

Biosyntéza kvantových teček

Alexandra Donovalová^a, Markéta Komínková^a, Ondřej Zítka^{a,b}, René Kizek^{a,b}

^a Ústav chemie a biochemie, Agronomická fakulta, Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika

^b Středoevropský technologický institut, Vysoké učení technické v Brně, Technická 10, 616 00 Brno, Česká republika

Biosynthesis of quantum dots

Nanoparticles are used in a wide range of disciplines due to their properties. The most common preparation is by physical and chemical synthesis, which uses a toxic chemicals that are not environmentally friendly and also limits the potential of the nanoparticles in their clinical applications. It is because of the negative properties of nanoparticles prepared by classical synthesis that a new type of synthesis comes to the fore. This is made possible by the ability of organisms to biosynthesize the nanoparticles either in the body or in the environment. Ability of the biosynthesis was demonstrated in a variety of microorganisms, but also in arthropods or even in mammals. Biosynthesis ability of organisms can be used both for the preparation of nanoparticles and for the reduction of contamination, since the raw materials for the synthesis are obtained from the environment. Biosynthesis by microorganisms could be a suitable alternative to conventional synthesis of quantum dots, mainly due to their low demands on the feedstock and the resulting biocompatibility of nanoparticles.

Přijato k publikování: 12. 3. 2014

Klíčová slova: biosyntéza, CdTe, *Escherichia coli* (*E. coli*), kvantové tečky, kvasinky, toxicita, žízala

Úvod

Nanočástice jsou vzhledem ke svým vlastnostem a možností využití nejvyhledávanější v mnoha oblastech, především v optice, elektronice, zemědělství, životním prostředí a v medicíně. Jsou přibližně 1 – 100 nm velké. Nanočástice mohou být syntetizovány pomocí fyzikálních, chemických a biologických procesů. Mohou mít tvar koule, trojúhelníku, šestiúhelníku, tyčinek, drátů nebo trubek. Při fyzikální a chemické syntéze nanočástic se používají toxické a chemické látky, které nejen že zatěžují životní prostředí, ale také omezují jejich klinickou aplikaci¹. Je dobře známo, že elektronické, katalytické a optické vlastnosti nanočástic jsou do značné míry ovlivňovány jejich velikostí, tvarem a strukturou². Novým směrem pro syntézu nanočástic je biosyntéza, díky které vznikají nanočástice s vysokou biokompatibilitou. Další výhodou je možnost využití organismu v remediacích. Pro biosyntézu se využívá mnoho živočišných organismů. Právě biosyntéza je v současné době velmi diskutovaným tématem.

Kvantové tečky

Kvantové tečky (QDs) jsou nanočástice z polovodičových materiálů, které se skládají ze stovek až několika tisíc atomů. Vyznačují se fluorescenčními vlastnostmi, jejich excitační a emisní spektrum je dáno jejich veli-

ností. Jejich všestranné využití lze uplatnit při mnoha příležitostech. Velký potenciál zaznamenávají QDs v zobrazovacích technikách v medicínských oborech³. Toxicita kvantových teček je u různých organismů rozdílná. Např. u améb (měňavek) nebyl detekován žádný vliv na růst buněk a QDs neměly žádný toxický účinek na buněčnou signalizaci a motilitu buněk; u rostlin se zjistilo, že poměr snížení hladiny glutathionu (GSH) vzhledem k oxidovanému glutathionu (GSSG) ukazuje, že kvantové tečky způsobují oxidativní stres; u zvířat mohou kvantové tečky ohrozit nejen mitochondrie, ale i vývoj endotelálních buněk a mohou vést až k apoptóze⁴. Absorpce, distribuce, metabolismus, vylučování a toxicita kvantových teček závisí na řadě faktorů odvozených z fyzikálně-chemických vlastností a podmínek životního prostředí, koncentrace, náboje, velikosti kvantových teček, mechanické stability a v neposlední řadě i na jejich složení⁵. CdTe kvantové tečky jsou jedny z nejvíce syntetizovaných a jsou široce využívány v průmyslových a biomedicínských aplikacích díky jejich fotoluminescenci ve viditelné části spektra. Ukázaly se jako slibné při zobrazování v živých buňkách. CdTe kvantové tečky emitují v zelené oblasti viditelného spektra. Mají mnoho výhod jako je dobrá fotostabilita, dostatečné kvantové výtěžky⁶.

Biosyntéza

Biosyntéza je jednou z nových možností pro syntézu nanočástic. Mezi její hlavní výhody patří biokompatibilita a schopnost získání surovin z půdního prostředí. Biologické systémy nabízejí jedinečné a slibné nanomateriály, které mají předem určené vlastnosti. Na rozdíl od fyzikální či chemické syntézy je biosyntéza šetrná k životnímu prostředí⁷. Biosyntéza nanočástic může být spuštěna několika sloučeninami, jako jsou karbonylové skupiny, terpenoidy, fenoly, aminy, amidy, bílkoviny, barviva, alkaloidy a jiná redukční činidla přítomná v biologických extraktech⁸. Mezi organismy, které jsou schopny syntetizovat kvantové tečky, patří například bakterie (*Escherichia coli*, *Rhodobacter sphaeroides*, *Klebsiella pneumoniae*), kvasinky (*Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodospiridium diobovatum*), houby (*Fusarium oxysporum*) nebo žížaly (*Lumbricus rubellus*, *Eisenia fetida*)^{9,10,8}. Ačkoli organismy byly vytvořeny různé varianty kvantových teček (ZnS, PdS, CdS a CdSe) mezi nejvíce syntetizované patří CdTe kvantové tečky⁶. Mikrobiální syntéza může účinně vyřešit problém s toxicitou a nespecifickými problémy syntézy kvantových teček, které nemohou být dále ignorovány a tento proces je obnáší. Mikrobiální syntéza přináší také několik problémů, které stále nejsou vyřešené. Jsou to například problémy s kontrolou velikostí a tvarů kvantových teček, zvýšení syntézy⁶.

Biosyntéza CdTe kvantových teček pomocí kvasinek

Pro tuto biosyntézu se mohou použít například kvasinky *Saccharomyces cerevisiae*. Tyto kvasinky jsou schopny jednoduše a efektivně syntetizovat vysoce fluorescenční CdTe kvantové tečky s jednotnou velikostí (2,0–3,6 nm)⁶. Buňky *Saccharomyces cerevisiae* jsou velmi propracovaný mini-stroj, ve kterém řídí buněčné chování tisíce biochemických reakcí. Rychle a přesně reagují na měnící se prostředí. Syntéza kvantových teček vyžaduje, aby dané látky byly v příslušných valenčních stavech, a musí reagovat navzájem na správném místě a ve vhodnou dobu. Tato biosyntéza má vysoký výtěžek (téměř 90 %). CdTe kvantové

tečky mohou být z kvasinek snadno odebrané a emitují ve vlnové délce 490–560 nm s relativně vysokou fotoluminescencí. Mají vysokou stabilitu, biokompatibilitu, a jsou přirozeně uzavřeny s proteiny v biosystému⁶.

Biosyntéza CdTe kvantových teček pomocí *Escherichia coli* (*E. coli*)

Bakterie jsou nejrozšířenější mikroorganismy na Zemi. Jsou to prokaryotické buňky rozdílné velikosti, tvaru a způsobu získávání energie. Žijí ve všech přírodních podmínkách¹¹. *Escherichia coli* je gramnegativní všudypřítomná bakterie, která se velmi často využívá jako modelový organismus při biologických studiích, zejména v molekulární biologii. Většina kmenů *E. coli* je neškodných a mohou být snadno kultivovány za anaerobních nebo aerobních podmínek. *E. coli* se jeví jako ideální biofaktor pro biosyntézu CdTe kvantových teček¹². Studie prokázaly, že zatímco některé bakterie jsou schopny syntetizovat nanočástice uvnitř buňky, jiné je dokáží syntetizovat extracelulárně. Vlastnosti nanočástic (velikost, tvar) je možno ovlivnit změnou parametrů, jako je teplota, pH, koncentrace daných látek, měnící se inkubační doba. Tyto parametry mohou biosyntetickou reakci i urychlit, nebo naopak zpomalit. Pro získání intracelulárně biosyntetizovaných nanočástic je nutná řada extrakčních postupů jako jsou ultrazvukové rozrušení a reakce s vhodnými detergenty. Biosyntézu lze ovlivnit i genovou manipulací daných organismů. Bylo prokázáno, že biosyntéza pomocí *E. coli* je nejvýhodnější v porovnání s dosud testovanými organismy díky své finanční nenáročnosti a rychlosti biosyntetické reakce¹¹. Syntetizované kvantové tečky mají velmi dobré optické vlastnosti i biokompatibilitu⁶.

Biosyntéza CdTe kvantových teček pomocí hub

Houby jsou eukaryotické organismy, které žijí v širokém spektru přírodních stanovišť. Jsou to většinou dekompoziční organismy. Jsou výbornými kandidáty pro biosyntézu kvantových teček. Nejběžněji používaná houba je *Fusarium oxysporum*, která je schopna syntetizovat vysoce fluorescenční extracelulární CdTe kvantové tečky.

Výsledným produktem jsou kovové nanočástice o velikosti 20 – 50 nm¹¹. Proces biosyntézy využívá iontů Cd a Te ve velmi zředěné formě a umožňuje postupné vytvoření kvantových teček. Tyto kvantové tečky jsou biosyntetizovány proteiny, které vylučuje houba. Proteiny umožňují kvantovým tečkám stabilitu ve vodném roztoku tím, že brání jejich aglomeraci. Dále byla u těchto kvantových teček prokázána antibakteriální aktivita proti gramnegativním bakteriím^{13,14}.

Biosyntéza CdTe kvantových teček pomocí členovců

Žížaly se využívají jako ukazatelé kontaminace půdy. Jsou schopné provádět biosyntézu CdTe kvantových teček, které emitují v zelené oblasti viditelného spektra při excitaci v ultrafialové oblasti. Schopnost biosyntézy byla prokázána např. u žížal druhu *Lumbricus rubellus* nebo *Eisenia fetida*. CdTe kvantové tečky jsou pak izolovány ze stěny chloragogenous a je možné je plně využít například k zobrazování. Thioly na základě limitování látky reagují s prekurzory kadmia a jsou uvedeny jako základní jednotka na povrchu výsledné kvantové tečky. Využití těchto kvantových teček je například při remediaci, nebo při zobrazovacích metodách v medicínském oboru^{15,16}.

Závěr

Nanomateriály jsou v poslední době velmi využívány v mnoha odvětví průmyslu (optika, elektronika, zemědělství, medicína). Zejména o kvantové tečky je veliký zájem, díky jejich optickým vlastnostem. Syntéza kvantových teček může probíhat pomocí fyzikálních nebo chemických procesů a je značně toxická. Proto se v současné době začínají využívat pro syntézu živé organismy, jako jsou bakterie, kvasinky, houby či členovci.

Tato práce byla financována ze zdrojů CEITEC CZ.1.05/1.1.00/02.0068.

Literatura

- Mala J. G. S., Rose C.: Journal of Biotechnology, 170, 73 (2014).
- Nath D., Banerjee P.: Environmental Toxicology and Pharmacology, 36, 997 (2013).
- Alivisatos A. P.: Science, 271, 933 (1996).
- Valizadeh A., Mikaeili H., Samiei M., Farkhani S. M., Zarghami N., Kouhi M., Akbarzadeh A., Davaran S.: Nanoscale Research Letters, 7, (2012).
- Hardman R.: Environmental Health Perspectives, 114, 165 (2006).
- Bao H. F., Lu Z. S., Cui X. Q., Qiao Y., Guo J., Anderson J. M., Li C. M.: Acta Biomaterialia, 6, 3534 (2010).
- Dhillon G. S., Brar S. K., Kaur S., Verma M.: Critical Reviews in Biotechnology, 32, 49 (2012).
- Asmathunisha N., Kathiresan K.: Colloids and Surfaces B-Biointerfaces, 103, 283 (2013).
- Park T. J., Lee S. Y., Heo N. S., Seo T. S.: Angewandte Chemie-International Edition, 49, 7019 (2010).
- Kowshik M., Deshmukh N., Vogel W., Urban J., Kulkarni S. K., Paknikar K. M.: Biotechnology and Bioengineering, 78, 583 (2002).
- Quester K., Avalos-Borja M., Castro-Longoria E.: Micron, 54-55, 1 (2013).
- Monras J. P., Diaz V., Bravo D., Montes R. A., Chasteen T. G., Osorio-Roman I. O., Vasquez C. C., Perez-Donoso J. M.: Plos One, 7, (2012).
- Syed A., Ahmad A.: Colloids and Surfaces B-Biointerfaces, 97, 27 (2012).
- Syed A., Ahmad A.: Spectrochimica Acta Part a-Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 106, 41 (2013).
- Sturzenbaum S. R., Hockner M., Panneerselvam A., Levitt J., Bouillard J. S., Taniguchi S., Dailey L. A., Khanbeigi R. A., Rosca E. V., Thanou M., Suhling K., Zayats A. V., Green M.: Nature Nanotechnology, 8, 57 (2013).
- Maboeta M. S., Reinecke S. A., Reinecke A. J.: Environmental Research, 96, 95 (2004).



Článek je volně šiřitelný pod licencí Creative Commons (BY-NC-ND). Musí však být uveden autor a dokument nelze měnit a používat pro komerční účely.