

巯基改性磁性介孔二氧化硅的制备及其对重金属 Cd²⁺的吸附研究

周丽枫^{1,2}, 王 韧^{1,2}, 冯 伟^{1,2}, 李亚男^{1,2}, 周蕴宇^{1,2},
罗小虎^{1,2}, 王 莉^{1,2}, 于秋生^{1,2}, 陈正行^{*1,2}

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 粮食发酵工艺与技术国家工程实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122)

摘要:以稻壳灰为硅源、Fe₃O₄为磁性材料制备磁性介孔二氧化硅(MMS);随后对其进行巯基改性制备巯基改性磁性介孔二氧化硅(TMMS),并考察了搅拌时间、反应温度、氨水添加量对TMMS表面巯基浓度的影响,研究了巯基浓度对Cd²⁺吸附效果的影响;最后,对MMS与TMMS的结构进行表征,并通过吸附等温线对MMS与TMMS对Cd²⁺吸附效果进行比较。结果表明:当反应时间8 h、水浴温度80 ℃、催化剂氨水添加量750 μL时,TMMS的表面巯基浓度达到0.131 mmol/g;巯基浓度越高,TMMS对Cd²⁺的吸附效果越好;MMS与TMMS两种材料的骨架均为无定形的SiO₂结构,BET多点比表面积分别为581.769 m²/g与405.665 m²/g;MMS与TMMS对Cd²⁺的等吸附温模型更符合Langmuir模型,都属于单分子层吸附;在Langmuir模型中,TMMS的饱和吸附量为33.33 mg/g,大于MMS的饱和吸附量(21.50 mg/g)。因此,巯基改性有利于TMMS对Cd²⁺的吸附,可达到有效脱除废水中Cd²⁺的目的。

关键字:磁性介孔二氧化硅;改性;Cd²⁺;单位吸附量;性质表征

中图分类号:TS 210.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1673—1689(2018)10—1035—07

Preparation of Thiohydroxy Modified Magnetic Mesoporous Silica from Rice Husk and its Removal Properties for Cd (II)

ZHOU Lifeng^{1,2}, WANG Ren^{1,2}, FENG Wei^{1,2}, LI Yanan^{1,2}, ZHOU Yunyu^{1,2},
LUO Xiaohu^{1,2}, WANG Li^{1,2}, YU Qiusheng^{1,2}, CHEN Zhengxing^{*1,2}

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. National Engineering Laboratory for Cereal Fermentation Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In this paper, magnetic mesoporous silica (MMS) was prepared by using rice husk ash as the silica source and Fe₃O₄ as the magnetic material, and then MMS was modified by TMMPs as the

收稿日期: 2016-08-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371874);粮食公益性行业科研专项(201513006)。

* 通信作者: 陈正行(1960—),男,江苏无锡人,工学博士,教授,博士研究生导师,主要从事食品科学与工程研究。

E-mail: zxcchen_2008@126.com

引用本文: 周丽枫,王韧,冯伟,等. 巯基改性磁性介孔二氧化硅的制备及其对重金属 Cd²⁺的吸附研究[J]. 食品与生物技术学报, 2018, 37(10): 1035-1041.

silane coupling agents. The effects of agitation time, reaction temperature and the amount of ammonia on the surface thiohydroxy concentration were investigated during the preparation process and the effect of surface thiohydroxy concentration on the adsorption capacity on Cd^{2+} was investigated during the adsorption process. At last, the end product named thiohydroxy modified magnetic mesoporous silica (TMMS) and MMS was characterized and the adsorption effect of MMS and TMMS for Cd^{2+} was compared by adsorption isotherm. It was found that when the reaction condition was 8 h at 80 °C and the amount of ammonia was 750 μL , the surface thiohydroxy concentration of TMMS was 0.131 mmol/g. The adsorption effect was in direct proportion to the surface thiohydroxy concentration. The BET surface area of MMS and TMMS was 581.769 m^2/g and 405.665 m^2/g respectively. The isotherm had a good correlation with Langmuir isotherm model rather than Freundlich isotherm model, which suggesting that the adsorption was monolayer adsorption. When the reaction temperature during the adsorption process was 30 °C, the saturated adsorption capacity of TMMS was 33.33 mg/g, which was bigger than the value of MMS. Therefore, the purpose of effective removal of Cd^{2+} in wastewater can be achieved by modification.

Keywords: MMS, modify, Cd^{2+} , adsorption capacity, characterization

随着电解电镀、染料、冶炼等重金属工业的发展,重金属废水对环境的污染越来越严重。其中,含镉废水是对环境污染最严重和危害最大的工业排放废水之一。镉进入人体的主要方式之一是呼吸道^[1],摄入或吸入过量的镉对人体的免疫、泌尿、神经、循环、生殖等系统都会造成不同程度的损伤,还会产生致癌、致畸效应。镉可以在水体中通过生物链富集到水产品中,含镉废水的排放污染土壤后,还可富集到农作物上^[2],从而对人体的健康造成危害。1968 年日本出现的“痛痛病”就是因为人吃了镉超标的大米而引起软化骨症^[3-6]。

消减废水中重金属的主要方法有化学沉淀法、离子交换法、电解法、膜分离法、吸附法、生物法等。由于吸附法所用的吸附剂具有可再生性、可降解性、成本较低、可循环使用、去除率高等优点,弥补了其他方法易二次污染、处理成本高、耗时、操作繁琐等缺点,成为去除废水中重金属的主要研究方向之一^[7-13]。作者探索了以稻壳为资源的新材料的制备——巯基改性磁性介孔材料的制备。稻壳属于生物材料,杂质含量较少,经高温煅烧可去除绝大部分有机物,剩余的稻壳灰中主要成分为二氧化硅。目前我国对稻壳的利用存在以下两方面问题,首先是利用率低,仅有 20% 的稻壳被循环利用,其余皆被丢弃或焚烧,容易造成二次污染;二是利用水平不高,目前对稻壳的最普遍利用方式是用稻壳发电

和制备一些附加值较低的工业产品如工业水玻璃、活性炭、饲料添加剂等^[14-18]。

介孔二氧化硅作为常用的吸附剂之一,虽然在结构上有许多优势,如骨架稳定、孔道有序、比表面积大、孔径在一定范围内可调等,但其催化活性低,吸附能力有限且选择性差。将活性基团引入介孔二氧化硅,可增加其活性位点,有效地改善其表面性质和孔结构,提高其催化活性和离子交换能力^[19]。如杨娜等^[20]研究发现,与介孔二氧化硅 SBA-15 相比,氨基改性 SBA-15 对铜离子的吸附能力提高了 2 倍。孙静静等^[21]研究发现,氨基改性介孔硅溶胶吸附剂对重金属 Pb^{2+} 具有选择吸附特性。洪帆^[22]将巯基改性的磁性介孔二氧化硅应用于对铅离子和汞离子的吸附,研究表明,吸附剂对 Pb^{2+} 的饱和吸附量为 18.46 mg/g,对 Hg^{2+} 的饱和吸附量为 25.8 mg/g。

作者以表面巯基浓度为指标,对 MMS 的巯基改性条件进行优化,并对制备的 TMMS 进行性质表征,建立 MMS 与 TMMS 对镉的等温吸附模型。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

稻壳:无锡苏惠米业有限公司产品;巯丙基三甲氧基硅烷(TMPS):湖北武大有机硅新材料股份有限公司产品;十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)、乙醇、水合肼、 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 、七水合硫酸亚铁、六水氯

化铁、甲苯、氨水、盐酸、氢氧化钠(分析纯):国药集团化学试剂有限公司产品。

JW-BK12 静态氮吸附仪:北京精微高博科学仪器有限公司产品;D8 型 X 射线衍射仪:德国布鲁克 AXS 有限公司产品;DFY-400 型摇摆式高速中药粉碎机:温岭市大德中药机械有限公司产品;DELTA320 型 pH 计:METTLER TOLEDO 公司产品;Nicolet iS10 傅里叶红外变换光谱仪:美国赛默飞公司产品;LXJ IIB 离心沉淀机:上海安亭科学仪器厂产品;HYG-A 全温摇瓶柜:上海银泽仪器设备有限公司产品;Aanalyst 600 原子吸收光谱仪:珀金埃尔默仪器有限公司产品。

1.2 试验方法

1.2.1 磁性介孔二氧化硅(MMS)的制备 参考赵秀平的制备方法^[23]。

1.2.2 磁性介孔二氧化硅的巯基改性(TMMS) 将 0.5 g 磁性介孔二氧化硅溶于 0.625 mL 去离子水中,加入 37.5 mL 无水甲醇,超声 30 min。再加入 37.5 mL 甘油超声 10 min。将超声完全的混合溶液转移至 250 mL 的三口烧瓶中。

准确量取 0.3 mL 的 3-巯丙基三乙氧基硅烷(TMMPS),与 25 mL 无水甲醇混合均匀后转移至上述三口烧瓶中,加入一定量的氨水作为催化剂。将三口烧瓶在一定温度水浴中搅拌一段时间后,倒出烧瓶中的溶液,无水甲醇洗 3 次,超纯水洗至中性。沉淀于 50 °C 烘箱中干燥过夜即得到^[22]。

1.2.3 单因素实验 在巯基改性磁性介孔二氧化硅的制备过程中,以反应时间、反应温度、氨水添加量为变量,表面巯基浓度为指标进行单因素实验。表面巯基浓度的测定参考苏婧^[24]的方法。

1.2.4 MMS 与 TMMS 的性质表征 磁场分离法:分别称取 0.2 g MMS 与 TMMS 分散于 200 mL 去离子水中,1 min 后用市售磁铁进行吸附,检测其分离效果;红外光谱法:吸附剂进行 KBr 压片法预处理,波数范围为 4 000~400 cm^{-1} ,分析样品中含有的基团,检测巯基是否接枝成功;X 衍射法:Cu 靶 $\text{K}\alpha$ 射线, $\lambda = 0.154 \text{ nm}$,工作电压为 40 kV,电流为 40 mA,扫描范围 $2\theta = 3^\circ \sim 80^\circ$,扫描步长 $0.02^\circ/\text{s}$,分析样品的物相;静态氮吸附法:样品在 200 °C 下脱气 4 h,-197 °C 下测定样品的等温吸脱附曲线,检测吸附剂的孔径和比表面积^[23]。

1.2.5 Cd^{2+} 的吸附实验 镉标准溶液由一定量的

$\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 溶于去离子水配置而成。准确称取一定量的吸附剂,倒入盛有 200 mL 镉标准溶液的锥形瓶中,调 pH 至 5,30 °C 恒温振荡 5 h。用市售磁铁进行固液分离,测定吸附后 Cd^{2+} 质量浓度,测定方法参照 GB 5009.15-2014^[25]。根据吸附前后 Cd^{2+} 质量浓度计算单位吸附量(1)。计算式:

$$q_e = (C_0 - C_e) \cdot V / m \quad (1)$$

式中: q_e 为单位吸附量 (mg/g); C_0 为镉标准溶液的初始质量浓度 (mg/L); C_e 为吸附后溶液的 Cd^{2+} 质量浓度 (mg/L); V 为镉标准溶液的体积 (mL); m 为吸附剂的质量 (g)。

1.2.6 Cd^{2+} 的等温吸附模型 配置初始质量浓度分别为 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100 mg/kg 的镉标准溶液,分别加入等量的 MMS 和 TMMS 于各个浓度的镉标准溶液中,在 30 °C 下振荡 5 h,分别测定吸附后 Cd^{2+} 含量,研究平衡浓度与单位吸附量的关系。根据公式进行 Langmuir 模型 (2) 与 Freundlich 模型 (3) 的拟合,计算模型中各参数。计算式:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max}} C_e + \frac{1}{K_L q_{\max}} \quad (2)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (3)$$

式中: q_e 为单位吸附量 (mg/kg); $q_{\max}$ 为最大吸附量 (mg/kg); C_e 为平衡后 Cd^{2+} 的质量浓度 (mg/L); K_L 为与吸附强度有关的 L 吸附常数; K_F 为与吸附容量有关的 F 吸附常数; n 为与吸附强度有关的 F 模型常数^[26]。

2 结果与讨论

2.1 MMS 巯基改性条件优化

2.1.1 反应时间对 TMMS 表面巯基浓度的影响 在 80 °C 下,加入氨水 500 μL ,搅拌不同时间,考察反应时间对吸附剂表面巯基浓度的影响。在 4~8 h 范围内,随着反应时间的延长,巯基浓度由 0.072 mmol/g 增加到 0.122 mmol/g,显著增加 ($p < 0.05$)。因为本试验所用的溶剂甘油粘度较大,所以增加反应时间可使 MMS 与 TMMPS 充分接触,促进反应的进行。当反应时间大于 8 h 时,巯基浓度变化不显著 ($p > 0.05$),反应基本趋于平衡。因此,选定反应时间 8 h 较合适。

2.1.2 反应温度对 TMMS 表面巯基浓度的影响 加入氨水 500 μL ,在不同的水浴温度下搅拌 8 h,考察反应温度对吸附剂表面巯基浓度的影响。在 60~

80 °C 范围内, 随着反应温度的升高, 巯基浓度由 0.099 mmol/g 增加到 0.122 mmol/g, 显著增加 ($p < 0.05$), 这可能是因为反应温度升高有利于 TMMPS 的烷氧键水解成羟基后与 MMS 表面的硅羟基进行脱水缩合^[22]。当反应温度大于 80 °C 时, 巯基浓度反而减小, 这可能是因为反应溶液在此温度下处于沸腾状态, 反应过程中混合溶液会有部分挥发, 溶液浓度降低, 对改性反应有一定的影响。因此, 选定反应温度 80 °C 较合适。

2.1.3 氨水添加量对 TMMS 表面巯基浓度的影响 在 80 °C 搅拌 8 h, 加入不同量的氨水, 考察氨水添加量对吸附剂表面巯基浓度的影响。在 250~750 μL 范围内, 随着氨水量的增加, 巯基浓度由 0.111 mmol/g 增加到 0.131 mmol/g, 显著增加 ($p < 0.05$); 当氨水量大于 750 μL 时, 巯基浓度变化不显著 ($p > 0.05$)。氨水作为催化剂, 可以加速 TMMPS 中烷氧键的水解, 而当催化剂的量足够大时, 催化作用达到最大限度, 反应也趋于平衡。因此, 选定氨水添加量 750 μL 较合适。

2.2 TMMS 表面巯基浓度对 Cd^{2+} 吸附效果的影响

合成具有不同巯基浓度的 TMMS 作为吸附剂, 以 Cd^{2+} 的单位吸附量为指标, 探究 TMMS 的表面巯基浓度对 Cd^{2+} 吸附效果的影响。由图 1 可知, 随着巯基浓度的增加, TMMS 对标准溶液中 Cd^{2+} 的单位吸附量逐渐增加 ($p < 0.05$)。在优化工艺条件下制备的 TMMS (表面巯基浓度 0.131 mmol/g) 对 Cd^{2+} 的单位吸附量为 2.824 mg/g。这可能是因为巯基与 Cd^{2+} 是通过较强的金属螯合作用结合, 同时改性后巯基浓度高, 活性位点多, 有利于 TMMS 对 Cd^{2+} 的吸附。

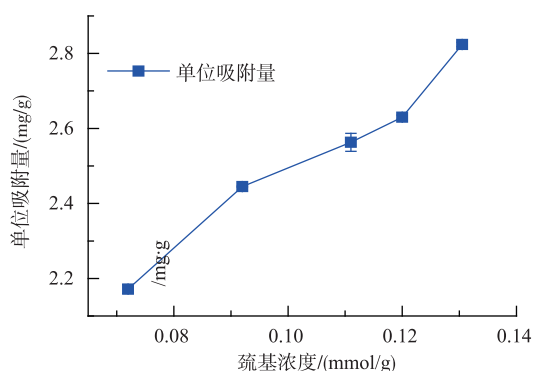


图 1 表面巯基浓度对 TMMS 吸附 Cd^{2+} 的影响

Fig. 1 Effect of surface thiohydroxy concentration of TMMS on the adsorption capacity of Cd^{2+}

2.3 MMS 与 TMMS 的性质表征

2.3.1 磁分离特性 MMS 与 TMMS 的磁分离效果如图 2 所示。在施加外磁场 1 min 后, MMS 和 TMMS 材料均可以和水相进行很好的分离。这有利于实际应用中吸附剂的分离与再应用。

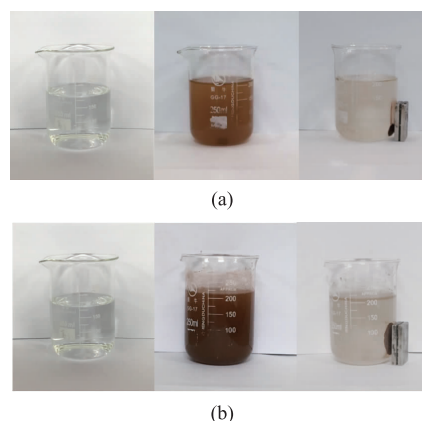


图 2 MMS 和 TMMS 的磁性分离

Fig. 2 Magnetic separation of MMS and TMMS

2.3.2 红外光谱 MMS 与 TMMS 的红外光谱如图 3 所示。MMS 与 TMMS 曲线中, 1 086 cm^{-1} 与 1 090 cm^{-1} 是两种材料骨架中 Si-O 的特征吸收峰^[27]。561 cm^{-1} 与 563 cm^{-1} 对应 MMS 与 TMMS 中 Fe-O 的振动峰, 说明两种材料中, SiO_2 均成功包覆磁性材料 Fe_3O_4 。MMS 曲线中, 970 cm^{-1} 与 1 634 cm^{-1} 为 Si-OH 的弯曲振动峰, 但在 TMMS 曲线中, 由于巯基接枝的原因, -OH 的数目减小, 这两个峰强度明显变小。在 TMMS 曲线中, 2 930 cm^{-1} 与 2 870 cm^{-1} 为 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{SH}$ 的特征碳氢键伸缩振动吸收峰, 峰上有两个较小但很明显的吸收峰, 说明巯基已成功接枝到磁性介孔二氧化硅上, 与洪帆^[22]的实验结果相同。

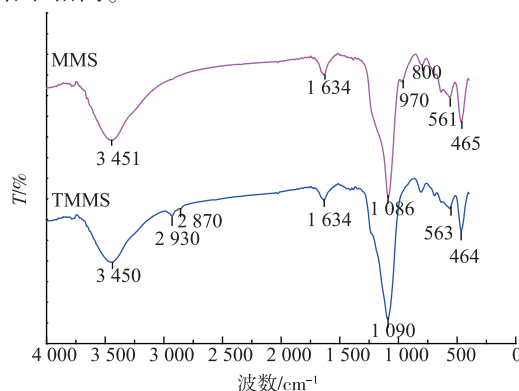


图 3 MMS 与 TMMS 的红外谱图

Fig. 3 FTIR spectra of MMS and TMMS

2.3.3 X 射线衍射 如图 4 所示,MMS 和 TMMS 在 $2\theta=15\text{--}30^\circ$ 均有一个较宽的衍射峰,表明这两种材料的骨架均为无定形的 SiO_2 结构。两个曲线上均有 $2\theta=30.20, 35.66, 43.55, 53.78, 57.53, 62.82^\circ$ 6 个衍射峰,分别对应两种材料中 220、311、400、422、511、440 6 个晶面,表明两种磁性材料 Fe_3O_4 均为标准的尖晶石结构,与 Hong^[28]测定的 Fe_3O_4 结果相同。

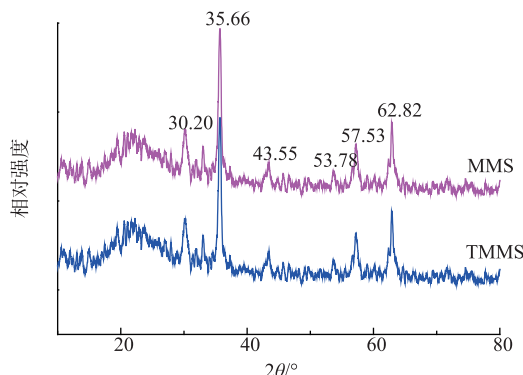


图 4 MMS 与 TMMS 的 XRD 图谱

Fig. 4 XRD patterns of MMS and TMMS

2.3.4 静态氮吸附 图 5 分别为 MMS 与 TMMS 的吸脱附曲线。如图所示,MMS 与 TMMS 的吸脱附等温线均属于典型的 Langmuir IV 型等温线,从相对压力 $P/P_0=0.2$ 处出现陡峭的 H1 滞后环走势,说明这两种材料孔道均一,且孔径分布较集中。在相对压力 $P/P_0=1.0$ 处曲线有微微上翘,说明几乎不含直径较大的孔道^[17]。孔径分布测定结果表明,MMS 的平均孔径为 4.581 nm, TMMS 的平均孔径为 4.861 nm,表明巯基改性对材料的平均孔径并没有太大的影响。此外,MMS 的比表面积为 581.769 m^2/g , TMMS 的比表面积为 405.665 m^2/g ,表明改性对材料的比表面积有一定的影响,这可能是由于 TMMS 接枝到 TMMS 孔道中所致。

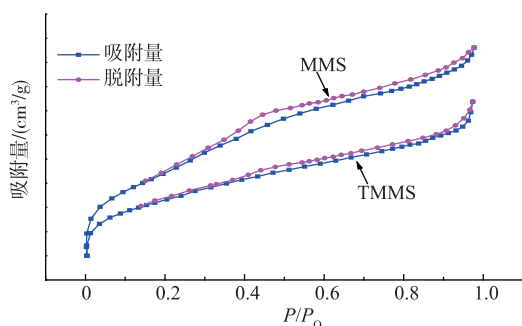


图 5 MMS 与 TMMS 的吸脱附曲线

Fig. 5 Nitrogen adsorption-desorption isotherms of MMS and TMMS

2.4 MMS 与 TMMS 的等温吸附模型

图 6 为 MMS 与 TMMS 吸附 Cd^{2+} 的等温线。由图可知,随着镉标准溶液质量分数的增大,两种吸附材料的单位吸附量增加。当平衡质量分数大于 60 mg/kg 时,MMS 与 TMMS 的吸附已经接近饱和,吸附趋于平衡。从整体趋势来看, TMMS 的单位吸附量比 MMS 的大,说明改性有利于对溶液中 Cd^{2+} 的吸附,改性后,巯基与 Cd^{2+} 有较强的金属螯合作用,吸附能力得到较大的提高。

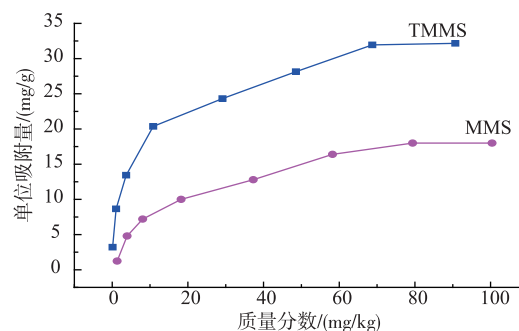


图 6 MMS 与 TMMS 的吸附等温线

Fig. 6 Adsorption isotherms of MMS and TMMS for Cd^{2+}

采用 Langmuir 和 Freundlich 模型对图 6 中的数据点进行拟合,得到的回归参数列于表 1。由表可知,两种介孔材料的 Langmuir 模型拟合回归方程的 R^2 均大于 Freundlich 模型的 R^2 ,表明 MMS 与 TMMS 对 Cd^{2+} 的等温吸附更符合 Langmuir 模型,都属于单分子层吸附,即吸附过程发生在均一表面,吸附剂表面的每个吸附位只能吸附一个吸附质分子。在 L 模型中, TMMS 的饱和吸附量为 33.33 mg/g ,明显大于 MMS 的饱和吸附量(21.50 mg/g)。一方面这可能是由于 TMMS 表面的巯基与 Cd^{2+} 是通过金属螯合的方式结合,而 MMS 与 Cd^{2+} 的结合方式是相对较弱的离子交换作用,因吸附是一个动态平衡的过程,使得在吸附效果上存在较大的差异;另一方面可能是因为巯基改性后的磁性介孔二氧化硅吸附位点较多,所以单位吸附量较大。 K_L 值越大说明吸附越容易进行, TMMS 的 K_L 值大于 MMS 的 K_L 值,说明 TMMS 对 Cd^{2+} 的吸附更容易进行。在 F 模型中, n 的值都大于 1,说明两种材料对 Cd^{2+} 的吸附都容易进行^[22,29-30]。

3 结 语

1) 当反应时间 8 h、水浴温度 80 $^\circ\text{C}$ 、催化剂氨

表 1 两种介孔材料对 Cd²⁺吸附的 Langmuir 和 Freundlich 模型回归参数Table 1 Langmuir constants and Freundlich constants of MMS and TMMS for Cd²⁺

吸附剂	Langmuir 模型参数			Freundlich 模型参数		
	$q_{\max}$	K_L	R^2	n	K_F	R^2
MMS	21.50	0.05	0.99	1.77	1.65	0.92
TMMS	33.33	0.19	0.99	2.93	7.77	0.98

水添加量 750 μL 时, TMMS 的表面巯基浓度达到 0.131 mmol/g。

2) 采用硅烷偶联剂 TMSPS 对 MMS 进行巯基改性后, 介孔材料对重金属 Cd²⁺的吸附性能明显提高, 且介孔材料的表面巯基浓度越高, TMMS 对 Cd²⁺的吸附效果越好。

3) MMS 与 TMMS 两种材料的骨架均为无定形的 SiO₂ 结构, 磁性材料 Fe₃O₄ 为标准的尖晶石结构。

4) MMS 与 TMMS 对 Cd²⁺的吸附均属于单分子层吸附, 即吸附过程发生在均一表面。

5) TMMS 有潜力成为废水中重金属 Cd²⁺脱除的优良吸附剂。

参考文献:

- [1] DENG Xin, WEN Lulu, SHU Chi. Cadmium hazards to human health and the prevention and treatment research [J]. **China Healthcare Innovation**, 2010, 5(10): 4-5. (in Chinese)
- [2] LI Jing, ZHOU Yanwen, CHEN Sen, et al. Actualities, damage and management of soil cadmium pollution in China [J]. **Anhui Agricultural Science Bulletin**, 2015, 21(24): 104-107. (in Chinese)
- [3] AN Hongmin, ZHEN Wei, GAO Yang. Research progress in cadmium toxicity [J]. **Journal of Environment and Health**, 2007, 24(9): 739-742. (in Chinese)
- [4] HAN Lei, ZHANG Hengdong. Toxicity and hazard of cadmium and lead [J]. **Journal of Occupational Health and Medicine**, 2012, 10(24): 367-368. (in Chinese)
- [5] OUYANG Yanlin, CHEN Lin. Present situation and harm of cadmium pollution in Rice [J]. **Guide of China Damage**, 2009, 24(3): 173-177. (in Chinese)
- [6] VASSILEVA P D A U I. Removal of metal ions from aqueous solutions using pyrolyzed rice husks: adsorption kinetics and equilibria [J]. **Chemical Engineering Communications**, 2013, 200: 1578-1599.
- [7] ZHANG Jianru, YE Jinwu, XU Lihong. Progress of the research on the treatment of cadmium-contained wastewater [J]. **Guangdong Chemical Industry**, 2007, 34(2): 28-30. (in Chinese)
- [8] DAI Shujuan, WEI Dezhou, BAI Limei, et al. Removing cadmium from cadmium-containing electroplating wastewater by biosorption-sedimentation [J]. **The Chinese Journal of Nonferrous Metals**, 2008, 18(10): 1945-1950. (in Chinese)
- [9] SHEN Ping, ZHU Guowei. Comparison among various treatment methods of wastewater containing cadmium [J]. **Pollution Control Technology**, 2010, 23(6): 56-59. (in Chinese)
- [10] XIA Zhixin, ZHANG Yinbo, Guo Yanping. Advances in applying adsorbent to cadmium wastewater treatment [J]. **Guangdong Chemical Industry**, 2012, 39(15): 44-46. (in Chinese)
- [11] CHANG Yanli. Advances in research of technological processes of cadmium-containing wastewater treatment [J]. **Water Purification Technology**, 2013, 32(3): 1-4. (in Chinese)
- [12] HU Haixiang. The summary and trend of heavy metals liquid waste processing technique [J]. **China Resources Comprehensive Utilization**, 2008, 26(2): 22-25. (in Chinese)
- [13] WANG HY, G.B.W.S. Removal of Pb(II), Cu(II), and Cd(II) from aqueous solutions by biochar derived from KMnO₄ treated hickory wood [J]. **Bioresource Technology**, 2015, 197: 356-362.
- [14] 丁开宇. 稻壳灰制备白炭黑的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [15] HOU Guihua, LUO Juhua, CHEN Jinwen. Synthesis of ordered mesoporous silica from rice husk ash [J]. **Journal of Materials Science & Engineering**, 2006, 102(24): 528-530. (in Chinese)
- [16] 李大伟. 热解稻壳炭基多孔材料的制备、表征及应用基础 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2011.

- [17] CHEN Zhengxing, WANG Ren, ZHOU Yunyu. Highly-ordered mesoporous silica from rice husk [J]. **Cereal and Food Industry**, 2014, 21(2):1-5. (in Chinese)
- [18] CHEN Zhengxing, WANG Ren, WANG Ren, et al. Development in deep processing technology of rice and by-products [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2012:355-364. (in Chinese)
- [19] SRIVASTAVA VC, M.I.M.I. Characterization of mesoporous rice husk ash (RHA) and adsorption kinetics of metal ions from aqueous solution onto RHA [J]. **Journal of Hazardous Materials**, 2006, 134:257-267.
- [20] YANG Na, ZHU Shenmin, ZHANG Di. Macroporous silica: surface modification and adsorption properties [J]. **Chinese Journal of Inorganic Chemistry**, 2007, 23(9):1627-1630. (in Chinese)
- [21] SUN Jingjing, XU Lijian, LI Wen, et al. APTES-modified mesoporous silica preparation and its adsorption on heavy metal ions [J]. **Journal of Hunan University of Technology**, 2013, 27(2):16-20. (in Chinese)
- [22] 洪帆. 巯基修饰的核壳式磁性二氧化硅材料的制备及对重金属的去除 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [23] ZHAO Xiuping, WANG Ren, WANG Li, et al. Preparation and characterization of amino-modified magnetic mesoporous silica from rice husk [J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2015, 30(12):1-5. (in Chinese)
- [24] SU Jing, HUI Wenli, WANG Lanying, et al. Synthesis of silanized magnetic particle and determination of the thiol group on its surface [J]. **Journal of Northwest University (Natural Science Edition)**, 2006(1):59-62. (in Chinese)
- [25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB/T 5009.15-2014 食品中镉的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [26] 刘慧. 巯基化蒙脱石的制备及其对镉的吸附/解吸机理研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [27] ABO-EL-ENEIN SA, E.M.D.A. Removal of some heavy metals ions from wastewater by copolymer of iron and aluminum impregnated with active silica derived from rice husk ash [J]. **Journal of Hazardous Materials**, 2009, 172:574-579.
- [28] HONG RY, L.J.L.H. Synthesis of Fe_3O_4 nanoparticles without inert gas protection used as precursors of magnetic fluids [J]. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, 2008, 320:1605-1614.
- [29] SUN Jingjing, XU Jianli. The new development of modification and application of nano-silica [J]. **Chemical Industry Times**, 2012, 26(4):52-58. (in Chinese)
- [30] 张萌. 胺基改性介孔二氧化硅的制备及其对水体中重金属离子的吸附 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.

会 议 消 息

2018(第3届)抗菌科学与技术论坛第二轮会议通知

会议时间: 2018年11月24-25日 会议地点: 北京

官方网址: http://www.kjj.com.cn/html/2018/xiehuidongtai_0508/3929.html

参会报名事宜: 曾雅晶, 15652838082, ciaa2001@126.com

论文投稿及报告申请事宜: 王兴, 13911527186@163.com

会议合作、赞助及现场展位: 李明忠, 18814881688, ciaa2001@126.com

会议简介: 2018(第3届)抗菌科学与技术论坛由全国卫生产业企业管理协会抗菌产业分会、北京化工大学生命科学与技术学院、生物医用材料北京实验室共同主办, 将于2018年11月24-25日在北京西郊宾馆召开。届时国内外抗菌相关学术领域的知名专家、学者将会就抗菌表面与界面、无机抗菌材料、有机抗菌材料、其他抗菌材料、微生物检测及分析等主题进行报告和展开交流。

大会内容及征文:

(一)大会主题: 健康中国建设国家战略下的抗菌学术发展

(二)大会征文内容

(1)抗菌表面与界面——无机/有机/生物等二元或多元复合抗菌材料的表面、微观结构、接合界面及其抗菌机理理论研究及应用; (2)无机抗菌材料——银、锌、铜、钛等金属元素或非金属低维碳材料相关的无机抗菌材料与纳米抗菌材料及其抗菌理论或应用研究; (3)有机抗菌材料——有机小分子、高分子等合成抗菌材料或天然抗菌材料及其抗菌理论或应用研究; (4)其他抗菌材料——不在上述范围的抗菌材料或方式, 如光、电等物理抗菌理论或应用研究; (5)微生物检测及分析——微生物(特别是耐药菌)的基本理论与发现、抗菌材料与微生物、抗菌检测与抗菌性能评价新方法等。