воде или диметилсульфоксиде, также приготавливают раствор с концентрацией 1% производного целлюлозы в

2  
бидистиллированной воде или диметилсульфоксиде, затем в раствор с производным целлюлозы добавляют раствор нитрата серебра в объемном соотношении 4:1, которого непрерывно перемешивают в течение 2 часов, при комнатной температуре. В качестве производным целлюлозы используют гидроксипропилцеллюлозу, метилцеллюлозу, этилцеллюлозу или ацетат целлюлозы.

П. формулы: 2

Фиг.: 2

**Descriere:**

Invenția se referă la nanotehnologie și medicină, în special la un procedeu de obținere a materialelor pe bază de nanoparticule de argint, stabilizate cu derivați celulozici cu activitate antibacteriană.

La nivel mondial, rezistența la antimicrobiene (RAM) constituie o amenințare tot mai mare pentru sănătatea publică, care implică de asemenea, un impact la nivel economic. Astfel, bacteriile multirezistente (BMR) sunt implicate în infecții asociate asistenței medicale, care sunt greu de tratat și uneori impun necesitatea pentru dezvoltarea unor alternative noi de terapie.

Actualmente, la nivel mondial domeniul nanotehnologiei este abordat ca un subiect important pentru tehnologia secolului XXI. Până în prezent, numeroase studii au demonstrat că nanoparticulele de argint prezintă acțiuni antimicrobiene semnificative, în special față de infecțiile bacteriene cauzate de specii Gram (+) sau Gram (-), precum: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus mutans*, *Streptococcus sobrinus*, *Enterococcus faecalis*, *Salmonella paratyphi*, *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, etc (Fernandez C. C., Sokolonski A. R., Fonseca M. S., Stanisic D, Araújo D. B., Azevedo V., Portela R. D, & Tasic L. Applications of Silver Nanoparticles in Dentistry: Advances and Technological Innovation. International journal of molecular sciences, vol. 22(5), 2021, p. 2485. doi.org/10.3390/ijms22052485; Syed A. A., Sabya S. Das, Ayesha K., Mohammed Tahir Ansari, Mohd. Afzal, Md Saquib Hasnain, Amit Kumar Nayak. Bactericidal activity of silver nanoparticles: A mechanistic review. Materials Science for Energy Technologies, 2020, doi.org/10.1016/j.mset.2020.09.002). În același timp, s-a demonstrat că argintul este eficient față de BMR, cum ar fi *S. aureus* rezistent la meticilină (MRSA), *S. epidermidis* rezistent la meticilină (MRSE) chiar față de tulpini rezistente la vancomicină (Alt V., Bechert T., Steinrucke P., Wagener M., Seidel P., Dingeldein E. An *in vitro* assessment of the antibacterial properties and cytotoxicity of nanoparticulate silver bone cement. Biomaterials, vol. 25, 2004, p. 43834391, doi.org/10.1016/B978-O-323-42862-O.00008-O; Zheng Z., Yin W., Zara J.N., Li W., Kwak J., Mamidi R. The use of BMP2 coupled - Nanosilver-PLGA composite grafts to induce bone repair in grossly infected segmental defects, Biomaterials. 2010, Dec., vol. 31 (35), 2010, p. 9293-300. doi:10.1016/j.biomaterials.2010.08.041).

În ultimii ani, tehnicile de fabricare la scară nanometrică utilizate pentru prepararea nanoparticulelor de argint pot crește semnificativ rata de eliberare a ionilor de argint, astfel, pot extinde utilitatea lor clinică (Cortivo R., Vindigni V., Iacobellis L., Abatangelo G., Pinton P., Zavan B. Nanoscale particle therapies for wounds and ulcers. Nanomedicine (Lond.) vol. 5, 2010, p. 641656; doi.org/10.2217/nnm.10.32). De asemenea, s-a demonstrat că nanocompozitele fabricate prin încorporarea nanoparticulelor de argint în alte substanțe au proprietăți mai bune, caracteristică care le permit utilizarea în multe domenii ale științei și tehnologiilor, inclusiv în medicină.

În prezent, sunt cunoscute mai multe procedee de obținere a materialelor pe bază de nanoparticule de argint (AgNP) stabilizate. În practica medicală pentru obținerea materialelor antimicrobiene pe bază de nanoparticule de argint stabilizate se utilizează de regulă un precursor metalic, un agent de reducere și un agent de stabilizare; iar pentru generarea nanoparticulelor în soluție sunt necesare trei procese de reacție, anume reacția de reducere a ionilor metalici (a precursorului metalic), nucleația și dezvoltarea nanoparticulelor. Reacția de reducere a ionilor metalici constă în reducerea ionilor metalici la atomi liberi de metal, în prezența unui agent de reducere (Khan Z., Al-Thabaiti S.A., Obaid A.Y., Al-Youbi A.O. Preparation and characterization of silver nanoparticles by chemical reduction method, Colloids Surf B., vol. 82, 2011, p. 513-517, doi: 10.1016/j.colsurfb.2010.10.008).

S-a luat în considerare să se reducă pe cât posibil reactivii toxici, utilizați de regulă în sintezele chimice pentru a utiliza reactivi cât mai blânzi, lipsiți de toxicitate. S-a ținut cont, că polizaharidele pot înlocui cu succes compușii toxici utilizați în general în calitate de agenți de reducere și stabilizare în procesele de generare a nanoparticulelor metalice. Astfel, de-a lungul timpului au fost dezvoltate procese blânde de obținere a nanoparticulelor de argint, care utilizează drept solvent apa,  $\beta$ -D-glucozei în calitate de agent de reducere, iar amidonul drept agent de stabilizare a nanoparticulelor (Raveendran P., Fu J., Wallen S.L., Completely green synthesis and stabilization of metal nanoparticles. J. Am. Chem. Soc. vol. 125, 2003, p. 13940-13941).

În numeroase studii au fost incluse polizaharide capabile să stabilizeze nanoparticulele de argint, cum ar fi celuloza, amidonul, lentinanul, curdlanul, chitosanul, heparina, agarul, xantanul, acidul hialuronic etc. (Ifuku S., Tsuji M., Morimoto M., Saimoto Fl., Yano, H. Synthesis of silver nanoparticles templated by TEMPO-mediated oxidized bacterial cellulose nanofibers, Biomacromolecules. vol. 10, 2009, p. 2714-2717; Peng H. Yang A. Xiong J. Green microwave assisted synthesis of silver nanoparticles using bamboo hemicelluloses and glucose in an aqueous medium, Carbohydr Polym. vol.

91, 2012, p. 348-355; Yan J.K., Cai P.F., Cao, X.Q., Ma H.L., Zhang Q., Hu N.Z., Zhao Y.Z. Green synthesis of silver nanoparticles using 4-acetamidoTEMPO-oxidized Carbohydr. Polym. vol. 97, 2013, p. 391-397; Tran H.V., Tran L.D., Ba C.T., Vu H.D., Nguyen T.N., Pham D.G., Nguyen P.X. Synthesis, characterization, antibacterial and antiproliferative activities of monodisperse chitosan-based Silver nanoparticles, Colloids Surf. A Physicochem. Eng Asp. vol. 360, 2010, p. 32-40; Huang H., Yang X. Synthesis of polysaccharide-stabilized gold and silver nanoparticles: A green method, Carbohydr. Res. vol. 339, 2004, p. 2627-2631).

Este cunoscut un procedeu de obținere a materialelor pe bază de nanoparticule de argint cu utilizarea pululanului sau pululanului oxidat, care au fost drept materiale pentru obținerea de nanoparticule de argint. Atât pululanul cât și pululanul oxidat s-au dovedit a fi materiale eficiente în astfel de procese, care pot înlocui cu succes compuși toxici utilizați în general în calitate de agenți de reducere și stabilizare a nanoparticulelor de argint. Un alt aspect observat în cadrul acestui studiu a fost că nanoparticulele de argint obținute au prezentat activitate antimicrobiană [1].

Dezavantajele procedurii cunoscute constau în aceea că pululanul este o polizaharidă destul de costisitoare și puțin studiată, în același timp, disponibilitatea pululanului este incomparabil mai redusă. Un alt dezavantaj important al acestui procedeu este faptul că pentru generarea nanoparticulelor de argint s-a utilizat o concentrație mult mai mare de argint, și anume 5 mM AgNO<sub>3</sub>. Din punct de vedere microbiologic, după evaluarea activității antibacteriene a nanoparticulelor încorporate în matricea pululanului, un dezavantaj observat, a fost obținerea unui grad de inhibiție a creșterii microorganismelor *in vitro*, care nu a fost uniform față de toate izolatele testate și intervalul concentrațiilor obținute a fost destul de larg. Totodată, nanoparticulele de argint încorporate în matricea pululanului au reușit să inhibe toate izolatele la concentrații mai mari de 16 mM (concentrația de argint).

Problema pe care o rezolvă invenția constă în elaborarea unui procedeu de preparare a nanoparticulelor de argint stabilizate cu derivați ai celulozei fiind blânzi, lipsiți de toxicitate, facilitând astfel conceperea unor noi materiale cât mai prietenoase mediului înconjurător, cu activitate bactericidă față de bacterii, mult mai eficientă față de bacteriile acido-alcool-rezistente Gram (+) și Gram (-). Plecând de la aceste rezultate, următorul obiectiv urmărit în cadrul acestei aplicații a fost obținerea de nanoparticule de argint printr-o metodă uzuală, cu largă disponibilitate industrială, ieftină și eficientă, folosind drept agent de reducere și stabilizare a nanoparticulelor derivați celulozici uzuali. Pentru aplicații antibacteriene, derivații celulozei sunt destul de ofertanți, prezentând caracteristici unice precum: biodegradabilitate, biocompatibilitate, lipsa toxicității și proprietăți mecanice excelente.

Esența invenției constă în aceea că se prepară o soluție de azotat de argint cu concentrația de 0,01 M prin dizolvarea lui în apă bidistilată sau dimetilsulfoxid, de asemenea, se prepară o soluție cu concentrația de 1% de un derivat celulozic în apă bidistilată sau dimetilsulfoxid, apoi în soluția cu derivatul celulozic se adaugă soluție de azotat de argint într-un raport volumic de 4:1, care se agită continuu, timp de 2 ore, la temperatura camerei. În calitate de derivat celulozic se utilizează hidroxipropilceluloză, metilceluloză, etilceluloză sau acetat de celuloză.

Rezultatul tehnic al invenției constă în aceea că procedeuul revendicat este simplu și eficient, iar materialele obținute pe bază de nanoparticule de argint și stabilizate cu derivați ai celulozei au activitate antibacteriană de spectru larg, cu costuri scăzute de producție și fără utilizarea agenților toxici, factori fizici externi, precum temperatura, presiunea, etc. Totodată, în cadrul derivaților celulozici, concentrațiile minime inhibitorii în funcție de specia bacteriană, au fost între 4...12 ori mai mici decât cele obținute în cazul celei mai apropiate soluții. Astfel, aceste nanocompozite pot servi un suport deja demonstrat în extinderea posibilităților de remedii antimicrobiene la concentrații minime inhibitorii cât mai joase, care să prezinte în același timp, costuri reduse pentru utilizarea acestora, atât în practica medicală umană, cât și veterinară. Rezultatele obținute în cadrul acestui studiu, au demonstrat că toate cele patru tipuri de nanoparticule de argint au manifestat un efect "cid" față de izolatele clinice testate. La izolatele evaluate în acest studiu nu există o anumită valoare a concentrației minime inhibitorii (CMI) pentru AgNP-urile testate, intervalul de concentrații active variind de la 2 la 16 mM, cu o predominantă a valorilor cuprinse între 4 și 8 mM. Prin urmare, compușii testați au inhibat 29% din izolate la 2 mM Ag, 76% la 4 mM Ag, 98% la 8 mM Ag și 99% la 12 mM Ag.

Avantajul procedurii revendicate constă în utilizarea unor derivați celulozici ieftini și uzuali, acesta fiind simplu și eficient. În acest procedeu nu se utilizează agenți suplimentari, toxici, pentru reducerea și stabilizarea nanoparticulelor, nu se utilizează factori fizici externi, precum temperatura, presiunea etc. Mai mult decât atât, se reduce costul procesului în sine și timpul necesar pentru obținerea nanoparticulelor de argint. De asemenea, dacă ținem cont de preocupările asupra protejării mediului înconjurător, considerăm că utilizarea derivaților celulozici este extrem de benefică pentru astfel de aplicații biomedicale.

Prin această expunere de idei, considerăm că utilizarea derivaților celulozici reprezintă o soluție viabilă pentru dezvoltarea de noi materiale antibacteriene.

Astfel, în acest procedeu se propune o direcție nouă în domeniul medicinei și anume utilizarea nanoparticulelor de argint, obținute prin procedeul menționat, care manifestă un efect bactericid, cu valori ale CMI mult mai mici și mai uniforme comparativ cu cea mai apropiată soluție.

Metoda de obținere a nanoparticulelor de argint.

Se prepară o soluție de azotat de argint cu concentrația de 0,01 M prin dizolvarea lui în apă bidistilată sau dimetilsulfoxid, de asemenea, se prepară o soluție cu concentrația de 1% de un derivat celulozic în apă bidistilată sau dimetilsulfoxid, apoi în soluția cu derivatul celulozic se adaugă soluție de azotat de argint într-un raport volumic de 4:1, care se agită continuu, timp de 2 ore, la temperatura camerei. În calitate de derivat celulozic se utilizează hidroxipropilceluloză, metilceluloză, etilceluloză sau acetat de celuloză.

Invenția se explică prin desenele din figurile 1 și 2, care reprezintă:

- fig. 1, spectrele de absorbție UV-VIS pentru nanoparticulele de argint stabilizate cu derivați celulozici;

- fig. 2, imaginile a)STEM și b) TEM ale nanoparticulelor de argint stabilizate cu derivați celulozici.

Exemple de realizare a invenției.

Exemplul 1

Nanoparticulele de argint pe bază de metilceluloză (AgNPs-MC) au fost obținute la temperatura camerei, utilizând apă bidistilată în calitate de solvent, azotatul de argint în calitate de precursor și metilceluloza în calitate de agent de reducere a precursorului metalic și stabilizare a nanoparticulelor de argint în mediul de reacție. Astfel, pentru sinteza nanoparticulelor s-a preparat o soluție ce conține metilceluloză (MC) în apă bidistilată, în concentrație de 1%. Soluția de azotat de argint a fost preparată prin dizolvarea lui în dimetilsulfoxid (DMSO), cu obținerea unei concentrații a soluției de azotat de argint de 0,01 M. În soluția de polimer s-a adăugat 2,5 ml de soluție de  $\text{AgNO}_3$ , cu concentrația de 0,01 M, volumul final al soluției de amestec fiind de 12,5 ml. Apoi soluția a fost lăsată timp de 2 ore sub agitare continuă, la temperatura camerei, în lipsa oricărui agent suplimentar de reducere sau stabilizare. O primă indicație a formării nanoparticulelor de argint a fost modificarea culorii soluției inițiale de la incolor la maro închis.

Formarea nanoparticulelor de argint implică următoarele etape:

i) Etapa de reducere a precursorului (azotatul de argint) de către derivatul celulozic prin intermediul grupelor hidroxilice reducătoare, disponibile de-a lungul lanțului polizaharidic, care sunt responsabile de reducerea ionilor de argint ( $\text{Ag}^+$ ) la atomi liberi de argint ( $\text{Ag}^0$ ). ii) Etapa de nucleație a atomilor liberi. iii) Etapa de creștere a nanoparticulelor de argint stabilizate prin interacțiunea cu moleculele de derivat celulozic, care prin intermediul grupărilor hidroxilice formează un strat/înveliș protector la suprafața particulelor și le stabilizează (stabilizare sterică).

Exemplul 2

Nanoparticulele de argint pe bază de hidroxipropilceluloză (AgNPs-HPC) au fost obținute la temperatura camerei, utilizând apă bidistilată în calitate de solvent, azotatul de argint în calitate de precursor și hidroxipropilceluloza în calitate de agent de reducere a precursorului metalic și stabilizare a nanoparticulelor de argint în mediul de reacție. Astfel, pentru sinteza nanoparticulelor s-a preparat o soluție de hidroxipropilceluloză (HPC) în apă bidistilată, în concentrație de 1%. Soluția de azotat de argint a fost preparată prin dizolvarea lui în apă bidistilată, concentrația soluției de azotat de argint fiind de 0,01 M. În soluția de polimer s-a adăugat 2,5 ml de soluție de  $\text{AgNO}_3$  cu concentrația de 0,01 M, volumul final al soluției de amestec fiind de 12,5 ml. Apoi soluția a fost lăsată timp de 2 ore sub agitare continuă, la temperatura camerei, în lipsa oricărui agent suplimentar de reducere sau stabilizare. O primă indicație a formării nanoparticulelor de argint a fost modificarea culorii soluției inițiale de la incolor la maro deschis.

Formarea nanoparticulelor de argint implică următoarele etape:

i) Etapa de reducere a precursorului (azotatul de argint) de către derivatul celulozic prin intermediul grupelor hidroxilice reducătoare, disponibile de-a lungul lanțului polizaharidic, care sunt responsabile de reducerea ionilor de argint ( $\text{Ag}^+$ ) la atomi liberi de argint ( $\text{Ag}^0$ ). ii) Etapa de nucleație a atomilor liberi. iii) Etapa de creștere a nanoparticulelor de argint stabilizate prin interacțiunea cu moleculele de derivat celulozic, care prin intermediul grupărilor hidroxilice formează un strat/înveliș protector la suprafața particulelor și le stabilizează (stabilizare sterică).

Exemplul 3

Nanoparticulele de argint pe bază de etilceluloză (AgNPs-EC) au fost obținute la temperatura camerei, utilizând dimetilsulfoxidul (DMSO) în calitate de solvent, azotatul de argint în calitate de

precursor și etilceluloza în calitate de agent de reducere a precursorului metallic și stabilizare a nanoparticulelor de argint în mediul de reacție. Astfel, pentru sinteza nanoparticulelor s-a preparat o soluție de etilceluloză (EC) în dimetilsulfoxid, în concentrație de 1%. Soluția de azotat de argint a fost preparată prin dizolvarea lui în dimetilsulfoxid, concentrația soluției de azotat de argint fiind de 0,01 M. În soluția de polimer s-a adăugat 2,5 ml de soluție de  $\text{AgNO}_3$  în concentrație de 0,01 M, volumul final al soluției de amestec fiind de 12,5 ml. Apoi soluția a fost lăsată timp de 2 ore sub agitare continuă, la temperatura camerei, în lipsa oricărui agent suplimentar de reducere sau stabilizare. O primă indicație a formării nanoparticulelor de argint a fost modificarea culorii soluției inițiale de la incolor la galben pai.

Formarea nanoparticulelor de argint implică următoarele etape:

i) Etapa de reducere a precursorului (azotatul de argint) de către derivatul celulozic prin intermediul grupelor hidroxilice reducătoare, disponibile de-a lungul lanțului polizaharidic, care sunt responsabile de reducerea ionilor de argint ( $\text{Ag}^+$ ) la atomi liberi de argint ( $\text{Ag}^0$ ). ii) Etapa de nucleație a atomilor liberi. iii) Etapa de creștere a nanoparticulelor de argint stabilizate prin interacțiunea cu moleculele de derivat celulozic, care prin intermediul grupărilor hidroxilice formează un strat/înveliș protector la suprafața particulelor și le stabilizează (stabilizare sterică).

Exemplul 4

Nanoparticulele de argint pe bază de acetat de celuloză (AgNPs-CA) au fost obținute la temperatura camerei, utilizând dimetilsulfoxidul (DMSO) în calitate de solvent, azotatul de argint în calitate de precursor și acetatul de celuloză în calitate de agent de reducere a precursorului metallic și stabilizare a nanoparticulelor de argint în mediul de reacție. Astfel, pentru sinteza nanoparticulelor s-a preparat o soluție de acetat de celuloză (CA) în dimetilsulfoxid, în concentrație de 1%. Soluția de azotat de argint a fost preparată prin dizolvarea lui în dimetilsulfoxid, concentrația soluției de azotat de argint fiind de 0,01 M. În soluția de polimer s-a adăugat 2,5 ml de soluție de  $\text{AgNO}_3$  în concentrație de 0,01 M, volumul final al soluției de amestec fiind de 12,5 ml. Apoi soluția a fost lăsată timp de 2 ore sub agitare continuă, la temperatura camerei, în lipsa oricărui agent suplimentar de reducere sau stabilizare. O primă indicație a formării nanoparticulelor de argint a fost modificarea culorii soluției inițiale de la incolor la galben deschis.

Formarea nanoparticulelor de argint implică următoarele etape:

i) Etapa de reducere a precursorului (azotatul de argint) de către derivatul celulozic prin intermediul grupelor hidroxilice reducătoare, disponibile de-a lungul lanțului polizaharidic, care sunt responsabile de reducerea ionilor de argint ( $\text{Ag}^+$ ) la atomi liberi de argint ( $\text{Ag}^0$ ). ii) Etapa de nucleație a atomilor liberi. iii) Etapa de creștere a nanoparticulelor de argint stabilizate prin interacțiunea cu moleculele de derivat celulozic, care prin intermediul grupărilor hidroxilice formează un strat/înveliș protector la suprafața particulelor și le stabilizează (stabilizare sterică).

Caracterizarea nanoparticulelor de argint prin spectroscopia de absorbție UV - VIS.

Caracterizarea nanoparticulelor de argint s-a efectuat prin utilizarea spectroscopiei în domeniul ultraviolet și vizibil (UV-VIS), care a permis confirmarea inițială a nanoparticulelor de argint sintetizate, folosind spectrofotometrul UV-vizibil JascoV-550, la lungimea de undă de 200...600 nm.

O caracteristică esențială a nanoparticulelor de argint, este modul în care electronii liberi din banda de conducție ai argintului interacționează cu lumina, fenomen cunoscut sub denumirea de rezonanță plasmonică de suprafață (SPR), care determină apariția unei benzi de absorbție în spectrul UV-VIS. În general, nanoparticulele de argint absorb lumina în regiunea vizibilă a spectrului electromagnetic la lungimi de undă cuprinse între 380 și 450 nm, prezentând culori distincte în funcție de dimensiune, formă și mediul lor. În figura 1 sunt prezentate spectrele de absorbție UV-VIS pentru nanoparticulele de argint stabilizate cu derivați celulozici, fiecare prezentând valori SPR caracteristice în funcție de derivatul celulozic utilizat: nanoparticule de argint stabilizate cu acetatul de celuloză (AgNPs-CA - 411 nm), nanoparticule de argint stabilizate cu etilceluloză (AgNPs-EC - 382 nm), nanoparticule de argint stabilizate cu metilceluloză (AgNPs-MC - 389 nm), nanoparticule de argint stabilizate cu hidroxipropilceluloză (AgNPsHPC - 393 nm), indicând obținerea cu succes a nanoparticulelor de argint.

Totodată, a fost utilizată microscopia electronică de transmisie cu scanare (STEM) în scopul studierii morfologiei, suprafeței dimensiunilor nanoparticulelor de argint sintetizate, utilizând microscopul electronic de transmisie cu scanare Supra Zeiss cu rezoluție de 1 nm, la 30 kV cu detector Oxford EDS de 20 mm. Astfel, 10  $\mu\text{l}$  de probă a fost aplicată pe suport și uscată în condiții atmosferice înainte de analiză. A fost realizată microscopia electronică de transmisie (TEM): imaginile TEM au fost efectuate cu microscopul electronic Hitachi High-Tech HT7700 (Hitachi High-Technologies Corporation, Tokyo, Japonia), folosind câte 1  $\mu\text{l}$  de soluție de AgNPs plasată direct pe o rețea de cupru acoperită cu carbon și lăsată să se usuce înainte de analiza TEM în condiții atmosferice.

Determinarea dimensiunii nanoparticulelor a fost efectuată utilizând programul Image J.

Din imaginile STEM și TEM se observă că dimensiunea nanoparticulelor de argint depinde în mare măsură de tipul de derivat celulozic folosit în reacția de reducere a precursorului ( $\text{AgNO}_3$ ). Astfel, în cazul utilizării acetatului de celuloză în calitate de stabilizator se obțin nanoparticule de argint cu dimensiunile cele mai mici (16...19 nm), în timp ce nanoparticulele stabilizate de etilceluloză formează agregate mai mari (80...100 nm). De asemenea, din toate imaginile se poate observa că forma nanoparticulelor este sferică (figura 2a, 2b - imagini a) STEM b) TEM ale nanoparticulelor de argint stabilizate cu derivați celulozici).

Potențialul zeta ( $\xi$ ) și dimensiunea medie a particulelor au fost măsurate cu ajutorul aparatului Zeta Sizer model Nano ZS (Malvern Instruments, UK), dotat cu un laser He-Ne și utilizând metoda împrăstierii luminii în regim dinamic (DLS). Tehnica DLS s-a aplicat ca principiu de măsurare a dimensiunii particulei, difracția luminii laser (633 nm) și electroforeza laser cu efect Doppler pentru determinarea potențialului zeta.

Diametrul mediu al AgNPs determinat prin TEM a fost comparat cu diametrul determinat prin difuzia dinamică a luminii (DLS). Indicele de polidispersitate (IP) determinat prin corelarea datelor DLS prezintă valori rezonabile, variind de la 0,263 în cazul probei AgNPs-CA (nanoparticule de argint stabilizate cu acetat de celuloză), la 0,485 pentru proba AgNPs-EC (nanoparticule de argint stabilizate cu etilceluloză) indică o polidispersitate dimensională relativ îngustă. Diametrul mediu obținut în urma analizelor DLS variază în funcție de tipul de derivat celulozic folosit, de la 119,7 nm pentru AgNPs-HPC (nanoparticule de argint stabilizate cu hidroxipropilceluloză) la 491 nm pentru AgNPs-EC (nanoparticule de argint stabilizate cu etilceluloză).

Diametrul mediului determinat prin TEM și DLC, indicele de polidispersitate și valoarea potențialului zeta pentru nanoparticulele de argint stabilizate cu derivați celulozici

Tabelul 1

Tipul nanoparticulelor de argint (AgNPs)	Diametrul mediu determinat prin TEM	Diametrul mediu determinat prin DLC (d.nm)	Indice de polidispersitate (IP)	$\xi$ potențial (mV)
Nanoparticule de argint stabilizate cu acetat de celuloză (AgNPs-CA)	16-19 nm	432	0,263	-24,5
Nanoparticule de argint stabilizate cu etilceluloză (AgNPs-EC)	80-100 nm	491	0,485	-8,24
Nanoparticule de argint stabilizate cu metilceluloză (AgNPs-MC)	19-90 nm	348	0,302	-1,93
Nanoparticule de argint stabilizate cu hidroxipropilceluloză (AgNPs-HPC)	25-99 nm	119,7	0,269	-7,12

Rezultatele obținute pentru diametrul mediu prin analiza TEM diferă vizibil de cele obținute prin analiza DLS. Diferențele dintre valorile obținute prin cele două metode sunt datorate în special proceselor implicate în obținerea probelor, tehnica TEM utilizând probe în stare uscată pentru a determina dimensiunea particulelor, în timp ce metoda DLS implică măsurători ale dimensiunilor particulelor în stare hidratată a probelor. În aceste condiții considerăm că dimensiunea obținută prin analiza TEM este dimensiunea reală a nanoparticulelor, în timp ce diametrul măsurat prin metoda DLS este un diametru hidrodinamic, care pare să fie supraestimat, datorită interacțiunilor puternice dintre solvent și constituenții nanoparticulelor. De asemenea, analizând valorile potențialului zeta (tabelul 1) obținute pentru particulele de argint, se observă că toate probele prezintă valori negative ale potențialului zeta, cea mai bună stabilitate a nanoparticulelor fiind în cazul probei AgNPs-CA (nanoparticule de argint stabilizate cu acetat

de celuloză) (-24,5 mV), cea mai mică în cazul nanoparticulelor de argint stabilizate cu metilceluloză AgNPs-MC (-1,93 mV).

Valorile CMI nanoparticulelor de argint stabilizate cu derivați ai celulozei față de speciile bacteriene au fost evaluate utilizând tehnica microdiluției după standardul EUCAST E.Def. 7.3.2, modificată. Testările au fost efectuate în mediu lichid Mueller Hinton dublu concentrat, suplimentat cu glucoză de 2% și s-a utilizat un inocul de  $10^5$  UFC/godeu. S-au realizat diluții în serie pentru toți cei patru derivați de celuloză cu  $\text{AgNO}_3$  (hidroxipropilceluloză, metilceluloză, etilceluloză, acetatul de celuloză), variind de la 2 la 0,0312 mM. S-a folosit controlul de creștere al levurilor și controlul sterilității pentru a asigura fiabilitatea testărilor. Incubarea a fost efectuată la temperatura de 37°C, timp 24 de ore. CMI a fost considerată cea mai scăzută concentrație minimă inhibitorie, fără creștere vizuală a levurilor testate. Concentrația minimă bactericidă (CMB) a fost evaluată prin inocularea a 10  $\mu\text{l}$  din godeurile care nu au prezentat creștere pe plăcile cu Mueller Hinton Agar (MHA), urmat de incubare la temperatura de 37°C, timp de 24 de ore. Valoarea CMB a fost considerată cea mai scăzută concentrație, care nu a prezentat creștere sau cu mai puțin de trei colonii, în cazul subculturilor.

Valorile CMI și CMB obținute pentru derivații de celuloză cu  $\text{AgNO}_3$  față de speciile bacteriene sunt prezentate în tabelul 2.

Activitatea antibacteriană (CMI; CMB; mM) a nanoparticulelor de argint stabilizate cu derivați ai celulozei

Tabelul 2

Tupinile testate	NPAg-MC		NPAg-HPC		NPAg-CA		NPAg-EC	
	CMI	CMB	CMI	CMB	CMI	CMB	CMI	CMB
<i>E. coli</i>	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625
<i>M. smegmatis</i> S.	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
<i>aureus</i> MRSA								
<i>P. aeruginosa</i>	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625
<i>A. baumannii</i>	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
<i>K. pneumoniae</i>	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
<i>E. faecalis</i>	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625
<i>S. maltophilia</i>	0,0312	0,0625	0,0312	0,0312	0,0312	0,0625	0,0312	0,0625
	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625	0,0625

CMI = concentrația minimă inhibitorie, CMB = concentrația minimă bactericidă

Toți derivații de celuloză au prezentat un efect antibacterian ridicat, comparativ cu nanoparticulele de argint încorporate în matricea pululanului, cu valori ale CMI cuprinse între 0,0312...0,125 mM (concentrația de argint). Legat de activitatea bacteriană a principalilor derivați de celuloză cu  $\text{AgNO}_3$ , aceștea au acționat similar față de următoarele specii: *M. smegmatis*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii*, cu o valoare a CMI de 0,125 mM; în timp ce față de *E. coli*, *S. aureus* MRSA, *K. pneumoniae* și *S. maltophilia* au prezentat un grad mai mare de inhibiție cu o valoare a CMI de 0,0625 mM; în schimb, în cazul speciei *E. faecalis*, valoarea CMI a fost de 0,0312 mM.

Comparativ cu cea mai apropiată soluție, pe baza valorilor concentrației minime bactericide, toți derivații de celuloză au prezentat de data aceasta o activitate bactericidă uniformă față de toate speciile bacteriene luate în studiu.



**(56) Referințe bibliografice citate în descriere:**

1. Burduniuc O., Bostanaru A.C., Mares M., Biliuta G., Coseri S. Synthesis, Characterization, and Antifungal Activity of Silver Nanoparticles Embedded in Pullulan Matrices. *Materials (Basel)*. 2021 Nov 20, vol. 14(22), p. 7041 doi: 10.3390/ma14227041. PMID: 34832441; PMCID: PMC8622049

**(57) Revendicări:**

1. Procedeu de obținere a materialelor pe bază de nanoparticule de argint cu activitate antibacteriană, care constă în aceea că se prepară o soluție de azotat de argint cu concentrația de 0,01 M prin dizolvarea lui în apă bidistilată sau dimetilsulfoxid, de asemenea, se prepară o soluție cu concentrația de 1% de un derivat celulozic în apă bidistilată sau dimetilsulfoxid, apoi în soluția cu derivatul celulozic se adaugă soluție de azotat de argint într-un raport volumic de 4:1, care se agită continuu, timp de 2 ore, la temperatura camerei.

2. Procedeu, conform revendicării 1, în calitate de derivat celulozic se utilizează hidroxipropilceluloză, metilceluloză, etilceluloză sau acetat de celuloză.

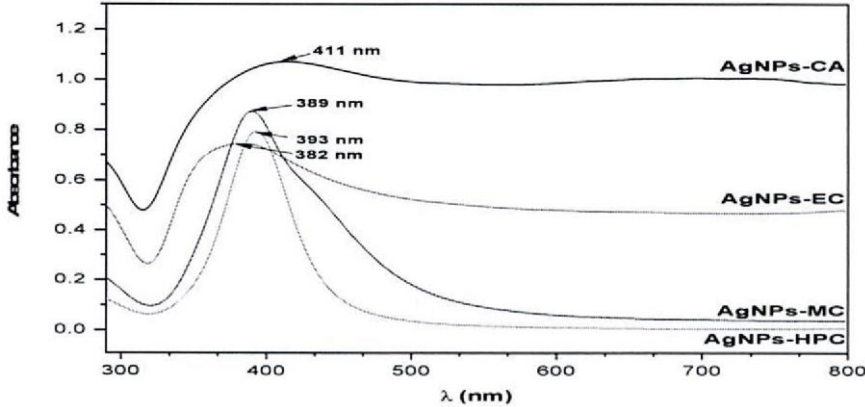


Fig. 1

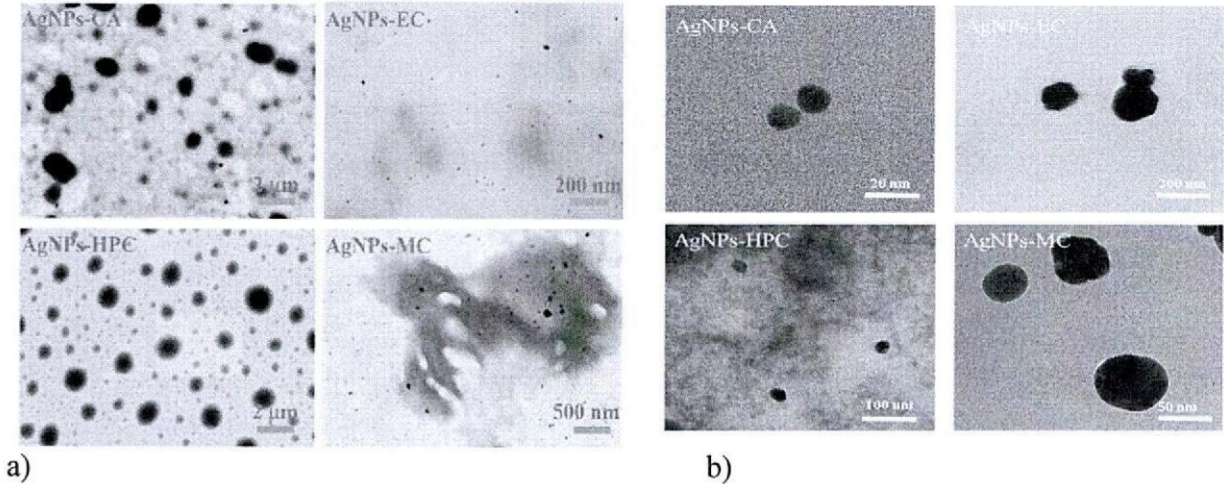


Fig. 2