



УДК 608.3::57084.1

<http://dx.doi.org/10.15407/dopovidi2016.04.111>

О. В. Проценко¹, О. А. Дудка¹, І. А. Козерецька¹,
М. В. Іномістова¹, М. М. Борова², Я. В. Пірко², Г. М. Толстанова¹,
Л. І. Остапченко¹, член-кореспондент НАН України А. І. Ємець²

¹ННЦ “Інститут біології” Київського національного університету ім. Тараса Шевченка

²ДУ “Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України”, Київ

E-mail: marie0589@gmail.com

Оцінка токсичності та генотоксичності квантових точок CdS, синтезованих за допомогою біологічних матриць

Оцінено здатність квантових точок CdS, отриманих методом біологічного синтезу, викликати токсичний та генотоксичний ефекти на тваринній тест-системі *Drosophila melanogaster*. Встановлено, що квантові точки CdS, отримані за допомогою грибною (*Pleurotus ostreatus*) та бактеріальною (*Escherichia coli*) матриць, виявляють помірний токсичний ефект, однак він достовірно нижчий, ніж при обробці іонним Cd (сіль CdS). Наночастинки CdS не мають генотоксичного впливу на *D. melanogaster* у досліджених концентраціях.

Ключові слова: квантові точки CdS, токсичність, генотоксичність, *Drosophila melanogaster*.

Галузь нанотехнологій на даний час є однією з найбільш перспективних, оскільки знаходить безліч застосувань у повсякденному житті. Зокрема, такі наноструктурні матеріали, як наночастинки, фулерени, нановолокна, квантові точки, потенційно можуть широко використовуватись у виробництві споживчих товарів, фармацевтичній промисловості, а також у сфері біотехнологій, електроніки, фотоніки, адресної доставки ліків тощо [1]. Зважаючи на те що наноматеріали контактують з оточуючими живими клітинами та тканинами, проблеми нанотоксикології та біобезпеки нанорозмірних систем в останні роки виходять на одне з перших місць за актуальністю [1–4]. Переважно токсичність наноструктурних матеріалів залежить від специфічних властивостей останніх, таких як розмір, форма, концентрація, розчинність, наявність біологічної оболонки, стабільність [1]. Токсичність наносистем включає в себе фізіологічні, фізико-хімічні та молекулярні аспекти. Останнім часом більшість нанотоксикологічних досліджень проводили з використанням модельних клітинних культур [5] в умовах *in vitro* [6]. Однак результати цих досліджень є недостатніми і вимагають перевірки в експериментах на багатоклітинному організмі [5]. У природних умовах тваринні

© О. В. Проценко, О. А. Дудка, І. А. Козерецька, М. В. Іномістова, М. М. Борова, Я. В. Пірко,
Г. М. Толстанова, Л. І. Остапченко, А. І. Ємець, 2016

біологічні системи надзвичайно складні і взаємодія нанорозмірних компонентів з нуклеїновими кислотами, білками і клітинами організмів призводить до їх специфічного розподілу в тканинах та викликає певні реакції живої системи, тому розуміння взаємозв'язку між фізичними та хімічними властивостями наноструктур та їхньою поведінкою *in vivo* є основою для оцінки відповіді організму на токсичний вплив [5]. У зв'язку з цим актуальним на сьогодні залишається дослідження дії наночастинок на тваринний організм, а також пошук шляхів зниження їх потенційної токсичності.

Слід відмітити, що останнім часом особливу увагу привертають напівпровідникові наночастинок CdS, які завдяки їх флуоресцентним властивостям, високому рівню яскравості та стійкості до фотовицвітання часто використовують для флуоресцентного мічення білків, нуклеїнових кислот, а також у ролі біосенсорів [6]. Однак нещодавно було показано, що наявність в їх складі важкого металу Cd^{2+} , який характеризується токсичною дією на живі клітини та тканини [7], вимагає ретельної перевірки впливу різних концентрацій кадмієвмісних наночастинок на живі організми. Оскільки квантові точки CdS, отримані за допомогою хімічного синтезу, виявляють токсичність щодо живих клітин [7], доцільним є проведення порівняльних досліджень токсичної дії подібних наночастинок, отриманих за допомогою біологічного синтезу.

Метою дослідження було оцінити токсичність та генотоксичність квантових точок сульфід кадмію (CdS), синтезованих за допомогою біологічних матриць, а саме бактерії *Escherichia coli* та міцелію гриба *Pleurotus ostreatus*, на тваринній тест-системі з використанням *Drosophila melanogaster*. Особливості біологічного синтезу та фізико-хімічні характеристики квантових точок CdS, що були використані в дослідженні, детально описані нами в [8, 9]. Для перевірки токсичного впливу синтезованих наночастинок використовували маточні розчини, які містили 3,75 мг/мл квантових точок CdS, отриманих з використанням *P. ostreatus*, та 3,6 мг/мл квантових точок CdS, отриманих за допомогою *E. coli*. Вивчали вплив таких концентрацій наночастинок: *P. ostreatus*-CdS: 1,87 мг/мл (розведення 1 : 1); 1,25 мг/мл (1 : 2); 0,75 мг/мл (1 : 4); 0,42 мг/мл (1 : 8); *E. coli*-CdS: 1,8 мг/мл (розведення 1 : 1); 1,2 мг/мл (1 : 2); 0,72 мг/мл (1 : 4); 0,4 мг/мл (1 : 8).

Також для порівняльного аналізу використовували розчин CdS, який синтезувався в процесі хімічної реакції $CdSO_4 + Na_2S \rightarrow CdS + Na_2SO_4$ за аналогічних умов у бідистильованій воді без застосування біологічних матриць, концентрація якого становила 4 мг/мл. Як контроль використовували біологічні матриці (середовища для синтезу квантових точок), описані в [8, 9], які додавали до поживного середовища *D. melanogaster*.

З метою встановлення токсичності досліджуваних квантових точок та контрольних зразків визначали їх вплив на виживаність мух, час розвитку та плодючість (кількість отриманих особин імаго в F1 дрозофіл). Генотоксичність досліджуваних розчинів визначали у "wing spot" тесті [10]. Для цього схрещували самців лінії *Oregon R* з самками *mei-9 mei-41^{D5} /FM7c; mwh*. Аналізували морфологію волосків на крилах імаго F1, гетерозиготних за мутантним алелем (рис. 1). Для цього робили постійні препарати крил, після чого волоски міжжилкового простору вивчали під мікроскопом, оцінюючи кількість мутантних подій на крило. Для вирощування мух у "wing spot" тесті використовували 0,4 мг/мл наночастинок *E. coli*-CdS та 0,42 мг/мл *P. ostreatus*-CdS відповідно, оскільки така концентрація виявилася не токсичною *in vivo*.

Генотоксичний ефект оцінювали, порівнюючи кількість мутантних подій в досліджуваному та контрольному зразках. Як позитивний контроль використовували також радіоактивне опромінення в дозі 1000 мР/год, як негативний — стандартне середовище, до якого

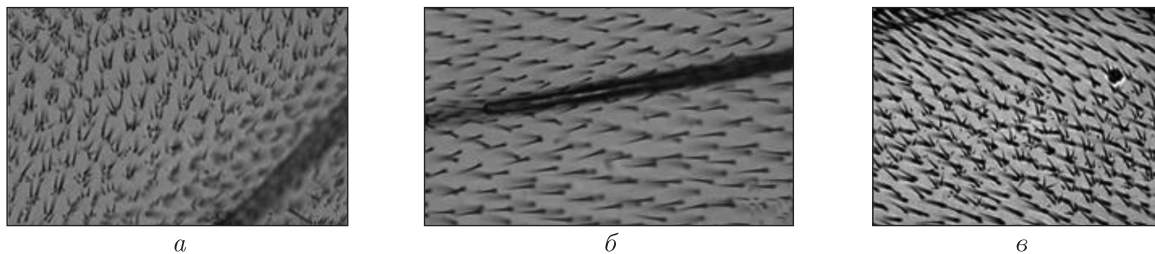


Рис. 1. Морфологія крила особин імаго *Drosophila melanogaster*: а — крило мухи лінії *mei-9 mei-41^{D5} / FM7c; mwh*; б — крило мухи лінії Oregon R(R); в — велика одиночна пляма на крилі мухи *mwh/+*

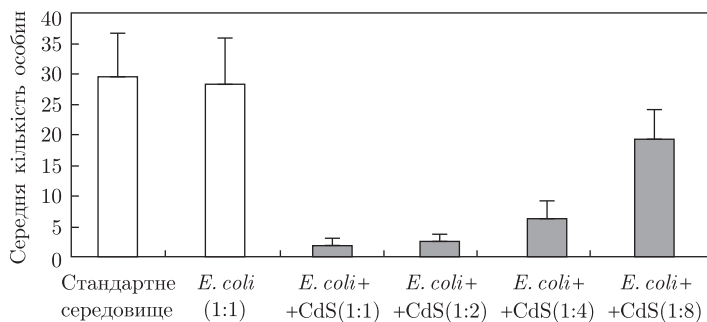


Рис. 2. Середня кількість особин імаго, вирощених на середовищах з додаванням та без додавання наночастинок CdS, отриманих за допомогою *Escherichia coli*

додавали біологічні матриці *P. ostreatus* або *E. coli* без наночастинок CdS, та стандартне середовище.

Статистичний аналіз проводили за методикою Кастенбаума та Боумена [11].

Згідно з результатами досліджень, в культурах мух, яких вирощували на середовищі з додаванням квантових точок CdS, синтезованих за допомогою *E. coli*, в концентраціях 1,8 та 1,2 мг/мл (розведення 1 : 1 та 1 : 2), виживаність особин була низькою і не досягала навіть 5 імаго, тоді як у контролі середня кількість мух, які вижили, знаходилась на рівні 27–30 особин (рис. 2). При використанні концентрації 0,4 мг/мл (розведення 1 : 8) було відмічено достовірне зниження токсичного ефекту квантових точок CdS. Зокрема, при додаванні зразків сульфиду кадмію у зазначеній концентрації кількість життєздатних мух становила 20 особин (див. рис. 2). Також для вказаних концентрацій зафіксовано різницю в часі появи перших особин імаго між дослідом і контролем, яка становила 10 діб, що є значною затримкою розвитку для дрозофіли, у якої в нормі весь життєвий цикл займає до двох тижнів при 25 °C [10]. Слід зауважити, що при вирощуванні мух на середовищі з додаванням отриманого за хімічною реакцією розчину CdS спостерігалася 100% загибель мух, що свідчить про надзвичайно високу токсичність сульфиду кадмію як солі.

При дослідженні токсичності квантових точок CdS, отриманих з використанням міцелію гриба *P. ostreatus*, при концентраціях розчину 1,87 (1 : 1) та 1,25 мг/мл (1 : 2) спостерігалася низька виживаність мух порівняно з контролем (рис. 3). Зокрема, рівень виживаності не перевищував у середньому 5 особин, тоді як у контрольних зразках рівень виживаності мух становив 28–30 особин. При використанні концентрації 0,42 мг/мл (1 : 8) наночастинок CdS їх токсичний ефект значно знижувався, а саме середня кількість життєздатних мух зростала до 20 особин.

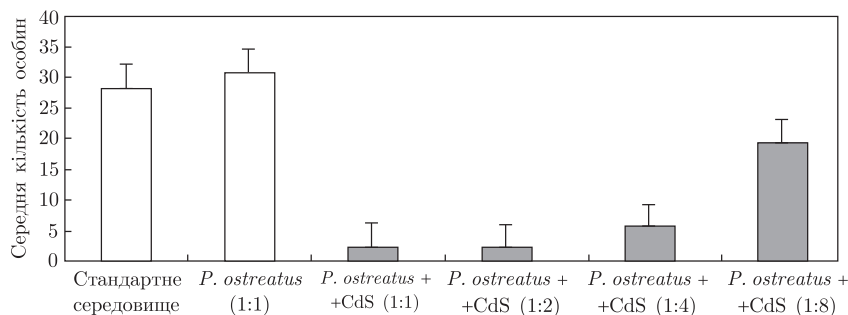


Рис. 3. Середня кількість особин імаго, вирощених на середовищах з додаванням та без додавання наночастинок CdS, отриманих за допомогою *Pleurotus ostreatus*. $M \pm m$

Описана вище пряма залежність між концентрацією наночастинок CdS та рівнем їх токсичності для тваринних об'єктів узгоджується з результатами інших досліджень по вивченню квантових точок CdS, отриманих хімічним шляхом [7, 12]. Зокрема, у роботі [7] показано, що сублетальними є концентрації 0,3–5 мкг/мл квантових точок CdS, які на декілька порядків нижчі тих, що були використані в нашому дослідженні, і обробка якими гемоцитів мідії *Mytilus galloprovincialis* призводила до продукції реактивних форм кисню, підвищення каталазної активності, пошкодження ДНК, зростання активності лізосомальної кислотої фосфатази тощо. Як і у нашому дослідженні, іонний Cd виявився більш токсичним для *M. galloprovincialis*, ніж безпосередньо квантові точки CdS.

Також описаний вище взаємозв'язок між концентрацією та рівнем токсичності квантових точок CdS підтверджується авторами роботи [12], які перевіряли генотоксичний ефект згаданих квантових точок на форелі райдужній *Oncorhynchus mykiss*. Однак, як і у випадку з *M. galloprovincialis*, істотний токсичний ефект спостерігався у разі використання квантових точок у концентраціях, значно нижчих, ніж у нашому дослідженні. Це може бути пов'язано як з високою резистентністю дрозофіли до токсичних впливів [13], так і з цитотоксичним ефектом наночастинок сульфиду кадмію, пов'язаних з вивільненням іонів Cd^{2+} , як стверджують дослідники, яке, у свою чергу, спричиняє руйнування структури ДНК, що є загальною рисою для багатьох розчинних генотоксинів. Однак при оцінці генотоксичності варто враховувати також структуру самої квантової точки [12]. Крім того, в іншій подібній роботі [14] показано токсичний вплив наночастинок (не квантових точок) CdS на клітини *E. coli* та HeLa. Обробка бактеріальних клітин кадмієвмісними наночастинами (2,5 мкг/мл) призводила до морфологічних змін та пошкодження поверхні клітин. Життєздатність клітин HeLa також значно знижувалася із зростанням концентрації вказаних наночастинок. Під час обробки наночастинами CdS в клітинах HeLa було виявлено змінену морфологію та зміни структури ядра у вигляді конденсованих і фрагментованих ядер. Автори роботи [14] також стверджують, що при обробці наночастинами CdS спостерігалася обернена кореляція між зниженням клітинної життєздатності та підвищеним рівнем активних форм кисню в клітинах, на підставі чого можна припустити, що саме оксидативний стрес є ключовим механізмом, за яким зазначені наночастинок можуть викликати токсичні реакції в клітинах [15].

У результаті оцінки генотоксичності досліджуваних зразків квантових точок нами не було виявлено статистично достовірних відхилень від негативного контролю (табл. 1), що вказує на відсутність генотоксичності у напівпровідникових наночастинок CdS, синтезованих за допомогою *E. coli* та *P. ostreatus*. Отриманий результат свідчить про те, що при

Таблиця 1. Частота виникнення *mwh* плям під дією біосинтезованих квантових точок CdS на личинки *D. melanogaster*

Варіант дослідю	Невеликі одиночні плями (1–2 клітини) ($m = 2$)			Великі одиночні плями (> 2 клітин) ($m = 5$)			Всього плям ($m = 5$)		
	<i>N</i>	<i>Fr</i>	<i>D</i>	<i>N</i>	<i>Fr</i>	<i>D</i>	<i>N</i>	<i>Fr</i>	<i>D</i>
Позитивний контроль	10	4,1	+	10	0,5	+	10	4,6	+
<i>E. coli</i> -CdS	50	0,36	–	50	0,02	–	50	0,38	–
<i>P. ostreatus</i> -CdS	50	0,46	–	50	0,04	–	50	0,5	–
Негативний контроль (<i>E. coli</i>)	100	0,28	–	100	0,01	–	100	0,41	–
Негативний контроль (<i>P. ostreatus</i>)	100	0,21	–	100	0,03	–	100	0,24	–

Примітка. Позитивний контроль — радіоактивне опромінення в дозі 1000 мР/год; негативний контроль — біологічні матриці *E. coli* чи *P. ostreatus* без наночастинок CdS.

N — кількість проаналізованих особин; *Fr* — частота мутантних клітин на крило; *D* — достовірність; *m* — коефіцієнт посилення, $P = 0,05$; (“+” — різниця достовірна, “–” — різниця недостовірна).

біологічному синтезі квантових точок спостерігається зниження токсичних властивостей кадмію, що узгоджується з даними [15].

Зокрема, автори роботи [15] також використовували *D. melanogaster* як модельний об’єкт для оцінки токсичного впливу кадмієвмісних частинок типу CdSe–ZnS при застосуванні різних полімерних оболонок навколо них. Вони дійшли висновку, що токсичність іонів Cd²⁺ істотно знижується за рахунок покриття поверхні наночастинок біомолекулами, що, у свою чергу, призводить до зниження біоаккумуляції квантових точок у досліджуваних живих організмах. Отже, отримані нами результати підтверджують зниження токсичного ефекту квантових точок CdS, яке спостерігається при зменшенні їх концентрацій *in vivo*, а також вказують на відсутність генотоксичного ефекту в досліджуваних концентраціях.

Таким чином, дослідження токсичного ефекту квантових точок CdS, отриманих за допомогою грибного міцелію *P. ostreatus* та бактерії *E. coli*, на класичному модельному організмі *D. melanogaster* показало, що концентрації CdS на рівні 0,4 мг/мл не впливають істотно на життєздатність мух та не мають генотоксичної дії. Однак при цьому треба брати до уваги, що дрозофіла є більш резистентним організмом порівняно з хребетними до різних токсичних впливів [13]. Одночасно необхідно відзначити, що нами були використані наночастинок, синтезовані з використанням біологічних матриць. Наявність навколо кадмієвмісних квантових точок специфічного покриття з біомолекул може відігравати важливу роль у зниженні рівня їхньої токсичності. Таким чином, отримані екологічним та зручним методом напівпровідникові наночастинок CdS мають широкі можливості застосування, як в експериментах *in vivo* на тваринних організмах, так і в певних галузях клітинної біології та біомедичних дослідженнях.

Дослідження виконане за підтримки проекту 3/28 “Розробка нанобіотехнологічних підходів отримання квантових точок сульфїду кадмію та дослідження їх біологічної активності” (2014–2015 рр.) відділення цільової підготовки Київського національного університету ім. Тараса Шевченка при НАН України.

Цитована література

1. Singh S., Singh Nalwa H. Nanotechnology and health safety – toxicity and risk assessments of nanostructured materials on human health // J. Nanosci. Nanotechnol. – 2007. – 7. – P. 3048–3070.
2. Gomes S. A. O., Vieira C. S., Almeida D. B., Santos-Mallet J. R., Menna-Barreto R. F. S., Cesar C. L., Feder D. CdTe and CdSe quantum dots cytotoxicity: a comparative study on microorganisms // Sensors. – 2011. – 11. – P. 11664–11678.

3. Zieziulewicz T. J., Unfricht D. W., Hadjout N., Lynes M. A., Lawrence D. A. Shrinking the biologic world – nanobiotechnologies for toxicology // *Toxicol. Sci.* – 2003. – **74**. – P. 235–244.
4. Hoshino A., Fujioka K., Oku T., Suga M., Sasaki Y., Ohta T., Yasuhara M., Suzuki K., Yamamoto K. Physicochemical properties and cellular toxicity of nanocrystal quantum dots depend on their surface modification // *Nano Lett.* – 2004. – **4**. – P. 2163–2169.
5. Fischer H. C., Chan W. C. Nanotoxicity: the growing need for in vivo study // *Curr. Opin. Biotechnol.* 2007. – **18**. – P. 565–571.
6. Jamieson T., Bakhshi R., Petrova D., Poccocka R., Imani M., Seifalian A. M. Biological applications of quantum dots // *Biomaterials.* – 2007. – **28**. – P. 4717–4732.
7. Katsumiti A., Gilliland D., Arostegui I., Cajaraville M. P. Cytotoxicity and cellular mechanisms involved in the toxicity of CdS quantum dots in hemocytes and gill cells of the mussel *Mytilus galloprovincialis* // *Aquat. Toxicol.* – 2014. – **153**. – P. 39–52.
8. Borovaya M., Pirko Ya., Krupodorova T., Naumenko A., Blume Ya., Yemets A. Biosynthesis of cadmium sulfide quantum dots using *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm // *Biotechnol. Biotec. Eq.* – 2015. – **29**, Iss. 6. – P. 1156–1163.
9. Борова М. М., Науменко А. П., Ємець А. І., Блум Я. Б. Стабільність квантових точок CdS, синтезованих за допомогою бактерії *Escherichia coli* // *Доп. НАН України.* – 2014. – № 7. – С. 145–151.
10. Ashburner M., Golic K., Hawley R. S. *Drosophila: A laboratory handbook.* – 2nd ed. – New York: CSHL Press, 2005. – 238 p.
11. Frei H., Würzler F. E. Statistical methods to decide whether mutagenicity test data from *Drosophila* assays indicate a positive, negative, or inconclusive result // *Mutat. Res.* – 1988. – **203**. – P. 297–308.
12. Munari M., Sturve J., Frenzilli G., Sandersd M. B., Brunelli A., Marcomini A., Nigro M., Lyons B. P. Genotoxic effects of CdS quantum dots and Ag₂S nanoparticles in fist cell lines (RTG – 2) // *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.* – 2014. – **775–776**. – P. 89–93.
13. Mitchell Ch. L., Yeager R. D., Johnson Z. J., D'Annunzio St. E., Vogel K. R., Werner T. Long-Term Resistance of *Drosophila melanogaster* to the Mushroom Toxin Alpha Amanitin // *PLoS ONE.* – 2015. – **10**, No 5. – e0127569. – doi: 10.1371/journal.pone.0127569.
14. Hossain S. T., Mukherjee S. K. Toxicity of cadmium sulfide (CdS) nanoparticles against *Escherichia coli* and *HeLa* cells // *J. Hazard. Mater.* – 2013. – **260**. – P. 1073–1082.
15. Galeone A., Vecchio G., Malvindi M. A., Brunetti V., Cingolani R., Pompa P. P. In vivo assessment of CdSe-ZnS quantum dots: coating dependent bioaccumulation and genotoxicity // *Nanoscale.* – 2012. – **5**. – P. 6401–6407.

References

1. Singh S., Singh Nahwa H. J. *Nanosci. Nanotechnol.*, 2007, **7**: 3048 – 3070.
2. Gomes S. A. O., Vieira C. S., Almeida D. B., Santos-Mallet J. R., Menna-Barreto R. F. S., Cesar C. L., Feder D. *Sensors* 2011, **11**: 11664–11678.
3. Zieziulewicz T. J., Unfricht D. W., Hadjout N., Lynes M. A., Lawrence D. A. *Toxicol. Sci.*, 2003, **74**: 235–244.
4. Hoshino A., Fujioka K., Oku T., Suga M., Sasaki Y., Ohta T., Yasuhara M., Suzuki K., Yamamoto K. *Nano Lett.*, 2004, **4**: 2163–2169.
5. Fischer H. C., Chan W. C. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 2007, **18**: 565–571.
6. Jamieson T., Bakhshi R., Petrova D., Poccocka R., Imani M., Seifalian A. M. *Biomaterials*, 2007, **28**: 4717–4732.
7. Katsumiti A., Gilliland D., Arostegui I., Cajaraville M. P. *Aquat. Toxicol.*, 2014, **153**: 39–52.
8. Borovaya M., Pirko Ya., Krupodorova T., Naumenko A., Blume Ya., Yemets A. *Biotechnol. Biotec. Eq.*, 2015, **29**, Iss. 6: 1156–1163.
9. Borovaya M. N., Naumenko A. P., Yemets A. I., Blume Ya. B. *Dop. NAN Ukraine*, 2014, No 7: 145–151 (in Ukrainian).
10. Ashburner M., Golic K., Hawley R. S. *Drosophila: A laboratory handbook*, 2nd ed., New York: CSHL Press, 2005.
11. Frei H., Würzler F. E. *Mutat. Res.*, 1988, **203**: 297–308.

12. Munari M., Sturve J., Frenzilli G., Sandersd M. B., Brunelli A., Marcomini A., Nigro M., Lyons B. P. *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.*, 2014, **775–776**: 89–93.
13. Mitchell Ch. L., Yeager R. D., Johnson Z. J., D'Annunzio St. E., Vogel K. R., Werner T. *PLoS ONE*, 2015, **10**, No 5: e0127569, doi:10.1371/journal.pone.0127569.
14. Hossain S. T., Mukherjee S. K. J. *Hazard. Mater.*, 2013, **260**: 1073–1082.
15. Galeone A., Vecchio G., Malvindi M. A., Brunetti V., Cingolani R., Pompa P. P. *Nanoscale*, 2012, **5**: 6401–6407.

Надійшло до редакції 30.10.2015

А. В. Проценко¹, О. А. Дудка¹, И. А. Козерецкая¹, М. В. Иномистова¹,
М. Н. Боровая², Я. В. Пирко², А. Н. Толстанова¹, Л. И. Остапченко¹,
член-корреспондент НАН Украины А. И. Емец²

¹УНЦ “Институт биологии” Киевского национального университета им. Тараса Шевченко

²ГУ “Институт пищевой биотехнологии и геномики НАН Украины”, Киев

E-mail: marie0589@gmail.com

Оценка токсичности и генотоксичности квантовых точек CdS, синтезированных с помощью биологических матриц

Оценена способность квантовых точек CdS, полученных методом биологического синтеза, вызывать токсический и генотоксический эффекты у модельного организма *Drosophila melanogaster*. Установлено, что квантовые точки CdS, полученные с помощью грибной (*Pleurotus ostreatus*) и бактериальной (*Escherichia coli*) матриц, проявляют умеренный токсический эффект, однако он достоверно ниже, чем при обработке ионным Cd (соль CdS). Наночастицы CdS не оказывают генотоксического влияния на *D. melanogaster* в исследованных концентрациях.

Ключевые слова: квантовые точки CdS, токсичность, генотоксичность, *Drosophila melanogaster*.

О. V. Protsenko¹, О. А. Dudka¹, I. A. Kozeretskaya¹, M. V. Inomystova¹,
M. N. Borovaya², Ya. V. Pirko², A. N. Tolstanova¹, L. I. Ostapchenko¹,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine A. I. Yemets²

¹ESC “Institute of Biology”, Taras Shevchenko National University of Kiev

²Institute of Food Biotechnology and Genomics of the NAS of Ukraine, Kiev

E-mail: marie0589@gmail.com

Estimation of toxicity and genotoxicity of CdS quantum dots synthesized with the help of biological matrices

The ability of CdS quantum dots obtained by biological synthesis to cause the toxic and genotoxic effects on a model organism *Drosophila melanogaster* is evaluated. It has been demonstrated that CdS quantum dots synthesized by fungal *Pleurotus ostreatus* and bacterial *Escherichia coli* matrices exhibit the moderate toxic effect, but it is significantly lower than such effect of ionic Cd (CdS salt). CdS nanoparticles in tested concentrations do not possess the genotoxic or mutagenic effects on *D. melanogaster*.

Keywords: CdS quantum dots, toxicity, genotoxicity, *Drosophila melanogaster*.