

基于量子点/抗体探针采用电化学方法 检测水中微囊藻毒素

李莹¹, 孙秀兰¹, 张银志^{*2}

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122)

摘要: 用量子点偶联微囊藻毒素抗体作为探针, 经过间接竞争反应之后, 通过方波溶出伏安法测定 Cd^{2+} 的浓度, 从而实现对水中微囊藻毒素含量的检测。分别对缓冲液 pH、浓度、沉积电位、沉积时间等因素进行优化。实验结果表明: Cd^{2+} 在 -0.768 V 左右会出现一个灵敏的溶出峰, 在最优实验条件下进行检测, 峰电流值与微囊藻毒素浓度的对数值在一定范围内呈良好的线性关系, 线性范围在 $0.1\sim 8\text{ }\mu\text{g/L}$ 之间, 线性方程为 $y=-196.66x+242.15$, 相关系数 $R^2=0.992\ 45$, 检出限为 $0.08\text{ }\mu\text{g/L}$, 加标回收率为 $91.0\%\sim 108.6\%$, 相对标准偏差为 $2.97\%\sim 6.98\%$ 。

关键词: 微囊藻毒素; 量子点; 镉离子; 方波溶出伏安法

中图分类号: X 82; O 661; TS 201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2017)02—0136—07

Determination of Microcystin in Water Using Electrochemical Method Based on Quantum Dot/Antibody Probe

LI Ying¹, SUN Xiulan¹, ZHANG Yinzh^{*2}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: With the probe of quantum dots coupled with microcystin antibody (QDs-Ab), the content of microcystin was determined by measuring cadmium ions released from QDs based on square wave stripping voltammetry after indirect competitive reaction. The electrochemical response was optimized with respect to pH, buffer concentration, deposition potential, deposition time and so on. Results showed that the sensitive stripping peak potential of cadmium ions was about -0.768 V . Under the optimal conditions, the peak current was linear with the logarithm of microcystin concentration in the range of $0.1\sim 8\text{ }\mu\text{g/L}$ and the equation of regression was $y=-196.66x+242.15$ ($R^2=0.994\ 8$) with a detection limit of 0.08×10^{-9} . The recovery of standard addition experiment was in the range of $91\%\sim 108.6\%$ with the relative standard deviation of $2.97\%\sim 6.98\%$.

Keywords: microcystin, quantum dots, cadmium ions, square wave stripping voltammetry (SWSV)

收稿日期: 2015-03-21

基金项目: 国家 973 计划项目 (2012CB720804); 国家自然科学基金委员会-广东省人民政府自然科学基金项目 (U1301214); 2010 年度公益性行业 (农业) 科研专项 (201003008-08)。

* 通信作者: 张银志 (1975—), 男, 陕西汉中, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测与分析。E-mail: yinzhizhang@jiangnan.edu.cn

引用本文: 李莹, 孙秀兰, 张银志. 基于量子点/抗体探针采用电化学方法检测水中微囊藻毒素[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(02): 136-142.

近年来,随着工农业的快速发展,水体富营养化程度日益加剧,使得藻类植物大量繁殖。藻细胞死亡后会向水中释放体内毒素,其中以微囊藻毒素(microcystin, MC)最为常见。大量研究表明,MC具有强烈的毒性,严重威胁动植物及人类的健康。WHO规定饮用水中微囊藻毒素(MC-LR)的含量不得超过 $1\text{ }\mu\text{g/L}$ ^[1-3]。但是由于MC化学性质较为稳定,具有耐高温、耐pH值变化、水溶性好等特点,使得MC很难被去除^[4],因此建立起快速有效的检测方法显得尤为重要。常见的ML检测方法有HPLC, LC-MS等,但因前处理复杂、仪器昂贵、操作复杂、耗时长等原因^[5-7],一定程度上限制了它们的应用推广。量子点(Quantum dots, QDs),是一类由II—VI族(如CdSe、CdTe、ZnSe、CdS等)或III—V族(如InAs、InP等)以及Si等元素组成的均一或核壳结构的纳米颗粒,是近年发展起来的一种新型纳米材料。它具有激发光谱宽、发射光谱窄、光稳定性好等众多优点,已经吸引越来越多研究者的注意^[8-9]。

本文中首先通过水相制备CdTe量子点,然后将其与微囊藻毒素抗体通过EDC偶联,经过间接竞争反应之后,用硝酸将量子点中的 Cd^{2+} 溶出,最终通过方波溶出伏安法(SWSV)对 Cd^{2+} 进行检测,从而实现微囊藻毒素的定量分析。该方法将抗原抗体特异性反应与电化学的便捷性相结合,具有灵敏度高、特异性强、快速方便等优点。

1 材料与方法

1.1 实验材料

碲粉(质量分数99.9%), $\text{CdCl}_2\cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$,硼氢化钠(质量分数>96%),1-(3-二甲氨基丙基)-3-乙基碳二亚胺盐酸盐(EDC),巯基乙酸,十二烷基磺酸钠,丙烯酰胺,N-N亚甲基双丙烯酰胺,TEMED,过硫酸铵,考马斯亮蓝R-250,甲醇,甘氨酸,浓硝酸等,购自国药集团化学试剂有限公司;所用试剂为分析纯,实验用水均为超纯水;缓冲溶液等,由实验室配制;微囊藻毒素标准品及抗原,购自Sigma公司,抗体为作者所在实验室免疫所得;洗涤液为含有体积分数0.05% Tween-20的PBS(pH 7.4),封闭液为含有3 g/dL BSA的PBS溶液。

1.2 仪器

CHI660D型电化学工作站,上海辰华仪器有限公司产品;三电极系统:玻碳电极为工作电极,铂丝

电极为对电极,饱和甘汞电极为参比电极;KQ-50E型超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司产品;Tecna G2F20s-TWIN型透射电镜,美国FEI公司产品;Tanon GLS-2010型凝胶成像仪,上海天能科技有限公司产品;PB-10/C型标准型PH计,上海精密仪器有限公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 量子点的制备及与抗体的偶联 称取120 mg 硼氢化钠,溶于5 mL超纯水中,在氮气的保护下快速加入40 mg 碲粉,常温磁力搅拌直至黑色碲粉完全溶解,反应液最终为无色(或粉红色)透明。称取0.145 g $\text{CdCl}_2\cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$,用超纯水溶解于三口烧瓶中,加入适量巯基乙酸(TGA)($\text{Cd}:\text{Te}:\text{TGA}=1:0.5:2.4$,摩尔比),用0.1 mol/L的NaOH调解溶液pH值至最佳,通氮气20 min左右,排出体系中的氧气,然后在氮气保护下迅速加入新鲜制备的碲氢化钠溶液,强力搅拌,100℃加热回流。将制备好的量子点避光冷却至室温,取出适量量子点,用甲醇进行离心纯化,以便去除未反应的物质^[10-11],将所得沉淀真空干燥过夜,干燥后用超纯水复溶。

取1 mL纯化后的量子点溶液,加入20 μL 的EDC(100 mmol/L),振荡10 min左右,加入适量微囊藻毒素抗体,37℃反应2 h。用100 kD的超滤离心管对样品进行离心纯化,去除未结合的量子点及其他杂质,将截留的QDs-Ab偶联物用超纯水复溶,4℃密闭保存备用^[12]。

1.3.2 裸电极的预处理 将玻碳电极分别用0.3 μm 和0.05 μm 的 Al_2O_3 打磨抛光,分别在乙醇和超纯水中超声2 min左右,然后在2.5 mmol/L HAuCl_4 溶液中于-0.2~0.6 V扫描至得到稳定的循环伏安图^[13]。

1.3.3 间接竞争法 将MC抗原用碳酸盐缓冲溶液稀释至0.25 $\mu\text{g/mL}$,每孔100 μL ,4℃过夜,取出板条,用洗涤液清洗后,每孔加入含质量浓度3 g/dL BSA的PBS溶液250 μL ,以封闭非特异性结合位点,37℃反应2 h,清洗后,每孔分别加入50 μL 不同质量浓度的MC标准品和50 μL QDs-Ab,37℃反应1 h后清洗^[14],然后每孔加入1 mol/L的 HNO_3 ,使得结合在孔板上的量子点中 Cd^{2+} 溶出,然后吸取20 μL 混合液加入到10 mL缓冲溶液中。

1.3.4 Cd^{2+} 的检测 在三电极体系下按照预先设定好的条件进行测试,因为氧气的存在会增加背景电

流,所以测试前先向缓冲液中通氮气 5 min 以除去溶液中的溶解氧^[15]。然后将电极浸入含有一定浓度 Cd^{2+} 的缓冲溶液中,适当搅拌,在一定电位下富集,沉积完成后,将溶液静置片刻,最后再扫描溶出。以溶出峰电流作为标准,控制变量,对检测条件进行优化。扫描范围: $-1.2 \sim -0.1$ V;测定条件:电位增量 0.004 V/s,方波频率 25 Hz,振幅 25 mV,平衡时间 10 s,清洗电位 0.3 V,清洗时间 60 s。所有测试均在室温下进行,实验原理如图 1 所示。

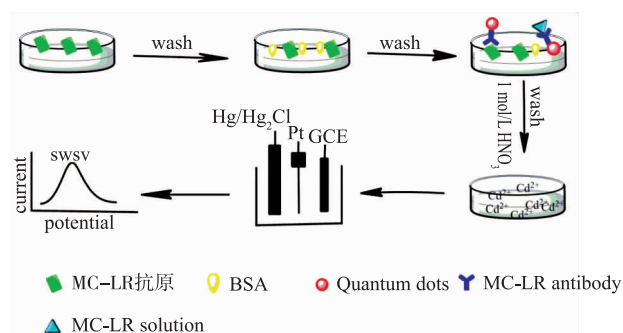


图 1 实验流程图

Fig. 1 Flow diagram of this experiment

2 结果与分析

2.1 量子点表征及偶联结果鉴定

通过 CdTe 量子点的透射电镜图(见图 2),可以看出,制备的量子点分散性良好,形状接近球形,粒径比较均一。

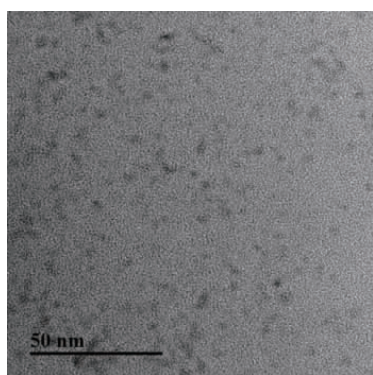


图 2 CdTe 量子点的 TEM 图

Fig. 2 TEM image of TGA capped CdTe QDs

对 QDs-Ab 偶联物进行 SDS-聚丙烯酰胺凝胶电泳,各道上样的样品及上样量分别是:1 泳道为 $10 \mu\text{L}$ 标准蛋白 Marker,2 泳道为 $10 \mu\text{L}$ 量子点,3 泳道为 $10 \mu\text{L}$ 微囊藻毒素抗体,4 泳道为 $10 \mu\text{L}$ QDs-Ab 偶联物,5 泳道为 $20 \mu\text{L}$ QDs-Ab 偶联物。

电泳结束后,用凝胶成像仪对其进行透射拍照^[16],获得图 3(a)。然后将凝胶在染色液中浸泡 15 min,再进行脱色处理,直到背景颜色完全脱掉为止,用成像仪对凝胶再次进行拍照,获得图 3(b)。

未标记的抗体(或 Marker)不会产生荧光,透射拍照也就不会产生亮带。而量子点有荧光,所以在紫外照射下会有条带,如图 3(a)所示,2、4、5 泳道都有亮光,并且 QDs-Ab 偶联物(4、5 泳道)亮光的强度会随着上样量的增加而增强。在考马斯亮蓝染色之后,图 3(b)所示,QDs(2 泳道)无条带,Marker,抗体及 QDs-Ab 均有明显的条带,两者结合表明 QDs 与 Ab 偶联成功。

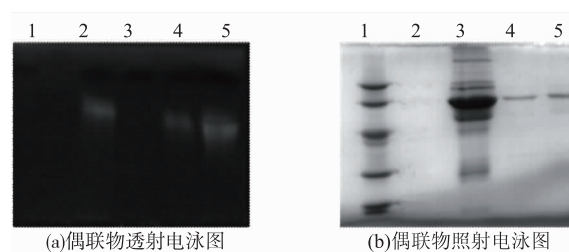


图 3 偶联物透射和照射电泳图

Fig. 3 Transmission electrophoresis and exposure electrophoresis of QDs-Ab conjugates

2.2 检测条件优化

2.2.1 差脉冲溶出伏安法与方波溶出伏安法对比 对金属离子的溶出分析分为两步,首先在一定电位下将金属离子富集到电极,然后再施加电压,使其溶出,由于溶出时可采用不同扫描方式,因此溶出峰的电流大小也不一样。根据参考文献可知,对 Cd^{2+} 的检测通常采用差脉冲溶出伏安法(DPV)和 SWSV 这两种方法,因此首先在合适的条件下将 Cd^{2+} 沉积到电极上,然后改变扫描方式,使其重新溶出,以溶出峰电流作为指标,从中选择出最优的检测方法。如图 4 所示,在相同的测量条件下,采用两种溶出方法对同一浓度的 Cd^{2+} 进行检测,可以看出 SWSV 所得到的峰型更好,峰电流也更大,故采用 SWSV 对镉离子进行检测。

2.2.2 硝酸用量 取出包被好的板条,清洗后,加入相同质量浓度的 MC 和 QDs-Ab, 37°C 反应 1 h 之后清洗,然后分别加入 20 、 30 、 40 、 50 、 60 、 70 、 $80 \mu\text{L}$ 的 1 mol/L HNO_3 ,轻微晃动,然后从中吸取 $20 \mu\text{L}$ 加入缓冲溶液中,采用 SWSV 方法进行检测,如图 5 所示,随着 HNO_3 用量的增加,溶出峰电流逐

渐增大,但当 HNO_3 用量超过 $40\ \mu\text{L}$ 之后,电流又开始降低,这可能是由于 HNO_3 用量较少时,不足以将板条中的 Cd^{2+} 全部溶出,而当 HNO_3 用量过大时,又起到了稀释的作用,降低了 Cd^{2+} 的浓度,使得溶出峰电流降低,因此本实验中选择加入 $40\ \mu\text{L}$ 的 HNO_3 。

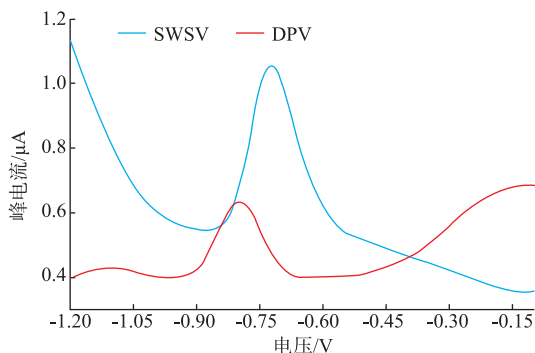


图4 不同检测方法的比较

Fig. 4 Comparison of different detection methods

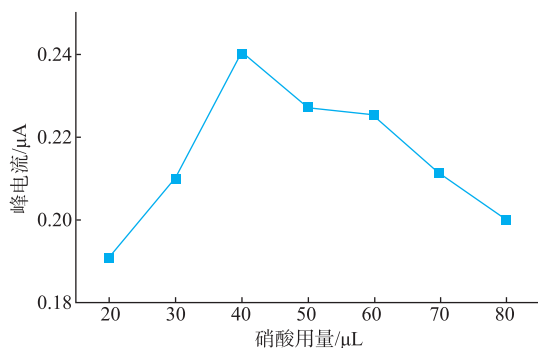


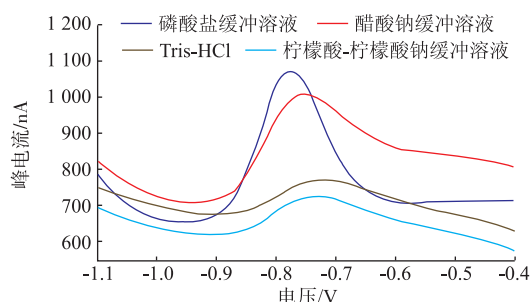
图5 硝酸用量的优化

Fig. 5 Optimization of the amount of nitric acid

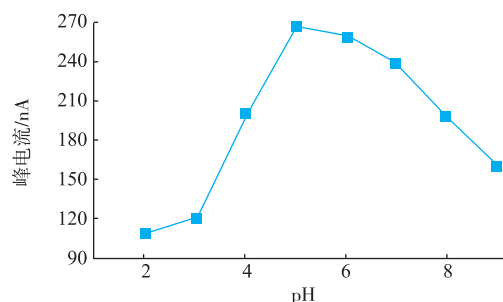
2.2.3 缓冲溶液的优化 缓冲液的种类对金属离子的电流大小和峰电位均有较大影响,因此选择合适的缓冲溶液可以有效提高检测的灵敏度。因为金属离子的测定通常在酸性环境^[17],因此在 $\text{pH}=5$ 的情况下,配制几种常见的缓冲溶液(磷酸盐,醋酸盐,Tris-HCl,柠檬酸-柠檬酸钠),如图 6(a)所示, Cd^{2+} 在磷酸盐缓冲液中的峰电流值最高,峰型最好,因此选择磷酸盐缓冲液作为支持电解质溶液。

配制 pH 为 2~9 的磷酸盐缓冲溶液,检测不同 pH 下溶出峰电流的变化,如图 6(b)所示,溶出峰在 pH 为 3 时开始出现,随着 pH 值的增加,峰电流先增加再降低,在 pH 为 5 时达到最大,这可能是由于 Cd^{2+} 在弱酸环境中的沉积能力要强于强酸环境,而在碱性条件下, Cd^{2+} 易发生水解,使得电极对它的吸附能力减弱,从而导致峰电流降低^[18]。

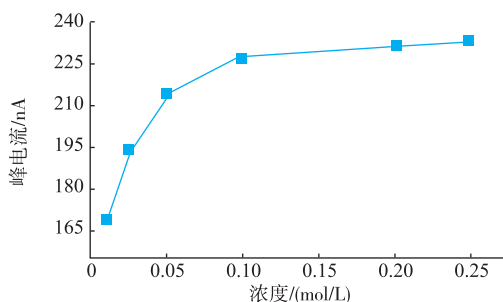
配制不同浓度的磷酸盐缓冲溶液,在相同条件下对同一浓度的 Cd^{2+} 进行检测,如图 6(c)所示,随着缓冲液浓度的增加,溶出峰的值也在不断增加。这是由于随着电解质的浓度的升高,更多的离子可以参与到电极表面的反应,使得电极表面电子迁移速率增大,进而使得溶出峰电流值增加^[19],当缓冲液浓度达到 $0.1\ \text{mol/L}$ 之后,电流值增加速度减缓,且溶出峰的峰形也会发生一些偏移,因此选择浓度为 $0.1\ \text{mol/L}$ 的缓冲溶液。



(a)不同缓冲溶液的优化



(b)不同pH的优化



(c)不同浓度的优化

图6 不同条件的优化

Fig. 6 Optimization of different conditions

2.2.4 沉积电位和沉积时间 沉积过程是指游离的 Cd^{2+} 在某一电位下被还原成镉单质富集在电极表面,因此沉积电位的选择对随后的溶出峰测定具有很大的影响。沉积电位如果离溶出峰的电位太近,可能会导致溶出峰电流不稳定,甚至会导致 Cd^{2+} 无

法在电极表面富集,而沉积电位如果过负则可能引起干扰,直接影响测定结果^[20]。本文中试验了-1.4~-0.8 V 的沉积电位,如图 7(a)所示,随着沉积电位的增大, Cd²⁺溶出峰的值逐渐增大,当沉积电位为-1.2 时,峰电流值最高,但随着电位的继续增加,峰值反而开始下降,所以选择最佳沉积电位为-1.2 V。此外,在沉积过程中对溶液进行适当的搅拌,可以有效提高 Cd²⁺的沉积效率。但应该控制好搅拌速度,不可过快,否则易使溶液形成漩涡。

沉积时间对溶出峰电流也会产生影响,在一定时间范围内,随着沉积时间的增加,沉积到电极上的 Cd²⁺会增多,则溶出峰的电流值也会增高,本文比较了沉积时间从 60 s 增加到 480 s 时溶出峰电流的变化,如图 7(b)所示,在 300 s 之前,峰电流会随着沉积时间的增加而增大,但当沉积时间超过 300 s 后,溶出峰的值增加很缓慢甚至还略有下降,这可能是由于随着时间的延长,电极上沉积的 Cd²⁺达到饱和,并且在电极表面形成的沉积膜,厚度增加,从而影响了电子的传输^[21],导致峰电流的下降。所以最终选择 300 s 作为沉积时间。

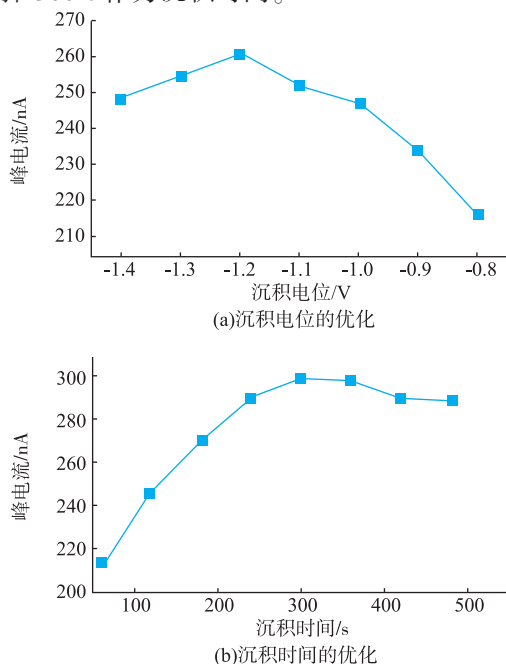


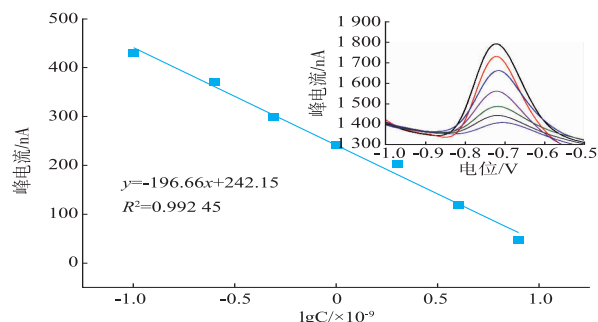
图 7 沉积电位和时间的优化

Fig. 7 Optimization of deposition potential and deposition time

2.3 线性范围及检测限

在最佳检测条件下,采用 SWSV,对不同浓度的微囊藻毒素进行测量,如图所示, Cd²⁺方波溶出检测

的出峰电位大约在-0.768 V,当浓度在 0.1~8 μg/L 之间,微囊藻毒素浓度的对数值与峰电流具有良好的线性关系,回归方程为: $y = -196.66x + 242.15$, $R^2 = 0.99245$,检测限可达 0.08 μg/L。



注:插图检测不同浓度的微囊藻毒素时 Cd²⁺的方波溶出峰,质量浓度从上往下依次为:0.1,0.25,0.5,1,2,4,8 μg/L

图 8 线性拟合曲线

Fig. 8 Linear fitting curve

2.4 重现性

分别对质量浓度为 0.25、2 μg/L 的微囊藻毒素标准溶液连续测定 10 次,如表 1 所示,测得的相对平均偏差分别为 2.38%、4.42%,表明该方法具有良好的重现性。

表 1 重复性实验

Table 1 Repeatability test

标准溶液	1	2	3	4	5	6
0.25 μg/L	370	375	363	378	371	373
2 μg/L	205	211	219	191	200	209

标准溶液	7	8	9	10	平均值/ (μg/L)	RSD/%
0.25 μg/L	365	369	373	380	371.4	2.38
2 μg/L	221	208	209	219	209.2	4.42

2.5 样品分析

在最优条件下,对饮用水、校园湖水(若湖水浊度过大,则测定之前先用 0.45 μm 的滤膜抽滤)两种水样进行检测,并同 ELISA 检测结果相比较,此外对两种水样进行加标回收实验,采用标准加入法,分别向水样中加入不同浓度的微囊藻毒素标准品(每个浓度平行测定 5 次)。结果如表 2 所示,本法的测定结果与 ELISA 基本相符,所测样品的回收率为 91%~108.6%,标准偏差为 2.97%~6.98%。

表 2 实际水样中 MC 的检测

Table 2 Detection results of MC in water samples($n=5$)

样品	检测量/($\mu\text{g/L}$)	ELISA 测定结果/($\mu\text{g/L}$)	加标量/($\mu\text{g/L}$)	平均测定值/($\mu\text{g/L}$)	平均回收率/%	RSD/%
饮用水	0.00	0.00	0.1	0.091	91.0	3.09
			1.0	1.11	111.0	2.97
			2.0	2.05	102.5	4.81
校园湖水	0.31	0.35	0.5	0.88	108.6	6.98
			1.0	1.35	103.1	5.06
			2.0	2.19	94.8	3.19

3 结 语

本研究中利用 CdTe 量子点为媒介,将抗原抗体的特异性反应与电化学的溶出分析方法相联系,通过 SWSV 对 Cd^{2+} 的分析,从而间接实现对微囊藻毒素的定量检测。该方法保留了溶出分析法灵敏度

高,操作简单快速等传统优点,并且由于抗原抗体的特异性反应,可以有效排除杂质干扰。在最优检测条件下,该方法的检测限可达 $0.08 \mu\text{g/L}$,且线性范围较宽。对水样的加标回收实验及实际样品检测,结果表明该方法在检测实际水体中的微囊藻毒素具有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] MACKINTOSH C, BEATTIE K A, KLUMPP S, et al. Cyanobacterial microcystin-LR is a potent and specific inhibitor of protein phosphatases 1 and 2A from both mammals and higher plants[J]. **Febs Letters**, 1990, 264(2): 187-192.
- [2] FENG L, ZHU A, WANG H, et al. A nanosensor based on quantum-dot haptens for rapid, on-site immunoassay of cyanotoxin in environmental water[J]. **Biosensors and Bioelectronics**, 2014, 53: 1-4.
- [3] ZHANG Tingting, ZHANG Shengjuan. The research progress of microcystins's harm and its analysis techniques [J]. **Journal of Anhui Normal University (Natural Science)**, 2014, 37(1): 53-57. (in Chinese)
- [4] CHENG Chunmei. Advances in detection methods for microcystin[J]. **Hunan Agricultural Sciences**, 2014(6): 7-9. (in Chinese)
- [5] YANG Zhenyu, ZHOU Yao. Determination of seven microcystins in aquatic products by liquid chromatography tandem mass spectrometry[J]. **Journal of Chinese Mass Spectrometry Society**, 2014, 35(5): 447-453. (in Chinese)
- [6] ZHANG Jinguo, KANG Tianfang, XUE Rui, et al. An immunosensor for microcystins based on $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Au}$ magnetic nanoparticle modified screen-printed electrode[J]. **Chinese Journal of Analytical Chemistry**, 2013, 41(9): 1353-1358. (in Chinese)
- [7] ZHANG Xin'ai, SHEN Jianzhong, ZHANG Fan, et al. Electrochemical immunosensor for determination of microcystins based on carbon nanotubes/au nanoparticles composite film[J]. **Chinese Journal of Analytical Chemistry**, 2014(9): 1301-1306. (in Chinese)
- [8] XIAO Q, HUANG S, QI Z D, et al. Conformation, thermodynamics and stoichiometry of HSA adsorbed to colloidal CdSe/ZnS quantum dots[J]. **Biochimica et Biophysica Acta: Proteins and Proteomics**, 2008, 1784(7-8): 1020-1027.
- [9] XIAO J, BAI Y, WANG Y, et al. Systematic investigation of the influence of CdTe QDs size on the toxic interaction with human serum albumin by fluorescence quenching method [J]. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 2010, 76(1): 93-97.
- [10] LIU J, SHI Z, YU Y, et al. Water-soluble multicolored fluorescent CdTe quantum dots; Synthesis and application for fingerprint developing[J]. **Journal of colloid and interface science**, 2010, 342(2): 278-282.
- [11] T.D.T. Ung, T.K.C. Tran, T.N. Pham, et al. CdTe and CdSe quantum dots; synthesis, characterizations and applications in agriculture[J]. **Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology**, 2012, 3(4): 043001.
- [12] MENG Yuanhua, ZHOU Xiaopan, TAO Guanhong, et al. Determination of microcystin-LR in environmental water samples by bioconjugates between CdSe/CdS quantum dots and microcystin-LR antibody [J]. **Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory**, 2010, 27(6): 2354-2358. (in Chinese)
- [13] KOU Wenjie, WANG Jingjing, AI Yongqing, et al. Preparation of novel CdTe QDs modified gold electrode and application in electrochemical determination of dopamine [J]. **Journal of Hubei Normal University (Natural Science)**, 2011, 31(3): 16-20. (in Chinese)

- [14] YU H W, LEE J, KIM S, et al. Electrochemical immunoassay using quantum dot/antibody probe for identification of cyanobacterial hepatotoxin microcystin-LR[J]. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, 2009, 394(8): 2173-2181.
- [15] 徐旭明. NWCHTs-IL-SPCE 的制备及在铅镉分析中的应用研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012.
- [16] 李园园. 花生黄曲霉毒素 B1 量子点荧光免疫检测技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [17] WEI Libin, SONG Changyou, LUO Shengtie. Simultaneous determination of trace lead and cadmium in salt by square wave stripping voltammeter[J]. **Food Science and Technology**, 2006, 31(2): 91-93. (in Chinese)
- [18] YU Luyang, WANG Huicai, ZHAO Xiuqing, et al. Determination of trace cadmium with thiol functionalized graphene modified glassy carbon electrode[J]. **Journal of Tianjin Polytechnic University**, 2014(3): 34-39. (in Chinese)
- [19] ZHANG Kedong, DOU Junfeng, DING Aizhong, et al. Determination of trace lead in water using an electrochemical sensor based on square wave anodic stripping voltammetry[J]. **Chinese Journal of Environmental Engineering**, 2013, 7(8): 2973-2978. (in Chinese)
- [20] XU Yanxia, NI Xiaoying, MEI Guang, et al. Determination of cadmium content by EDTA modified carbon paste electrode[J]. **Grain Science and Technology and Economy**, 2014, 39(3): 39-42. (in Chinese)
- [21] CAO L, JIA J, WANG Z. Sensitive determination of Cd and Pb by differential pulse stripping voltammetry with in situ bismuth-modified zeolite doped carbon paste electrodes[J]. **Electrochimica Acta**, 2008, 53(5): 2177-2182.

会 议 消 息

会议名称(中文): 首届染色质生物学大会

所属学科: 细胞生物学

开始日期: 2017-04-14

结束日期: 2017-04-16

所在城市: 广东省 深圳市

具体地点: 深圳市新年酒店

主办单位: 中国细胞生物学学会染色质生物学分会

承办单位: 上海博生会展有限公司、深圳大学

议题: 染色质的装配、结构、修饰和生物学功能

组织委员会主席: 朱冰、朱卫国

联系人: 胡月、赵志琛

联系电话: 021-54922865/49

E-MAIL: meeting@cscb.org.cn

会议网站: <http://www.cscb.org.cn/news/20170113/2492.html>

会议背景介绍: 为促进国内染色质生物学领域的发展, 为国内从事染色质生物学基础研究、应用和转化研究的大专院校、科研院所、生物技术企业和临床医疗机构提供学术交流平台, 推动学科发展。中国细胞生物学学会首届染色质生物学大会定于 2017 年 4 月 14-16 日在深圳新年酒店召开。