



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103698526 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 02

(21) 申请号 201410014482. 6

(22) 申请日 2014. 01. 13

(71) 申请人 首都医科大学

地址 100069 北京市丰台区右安门外西头条
10 号

(72) 发明人 黄沛力 孙湖泊 王萌萌 王吉龙

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 王旭

(51) Int. Cl.

G01N 33/577(2006. 01)

G01N 33/533(2006. 01)

G01N 21/64(2006. 01)

权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

基于磁性分离和量子点标记的汞中毒快速检测方法
与试剂盒

(57) 摘要

本发明提供一种基于磁性分离和量子点(QDs) 标记的液体生物样品中汞的快速检测方法,所述方法包括:1) 制备抗汞单克隆抗体;2) 将所述抗汞单克隆抗体与纳米磁珠通过共价键偶联,制备抗汞免疫纳米磁珠;3) 向所述液体生物样品中加入双功能螯合剂、牛血清白蛋白(BSA) 和三乙胺(TEA),进行温育,之后加入所述抗汞免疫纳米磁珠充分混合,之后进行磁分离,向磁分离得到的沉淀物中加入生物素化的 BSA 抗体和链霉亲和素化的量子点(QDs),使用荧光酶标仪进行荧光检测。本发明还提供一种用于液体生物样品中汞的快速检测的试剂盒。

1. 用于液体生物样品中汞的快速检测的试剂盒,所述试剂盒包含:
抗汞免疫纳米磁珠,所述抗汞免疫纳米磁珠通过将抗汞单克隆抗体与纳米磁珠经由共价键偶联制备;
双功能螯合剂;
牛血清白蛋白 (BSA);
三乙胺 (TEA);
生物素化的 BSA 抗体;和
链霉亲和素化的 QDs。
2. 根据权利要求 1 所述的试剂盒,其中所述纳米磁珠是 Fe_3O_4 纳米磁珠。
3. 根据权利要求 1 所述的试剂盒,其中所述纳米磁珠的粒径为 280nm。
4. 根据权利要求 1 所述的试剂盒,其中所述双功能螯合剂是 p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA。
5. 根据权利要求 1 所述的试剂盒,其中所述液体生物样品选自尿液或血液。
6. 根据权利要求 1 所述的试剂盒,其中所述液体生物样品是尿液。
7. 根据权利要求 1 所述的试剂盒,其中所述抗汞单克隆抗体利用汞免疫抗原制备,所述汞免疫抗原通过在三乙胺 (TEA) 的存在下将汞、双功能螯合剂 (优选为 p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA) 和血蓝蛋白 (KLH) 混合来制备。
8. 根据权利要求 1 所述的试剂盒,其中用于所述 QDs 的激发波长 =488nm,并且用于所述 QDs 的发射波长 =585nm。
9. 基于磁性分离和量子点 (QDs) 标记的液体样品中汞的快速检测方法,所述方法包括:
 - 1) 制备抗汞单克隆抗体;
 - 2) 将所述抗汞单克隆抗体与纳米磁珠通过共价键偶联,制备抗汞免疫纳米磁珠;
 - 3) 向所述液体生物样品中加入双功能螯合剂 (优选为 p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA)、牛血清白蛋白 (BSA) 和三乙胺 (TEA),进行温育,之后加入所述抗汞免疫纳米磁珠充分混合,之后进行磁分离,向磁分离得到的沉淀物中加入生物素化的 BSA 抗体和链霉亲和素化的量子点 (QDs),使用荧光酶标仪进行荧光检测。
10. 根据权利要求 9 所述的方法,其中所述纳米磁珠是 Fe_3O_4 纳米磁珠,其粒径优选为 280nm。

基于磁性分离和量子点标记的汞中毒快速检测方法 with 试剂盒

技术领域

[0001] 本发明属于生物与新医药技术领域。具体地,本发明提供了一种基于磁性分离和量子点标记技术快速检测尿液中汞含量的方法以及一种用于快速检测尿液中汞含量的试剂盒。

背景技术

[0002] 汞 (Hg) 由于具有特殊的物理化学性质,其环境污染特征呈现持久性、迁移性、高毒性及生物蓄积性等四大显著特点,对人体的危害程度极大。然而,尽管汞的毒性很强,由于当前技术水平的限制,汞仍然被广泛应用于各种产品和工艺中,包括测压表、温度计、电气开关、补牙剂、电池和电石法制聚氯乙烯等。目前,人为汞污染源已广泛暴露,人类主要是通过饮食 (尤其是食用鱼类产品) 摄入甲基汞,通过补牙剂和职业环境的暴露摄入汞元素。与此同时,一些日用品 (如,化妆品) 中汞含量严重超标,进一步增加了汞中毒患者的数量。

[0003] 目前,医院主要通过检测患者尿液中汞的含量,判断病人是否汞中毒。尿汞的检测方法主要有冷原子吸收分光光度法 (AAS) 和原子荧光光谱法 (AFS),尽管这些方法成熟,结果可信度高,但是样品需要进行复杂的前处理,不适合快速检测和大量样品的筛选。

[0004] 免疫分析法是检测重金属离子的一种新方法,检测速度快、灵敏度高、选择性强,迄今为止,已经成功用于水中金属离子的检测。使用特异性的双功能螯合剂,可以螯合重金属离子并与载体蛋白偶联,形成完整的免疫原,通过杂交瘤细胞技术制备特异性单克隆抗体,将抗重金属的单克隆抗体连接到新型的 Fe_3O_4 磁性纳米颗粒表面,可以使 Fe_3O_4 磁性纳米颗粒具有靶向识别和磁性分离的双重功能,从而实现重金属的富集,提高检测灵敏度。

[0005] 量子点 (QDs),又称为半导体纳米微晶粒,是一种直径在 $1 \sim 100\text{nm}$ 能够接收激发光产生荧光的纳米颗粒。与传统的有机荧光染料相比,QDs 具有量子产率高,光化学稳定性高,不易光解等优良的光学特性。将量子点与抗体结合用于荧光免疫分析的报道越来越多,利用亲和素修饰量子点后,量子点可以很容易的与生物素化的抗体结合,为抗体和量子点提供了一种分子连接的桥梁,应用这种方法检测毒素,可以达到用有机染料进行标记的同样的检测限。

发明内容

[0006] 本发明应用杂交瘤细胞技术制备汞单克隆抗体 (HgMAb);活化的纳米磁珠和 QDs 分别与 HgMAb 和二抗相连,制备免疫纳米探针;利用免疫磁珠的可富集特性和 QDs 荧光信号的变化,以期建立多重信号协同放大、具有超高灵敏度的快速检测人尿液中 Hg 含量的新方法,具有重要的科学意义和极广阔的应用前景。

[0007] 技术问题:本发明的目的在于针对目前尚无的生物样品中重金属 Hg 的快速检测方法,建立一种利用免疫磁珠高效分离与 QDs 荧光信号的变化,快速检测尿液中 Hg 含量的分析方法。

[0008] 技术方案：本发明提供的基于磁性分离和量子点标记的汞中毒快速检测方法试剂盒包括如下步骤：

[0009] 1) Hg 免疫抗原合成：Hg、双功能螯合剂 [(R)-2-硫氰基-3-(4-氨基苯基)丙基]-(S-S) 环己烷-1,2 二乙三胺五乙酸 (p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA)、血蓝蛋白 (KLH) 按照一定比例，在三乙胺 (TEA) 存在下，25℃ 振荡反应 22h；使用 PBS 缓冲液洗涤反应产物，并通过超滤管 (30KD) 滤掉未反应的小分子物质；使用上述缓冲液稀释抗原，备用。

[0010] 2) Hg 检测抗原合成：将 Hg、p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA 与牛血清白蛋白 (BSA) 在 TEA 的作用下合成检测抗原。

[0011] 3) 抗 Hg 单克隆抗体 (HgMAb) 的制备与纯化：小鼠免疫后制备抗 Hg 杂交瘤细胞，然后大量制备腹水型 HgMAb，最后使用饱和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 沉淀法进行纯化抗体，使用 Sephacry S-300 进一步纯化抗体。

[0012] 4) 抗 Hg 免疫磁珠 (HgMAb- Fe_3O_4) 制备：将 HgMAb 与 Fe_3O_4 纳米磁珠偶联，制备抗汞免疫磁珠 (HgMAb- Fe_3O_4)。

[0013] 5) 检测方法的效果评价：分别通过标准曲线的线性范围，检出限，精密度，加标回收率实验以及与实际样品使用原子荧光分光光度计的检测结果对比，评价方法的准确性与可靠性。

[0014] 有益效果：在我国汞污染严重，建立简便、快速的汞中毒快速检测方法不但对中毒病人的诊断、救治具有重要的理论意义和应用价值，还将对提高我国公共卫生管理水平和公共卫生安全事件处置能力具有重要理论意义和现实意义。

[0015] 本发明根据荧光免疫的双抗体夹心原理，利用免疫磁珠分离速度快、效率高、操作简便等优点，结合 QDs 光化学稳定性高，不易光解等优良的光学特性，分别以免疫磁珠和 QDs 为载体连接 HgMAb 和二抗，使得快速、准确地检测生物样品中 Hg 的含量得以实现。

[0016] 本发明仅用 100 μ l 尿，十几微升的试剂，在少于 1h 的时间内即可实现对尿样中汞含量的测定。由于使用的仪器为荧光酶标仪，可以同时检测 96 个样品，成本低，省时高效。

[0017] 更具体地，本发明提供以下各项：

[0018] 1. 用于液体生物样品中汞的快速检测的试剂盒，所述试剂盒包含：

[0019] 抗汞免疫纳米磁珠，所述抗汞免疫纳米磁珠通过将抗汞单克隆抗体与纳米磁珠经由共价键偶联制备；

[0020] 双功能螯合剂；

[0021] 牛血清白蛋白 (BSA)；

[0022] 三乙胺 (TEA)；

[0023] 生物素化的 BSA 抗体；和

[0024] 链霉亲和素化的 QDs。

[0025] 2. 根据 1 所述的试剂盒，其中所述纳米磁珠是 Fe_3O_4 纳米磁珠。

[0026] 3. 根据 1 所述的试剂盒，其中所述纳米磁珠的粒径为 280nm。

[0027] 4. 根据 1 所述的试剂盒，其中所述双功能螯合剂是 p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA。

[0028] 5. 根据 1 所述的试剂盒，其中所述液体生物样品选自尿液或血液。

[0029] 6. 根据 1 所述的试剂盒，其中所述液体生物样品是尿液。

[0030] 7. 根据 1 所述的试剂盒，其中所述抗汞单克隆抗体利用汞免疫抗原制

备,所述汞免疫抗原通过在三乙胺 (TEA) 的存在下将汞、双功能螯合剂 (优选为 p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA) 和血蓝蛋白 (KLH) 混合来制备。

[0031] 8. 根据 1 所述的试剂盒,其中用于所述 QDs 的激发波长 =488nm,并且用于所述 QDs 的发射波长 =585nm。

[0032] 9. 基于磁性分离和量子点 (QDs) 标记的液体样品中汞的快速检测方法,所述方法包括:

[0033] 1) 制备抗汞单克隆抗体;

[0034] 2) 将所述抗汞单克隆抗体与纳米磁珠通过共价键偶联,制备抗汞免疫纳米磁珠;

[0035] 3) 向所述液体生物样品中加入双功能螯合剂 (优选为 p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA)、牛血清白蛋白 (BSA) 和三乙胺 (TEA),进行温育,之后加入所述抗汞免疫纳米磁珠充分混合,之后进行磁分离,向磁分离得到的沉淀物中加入生物素化的 BSA 抗体和链霉亲和素化的量子点 (QDs),使用荧光酶标仪进行荧光检测。

[0036] 10. 根据 9 所述的方法,其中所述纳米磁珠是 Fe_3O_4 纳米磁珠,其粒径优选为 280nm。

附图说明

[0037] 图 1 是本发明汞免疫抗原紫外光谱图,图 2 是本发明汞检测抗原紫外光谱图。从图中可以看出吸收峰发生偏移,说明抗原合成成功。

[0038] 图 3 是本发明小鼠血清抗汞效价图,图 4 是本发明小鼠血清抗汞特异性图。从图中可以看出,小鼠血清抗汞效价为 32000,抗汞的特异性为 32000,表明小鼠免疫成功。

[0039] 图 5 是本发明抗汞杂交瘤细胞培养液上清液效价图。从图中看出我们筛选出了一株抗汞特异性和效价均较高的细胞株。

[0040] 图 6 是本发明抗汞杂交瘤细胞腹水效价图。图 7 是本发明抗汞杂交瘤细胞腹水特异度图。从图中可以看出,小鼠杂交瘤细胞腹水抗汞效价和特异度均能达到 25600,说明腹水中存在特异性的抗汞抗体。

[0041] 图 8 是经纯化的抗汞单克隆抗体效价图。从图中可以看出,经纯化后的抗汞单克隆抗体效价较高。

[0042] 图 9 是纯化后抗汞单克隆抗体凝胶电泳图。从图中可以看出提取的抗体分子量为 25KDa 和 50KDa,没有异常条带,纯度较高。

[0043] 图 10 是纳米磁珠与单克隆抗体反应的示意图。

具体实施方式

[0044] 通过以下实施例进一步说明本发明,但本发明的权利要求不仅限于实施例。

[0045] 实施例 1

[0046] 1)Hg 免疫抗原合成:将 Hg(国家有色金属及电子材料分析测试中心,GSB04-1729-2004)、双功能螯合剂 [(R)-2-硫氰基-3-(4-氨基苯基)丙基]-(S-S) 环己烷-1,2 二乙三胺五乙酸 (p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA) (Macrocyclics,美国)、血蓝蛋白 (KLH) (Sigma,美国, H7017)、三乙胺 (TEA) 按照 Hg:p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA:KLH:TEA=9:12:20 0:13(W/W/W/W) 的比例,25℃ 振荡反应 22h;使用 PBS 缓冲液洗涤反应产物,并通过超滤管

(30KD) 滤掉未反应的小分子物质 ;使用 PBS 缓冲液稀释所获得的 Hg 免疫抗原。

[0047] 2)Hg 检测抗原合成 :将 Hg、p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA、牛血清白蛋白 (BSA) (Sigma,美国, A1933) 和 TEA 按照 Hg:p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA:BSA:TEA=9:12:200:13(W/W/W) 的比例合成检测抗原。免疫抗原和检测抗原的鉴定如图 1、2 所示。

[0048] 实施例 2

[0049] 抗 Hg 单克隆抗体 (HgMAb) 的制备与纯化 :

[0050] 将 1.0mg/ml 的 Hg 免疫抗原与等体积弗氏完全佐剂 (FCA),通过注射器双推法充分混匀,使其形成白色油包水乳状物,即抗原乳化剂。使用多点免疫法,免疫 6 周龄雌性 Balb/C 小鼠 (北京维通利华实验动物技术有限公司,211),每隔 2 周免疫 1 次,共免疫 5 次。在进行第 2、3、4 次免疫时,将 Hg 免疫抗原与等体积弗氏不完全佐剂 (FIA) 混合,以同样剂量加强免疫,第 5 次免疫时,仅用 Hg 免疫抗原而不加佐剂。小鼠免疫后小鼠血清的效价与特异性如图 3-4 所示。取抗血清效价最高的免疫小鼠制备脾细胞,按照参考文献 (Howard. G. C., Kaser. M. R. 的抗体制备与使用实验指南 [M]. 北京 :科学出版社,2010.) 将脾细胞与 SP2/0 小鼠骨髓瘤细胞 (南京凯基生物科技发展有限公司,KG075) 融合,筛选阳性杂交瘤细胞进行克隆,阳性率达到 100% 后将细胞扩大培养,结果如图 5 所示。将阳性细胞注射到小鼠腹腔,抽取腹水,评价腹水效价,结果如图 6、7 所示。腹水分别使用饱和 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 沉淀法和 Sephacry S-300 柱层析法纯化腹水中的 PbMAb。将纯化的抗体进行效价检测和凝胶电泳实验,结果分别如图 8 和 9 所示。

[0051] 实施例 3

[0052] 抗 Hg 免疫磁珠 (HgMAb- Fe_3O_4) 的制备 :因为纳米磁珠 (Dynabeads® M-280Tosylactivated, lifetechnologies, 美国, 14203) 背景值低,抗体与微珠表面共价连接,是使蛋白质复合物免疫沉淀的极佳选择。微珠磁性聚集温和而快速并且孵育耗时极短。因此纳米磁珠选用 Dynabeads® M-280Tosylactivated,其粒径为 280nm。抗 Hg 免疫磁珠合成步骤如下 :

[0053] (1) 取 165 μL 纳米磁珠,磁分离 1min,去除上清 ;

[0054] (2) 加入 100 μg 抗 Hg 单克隆抗体和 0.1M pH7.4 的磷酸缓冲液反应使体积变为 150 μL ,涡旋震荡 ;

[0055] (3) 加 100 μL 3M $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、0.1M pH7.4 的磷酸缓冲液涡旋震荡 ;

[0056] (4) 37℃ 摇动孵化 12-18h ;

[0057] (5) 磁分离 2min,去除上清 ;

[0058] (6) 移除磁铁,加入 1mL0.5%BSA0.01M pH7.4 的磷酸缓冲液,37℃ 摇动孵化 1h ;

[0059] (7) 磁分离 2min,去除上清 ;

[0060] (8) 移除磁铁,加入 1mL0.1%BSA0.01M pH7.4 的磷酸缓冲液,涡旋振荡 5-10s。

[0061] (9) 磁分离 2min,去除上清 ;

[0062] (10) 重复步骤 7-8 ;

[0063] (11) 用 240 μL 0.1%BSA0.01M pH7.4 的磷酸缓冲液重悬免疫磁珠。

[0064] 纳米磁珠与抗 Hg 单克隆抗体反应原理如图 10 所示。

[0065] 实施例 4

[0066] 基于磁性分离和量子点标记的汞中毒的快速检测方法 :

[0067] (1) 向 0.1mL 尿样中加入, $13 \mu\text{L}$ $110 \mu\text{g/mL}$ p-SCN-Bn-CHX-A " -DTPA, $1 \mu\text{L}$ 12.17mg/mL BSA 和 $1 \mu\text{L}$ $14.6 \times 10^{-4}\%$ TEA, 37°C 摇床反应 15min。

[0068] (2) 加入 $2 \mu\text{L}$ 抗 Hg 免疫磁珠反应 15min 后磁分离 2min。

[0069] (3) 加入 $4 \mu\text{L}$ 生物素化的 BSA 抗体 (abcam, 英国, ab7636) 和 $1 \mu\text{L}$ 1mM 的链霉亲和素化得量子点 (Qdot® 585Streptavidin Conjugate, lifetechnologies, 美国, Q10113MP), 37°C 摇床反应 15min 后磁分离 2min。

[0070] (4) 用荧光酶标仪进行结果检测 ($\text{Ex}=488\text{nm}$, $\text{Em}=585\text{nm}$)。

[0071] 标准曲线测定: 取健康人空白尿样 $100 \mu\text{L}$ 于 $200 \mu\text{L}$ 离心管中, 加入不同浓度的 Hg 配制成浓度分别为 1、10、100、500 和 1000ng/mL 的标准尿样。按本发明的快速检测方法处理, 以浓度 (C) 对吸光度 (OD) 进行线性回归, 计算标准曲线方程 $C=59.491\text{OD}-535.052$, $R=0.963$ 。该检测方法线性范围为 1– 1000ng/mL , 最低检出限为 1ng/mL 。

[0072] 加标回收率测定: 将 0.1mL 病人血样 (北京朝阳医院职业病与中毒医学中心) 分别加入 50ng Hg 然后将其按照快速检测方法处理后检测, 通过测得量与加入量的比值, 计算加标回收率。加标回收率为 94.70%—101.18%。

[0073] 精密度测定: 配制 Hg 低、中、高 3 种浓度的尿样, 按照本发明的快速检测方法处理, 进样测定。1 天内平行操作 5 次, 计算日内精密度。结果如表 1 所示。

[0074] 表 1: 尿样中汞含量测定精密度 ($n=5$)

	浓度(ng/mL)	RSD (%)
[0075]	1	7.56%
	100	2.76%
	1000	4.40%

[0076] 取病人尿样 (北京朝阳医院职业病与中毒医学中心) 按照本发明的快速检测方法进行检测与原子荧光法对照评价准确度, 两种方法的测定结果间差异无统计学意义, 显示建立的方法准确性可靠, 结果如表 2 所示。

[0077] 表 2: 两种检测方法对尿样中汞含量检测结果比较 (ng/mL)

编号	1	2	3	4	5	6	7
原子荧光法	56.4	379.8	276.2	30.1	231.9	927.2	111.8
本发明的检测方法	56.586	476.53	299.78	31.59	227.21	910.81	121.25

[0080] 检测方法特异性鉴定: 重金属单克隆抗体特异性以抗体交叉反应性表明: 按照反应条件测定得到的抗体和其他金属离子 Hg^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Bi^{2+} 、 Ni^{2+} , 是否反应或反应大小情况。将 Hg 连续浓度梯度稀释后, 与螯合剂 DTPA 反应 30min, 然后按照本发明的快速检测方法进行检测, 建立所有金属抑制标准曲线, 并计算半抑制率 (IC_{50}), 交叉反应率 (CR) 按公式计算得出: 交叉反应率 (CR) = $\text{IC}_{50}(\text{Pb}) / \text{IC}_{50}(\text{其它金属离子}) \times 100\%$ 用半数抑制 (IC_{50}) 来衡量抗体灵敏度, 半数抑制越低, 说明抗体的灵敏度越高; 也即 IC_{50} 的数值越小, 说明抗体的特异性能越强。表 3 显示本发明的抗铅单克隆抗体与其他金属离子交叉反应的结果, 从

表 3 中可以看出本发明的抗铅单克隆抗体与其他金属离子的交叉反应率较低。

[0081] 表 3 抗汞单克隆抗体与其他离子的交叉反应

[0082]	金属离子	IC ₅₀ (μg/mL)	CR (%)
	Hg ²⁺	1.317x10 ⁻³	100
	Pb ²⁺	0.228	0.578
	Mn ²⁺	0.475	0.028
	Bi ²⁺	0.331	0.039
	Ni ²⁺	0.484	0.027

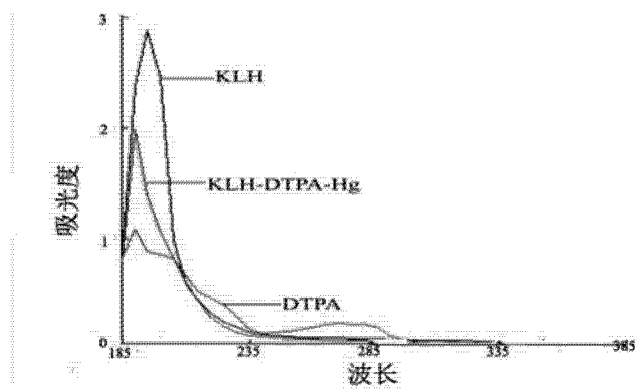


图 1

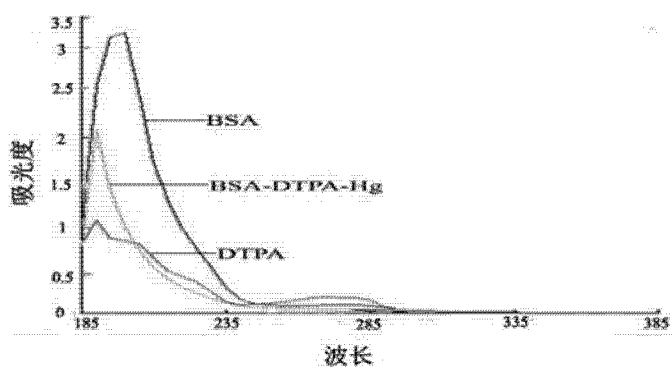


图 2

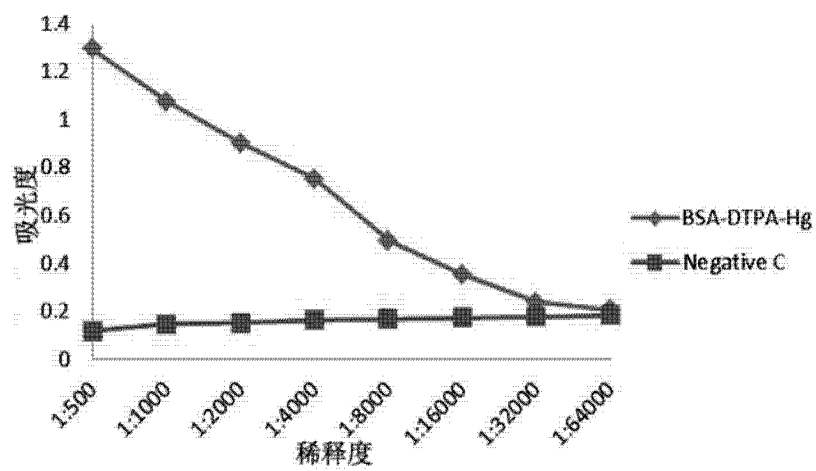


图 3

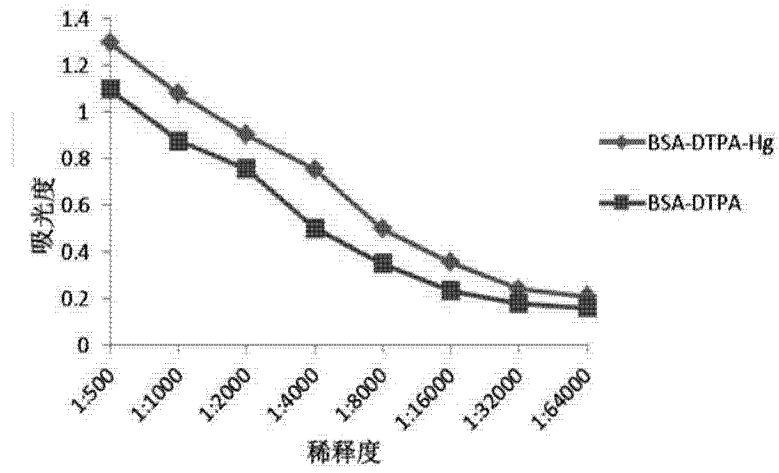


图 4

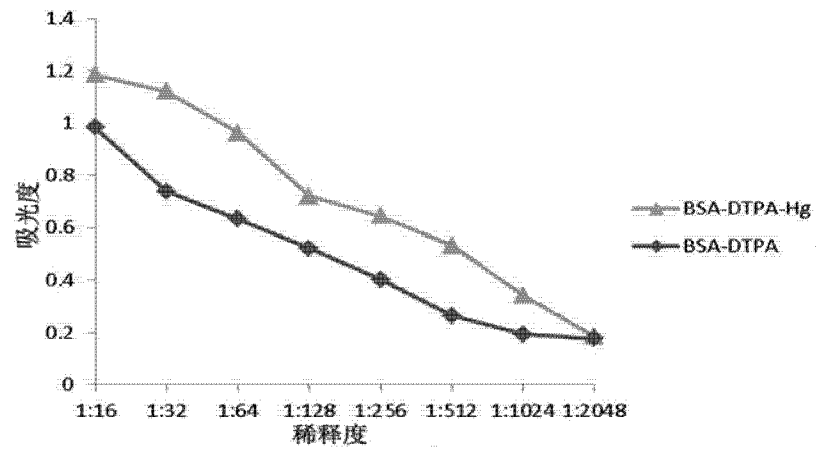


图 5

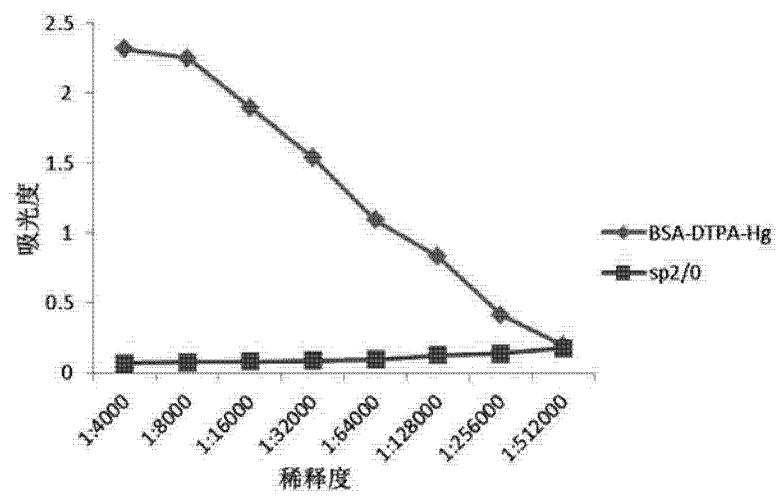


图 6

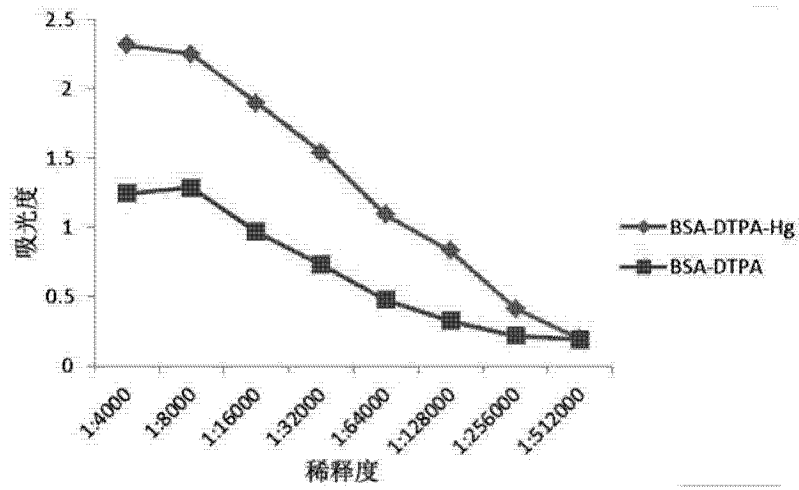


图 7

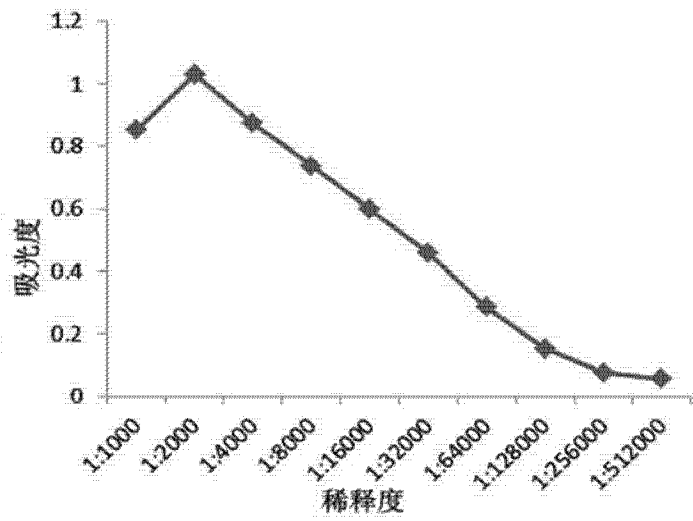


图 8

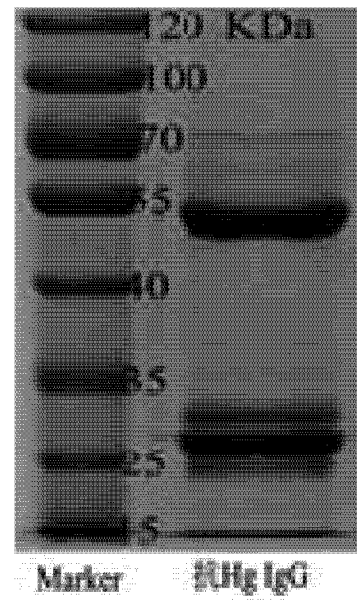


图 9

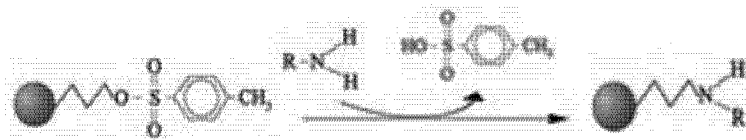


图 10

专利名称(译)	基于磁性分离和量子点标记的汞中毒快速检测方法与试剂盒		
公开(公告)号	CN103698526A	公开(公告)日	2014-04-02
申请号	CN201410014482.6	申请日	2014-01-13
[标]申请(专利权)人(译)	首都医科大学		
申请(专利权)人(译)	首都医科大学		
当前申请(专利权)人(译)	首都医科大学		
[标]发明人	黄沛力 孙湖泊 王萌萌 王吉龙		
发明人	黄沛力 孙湖泊 王萌萌 王吉龙		
IPC分类号	G01N33/577 G01N33/533 G01N21/64		
CPC分类号	G01N33/54326 G01N33/542		
代理人(译)	王旭		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本发明提供一种基于磁性分离和量子点(QDs)标记的液体生物样品中汞的快速检测方法，所述方法包括：1)制备抗汞单克隆抗体；2)将所述抗汞单克隆抗体与纳米磁珠通过共价键偶联，制备抗汞免疫纳米磁珠；3)向所述液体生物样品中加入双功能螯合剂、牛血清白蛋白(BSA)和三乙胺(TEA)，进行温育，之后加入所述抗汞免疫纳米磁珠充分混合，之后进行磁分离，向磁分离得到的沉淀物中加入生物素化的BSA抗体和链霉亲和素化的量子点(QDs)，使用荧光酶标仪进行荧光检测。本发明还提供一种用于液体生物样品中汞的快速检测的试剂盒。

