

竹炭的性能和应用研究进展

张莉莉, 江婷, 苑金鹏, 赵汝松, 李磊, 王珊珊

山东省分析测试中心, 山东省大型精密分析仪器应用技术重点实验室, 济南 250014

摘要 竹材热分解得到的竹炭具有较高的孔隙度和比表面积, 其良好的性能引起了人们的广泛关注。本文综述了近年来关于竹炭性能和应用的研究报道, 着重介绍了竹炭的吸附性能, 电、磁性能及其在各领域的应用状况, 如吸附大气和水环境中的无机、有机污染物; 以竹炭为原料生产电磁屏蔽材料、静电屏蔽材料和电热材料, 同时, 可通过重整孔结构和修饰孔表面等方法来提高竹炭的吸附能力。另外, 竹炭的多孔性能使不同材料负载其上成为可能, 由此可充分发挥两种材料的优势, 使得竹炭基复合材料具有很广的应用前景。本文还涉及竹炭吸附热力学、动力学及再生研究、改性竹炭等内容, 并指出今后竹炭研究的发展趋势。

关键词 竹炭; 吸附; 导电性; 导磁性

中图分类号 X132

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)16-0113-05

Bamboo Charcoal's Properties and Applications

ZHANG Lili, JIANG Ting, YUAN Jinpeng, ZHAO Rusong, LI Lei, WANG Shanshan

Key Laboratory for Applied Technology of Sophisticated Analytical Instruments of Shandong Province, Shandong Analysis and Test Center, Jinan 250014, China

Abstract Bamboo charcoal, produced from the thermal decomposition of bamboo wood, has attracted much attention from many fields in recent years. This paper reviews the properties and applications of bamboo charcoal, focusing on the aspects of adsorption, electrical and magnetic properties, such as the adsorption of the inorganic and organic substance in atmosphere and water, its use as an electromagnetic shielding material, an electrostatic screening material, and a thermo electric material. The adsorption property of bamboo charcoal can be improved by reforming the pore structure and the modification of the pore surface, and different materials can be loaded on it because of its poriness to combine the advantages of different materials, so, the composite based on bamboo charcoal is widely used in different areas. Besides, this paper also discusses the kinetics and thermodynamics for adsorption by bamboo charcoal and the regeneration of bamboo charcoal, together with the development trend of bamboo charcoal researches.

Keywords bamboo charcoal; adsorption; electrical property; magnetic property

0 引言

竹炭是竹材在高温、缺氧(或限制性的通入氧气)条件下, 使竹材受热分解而得到的固体物质, 具有较高的孔隙度和比表面积, 它的特殊结构使其具有良好的吸附性和电、磁等性能。竹炭及其制品在环保、医学和食品等领域具有广泛的应用前途^[1]。对竹炭的研究和开发在近几年掀起热潮, 并成为竹资源研究开发领域的热点。本文综述了近年来关于竹炭的研究报道, 着重从竹炭的性能及应用方面对其进行评述。

1 竹炭的吸附性能

通过显微镜可以观察到, 竹炭的组织中有丰富的孔隙, 这些孔的吸附性能良好。实验证明, 每克竹炭对液态氮的吸附面积达 150~380m², 相当于一个篮球场大小, 是木炭吸附面积的 2~3 倍。良好的吸附性使其在吸附污染物方面得到了广泛应用。

1.1 吸附环境中的污染物

竹炭可以吸附空气中的污染物, 起到净化气体保护环境

收稿日期: 2009-12-31; 修回日期: 2010-07-06

基金项目: 山东省重大科技专项(2006GG1108097-01); 山东省自然科学基金项目(Y2008B66); 山东省科学院基础研究项目

作者简介: 张莉莉, 研究实习员, 研究方向为食品、环境领域色谱-质谱分析, 电子信箱: zhanglili830911@163.com

的作用。吴燕等^[2]开展了竹炭吸附文物保护单位微环境中的有害气体——氮氧化物的研究,优化了 NO_x 浓度、流量、湿度条件、竹炭量等因素对低浓度氮氧化物去除效果的影响,确定了达到最佳净化效果的实验条件为 3g 以上的竹炭量、<20% 的湿度及 1.0~1.5L/min 的 NO_x 流量。在这种情况下低浓度 (150×10^{-9}) 的 NO 去除率在 95% 以上,对 NO_2 的去除率 >96%; 活化剂改性和对竹炭进行超声处理后,对 NO 净化效果有明显的提高作用,说明竹炭在文物保护单位微环境中应用的可行性。在竹炭净化气体方面,国内还有用其吸附空气中甲醛^[3]的报道,表明竹炭是一种很有潜力的环保型吸附功能材料。

竹炭强大的吸附能力在水质净化中也得到了广泛的应用,能吸附水相中无机和有机污染物。已有报道竹炭可吸附水相中无机离子,如 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Cr^{6+} 、 Hg^{2+} 、 Ni^{2+} ,探讨了吸附时间、溶液 pH 值、竹炭用量、吸附温度、无机离子初始值等条件对所研究对象去除率的影响^[4-9]。在最佳试验条件下,竹炭对溶液中的离子最高去除率可达 99.8%^[4]。此外,陈国青等^[4]在研究超细竹炭对水中 Pb^{2+} 的吸附能力时,还考虑了水的硬度和污水中可能含有的其他重金属离子对吸附 Pb^{2+} 的影响,实验主要考查了水中的 Ca^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} ,结果表明,溶液中 Ca^{2+} 对超细竹炭吸附 Pb^{2+} 有一定抑制作用;在一定浓度下,水中 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 对超细竹炭吸附 Pb^{2+} 的干扰较小;此外还有吸附后需用到的混凝剂聚合氯化铝(PAC)的影响。实验显示,在 pH 值为 4 时,PAC 对超细竹炭吸附 Pb^{2+} 吸附效果会有所减弱。

根据原国家环保局“中国环境优先监测研究”,苯胺和苯酚为水中优先控制污染物^[10]。周云龙等^[11]和叶桂足等^[12]分别研

究了竹炭对水溶液中苯胺和苯酚的吸附性能,讨论了竹炭吸附的最佳试验条件。研究表明,按苯胺与竹炭质量比 1:980 投加竹炭,苯胺去除率达到 93% 以上,pH 值对苯胺吸附效率影响最大,最佳值为 8~9 之间。叶桂足等^[12]发现,小粒径的竹炭利于苯酚的去除,质量浓度为 2.500g/L、粒径为 0.074mm 的竹炭对苯酚的吸附率高达 92.5%,并证实,酸性环境有利于吸附过程,这与苯酚在不同 pH 值下的离解程度有关。

染料废水处理问题也引起人们的广泛关注,而竹炭能有效地去除废水的色度和 COD。周云龙等^[13]探讨了竹炭对甲基橙溶液的吸附行为。研究证实,竹炭的粒径越小,其比表面积越大,对甲基橙的吸附能力越强;随着溶液 pH 值的增大,甲基橙的吸附效果直线下降,最佳吸附效果下溶液的 pH 值为 2,这些都与文献[12]的研究结果相符。实验显示,在最佳条件下竹炭对甲基橙的吸附率可达到 90% 以上,能有效除去溶液中的甲基橙。此外,该研究组还做了罗丹明 B 在竹炭上的吸附研究^[14],证实竹炭是较为理想的吸附废水中染料的材料。

在样品前处理技术中,固相萃取由于其高回收率、高富集效率、消耗有机溶剂少、易于自动化等优点得到了广泛的应用,而竹炭强大的吸附性使其成为良好的固相萃取吸附剂。Zhao 等^[15]在这方面做了较多工作,见表 1。从所做研究中可以看出,竹炭是一种很好的富集环境中痕量、超痕量有机污染物的吸附材料,表明以竹炭为吸附剂的固相萃取方法是富集和检测环境水样中污染物的一种很有应用潜力的分析手段。在文献[16]中,竹炭固相萃取小柱可以重复利用 200 多次而未发现吸附性能的明显降低。

表 1 竹炭作为固相萃取吸附剂对环境有机污染物的分析参数
Table 1 Parameters of organic pollutant in the environment using bamboo charcoal as solid-phase extraction adsorbent

化合物	回收率/%	检出限/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	分析方法	参考文献
邻苯二甲酸二甲酯,邻苯二甲酸二乙酯,邻苯二甲酸丁苯酯,邻苯二甲酸正二丁酯	75.0~114.2	0.35~0.43	HPLC/UV	[15]
酚类化合物	76.4~120.1	0.06~0.4	HPLC/UV	[16]
全氟辛酸	79.5~118.3	2×10^{-4}	HPLC/MS	[17]
双酚 A,壬基苯酚,4-辛基苯酚	79.5~104.3	0.17~0.37	HPLC/UV	[18]
莠去津,西玛津	75.2~107.1	0.1	HPLC/UV	[19]

1.2 改性竹炭和竹炭基复合材料的应用

通过重整竹炭的孔结构和修饰孔表面等方法可以提高竹炭的吸附能力,目前常用二次活化制备活性炭的方法得到改性竹炭。Lee 等^[20]用 KOH 粉进行活化,制得了以微孔为主的活性炭,BET 比表面积随磷酸与竹炭质量比的增大而增大,从 $300\text{m}^2/\text{g}$ 增大到 $2500\text{m}^2/\text{g}$ 。国内也有关于竹炭改性的研究报道。较早的是杨磊等^[21]针对吸附苯酚而改变竹炭的颗粒粒度的研究;游芳等^[22]研究了 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 对竹炭进行表面官能团改性,pH=2.43 时为最佳条件,硫酸铁溶液中游离态的 Fe^{3+} 与竹炭中的羟基和羰基团发生络合反应,使 Fe^{3+} 载在竹炭

骨架上完成竹炭改性;其除氟机制主要是氟离子与载入竹炭内的 Fe^{3+} 发生配位反应,改性后的竹炭对氟的去除效率从 55% 提高到 91.7%,大大加强了除氟能力。朱仙弟等^[23]采用硝酸对竹炭进行改性,硝酸氧化使得竹炭孔隙扩容,同时表面生成羰基、羟基等含氧活性基团,使得竹炭对目标物的吸附量明显高于未改性的竹炭。

蒋新元等^[24]研究了不同部位竹材制备竹活性炭及其对苯酚的吸附性能。实验表明,由竹笋、竹节和竹枝 3 个不同部位竹材加工剩余物制备的竹炭与竹活性炭,吸附性能均不同,其中以竹笋制备的竹炭和竹活性炭的吸附性能最好,前者与

竹材不同部位的纤维密度相关,后者在前者的基础上由于活化剂和高温的作用而进一步扩大了孔隙度,比表面积从 $110.354\text{m}^2/\text{g}$ 增加到 $462.069\text{m}^2/\text{g}$,这也很好地说明了经活化后得到的竹炭活性炭具有更加优异的吸附性能。

竹炭的多孔性使得不同材料负载其上成为可能。周建斌等^[25]采用纳米二氧化钛(TiO_2)对竹炭进行改性,将竹炭的吸附性能和纳米 TiO_2 光催化活性有机地结合起来。实验表明, TiO_2 既负载到竹炭孔隙的边缘和表面,又没有堵塞竹炭的特殊孔隙,改性竹炭在吸附苯的同时将其光催化降解为无污染的 CO_2 ,最佳的苯净化率可达 93.50%。周珊等^[26]将竹炭加入经氨氮驯化后的微生物悬液中制得竹炭固定化微生物菌,研究了其去除水样中氨氮的效果,并进行了竹炭吸附法和竹炭固定化微生物处理氨氮的对比试验。分别取 24.4g 粒径为 5mm 竹炭和 25g 竹炭固定化微生物处理 150mL 初始氨氮质量浓度为 $200\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, pH 值为 8 的水样,实验表明,竹炭对氨氮吸附平衡时,氨氮去除率为 34.6%,对氨氮的吸附量为 10.4mg,竹炭固定化微生物处理氨氮水样 48h 时,氨氮去除率为 70.2%,氨氮去除量为 21.1mg,后者对氨氮的去除能力远大于前者。

1.3 吸附动力学和热力学研究

张启伟等^[27]分别从热力学和动力学方面研究了竹炭对水中苯胺的吸附行为。通过不同粒径竹炭对苯胺的吸附试验发现 $\ln(1-F)$ 与时间 t 线性的相关系数在 0.995~0.998 之间,所以竹炭对苯胺的吸附拟用准一级动力学描述;同样,以 $\ln k$ 对 $1/T$ 作图得到 0.997 的良好线性相关系数,可见表现吸附速率常数与温度的关系符合 Arrhenius 经验公式。热力学研究表明:苯胺在竹炭上的吸附均受温度影响,温度升高,吸附平衡常数减小,吸附量减小,等量焓变 ΔH 均为负值,说明竹炭吸附过程为放热过程,且 $\Delta H < 40\text{kJ}/\text{mol}$,表明吸附过程主要为物理吸附;测得吉布斯自由能 $\Delta G < 0$,表明吸附质从溶液到吸附剂表面的吸附过程是自发过程。朱仙弟等^[23]做了硝酸改性竹炭吸附水溶液中 4-硝基苯酚的热力学和动力学研究,与张启伟的研究结果不同,动力学过程用二级吸附动力学模拟得到的线性相关系数可达 0.9995,远优于同浓度的一级动力学方程 0.8501 的线性系数,通过二级吸附模型计算出的平衡吸附量也与实验值相符;改性竹炭对 4-硝基苯酚的吸附行为可用 Langmuir 和 Freundlich 等温式进行描述,相关性都较好,且前者略好于后者,说明 4-硝基苯酚在改性竹炭上的吸附主要为单分子层吸附。通过求得的热力学参数表明,改性竹炭对 4-硝基苯酚的吸附是吸热、自发的过程,这也与张启伟放热吸附的研究结果不同,但吸附都是以物理吸附为主,再次佐证了陈文渊^[28]的研究结论。

1.4 竹炭吸附剂的再生

竹炭吸附后的再生利用有利于节约原料,提高竹炭利用效率。文献[5]在研究竹炭对溶液中 Zn^{2+} 的吸附行为时,做了相关的再生实验。为恢复竹炭的吸附能力,以水作洗脱剂,采用煮沸或水+微波加热的方法进行洗脱,通过二次吸附与初次

吸附的吸附量比(第二次吸附的吸附量与第一次吸附量的比值)对比衡量再生效果。实验表明,水煮沸方法处理的竹炭在经过长达 30min 吸附后,吸附能力只能恢复到 70.2%,相比之下微波加热的方法效果较好,竹炭的吸附能力可恢复到 92.9%以上,这是由于微波加热速度快、热效率高,且具有分子意义上的搅拌作用。同时发现,在总时间相同的情况下,分两次使用水+微波加热洗脱的再生活性炭效果更佳,吸附能力可恢复到 97%以上。文献[5]中还运用水+微波加热方法对吸附了溶液中 Hg^{2+} 和 Pb^{2+} 的竹炭进行再生试验^[8,29],吸附能力分别可恢复到 97%和 96%以上。

2 竹炭的电磁性能

竹炭具有一定的导电、导磁性能,利用这一特性能够以竹炭为原料生产电磁屏蔽材料、静电屏蔽材料和电热材料等功能型新材料。关于竹炭导电理论及影响因素已有诸多报道^[30-33]。研究认为,竹炭导电主要有离子导电和石墨化导电两种。在炭化最高温度低于 900°C 以下,主要是离子导电,离子包括与构成竹材的聚合物分子中的离子基缔合在一起而产生的离子,以及由竹材无机成分中含有的杂质产生的离子,随着炭化最高温度升高($>1100^\circ\text{C}$),竹炭导电主要与竹炭形成易石墨化结构有关。

一般认为,炭化工艺是影响竹炭导电率的主要因素。邵千钧等^[31]探讨了不同加热温度和加热时间对竹炭导电性能的影响,研究表明,在 $500\sim 1000^\circ\text{C}$ 范围内,随着加热温度的升高,竹炭的体积电阻率不断下降,在 $600\sim 800^\circ\text{C}$ 范围内,竹炭的电阻率突变,导电性能得到良好改善,最终确立了适用于生产的工艺条件为加热温度 $700\sim 850^\circ\text{C}$,加热时间 4~6h。傅秋华等^[34]从竹炭的理化性能角度探讨了竹炭电阻率和竹炭理化性能之间的关系,结果表明竹炭电阻率和竹炭理化性能之间存在相关性,竹炭电阻率随竹炭灰分含量、固定碳含量、密度和 pH 值的增加而有不同程度的降低,而随着竹炭挥发分含量的降低而降低,这是由于不同的理化性能对应竹炭中不同的纤维结构及元素、化合物组成,最终导致了电阻率的变化。

超级电容器具有工作温度宽、能量密度高、充放电速度快等优点,在电动汽车、数据记忆存储系统等领域具有很高的应用潜能。白翔等^[35]的研究显示,竹炭进一步活化得到竹炭基活性炭,在双电层电容器的应用上表现出良好的优势。试验表明,经 KOH 活化后的竹炭基活性炭具有比水活化后更大的比表面积,且前者拥有 10 倍于后者的中孔比表面积,这使它比只有微孔的材料表现出更好的超级电容器电化性能。试验表明,竹炭与 KOH 以 1:4 质量比混合,在 800°C 惰性气氛保温 1h 的条件下活化获得的活性炭,在 $0.05\text{mA}/\text{g}$ 电流密度下恒流充放电的电容比容量可达 $207\text{F}/\text{g}$,显示出很好的大电流充放电性能。进一步控制其活化过程及产物形态,有望获得适合于快速充放电的超级电容器电极材料。

电容去离子技术由于其能量利用率高,不需酸碱再生、无污染等优点在饮用水软化、废水净化、海水脱盐等方面有

着广阔的市场前景。张玲等^[36]探讨了制备竹炭基活性炭电极的最佳工艺条件,并将其应用于电容去离子模拟装置。正交试验表明活性炭、导电剂、黏结剂的质量对比对电极的去离子性能影响最大,在配比为 80:15:5 条件下制备的电极由于具有较高的竹炭和导电剂含量而改善了整体的吸附和导电性能,被确定为最终配比条件。以上配比及电极极片厚度 0.70mm、载炭量约 27mg/cm² 为电极制备的最佳工艺条件。模拟装置在 pH 值为 5.16、电压 1.55V、电极间距离 2.0cm 的最佳去离子条件下对废水中 Cu²⁺、Pb²⁺ 的去除率约达 75%。

谢国等^[37]还进行了电动-竹炭联合修复河涌底泥重金属污染的研究。为解决电动修复技术中重金属沉积问题,调节土壤 pH 值、提高修复能力,笔者采用了柠檬酸预处理、竹炭吸附和电极周期性切换的强化手段,并进行了非竹炭吸附区、竹炭吸附区、电极切换-竹炭吸附区重金属离子去除效率的对比试验。结果表明,柠檬酸预处理能增加底泥中表面电荷及土壤溶液离子浓度,提高了底泥电导率,降低底泥初始 pH 值,有利于重金属的去除。在竹炭处理区,可能由于竹炭的高比表面积以及底泥适宜 pH 值环境的共同作用,导致重金属被竹炭吸附而迁出底泥,从而得到较高的重金属去除率。周期性切换电极可以较好地控制底泥的 pH 值变化,防止重金属在两极的富集,提高重金属的迁移效率。在文献^[37]实验条件下,重金属 Zn、Ni 的平均去除率分别为 80.95%、68.26%。

3 竹炭的其他性能及应用

竹炭的吸附能力强,孔隙度高,适合作为土壤微生物和有机营养成分的载体,可增强土壤活力,是一种良好的土壤改良剂。此外,在医药卫生领域,竹炭可释放出天然香气,提高人的睡眠质量;竹炭辐射出的远红外线,能渗透血管,刺激身体各经络的穴道,改善身体器官机能,并能祛臭、吸湿、抗菌。利用竹炭加工制成的枕头、床垫、坐垫等产品良好的安寝物品。在材料工业,用竹炭可以制成各种复合材料,如竹炭陶瓷多孔体、粉末成型复合材料及碳复合材料中的特殊功能材料、特种载体材料等。竹炭可以制成各种工艺品、药品填充剂、饲料添加剂、可降解塑料的填充剂,还可用作燃料等。

4 结语

竹炭良好的吸附和电、磁性能使其在农业、化工、医药卫生、环境保护等领域应用引起了人们的广泛关注,对竹炭及相关制品的生产也成为近年来兴起的一个产业门类。在今后的研究中,竹炭的吸附机制,竹炭吸附性能的提高,竹炭的二次活化改性和复合材料的研究,竹炭的重复、再生利用,竹炭基电极材料的制备及在各领域的应用都将是热点所在。

参考文献 (References)

[1] 张东升, 王戈, 张新萍. 竹炭利用综合评述[J]. 世界竹藤通讯, 2004, 2(1): 1-3.

- Zhang Dongsheng, Wang Ge, Zhang Xinping. *World Bamboo and Rattan*, 2004, 2(1): 1-3.
- [2] 吴燕, 修光利, 王大为, 等. 竹炭净化文物保存微环境空气低浓度氮氧化物[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(1): 79-83.
Wu Yan, Xiu Guangli, Wang Dawei, et al. *Environmental Science and Management*, 2009, 34(1): 79-83.
- [3] 杨磊, 陈清松. 竹炭对甲醛的吸附性能研究[J]. 林产化学与工业, 2005, 25(1): 77-80.
Yang Lei, Chen Qingsong. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2005, 25(1): 77-80.
- [4] 陈国青, 周靖平, 高琦, 等. 超细竹炭对水中 Pb²⁺ 的吸附效果 [J]. 解放军预防医学杂志, 2006, 24(6): 405-407.
Chen Guoqing, Zhou Jingping, Gao Qi, et al. *Journal of Preventive Medicine of Chinese People's Liberation Army*, 2006, 24(6): 405-407.
- [5] 王桂仙, 张启伟. 竹炭对溶液中 Zn²⁺ 的吸附行为研究[J]. 生物质化学工程, 2006, 40(3): 17-20.
Wang Guixian, Zhang Qiwei. *Biomass Chemical Engineering*, 2006, 40(3): 17-20.
- [6] 刘创, 赵松林, 许坚. 竹炭对水溶液中 Cd(II) 的吸附研究[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(11): 3009-3012.
Liu Chuang, Zhao Songlin, Xu Jian. *Science Technology and Engineering*, 2009, 9(11): 3009-3012.
- [7] 王桂仙, 张启伟. 竹炭对溶液中铬(VI) 的吸附特性研究[J]. 广东微量元素科学, 2007, 14(1): 23-27.
Wang Guixian, Zhang Qiwei. *Guangdong Trace Elements Science*, 2007, 14(1): 23-27.
- [8] 张启伟, 王桂仙. 竹炭对溶液中汞(II) 离子的吸附行为研究[J]. 林业科学, 2006, 42(9): 102-105.
Zhang Qiwei, Wang Guixian. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(9): 102-105.
- [9] 李中宝, 梅平, 陈武. 竹炭对水溶液中镍(II) 吸附规律研究[J]. 长江大学学报, 2008, 5(4): 62-64.
Li Zhongbao, Mei Ping, Chen Wu. *Journal of Yangtze University*, 2008, 5(4): 62-64.
- [10] 何杰, 刘玉林, 谢同凤. 天然沸石用于去除水体中有机物污染物的效果[J]. 水处理技术, 1998, 24(5): 286-288.
He Jie, Liu Yulin, Xie Tongfeng. *Technology of Water Treatment*, 1998, 24(5): 286-288.
- [11] 周云龙, 池毓务, 胡志彪, 等. 苯胺在竹炭上的吸附行为研究[J]. 龙岩学院报, 2009, 27(2): 52-54.
Zhou Yunlong, Chi Yuwu, Hu Zhibiao, et al. *Journal of Longyan University*, 2009, 27(2): 52-54.
- [12] 叶桂足, 陈清松, 赖寿莲. 竹炭对水溶液中苯酚的吸附性能研究[J]. Ye Guizu, Chen Qingsong, Lai Shoulian. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2005, 25: 139-142.
- [13] 周云龙, 胡志彪, 丁荫祥, 等. 竹炭对甲基橙溶液吸附行为的研究[J]. 材料导报, 2009, 23(1): 37-39.
Zhou Yunlong, Hu Zhibiao, Ding Yinxiang, et al. *Materials Review*, 2009, 23(1): 37-39.
- [14] 黄田富, 陈旭超, 胡志彪, 等. 罗丹明 B 在竹炭上的吸附研究[J]. 龙岩学院学报, 2008, 26(6): 70-72.
Huang Tianfu, Chen Xuchao, Hu Zhibiao, et al. *Journal of Longyan University*, 2008, 26(6): 70-72.
- [15] Zhao R S, Wang X, Yuan J P, et al. Investigation of feasibility of bamboo charcoal as solid-phase extraction adsorbent for the enrichment and determination of four phthalate esters in environmental water samples[J]. *Journal of Chromatography A*, 2008, 1183: 15-20.
- [16] Zhao R S, Wang X, Yuan J P, et al. Sensitive determination of phenols

- in environmental water samples with SPE packed with bamboo carbon prior to HPLC[J]. *J Sep Sci*, 2009, 32: 630-636.
- [17] Zhao R S, Wang X, Wang X, *et al.* Using bamboo charcoal as solid-phase extraction adsorbent for the ultratrace-level determination of perfluorooctanoic acid in water samples by high-performance liquid chromatography-mass spectrometry [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2008, 390: 1671-1676.
- [18] Zhao R S, Wang X, Yuan J P, *et al.* Solid-phase extraction of bisphenol A, nonylphenol and 4-octylphenol from environmental water samples using microporous bamboo charcoal, and their determination by HPLC [J]. *Microchim Acta*, 2009, 165: 443-447.
- [19] Zhao R S, Yuan J P, Jiang T, *et al.* Application of bamboo charcoal as solid-phase extraction adsorbent for the determination of atrazine and simazine in environmental water samples by high-performance liquid chromatography-ultraviolet detector[J]. *Talanta*, 2008, 76: 956-959.
- [20] Lee B J, Kim Y J, Horie Y. Bamboo-based activated carbons as an electrode material for Electric Double Layer Capacitors(EDLCs) with an aqueous and organic electrolytes [J]. *Tanso Zairyo Gakkai Nenkai Yoshishu*, 2003, 30: 88-89.
- [21] 杨磊, 赖寿莲, 陈清松, 等. 竹炭及其改性材料对苯酚吸附性能的研究[J]. 福建化工, 2004, 4: 15-17.
Yang Lei, Lai Shoulian, Chen Qingsong, *et al.* *Chemical Engineering & Equipment*, 2004, 4: 15-17.
- [22] 游芳, 彭兵, 柴立元, 等. Fe₂(SO₄)₃对竹炭表面改性工艺及机理分析[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2008, 39(6): 1152-1156.
You Fang, Peng Bing, Chai Liyuan, *et al.* *Journal of Central South University: Science and Technology Edition*, 2008, 39(6): 1152-1156.
- [23] 朱仙弟, 赵松林, 梁华定. 改性竹炭对4-硝基苯酚的吸附行为研究[J]. 应用化工, 2009, 38(2): 197-200.
Zhu Xiandi, Zhao Songlin, Liang Huading. *Applied Chemical Industry*, 2009, 38(2): 197-200.
- [24] 蒋新元, 胡迅, 李湘洲, 等. 不同部位竹材制备竹活性炭及其对苯酚的吸附性能[J]. 林业科学, 2009, 45(4): 107-111.
Jiang Xinyuan, Hu Xun, Li Xiangzhou, *et al.* *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(4): 107-111.
- [25] 周建斌, 邓丛静, 傅金和, 等. 纳米TiO₂改性竹炭对空气中苯的吸附与降解[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32(6): 5-8.
Zhou Jianbin, Deng Congjing, Fu Jinhe, *et al.* *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2008, 32(6): 5-8.
- [26] 周珊, 周汇, 单胜道. 竹炭固定化微生物去除水样中氨氮的研究[J]. 林业科学, 2009, 45(6): 133-138.
Zhou Shan, Zhou Hui, Shan Shengdao. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(6): 133-138.
- [27] 张启伟, 王桂仙. 竹炭对苯胺吸附的热力学与动力学研究[J]. 林业科技, 2008, 23(4): 326-330.
Zhang Qiwei, Wang Guixian. *Forestry Science & Technology*, 2008, 23(4): 326-330.
- [28] 陈文渊. 竹炭吸附水中有机物的研究[D]. 福州: 福建农林大学材料工程学院, 2004.
Chen Wenyuan. Research on the bamboo charcoal adsorbs the organic pollutants in the water [D]. Fuzhou Materials Engineering College, Fujian Agriculture and Forestry University, 2004.
- [29] 张启伟, 王桂仙. 竹炭对溶液中铅(II)离子的吸附行为研究[J]. 丽水学院学报, 2005, 27(5): 60-63.
Zhang Qiwei, Wang Guixian. *Journal of Lishui University*, 2005, 27(5): 60-63.
- [30] 张文标, 华毓坤, 叶良明. 竹炭导电机理的研究 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2002, 26(4): 47-50.
Zhang Wenbiao, Hua Yukun, Ye Liangming. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2002, 26(4): 47-50.
- [31] 邵千钧, 徐群芳, 范志伟, 等. 竹炭导电率及高导电率竹炭制备工艺研究[J]. 林产化学与工业, 2002, 22(2): 54-56.
Shao Qianjun, Xu Qunfang, Fan Zhiwei, *et al.* *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2002, 22(2): 54-56.
- [32] 赵丽华, 余养伦, 林守富, 等. 竹炭电阻率的初步探讨[J]. 林产化工通讯, 2003, 37(3): 14-17.
Zhao Lihua, Yu Yanglun, Lin Shoufu, *et al.* *Journal of Chemical Industry of Forest Products*, 2003, 37(3): 14-17.
- [33] Hideyuki Y, Shiro M. Electric resistance of bamboo charcoal [C]// Symposium of International Academic Discussion on Bamboo Charcoal & Bamboo Vinegar in 2001. Beijing: China Forestry Publishing House, 2001: 171-173.
- [34] 傅秋华, 翁益明, 张文标, 等. 竹炭电阻率与其理化性能间的关系[J]. 浙江林业科技, 2003, 23(4): 15-17.
Fu Qiuhua, Weng Yiming, Zhang Wenbiao, *et al.* *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2003, 23(4): 15-17.
- [35] 白翔, 陈晓红, 张东升, 等. 竹炭基超级电容器电极材料的制备和电化学性质[J]. 炭素技术, 2009, 28(1): 9-13.
Bai Xiang, Chen Xiaohong, Zhang Dongsheng, *et al.* *Carbon Technique*, 2009, 28(1): 9-13.
- [36] 张玲, 夏畅斌, 陈平, 等. 竹炭基活性炭电极电容去离子模拟装置的研究[J]. 工业水处理, 2009, 29(3): 19-22.
Zhang Ling, Xia Changbin, Chen Ping, *et al.* *Industrial Water Treatment*, 2009, 29(3): 19-22.
- [37] 谢国, 王德汉, 林丹妮. 重金属污染河涌底泥的电动-竹炭联合修复[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(2): 174-178.
Xie Guo, Wang Dehan, Lin Danni. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2009, 28(2): 174-178.

(责任编辑 岳臣)

第十六届 全国分子光谱学学术会议

时间: 2010年10月16-19日
地点: 河南·郑州

主办单位: 中国化学会、中国光学学会

电子信箱: guobaozhang2008@yahoo.com.cn
通信地址: 河南省郑州市金水区红专路56号(450002)
会议网站: <http://www.sinospectroscopy.org.cn/ReadNews1.aspx>