

不同巯基试剂修饰的 CdTe 量子点与 BSA 相互作用研究

马金杰, 梁建功, 韩鹤友*

华中农业大学理学院, 农业微生物学国家重点实验室, 湖北 武汉 430070

摘要 修饰试剂对量子点的合成、性质具有重要的影响,但目前有关修饰试剂对量子点与蛋白质间相互作用的影响尚不清楚。采用紫外-可见吸收光谱、荧光光谱及红外光谱研究了3种巯基化合物(巯基乙酸, TGA; L-半胱氨酸, L-Cys; 还原型谷胱甘肽, GSH)修饰的 CdTe 量子点与牛血清白蛋白(BSA)的相互作用。通过 Stern-Volmer 方程对数据进行了分析,得到了不同 CdTe 量子点与 BSA 相互作用过程的 ΔH^θ , ΔG^θ 和 ΔS^θ , 并比较了 CdTe 量子点的不同修饰剂对 BSA 荧光猝灭的影响。研究结果表明,3种修饰剂包覆的 CdTe 量子点与 BSA 的相互作用均为静态猝灭过程,猝灭常数 $K_{SV}(L-Cys) > K_{SV}(TGA) \approx K_{SV}(GSH)$; TGA 和 L-Cys 修饰的 CdTe 量子点与 BSA 的结合力主要为疏水作用力,而 GSH 修饰的量子点与其结合力既有氢键作用力又有疏水作用力;这些结果说明量子点与 BSA 的作用过程与量子点表面修饰试剂的类型有关。

关键词 CdTe 量子点; 牛血清白蛋白; 表面修饰; 荧光猝灭法; 巯基化合物

中图分类号: O657.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)04-1039-05

引言

量子点作为一类光学标记探针已被广泛用于生物标记、细胞成像及医学诊断等多个方面^[1-4]。研究量子点与生物大分子的相互作用对于拓展量子点的应用范围具有十分重要的意义。尽管量子点与蛋白质、核酸等的相互作用研究已有文献报道^[5-11],本课题组也曾研究了不同尺寸的 CdTe 量子点与 BSA 的相互作用^[12],但有关量子点表面修饰试剂对相互作用的影响尚不清楚。

本论文在制备不同修饰试剂(分别为巯基乙酸: TGA; L-半胱氨酸: L-Cys; 还原型谷胱甘肽: GSH)包覆的水溶性 CdTe 量子点(分别表示为 CdTe^T, CdTe^L, CdTe^G)的基础上,采用光谱法研究了不同试剂修饰的量子点分别与牛血清白蛋白(BSA)的相互作用。比较了修饰试剂对 CdTe 量子点猝灭 BSA 荧光的猝灭常数、猝灭类型及两者之间相互作用力的影响,探讨了量子点与 BSA 的作用机理。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

Evolution300 型紫外-可见分光光度计(美国, Thermo Nicolet公司), LS-55 型荧光光谱仪(美国, Perkin-Elmer 公司), Modelavator330 型傅里叶变换红外光谱仪(美国, ThermoNicolet 公司), PHS-3C 精密酸度计(中国上海精密科学仪器有限公司)。

氯化镉、亚硝酸钠、氢氧化钠、硼氢化钠(化学纯,天津市化学试剂三厂);柠檬酸三钠(分析纯,上海试剂一厂);巯基乙酸、谷胱甘肽(还原型)、L-半胱氨酸(还原型)(国药集团化学试剂有限公司)、牛血清白蛋白(BSA, 罗氏公司);三羟甲基氨基甲烷-盐酸(Tris-HCl)缓冲溶液: pH 7.4。其他试剂均为分析纯,实验用水均为超纯水,高纯氮除氧。

1.2 量子点的制备、纯化及表征

参照文献报道的方法合成了不同表面修饰的水溶性 CdTe 量子点^[13-15]。具体过程如下:将氯化镉溶解在 250 mL 超纯水中,通入 N₂ 30 min 以后,加入一定量的巯基化合物,用 1 mol·L⁻¹ 的氢氧化钠将溶液的 pH 值调节至 11.0,迅速加入过量的柠檬酸钠和一定量的亚硝酸钠,溶解后加入过量的硼氢化钠还原,100 °C 下加热回流,控制反应时间,使所合成的 CdTe 量子点尺寸均为 3.0 nm。整个过程都在 N₂ 的保护下进行。在合成过程中, CdTe^G 的比例为 GSH :

收稿日期: 2009-04-08, 修订日期: 2009-07-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(20675034), 湖北省自然科学基金重点项目(2008CDA080), 武汉市学科带头人计划项目(200851430484)和武汉市青年科技晨光计划项目(200850731359)资助

作者简介: 马金杰, 1985 年生, 华中农业大学理学院硕士研究生

e-mail: majinjie2001@webmail.hzau.edu.cn

* 通讯联系人 e-mail: hyhan@mail.hzau.edu.cn

$Cd^{2+} : TeO_3^{2-} = 3 : 2.5 : 5$; $CdTe^L$ 的比例为 $L-Cys : Cd^{2+} : TeO_3^{2-} = 2 : 0.8 : 2$; $CdTe^T$ 的比例为 $TGA : Cd^{2+} : TeO_3^{2-} = 1 : 1 : 2$; 将反应后的溶液冷却至室温后用无水乙醇沉淀, 8 000 转/秒离心 3 min, 除去上层清液中过量的巯基化合物、 Cd^{2+} 、 TeO_3^{2-} 等杂质, 重复 3 次, 挥干乙醇后, 加入超纯水分散, 测定 3 种量子点的紫外-可见吸收光谱, 通过 CdTe 量子点的浓度与波长关系的公式计算其浓度^[16], 稀释使其浓度均为 $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 置于暗处, 4 °C 保存备用。

1.3 量子点与 BSA 相互作用研究

配制 $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 BSA 溶液, 每 400 μL BSA 溶液中分别加入不同浓度的 $CdTe^C$, $CdTe^L$, $CdTe^T$ 量子点 100 μL , 稀释后的量子点浓度范围为 $2 \times 10^{-9} \sim 10 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 荧光光谱测定条件: 扫描范围 275~450 nm; 激发波长 280 nm。

1.4 猝灭常数与猝灭速率常数的测定

蛋白质等荧光体与荧光猝灭剂分子间的相互作用可以用动态猝灭常数描述, 动态猝灭 Stern-Volmer 方程^[17]如下

$$F_0/F = 1 + [Q]K_{sv} = 1 + K_q\tau_0[Q]$$

其中, F_0 为没有猝灭剂(CdTe 量子点)存在下 BSA 的荧光强度; F 是有猝灭剂存在下 BSA 的荧光强度。 K_{sv} 为动态猝灭常数(即 Stern-Volmer 猝灭常数), 它描述了生物大分子与荧光猝灭剂分子彼此扩散和相互碰撞到达动态平衡时的量效关系; $[Q]$ 为 CdTe 量子点的浓度, K_q 为动态荧光猝灭速率常数, τ_0 为猝灭剂不存在时荧光分子的平均寿命, BSA 的

荧光平均寿命约为 10^{-8} s 。

1.5 热力学常数 ΔH^θ , ΔG^θ 和 ΔS^θ 的计算

吉布斯自由能的计算根据热力学方程 Van't-Hoff 方程测定

$$\Delta G^\theta = -RT \ln K^\theta$$

其中, R 指气体常数 $8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, T 为温度(单位 K), K^θ 指该温度下的平衡常数, 此参数在本文中代表静态猝灭参数。焓变和熵变可以通过以下方程获得: $\ln K_1^\theta / K_2^\theta = [1/T_1 - 1/T_2] \Delta G^\theta / R$, $\Delta G^\theta = \Delta H^\theta - T \Delta S^\theta$ 。

2 结果和讨论

2.1 修饰试剂对 CdTe 猝灭 BSA 荧光的影响

BSA 是内源性荧光蛋白, 其分子中的色氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸残基能够发射荧光, 当激发光波长为 280 nm 时, BSA 荧光发射峰位置在 350 nm 处。图 1 为在 298 K, $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ pH 7.4 的 Tris-HCl 缓冲溶液下, 不同浓度(a) $CdTe^C$, (b) $CdTe^L$, (c) $CdTe^T$ 量子点对 $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 BSA 溶液的荧光猝灭图和(d) 3 种量子点猝灭 BSA 的 Stern-Volmer 方程。随着量子点浓度的增加(1~11), BSA 的荧光发射峰强度逐渐降低, 当 QDs 的浓度增加到 $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 后 BSA 的荧光被完全猝灭, 表明 3 种巯基化合物修饰的 CdTe 量子点均能够与 BSA 发生相互作用, 进而猝灭 BSA 的荧光。

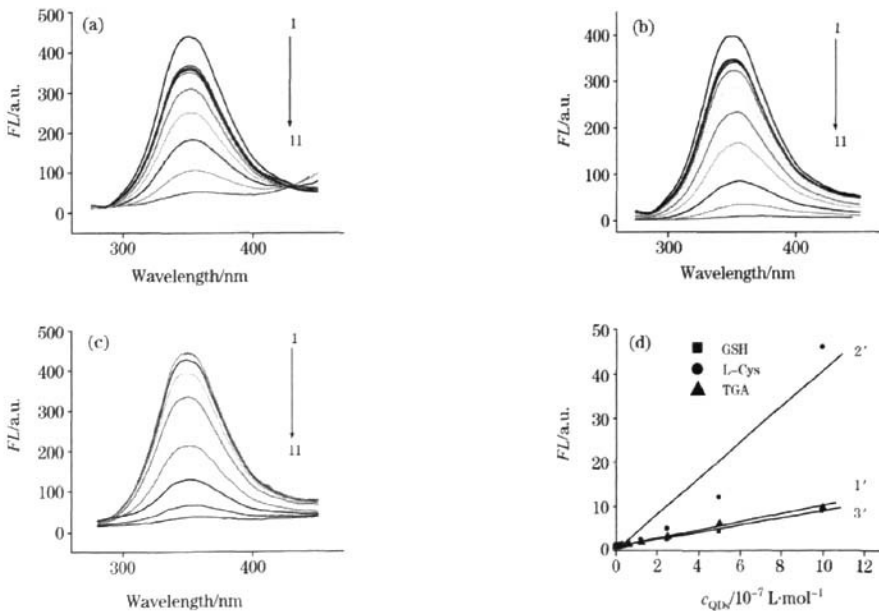


Fig. 1 Effect of $CdTe^C$, $CdTe^L$ and $CdTe^T$ QD concentration on the fluorescence spectrum of BSA

(a): $CdTe^C$; (b): $CdTe^L$; (c): $CdTe^T$; (d): Stern-Volmer equations of BSA interaction with CdTe QDs(1': $CdTe^C$; 2': $CdTe^L$; 3': $CdTe^T$).
 1: 0; 2: 0.02; 3: 0.04; 4: 0.08; 5: 0.16; 6: 0.32; 7: 0.64; 8: 1.25; 9: 2.5; 10: 5.0; 11: $10 \times 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

2.2 修饰试剂对 CdTe 与 BSA 相互作用猝灭类型的影响

Stern-Volmer 方程用于描述动态荧光猝灭过程。将 3 种 CdTe 量子点对 BSA 的荧光猝灭数据和 CdTe 量子点浓度 $c_{[QDs]}$ 作 Stern-Volmer 拟合, 由此获得动态猝灭常数 K_{SV} 相关的线性回归系数 r , 见表 1。

Table 1 Stern-Volmer equation of BSA interaction with CdTe QDs 298 K, 0.1 mol · L⁻¹ pH 7.4 Tris-HCl buffer, $c_{BSA} = 1.0 \times 10^{-6}$ mol · L⁻¹

QDs	线性回归方程	相关性
CdTe ^G	$F_0/F = 0.9778 + 0.7432c_{[QDs]}$	$r = 0.99342$
CdTe ^L	$F_0/F = -0.8038 + 4.1436c_{[QDs]}$	$r = 0.96212$
CdTe ^T	$F_0/F = 0.9131 + 0.9146c_{[QDs]}$	$r = 0.99121$

通过 Stern-Volmer 方程计算的 3 种修饰试剂修饰的 CdTe 量子点对 BSA 动态猝灭常数分别为 0.74×10^6 L · mol⁻¹ (CdTe^G), 4.14×10^6 L · mol⁻¹ (CdTe^L), 0.91×10^6 L · mol⁻¹ (CdTe^T); 除 CdTe^L 不能很好满足 Stern-Volmer 拟合外, 其他拟合的线性程度很高。

由方程 $K_{SV} = K_q \tau_0$ 得 3 种巯基化合物猝灭 BSA 的荧光猝灭速率常数分别为 7.4×10^{13} L · mol⁻¹ · s⁻¹ (CdTe^G), 4.1×10^{14} L · mol⁻¹ · s⁻¹ (CdTe^L), 9.1×10^{13} L · mol⁻¹ · s⁻¹ (CdTe^T), 其值远大于生物聚合物的扩散控制的 K_q 极值 (2.0×10^{10} L · mol⁻¹ · s⁻¹), 说明 CdTe^G, CdTe^L, CdTe^T 对 BSA 的猝灭都不是扩散控制的动态猝灭, 可以判断该过程主要为静态猝灭过程。

Table 2 Dynamic quenching constant (K_{SV}) for interaction of BSA with CdTe QDs

温度	$K_{SV} (\times 10^6 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1})$		
	298 K	306 K	313 K
CdTe ^G	0.743 21	0.673 7	0.680 32
CdTe ^L	4.143 67	4.743 51	6.420 31
CdTe ^T	0.914 56	0.944 5	0.941 96

不同温度下 CdTe^G, CdTe^L, CdTe^T 对 BSA 荧光猝灭的动态猝灭常数如表 2 所示。当温度从 298 K 增加到 313 K 时, 对 CdTe^G-BSA 和 CdTe^T-BSA 的 K_{SV} 值影响较小, 几乎没有什么变化, 但是 BSA-CdTe^L 的 K_{SV} 会随着温度的增加而显著增加。从 298 K 的 4.14×10^6 L · mol⁻¹ 增加到 313 K 的 6.42×10^6 L · mol⁻¹。

通过紫外-可见吸收光谱研究了 CdTe 量子点与 BSA 相互作用的作用机理。图 2 为 298 K, 0.1 mol · L⁻¹ pH 7.4 的 Tris-HCl 缓冲溶液中, 量子点和 BSA 的浓度 1:1 (1.0×10^{-6} mol · L⁻¹) 条件下的紫外光谱研究。3 种修饰试剂修饰的 CdTe 和 BSA 的紫外吸收比较相似, CdTe 量子点与 BSA 紫外吸收的加和值都要大于 BSA-CdTe 量子点复合物的紫外吸收, 同时 220 nm 处的紫外吸收降低了, 说明 BSA 和 CdTe 之间形成了复合物, 并且蛋白分子的结构发生了改变, 这也证明了 3 种量子点对 BSA 的荧光猝灭过程均为静态猝灭过

程。

采用红外光谱进一步研究不同修饰试剂修饰的 CdTe 量子点与 BSA 的作用机理。图 3 为 BSA(1), CdTe^G-BSA(2), CdTe^L-BSA(3) 和 CdTe^T-BSA(4) 固体粉末样品在室温下的红外光谱图。BSA 在 1 650 cm⁻¹ (酰氨 I 带) 和 1 540 cm⁻¹ (酰氨 II 带) 处出现 2 个吸收峰, 另外还有 3 个弱峰 (1 380 ~ 1 240 cm⁻¹)。

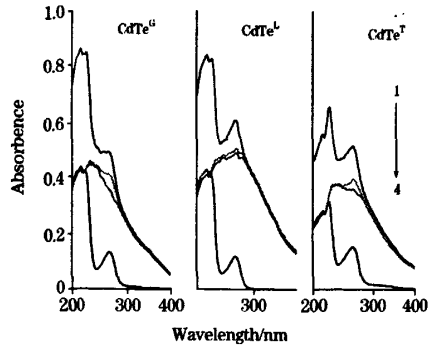


Fig. 2 UV-Vis spectra of interaction between CdTe^G, CdTe^L, CdTe^T and BSA

1: Sum of CdTe QDs and BSA; 2: CdTe QDs; 3: BSA-CdTe QDs; 4: BSA

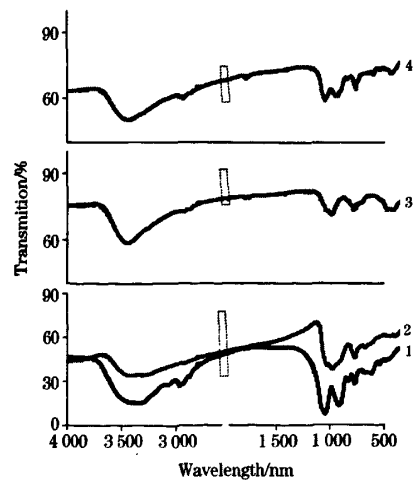


Fig. 3 Infrared spectra of interaction between CdTe^G, CdTe^L, CdTe^T and BSA

1: BSA; 2: CdTe^G-BSA; 3: CdTe^L-BSA; 4: CdTe^T-BSA

CdTe^G-BSA 出现 2 个较强吸收峰 (1 590, 1 380 cm⁻¹); CdTe^L-BSA 出现 3 个吸收峰 (1 590, 1 380, 1 080 cm⁻¹); CdTe^T-BSA 出现 4 个吸收峰 (1 650, 1 540, 1 380, 1 080 cm⁻¹)。结果表明, 除 CdTe^T-BSA 外, 其他 2 种量子点与 BSA 相互作用的红外谱图的峰位置相似, 在 1 650 cm⁻¹ 处的 C=O 吸收峰基本消失而在 1 590 cm⁻¹ 处形成了新的吸收峰。CdTe^L-BSA 样品的红外光谱在酰氨 I 带和酰氨 II 带的吸收峰都没有消失, 但是与 BSA 相比, 其在 1 240 cm⁻¹ 处的

弱峰消失而在 $1\ 080\ \text{cm}^{-1}$ 处形成新的吸收峰。可以看出 CdTe 量子点与 BSA 的混合谱图均有旧键的消失和新键形成, 因此形成了新的化合物, 即形成了 CdTe-BSA 量子点复合物。

通过猝灭常数 K_{sv} 、紫外光谱、红外光谱综合分析表明: 修饰试剂对猝灭的类型没有很大的影响, CdTe 与 BSA 相互作用既存在动态猝灭又存在静态猝灭, 以静态猝灭为主, 并且与量子点浓度表现为非线性相关。CdTe 与 BSA 形成了复合物, 3 种修饰试剂修饰的量子点都会对蛋白的二级结构产生影响。

Table 3 Thermodynamic parameters for interaction of BSA with CdTe QDs

量子点 [QDs]	温度 /K	ΔG° /(kJ·mol ⁻¹)	ΔH° /(kJ·mol ⁻¹)	ΔS° /(J·mol ⁻¹ ·K ⁻¹)
CdTe ^G	298	-33.50	-4.73	112.42
	306	-34.15		
	313	-34.95		
CdTe ^L	298	-37.75	22.32	126.61
	306	-39.11		
	313	-40.79		
CdTe ^T	298	-34.01	1.52	114.13
	306	-35.00		
	313	-35.80		

2.3 修饰试剂对 CdTe 与 BSA 相互作用力类型的影响

Ross 等根据大量的实验结果, 总结出了判断生物大分子与小分子结合力性质和生物大分子自身结合力性质的热力学规律, 即疏水作用力对体系的 ΔH° 和 ΔS° 产生正 V 的贡献, 氢键或者 Vander-Waals 力使 ΔH° 和 ΔS° 变负, 静电作用力使 $\Delta H^\circ \approx 0$, $\Delta S^\circ > 0$ ^[18]。表 3 为 BSA 与 CdTe 量子点相互作用的热力学参数。当温度从 298 K 增加到 313 K, BSA-CdTe^G, BSA-CdTe^L, BSA-CdTe^T 结合反应的吉布斯自由能 ΔG° 都小于 0, 说明结合反应都是自发进行的; 焓变 ΔS° 都

大于 0, 说明反应体系的无序程度都增加了, 但是三者的焓变并没有朝一个方向发生, 其中 BSA-CdTe^G 量子点复合物的焓变 ΔH° 小于 0, 而 BSA-CdTe^L, BSA-CdTe^T 量子点结合反应的 ΔH° 大于 0; 根据 Ross 总结的经验规律, 氢键或者 Vander-Waals 力、静电作用力对体系的 ΔH° 和 ΔS° 的贡献, 以及表面修饰试剂的结构特点可以判断: BSA-CdTe^G 量子点复合物之间的作用力主要为氢键和疏水作用力; 而 BSA-CdTe^L 和 BSA-CdTe^T 量子点之间的结合作用力主要为疏水作用力。

2.4 表面修饰与相互作用机理的探讨

BSA 分子是由 3 个同源结构域组成的心形蛋白, 每个结构域被 17 个二硫键分为 9 个循环^[19]。本试验中 CdTe^G, CdTe^L, CdTe^T 量子点的直径均约为 3.0 nm, 大小几乎相等, 其表面修饰试剂的结构特点分别为: TGA 为 1 个羧基, L-Cys 为 1 个羧基, 1 个氨基, GSH 为 3 个氨基, 2 个羧基, 猝灭基团数量关系为 GSH > L-Cys > TGA; 而修饰试剂 TGA, L-Cys, GSH 分子体积大小分别约为 6.6 nm³, 7.9 nm³, 19.0 nm³。量子点大小相同, 修饰试剂越大, 修饰分子数量越少, 即 CdTe^T > CdTe^L > CdTe^G。基于 CdTe 量子点对 BSA 的荧光猝灭关系为 CdTe^L > CdTe^T ≈ CdTe^G 的事实表明: L-Cys 同时具有氨基和羧基, 而且分子体积大小稍大于 TGA, 远小于 GSH, 因此 CdTe^L 对 BSA 的猝灭程度远大于 CdTe^T 和 CdTe^G, 说明了对 BSA 的荧光猝灭与猝灭基团多少和分子大小相关。

3 结论

本论文采用光谱法研究了修饰试剂对 CdTe 量子点与 BSA 相互作用的影响。结果发现 CdTe 量子点对 BSA 的荧光猝灭与表面修饰试剂猝灭基团多少和分子大小相关。本研究表明, 利用 CdTe 量子点表面修饰试剂的可控性, 可以设计特定的表面修饰试剂分子来研究量子点与生物大分子间的相互作用, 以获取特定的生物学信息。

参 考 文 献

- [1] Bruchez M J, Moronne M, Gin P, et al. Science, 1998, 281: 2013.
- [2] Jaiswal J K, Mattoussi H, Mauro J M, et al. Nature Biotechnology, 2003, 21(1): 47.
- [3] Zhang C Y, Yeh H C, Kuroki M T, et al. Nature Materials, 2005, 4(11): 826.
- [4] LI Rui, DAI Ben-cai, ZHAO Yong-de, et al(李锐, 代本才, 赵永德, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2009, 29(1): 240.
- [5] Shao L W, Dong C Q, Sang F M, et al. Journal of Fluorescence, 2009, 19(1): 151.
- [6] Wu Y L, He F, He X W, et al. Spectrochimica Acta Part A-Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2008, 71(4): 1199.
- [7] Xu Q, Wang J H, Wang Z, et al. Electrochemistry Communications, 2008, 10(9): 1337.
- [8] Idowu M, Lamprecht E, Nyokong T. Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry, 2008, 198(1): 7.
- [9] ZHANG Ai-mei, YAN Wei, WANG Huai-sheng(张爱梅, 闫炜, 王怀生). Chinese Journal of Analytical Chemistry(分析化学), 2008, 36(4): 444.
- [10] CHEN Qi-fan, WANG Wen-xing, GE Ying-xin, et al(陈启凡, 王文星, 葛颖新, 等). Chinese Journal of Analytical Chemistry(分析化学), 2007, 35(1): 135.
- [11] LI Rui, REN Hai-ping, SUN Yan-ting, et al(李锐, 任海平, 孙艳亭, 等). Chinese Journal of Analytical Chemistry(分析化学), 2006, 34(12): 1801.

- [12] Liang J G, Cheng Y P, Han H Y. *Journal of Molecular Structure*, 2008, 892(1-3): 116.
- [13] Bao H F, Wang E K, Dong S J. *Small*, 2006, 2(4): 476.
- [14] Rogach A L, Franzl T, Klar T A, et al. *Journal of Physical Chemistry C*, 2007, 111(40): 14628.
- [15] Jiang C, Xu S K, Yang D Z, et al. *Luminescence*, 2007, 22: 430.
- [16] Yu W W, Qu L H, Guo W Z, et al. *Chemistry of Materials*, 2003, 15(14): 2854.
- [17] Ross P D, Subramanian S. *Biochemistry*, 1981, 20(11): 3096.
- [18] ZHANG Bao-lin, WANG Wen-qing, BAI Feng-lian(张保林, 王文清, 白凤莲). *Chemical Journal of Chinese Universities(高等学校化学学报)*, 1994, 15(3): 373.
- [19] Peters T. *Advances in Protein Chemistry*, 1985, 37: 161.

Study on the Synchronous Interactions between Different Thiol-Capped CdTe Quantum Dots and BSA

MA Jin-jie, LIANG Jian-gong, HAN He-you*

State Key Laboratory of Agricultural Microbiology, College of Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract The modifier of quantum dots plays an important role in synthesis and nature of quantum dots, however the effect on the interaction between quantum dots and protein is not very clear until up to now. In the present paper, the interactions of CdTe quantum dots with bovine serum albumin (BSA) were studied by spectroscopy methods including ultraviolet-visible absorption spectrometry (UV-Vis), fluorescence spectrometry (FL) and infrared spectrometry (IR). The CdTe quantum dots were modified by three different thiol-complex including thioglycolic acid, L-cysteine and glutathione, i. e. thioglycolic acid capped CdTe quantum dots (CdTe^{T}), L-cysteine capped CdTe quantum dots (CdTe^{L}) and glutathione capped CdTe quantum dots (CdTe^{G}) respectively. The quenching constant K_{SV} and corresponding thermodynamic parameters, such as enthalpy change (ΔH^{θ}), entropy change (ΔS^{θ}), Gibbs free energy change (ΔG^{θ}), were calculated according to *Stern-Volmer* equations. The results showed that CdTe^{T} , CdTe^{L} and CdTe^{G} all have a strong ability of quenching the fluorescence of bovine serum albumin, and the interactions of the three types of thiol-capped CdTe quantum dots with BSA were static quenching process. The quenching constant of $K_{\text{SV}}(\text{TGA})$ is similar to $K_{\text{SV}}(\text{GSH})$, which is much less than $K_{\text{SV}}(\text{L-Cys})$. The binding forces of CdTe^{T} and CdTe^{L} with the BSA were the main contributions from hydrophobic force according to the thermodynamic parameters ($\Delta H^{\theta} > 0$, $\Delta S^{\theta} > 0$ and $\Delta G^{\theta} < 0$), while the binding forces of CdTe^{G} with BSA were composed of both hydrogen bonding force and hydrophobic force according to the thermodynamic parameters ($\Delta H^{\theta} < 0$, $\Delta S^{\theta} > 0$ and $\Delta G^{\theta} < 0$). It was found that different functional group and molecular volume size of thiol surface modified reagent played an important role in the interactions between CdTe QDs and BSA.

Keywords CdTe quantum dots; Bovine serum albumin; Surface modifier; Fluorescence quenching; Thiol-complex

(Received Apr. 8, 2009; accepted Jul. 12, 2009)

* Corresponding author

不同巯基试剂修饰的CdTe量子点与BSA相互作用研究

作者: [马金杰](#), [梁建功](#), [韩鹤友](#), [MA Jin-jie](#), [LIANG Jian-gong](#), [HAN He-you](#)
作者单位: [华中农业大学理学院, 农业微生物学国家重点实验室, 湖北, 武汉, 430070](#)
刊名: [光谱学与光谱分析](#) [ISTIC](#) [EI](#) [SCI](#) [PKU](#)
英文刊名: [SPECTROSCOPY AND SPECTRAL ANALYSIS](#)
年, 卷(期): 2010, 30(4)
被引用次数: 4次

参考文献(19条)

1. Bruchez M J;Moronne M;GinP [查看详情](#) 1998
2. Jaiswal J K;Mattoussi H;Mauro J M [查看详情](#) 2003(01)
3. Zhang C Y;Yeh H C;Kuroki M T [Single-quantum-dot-based DNA nanosensor](#)[外文期刊] 2005(11)
4. 李锐;代本才;赵永德 [光谱法在分子间非共价相互作用中的应用及进展](#)[期刊论文]-[光谱学与光谱分析](#) 2009(01)
5. Shao L W;Dong C Q;Sang F M [查看详情](#) 2009(01)
6. Wu Y L;He F;He X W [查看详情](#) 2008(04)
7. Xu Q;Wang J H;Wang Z [Design and synthesis of a new conjugated polyelectrolyte as a reversible pH sensor](#)[外文期刊] 2008(09)
8. Idowu M;Lamprecht E;Nyokong T [查看详情](#) 2008(01)
9. 张爱梅;闫炜;王怀生 [CdTe/CdS量子点-蛋白质与头孢曲松钠的相互作用](#)[期刊论文]-[分析化学](#) 2008(04)
10. 陈启凡;王文星;葛颖新 [半胱胺包被的碲化镉量子点的直接水相制备及其与DNA链接](#)[期刊论文]-[分析化学](#) 2007(01)
11. 李锐;任海平;孙艳亭 [小分子与生物大分子间非共价相互作用分析方法研究进展](#)[期刊论文]-[分析化学](#) 2006(12)
12. Liang J G;Cheng Y P;Han H Y [查看详情](#) 2008(1-3)
13. Bao H F;Wang E K;Dong S J [查看详情](#) 2006(04)
14. Rogach A L;Franzl T;Klar TA [查看详情](#) 2007(40)
15. Jiang C;Xu S K;Yang D Z [查看详情](#) 2007
16. Yu W W;Qu L H;Guo W Z [Experimental determination of the extinction coefficient of CdTe, CdSe, and CdS nanocrystals](#)[外文期刊] 2003(14)
17. Ross P D;Subramanian S [查看详情](#) 1981(11)
18. 张保林;王文清;白凤莲 [查看详情](#)[期刊论文]-[高等学校化学学报](#) 1994(03)
19. Peters T [查看详情](#)[外文期刊] 1985

本文读者也读过(4条)

1. 王绪炎, 梁建功, 马金杰, 陈姝含, 韩鹤友 [CdTe量子点-罗丹明6G荧光共振能量转移体系的构建及其应用研究](#)[期刊论文]-[高等学校化学学报](#)2010, 31(2)
2. 林章碧, 苏星光, 张皓, 牟颖, 孙晔, 胡海, 杨柏, 闫岗林, 罗贵民, 金钦汉 [用水溶液中合成的量子点作为生物荧光标记物的研究](#)[期刊论文]-[高等学校化学学报](#)2003, 24(2)
3. 徐万帮, 汪勇先, 许荣辉, 尹端沚, XU Wan-Bang, WANG Yong-Xian, XU Rong-Hui, YIN Duan-Zhi [II-VI型量子点的制备、修饰及其生物应用](#)[期刊论文]-[无机材料学报](#)2006, 21(5)
4. 王素梅, 蒋治良, 梁爱惠, WANG Su-mei, JIANG Zhi-liang, LIANG Ai-hui [CdTe量子点的光谱特性及其应用](#)[期刊论文]-[光谱学与光谱分析](#)2008, 28(9)

引证文献(4条)

1. 杨冬芝, 廉淑芹, 徐淑坤, 汤道权 CdSe量子点与Cu/Zn-SOD的相互作用研究[期刊论文]-光谱实验室 2011(1)
2. 刘丽炜, 李钰, 胡思怡, 陶海岩, 陈桂波, 谭欣, 张喜和 水溶性CdTe:Mn量子点的双光子吸收[期刊论文]-强激光与粒子束 2013(2)
3. 张文龙, 张俊生, 周丽平, 陈莉华 牛血清白蛋白修饰水溶性CdTe量子点及分析应用[期刊论文]-吉首大学学报(自然科学版) 2011(1)
4. 于冰, 肖国花, 丛海林, 王宗花, 刘小冕 量子点荧光探针在生物医学领域的研究进展[期刊论文]-化学与生物工程 2011(7)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_gpxygpfx201004039.aspx