

柳小兰,王科,王道平,等. 碳酸盐岩地区不同种植年限的黄壤重金属含量特征及评价[J]. 江苏农业科学,2019,47(16):308-312.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.16.066

# 碳酸盐岩地区不同种植年限的黄壤 重金属含量特征及评价

柳小兰<sup>1</sup>, 王科<sup>2</sup>, 王道平<sup>1</sup>, 赵路玥<sup>3</sup>, 方慧<sup>3</sup>, 张清海<sup>4</sup>, 林昌虎<sup>4</sup>

(1. 贵州省中国科学院天然产物化学重点实验室, 贵州贵阳 550014; 2. 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100;  
3. 贵州大学, 贵州贵阳 550025; 4. 贵州医科大学, 贵州贵阳 550025)

**摘要:**贵州省碳酸盐岩地区所发育的黄壤是重金属暴露的高风险区,随着人们对土地利用方式的改造,土壤原有的理化环境被改变,致使部分重金属被激活。以贵州省贵阳市开阳县未种植(0年)以及种植年限为3、8、35、55年的黄壤为供试样品,通过样品测试与理化分析,对碳酸盐岩地区不同种植年限的黄壤重金属含量特征及污染水平进行探讨。结果表明,土壤pH值随着种植年限的增加而增大,土壤由酸变碱;土壤中铬(Cr)与铅(Pb)含量也随着种植年限的增加而增大;镉(Cd)和锌(Zn)含量随着种植年限的增加均呈现出先增加,后降低,再增加的趋势;铜(Cu)含量随着种植年限的增加呈现出波浪式递进变化特征;5种重金属在种植年限为3、8、35、55年土壤中的含量均高于未种植土壤中的重金属含量。碳酸盐岩地区黄壤的综合污染指数在种植年限为0、3、8、35、55年中分别为9.77、10.93、9.32、9.22、6.34,均高于3.0,属重度污染等级,但其污染程度随种植年限的增长呈逐渐下降趋势。在所选定的污染评价因子中,Cd的贡献率极高,为土壤污染的主要影响因子。结果对重金属活性机制的研究、农田土壤环境污染防治以及农产品质量安全具有重要意义。

**关键词:**种植年限;黄壤;重金属;评价;碳酸盐岩地区

**中图分类号:** S151.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)16-0308-04

近年来,土壤往往被认为是农产品以及相关次级产品重金属暴露的主要“源”之一,土壤中重金属元素含量的高低,对农产品中重金属元素的含量有着直接的影响,土壤重金属污染对生态环境、食品安全和人体健康构成严重威胁。研究表明,重金属元素被人体吸收后,逐渐富集在人的体内很难排除<sup>[1]</sup>。人体摄入或吸入过量的镉(Cd),则会引起身体各器官一系列的病变,对肾脏损害最为明显,甚至还可导致骨质疏松和软化,另外铬(Cr)是毒性较大的重金属之一,易进入人体细胞,从而在体内蓄积,对肝、肾等内脏器官造成不可逆转的损伤,具有致癌性并可能诱发基因突变<sup>[2]</sup>。杨惟薇等研究表明,铅(Pb)能引起多种生理异常,儿童体内铅含量超标会损害大脑和神经系统<sup>[3]</sup>。体内的铜(Cu)含量超标会损害人体内的细胞膜,甚至会破坏血红蛋白的活性,使体内一部分酶的活性受到抑制,活性的降低会引发溶血性贫血或神经失常,甚至直接导致红细胞破裂,直至死亡<sup>[4]</sup>。

土壤是复杂的自然综合体,随外界环境的变化而变化,如随着人们对土地的开垦利用,土壤的结构和土体构造会被破坏,土壤原有的理化环境被改变,部分重金属处于被激活的状

态,从而使得该区域农产品可能处于一种高度胁迫状态<sup>[5]</sup>。贵州省碳酸盐岩分布广泛,岩溶发育强烈,境内出露的碳酸盐岩面积达12.5万km<sup>2</sup>,占全省土地总面积的71.3%<sup>[6]</sup>。黄壤是贵州省碳酸盐岩出露区域分布最为广泛的土壤之一,也是农业用地的主要来源。因此,本研究以贵州省贵阳市开阳县不同种植年限的黄壤为研究对象,通过野外采集样品和测试分析,探讨贵州省碳酸盐岩地区不同种植年限的黄壤重金属负荷水平,评价该碳酸盐岩地区重金属污染状况,以期对碳酸盐岩地区重金属的活性机制研究、农田土壤环境污染防治以及农产品质量安全提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

贵州省开阳县位于黔中腹地,地处106°45′~107°17′E, 26°48′~27°22′N,总面积2 026.2 km<sup>2</sup>,占全省面积的1.15%。县境大部分地区属北亚热带季风湿润气候,年平均气温介于10.60~15.30℃之间,年平均降水量926.5~1 419.2 mm。全县在区域性地质构造上,属黔中高原区,地势西南高东北低,起伏不平,由西南分水岭地带向北面乌江河谷和东面清水清河谷倾斜。最高海拔1 702.0 m,最低海拔506.5 m,平均海拔为1 000.0~1 400.0 m。县境各时代地层中,碳酸盐岩组厚3 027 m,占出露地层总厚度的61.8%,面积1 537.5 km<sup>2</sup>,占全县总面积的75%。由于岩溶较为发育,且风化强烈,流水侵蚀、溶蚀严重等多重因素,从而形成复杂多样的地貌类型。开阳县土壤面积为1 348.2 km<sup>2</sup>,占土地总面积的66.5%,其中黄壤937.2 km<sup>2</sup>,占土壤面积的69.5%。

收稿日期:2018-04-08

基金项目:贵州省科技计划(编号:黔科合LH字[2016]7409);国家自然科学基金(编号:41561075);贵州省优秀青年科技人才项目(编号:黔科合平台人才[2017]5622)。

作者简介:柳小兰(1988—),女,硕士,助理研究员,主要从事土壤资源保护与利用的研究工作。E-mail:952741179@qq.com。

通信作者:张清海,博士,研究员,主要从事环境科学研究。E-mail:zhqh8@163.com。

## 1.2 样品的采集与制备

1.2.1 研究区域选取 本研究通过对当地的调研,于2016年4月和10月,选取开阳县南江乡某组为研究区域,以相同的农事行为为依据,进行样地的选取,分别选取未种植林地以及种植年限为3、(8±2)、(35±5)、(55±5)年的农田样地(每块样地面积约为667 m<sup>2</sup>)作为研究对象[后文用3、8、35、

55年代表种植3、(8±2)、(35±5)、(55±5)年的样地。],其中种植年限为3年的农田样地所种植的作物为中药材,(8±2)、(35±5)、(55±5)年的农田样地所种植的作物均为玉米。采集成土母质、土壤类型以及地形部位基本一致,且各样地的施肥、灌溉及农耕方式相同的土壤样品。样地基本情况信息见表1。

表1 样地基本情况

种植年限(年)	样本数(个)	海拔(m)	经度	纬度	成土母质	土壤类型
0	3	1 137	107°0'51.7"E	26°58'7.4"N	第四纪红色黏土	黄壤
3	3	1 097	107°0'59.7"E	26°57'58.1"N	第四纪红色黏土	黄壤
8±2	3	1 129	107°0'45.2"E	26°58'14.3"N	第四纪红色黏土	黄壤
35±5	3	1 114	107°0'43.8"E	26°58'15.3"N	第四纪红色黏土	黄壤
55±5	3	1 138	107°0'27.8"E	26°58'18.8"N	第四纪红色黏土	黄壤

1.2.2 样品采集及制备 采用全球定位系统(GPS)定位,各取0、3、8、35、55年种植年限下的3块样地作为3个重复,每块样地按“S”形采样,采样深度为0~20 cm。将采集的样品分别装入不含重金属的布袋,带回实验室自然风干,剔除植物残体及大砾石等非土壤物质,同时避免酸、碱等污染。按四分法将风干样充分混合后,研细,分别过2.00、0.25 mm尼龙筛,并将过筛样品置于密封袋中,放入干燥器中保存备用。

### 1.3 样品指标测定

采用电位法,水土比为2.5 mL:1.0 g,测定土壤pH值。土壤重金属Cd、Cr、Cu、Zn、Pb总量测定经HNO<sub>3</sub>-HF微波消解,定容,采用电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-OES, Prodigy XP)进行测定。条件参数:功率1.1 kW,冷却气18.0 LPM,雾化气34.0 PSI,辅助气流速0.0 LPM,进样量1.4 mL/min,积分时间10 s,重复次数3次。为确保测试结果的准确性,分析过程中每批样品设2个空白,分析过程中加入国家标准土壤样品(GSS-8)进行分析质量控制,分析样品重复数10%~15%,所用水均为二次去离子水(明澈TM-D24UV超纯水系统),试剂均采用优级纯。

### 1.4 统计分析方法

采用Excel 2003、DPS(7.05)软件对土壤重金属元素进行

统计分析,再计算各指标数据的标准偏差、变异系数等,进行相关性分析。

### 1.5 评价方法

1.5.1 评价标准 本研究主要参照我国GB 15618—2008《土壤环境质量标准》<sup>[7]</sup>(表2)作为土壤质量评价标准,并以各个重金属含量的限制值作为比较标准,对不同种植年限的黄壤重金属含量进行安全性评价。

表2 农田土壤重金属环境质量第二级标准值

土壤pH值	重金属含量限值(mg/kg, ≤)				
	Cd	Cr	Cu	Zn	Pb
0~5.5	0.25	120	50	150	80
>5.5~6.5	0.30	150	50	200	80
>6.5~7.5	0.45	200	100	250	80
>7.5	0.80	250	100	300	80

### 1.5.2 评价方法

#### 1.5.2.1 单因子指数法:

$$P_i = C_i/S_i。$$

式中: $P_i$ 为环境中污染物*i*的单项污染指数; $C_i$ 为环境中污染物*i*的实测数据; $S_i$ 为污染物*i*的评价标准。山银花产地土壤与植株重金属单因子污染指数分级标准见表3。

表3 土壤重金属单因子污染指数分级标准

项目	$P_i \leq 0.7$	$0.7 < P_i \leq 1.0$	$1.0 < P_i \leq 2.0$	$2.0 < P_i \leq 3.0$	$P_i > 3.0$
土壤环境质量影响	清洁安全	尚清洁	轻度污染	中度污染	重度污染
	正常生长发育	对人体无害	作物生长有影响	影响人体健康	

#### 1.5.2.2 N. L. Nemerow 综合污染指数法:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\max}^2 + \left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\text{ave}}^2}{2}}。 \quad (1)$$

式中: $P_{\text{综}}$ 为综合污染指数; $\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\max}^2$ 为土壤所有的污染物中单项污染因子中最大值的平方; $\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\text{ave}}^2$ 为土壤所有的污染物中单项污染因子的平均值的平方。

综合污染指数的算法有很多种,但由于综合污染指数能较全面地反映出污染物对土壤污染的不同程度,同时又突出

高浓度重金属对土壤环境质量的影晌<sup>[8]</sup>,且此方法兼顾了单因子污染指数平均值和最高值,能较严重的污染物以较大的权值,并能较全面地反映出土壤环境的整体质量,从而更客观地对土壤环境质量进行评价。因此,本研究采用N. L. Nemerow综合指数法进行评价,并按土壤重金属污染程度进行等级划分(表4)。

## 2 结果与分析

### 2.1 碳酸盐岩地区不同种植年限的黄壤重金属含量特征

由表5可知,研究区土壤pH均值范围在4.62~7.18之间;土壤中Cd的平均含量范围为3.06~3.55 mg/kg;Cr的

表4 土壤重金属综合污染指数分级标准

等级	综合污染指数	污染等级	污染水平
1	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$	警戒线	尚清洁
3	$1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$	轻度污染	土壤污染物超出标准视为轻度污染,作物开始污染
4	$2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$	中度污染	土壤、作物受中度污染
5	$P_{\text{综}} > 3.0$	重度污染	土壤、作物受污染已相当严重

平均含量范围为 59.42 ~ 78.57 mg/kg; Cu 的平均含量范围为 10.37 ~ 23.80 mg/kg; Zn 的平均含量范围为 32.02 ~ 64.72 mg/kg; Pb 的含量范围为 12.28 ~ 32.70 mg/kg; 由变异程度来看,纵向比较可得,不同种植年限中,未种植土壤的 pH 值, Cr、Cu 和 Zn 含量变异系数均最大, Cd 含量变异系数最小; 横向比较可知,未种植土壤中重金属 Cu 含量的变异系数最大,种植年限为 3、8 和 55 年的土壤中重金属 Zn 含量的变异系数均最大,种植年限为 35 年的土壤中重金属 Pb 含量的变异系数最大。说明研究区土壤中重金属 Cr、Cu、Zn 和 Pb 的含量分布不均匀,可能与种植年限的长短以及农事行为中人为管理因素有一定的关系。

从含量特征上看,研究区土壤 pH 值随着种植年限的增加而增大,这与张晓东等在《不同种植年限对新疆绿洲农田

土壤理化性质的影响》一文中的研究结果<sup>[9]</sup>一致; 土壤由酸变碱,这可能与农田生产活动中的施肥管理有关,研究表明,长期施用尿素会引起土壤酸化,而施用有机肥可以提高土壤的 pH 值<sup>[10]</sup>。研究区土壤中 Cr 与 Pb 含量也随着种植年限的增加而增大; Cd 和 Zn 含量随着种植年限的增加呈现出先增加后降低再持续增加的趋势; Cu 含量则随着种植年限的增加呈现出波浪式递增变化特征,即先增加后降低再增加最后又降低的趋势。整体而言,5 种重金属在种植年限为 3、8、35、55 年土壤中含量均高于未种植土壤中的重金属含量,这是由于碳酸盐岩地区多数土壤重金属处于一种高背景、低活性状态<sup>[11]</sup>,且随着人们对土地利用方式的改造,其中开垦种植直接破坏了土壤的结构和土体构造,使得土壤原有的理化环境被改变,促使重金属被激活。

表5 不同种植年限的黄壤重金属元素含量

种植年限	特征值	pH 值	Cd 含量 (mg/kg)	Cr 含量 (mg/kg)	Cu 含量 (mg/kg)	Zn 含量 (mg/kg)	Pb 含量 (mg/kg)
0 年	均值	4.62	3.19	59.42	10.37	32.02	12.28
	标准差	0.60	0.17	8.22	3.60	10.28	1.48
	变异系数 (%)	13.01	5.45	13.84	34.66	32.09	12.03
3 年	均值	4.88	3.49	68.96	16.85	45.20	16.42
	标准差	0.32	0.35	4.25	3.68	12.13	1.95
	变异系数 (%)	6.65	10.10	6.16	21.84	26.83	11.85
8 年	均值	5.28	3.06	70.62	11.55	34.30	18.20
	标准差	0.30	0.16	4.35	1.61	4.98	1.92
	变异系数 (%)	11.50	10.52	12.31	27.80	29.06	21.05
35 年	均值	6.85	3.49	78.35	23.80	56.96	21.93
	标准差	0.49	0.34	9.30	2.68	11.30	5.82
	变异系数 (%)	7.09	9.82	11.87	11.28	19.83	26.53
55 年	均值	7.18	3.55	78.57	23.46	64.72	32.70
	标准差	0.56	0.38	9.09	3.21	8.86	2.02
	变异系数 (%)	7.76	10.79	11.57	13.68	13.68	6.18

## 2.2 碳酸盐岩地区不同种植年限的黄壤重金属污染评价

以国家 GB 15618—2008《土壤环境质量标准》Ⅱ级标准作为参照标准,依据单因子污染指数( $P_i$ )和内梅罗综合指数法( $P_{\text{综}}$ )对研究区土壤重金属进行评价。

由表 6 可知,从单因子污染指数来看,研究区土壤中 Cr、Cu、Zn 和 Pb 的单因子污染指数都低于 0.7,污染等级为安全,污染水平属清洁;而 Cd 的单因子污染指数为 3 年 > 0 年 > 8 年 > 35 年 > 55 年,平均值分别为 13.98、12.76、11.61、9.18 和 6.85,各单因子污染指数远远大于 3.0,属于重度污染水平。

综合污染指数在种植年限为 0、3、8、35、55 年中分别为 9.77、10.93、9.32、9.22、6.34,均远远高于 3.0,属于重度污染等级,土壤受污染相当严重。不同种植年限的土壤综合污

染指数在种植初期呈现先变大,而后随着种植年限的增加逐渐变小的趋势,其污染程度逐渐下降可能与种植农作物的根系分泌物、土壤微生物等对不同种重金属的吸收、迁移、富集等特征有关,与土壤腐殖质的整合或固定等也有一定关系。土壤中 Cr、Cu、Zn 和 Pb 的含量均在国家 GB 15618—2008《土壤环境质量标准》Ⅱ级标准规定范围内,样点达标率为 100%。有研究表明,在我国西南碳酸盐岩广泛分布的域所发育的土壤中,重金属具有一种天生的高背景属性<sup>[12]</sup>,其中贵州省土壤 Cd 的背景值达到 0.659 mg/kg<sup>[13]</sup>,贵州省土壤 Cr 的背景值达到 95.9 mg/kg<sup>[14]</sup>,而本研究所在区域的黄壤是贵州省碳酸盐岩出露区域分布最为广泛的土壤之一,在所选定的污染评价因子中,Cd 的贡献率极高,为土壤主要影响因子,其次是 Cr,这与贵州省碳酸盐岩地区土壤天生的高背景值有

表6 不同种植年限的黄壤重金属单项、综合及分级评价结果

种植年限	样本号	$P_i$					$P_{综}$	污染等级
		镉 Cd	铬 Cr	铜 Cu	锌 Zn	铅 Pb		
0年	1	12.52	0.51	0.17	0.15	0.15	9.77	重度污染
	2	12.21	0.56	0.29	0.29	0.13		
	3	13.54	0.42	0.16	0.21	0.17		
	平均值	12.76	0.50	0.21	0.21	0.15		
3年	1	14.38	0.59	0.28	0.24	0.23	10.93	重度污染
	2	12.41	0.53	0.42	0.28	0.20		
	3	15.15	0.60	0.31	0.39	0.18		
	平均值	13.98	0.57	0.34	0.30	0.21		
8年	1	9.70	0.44	0.27	0.16	0.25	9.32	重度污染
	2	12.20	0.61	0.22	0.20	0.20		
	3	12.92	0.61	0.20	0.27	0.24		
	平均值	11.61	0.55	0.23	0.21	0.23		
35年	1	7.08	0.34	0.23	0.18	0.36	9.22	重度污染
	2	12.86	0.56	0.53	0.32	0.25		
	3	7.58	0.42	0.21	0.25	0.22		
	平均值	9.18	0.44	0.33	0.25	0.27		
55年	1	4.01	0.28	0.24	0.18	0.38	6.34	重度污染
	2	8.81	0.44	0.27	0.29	0.43		
	3	7.73	0.38	0.20	0.27	0.41		
	平均值	6.85	0.37	0.23	0.25	0.41		

很大关系。

### 2.3 各重金属含量间的相关性

由表7可知,重金属元素间存在显著或极显著的相关性: Cd含量与Cu、Zn含量之间存在显著的相关性,相关系数均为0.88,说明Cd与Cu、Zn具有同源性;Cr含量与Cu、Zn、Pb含量之间存在显著的相关性,相关系数分别为0.89、0.87和0.85,说明Cr与Cu、Zn、Pb具有同源性;Zn含量与Pb含量之间相关系数为0.89,说明Zn与Pb具有同源性;Cu含量和Zn含量存在极显著相关性,其相关系数高达0.98,说明两者之间的同源性很高。其余元素含量之间相关性特征不明显,表明它们之间相互影响较小。有研究显示,来源于同一污染源的重金属之间存在着正相关性,且其相关性与所处的环境及来源有很大的关系<sup>[15]</sup>。因此,从相关性分析结果中可知,各元素间的正相关性特征较明显,说明这些元素很可能具有同一污染源。

表7 各重金属元素含量的相关性系数

指标	相关系数				
	Cd含量	Cr含量	Cu含量	Zn含量	Pb含量
Cd含量	1				
Cr含量	0.61	1			
Cu含量	0.88*	0.89*	1		
Zn含量	0.88*	0.87*	0.98**	1	
Pb含量	0.60	0.85*	0.79	0.89*	1

注: \*和\*\*分别表示显著相关( $P < 0.05$ )和极显著相关( $P < 0.01$ )。

### 3 结论与讨论

不同种植年限黄壤中,未种植的土壤pH值、Cr、Cu和Zn含量的变异系数均最大,Cd含量变异系数最小;种植年限为35年土壤中重金属Pb含量的变异系数最大。

除了Cd含量与Cr、Pb含量以及Cu含量与Pb含量之间不存在相关性外,其余各重金属元素含量存在显著或极显著

的相关性,其中Cu含量和Zn含量间存在极显著相关性,说明Cu和Zn之间的同源性很高。从相关性分析结果中可知,各元素间的正相关性特征较明显,说明这些元素很可能具有同一污染源。

研究区黄壤pH值随着种植年限的增加而增大,土壤由酸变碱。土壤中Cr与Pb含量也随着种植年限的增加而增大;Cd和Zn含量随着种植年限的增加均呈现出先增加,后降低,再增加的趋势;Cu含量随着种植年限的增加呈现出波浪式递增变化特征。整体而言,5种重金属在种植年限为3、8、35、55年黄壤中含量高于未种植黄壤中的重金属含量。

不同种植年限黄壤中Cr、Cu、Zn和Pb的单因子污染指数都低于0.7,污染等级为安全,污染水平属清洁;Cd在不同年限的黄壤中各单因子污染指数远远大于3.0,属于重度污染水平。研究区黄壤的综合污染指数在种植年限为0、3、8、35、55年中分别为9.77、10.93、9.32、9.22、6.34,均远远高于3.0,属于重度污染等级,土壤污染相当严重,但随着种植年限的增加其污染程度逐渐下降。研究区黄壤中Cr、Cu、Zn和Pb含量均在国家GB 15618—2008《土壤环境质量标准》Ⅱ级标准规定范围内,样点达标率为100%;在所选定的污染评价因子中,Cd的贡献率极高,为土壤主要影响因子,其次是Cr。

研究区土壤的严重污染不仅与土壤自身的高背景属性有关,也与人为活动有关。土壤的重金属污染是个复杂的过程,涉及到土壤性状以及农作物对重金属的富集能力等问题,且在贵州省碳酸盐岩地区相对较高的土壤重金属背景条件下,将土壤及农作物作为一个体系,作物对重金属富集特征、重金属迁移转化规律的研究以及土壤的保护与修复措施等方向,值得进一步探究。

### 参考文献:

- [1] Marchand C, Lallier V E, Baltzer F, et al. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana

刘雪梅,马 闯,吴 凡,等. 甘蔗渣生物质炭表征及对废水中 Cr(VI)的吸附特性[J]. 江苏农业科学,2019,47(16):312-316.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.16.067

# 甘蔗渣生物质炭表征及对废水中 Cr(VI)的吸附特性

刘雪梅,马 闯,吴 凡,赵 蓓

(华东交通大学土木建筑学院,江西南昌 330013)

**摘要:**以甘蔗渣为原料,在普通空气下炭化,制得炭化甘蔗渣,采用扫描电镜分析(SEM)、红外光谱分析(FTIR)、比表面积和孔容分析(BET)等方法对炭化前后甘蔗渣进行表征,研究甘蔗渣生物炭对废水中 Cr(VI)的吸附效果。表征结果显示,炭化前甘蔗渣孔隙结构较少,结构较平整;炭化后甘蔗渣出现大量孔隙,比表面积大大增加。炭化后的甘蔗渣化学结构发生了变化,产生新的官能团,吸附效果大大提高。试验结果表明,炭化后甘蔗渣吸附废水中 Cr(VI)的最佳工艺条件:吸附温度为 25 ℃,初始废水 pH 值为 2,炭化后甘蔗渣加入量为 14 g/L,吸附时间为 120 min,转速为 120 r/min,在此条件下处理初始浓度为 50 mg/L 的废水时,去除率达到 97.7%,最大吸附量为 5.013 mg/g。吸附热力学结果显示,Langmuir 等温吸附模型能更好地反应吸附过程。吸附动力学结果表明,该吸附过程遵循拟二级动力学方程。

**关键词:**甘蔗渣;空气;炭化;废水;吸附;Cr(VI);污染治理

**中图分类号:** O657.32;X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)16-0312-05

随着工业化水平不断提高,产生了大量对环境造成严重污染的重金属,其中铬(Cr)是一种典型的重金属元素,主要通过铬盐生产行业、电镀等人类活动进入环境当中<sup>[1-2]</sup>,对环境危害极大。因此,水体中 Cr(VI)的污染治理已迫在眉睫<sup>[1-3]</sup>。许多学者利用农林废弃物或者对农林废弃物进行改性研究其对废水中 Cr(VI)的吸附行为<sup>[4-6]</sup>。何忠明等以柚

子皮为原料研究发现,当水中 Cr(VI)浓度较低时,水中 Cr(VI)去除率可达 91.87%<sup>[7]</sup>。韦学玉等研究发现,农作物和壳聚糖复合而成的材料对重金属有极大的吸附效果<sup>[8-9]</sup>。

本研究以甘蔗渣为原料,经过高温空气氛围下炭化后制备炭化甘蔗渣,通过对影响吸附 Cr(VI)效果的因素进行优化,并初步探讨吸附机制,结合扫描电镜分析(SEM)、比表面积和孔容分析(BET)、红外光谱分析(FTIR)等材料进行更深一步的研究,以期在农林废弃物对 Cr(VI)废水处理领域中提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料、试剂、仪器

试验材料:甘蔗渣。

试验试剂:重铬酸钾(江西赣仪科技有限公司)、硫酸(长

[J]. Marine Chemistry,2006,98(1):1-17.

[2]陈慧茹,董亚玲,王 琦,等. 重金属污染土壤中 Cd、Cr、Pb 元素向水稻的迁移累积研究[J]. 中国农学通报,2015,31(12):236-241.

[3]杨惟薇,刘 敏,曹美珠,等. 不同玉米品种对重金属铅镉的富集和转运能力[J]. 生态与农村环境学报,2014,30(6):774-779.

[4]袁忠华. 水田土壤中铜,锌的迁移活性及其控制技术初步研究[D]. 长春:吉林农业大学,2015.

[5]Tu C L, He T B, Liu C Q, et al. Effects of land use and parent materials on trace elements accumulation in topsoil[J]. Journal of Environmental Quality,2013,42(1):103-110.

[6]周传艳,陈 训,周国逸,等. 不同土地利用方式及开垦时间对岩溶山区土壤养分空间分布的影响[J]. 应用与环境生物学报,2011,17(1):63-68.

[7]环境保护部. 土壤环境质量标准:15618—2008[S]. 2008.

[8]刘元生,何腾兵,罗海波,等. 贵阳市乌当区耕地土壤重金属污染

现状及其评价[J]. 重庆环境科学,2003,25(10):42-45,93.

[9]张晓东,刘志刚. 热沙来提·买买提. 不同种植年限对新疆绿洲农田土壤理化性质的影响[J]. 水土保持研究,2016,23(3):13-18.

[10]田秀平,张之一. 不同耕作制下白浆土 pH 变化规律研究[J]. 东北农业大学学报,2015,46(3):37-40.

[11]武永锋,刘丛强,涂成龙. 贵阳城市土壤重金属元素形态分析[J]. 矿物学报,2008,28(2):177-180.

[12]杨永忠. 贵州环境异常元素地球化学研究[J]. 贵州地质,1999,16(1):66-72.

[13]赵志鹏,邢 丹,刘鸿雁,等. 典型黄壤和石灰土对 Cd 的吸附解吸特性[J]. 贵州农业科学,2015,43(6):83-86.

[14]宋春然,何锦林,谭 红,等. 贵州省农业土壤重金属污染的初步评价[J]. 贵州农业科学,2005,33(2):13-16.

[15]程 芳,程金平,桑恒春,等. 大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析[J]. 环境科学,2013,34(3):1062-1066.