

MARCIN BANACH\*, LESZEK TYMCZYNA\*\*,  
ANNA CHMIELOWIEC-KORZENIOWSKA\*, AGNIESZKA MAKARA\*,  
JOLANTA PULIT\*, PAWEŁ STAROŃ\*

## MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA NANOZWIĄZKÓW SREBRA DO DEZYNFEKCJI APARATÓW WYLEGOWYCH

### NANOSILVER COMPOUNDS APPLIED TO DESINFECTATION OF HATCHERS

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania preparatów nanosrebra jako środków dezynfekujących w technologii inkubacji zarodków kurzych i hodowli drobiu.

*Słowa kluczowe: nanosrebro, dezynfekcja, aparaty wylęgowe*

#### Abstract

The paper relates the use of nanosilver disinfectants agents in the technology of the incubation of chicken foetuses and poultry farming.

*Keywords: nanosilver, disinfection, hatchers*

\* Dr inż. Marcin Banach, mgr inż. Agnieszka Makara, mgr inż. Jolanta Pulit, mgr inż. Paweł Staroń, Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska.

\*\* Prof. dr hab. Leszek Tymczyna, dr inż. Anna Chmielowiec-Korzeniowska, Katedra Higieny Zwierząt i Środowiska, Wydział Biologii i Hodowli Zwierząt, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie.

## 1. Wstęp

Hodowla drobiu (i powiązane z nią procesy wylęgu piskląt), która opiera swoją technologię produkcji na materiale biologicznym, jest potencjalnym źródłem zanieczyszczeń mikrobiologicznych, w tym mikroorganizmów i ich toksyn. Czynniki te występują jako składnik bioaerozoli, zwłaszcza pyłów organicznych. Odprowadzane są systemem wentylacyjnym na zewnątrz, gdzie utrzymują się na wysokim poziomie do jednego kilometra od źródła emisji. Wiele chorób drobiu, między innymi infekcje dróg oddechowych, przenoszone są drogą powietrzną na znaczne odległości, docierając do miejsc oddalonych nawet trzy kilometry od miejsca powstawania [1–8].

Zgodnie z obowiązującymi standardami produkcji, w większości zakładów przemysłu spożywczego wprowadzono obowiązkową kontrolę jakości mikrobiologicznej powietrza i powierzchni produkcyjnych, a tym samym obowiązek zapewnienia ich mikrobiologicznej czystości. Ważnym zadaniem jest dezynfekcja. W zakładach wylęgowych powszechnie stosuje się formaldehyd z uwagi na niskie koszty zakupu i skuteczne biobójcze działanie, natomiast małą wagę przywiązuje się do toksycznych i karcinogennych efektów jego stosowania. Alternatywą dla tych dezynfektantów mogą być cząsteczki nanosrebra, które według danych literaturowych wykazują dobre właściwości biobójcze i są neutralne dla środowiska naturalnego [9, 10].

Nanometryczne cząsteczki srebra wykazują właściwości znacznie odbiegające od właściwości pojedynczych atomów oraz kryształów srebra. Jest to wynik wymiarów struktury. Wyniki badań prezentowane w literaturze przedmiotu pokazują, że skuteczność antybakteryjna nanosrebra wzrasta wraz ze zmniejszeniem rozmiarów jego cząstek. Skuteczność niszczenia bakterii i grzybów przez nanosrebro w dużej mierze zależy również od kształtu cząstek. Dzięki wysokiej aktywności biochemicznej wobec bakterii i grzybów oraz nieszkodliwości dla człowieka, zwierząt i środowiska naturalnego nanosrebro stosowane może być jako uniwersalny środek bakterio- i grzybobójczy [11]. Cząsteczki te charakteryzują się również silnymi właściwościami utleniającymi, dlatego proponowane preparaty mogą okazać się skutecznym środkiem wykorzystywanym do neutralizacji zanieczyszczeń gazowych powstających w procesie inkubacji, a tym samym obniżenia emisji szkodliwych gazów z tego typu obiektów. Możliwe będzie w ten sposób uzyskanie efektu zapobiegania powstawania odorów u źródła ich wytwarzania.

## 2. Hodowla drobiu – zagrożenia

Badania Skórskiej [12] prowadzone jeszcze w latach 90. XX w. w zakładach drobiarskich wykazały wysokie poziomy zanieczyszczeń w hali wylęgowej. Średnia zawartość mikroorganizmów w powietrzu przekraczała 37 tys. cfu/m<sup>3</sup>, wzrastając podczas wyjmowania piskląt do 310 tys. cfu/m<sup>3</sup>. Obecnie nowoczesne technologie wprowadzane w zakładach modernizowanych zgodnie z wymogami Unii Europejskiej nie eliminują zupełnie biologicznego skażenia powietrza. W badaniach Tymczyny i wsp. [1–6] wykazano w powietrzu hali wylęgowej średnią koncentrację bakterii na poziomie 4 tys. cfu/m<sup>3</sup>. W bioaerozolu hali stwierdzono stosunkowo wysoki udział (16%) bakterii Gram-ujemnych, wśród nich zidentyfikowano bakterie z rodzaju

*Acinetobacter*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Leclercia*, *Sphingomonas*, *Xantomonas* oraz *Agrobacterium* i *Pantoea*.

Bakterie z rodzaju *Acinetobacter* są częstym składnikiem mikroflory powietrza w obiektach hodowlanych. Bardzo często występują jako dominująca mikroflora w pomieszczeniach, w których przebywa drób, w chlewniach, zakładach przerabiających surowce zwierzęce i roślinne. Są również szeroko rozpowszechnione w glebie i wodzie. Stanowią składnik bakteryjnej mikroflory skóry ludzi (głównie *A. johnsonii*, *A. lwoffii*, *A. radioresistens*). Rzadziej bakterie te kolonizują przewód pokarmowy i jamę nosowo-gardłową. Bakterie z rodzaju *Acinetobacter* najczęściej wywołują zapalenie płuc, posocznice, zakażenia dróg moczowych, zakażenia skóry i ran. W wylęgarniach piskląt pałeczki Gram-ujemne gatunku *Acinetobacter calcoaceticus* stanowią około 40% wszystkich szczepów i są jednym z najważniejszych źródeł endotoksyn w powietrzu. Źródłem znajdujących się w powietrzu endotoksyn są również *Alcaligenes faecalis*, *Erwinia herbicola*, *Enterobacter spp.*, *Pseudomonas spp.* W pewnych okolicznościach do powietrza mogą przenikać niektóre gatunki bakterii Gram-ujemnych wywołujących choroby zakaźne: *Klebsiella pneumoniae* wywołująca zapalenie płuc lub pałeczki z rodzaju *Salmonella* będące przyczyną salmonelloz [1–8].

Innym drobnoustrojem, który również stwierdzano w wylęgarniach piskląt, jest *Alcaligenes faecalis*. Bakteria ta szeroko rozpowszechniona w przyrodzie, głównie w wodzie, glebie, występuje również w jelitach zwierząt. Wykazuje właściwości endotoksyczne i alergizujące. Duże stężenia *Alcaligenes faecalis* stwierdzono w zapyłonych pomieszczeniach zakładów zielarskich, młynach i chlewniach, gdzie była głównym źródłem endotoksyn [1–8].

Na szczególną uwagę zasługują bakterie Gram-ujemne z gatunku *Erwinia herbicola* (synonim: *Pantoea agglomerans*, *Enterobacter agglomerans*), będące źródłem silnych alergenów i endotoksyn. Bakterie z rodzaju *Pantoea* stanowią najliczniejszą Gram-ujemną mikroflorę w aerogennym kurzu pochodzenia roślinnego. Pałeczki Gram-ujemne *Alcaligenes faecalis* i *Erwinia herbicola* ze względu na zdolność swoistej i nieswoistej aktywacji układu odpornościowego, mogą wywoływać stany zapalne w płucach i być przyczyną chorób układu oddechowego (*Organic dust toxic syndrome*) [1–8].

Bakterie z rodzaju *Pseudomonas* są również częstym składnikiem pyłów organicznych i źródłem chorobotwórczych endotoksyn. Różne gatunki z tego rodzaju stwierdzono w pyłach powstających przy obróbce materiału roślinnego głównie w tartakach, jak również w pomieszczeniach inwentarskich [1–8].

Znaczna większość mikroflory saprofitycznej i patogennej wytwarzającej endotoksyny występuje w przewodzie pokarmowym ssaków. Nieliczne gatunki zasiedlają układ oddechowy bądź rozrodczy. Wśród bakterii mających w swojej budowie lipopolisacharyd należy wymienić liczną rodzinę *Enterobacteriaceae* [1–8].

Najbardziej znaną i rozpowszechnioną bakterią bytującą w makroorganizmach zdrowych jest pałeczka okrężnicy *Escherichia coli*. Lipopolisacharyd *E. coli* uznaje się jako czynnik chorobotwórczy choroby obrzękowej świń, która występuje najczęściej u prosiąt w wieku odsadzeniowym. Wówczas wskutek stresu, zmiany karmy lub błędów żywieniowych dochodzi do nadmiernego namnażania bakterii w przewodzie pokarmowym, a następnie w układzie krwionośnym. Intensywne uwalnianie endotoksyn do krwiobiegu powoduje wystąpienie szoku anafilaktycznego stanowiącego istotę choroby. Pałeczki okrężnicy mają również znaczenie w wydzielaniu endotoksyn do środowiska. Duża ilość *E. coli* w kale zwierząt może

wskazywać na znaczne narażenie na endotoksyny tej bakterii w pomieszczeniach hodowli zwierząt lub miejscach składowania odchodów [1–8].

Pałeczki *Salmonella* należą do rodziny *Enterobacteriaceae*, są ruchliwe i bardzo ruchliwe. Zakażenie zwierząt pałeczkami *Salmonella* ogranicza się najczęściej do przewodu pokarmowego i przybiera postać zapalenia jelit [1–8].

W badaniach Stępień-Pyśniak i wsp. [13] wśród najczęściej izolowanych bakterii z rodziny *Enterobacteriaceae* identyfikowano *Escherichia coli*, *Enterobacter spp.*, *Klebsiella spp.* i *Citrobacter freundii*. Na powierzchni skorup stwierdzono również obecność pałeczek *Salmonella*, tj. *S. enteritidis* oraz *S. arizone*. Analiza jakościowa mikroflory bakteryjnej jaj wykazała również obecność innych bakterii Gram-ujemnych, wśród których stwierdzono: *Acinetobacter spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Tatumella pyseos*, *Providencia stuartii*, *Serratia liquefaciens*, *Flavimonas oryzihabitans*, *Vibrio metschnikovii*, *Leclercia adecarboxylata*, *Kluyvera spp.*, *Rahnella aquatilis*, *Proteus mirabilis*, *Achromobacter spp.* Wykazano ponadto, że duży odsetek badanych skorup zanieczyszczony był bakteriami z rodzaju *Staphylococcus spp.* Z powierzchni skorup jaj oprócz gronkowców często izolowano także *Enterococcus spp.* oraz laseczki z rodzaju *Bacillus*. Zanieczyszczenie mikrobiologiczne skorup może być przyczyną kontaminacji produktów jajowych lub produktów z dodatkiem jaj, a w konsekwencji prowadzić do wystąpienia intoksykacji czy zakażeń pokarmowych ludzi. Wynika to w głównej mierze z nieprzestrzegania standardów higienicznych. Stąd czystość mikrobiologiczna skorupy jaj stanowi jedno z głównych kryteriów oceny wartości tego surowca w handlu i przetwórstwie [13,14].

### 3. Dezynfekcja

Zgodnie z obowiązującymi standardami produkcji w większości zakładów przemysłu spożywczego, w tym przemysłu jajczarsko-drobiarskiego, wprowadzono obowiązkową kontrolę jakości mikrobiologicznej i chemicznej powietrza oraz powierzchni produkcyjnych, a tym samym obowiązek zapewnienia właściwej czystości. Wprowadzony w przemyśle spożywczym system określania krytycznych punktów kontroli produkcji na podstawie analizy zagrożeń (HACCP – ang. *Hazard Analysis Critical Control Points*) zapewnia bezpieczeństwo mikrobiologiczne produktu oraz skuteczną jego ochronę przed reinfekcją. Metoda ta umożliwia zlokalizowanie miejsc i źródeł ryzyka wystąpienia zagrożeń biologicznych, fizycznych i chemicznych na poszczególnych etapach wytwarzania, a także umożliwia wyznaczenie krytycznych punktów kontrolnych, w których te zagrożenia mogą być kontrolowane, monitorowane oraz likwidowane (względnie minimalizowane). W zakładach wylęgu piskląt takim punktem krytycznym są aparaty wylęgowe, w których warunki termiczno-wilgotnościowe oraz obecność materiału biologicznego stwarza istotne zagrożenie mikrobiologiczne. W wyniku intensywnych przemian dochodzi do gromadzenia wewnątrz inkubatorów szerokiej gamy związków gazowych, uwalnianych przez mikropory skorupy zarodków w wyniku przemian mikrobiologicznych na powierzchni, a także pochodzących ze środków odkażających. W miejscach tych nie bez powodu kładzie się ogromny nacisk na utrzymanie czystości mikrobiologicznej osiąganey tylko dzięki odpowiednio prowadzonej dezynfekcji aparatów i zarodków kurzych. Związki dezynfekcyjne, w tym powszechnie stosowany formaldehyd charakteryzują się dobrymi właściwościami biobójczymi, jednak ze względu na toksyczny

charakter stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia pracowników tych zakładów, a także czystości środowiska naturalnego [1–8]. Alternatywą dla tych dezynfektantów mogą być nanocząstki srebra, które według danych literaturowych wykazują dobre właściwości biobójcze i są neutralne dla środowiska naturalnego. Proponowane preparaty mogą okazać się również skutecznym środkiem wykorzystywanym do neutralizacji zanieczyszczeń gazowych powstających w procesie inkubacji [9–11].

Liczba chemicznych dodatków stosowanych do dezynfekcji w przetwórstwie żywności jest ograniczona z powodu ich negatywnego oddziaływania na ludzki organizm oraz ze względu na trudności z rozpuszczalnością i możliwością bezpośredniego zastosowania. Poza tym proekologiczny styl życia konsumentów zmusza do zastosowania w technologii żywności jedynie takich środków chemicznych, które występują w przyrodzie. Wśród preferowanych dodatków niszczących florę bakteryjną znaczną grupę stanowią kwasy organiczne i ich sole, które powszechnie uważane są za bezpieczne. Należy do niej również kwas cytrynowy dopuszczony do stosowania w przemyśle spożywczym. Badania dotyczące unieszkodliwiania drobnoustrojów były przeprowadzane z wykorzystaniem wielu metod z użyciem różnorodnych związków chemicznych, m.in. kwasów organicznych, chlorku heksadecylopirydynowego, ortofosforanu sodu, wody utlenionej i dwuwęglanu sodu. Nie wszystkie z tych metod okazały się skuteczne, dlatego ciągle poszukuje się efektywnych metod unieszkodliwiania bakterii i grzybów. W zakładach wylęgowych powszechnie stosuje się formaldehyd z uwagi na niskie koszty zakupu i skuteczne biobójcze działanie, małą wagę przywiązując do toksycznych i rakotwórczych efektów jego stosowania [1–8, 12, 13]. Alternatywą dla tych dezynfektantów mogą być cząsteczki nanosrebra, które według danych literaturowych wykazują dobre właściwości biobójcze i są neutralne dla środowiska naturalnego [9–11].

Poza zanieczyszczeniami mikrobiologicznymi w produkcji drobiarskiej, w wyniku przemian metabolicznych rozwijających się zarodków powstaje wiele substancji chemicznych. Środowisko gazowe zarodka jest niezwykle ważnym czynnikiem w procesie inkubacji, zwłaszcza w okresie pierwszych 96 godzin tego procesu. Między 38 a 48 godziną embriogenezy następuje rozrost omocznia, rozwój pola naczyniowego na pęcherzyku żółtkowym oraz początek rozwoju wszystkich narządów. Jeśli na skutek zaburzeń metabolicznych lub działania substancji toksycznych nie rozwinię się jakikolwiek narząd, następują śmiertelne zaburzenia w krążeniu płodowym, doprowadzając do zakrzepów w sieci naczyniowej. Do 8 dnia inkubacji rolę narządu oddechowego spełniają: pęcherzyk żółtkowy oraz system naczyń omocznia. Przejście na oddychanie płucne odbywa się powoli w trakcie wciągania woreczka żółtkowego w końcowym etapie inkubacji. W tym okresie wszelkie gazowe związki mogą przekraczać barierę skorupy w obu kierunkach, powodując zaburzenia rozwojowe i zamieranie zarodków [1–8].

W powietrzu wylęgarni piskląt obok amoniaku, siarkowodoru, merkaptanów, aldehydów i ketonów stwierdzono wysokie zawartości akroleiny, acetaldehydu, a szczególnie formaldehydu, który używany jest głównie do dezynfekcji pomieszczeń. Inne gazy, takie jak m-tolualdehyd, p-tolualdehyd, benzaldehyd, aldehyd izowalerianowy i butylowy, występują raczej w ilościach śladowych. Wykazano, że 1 m<sup>3</sup> powietrza zawiera średnio około 7,7 g organicznych domieszek gazowych [1–6].

Zanieczyszczenia te charakteryzują się silnymi właściwościami odorogennymi, a także mogą wykazywać działanie toksyczne i rakotwórcze. Przykładem może być powszechnie stosowany środek do dezynfekcji pomieszczeń, aparatów wylęgowych i klujników – formal-

dehyd. Związek ten ma zdolność niszczenia większości drobnoustrojów występujących na zewnętrznej warstwie skorupy zarodków kurzych. Stosowany jest w postaci gazowej bądź też jako 40%-wodny roztwór znany pod nazwą formaliny. Formaldehyd jest łatwym w użyciu i skutecznym środkiem dezynfekcyjnym. Powoduje jednak podrażnienia oczu oraz błon śluzowych układu oddechowego. Jest silną trucizną proplazmatyczną, powodującą zmiany zwyrodnieniowe komórek miększu wątrobowego, nerek i serca. W oku zmiany zwyrodnieniowe dotyczą nie tylko siatkówki oka, lecz także nerwu wzrokowego i nabłonka rogówki [1–8, 12, 13].

Kolejnym toksycznym związkiem jest acetaldehyd. Mechanizm szkodliwego działania uwidacznia się narkotycznym wpływem na centralny układ nerwowy, drażnieniem skóry i błon śluzowych, spadkiem ciśnienia oraz kołataniami serca. Podobnie akroleina jest substancją drażniącą błony śluzowe i spojówki oczu. Wywiera ona szybkie i bezpośrednie działanie na drogi oddechowe. Najwyższe dopuszczalne stężenia akroleiny jako czynnika drażniącego szkodliwego dla zdrowia w środowisku pracy określa się na poziomie  $0,5 \text{ mg/m}^3$  i nie zostało ono przekroczone [1–8].

W hali wylęgowej stwierdzano również obecność benzaldehydu, oleistej substancji o charakterystycznym zapachu gorzkich migdałów. U ludzi benzaldehyd powoduje podrażnienie błon śluzowych, a wchłaniany w dużych ilościach przez drogi oddechowe wywołuje objawy alergiczne, zaburzenia ośrodkowego układu nerwowego, działa cytostatycznie i kancerogenne. W prowadzonych badaniach stwierdzano, iż stężenia wybranych związków były niższe w porównaniu z NDS dla powietrza. Jednak istnieje potencjalna szkodliwość śladowych ilości toksycznych gazów. Zanieczyszczenia te bowiem mogą działać na organizmy niezależnie od siebie, mogą neutralizować swoje działanie lub nasilać wzajemny efekt szkodliwego wpływu [1–8, 12, 13].

#### 4. Nanosrebro

Nanotechnologia jest działem nauki o materiałach. Przez to pojęcie należy rozumieć zestaw technik i sposobów tworzenia rozmaitych struktur o rozmiarach nanometrycznych (od 10 do 1000 nanometrów), czyli na poziomie pojedynczych cząsteczek. Nauka ta łączy wybrane obszary fizyki ciała stałego, chemii, materiałoznawstwa oraz biologii molekularnej [15].

Ze względu na istniejące w rolnictwie, a zwłaszcza w produkcji zwierzęcej, problemy z zanieczyszczaniem środowiska naturalnego, emisjami nieprzyjemnych odorów, bioaerozoli oraz emisjami gazów wpływających na globalne ocieplenie, najefektywniejsze obecnie wydaje się stosowanie roztworów powłokowych o działaniu katalitycznym.

W budynkach inwentarskich utlenianie można wykorzystać do dezodoryzacji, a reakcje redukcji do ograniczania emisji amoniaku i tlenków azotu.

Zastosowanie tlenków katalitycznych z udziałem nanocząsteczek srebra (Ag) umożliwia uzyskanie efektu katalitycznego bez dostępu światła oraz wzmacnia funkcję bakteriobójczą i grzybobójczą. Nawet w tym przypadku można mówić o funkcji sterylizującej. Wszystkie wymienione powyżej funkcje mogą znaleźć zastosowanie w budownictwie inwentarskim. Ich skuteczne wdrożenie do praktyki rolniczej poprawi dobrostan zwierząt i warunki zoohigieniczne, ograniczy uciążliwość dla otoczenia oraz zmniejszy zagrożenia środowiskowe

wywoływane emisjami mikrobiologicznymi i gazowymi z fermentacji jelitowej i odchodów. Mimo że działanie ekologicznych roztworów produkowanych z wykorzystaniem nanotechnologii jest już stosowane w innych działach gospodarki, np. w przemyśle motoryzacyjnym i budownictwie mieszkaniowym, to w rolnictwie jeszcze brakuje tego typu zastosowań.

Preparaty zawierające cząstki nanosrebra znajdują wiele zastosowań. Dzięki wysokiej aktywności biochemicznej wobec bakterii i grzybów oraz nieszkodliwości dla człowieka, zwierząt i środowiska naturalnego, nanosrebro stosowane może być jako uniwersalny środek bakterio- i grzybobójczy. Działanie antybakteryjne i antygrzybiczne nanosrebra potwierdzone zostało już w stosunku do 650 rodzajów mikroorganizmów. Preparaty zawierające nanosrebro stosowane są w takich dziedzinach życia jak: higiena, kosmetologia, profilaktyka, konserwacja i pasteryzacja żywności [9–11, 16].

Opracowano wiele metod otrzymywania nanosrebra. Należą do nich: redukcja chemiczna, redukcja elektrochemiczna, redukcja fotochemiczna, rozkład termiczny, ablacja laserowa, napromieniowanie mikrofalami, redukcja sonochemiczna i sonoelektrochemiczna, redukcja polioksometalami, metoda hydrotermalna, radioliza X-ray, mikroemulsyfikacja, sputtering i elektrospinning oraz coraz częściej stosowane metody biologiczne [11].

Najczęściej stosowaną metodą otrzymywania nanocząstek srebra jest redukcja chemiczna. Metoda ta pozwala na otrzymanie nanocząstek o rozmiarach kilku nanometrów. Nanosrebro syntezowane jest w formie koloidu zdyspergowanego w wodzie lub rozpuszczalnikach organicznych. Źródłem atomów srebra są jego sole ( $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{AgCl}$ ,  $\text{AgI}$ ,  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ). Jako reduktora używa się formaldehydu, bromowodoru sodu, kwasu askorbinowego, wodoru, polisacharydów,  $\beta$ -D-glukozy, heparyny, monosacharydów lub disacharydów. Nanocząsteczki są jednak trwale wyłączone w roztworach i bez względu na zastosowaną metodę otrzymywania posiadają skłonność do agregacji. Tracą wówczas swoje właściwości, co uniemożliwia ich stosowanie. W celu zapobiegania tworzeniu się aglomeratów srebra używa się stabilizatorów. Najczęściej stosuje się poliwinylpiperolidon, di-n-octodecyloctoditiofosforan pirydynium, dodecylosulfonian sodu, monooleinian polioksyetylenosorbitu, tiofen, chitozan, karboksymetylocelulozę i glikol etylenowy [11].

Istotną kwestią jest opracowanie prostej i przyjaznej dla środowiska metody otrzymywania nanomateriałów. Otrzymane przedstawionymi metodami srebro o rozmiarach nanometrycznych, może być zanieczyszczone związkami chemicznymi zastosowanymi w trakcie jego produkcji. Zanieczyszczenia te mogą wpłynąć na właściwości biochemiczne nanocząstek. Problemem jest również toksyczność niektórych z wymienionych reagentów.

Wydaje się, że zastosowanie procesów biotechnologicznych z wykorzystaniem grzybów stanowi alternatywę metod chemicznych i fizycznych. Redukcję jonów srebrowych do nanocząstek można przeprowadzić z udziałem grzybów *Verticillium sp.* i *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus fumigatus*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Trichoderma asperellum* i *Penicillium*. Również bakterie *Bacillus Subtilis* umożliwiają otrzymanie nanocząsteczek srebra o ściśle zdefiniowanych rozmiarach [17, 18].

Przedstawione metody nie stanowią pełnego zbioru opracowanych sposobów otrzymywania nanosrebra. Pozwalają one jednak otrzymać nanocząstki srebra o różnych rozmiarach, strukturach oraz właściwościach fizykochemicznych powierzchni, które w sposób decydujący wpływają na właściwości nanomateriału.

Wyniki badań prezentowane w literaturze przedmiotu pokazują, że skuteczność antybakteryjna nanosrebra wzrasta wraz ze zmniejszeniem rozmiarów jego cząstek. Skuteczność

niszczenia bakterii i grzybów przez nanosrebro w dużej mierze zależy również od kształtu cząstek. Najsilniejsze właściwości biobójcze wykazują cząstki o kształcie trójkątnym [11].

W literaturze opisano liczne badania w laboratoryjnych warunkach wzorcowych, w których do testów używano kultur bakterii *S. aureus*, *E. coli*, *S. Epidermidis* i *P. ueruginosa*. Cząstki nanosrebra pokrywały ścianę komórkową tych bakterii i wnikały do protoplazmy. Nanosrebro penetrowało komórkę, zaburzając działanie mitochondriów i materiału genetycznego. Z wyników badań przedstawionych w literaturze wynika, że kultury bakterii, na które działało nanosrebro, zostały zniszczone w ponad 95%. Grzyby rodzaju *Candida albicans* i *Aspergillus Niger* poddane działaniu nanosrebra zniszczone zostały w blisko 100% [11, 19].

Nanocząsteczki srebra oddziałując na komórkę bakterii, otaczają ją szczelną warstwą, utrudniając jej poruszanie się. Otoczone nanosrebrem wici nie są w stanie wprawić komórki w ruch. Poprzez zablokowanie funkcji fimbrii i pili uniemożliwiony zostaje kontakt pomiędzy komórkami, a tym samym koniugacja, której celem jest wymiana materiału genetycznego, będącego źródłem informacji o odporności bakterii na działanie elementów środowiska zewnętrznego. Otoczona nanocząsteczkami bakteria traci również w ten sposób zdolność rozmnażania. Warstwa nanosrebra uniemożliwia budowę nowych ścian komórkowych [11, 16].

Srebro jest doskonałym przewodnikiem, przez co wpływa na potencjał błony komórkowej zakłócając działanie pomp sodowo-potasowych. Tym samym wpływa na objętość komórki i zakłóca transport materiału odżywczego (cukrów i aminokwasów) do jej wnętrza [11, 16].

Cząsteczki nanosrebra dzięki swym właściwościom katalitycznym wpływają na powstawanie w komórce bakterii wolnych protonów, które powodują denaturację białka i wynikającą z tego utratę jego właściwości biologicznych [11, 16].

Bakteria poddana działaniu nanocząsteczek srebra nie ma możliwości oddychania, ponieważ zakłócony zostaje przepływ elektronów w komórce. Całkowita destrukcja funkcjonowania komórki prokariotycznej przez nanocząsteczki srebra następuje wskutek dezaktywacji katalitycznego działania enzymów. Srebro reaguje z grupami –SH enzymów, blokując w ten sposób reakcje metaboliczne przebiegające w komórce. W analogiczny sposób nanocząsteczki srebra oddziałują na komórki grzybów, zakłócając ich gospodarkę wodną oraz na wirusy poprzez wpływ na katalityczny rozkład podłoża lipidowo-białkowego [11–16].

## 5. Wnioski

Nanotechnologia jest najdynamiczniej rozwijającą się technologią. Aplikacyjne badania z wykorzystaniem nanomateriałów w zapewnieniu człowiekowi bezpieczeństwa i higieny potwierdziły, że są one bogatym źródłem surowców i dodatków do wytwarzania różnych kompozycji materiałowych.

Opracowywanie metod wytwarzania nowych nanomateriałów oraz możliwość kontroli ich właściwości fizykochemicznych poprzez dobór parametrów procesu, pozwala na ich praktyczne zastosowanie oraz adaptację do zmiennych potrzeb rynkowych.

Wybrana tematyka dotyczy możliwości praktycznego wykorzystania preparatów nanosrebra do dezynfekcji linii technologicznych w przemyśle spożywczym, w tym przemyśle drobiarskim. Ocena właściwości bakterio- i grzybobójczych suspensji nanosrebra może pozwolić



uzyskać preparaty o istotnie lepszych i trwałych właściwościach biobójczych w stosunku do mikroflory aparatów wylęgowych, co może być podstawą do wskazania nowego sposobu dezynfekcji krytycznych punktów tych linii technologicznych. Jednocześnie silne właściwości utleniające zastosowanych preparatów mogą być wykorzystane do neutralizacji gazowych zanieczyszczeń chemicznych powstających podczas inkubacji. Możliwe będzie w ten sposób uzyskanie efektu zapobiegania powstawania odorów u źródła ich wytwarzania.

### Literatura

- [1] Tymczyna L., Saba L., Malec H., Maińska A., *Ocena stężenia odorów w procesie inkubacji jaj kurzych*, Roczniki Naukowe Zootechniki, 2000, 27, 3, 229-237.
- [2] Tymczyna L., Maińska A., Malec H., Saba L., *Ocena emisji merkaptanów w procesie inkubacji jaj*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sect. EE, XVIII, 2000, 29, 223-229.
- [3] Tymczyna L., Chmielowiec-Korzeniowska A., Drabik A., Skórska Cz., Sitkowska J., Cholewa G., Dutkiewicz J., *Efficacy of novel biofilter In hatchery sanitation: II. Removal of odorous pollutants*, Annals of Agricultural and Environmental Medicine, 2006, 213, 39-246.
- [4] Tymczyna L., Chmielowiec-Korzeniowska A., *Redukcja zanieczyszczeń powietrza w wylęgarni piskląt przy zastosowaniu biofiltra zamkniętego*, Żywnienie a zdrowie zwierząt oraz aktualne problemy higieny i prewencji weterynaryjnej, Ciechocinek 4-7 września 2003, 148-150.
- [5] Tymczyna L., Drabik A., Chmielowiec-Korzeniowska A., *Próba redukcji aldehydów i ketonów na złożach biofiltracyjnych w wylęgarni piskląt*, Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, sect. EE. vol. XXII, 2004, 44, 333-338.
- [6] Tymczyna L., Chmielowiec-Korzeniowska A., Drabik A., *The effectiveness of various bio-filtration substrates in removing bacteria, endotoxins, and dust from ventilation system exhaust from a chicken hatchery*, Poultry Science, 2007, 86, 10, 2095-2100.
- [7] Chmielowiec-Korzeniowska A., Tymczyna L., Skórska Cz., Sitkowska J., Cholewa G., Dutkiewicz J., *Efficacy of novel biofilter In hatchery sanitation: I. Removal of airborne, dust and endotoxin*, Annals of Agricultural and Environmental Medicine, 2006, 13, 11- 20.
- [8] Chmielowiec-Korzeniowska A., Tymczyna L., Drabik A., *Use of organic – mineral materials for biofiltration of air in hatcheries*, Annals Animal Science, 2007, 7, 1, 153-162.
- [9] Kowalski Z., Banach M., Powalka E., *Zastosowanie płynów dezynfekcyjnych z dodatkami nanosrebra w przemyśle mięsnym celem ograniczenia odorów*, Przemysł Chemiczny, 2009, 88, 5, 478-482.
- [10] Konopka M., Kowalski Z., Wzorek Z., *Disinfection of meat industry equipment and production rooms with the use of liquids containing silver nano-particles*, Archives of Environmental Protection, 2009, 35, 1, 107-115.

- [11] Banach M., Kowalski Z., Wzorek Z., *Nanosrebro – wytwarzanie, właściwości bakteriobójcze, zastosowanie*, Chemik, 2007, 9, 435-438.
- [12] Skórska Cz., Milanowski B., Cholewa G., Dutkiewicz J., Fąfrowicz B., *Endotoksyny bakteryjne *Alcaligenes faecalis* i *Erwinia herbicola* czynnikami narażenia zawodowego w rolnictwie*, Pneumonologia i Alergologia Polska, 1996, 64, 9-19.
- [13] Stępień-Pyśniak D., Kolasa A., Rzedzicki J., *Analiza mikroflory bakteryjnej na powierzchni skorup jaj konsumpcyjnych pochodzących od kur utrzymywanych w systemie ściółowym*, XIII Kongres Polskiego Towarzystwa Nauk Weterynaryjnych „Od nauki do praktyki”, Olsztyn 2008, 55-56.
- [14] Węsierska E., *Czynniki jakości mikrobiologicznej spożywczych jaj kurzych*, Medycyna Weterynaryjna, 2006, 62, 11, 1222-1228.
- [15] Rao C.N.R., Muller A., Cheetham A.K., *The Chemistry of Nanomaterials, Synthesis, Properties and Applications*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2004.
- [16] Wzorek Z., Konopka M., *Nanosrebro – nowy środek bakteriobójczy*, Czasopismo Techniczne Chemia, 2007, 8, 104, 175-181.
- [17] Saifuddin N., Wong C.W., Nur Yasumira A.A., *Rapid biosynthesis of silver nanoparticles using culture supernatant of bacteria with microwave irradiation*, E-Journal of Chemistry, 2009, 6, 1, 61-70.
- [18] Ingle A., Rai M., Gade A., Bawaskar M., *Fusarium solani: a novel biological agent for the extracellular synthesis of silver nanoparticles*, Journal of Nanoparticle Research, 2009, 11, 2079-2085.
- [19] Cho K., Park J., Osaka T., Park S., *The study of antimicrobial activity and preservative effects of nanosilver ingredient*, Electrochimica Acta, 2005, 51, 956-960.