

УДК: 637.4.082.474: 619: 614.31

НАНОКОМПОЗИТ ХІТОЗАНУ І ДІОКСИДУ ТИТАНУ У БІОМІМЕТИЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ІНКУБАЦІЙНИХ ЯЄЦЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПТИЦІ

Бордунова О. Г.

Сумський національний аграрний університет

Резюме. Надані докладні відомості щодо розробленої авторами біоміметичної технології захисту інкубаційних яєць курей з використанням нанокompatитів хітозану і фотокаталітичних часток діоксиду титану TiO_2 ("nanoTi_ARTICLE") та формули для спрямованого конструювання захисних покриттів для яєць "штучна кутикула" ("ARTIficial cutiCLE" "ARTICLE").

Ключові слова: інкубаційні яйця, нанокompatити, діоксид титану, «штучна кутикула», біоміметична технологія.

Summary. The data concerning the worked out by the authors biomimetic technology of protecting hatchable hen eggs using nanocomposites of chitosan and photocatalytic particles of TiO_2 ("nanoTi_ARTICLE") and the formula for directed constructing of protected coverings for eggs "artificial cuticle" ("ARTIficial cutiCLE" "ARTICLE") are presented.

Key words: hatching eggs, nano composites, titanium dioxide, "artificial cuticle", biomimetic technology.

Вступ. Головним завданням селекції у галузі сучасного яєчного птахівництва є підвищення продуктивності курей, величина якої може сягнути у майбутньому, на думку провідних вітчизняних і зарубіжних дослідників, біологічно обумовленої межі, що дорівнює орієнтовно двом яйцям на добу. Це обумовлене природними резервами загального метаболічного комплексу організма птаха, тобто принциповою спроможністю синтезувати протягом нетривалого проміжку часу білки, ліпіди, нуклеїнові кислоти, вітаміни тощо, необхідні для формування складових яйця [16, 20]. Проте один з базових компонентів яйця, а саме захисна біокерамічна структура – шкаралупа з над- та підшкаралупними мембранами, у такому форсованому метаболічному режимові сформуватися не може. Більш того, навіть яйцям, отриманим від курей сучасних високопродуктивних кросів, що забезпечують надходження продукції більш як 320-340 яєць на рік, притаманні значні мікро- і макро дефекти шкаралупи, що у свою чергу знижує якісні показники продукції і завдає збитків інкубаційним птахогосподарствам [23]. Зокрема, проблема якості інкубаційних яєць є нагальною для вітчизняного і зарубіжного промислового і племінного птахівництва.

Інтенсивна селекція на високу яєчну і м'ясну продуктивність, вплив негативних чинників довкілля абіотичного і біотичного походження, а

також стресові навантаження на птахів призводять до значних втрат продукції птахогосподарств, у першу чергу внаслідок погіршення захисних властивостей біокерамічних шарів шкаралупи і шкаралупних мембран інкубаційного яйця, що обумовлює небезпечну вторинну контамінацію яєць патогенними мікроорганізмами, порушення газообміну і метаболізму ембріонів, що розвиваються, підвищений рівень летальності і зниження рівня природної резистентності молодняку [21, 24, 25]. Попередити зазначене погіршення захисних властивостей шкаралупи із застосуванням загальних методів селекції не завжди можливо внаслідок негативної кореляції між якісними показниками шкаралупи і яєчної продуктивності. Останнє спонукає дослідників використовувати загалом два підходи до вирішення проблеми: 1) модифікування обміну речовин ембріону шляхом передінкубаційної обробки яєць біологічно активними речовинами (БАР) та дією фізико-хімічних чинників різного генезису [2, 6, 7, 8, 10, 13, 18, 19] і 2) поліпшення структури шкаралупи штучними засобами: модифікацією біокристалічного шару шкаралупи і/або утворенням на зовнішній поверхні яйця шару штучного захисного покриття [3, 4, 5, 22].

Матеріали і методи досліджень. Маючи за теоретичне підґрунття вищенаведене і з урахуванням актуальності сучасних напрямків розробки біотехнологій керованого вивільнення БАР (*Control Release Technology*) [27, 28, 29] та нанотехнологій [1, 11, 12, 15, 26], метою нашого дослідження була розробка біоміметичної технології захисту інкубаційних яєць курей з використанням обох підходів, яка отримала назву "штучна нанокутикула" для інкубаційних яєць "*nanoTi_ARTICLE*" ("*ARTIficial cutiCLE*"). В роботі використовували інкубаційні яйця, отримані від курей (Домінант бурий Д-102; 15-ий тиждень яйцекладки), яких утримували у відповідності з усталеними нормами утримання та годівлі. Складові "штучної нанокутикули" для інкубаційних яєць такі: хітозан (з панцирів крабів або бджіл), (розчин 20 г) у суміші (CH₃COOH конц., х.ч. (5 мл)+ H₂O дист. (3 мл), підданий обробці ультразвуком (УЗ) (22 кГц) протягом 10 годин при 60 °С, після чого отриманий в'язкий розчин розводили H₂O дист. у співвідношенні 1 : 9 за об'ємом; CID-20 (1 %; CID Line, Бельгія); надоцтова кислота (НОК; 50%); суспензія діоксиду титану TiO₂ (техн.; 5%) у суміші вода (50 мл)+CH₃COOH конц. (5 мл)+хітозан (0,5 г)+евкаліптове масло (0,2 мл), піддана обробці УЗ (22 кГц) протягом 10 годин; імуномодуляторний рослинний екстракт (ІМДРЕ; 5%), отриманий з рослин: ехіноцея пурпурова (*Echinacea purpurea Moench.*), золотий корінь (*Rhodiola rosea L.*), нагідки лікарські (календула; *Calendula officinalis L.*), горіх волоський (*Juglans regia*). ІМДРЕ містить фенольні сполуки, стероїди, амінокислоти, мікроелементи і є неспецифічним імуномодулятором, який підвищує ступінь резистентності організму, регулює і стимулює метаболічні процеси. Йому притаманні антиоксидантні, мембраностабілізуючі, антигіпоксичні властивості; сульфат міді CuSO₄; 10% (х.ч.); сульфат цинку ZnSO₄; 10% (х.ч.); сульфат заліза FeSO₄; 10% (х.ч.); креатинфосфат дінатрієва сіль, 5% (Sigma, США);

аденозинмонофосфат (АМР; 5%) (Sigma, США); глутамін (Глу; 10%) (Serva, Німеччина); цистеїн (Цис; 10%) (Reanal, Угорщина); диметилсульфоксид (ДМСО; ч.); α -циклодекстрин* (ЦД; 0,5%) (Sigma, США).

“Штучну кутикулу” на поверхні інкубаційних яєць одержували шляхом: а) обприскування яєць робочим розчином (діаметр крапель аерозолу 50-200 мкм) з наступним висиханням розчину і утворенням твердофазної плівки і б) обробкою яєць за технологією електророзпилення "electrospray" (діаметр крапель аерозолу 200 нм - 1 мкм; напруга + 7 кВ, модифікований прилад УНП, SELMI, Суми, Україна). Інкубацію проводили за ustalеними нормами [9]. Молекулярне комп'ютерне моделювання проводили на ПК “Pentium IV” за допомогою програми HyperChem 6. Електронно-мікроскопічні дослідження проводили на скануючому електронному мікроскопі PEMMA-102 (SELMI, Суми, Україна); при обробці отриманих цифрових зображень використовували програму Visilog 6.11 (Noesis, Бельгія).

Результати і обговорення. Технологія “штучної кутикули” (“ARTificial cutiCLE” ARTICLE) для інкубаційних яєць, започаткована співробітниками СНАУ (к.в.н., доц. О. Г. Бордунова) [3, 4, 5, 22] в межах конструювання за біоміметичним принципом природної кутикули пташиних яєць, яка складається з глікопротеїнів, пігментів, що надають забарвлення яйцям та мікродомішок кристалів гідроксиапатиту [21, 24]. “ARTICLE” являє собою самовпорядковане полікомпонентне захисне покриття для відновлення бар'єрних властивостей біокерамічних структур шкарлупи і шкаралупних мембран, якому притаманні біоцидна (антибактеріальна та антивірусна) і біостимулююча стосовно ембріону, що розвивається, види активності. Відкриття останніх років щодо специфічних властивостей металів в ультрадисперсному стані (частки нанометрового розміру) надало широкі можливості для створення нових ефективних препаратів з високою біологічною активністю для використання у птахівництві [12]. Так, на поверхні наночасток діоксиду титану TiO_2 (50-500 нм) під дією світла видимого діапазону піддаються руйнації за фотокаталітичним механізмом органічні забруднювачі і гине патогенна мікрофлора [14]. Нами сконструйоване штучне захисне покриття для інкубаційних яєць з використанням наночасток TiO_2 та органічної матричної речовини (хітозан), пероксидних сполук (НОК), БАР рослинного і штучного походження, речовин, що підсилюють процеси транспорту органічних і неорганічних сполук через шкаралупу і шкаралупні мембрани [7, 8, 13, 28], амінокислот, речовин, багатих на енергію (креатинфосфат), рослинних терпенів (евкаліптове масло) [17] і мікроелементів.

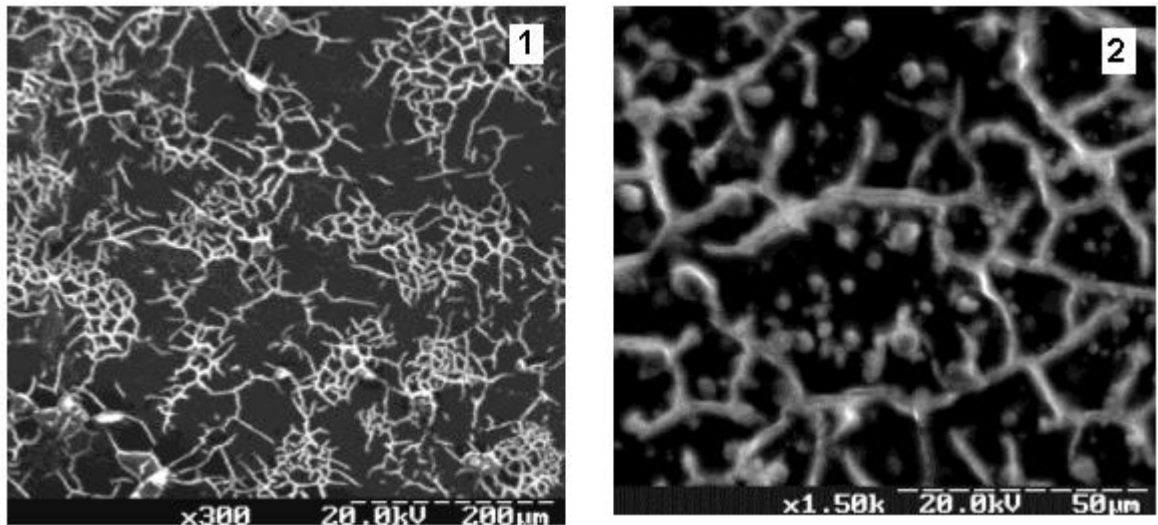


Рисунок 1. Природна кутикула (1) і штучна кутикула курячого яйця “*nanoTi_ARTICLE*” (2) (вид зверху)

На рис. 1 подані електронні мікрофотографії структури природної і штучної кутикул. Нанесення водних розчинів, які містять зазначені складові “штучної нанокутикули” на поверхню інкубаційних яєць призводить до утворення на поверхні біокерамічного шару захисної бактерицидної, вологоутримуючої та газопроникної плівки завтовшки 10-30 мкм, внаслідок міжфазових переходів “рідина-золь-гель-тверда фаза” (рис. 1 і 2).

Добре видно, що структура твердофазових утворень як глікопротеїнів (природна кутикула (1)), так і хітозанової плівки є дуже подібною і їй притаманна мозаїчна загальна будова, яка поєднує щільні ділянки зі звивистими мікрошпаринами, розміри яких і наявність краєвого заряду утруднює надходження до кальцитних біокерамічних структур поверхні яйця бактерій та вірусів і в той же час не заважає перебігу вільній дифузії газів, що є особливо важливим протягом інкубації. На рис. 1 (2) чітко вирізняються також мікрочастки діоксиду титану.

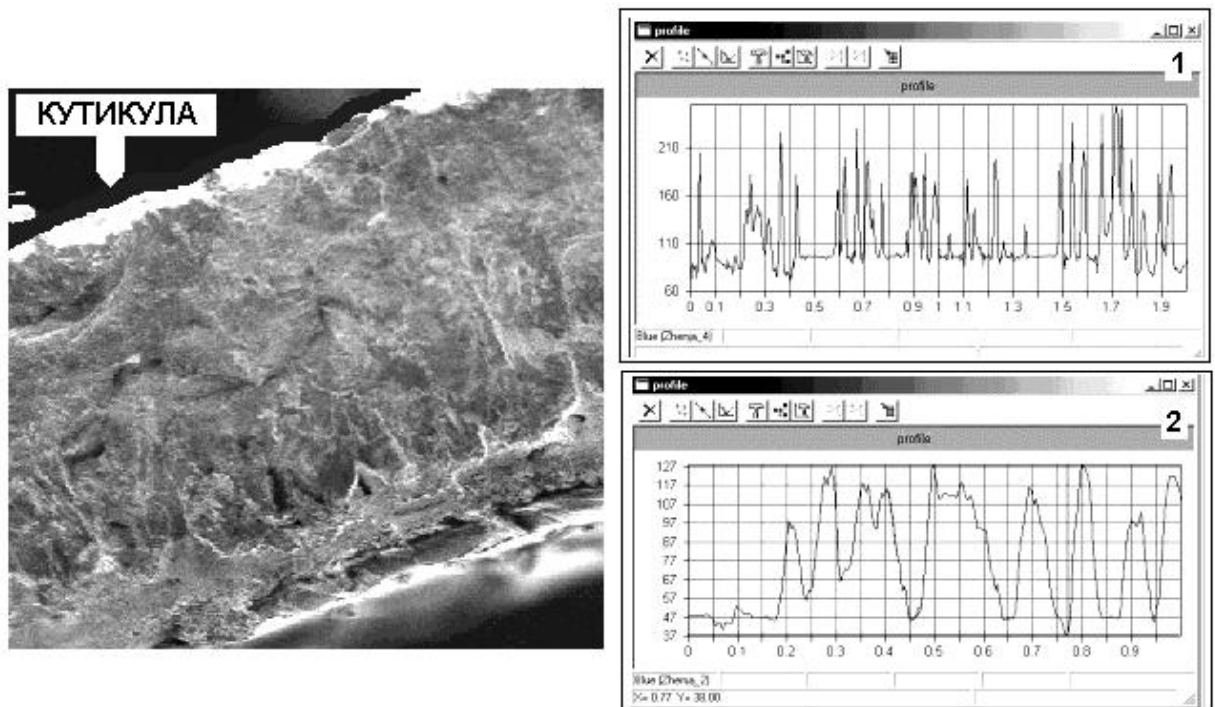


Рисунок 2. Природна кутикула курячого яйця (вид збоку, скануюча електронна мікроскопія, прилад РЕММА-102) і профілі поверхні природної кутикули (1) і “штучної кутикули” (2) (комп’ютерна обробка цифрового зображення)

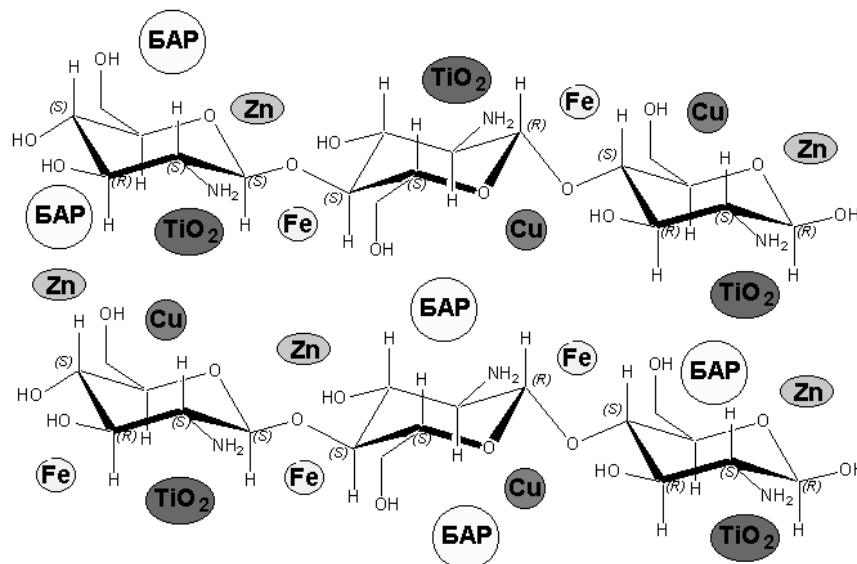


Рисунок 3. Структура твердофазової плівки штучної кутикули на основі хітозану “nanoTi_ARTICLE” (молекулярне моделювання, програма HyperChem 6)

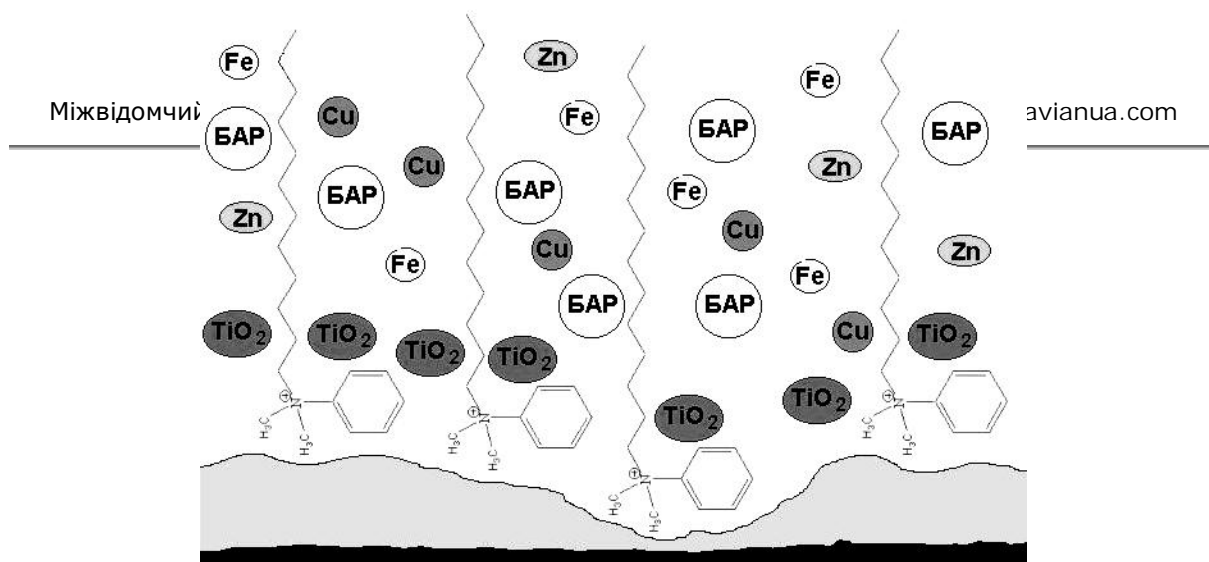


Рисунок 4. Структура твердофазової плівки штучна кутикула на основі алкілдиметилбензиламоній-хлориду “**nanoTi_ARTICLE**” (сірим кольором показаний неупорядкований шар поверхневої кутикули яйця, чорним – негативно заряджений кальцитний шар шкаралупи) (молекулярне моделювання, програма HyperChem 6)

На рис. 3 і 4 наведені результати комп’ютерного моделювання молекулярної структури “**nanoTi_ARTICLE**”, які свідчать, зокрема, про підвищену афінність азотвміських груп хітозану щодо часток діоксиду титану, а також опосередковано про кращу газопроникність нанокompозиту на основі хітозану порівняно з відповідним композитом на основі сполук четвертинного амонію.

Лабораторними і виробничими дослідями з вивчення ступеня впливу технології “**nanoTi_ARTICLE**” стосовно такого важливого інтегрального показника, який у сукупності з якістю інкубаційних яєць та спадковими характеристиками курей, від яких отримані яйця, характеризує перебіг інкубації, а саме виводимості, доведено, що нанокompозитні покриття здійснюють суттєвий вплив на останній показник. Так, як видно з табл. 1 і 2, поступове збільшення окремих інгредієнтів у складі “штучної кутикули” призводить до поступового підвищення показнику виводимості як в умовах лабораторного (табл. 1), так і промислового (табл. 2) дослідів.

Таблиця 1 – Вплив хімічного складу захисних нанокompозитів штучної кутикули “**nanoTi_ARTICLE**” на виводимість курчат (n=40-50; лабораторні досліді)

Група	Виводимість, % від запліднених
Контроль	85,2
Розчин хітозану (250 мг/мл)	85,5
Розчин CID-20 (1 мл 1 %)	85,2
Розчин хітозану (250 мг/мл) + НОК (200 мкл)	86,0
Розчин CID-20 (1 мл 1 %)+ НОК (200 мкл)	85,8

Розчин хітозану (250 мг/мл) + НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл)	86,2
Розчин CID-20 (1 мл 1 %)+ НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл)	86,2
Розчин хітозану (250 мг/мл) + НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)	86,9
Розчин CID-20 (1 мл 1 %)+ НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)	86,7
Розчин хітозану (250 мг/мл) + НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл)	87,3
Розчин CID-20 (1 мл 1 %)+ НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл)	87,2
Розчин хітозану (250 мг/мл) + НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл)	87,6
Розчин CID-20 (1 мл 1 %)+ НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл)	87,5
Розчин хітозану (250 мг/мл) + НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат динатрієва соль (150 мкл)	88,0
Розчин CID-20 (1 мл 1 %)+ НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат дінатрієва сіль (150 мкл)	87,8
Розчин хітозану (250 мг/мл) + НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат дінатрієва сіль (150 мкл)+ АМР (150 мкл)	88,1
Розчин CID-20 (1 мл 1 %)+ НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат дінатрієва сіль (150 мкл)+ АМР (150 мкл)	88,0
Розчин хітозану (250 мг/мл) + НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат дінатрієва сіль (150 мкл)+ АМР (150 мкл)+ Глу (150 мкл)	88,5
Розчин CID-20 (1 мл 1 %)+ НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат дінатрієва сіль (150 мкл)+ АМР (150 мкл)+ Глу (150 мкл)	88,3

<i>Продовження таблиці 1</i>	
Розчин хітозану (250 мг/мл) + НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат дінатрієва сіль (150 мкл)+ АМР (150 мкл)+ Глу (150 мкл) + Цис (150 мкл)	89,0
Розчин CID-20 (1 мл 1 %)+ НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат дінатрієва сіль (150 мкл)+ АМР (150 мкл)+ Глу (150 мкл) + Цис (150 мкл)	88,8
Розчин хітозану (250 мг/мл) + НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат дінатрієва сіль (150 мкл)+ АМР (150 мкл)+ Глу (150 мкл) + Цис (150 мкл)+ ДМСО (200 мкл)	90,2
Розчин CID-20 (1 мл 1 мл 1 %)+ НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат дінатрієва сіль (150 мкл)+ АМР (150 мкл)+ Глу (150 мкл) + Цис (150 мкл)+ ДМСО (200 мкл)	90,0
Розчин хітозану (250 мг/мл) + НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат дінатрієва сіль (150 мкл)+ АМР (150 мкл)+ Глу (150 мкл) + Цис (150 мкл)+ ЦД (100 мкл)	89,8
Розчин CID-20 (1 мл 1 %)+ НОК (200 мкл)+ TiO ₂ (200 мкл) +евкаліптове масло (5 мкл)+ ІМДРЕ (200 мкл) + CuSO ₄ (200 мкл) +креатинфосфат дінатрієва сіль (150 мкл)+ АМР (150 мкл)+ Глу (150 мкл) + Цис (150 мкл)+ ЦД (100 мкл)	89,7

Примітка. У таблиці наведені об'єми складових сумарних робочих розчинів для проведення обприскування з розрахунку на 10 яєць.

Таблиця 2 – Вплив хімічного складу захисних нанокompatитів штучної кутикули “nanoTi_ARTICLE” на виводимість курчат (n=1500-2000; виробничі досліді)

Група	Виводимість, % від запліднених
Контроль	82,3
Розчин хітозану	84,0
Розчин CID-20	83,1
Розчин хітозану + НОК	85,7
Розчин хітозану + НОК + TiO ₂	85,8
Розчин хітозану + НОК + TiO ₂ + ІМДРЕ	86,9

Розчин хітозану + НОК + TiO ₂ + ІМДРЕ + CuSO ₄	87,2
Розчин хітозану + НОК + TiO ₂ + ІМДРЕ + CuSO ₄ + Глу + Цис	88,6
Розчин хітозану + НОК + TiO ₂ + ІМДРЕ + CuSO ₄ + Глу + Цис + ДМСО	90,6
Розчин хітозану + НОК + TiO ₂ + ІМДРЕ + CuSO ₄ + Глу + Цис + ЦД	88,8

Принципово важливим є те, що покрокове ускладнення базової матричної речовини (хітозану і сполук четвертинного амонію (ЧАС) призводило до підвищення виводимості як за рахунок стимуляції обміну речовин ембріону БАР (в особливості за використання "енхансерів" - стимуляторів їх трансшкаралупного перенесення – ДМСО, терпенів та циклодекстрину) так і внаслідок модифікації біокристалічного шару шкаралупи, обумовленої загалом дією НОК, яка поліпшує газопроникність, і утворенням на зовнішній поверхні яйця шару нанокompозитного захисного покриття (хітозан/ЧАС), що являє собою типову систему контрольованого постачання БАР ембріонів, що розвивається (*Control Release System*).

Сукупність отриманих експериментальних даних надали теоретичні підстави для розробки загальної формули для спрямованого конструювання біоміметичних захисних покриттів для інкубаційних яєць курей ("ARTificial cutiCLE" "ARTICLE") з використанням, зокрема, нанокompозитів хітозану і фотокаталітичних часток діоксиду титана TiO₂ ("nanoTi_ARTICLE").

Формула має такий вигляд: матрична речовина (X) + кислоти/пероксидні сполуки (Y₁) + фотокаталітичні ультрадисперсні/наночастки металів (оксидів металів) (Y₂) + БАР рослинного і синтетичного походження (Y₃) + мікроелементи (Y₄) + речовини, багаті на енергію/стимулятори метаболізму (Y₅) + амінокислоти/компоненти нуклеїнових кислот/ліпіди (Y₆) + енхансери (посилювачі швидкості трансшкаралупного переносу органічних і неорганічних сполук) (Y₇). Варіювання якісних і кількісних інгредієнтів штучної кутикули "ARTICLE" базового складу надає можливість проведення оптимізації цієї технології щодо інкубаційних яєць різної якості та різного генезису.

Висновки

1. Розроблена біоміметична технологія захисту інкубаційних яєць курей з використанням нанокompозитів хітозану і фотокаталітичних часток діоксиду титана TiO₂ ("nanoTi_ARTICLE").
2. Досліджені морфологічні характеристики та проведено комп'ютерне моделювання структури нанокompозитів.
3. Використання технології "nanoTi_ARTICLE" дозволяє суттєво (на 4-6%) підвищувати виводимість яєць.

4. Суттєвою перевагою «штучної нанокутикули» для інкубаційних яєць є екологічна безпечність складових: діоксиду титана, природніх та штучних матриць, біологічно-активних речовин (БАР) і стимуляторів їх трансшкаралупного перенесення (ДМСО і ЦД).
5. Розроблена формула для спрямованого конструювання біоміметичних штучних захисних покриттів для інкубаційних яєць курей ("ARTIficial cutiCLE" "ARTICLE").

Список літератури

1. Арсентьева И. П. Реализация физико-химических свойств наночастиц металлов при создании биологически активных препаратов в медицине, биологии и сельском хозяйстве / И. Арсентьева // Вторая Всероссийская конференция по наноматериалам «НАНО 2007» (13 - 16 марта 2007 года).- Новосибирск, 2007. - С. 323.
2. Архангельська М. В. Вплив біологічно активних речовин на випаровування води з яйця під час інкубації та на масу курчат яєчного кросу "Прогрес" / М. В. Архангельська // Таврійський науковий вісник. - 2004. - № 30. - С. 145-147.
3. Бордунова О. Г. Деякі аспекти молекулярного механізму біоцидної дії дезінфектанта «ВВ-1» / О. Г. Бордунова, Ю. А. Байдевятов, В. Д. Чіванов // Вісник аграрної науки. - 1999. - № 12. - С. 43-45.
4. Бордунова О. Г. Екологічно безпечні дезінфектанти для птахівництва / О. Бордунова // Вісник аграрної науки. - 2001. - № 7. - С. 30-33.
5. Бордунова О. Г. Молекулярні аспекти біоцидної дії дезінфектантів на основі четвертинних амонієвих сполук (ЧАС). Морфологія плівок ЧАС на поверхні інкубаційних яєць / О. Бордунова // Ветеринарна медицина: міжвід. темат. наук. зб. – Харків, 2000.- Т. 78 (II).- С. 23-34.
6. Дяченко Л. С. Ефективність селену в передінкубаційній обробці яєць і годівлі курчат / Л. С. Дяченко, Ю. О. Погибельна // Вісник аграрної науки. – 2003. - № 8. – С. 37-40.
7. Іванов В.О. Вплив біологічно активних речовин, введених хімічним способом в яйце, на виводимість яєць м'ясних і яєчних птахів / В. О Іванов // Сучасне птахівництво. - 2004. - № 4. - С. 2-3.
8. Іванов В. А. Спосіб підвищення виводу гусячих яєць / В. А. Іванов, Г. П. Марчук, М. С. Козій, М. В Архангельська: Патент № 52097 А. [Заявлено 19.02.2002, опубліковано 16. 12. 2002].- бюл. № 12.
9. Інкубація яєць сільськогосподарської птиці / В. О. Бреславець, М. І. Сахацький, Б. Т. Стегній [та ін.]. – Харків, 2001. - 92 с.
10. Мамукаев М. Н. Физиологические показатели, выводимость и жизнеспособность цыплят бройлеров при светолазерной активации яиц : автореф. дис. на соискание учёной степени кандидата биол. наук: 03.00.02. - Боровск, 1988. – 18 с.

11. Озерин А. Н. Наноккомпозиты на основе модифицированного хитозана и оксида титана / А. Н. Озерин // Высокомолекулярные соединения. - 2006. - Т. 48, № 6. – С. 983-989.
12. Помогайло А. Наночастицы металлов в полимерах / Помогайло А., Розенберг А., Уфлянд И. - М., 2000. - 250 с.
13. Приймак В. В. Вплив біологічно активних речовин на виведення і життєздатність качок кросу «Благоварський» / В. В. Приймак // Таврійський науковий вісник. – 2004. - № 30. - С. 151-153.
14. Савинов Е. Н. Фотокаталитические методы очистки воды и воздуха / Е. Н. Савинов // Соросовский образовательный журнал. - 2000. – № 5. - С. 36-42.
15. Суздаев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / Суздаев И. П. – М.: КомКнига, 2006. – 592 с.
16. Фисинин В. А. Повышение эффективности яичного птицеводства / Фисинин В. А., Имангулов Ш. А., Кавтарашвили А. Ш. - Сергиев Посад, 1999. - 144 с.
17. Характеристика мембранотропних властивостей екстрактів фітопрепаратів / В. В. Поканевич, Г. В. Островська, Т. П. Гарник [та ін.] // Доповіді НАН України. - 2001. - № 8. - С. 152-158.
18. Шоміна Н. В. Підвищення виводимості яєць / Н. В. Шоміна, В. О. Бреславець // Сучасне птахівництво. - 2004. - № 1. - С. 6-8.
19. Якіменко І. Л. Регуляторна дія монохроматичного видимого світла нетеплової інтенсивності на розвиток піци (за функціонуванням енергетичної, гідроксилуючої та антиоксидантної систем): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора біол. наук: 03.00.02 / Київський нац. ун-т. – К., 2003. - 34с.
20. Ярошенко Ф. Сучасні світові тенденції розвитку птахівництва / Ярошенко Ф. - К.: Новий друк, 2003. - 335с.
21. Arias J. L. Avian eggshell as a template for biomimetic synthesis of new materials / J. L. Arias, J. I. Arias, M. S. Fernandez // Handbook of Biomineralization / Eds. E. Baeuerlein, P. Behrens, M. Epple.-Weinheim: Wiley-VCH, 2006.- Vol. 2. - P. 38-64.
22. Bordunova O. G. Experimental and theoretical studies of surface-active disinfectant for industrial poultry / O. G. Bordunova, A.V. Baidevlatov // Quality of Eggs and Eggs Products (Proceedings of the European Symposium held in Bologna, 19 th to 23 rd September, 1999, Italy). – 1999.-V.II. - P. 595-601.
23. Deeming D. C. Taking hatchery management into the 21ST century /D. C. Deeming // Poultry International. – 2002. – Vol. 41, № 3. – P. 8-15.
24. Dominguez-Vera J. M. The effect of avian uterine fluid on the growth behavior of calcite crystals / J. M. Dominguez-Vera, J. Gautron, J. M. Garcia-Ruiz e.a. // Poultry Sci. - 2000. - Vol. 79. - P. 901-907.
25. Fasenko G. Improving hatchability / G. Fasenko // Poultry International. - 2003. - Vol. 42, №7. - P. 56.

26. Neira-Carrillo A. Obtainment of polymeric materials from polysiloxane-chitosan composites as template for biomimetic crystallization // *Biom mineralization, from Paleontology to Materials Science* / Eds. J. L. Arias, M. S. Fernandez. - Santiago. – Chile: Press Editorial Universitaria, 2006. - P. 20-41.
27. Peppas N. A. Analysis of Fickian and non-Fickian drug release polymers /N. A. Peppas // *Pharm. Acta Helv.* - 1985. - Vol. 60. - P. 110-111.
28. Terpenes as percutaneous absorption promoters / K. Takayama, Y. Kikuchi, Y. Obata [et al.] // *S.T.P. Pharm. Sci.* - 1991. - Vol. 1. - P. 83-88.
29. Wada R. Kinetics of diffusion-mediated drug release enhanced by matrix degradation / R. Wada, S. Hyon, Y. Ikada // *J. Control. Release.*-1995. - Vol. 37.-P. 151-160.