

M.A., Font K., Furbols M., Sanudo C., Campo M.M., Montossi F., Nute G.R., Caneque V., 2009 – Meat Sci. 82, 331-337. 3. Dymnicka M., Łozicki A., Koziorowski M., Klupczyński J., Miciński J., Mścisz A., 2004 – J. Anim. Feed Sci. 13, Suppl. 2, 9-12. 4. Dymnicka M., Łozicki A., Krzyżewski J., Strzałkowska N., Mścisz A., d'Oreyde F., 2005 – Roczn. Nauk. Zoot. 22/2, Suppl., 513-516. 5. Dymnicka M., Więsik M., Koziorowski M., Arkuszewska E., Łozicki A., 2012 – Roczn. Nauk. PTZ 8 (2), 41-58. 6. Facino R.M., Carini M., Aldini G., Saibene L., Pietta P., Mauri P., 1995 – Planta Medica 61, 510-514. 7. Łozicki A., 2012 – Ann. Warsaw Univ. of Life Sc. – SGGW, Anim. Sci. 51, 73-79. 8. Łozicki A., Dymnicka M., 2014 – J. Anim. Feed Sci. 23, 45-51. 9. Łozicki A., Dymnicka M., Arkuszewska E., Czerwińska M., Soukup T., 2007 – Roczn. Nauk. Zoot., Suppl., 23, 81-85. 10. Łozicki A., Dymnicka M., Arkuszewska E., Pustkowiak H., 2012 – Ann. Anim. Sci. 12, 1, 81-93. 11. Łozicki A., Dymnicka M., Klupczyński J., Miciński J., Strzetelski J.,

2004 – Zesz. Nauk. AR Wrocław, Zootechnika L, 488, 289-294. 12. Nowak W., Potkański A., Zachwieja A., Szulc T., Wylegała S., Werwińska K., 2005 – Med. Weter. 61 (9), 1049-1051. 13. Pellati F., Benvenuti S., Magro L., Melegari M., Sorangi F., 2004 – J. Pharma. Biomed. Anal. 35, 289-301. 14. Razminowicz R.H., Kreuzer M., Scheeder M.R.L., 2006 – Meat Sci. 73, 351-361. 15. Reeves P.G., 1997 – J. Nutr. 127 (Suppl. 5), 838S-841S. 16. Reklewska B., Bernatowicz E., Ryniewicz Z., Pintos R.R., Zdziarski K., 2004 – Anim. Sci. Pap. Reports 22 (1), 17-25. 17. Tubaro A., Tragni E., Negro P.D., Galli C.L., Della Loggia R.D., 1987 – J. Pharm. Pharmacol. 39, 567-569. 18. Więsik M., Dymnicka M., Arkuszewska E., Łozicki A., 2010 – Feed and food additive. Alfalfa in human and animal nutrition. 4th International Conference. Studia regionalne i lokalne Polski południowo-wschodniej. Monografie (red. E.R. Grela) 6, 119-125. Stowarzyszenie Rozwoju Regionalnego i Lokalnego „Progress”.

Bioevaluation of the functional value of beef and cow milk in experiments conducted on model animals

Summary

Two experiments were conducted using rats as laboratory animals. The first experiment evaluated the nutritional and dietetic value of beef from cattle fed on pasture forage or maize silage with concentrate. As a reference for the beef, rats were given fish meat. The meats were components of semi-synthetic mixtures. The effect of the meat in the rat diets on metabolic parameters, antioxidative status, and levels of mineral components and alpha-tocopherol in the liver was determined. The second experiment evaluated the functional value of milk obtained from cows whose feed rations were supplemented with herbal extracts – *Echinacea purpurea* and Herbatan dietary feed supplement. The milk was the only component of the rats' diet. The herbal extracts were found to improve the functional value of the milk with no negative effect on the animals.

KEY WORDS: beef, milk, herbal extracts, rats



Nanocząstki – molekuły sygnałowe i transporterowe w badaniach biologicznych

Ewa Sawosz Chwalibóg, Marta Grodzik, Mateusz Wierzbicki, Anna Hotowy, Marta Kutwin, Sławomir Jaworski, Barbara Strojny, Natalia Kurantowicz

Katedra Żywnienia i Biotechnologii Zwierząt SGGW w Warszawie

Nanobiotechnologia jest nauką zajmującą się badaniami nad zastosowaniem różnych rozwiązań nanotechnologii w szerokiej biologii. Nauka ta powinna przynieść odpowiedzi na pytania, na ile skutecznie i bezpiecznie można użyć nanomateriały dla dobra człowieka oraz otaczającego go środowiska. Nanotechnologia tworzy i bada mechanizmy, procesy i molekuły w skali „NANO”, czyli na poziomie cząstek/struktur nie większych niż 100 nm.

Nanocząstki, czyli fragmenty pierwiastka lub substancji, rozdzielone do wielkości poniżej 100 nm uzyskują w ten sposób całkowicie nowe, najczęściej unikalne w porównaniu do wyjściowej makrobryły cechy. Fakt rozdrobnienia pociąga za sobą pewne skutki, które można w pewnym uproszczeniu sprowadzić do kilku najważniejszych z biologicznego punktu widzenia cech: 1) nanocząstki w porównaniu do bryły danego pierwiastka (w takiej samej ilości wagowej) zwiększają gigantycznie powierzchnię swego od-

działania; 2) nanocząstki są drobkami bryły o wartościowości (0), nie są kationami czy anionami; 3) nanocząstki mają inną w porównaniu do bryły gęstość elektronów na powierzchni (co wynika z małego stosunku masy do powierzchni właściwej), a to determinuje całkowicie inne, w porównaniu do bryły, właściwości fizyko-chemiczne.

Podjętą badania z zastosowaniem nanocząstek można więc przypuszczać, że wykażą one nieoczekiwane właściwości w kontakcie z żywym organizmem. Z jednej strony właściwości charakterystyczne dla danego pierwiastka czy związku „macierzystego”, z drugiej właściwości odmienne; spotęgowane, zahamowane lub całkowicie odmienne.

Badania prowadzone przez autorów obejmowały dwie grupy nanocząstek o bardzo przeciwstawnych właściwościach, a mianowicie nanocząstki metali szlachetnych, jak srebro, złoto, platyna – pierwiastki ksenobiotyczne dla organizmu zwierząt i ludzi oraz nanocząstki wybranych alotropowych form węgla (diamentu, grafitu, grafenu czy nanorurki i fulereny) – pierwiastka powszechnie występującego w organizmie żywym.

Antymikrobiologiczne właściwości nanocząstek

Wszystkie badane przez autorów nanocząstki wykazywały właściwości hamowania rozwoju drobnoustrojów, jednak na różnym poziomie ich stosowania, jak również wykazując inny mechanizm działania.

Najsilniejsze właściwości antymikrobiologiczne cechują nanocząstki Ag. W badaniach nad przeciwwirusowym działaniem nanocząstek srebra stwierdzono silne właściwości hamujące rozwój wirusa herpes simplex, co może mieć zastosowanie w terapii [8]. Wykazano również hamujący efekt nanocząstek srebra w stosunku do różnych mikroorganizmów (w tym: *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans*), który w badaniach *in vitro* został okre-

ślony na poziomie około 10-15 ppm [2, 11]. Jednak zastosowanie tych samych nanocząstek Ag w wodzie pitnej dla przepiórek i drobiu nie wpłynęło hamująco na liczebność większości bakterii przewodu pokarmowego, obserwowano natomiast zwiększenie liczby bakterii kwasu mlekowego [10]. Mechanizm ten tłumaczą kolejne badania, w których wizualizowano w mikroskopie optycznym i konfokalnym biointerakcję pomiędzy nanocząstkami i bakteriami [2, 11]. Cząstki wszystkich badanych pierwiastków poprzez rozdrobnienie do skali nano uzyskiwały olbrzymią powierzchnię oddziaływania, dzięki czemu otaczały (a niektóre penetrowały) mikroorganizmy, prowadząc do ich śmierci, jakkolwiek różne nanocząstki wykazywały różną skuteczność działania i różne mechanizmy interakcji z komórkami. Nanocząstki platyny charakteryzowały się wybitnym powinowactwem do DNA, koncentrując się w okolicy genoforu, nanocząstki złota lokowały się chętnie w okolicach fimbrii, nanocząstki srebra ulegały głównie adhezji do powierzchni ściany komórkowej. Nanocząstki Ag w sposób specyficzny ulegały związaniu z osłoną *S. enteritidis* (G-), prawdopodobnie wykazując powinowactwo do β -domeny głównych białek transbłonowych, odpowiedzialnych za transport hydrofilnych molekuł, zaburzając w ten sposób ich funkcję. Nanocząstki Ag w interakcji z *L. monocytogenes* (G+) niespecyficjnie pokrywały całkowicie ścianę bakterii, być może wiążąc kwasy tejchojowe, których zawartość charakterystyczna jest właśnie dla bakterii G+.

W żywym organizmie efekt „otoczenia” pojedynczej komórki nie jest możliwy, stąd też badania *in vitro* nie odzwierciedlały badań *in vivo*. Zastosowanie nanocząstek metali szlachetnych nie wpływało na zmniejszenie liczby bakterii. Zwiększenie natomiast liczby bakterii kwasu mlekowego, co obserwowano w doświadczeniach i praktycznych obserwacjach, mogło być skutkiem modyfikacji środowiska przewodu pokarmowego. Otóż unikalna konstrukcja komórki elementarnej kryształu Ag (sześcian posiadający 4 atomy Ag) pozwala na adsorpcję tlenu, który może być uwalniany do środowiska. Bakterie kwasu mlekowego, jako względnie beztlenowe, mogły korzystnie reagować na takie nieznaczne „dotlenienie”. Niemniej jednak proces ten nie jest w pełni wyjaśniony. Obserwacje prowadzone przez kilka lat na przemysłowych fermach drobiu, gdzie stosowano dodatki nanocząstek Ag do wody pitnej na poziomie 1 ppm, wykazały istotnie mniejszą zachorowalność kurcząt i większe przyrosty masy ciała.

Toksyczność nanocząstek

W kolejnych badaniach prowadzonych na liniach komórkowych, modelu zarodka kury oraz kurczętach brojlerach badano potencjalną toksyczność nanocząstek oraz ich wpływ na wzrost, rozwój i stan zdrowia.

W badaniach *in vitro* stwierdzono toksyczny wpływ nanocząstek Ag na komórki keratynocytów, obserwując nasilony stan apoptozy, natomiast w eksperymentach na monocytach stwierdzono nasilenie nekrozy [9]. Jednak organizm wykazuje znacznie większą tolerancję na podawanie nanocząstek. Stwierdzono, że zastosowanie nanocząstek srebra, złota, miedzi i palladu na poziomie <100 ppm, podawanych do albuminy lub komory powietrznej jaja, nie wpłynęło negatywnie na wzrost i rozwój oraz stan zdrowia ptaków. Co więcej, stwierdzono, że nanocząstki srebra stymulowały odpowiedź immunologiczną poprzez zwiększenie poziomu IgG u zarodków kury [3]. Ponadto wykazywały właściwości przeciwwzapalne, zmniejszając syntezę czynnika stanu zapalnego NF- κ B, indukowanego podawaniem LPS u kurcząt, a podawanie w wodzie pitnej nawet 25 ppm nanocząstek Ag nie wpłynęło negatywnie na stan zdrowia przepiórek, a także morfologię enterocytów ptaków [10].

Interesujące wyniki uzyskano w badaniach nad nanocząstkami złota. Podawanie koloidu nanocząstek złota wpłynęło ochronnie na DNA, poprzez zmniejszenie powstających adduktów 8-oxo-deoxy-guaniny [17].

Nanocząstki węgla są bardziej przyjaznymi strukturami dla organizmu żywego. Nanopłatki grafenu i tlenku grafenu, a także

nanocząstki grafitu i diamentu nie wykazywały negatywnego wpływu na wzrost, rozwój i stan zdrowia modelowego organizmu zarodka kury na poziomie <500 ppm. Aby jednak wnikliwie zbadać potencjalną szkodliwość nanocząstek, badano ekspresję wybranych genów na poziomie mRNA oraz białka, stosując metody: RT-PCR, mikromacierzy transkrypcyjnych, Elisa, Western Blott i mikroskopii konfokalnej (immunofluorescencji). Stosowanie nanocząstek metali (Ag, Au) wpływało na zwiększenie ekspresji mRNA i białka indukujących angiogenezę (VEGF – czynnik wzrostu śródbłonna naczyńowego), proliferację komórek (FGF – czynnik wzrostu fibroblastów), miogenezę (MYOD1) i syntezę ATP (ATP1A1), natomiast nanocząstki węgla, a zwłaszcza diamentu, wykazywały raczej przeciwstawne tendencje [6, 12].

Obserwując transport nanocząstek w organizmie zwierząt modelowych stwierdzono, poprzez wizualizację za pomocą mikroskopu elektronowego (TEM), że zarówno nanocząstki metali, jak również węgla, a nawet nanopłatki grafenu są transportowane poprzez błony komórkowe do wnętrza komórki. Nanocząstki mniejsze niż 10 nm penetrowały błony komórkowe łatwiej i szybciej [16]. Co więcej, różne nanocząstki transportowane były do komórki różnymi formami transportu, nanocząstki diamentu poprzez mechanizm kaweolozależny, inne nanocząstki poprzez mechanizmy klatrynozależne, większość jednak procesów przemieszczania się nanocząstek w organizmie jest nieznanych, prawdopodobnie zależą one od rodzaju komórek i nanocząstek [13].

Nanocząstki jako nośniki substancji aktywnych

Wykorzystując zdolność nanocząstek do łatwej penetracji komórek oraz ich odporność na rozkład, jakiemu podlegają związki organiczne podawane do organizmu, zastosowano nanocząstki Ag i Au oraz węgla jako platformy przenoszącej określone substancje odżywczo-funkcjonalne (tzw. drug delivery system).

Jako najbardziej korzystne wytypowano nanocząstki Ag, Au oraz diamentu, grafitu i grafenu. Wyniki wieloletnich doświadczeń wykazały, że nanocząstki sprzężone z określonymi molekułami organicznymi mogą docelowo być przENOŚNIKAMI „dostarczycielami” określonych związków do matrix zewnątrzkomórkowego, do komórki, mitochondrium, jądra komórkowego, zaopatrując określone struktury w niedoborowe związki odżywcze, funkcjonalne czy terapeutyczne.

Stwierdzono, że podawanie nanocząstek Au połączonych z siarczanem heparanu (poprzez iniekcję do jaja kury w 1. dniu inkubacji) wpłynęło na dwukrotne zwiększenie liczby jąder w tkance mięśnia piersiowego, natomiast nanocząstki Au sprzężone z tauryną były przyczyną zwiększenia powierzchni włókien w mięśniu piersiowym zarodka kury w 20. dniu inkubacji. Zatem suplementacja rozwijającego się zarodka kury metodą *in ovo* z zastosowaniem nanocząstek złota, w ilości 300 μ koloidu o koncentracji 50 ppm Au, skoniugowanych z związkami wspomagającymi interakcję pomiędzy komórkami może wpływać na polepszenie struktury mięśni piersiowych i ich masy [16].

Nanocząstki Ag zastosowane jako nośniki hydroksyproliny, podawane do jaja w 1. dniu inkubacji zarodka kury wpłynęły na zwiększenie grubości włókien kolagenowych w naczyniach krwionośnych oraz rozwój nowych naczyń, co może mieć zastosowanie nie tylko w stymulacji rozwoju układu krwionośnego zarodka kury, lecz również w chorobach naczyńowo-sercowych u ludzi. Nanocząstki Ag mogą być również efektywnym nośnikiem dla aminokwasów lub ATP, które podawane metodą *in ovo* stymulowały rozwój i dojrzewanie włókien mięśniowych poprzez aktywację PCNA i zwiększenie powierzchni włókien mięśnia piersiowego. Obserwowany mechanizm był związany ze zwiększeniem tempa metabolizmu, określonego poprzez pomiar pobrania tlenu [1].

Nanocząstki diamentu również mogą mieć zastosowanie jako drug delivery system, połączone bowiem z L-glutaminą znacząco zwiększają mRNA FGF2 oraz tempo metabolizmu w pierwszym okresie rozwoju zarodkowego kury. Płatki grafenu (pojedynczej

warstwy atomów C uzyskanej poprzez defoliację grafitu) również były doskonałym nośnikiem dla aminokwasów, kwasów nukleinowych oraz innych cząstek metali, a ich zastosowanie jest obecnie przedmiotem badań prowadzonych przez autorów.

Nanocząstki w badaniach nad angiogenezą

Angiogeneza jest to proces formowania nowych naczyń krwionośnych, zachodzi zarówno w warunkach fizjologicznych (np. rozwój zarodkowy), jak i patofizjologicznych (np. wzrost guzów nowotworowych). Badania autorów wykazały, że nanocząstki węgla posiadają charakter antyangiogeny. W badaniach na zarodku kury udowodniono, że nanocząstki diamentu oraz grafitu zmniejszają masę serca oraz sieć jego naczyń krwionośnych, nie wpływając jednocześnie na masę pozostałych narządów oraz całego organizmu. Dodatkowo nanocząstki diamentu i grafitu hamują ekspresję czynników aktywujących angiogenezę VEGF oraz FGF2 na poziomie mRNA i białka w sercu zarodka kury [14]. Antyangiogeny potencjał nanocząstek węgla jest różny w zależności od wielkości cząstek, konfiguracji atomów, wielkości powierzchni reaktywnej, funkcjonalizacji powierzchni oraz ładunku na powierzchni. Z przeprowadzonych testów na uznanym modelu do badań angiogenezy, jakim jest błona kosmówkowo-omocznioowa zarodka kury wynika, że najsilniej angiogenezę hamują nanocząstki diamentu oraz wielościenne nanorurki węglowe, następnie w szeregu miejsce zajmują nanocząstki grafitu oraz płatki grafenu. Fulllery C60 są wyjątkiem wśród nanocząstek węgla, gdyż wykazują efekt przeciwny do wymienionych nanocząstek – aktywują proces angiogenezy [15]. Podobny wynik został zaobserwowany w badaniach nad nanocząstkami srebra. Zwiększają one ekspresję czynników VEGF i FGF2 na poziomie mRNA w mięśniach zarodka kury po podaniu 1. dnia inkubacji jaj do komory powietrznej [12]. Nanocząstki mogą więc mieć zastosowanie w medycynie przy normowaniu procesów związanych z rozwojem naczyń krwionośnych. W zależności od potrzeb można wykorzystać nanocząstki o charakterze pro- lub antyangiogenym.

Nanocząstki jako czynniki antynowotworowe

Silny potencjał antyangiogeny nanocząstek diamentu zainspirował autorów do podjęcia prac badawczych nad oceną antynowotworowego charakteru nanocząstek. Wszystkie badania zostały przeprowadzone na dwóch liniach glejaka wielopostaciowego U87 oraz U118 hodowanych *in vitro* oraz *in ovo* (na błonie kosmówkowo-omoczniowej zarodka kury). Linie te, pomimo faktu, że zostały zaklasyfikowane do komórek o cechach *glioblastoma multiforme*, w sposób znaczący różnią się genotypem i fenotypem [7]. Nanocząstki diamentu w stężeniach do 50 ppm w badaniach *in vitro* na liniach U87 i U118 wykazały brak cytotoksyczności w stosunku do komórek glejaka. Aczkolwiek jednak, w badaniach na tych samych komórkach, ale hodowanych na błonie CAM zarodka kury i przy stężeniu nanodiamentu 500 ppm hamo-

wały angiogenezę w wyindukowanym guzie, ekspresję genów VEGF i FGF2 oraz masę i objętość guza [5]. Analiza ultrastruktury guzów poddanych działaniu nanocząstek diamentu w elektronowym mikroskopie transmisyjnym ukazała zmiany wewnątrzkomórkowe, świadczące o zachodzeniu procesów śmierci komórki, zwłaszcza na drodze autofagii [4]. Płatki grafenowe w stężeniu 50 ppm są cytotoksyczne dla komórek glejaka hodowanych *in vitro* – aktywują śmierć komórkową. Znamienne jest, że w zależności od zestawu genów w komórkach nowotworowych śmierć ta może zachodzić na drodze apoptozy (linia U118) lub nekrozy (linia U87).

Podsumowując, nanocząstki węgla oraz metali szlachetnych mają ogromny potencjał bioaplikacyjny. Stosunkowo niska toksyczność, względna biokompatybilność oraz selektywność oddziaływania nanocząstek w połączeniu z niezwykłymi właściwościami biologicznymi pozwalają na ich wykorzystanie w produkcji zwierzęcej, a także w bioinżynierii i medycynie.

Literatura: 1. Beck I., 2013 – Wpływ nanocząstek srebra i hydroksyproliny, podawanych *in ovo*, na rozwój tkanki łącznej zarodka kury. Rozprawa doktorska. 2. Chwalibog A., Sawosz E., Hotowy A., Szeliga J., Mitura S., Mitura K., Grodzik M., Orłowski P., Sokolowska A., 2010 – Int. J. Nanomedicine 5, 1085-1094. 3. Grodzik M., 2008 – Wpływ nanocząstek srebra na stan odporności, ze szczególnym uwzględnieniem torby Fabrycjusza, w badaniach na zarodkach kury. Rozprawa doktorska. 4. Grodzik M., 2013 – Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Anim. Sci. 52, 29-35. 5. Grodzik M., Sawosz E., Wierzbicki M., Orłowski P., Hotowy A., Niemiec T., Szmidi M., Mitura K., Chwalibog A., 2011 – Int. J. Nanomedicine 6, 3041-3048. 6. Grodzik M., Sawosz F., Sawosz E., Hotowy A., Wierzbicki M., Kutwin M., Jaworski S., Chwalibog A., 2013 – Int. J. Mol. Sci. 11, 23033-23044. 7. Jaworski S., Sawosz E., Grodzik M., Kutwin M., Wierzbicki M., Włodyga K., Jasik A., Reichart M., Chwalibog A., 2013 – Bull. Vet. Inst. Pulawy 57, 593-598. 8. Orłowski P., Krzyżowska M., Sawosz E., 2010 – Mat. konf. XXXIX Sesja Naukowa Komisji Żywności Zwierząt PAN, 26-28. maja 2010. Rynia. 9. Orłowski P., Krzyżowska M., Winnicka A., Chwalibog A., Sawosz E., 2012 – Central-Europ. J. Immun. 2, 123-130. 10. Sawosz E., Binek M., Grodzik M., Zielińska M., Sysa P., Szmidi M., Niemiec T., Chwalibog A., 2007 – Arch. Anim. Nutr. 6, 444-451. 11. Sawosz E., Chwalibog A., Mitura K., Mitura S., Szeliga J., Niemiec T., Rupiewicz M., Grodzik M., Sokolowska A., 2011 – J. Nanosci. Nanotechnol. 11, 7635-7641. 12. Sawosz F., Pineda L., Hotowy A., Jaworski S., Prasek M., Sawosz E., Chwalibog A., 2013 – Arch. Anim. Nutr. 5, 347-355. 13. Wierzbicki M., Sawosz E., Grodzik M., 2012 – Ann. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Anim. Sci. 51, 133-138. 14. Wierzbicki M., Sawosz E., Grodzik M., Hotowy A., Prasek M., Jaworski S., Sawosz F., Chwalibog A., 2013 – Int. J. Nanomedicine 8, 3427-3435. 15. Wierzbicki M., Sawosz E., Grodzik M., Prasek M., Jaworski S., Chwalibog A., 2013 – Nanoscale Res. Lett. 8, 195-199. 16. Zielińska M., Sawosz E., Grodzik M., Wierzbicki M., Gromadka M., Hotowy A., Sawosz F., Lozicki A., Chwalibog A., 2011 – Int. J. Nanomedicine 6, 3163-3172. 17. Zielińska M., 2012 – Wpływ nanocząstek złota i wybranych biokompleksów podawanych *in ovo* na wzrost i rozwój zarodka kury *Gallus domesticus*. Rozprawa doktorska, SGGW Warszawa.

Nanoparticles – functional and drug delivery molecules in biological investigations

Summary

The objective of the study was to investigate the use of nanoparticles of metals and nanostructures of carbon allotropes as therapeutic and health-promoting agents. It was demonstrated that nanoparticles of silver, copper and platinum, as well as graphene nanoflakes, are toxic to *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes* bacteria, among other microorganisms. In experiments with chicken embryos treated *in ovo* with molecules of silver, gold and diamond nanoparticles with attached amino acids and glycosaminoglycans, enhanced muscle growth and improved morphological structure were observed. Further experiments carried out with glioblastoma cancer cells cultured *in ovo* demonstrated that nanodiamond had antiangiogenic and anticancer properties. Furthermore, graphene inhibited growth rate and increased apoptosis in glioblastoma cells and caused regression of glioblastoma multiforme. The study demonstrated unique pro-healthy properties of nanoparticles depending on their type and method of application.

KEY WORDS: nanoparticles, bacteria, chicken embryo, angiogenesis, cancer