

## 改性废纺织基生物炭的性能及其吸附特性研究

谢伟雪, 何碧红 (兰州资源环境职业技术大学, 甘肃兰州 730021)

**摘要** [目的]研究改性废纺织基生物炭的性能及其吸附特性。[方法]通过对纺织废物改性,对制备出的生物炭进行产率、元素组成、SEM谱图、红外谱图、pH等的研究,确定出改性废纺织基生物炭的性能和吸附特性。[结果]炭化温度为400℃时,改性生物炭含碳量增加了7.2%,产率增加了15.1%,pH呈弱碱性。改性样得到的生物炭中含有一OH、—CH<sub>3</sub>、—CH<sub>2</sub>、C=O、C=C基团,表面结构有大量的微孔和中孔,碘和亚甲基蓝吸附值都很高,有较好的吸附能力和脱色能力,Cr(VI)初始浓度为80、150 mg/L时,平衡吸附量分别为7.3、27.6 mg/g,对废水中Cr(VI)有较好的吸附效果。[结论]改性废纺织基生物炭含碳量高,吸附效果好,具有化学稳定性,可应用于水体中重金属污染物的吸附。

**关键词** 改性废纺织物;生物炭;性能;吸附特性

中图分类号 X791

文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)06-0050-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.06.011



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Study on Properties and Adsorption Characteristics of Modified Waste Textile Based Biochar

XIE Wei-xue, HE Bi-hong (Lanzhou Resources and Environment Voc-Tech University, Lanzhou, Gansu 730021)

**Abstract** [Objective] To study on the properties and adsorption characteristics of modified waste textile based biochar. [Method] The properties and adsorption properties of the modified waste textile based biochar were determined by analyzing the yield, element composition, SEM, infrared and pH of biochar. [Result] When the carbonization temperature was 400 °C, the carbon content of the modified biochar increases by 7.2%, the yield increases by 15.1%, and the pH was weak alkaline. The biochar obtained from the modified sample contains groups of -OH, CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>, C=O and C=C, and there were a lot of micropores and mesopores on the surface structure. The adsorption value of iodine and methylene blue was very high, and the adsorption capacity and decolorization ability were better. When the initial concentration of Cr(VI) was 80 and 150 mg/L, the equilibrium adsorption capacity was 7.3 and 27.6 mg/g, respectively, which had a good adsorption effect on Cr(VI) in wastewater. [Conclusion] The modified waste textile based biochar has high carbon content, good adsorption effect and chemical stability, and can be used for the adsorption of heavy metal pollutants in water.

**Key words** Modified waste textile; Biochar; Performance; Adsorption characteristics

随着人们生活水平的提高,对纺织品的使用更新速度越来越快,每年都有大量的旧纺织品产生,纺织废物主要是无法再利用的布条、棉麻边角料、车间清扫纺织品和灰尘混合物。在废旧纺织品的循环利用和处理上,目前还没有成熟的回收体系和处置规范,配套的技术手段和措施还比较薄弱,还处于初级探索阶段,废旧纺织品的售出量和回收利用率仍然很低。目前对纺织废物处理的方式主要是填埋和焚烧,纺织废物不易降解,掩埋后对环境造成极大危害;在焚烧过程中会产生大量有害气体,严重污染大气环境,这2种处理方式都会造成严重的环境污染<sup>[1]</sup>。

如何对纺织废物开展再回收利用,缓解紧张的土地资源,以节约资源和能源,减少二次污染是值得研究的课题。将纺织废物制备成高附加值的生物炭<sup>[2]</sup>,是有益于环境和资源综合利用的,是符合产业生态环保、低碳绿色可持续发展的。因此,笔者通过对生活垃圾废纺织品进行改性,对比改性样和原样制备出的生物炭产率、化学组成、SEM谱图、红外谱图、pH等的分析,表征生物炭吸附特性和研究生物炭对含重金属Cr(VI)废水吸附动态曲线,从而确定出改性废纺织基生物炭的吸附能力和吸附效果,为废纺织品的资源化利用和

吸附材料的制备提供一种新方向。

## 1 材料与方法

**1.1 试材** 试验所用的纺织废物来自兰州资源环境职业技术学院智能垃圾分类回收工作室,吸附性能指示剂为碘溶液和亚甲基蓝溶液,所用化学试剂都为分析纯。

**1.2 仪器设备** 粉碎机、电热鼓风干燥箱、真空管式炉、离心机、空氮一体机、雷磁酸度计、元素分析仪、智能傅立叶红外光谱仪、SEM电镜等。

## 1.3 改性纺织废物生物炭的制备

**1.3.1 纺织废物的改性。**将纺织废物浸泡洗净后剪碎,浸泡在含有硝酸盐和磷酸盐混合液的处理剂后,放置水浴中加热至80℃,边加热边搅拌,恒温浸渍30 min后,挤出水分热风干燥,粉碎得到改性的废纺织改性样,放入干燥器中备用<sup>[2]</sup>。

**1.3.2 生物炭的制备。**将废纺织原样和改性样在惰性气体氮气的保护下以5℃/min的升温速率升温至200~450℃,然后炭化0.5~2.0 h,等冷却以后产品称质量,得到生物炭,计算产率、进行性能分析和测定碘、亚甲基蓝和对含Cr(VI)废水进行吸附<sup>[3-4]</sup>。

**1.4 生物炭的性能** 生物炭元素含量<sup>[5]</sup>通过Vario EL III元素分析仪测定;表面形貌<sup>[6]</sup>通过Phenom Pro SEM扫描电镜观察;表面结构特征<sup>[7]</sup>通过Licolet 5700智能傅立叶红外光谱仪检测;pH通过雷磁酸度计测定。

## 1.5 生物炭的吸附特性

**1.5.1 碘吸附值和亚甲基蓝吸附值。**碘吸附值根据GB/T 12496.8—1999《木质活性炭试验方法碘吸附值的测定》进行

**基金项目** 甘肃省教育科学“十三五”规划2020年度重点资助课题(GS[2020]GHBZ200);2021年甘肃省高等学校创新基金项目(2021A-247);2020年甘肃省高等学校创新基金项目(2020A-221)。

**作者简介** 谢伟雪(1982—),女,甘肃甘谷人,教授,硕士,从事固体废物处理与资源化研究。

**收稿日期** 2021-05-12

测定,亚甲基蓝吸附值根据 GB/T 12496.10—1999《木质活性炭试验方法亚甲基蓝吸附值的测定》进行测定<sup>[8-9]</sup>。

**1.5.2 对含 Cr(VI) 废水的吸附值。**在 250 mL 蓝盖瓶中放入 0.1 g 改性废纺织生物炭样品,加入浓度为 80、150 mg/L 100 mL 的 Cr(VI) 溶液,分别于 5、10、15、25、50、100、150、200、300、400、500 min 时取样测定 Cr(VI) 的浓度,确定 Cr(VI) 的

吸附动态曲线。

## 2 结果与分析

**2.1 改性纺织废物制备生物炭** 称取一定量的废纺织原样和改性样,分别在炭化温度为 350 和 400 °C、炭化时间为 1.5 h、升温速率为 5 °C/min、氮气流量为 200 mL/min 条件下,制备生物炭,结果分析如表 1 所示。

表 1 废纺织原样和改性样制备生物炭分析

Table 1 Analysis of biochar prepared from original and modified waste textile samples

样品状态 Sample status	炭化温度 Carbonization temperature//°C	升温速率 Heating rate//°C/min	炭化时间 Carbonization time//h	生物炭含碳量 Biochar carbon content//%	生物炭产率 Biochar yield//%
原样 Original sample	350	5	1.5	60.3	35.8
	400	5	1.5	61.7	24.5
改性样 Modified sample	350	5	1.5	67.5	43.2
	400	5	1.5	68.9	39.6

由表 1 可知,在相同条件下,废纺织原样和改性样制备的生物炭含碳量和产率有明显不同,用含氮盐和含磷盐改性的废纺织物生物炭含碳量和产率均高于原样。改性样与原样生物炭相比,在炭化温度 350 °C 时,含碳量增加了 7.2 百分点,产率增加了 7.4 百分点;在炭化温度 400 °C 时,含碳量增加了 7.2 百分点,产率增加了 15.1 百分点。随着炭化温度的升高,生物炭产率都有不同程度的降低,但是改性样降低较小。这是因为对废纺织物改性的过程中加入了含有磷酸盐和硝酸盐的混合液进行处理,磷酸盐含有磷元素,硝酸盐含有氮元素,二者均可作为无机阻燃剂,能够降低炭化的温度,提高生物炭的产率。氮元素的存在能够促进纺织品中的纤维在热解时的脱磷酸和酸催化脱水反应,磷元素的存在能够促进纺织品在受热时碳的生成,提高热解阶段产生的残渣中生物炭的含量。

**2.2 生物炭元素含量** 生物炭是含碳量为 60% 以上的生物质,还含有少量的氢、氮、硫等,通过对废纺织改性样在炭化温度分别为 350、400 °C 生物炭样品进行元素含量分析。从表 2 可以看出,废纺织物生物炭的元素组成与炭化温度有关。随着炭化温度的升高,生物炭中碳含量显著增加,碳含量增加了 3.4 百分点,氢、氮和硫元素含量下降。这是因为改性样中含有磷和氮组分,在热解炭化过程中能够增加表层的

含碳量,促进成炭而形成炭化层。这说明废纺织物改性后提高了生物炭的碳含量,而且炭化温度越高,生物炭含碳量越多,炭化越完全,品质越好。

表 2 改性样生物炭元素含量分析

Table 2 Analysis of element content of modified biochar %

炭化温度 Carbonization temperature//°C	碳 C	氢 H	氮 N	硫 S
350	67.5	1.62	0.75	0.27
400	70.9	1.59	0.54	0.08

**2.3 生物炭表面形貌** 通过对改性样炭化温度分别为 350、400 °C 下制备的生物炭进行表面形貌分析,得到 SEM 电镜扫描图(图 1)。从图 1 可以看出,废纺织改性样表面结构粗糙且蓬松,出现了孔隙,这有利于热解炭化;经热解炭化后,生物炭表面结构平整致密,厚度增加,有大量密集的微孔出现;炭化温度越高,结构越平整,厚度越厚,微孔越多。这是因为热解炭化过程中,由于碳源的存在,使炭层逐渐加厚,致密稳定;由于有气体的存在,气体从改性样的内部释放而出,使得到的生物炭表面炭层进一步的膨胀,形成大量密集的微孔。在相同炭化温度条件下,改性样生物炭表面结构有大量的微孔,有较好的吸附能力。

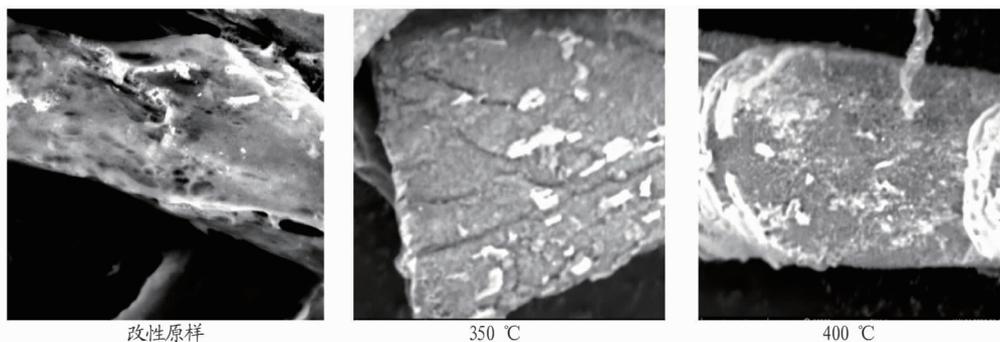


图 1 改性样在不同炭化温度下得到的生物炭 SEM 图

Fig.1 SEM images of biochar obtained from modified samples at different carbonization temperatures

**2.4 生物炭表面结构特征** 对炭化时间为 2 h,炭化温度分别为 350、400 °C 时,改性样得到的生物炭进行 FTIR 测定,结

果如图 2。从图 2 可以看出,相同炭化时间,炭化温度分别为 350、400 °C 下得到的生物炭表面官能团稍有差异,其中在

3 306、2 927、1 691、1 548、1 425、1 156 和 1 031  $\text{cm}^{-1}$  处的吸收峰有较明显的变化。在 3 306 和 2 927  $\text{cm}^{-1}$  左右均有吸收峰, 炭化温度在 400  $^{\circ}\text{C}$  时吸收峰都增强, 谱带都较宽, 说明生物炭中存在酚羟基或醇羟基和  $-\text{CH}_2$  或  $-\text{CH}_3$  基团, 随着炭化温度的升高,  $-\text{OH}$ 、 $-\text{CH}_2$  和  $-\text{CH}_3$  基团都增强, 有可能不存在不饱和的  $\text{C}-\text{H}$  键。生物炭在 1 691 和 1 548  $\text{cm}^{-1}$  左右吸收峰增强且呈现双峰, 说明生物炭中有芳环存在, 炭化温度对  $\text{C}=\text{O}$  和  $\text{C}=\text{C}$  基团有明显的影 响。在 1 425、1 156 和 1 031  $\text{cm}^{-1}$  处吸收峰也较明显, 说明生物炭中存在芳香有机物, 且随着温度的升高, 芳香类有机物基团增强。

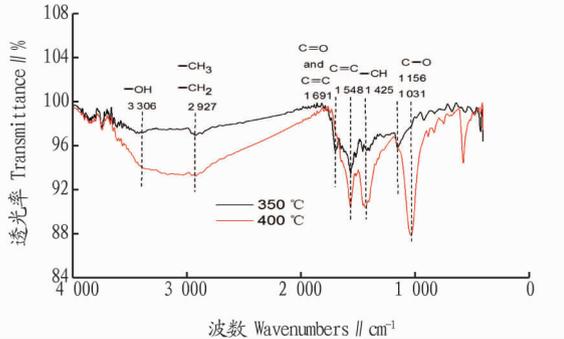


图2 不同炭化温度下生物炭 FTIR 谱图

Fig.2 FTIR spectra of biochar at different carbonization temperatures

**2.5 生物炭 pH** 对改性样在炭化温度 300、350、400 和 450  $^{\circ}\text{C}$  下得到的生物炭进行 pH 分析, 结果发现, 其 pH 分别为 9.10、9.51、9.73 和 9.91, 可见改性样得到的生物炭的 pH 呈碱性, 炭化温度在从 300  $^{\circ}\text{C}$  升高到 450  $^{\circ}\text{C}$  得到的生物炭的 pH 均呈弱碱性。随着炭化温度的逐渐升高, 生物炭的 pH 也逐渐增加。生物炭呈弱碱性是因为生物炭表面含有碱性基团和灰分成分。碱性基团是在高温热解过程中形成的, 存在于生物炭表面, 主要为无机碳酸盐和有机官能团  $\text{C}=\text{O}$  和  $-\text{O}-$ ; 灰分中含有钠、钾、钙、镁的氧化物或碳酸盐等矿物质, 溶于水后呈碱性。生物炭在酸性土壤中具有聚碳作用, 增加土壤盐基饱和度<sup>[10]</sup>, 增强土壤保肥能力, 改善植物生长环境。

## 2.6 生物炭吸附特性

**2.6.1 生物炭吸附表征。**通常用碘吸附值和亚甲基蓝吸附值来表征生物炭的吸附性能, 对炭化温度为 300、350、400、450  $^{\circ}\text{C}$  改性样得到的生物炭进行碘吸附值和亚甲基蓝吸附值测定。从表 3 可以看出, 改性样得到的生物炭碘吸附值很高, 碘吸附值随炭化温度的升高先增大后减小, 在炭化温度 350  $^{\circ}\text{C}$  时, 碘吸附值达到最大值 (2 493  $\text{mg}/\text{g}$ ); 亚甲基蓝吸附值也很高, 亚甲基蓝吸附值随炭化温度的升高先增大后减小, 在炭化温度 400  $^{\circ}\text{C}$  时, 亚甲基蓝吸附值达到最大值 (214  $\text{mg}/\text{g}$ )。碘吸附值表示生物炭结构中微孔的发达程度, 是生物炭对小分子污染物吸附能力的表现; 亚甲基蓝吸附值表示生物炭结构中中孔的发达程度, 是衡量生物炭的脱色能力<sup>[10-11]</sup>。因此, 生物炭的结构含有发达的微孔和中孔, 有很强的吸附和脱色能力。

表3 生物炭吸附特性表征

Table 3 Characterization of biochar adsorption characteristics

炭化温度 Carbonization temperature// $^{\circ}\text{C}$	碘吸附值 Iodine adsorption value	亚甲基蓝吸附值 Methylene blue adsorption value
300	2 086	108
350	2 493	118
400	2 237	214
450	2 186	149

**2.6.2 生物炭对废水中 Cr(VI) 的吸附动态曲线。**在吸附温度为 25  $^{\circ}\text{C}$ 、不改变 pH 下, 生物炭对初始浓度 80、150  $\text{mg}/\text{L}$  的 Cr(VI) 进行吸附, 吸附动态曲线如图 3 所示。从图 3 可以看出, Cr(VI) 的初始浓度越大, 吸附量越大, 生物炭的吸附动态曲线相近。吸附初期 0~25 min 吸附速率很快, 吸附量增大较快, 表明吸附初期生物炭表面吸附点位较多; 吸附中期 25~400 min 吸附速率减慢, 吸附量增大缓慢, 表明生物炭表面吸附点位减少; 吸附后期 400~500 min 吸附量增加不多, 吸附达到平衡, 生物炭表面吸附点位饱和<sup>[11]</sup>。初始浓度为 80、150  $\text{mg}/\text{L}$  时, 平衡吸附量分别为 7.3、27.6  $\text{mg}/\text{g}$ , 生物炭对废水中 Cr(VI) 有较好的吸附效果。

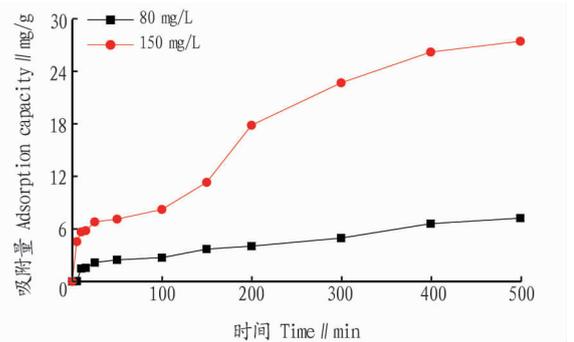


图3 生物炭对初始浓度 80、150  $\text{mg}/\text{L}$  Cr(VI) 的吸附动态曲线

Fig.3 The adsorption dynamic curve of biochar to the initial concentration of 80 and 150  $\text{mg}/\text{L}$  Cr(VI)

## 3 结论

(1) 在相同条件下原样和改性样制备的生物炭产率有明显的不同, 纺织废物经过含氮盐和含磷盐混合液改性后, 生物炭含碳量和产率明显提高; 改性废纺织基生物炭随着炭化温度的升高, 生物炭中碳含量显著增加, 氢、氮和硫元素含量下降, 炭化越完全, 品质越好。

(2) 改性废纺织基生物炭表面粗糙且蓬松, 出现了孔隙, 有利于热解炭化, 生物炭表面结构有大量的微孔, 有较好的吸附能力。生物炭的结构官能团与炭化温度有关, 随着炭化温度的升高, 生物炭中  $-\text{OH}$ 、 $-\text{CH}_3$ 、 $-\text{CH}_2$ 、 $\text{C}=\text{O}$ 、 $\text{C}=\text{C}$  基团都有增强。

(3) 生物炭的 pH 呈碱性, 随着炭化温度的升高, 生物炭的 pH 相应增加。生物炭能够中和土壤中的质子, 改良酸性土壤, 提高土壤肥效。

(4) 生物炭碘吸附值和亚甲基蓝吸附值都很高, 生物炭

(下转第 59 页)

- [5] 史瑜. 环境污染与人体健康[J]. 引进与咨询, 2006(6): 123-124.
- [6] 林玉锁, 龚瑞忠. 农药环境管理与污染控制[J]. 环境导报, 2000(3): 4-6.
- [7] KÖHLER H R, TRIEBSKORN R. Wildlife ecotoxicology of pesticides: Can we track effects to the population level and beyond? [J]. Science, 2013, 341(6147): 759-765.
- [8] World Health Organization (WHO). Agrochemicals, health and environment; Directory of resources [R]. Geneva, 2017.
- [9] ALAVANJA M C R, BONNER M R. Occupational pesticide exposures and cancer risk: A review [J]. Toxicol Environ Health B, 2012, 15(4): 238-263.
- [10] 张丽. 化学农药对农业环境的污染与防治[J]. 南京农专学报, 2001, 17(4): 36-38, 43.
- [11] LI R, JIN J M. Modeling of temporal patterns and sources of atmospherically transported and deposited pesticides in ecosystems of concern: A case study of toxaphene in the Great Lakes [J]. Geophys Res Atmos, 2013, 118(20): 11863-11874.
- [12] GARBARINO J R, SNYDER-CONN E, LEIKER T J, et al. Contaminants in arctic snow collected over northwest Alaskan sea ice [J]. Water air and soil pollution, 2002, 139(1): 183-214.
- [13] 王塞妮, 李蕴成. 我国农药使用现状、影响及对策[J]. 现代预防医学, 2007, 34(20): 3853-3855.
- [14] TAYLOR M D, KLAINE S J, CARVALHO F P, et al. Pesticide residues in coastal tropical ecosystems: Distribution, fate and effects [M]. London: Taylor & Francis, 2003: 576.
- [15] CARVALHO F P, VILLENEUVE J P, CATTINI C, et al. Ecological risk assessment of pesticide residues in coastal lagoons of Nicaragua [J]. J Environ Monit, 2002, 4(5): 778-787.
- [16] 张国军. 环境抗雄激素影响及机制[J]. 国外医学(卫生学分册), 2003, 30(2): 79-83.
- [17] SMITH R, MIDDLEBROOK R, TURNER R, et al. Large-scale pesticide monitoring across Great Barrier Reef catchments-Paddock to Reef Integrated Monitoring, Modelling and Reporting Program [J]. Mar Pollut Bull, 2012, 65(4/5/6/7/8/9): 117-127.
- [18] MORENO-GONZÁLEZ R, LEÓN V M. Presence and distribution of current-use pesticides in surface marine sediments from a Mediterranean coastal lagoon (SE Spain) [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2017, 24(9): 8033-8048.
- [19] PORTIER C J, ARMSTRONG B K, BAGULEY B C, et al. Differences in the carcinogenic evaluation of glyphosate between the international agency for research on cancer (IARC) and the European food safety authority (EFSA) [J]. J Epidemiol Community Health, 2016, 70(8): 741-745.
- [20] WU C F, LUO Y M, GUI T, et al. Concentrations and potential health hazards of organochlorine pesticides in (shallow) groundwater of Taihu Lake region, China [J]. Sci Total Environ, 2014, 470/471: 1047-1055.
- [21] 顾晓军, 田素芬. 农药与癌症[J]. 世界科技研究与发展, 2005, 27(2): 47-52.
- [22] SARWAR M. The dangers of pesticides associated with public health and preventing of the risks [J]. International journal of bioinformatics and biomedical engineering, 2015, 1(2): 130-136.
- [23] 杨志清. 农药污染对农业劳动者健康的危害[J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 331-334.
- [24] MITTAL S, KAUR G, VISHWAKARMA G S. Effects of environmental pesticides on the health of rural communities in the Malwa region of Punjab, India: A review [J]. Hum Ecol Risk Assess, 2014, 20(2): 366-387.
- [25] PARRÓN T, REQUENA M, HERNÁNDEZ A F, et al. Environmental exposure to pesticides and cancer risk in multiple human organ systems [J]. Toxicol Lett, 2014, 230(2): 157-165.
- [26] ZHANG X, WALLACE A D, DU P, et al. DNA methylation alterations in response to pesticide exposure *in vitro* [J]. Environ Mol Mutagen, 2012, 53(7): 542-549.
- [27] JONES R R, BARONE-ADESI F, KOUTROS S, et al. Incidence of solid tumours among pesticide applicators exposed to the organophosphate insecticide diazinon in the Agricultural Health Study: An updated analysis [J]. Occup Environ Med, 2015, 72(7): 496-503.
- [28] MILLS P K, SHAH P. Cancer incidence in California farm workers, 1988-2010 [J]. Am J Ind Med, 2014, 57(7): 737-747.
- [29] DANIELS J L, OLSHAN A F, SAVITZ D A. Pesticides and childhood cancers [J]. Environ Health Perspect, 1997, 105(10): 1068-1077.
- [30] WOO S L, RUOCCO M, VINALE F, et al. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture [J]. Open Mycol J, 2014, 8(S1): 71-126.
- [31] SARWAR M. Biopesticides: An effective and environmental friendly insect-pests inhibitor line of action [J]. International journal of engineering and advanced research technology, 2015, 1(2): 10-15.
- [32] 张锡贞, 张红雨. 生物农药的应用与研究现状 [J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2004, 18(1): 96-100.
- [33] 邱德文. 我国生物农药现状分析与发展趋势 [J]. 植物保护, 2007, 33(5): 27-32.
- [34] 数据解读我国生物农药现状, 发展仍需群策群力 [EB/OL]. (2018-05-10) [2021-03-07]. <http://cn.agropages.com/News/NewsDetail-16320.htm>.
- [35] ANEJA K R, KHAN S A, ANEJA A. Biopesticides an eco-friendly pest management approach in agriculture: Status and prospects [J]. Kavaka, 2016, 47: 145-154.
- [36] 生物农药主要类型及五大优势 [EB/OL]. (2017-12-15) [2021-03-07]. <http://www.agrichem.cn/n/2017/12/15/115303391855.shtml>.
- [37] 生物农药的使用降低了我国茶叶的农药残留量 [J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(7): 28.
- [38] 高海鸣, 红枣、核桃主要害虫(螨)生物农药防治及安全性评价 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
- [39] 刘家发, 张启媛, 王护民, 等. 微生物农药的安全性研究 [J]. 环境与健康杂志, 1999, 16(6): 325-326.
- [40] 张亚妮, 马志卿, 王海鹏, 等. 植物源杀虫剂川楝素对环境生物安全性评价 [J]. 环境科学学报, 2007, 27(12): 2038-2045.
- [41] 徐敦明, 李飞, 冯俊涛, 等. 几种植物源提制品对鱼的毒性与安全性评价 [J]. 农药学报, 2004, 6(3): 89-92.
- [42] 张兴, 马志卿, 冯俊涛, 等. 植物源农药研究进展 [J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 685-698.
- [43] 李劲彤, 李朝阳, 李巧玲, 等. 甲氧菊酯微生物降解的研究进展 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11): 17-20.
- [44] 张春花, 单治国, 蒋智林, 等. 4 种微生对烤烟中代森锰锌农药残留及降解动态的影响 [J]. 贵州农业科学, 2017, 45(4): 79-84.
- [45] 王燕, 刘建峰, 刘振华, 等. 环境中有机磷农药微生物降解技术的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41(16): 7163-7164, 7244.
- [46] 冯彦媚, 范兴辉, 占卉, 等. 甲氧基丙烯酸酯类农药生态毒理及其微生物降解研究进展 [J]. 生物技术通报, 2017, 33(10): 52-58.
- [47] 张宏军, 宋俊华. 第 30 届亚太区域植物保护委员会农药管理方面的情况最新概述 [J]. 农药科学与管理, 2018, 39(3): 7-11, 37.

(上接第 52 页)

结构含有发达的微孔和中孔, 有很强的吸附和脱色能力, 对含重金属 Cr(VI) 的废水有较好的吸附效果。生物炭是一种含碳的吸附材料, 可应用于废水中重金属的吸附和增强土壤保肥能力。

#### 参考文献

- [1] 甘胜华, 李红彬, 李现顺, 等. 国内外废旧纺织品回收利用现状及展望 [J]. 合成纤维, 2016, 45(9): 42-46.
- [2] 谢伟雪, 赵由才, 刘孝敏, 等. 一种纤维状生物炭及其制备方法和应用: CN201610289919.6 [P]. 2016-09-28.
- [3] 王微. 微生物物质活性炭的制备及性质研究 [D]. 太原: 山西大学, 2019.
- [4] 杨奇亮, 吴平霄. 改性多孔生物炭的制备及其对水中四环素的吸附性能研究 [J]. 环境科学学报, 2019, 39(12): 3973-3984.
- [5] 谢伟雪, 刘孝敏, 胡敏哲, 等. 干垃圾中角蛋白基有机质制备生物炭的性能研究 [J]. 环境工程, 2018, 36(5): 128-131.
- [6] 胡敏, 于凤文, 洪机剑, 等. 5 种生物质基本性质分析 [J]. 西北林学院学报, 2017, 32(3): 52-55.
- [7] 王亮, 田伟君, 乔凯丽, 等. 改性大豆秸秆生物炭对咪唑乙烟酸的吸附 [J]. 中国环境科学, 2020, 40(10): 4488-4495.
- [8] 李恒, 陈钰榕, 林晓舜. 生物炭的不同制备条件及吸附性能研究 [J]. 能源与环境, 2018(5): 19-20.
- [9] 李玉梅, 王畅, 张连科, 等. 生物炭/铁镧磁性复合材料的制备及对亚甲基蓝的吸附性能 [J]. 环境污染与防治, 2020, 42(7): 826-832.
- [10] 钱敏, 吴纓. 梧桐叶生物质炭的制备、表征及吸附性能研究 [J]. 安徽化工, 2020, 46(4): 25-32, 37.
- [11] 黄菲, 闫梦, 常建宁, 等. 不同菌糠生物炭对水体中  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$  的吸附性能 [J]. 环境化学, 2020, 39(4): 1116-1128.