

# Research on Adsorption Behavior and Preparation of Submicron Lead Ion Imprinted Polymers

Miao Gao, Xinjun Fu, Yang Jiang

College of Materials and Textile Engineering, Jiaying University, Jiaying Zhejiang  
Email: [jiangyang1981@126.com](mailto:jiangyang1981@126.com)

Received: Jul. 6<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jul. 23<sup>rd</sup>, 2018; published: Jul. 31<sup>st</sup>, 2018

---

## Abstract

In this paper, using methacrylic acid (MAA) and 4-vinyl pyridine (4-VP) as functional monomer, ethylene glycol 2-methylacrylate (EGDMA) as crosslinking agent, and isopropyl alcohol as the solvent, precipitation (II) imprinted polymer was prepared by Pb polymerization method. Through infrared spectroscopy (IR), chemical structure of Pb(II) imprinted polymers was characterized; by scanning electron microscopy (SEM), imprinted polymer appearance was observed; its surface area was detected by BET s analyzer; and with atomic absorption spectroscopy (AAS), the selectivity of Pb(II) imprinted polymers was characterized. The results show that Pb(II) imprinted polymer has good adsorption capacity for Pb(II) in water.

## Keywords

Pb(II), Metal Ion Imprinted Polymer, Precipitation Polymerization, SEM

---

# 亚微米级铅离子印记聚合物的制备及吸附行为的研究

高 藐, 傅新钧, 姜 旻

嘉兴学院材料与纺织工程学院, 浙江 嘉兴  
Email: [jiangyang1981@126.com](mailto:jiangyang1981@126.com)

收稿日期: 2018年7月6日; 录用日期: 2018年7月23日; 发布日期: 2018年7月31日

---

## 摘 要

本文以甲基丙烯酸(MAA)和4-乙烯基吡啶(4-VP)为功能单体, 乙二醇二甲基丙烯酸酯(EGDMA)为交联剂,

异丙醇为溶剂, 采用沉淀聚合的方法制备Pb(II)印迹聚合物。通过红外光谱(IR)对Pb(II)印迹聚合物的化学结构进行表征, 利用扫描电镜(SEM)对印迹聚合物的外貌形态进行观察, BET分析仪检测其表面积以及原子吸收光谱(AAS)对Pb(II)印迹聚合物的选择性进行表征。结果表明Pb(II)印迹聚合物对水中的Pb(II)具有良好的吸附能力。

## 关键词

铅离子, 离子印迹聚合物, 沉淀聚合, SEM

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着社会科技的提高, 工业得到高速的发展, 但由此而带来的工业废物严重的影响了环境和人们的生活。因此近年来, 如何治理此类问题一直是一个严峻的问题。工业污染物中一个重要的类别就是污水, 其包括众多有害的重金属, 如铜、镍、锌、铅、砷、钡等, 当排放到环境中, 这些重金属会严重的伤害人类的身体, 比如累积毒素, 脑损伤, 和癌症等。目前, 已发展出多种重金属离子去除方法, 包括液液萃取[1]、固相萃取[2]、活性炭吸附[3]、过滤、化学沉淀、中和、螯合离子交换和生物吸附等[4] [5] [6] [7] [8]。其中固相萃取(solid phase extraction, SPE)由于其操作简单和成本低等特点发展十分迅速[9]。然而, 包括 SPE 在内的常用方法均存在弱选择分离性的缺陷。选择性分离在水处理与金属回收再利用等领域有着非常重要的现实意义。近年来, 分子印迹技术(molecular imprinting technique, MIT)被应用于金属离子的分离, 从而解决了弱选择性分离的缺点。分子印迹技术是 20 世纪末出现的一种高选择性分离技术, 可以作为高度专一的固相萃取材料。它是通过高分子科学、材料科学、生物化学和化学工程等学科的有机结合, 为获得在空间结构和结合位点上与模板分子完全匹配的聚合物(即分子印迹聚合物, molecular imprinting polymer, MIP)的一种新型实验制备技术[10]。金属离子印迹聚合物(Metal Ion-imprinted polymer, MIIP), 是将金属离子作为模板, 其制备过程与分子印迹聚合物类似, 并具有分子印迹聚合物所有优点。1972 年, Wulff 提出了分子印迹的概念, 四年后 Nishide 研究组率先在实验室成功制备了 MIIP [11] [12]。近年来, 金属离子印迹技术得到快速地发展, 并有大量的研究成果发表, 包括如 Zn-MIIP [13]、Cd-MIIP [14]、Hg-MIIP [15]、Cr(VI)-MIIP [16]和 Co-MIIP [17]等, 不仅含有常见的过渡金属, 还有贵金属与稀土元素等。Yang Wang [18]课题组以双硫脲为功能单体制备出了带有磁性的金属-有机结构离子印迹聚合物来吸附微量级的铅离子。Xubiao Luo [19]研究组制备了 Cd 离子荧光量子点离子印迹聚合物( $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CdTe-IIP}$ ), 该聚合物不仅对 Cd 离子有着高吸附率与高选择性, 还具有荧光性与磁性, 扩大了离子印迹技术的应用领域。

虽然利用离子印记技术制备出的离子吸附树脂的种类已经非常丰富, 但制备方法上多采用悬浮聚合、本体聚合法或溶液聚合法等, 得到粒子的尺寸都是微米级。众所周知, 提高吸附树脂吸附量的方法就是增加粒子的比表面积, 而增大比表面积主要有两种途径: 一是使粒子具有孔结构, 孔隙率越大, 比表面积越大。但孔隙率增加也使得粒子本身的刚性大幅下降, 在运输和使用过程中容易破碎; 另一种是降低粒子的尺寸, 粒径越小, 比表面积越大。因此, 本文以铅(Pb)为目标模板, 以甲基丙烯酸与 4-乙烯吡啶为聚合单体, 采用沉淀聚合制备了对铅离子具有选择性吸附的亚纳米尺寸铅离子印迹聚合物球形粒子。

## 2. 实验部分

### 2.1. 试剂与仪器

硝酸铅(PbNO<sub>3</sub>)分析纯上海联试化工试剂有限公司; 甲基丙烯酸(MAA) C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub> 99% 萨恩化学技术(上海)有限公司; 4-乙烯基吡啶(4-VP) C<sub>7</sub>H<sub>7</sub>N 95%萨恩化学技术(上海)有限公司; 异丙醇 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O 分析纯上海联试化工试剂有限公司; 二甲基丙烯酸乙二醇酯(EGDMA) C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub> 99%萨恩化学技术(上海)有限公司; 偶氮二异丁腈(AIBN) C<sub>8</sub>H<sub>12</sub>N<sub>4</sub> 分析纯天津市科密欧化学试剂有限公司; 盐酸 HCl 分析纯华东医药股份有限公司; 氢氧化钠 NaOH 分析纯华东医药股份有限公司; 氮气 N<sub>2</sub> 99.999%上海五钢气体有限责任公司。S-4800 扫描电子显微镜日本日立公司; VERTEX70 傅立叶红外吸收光谱仪德国布鲁克公司; NOVA 4000e 高速比表面积测试仪美国康塔公司; Z-6100 原子吸收光谱仪日本日立公司。

### 2.2. 铅离子印迹聚合物的制备

Pb<sup>2+</sup>、MAA、4-VP、EGDMA 以 1:2:2:6 的配比计算每组 MAA、4-VP、EGDMA 的用量, 其中引发剂 AIBN 的用量为单体(Pb<sup>2+</sup>、MAA、4-VP、EGDMA)总质量的 4%。将 1.67 克的 PbNO<sub>3</sub> 溶解在 60 mL 的蒸馏水中, 取一定量的 MAA、4-VP 加入到溶有 Pb<sup>2+</sup> 的烧杯中, 在磁力搅拌下搅拌 2 h。搅拌完成后将溶液进行抽滤, 并用蒸馏水进行淋洗, 将得到的 Pb(MAA)<sub>2</sub>(4-VP)<sub>2</sub> 络合物放入 70℃ 真空烘箱中干燥过夜备用。

称取一定量干燥好的络合物均匀分散在 60 mL 的异丙醇中, 再移到三颈烧瓶。之后加入 EGDMA、AIBN, 再氮气保护下室温机械搅拌 15 分钟, 搅拌速度设为 250 rpm, 之后将温度逐渐升高到 70℃, 并搅拌 6 小时。聚合完成后将混合物进行抽滤, 并用蒸馏水和甲醇进行淋洗已出去残留杂质, 再将所得聚合物放入到真空干燥箱中干燥 12 小时。非离子印记聚合物的合成过程与离子印记聚合物相同, 只是不加入模板离子。

配置 0.5 mol/L 的盐酸溶液, 将干燥好的聚合物放入到烧杯中加入盐酸溶液和在磁力搅拌下搅拌 2 h, 之后对溶液进行抽滤, 再加入盐酸溶液搅拌 2 小时, 如此重复洗涤直到保证铅离子印迹聚合物所吸附的铅离子被完全脱除, 最后用蒸馏水进行淋洗将聚合物表面的盐酸除尽, 最后将产品放入到 70℃ 真空干燥箱中干燥 24 h, 即得到铅离子印迹聚合物。

#### 2.2.1. 吸附实验

##### 1) 吸附铅离子实验

称取 0.1 g 干燥好的铅离子印迹聚合物微球均匀分散在 100 mL 浓度为 10 ppm 的铅离子水溶液中, 并使用 0.1 N 氢氧化钠和 0.1 N 盐酸将溶液的 pH 值调整为 6, 在室温下用磁力搅拌器搅拌 2 h。然后将聚合物微球过滤掉, 再用原子吸收光谱仪(AAS)分别测量最初的和经过吸附后残余的溶液中铅离子的浓度, 分别记为 C<sub>0</sub> 和 C<sub>e</sub>, 根据公式计算铜离子印迹聚合物的吸附容量:

$$Q = (C_0 - C_e)V/W$$

Q 代表聚合物的吸附容量(mg·g<sup>-1</sup>); C<sub>0</sub> 和 C<sub>e</sub> 分别代表吸附前后的离子浓度(mg·L<sup>-1</sup>); V 代表水溶液的体积(L); W 代表聚合物样品的质量(g)。

##### 2) 选择性吸附实验

配置 100 mL 含有 Pb<sup>2+</sup>、Ni<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 混合水溶液, 各离子浓度均为 10 ppm, 并使用 0.1 N 氢氧化钠和 0.1 N 盐酸将溶液的 pH 值调整为 6, 称取 0.1 g 铅离子印迹聚合物微球于已经配制好的溶液中, 将混合物在室温下磁力搅拌 1 h。用原子吸收光谱仪测得经过 1 h 后剩余的各种金属离子的含量通过计算

便可得到铅离子印迹聚合物对各种金属离子的吸附容量。非印迹聚合物对各种离子的选择性吸附实验同以上步骤相同。

### 2.3. 铅离子印迹聚合物的结构表征

使用红外光谱(FT-IR)测试分析所合成金属离子印记聚合物吸附离子前后的分子结构；使用扫描电子显微镜(SEM)观察聚合物微球的形态；使用比表面积分析仪(BET)测定所合成聚合物的比表面积。

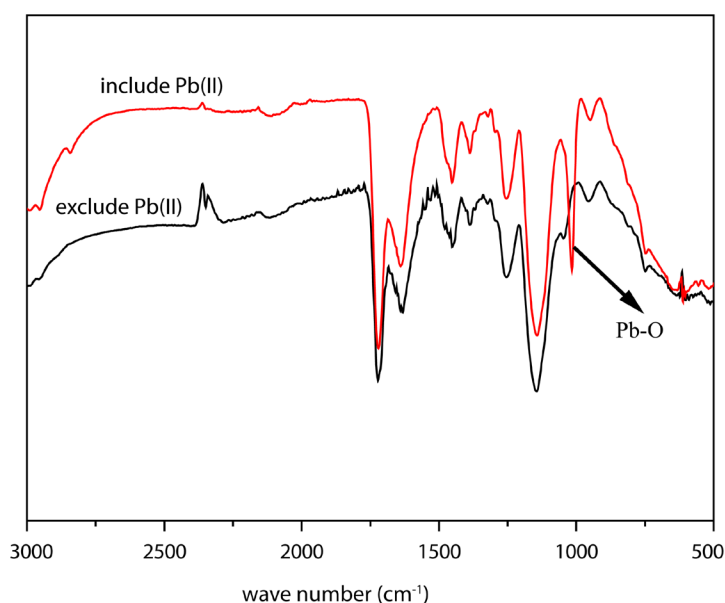
## 3. 结果与讨论

### 3.1. 聚合机理

在铅离子印迹聚合物的合成中，功能单体为甲基丙烯酸(MAA)和 4-乙烯基吡啶(4-VP)两种。两种功能单体都可以与模板离子螯合形成配位体，从而提供强的印迹位点。虽然 MAA 与 4-VP 自身都可与铅离子形成配合物，但形成时间过长(24 小时左右)，而这两种单体共同使用会发生协同作用，络合物短时间就会形成，大大缩短了反应时间。这是因为 MAA 上的羧酸基团在水中解离放出氢离子，放出的氢离子会被 4-VP 上的 N 所吸引使其发生质子化作用，这样带有正电荷的铅离子就会被带负电荷的羧酸基团吸引，从而快速形成络合物。铅离子印迹聚合物的合成通过这样的一步反应简化了生产过程且提供了极好的印迹能力。

### 3.2. 红外光谱(IR)分析

从图 1 洗脱和未洗脱铅离子的聚合物的红外光谱图可以看出两者的特征吸收峰的骨架大致相同，除了在波数为  $1000\text{ cm}^{-1}$  左右的地方未经过洗脱铅离子操作的聚合物比经过洗脱铅离子操作的聚合物多一个特征峰，而该特征峰为 Cu-O 结构的特征峰。从而证明铅离子印迹聚合物中铅离子被完全洗脱出来且洗脱过程未对聚合物骨架造成损害即识别位点未被破坏，铅离子印迹聚合物仍然具有很好的特异识别性且其也具有很好的重复利用性。



**Figure 1.** Infrared spectroscopy of eluting and uneluting lead ion of polymers

**图 1.** 洗脱与未洗脱铅离子的聚合物的红外光谱图

### 3.3. 扫描电子显微镜(SEM)分析

图2为铅离子印迹聚合物的扫描电子显微镜图,从图中可以看所合成聚合物都呈尺寸均一的微球状,分散性及规整性好。保持聚合物刚性结构和拥有良好的分散性及规整性寻找同时,达到这两项要求的量即最佳的交联剂浓度才能创造良好的经济效益,使其制得的聚合物微球具有良好的分散性和规整性且更易吸附模板离子,提高吸附效率。

### 3.4. BET 法测定比表面

根据表1分析可知随着交联剂用量的增加铅离子印迹聚合物的比表面积逐渐增大。这是由于第一、二组实验所使用交联剂用量未达到满足聚合物完全聚合的要求,只生成少量的聚合物微球而多数则以原料状态存在,故比表面积要小于第三、四组实验。第四组加入的交联剂用量较于第三组实验更多从而会对聚合反应产生不良影响,使得其表面积比第三组小,不利于提高聚合物微球的吸附效率。同时,每组的聚合物微球孔总体积和平均孔半径呈增加的趋势而第四组实验的孔总体积和平均孔半径较于第三组要小。说明交联剂在适度范围内的增加可以提高聚合物微球的比表面积及孔总体积和平均孔半径有利于提高聚合物微球的吸附效率。但是当交联剂用量过多时会对聚合物合成产生不良影响例如使得孔半径和孔总体积减少从而降低了聚合物微球的比表面积导致吸附效率降低和吸附容量减少。

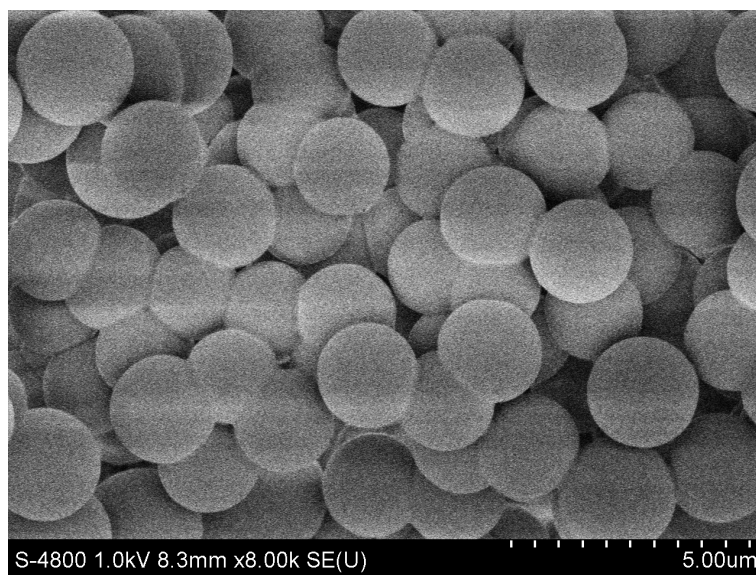


Figure 2. Morphology of Lead ion imprinting polymer  
图2. 铅离子印迹聚合物形态

Table 1. Specific surface area, total pore volume and average pore radius of lead ion imprinted polymer

表1. 铅离子印迹聚合物的比表面积、孔总体积及平均孔半径

序号	比表面积(m <sup>2</sup> /g)	孔总体积(cm <sup>3</sup> /g)	平均孔半径(×10 Å)
1	2.133	4.473 × 10 <sup>-3</sup>	3.13316
2	2.157	4.634 × 10 <sup>-3</sup>	3.22301
3	10.785	1.690 × 10 <sup>-2</sup>	4.29711
4	8.446	1.361 × 10 <sup>-2</sup>	4.19376

### 3.5. 铅离子印记聚合物的吸附性能

为了测试铅离子印记聚合物对铅离子的吸附动力学行为和特异选择性, 采用原子吸收光谱仪进行检测。从图 3 中可知在 60 min 之前, 铅离子印记聚合物对铅离子的吸附几乎呈线性关系吸附效率高, 这是因为在刚开始吸附时铅离子印记聚合物微球存在有大量的活性位点, 铅离子易与印记聚合物表面上的识别位点结合。之后吸附效率稍有降低这是由于随着吸附过程的进行溶液中的铅离子浓度不断减少且印记聚合物微球表面的识别位点数量也在不断减少。当经过 60 min 之后吸附容量增加得很少趋于平衡, 这时印记聚合物表面的识别位点几乎被所吸附铅离子占据, 同时铅离子也会产生一定的位阻效应进一步加大印记聚合物对铅离子的吸附难度从而使得其吸附效率显著减小。在 60 min 时吸附容量便达到 27.9 mg/g 与 180 min 时达到的吸附容量为 27.6 mg/g 相差不大。可知对于铅离子印记聚合物在吸附铅离子时只需 60 min 就能达到很高的吸附容量说明铅离子印记聚合物既具有很高的吸附效率而且吸附容量也很大。

从图 4 中可以看到当铅离子印记聚合物处于既含有模板离子铅离子又有与其价态及大小相似的其它离子的溶液中时, 铅离子印记聚合物对铅离子的吸附容量最高。而非印记聚合物时, 非印记聚合物在相同情况下对铅离子的吸附量大大减少且对其它干扰离子的吸附量都略有增加。从而可知铅离子印记聚合物的特异选择性优异, 且非印记聚合物对金属离子没有特异选择性。

## 4. 结论

本文以铅离子为模板, 以甲基丙烯酸和 4-乙烯基吡啶为功能单体, 乙二醇二甲基丙烯酸酯为交联剂, 偶氮二异丁腈为引发剂, 异丙醇为溶剂, 利用沉淀聚合的方法成功制备出了铅离子印记聚合物微球。通过比表面积测试可知当交联剂用量适当增加时可以使得其比表面积、孔总体积及平均孔半径显著增大, 有利于提高铅离子印记聚合物对模板离子的吸附效率和吸附容量。同时由于交联剂加入过多不利于聚合反应的进行导致第四组的比表面积、孔总体积及孔半径较第三组小, 使得铅离子印记聚合物的吸附效率和吸附容量有所降低。通过铅离子印记聚合物对铅离子的吸附动力学行为和吸附选择性实验可知铅离子印记聚合物对铅离子具有很高的吸附效率和吸附容量且对铅离子的特异选择性高。

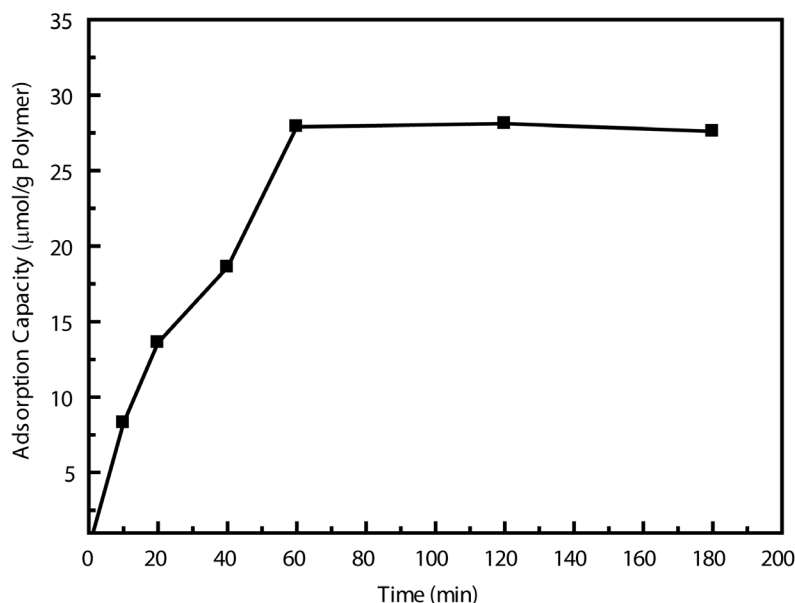
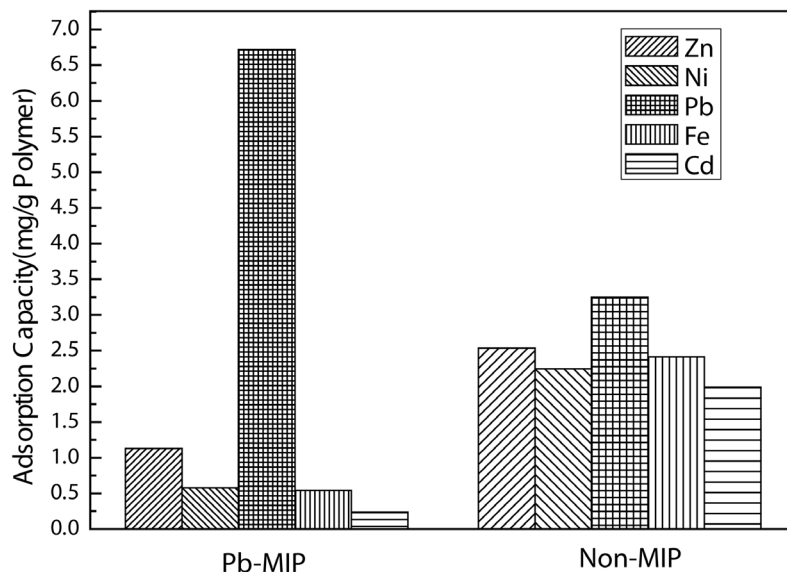


Figure 3. Kinetic of Lead ion imprinting polymer adsorption

图 3. 铅离子印记聚合物动力学吸附



**Figure 4.** Selective adsorption of Lead ion imprinting and non-imprinted polymer adsorption

**图 4.** 铅离子印迹聚合物选择性吸附行为图

## 基金项目

感谢浙江省教育厅一般科研项目(Y201636406), 嘉兴市公益性应用技术研究计划(2017AY13018), 嘉兴学院重点 SRT 项目的赞助, 嘉兴学院材料与轻纺工程实验教学示范中心 2016 年度建设项目。

## 参考文献

- [1] Carasek, E. (2000) A Low-Cost Flame Atomic Absorption Spectrometry Method for Determination of Trace Metals in Aqueous Samples. *Talanta*, **51**, 173-178. [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(99\)00274-X](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(99)00274-X)
- [2] Bag, H., Turker, A.R., Coskun, R., Sacak, M. and Yigitoglu, M. (2000) Determination of Zinc, Cadmium, Cobalt and Nickel by Flame Atomic Absorption Spectrometry after Preconcentration by Poly(Ethylene Terephthalate) Fibers Grafted with Methacrylic Acid. *Spectrochimica Acta Part B*, **55**, 1101-1108. [https://doi.org/10.1016/S0584-8547\(00\)00162-2](https://doi.org/10.1016/S0584-8547(00)00162-2)
- [3] Elci, L. and Dogan, M. (1988) Elemental Trace Determinations in Aluminium by Enrichment onto Activated Carbon Combined with Direct Current Arc Optical Emission Spectrography. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, **330**, 610-613. <https://doi.org/10.1007/BF00473777>
- [4] Devi, M. and Fingermann, M. (1995) Inhibition of Acetylcholinesterase Activity in the Central Nervous System of the Red Swamp Crayfish, *Procambarus clarkii*, by Mercury, Cadmium, and Lead. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **55**, 746-750. <https://doi.org/10.1007/BF00203762>
- [5] Brajter, K. and Dabek-Zlotorzynska, E. (1990) Separation of Metal Ions on a Modified Aluminium Oxide. *Talanta*, **37**, 613-618. [https://doi.org/10.1016/0039-9140\(90\)80204-S](https://doi.org/10.1016/0039-9140(90)80204-S)
- [6] Reed, B.E., Lin, W., Matsumoto, M.R. and Jensen, J.N. (1997) Physicochemical Processes. *Water Environment Research*, **69**, 444-462. <https://doi.org/10.2175/106143097X134777>
- [7] Beauvais, R.A. and Alexandratos, S.D. (1998) Polymer-Supported Reagents for the Selective Complexation of Metal Ions: An Overview. *Reactive and Functional Polymers*, **36**, 113-123. [https://doi.org/10.1016/S1381-5148\(98\)00016-9](https://doi.org/10.1016/S1381-5148(98)00016-9)
- [8] Rivas, B.L., Pooley, S.A., Maturana, H.A. and Villegas, S. (2001) Metal Ion Uptake Properties of Acrylamide Derivative Resins. *Macromolecular Chemistry and Physics*, **202**, 443-447. [https://doi.org/10.1002/1521-3935\(20010201\)202:3<443::AID-MACP443>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1521-3935(20010201)202:3<443::AID-MACP443>3.0.CO;2-F)
- [9] Krishna, P.G., Gladis, J.M., Rao, T.P. and Naidu, G.R. (2005) Selective Recognition of Neodymium (III) Using Ion Imprinted Polymer Particles. *Journal of Molecular Recognition*, **18**, 109-116. <https://doi.org/10.1002/jmr.720>
- [10] Tada, M. and Iwasawa, Y. (2003) Approaches to Design of Active Structures by Attaching and Molecular Imprinting

- of Metal Complexes on Oxide Surfaces. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, **204**, 27-53. [https://doi.org/10.1016/S1381-1169\(03\)00284-X](https://doi.org/10.1016/S1381-1169(03)00284-X)
- [11] Nishide, H. and Deguchi, J. (1976) Selective Adsorption of Metal Ions on Crosslinked Poly(Vinylpyridine) Resin Prepared with a Metal Ion as a Template. *Chemistry Letters*, **5**, 169.
- [12] Wulff, G. and Sarhan, A. (1972) Use of Polymers with Enzyme-Analogous Structures for the Resolution of Racemates. *Angewandte Chemie International Edition*, **11**, 341.
- [13] Saraji, M. and Yousefi, H. (2009) Selective Solid-Phase Extraction of Ni(II) by an Ion-Imprinted Polymer from Water Samples. *Journal of Hazardous Materials*, **167**, 1152-1157. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.111>
- [14] Singh, D.K. and Mishra, S. (2009) Synthesis, Characterization and Removal of Cd(II) Using Cd(II)-Ion Imprinted Polymer. *Journal of Hazardous Materials*, **164**, 1547-1551. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.112>
- [15] Singh, D.K. and Mishra, S. (2010) Synthesis and Characterization of Hg(II)-Ion-Imprinted Polymer: Kinetic and Isotherm Studies. *Desalination*, **257**, 177-183. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.02.026>
- [16] Bayramoglu, G. and Arica, M.Y. (2011) Synthesis of Cr(VI)-Imprinted Poly(4-vinyl pyridine-co-hydroxyethyl Methacrylate) Particles: Its Adsorption Propensity to Cr(VI). *Journal of Hazardous Materials*, **187**, 213-221. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.022>
- [17] Bhaskarapillai, A., Sevilimedu, N.V. and Sellergren, B. (2009) Synthesis and Characterization of Imprinted Polymers for Radioactive Waste Reduction. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **48**, 3730-3737. <https://doi.org/10.1021/ie801640b>
- [18] Wang, Y., Xie, J., Wu, Y., Ge, H. and Hu, X. (2013) Preparation of a Functionalized Magnetic Metal-Organic Framework Sorbent for the Extraction of Lead Prior to Electrothermal Atomic Absorption Spectrometer Analysis. *Journal of Materials Chemistry A*, **1**, 8782. <https://doi.org/10.1039/c3ta11178d>
- [19] Luo, X., Guo, B., Wang, L., Deng, F., Qi, R., Luo, S. and Auc, C. (2014) Synthesis of Magnetic Ion-Imprinted Fluorescent CdTe Quantum Dots by Chemical Etching and their Visualization Application for Selective Removal of Cd(II) from Water. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **462**, 186-193. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.09.012>

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2331-012X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [amc@hanspub.org](mailto:amc@hanspub.org)