

DOI: 10.11766/trxb201710300414

广西西江流域土壤中铬空间分布与背景值再研究*

王佛鹏¹ 宋波^{1, 2†} 黄宇妃¹ 张军¹ 余元元¹ 雷梅³ 李邵祥¹

(1 桂林理工大学环境科学与工程学院, 桂林 541004)

(2 岩溶地区水污染控制与用水安全保障协同创新中心, 桂林 541004)

(3 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要 为全面了解广西西江流域土壤中铬的含量分布状况, 深入探究自然土壤铬背景值状况。通过采集旱地土壤、水田土壤、矿区土壤和自然土壤共计 2 022 个。结合 ArcGIS 分析土壤中铬空间分布状况, 采用数理统计方法重新计算土壤铬背景值, 利用单因子污染指数法评价农用土壤污染程度。结果表明: (1) 不同类型土壤中 Cr 含量几何均值为: 矿区土壤 (104.2 mg kg^{-1})、水田土壤 (91.06 mg kg^{-1})、自然土壤 (82.66 mg kg^{-1})、旱地土壤 (74.52 mg kg^{-1})。 (2) 重新提出广西西江流域土壤中 Cr 背景值为 82.66 mg kg^{-1} 。 (3) 根据《土壤环境质量标准》(GB15618-1995) 给出的参考值, 旱地、水田、矿区土壤处于轻、中、重污染程度的比例分别为 8.26%、1.50%、0.56%; 3.68%、0、0; 20.26%、4.58%、0。本研究得到西江流域矿区土壤 Cr 含量明显高于其他类型土壤; Cr 含量高的区域主要分布在南丹县、都安县、大化县、忻城县、金秀县、平南县和藤县; 重新提出的 Cr 背景值可为制定更加科学合理标准准则提供一定参考; 农用土壤大部分处于清洁状态, 但是应避免在矿业活动密集区周边进行农业生产。

关键词 西江流域; 铬; 背景值; 污染评价

中图分类号 S159 **文献标识码** A

铬在地壳中是分布较广的元素之一, 在现代科技中是一种重要的工业原料^[1-2], 同时铬是人体必需的微量元素之一^[3]。铬主要以三价和六价的形式存在, 铬(III)对平衡人和动物的健康起到关键作用^[4]; 铬(VI)是高毒性致癌物, 能导致动物和人类死亡^[5-6]。铬污染源有矿石加工、皮革鞣质印染等排放的废水, 以及煤炭和石油燃烧排放含有颗粒态的铬废气^[7]。这些废水、废气进入到环境中, 将会对环境造成危害, 最终通过食物链的积累

作用毒害于人类和动物^[8]。铬污染对环境造成的危害已经引起人们的广泛关注, 对其进行污染治理势在必行^[9]。

西江是广西重要水系^[10], 同时西江流域是广西主要的粮食产区^[11], 其上游河池地区是我国著名的“有色金属之乡”, 大厂矿区面积超过 168 km^2 , 是一个超大型锡多金属矿^[12], 不仅有铅锌矿、铜矿, 同时共生及伴生的矿产还有铜、铅、铁和铬等。在利益的驱动下, 最终的结果是遍地开

* 国家自然科学基金项目(41161056、41261082)、广西自然科学基金项目(2013GXNSFEA053002)、广西“八桂学者”建设工程专项经费项目共同资助 Supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 41161056, 41261082), Guangxi Natural Science Foundation (No. 2013GXNSFEA053002), Guangxi “Bagui scholar” Construction Project Special Funds

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: songbo@glut.edu.cn

作者简介: 王佛鹏(1993—), 男, 河南人, 硕士研究生, 研究方向为污染土壤修复和区域环境调查与风险评估。E-mail: 413477862@qq.com

收稿日期: 2017-10-30; 收到修改稿日期: 2018-01-17; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2018-02-08

花的小选厂、小冶炼厂。难以遏制的无序开采局面,使得采矿、选矿及冶炼所产生的废石矿渣等长期随意堆放,伴随雨水的冲刷进入西江及其支流并扩散至各个地区,造成严重的生态破坏^[13]。因此该流域农业土壤是否受到污染是一个值得关注的问题。

目前,已有不少学者对西江流域矿区土壤进行了调查研究,但是这些研究范围小且单一,缺少对西江流域不同类型土壤中铬含量的系统研究。王成等^[14]调查了广西河池某矿区公路沿线土壤中铬、铜等6种重金属含量;孙杰等^[15]对广西宜州某典型锰矿区中不同地域土壤中铬、镉和锰进行了评价;Zhang等^[16]对广西铅锌矿周边土壤污染状况进行了评估。然而相关学者在进行评估时采用的土壤背景值仍然是20世纪80年代的研究成果,受限于当时仪器设备等条件,且在5.8万km²区域内采集样品56个^[17],因此本研究通过较大范围且有针对性的采集西江流域旱地土壤、水田土壤、矿区土壤、自然土壤,对不同类型土壤中Cr含量有了详细了解,同时对西江流域自然土壤铬背景值进行再研究。结果旨在为制定科学合理的标准准则提供一定的参考,并为农业生产提供帮助。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

西江是珠江流域内最大的水系,全长2 214 km,高程在-20~3 000m之间,占流域面积的77.8%^[18]。流域上游河池地区是我国重要的有色金属生产基地,有铁、锡、锑、铅、锌等多种有色金属,总储量1 100万吨^[11]。铬具有亲铁性,同时能与铬发生类质同象替代的元素还有Mn、Ni、Zn等^[19],因此丰富的矿产资源里伴生有大量的铬。本次研究区域是西江流域广西段,主要关注矿业活动密集的河池地区及其中下游地区,从上游河池地区起,止于下游梧州地区,涉及4市15个县,面积5.8万km²。

1.2 样品采集

按照自然土壤、矿区土壤、水田土壤、旱地土壤分类原则,结合西江流域土地利用类型图、矿产点分布图与地形图,通过网格布点,在现有数字底图上确定采样点的基本分布与抽样数,使样品采集

密度保持在每3 km一个。实际采样中,利用GPS定位,考虑土地利用类型的变化与地形因素,对采样点分布进行适当调整,最终采集到土壤样品2 022个(图1),其中,自然土壤228个,均采集于西江流域植被发育完好和远离人类活动或受人类活动影响较小的山地;矿区土壤153个,为矿区周边的非农用土壤;旱地、水田土壤分别为1 260和381个,主要针对农田相对集中的地区抽样采集,以使其更具代表性。采样深度均在0~20 cm,自然土壤单点采集,矿区与农田土壤则为多点混合,四分法取1 kg土样。

1.3 样品分析

土壤样品从采集到处理整个过程中,始终使用木头、塑料或玛瑙等工具,未曾接触过金属工具,防止人为原因致使样品受到污染。土壤样品经风干,研磨前去除碎石与植物残体等杂物,过100目筛。土壤样品消解采用美国环保署推荐的HNO₃-H₂O₂法^[20],分析中所用试剂均为优级纯,用火焰原子吸收光谱测定土壤Cr含量。采用国家标准土壤样品(GSS-4)和空白进行质量控制,分析样品的重复数为10%~15%,样品回收率在90%~110%之间。

1.4 土壤污染评价方法

土壤重金属污染评价采用单项污染指数法,单项污染指数法针对的是单一污染物,计算公式如下:

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式中, P_i 为重金属单项污染指数, C_i 为重金属含量实际值,mg kg⁻¹。 S_i 为样品重金属含量的限量标准值,mg kg⁻¹。当 $P_i \leq 1$ 时,无污染;1 < $P_i \leq 2$ 时,轻度污染;2 < $P_i \leq 3$ 时,中度污染; $P_i > 3$ 时,重度污染。

根据研究结果,土壤的pH小于6.5^[11,21],因此以《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)中二级标准限定值150、250 mg kg⁻¹作为评价旱地、水田的标准值,对于矿区土壤的评价则以三级标准临界值300 mg kg⁻¹作为标准值。

由于不同地区具有不同的地球化学特征,土壤重金属含量区域性变异很大,因此国家环境质量标准(GB15618-1995)的适用性也受到一定的局限,而采用当地基线值作为背景值和异常值的界限,更具有现实意义。夏增禄^[22]认为,对于正态

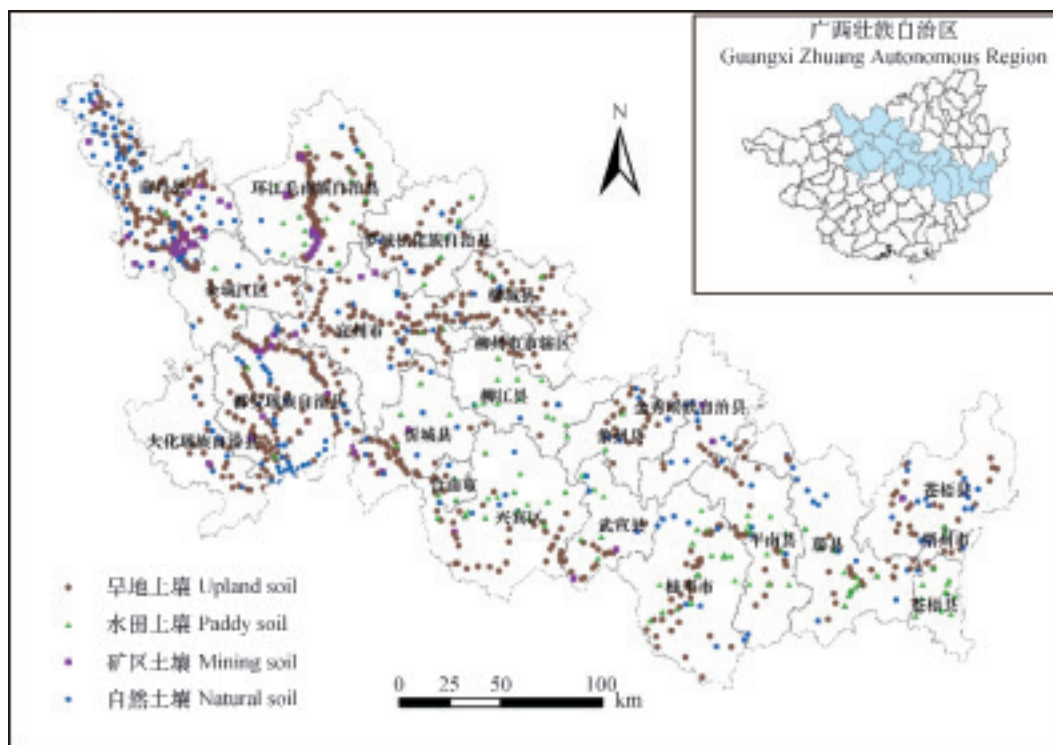


图1 广西西江流域土壤铬调查样点分布图

Fig. 1 A sketch map of the sampling sites for survey of soil Cr in the Xijiang River Basin, Guangxi Zhuang Autonomous Region Province

分布的数据，土壤基线值等于土壤背景值加2倍方差可作为土壤污染与否的标准；对于原始数据非正态分布但经对数转换后正态分布的数据，土壤基线值等于几何均值与几何标准差平方的乘积。

1.5 数据处理

用SPSS19.0对不同类型土壤数据进行统计分析，土壤Cr的插值绘图则采用ArcGIS10.2中Kriging法进行。

2 结果与讨论

2.1 西江流域土壤Cr背景值

2.1.1 土壤Cr背景值表示方法 康纳等^[23]认为，体现环境背景的调查研究要有较大的范围，应包含一个自然单元能体现背景浓度，即排除已知污染及次生成矿作用。由于近几十年来西江流域上游河池地区矿业活动密集，因此在确定背景值时首先要剔除异常值和污染值。本研究采用了Grubbs检验法，经检验，没有异常值。

夏增禄^[24]认为土壤重金属背景值应该是一个表征该元素含量集中分布趋势的特征值，而不是一个具体的数值。关于如何获得背景值，表示背景

值，并没有统一格式^[25]。背景值应根据数据分布特征采用不同的方法表示，在含量分布符合正态分布的情况下，一般可用算术均值表示元素背景值；在含量分布符合对数正态分布的情况下，一般可采用几何均值表示元素背景含量集中趋势^[26]。而唐将等^[27]则认为采用多次叠代均值能够更好地反映元素含量的集中趋势，以此来表示土壤背景值。

2.1.2 西江流域土壤Cr推荐背景值 为确保广西西江流域土壤铬背景值的准确性，分别计算土壤的算术平均值、几何平均值、修正平均值、中位数及多次叠代剔除平均值（表1）。其中多次叠代剔除平均值是指以平均值加减2倍标准差为目标函数经逐步剔除（剔除限为数据集合内不再含有该函数值时的值）的算术平均值^[27]。原始数据成偏态分布，经过对数转化后成正态分布。

对数转换、中位数或多次叠代可以削弱高值在均值计算中的权重从而使得最终结果更加接近实际，因此这些值较算术均值更加合理，算术均值就不再适合作为平均含量的代表。中位数为切尾均值的极端情况，对数据信息损失大，从而效率低^[28]。因此，多次叠代均值可以更好体现数据的集中趋势。但是经对比发现，多次叠代均值较其他

均值小,同时原始数据偏度系数也达到了1.088,峰度系数为0.947,这表明原始数据在偏态分布情况下,多次叠代均值并不能很好地代表总体数据的集中趋势。而几何均值低于算术均值和修正均值,同时与中位数接近,因此几何均值可以更好地反映该地区土壤中Cr含量的数据集中趋势。

平均值可以反映元素含量的集中趋势,而变异系数则反映该元素的离散程度。由表1可以看出,Cr元素的变异系数为51.08%,属于中等变异。对于离散程度较高的数据使用几何均值更有代表性^[27]。因此,采用几何均值82.66 mg kg⁻¹来表征广西西江流域土壤Cr背景值。

表1 广西西江流域自然土壤中铬元素基本统计参数

Table 1 Basic statistics of Cr content in the natural soils of the Xijiang River Basin, Guangxi Zhuang Autonomous Region (mg kg⁻¹)

项目 Item	样本数 Number of samples	范围 Range	中值 Median	算术Arithmetic		几何Geometry		修正均值 Modified mean	多次迭代修正均值 Multi-iterated modified mean	
				均值 Mean	标准差 SD	均值 Mean	标准差 SD			
Cr	228	13.28 ~ 243.00	84.00	93.89	47.96	82.66	1.252	94.30	78.35	
顺序统计百分位值Sequence statistical percentage (%)										
项目 Item		5	25	50	75	90	95	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异 系数 CV (%)
Cr		34.59	59.92	84.00	112.9	170.2	204.4	1.088	0.947	51.08

2.1.3 西江流域土壤Cr推荐背景值与前人比较

表2为本次调查结果与前人研究结果的对比。首先从样本数量上看,本研究采集样本数量是前人采集数量的4倍,因此具有更广泛的代表性;其次从算术标准差和变异系数来看,本研究的标准差和变异系数均小于前人调查结果,这说明本研究所采

集样品中的重金属含量变化范围较小,不同地方样点中Cr含量比较均匀;最后从几何均值来看,虽然本研究结果高于前人研究结果,但是从试验质控的结果来看,本研究的结果真实有效。因此本次调查结果可以较准确地反映出广西西江流域土壤Cr背景值大小。

表2 广西西江流域自然土壤Cr含量基本统计对比

Table 2 Basic statistics of Cr content in the natural soils of the Xijiang River Basin, Guangxi Zhuang Autonomous Region (mg kg⁻¹)

	样本数 Number of samples	算术Arithmetic		几何Geometry		变异系数 CV (%)
		均值 Mean	标准差 SD	均值 Mean	标准差 SD	
本研究This study	228	93.89	47.96	82.66	1.252	51.08
前人研究 ^[17] Previous studies	56	87.37	56.36	73.68	1.298	64.51

综上所述,通过不同土壤背景值表示方法的比较,同时与前人研究成果进行对比,最终确定广西西江流域土壤Cr背景值为82.66 mg kg⁻¹。

2.2 土壤Cr含量统计及空间分布特征

2.2.1 土壤中重金属Cr含量统计特征

不同类型土壤Cr含量统计结果如表3所示。原数据经对数转化后均接近正态分布,故用几何均值表示不同类

型土壤中Cr含量。由表3可以计算出土壤基线值为233.0 mg kg⁻¹。

矿区土壤中Cr含量整体偏高,几何均值为104.2 mg kg⁻¹,标准差达到188.5 mg kg⁻¹,表明其含量分布极不均匀;矿区土壤变异系数为105.6%,达到了强变异程度,同时以土壤基线值233.0 mg kg⁻¹作为标准,其超标率为28.75%,说

明西江流域矿区土壤Cr含量受到了外界环境因素的干扰。

旱地土壤和水田土壤Cr含量几何均值分别为74.52 mg kg⁻¹、91.06 mg kg⁻¹, 其标准差较矿区土

壤小, 表明旱地和水田土壤中Cr含量较均匀。若以基线值233.0 mg kg⁻¹为基准, 旱地和水田的超标率分别为4.05%、4.98%, 由此可以推断出西江流域部分农田土壤存在Cr累积。

表3 广西西江流域不同类型土壤Cr含量基本统计特征

Table 3 Basic statistics of Cr content in the soils of the Xijiang River Basin, Guangxi Zhuang Autonomous Region relative to type of the soil (mg kg⁻¹)

	样本数	分布类型	算术均值	几何均值	标准差	偏度	峰度
	Number of samples	Distribution type	Arithmetic mean	Geometric mean	Standard deviation	Skewness	Kurtosis
矿区土壤 ^①	153	LN	178.5	104.2	188.5	1.512	1.628
旱地土壤 ^②	1 260	LN	89.25	74.52	69.85	4.117	27.21
水田土壤 ^③	381	LN	108.3	91.06	62.95	1.935	6.797
顺序统计百分位值							变异系数 CV (%)
Sequence statistical percentage (%)							
	5	25	50	75	90	95	
矿区土壤 ^①	15.35	54.78	87.74	299.2	448.8	573.0	105.6
旱地土壤 ^②	30.65	53.15	72.73	98.00	155.0	209.9	78.26
水田土壤 ^③	23.00	72.20	102.0	128.5	173.0	233.7	58.12

①Mining soil, ②Upland soil, ③Paddy soil

2.2.2 土壤中Cr空间分布特征 由于西江流域面积之广, 采集的样品还不足以代表整个西江流域土壤中Cr的含量, 因此采用ArcGIS中Kriging插值法可以较为直观地了解整个西江流域土壤中Cr的空间分布特征。

在半变异函数模型中, 块金值 C_0 表示非自然因素导致重金属空间分布情况的程度; 基台值 C_0+C 表示系统内总变异程度; 块金效应 $C_0/(C_0+C)$ 为块金值与基台值之比, 表示人为等非自然随机因素导致重金属含量空间变异占总体变异的比重^[29]。若块金效应 $< 25\%$ 说明变量有强烈的空间相关性, $25\% \sim 50\%$ 说明变量有明显的空间自相关, $50\% \sim 75\%$ 时变量有中等空间自相关, $> 75\%$ 时变量空间自相关弱, 变异主要由随机变异组成, 则不适合采用空间插值的方法进行Cr含量空间预测。

表4中给出了重金属Cr半变异函数拟合模型与各项参数。对于一个预测模型的准确性, 其平均标准差接近于0, 均方根标准差接近于1, 预测结果的准确性越高^[30]。考虑到平均标准差是衡量误差大小的直接数据, 受到误差传播的影响较小, 因此采用球型模型进行预测效果最佳, 如图2所示。

从图2中可以明显地看出, 南丹县、金城江区、都安瑶族自治县、大化瑶族自治县、忻城县、合山市、环江毛南族自治县、罗成仫佬族自治县、柳城县、金秀瑶族自治县、平南县、藤县、苍梧县等地方土壤中Cr的含量明显偏高, 且上游部分土壤中Cr的含量明显较下游区域内重金属含量高, 这由以下两方面原因决定。

从地质学角度来看: 广西有色金属矿产空间分布具有明显的区域性特征, 许多矿床往往集中在一定的范围内, 形成矿化集中区, 即成矿区带。南丹县、金城江区、都安瑶族自治县、大化瑶族自治县、忻城县地处丹池锡-铜-铅-锌-银-铋-汞成矿带。该成矿带位于贵西北丹池地区, 在大地构造位置上, 该成矿带为于桂西印支地槽褶皱带东缘的凤凰山-都阳山隆起区边部, 并沿南丹-昆仑关断裂带北西段展开^[31]。南丹县和都安瑶族自治县中的都阳山, 由于板块活动和地下岩浆的作用, 期间有多期(加里东期、燕山期)岩浆活动, 如酸性岩浆的侵入^[32], 使得该矿床受到岩浆-热液活动的不同程度改造, 表现出多因复合矿的特点。金秀瑶族自治县、平南县、藤县、苍梧县地处大瑶山铜-铅-

锌-金成矿带。环江毛南族自治县、罗成仫佬族自治县和柳城县主要以锡、铅锌、锑、汞等金属矿产和砷、硫、滑石等非金属矿产为主。该地区地处桂北锡-钨-铜-镍-铅-锌成矿带^[32]。

从人类活动角度来看：由表4中可以得知采用球型模型时块金效应为41.91%，变量有明显的空间自相关，除受到植被、地形、气候和土壤母质等自然条件影响之外，还受到人为因素的影响。

相关统计表明^[33]，目前广西涉重金属企业大约有465家，以有色金属矿采选和冶炼为主，数量占到47%和27%，其中87%的采选冶企业分布在河池市，主要分布在丹池成矿带的南丹、环江和金城江区。表5则为近年来广西西江流域矿产企业数量统计。由此可见频繁的矿业开采活动，Cr的迁移速率加快是造成一定区域内土壤中Cr含量升高的原因之一。

表4 土壤重金属Cr含量半变异函数模型统计

Table 4 Statistics of heavy metal Cr content in the soils using semivariogram models

理论模型 Theoretical model	块金值Nugget (C_0)	基台值Sill (C_0+C)	块金效应Nugget effect $C_0/$ (C_0+C) (%)	标准均方根 Root-Mean-Square standardized	平均标准误 差Average standard error	均方根误差 Root mean square error
球型模型 ^①	0.1624	0.3875	41.91	1.313	44.89	62.79
高斯模型 ^②	0.1659	0.4122	40.25	1.283	45.88	62.64
指数模型 ^③	0.1905	0.3912	48.70	1.326	45.94	64.45

①Ball model, ②Gaussian model, ③Index model

表5 广西重金属污染重点防治区企业数量

Table 5 Number of enterprises in the major heavy metal pollution control areas in Guangxi Zhuang Autonomous Region

序号 Number	地区 Area	采选业 Mining and selecting industry	冶炼业 Smelting industry	合计 Total
1	河池南丹县 ^①	45	7	52
2	河池金城江区 ^②	15	16	31
3	河池环江县 ^③	14	7	21
4	柳州 Liuzhou	5	2	7
5	梧州 Wuzhou	1	1	2
6	合计 Total	80	33	113

①Nandan County of Hechi, ②Jinchengjiang District of Hechi, ③Huanjiang County of Hechi

2.3 西江流域土壤Cr污染评价

当以国家土壤环境质量标准进行评价时，89.68%的旱地土壤样品共计1130个点位均处于无污染状态，8.26%和1.5%的旱地土壤样点受到轻度和中度污染，而仅有0.56%的旱地土壤样点为重度污染。对于水田土壤，96.32%的样点未受到Cr污染，仅有3.68%的水田样点受到轻度污染。对于矿区土壤，75.16%的样点未受到污染，受到轻度和中度污染的样点占到了20.26%和4.58%（表6）。

当以推荐背景值作为标准进行评价时，不同类型土壤的污染比例发生了显著变化。旱地土壤中有62.22%的点位处于无污染状态，29.21%、

5.32%、3.25%的点位分别处于轻度、中度和重度污染；对于水田土壤不同污染程度的比例明显升高，无污染状态的比例为33.60%，轻度、中度和重度污染的比例分别为54.86%、7.60%、3.94%；对于矿区土壤，无污染、轻度和重度污染比例占到了48.37%、21.57%和28.75%，只有1.31%的点位处于中度污染（表6）。

经对比在以推荐背景值作为土壤污染评价的标准值时，水田土壤不同等级污染程度的比例要明显高于旱地土壤，这是因为在西江流域矿业活动密集，冶炼厂生产过程中排放的大量废水进入到河流^[34]，同时近年来发生的重大污染事件，如

2001年由于特大暴雨使得大环江上游某尾砂库溃坝；2008年宜州某化工厂发生意外爆炸，造成了龙江水污染；2012年，河池市某公司因违法排放

工业废水，造成龙江河严重污染，在灌溉过程中使得长期蓄水的水田土壤中积累的Cr要高于旱地土壤。

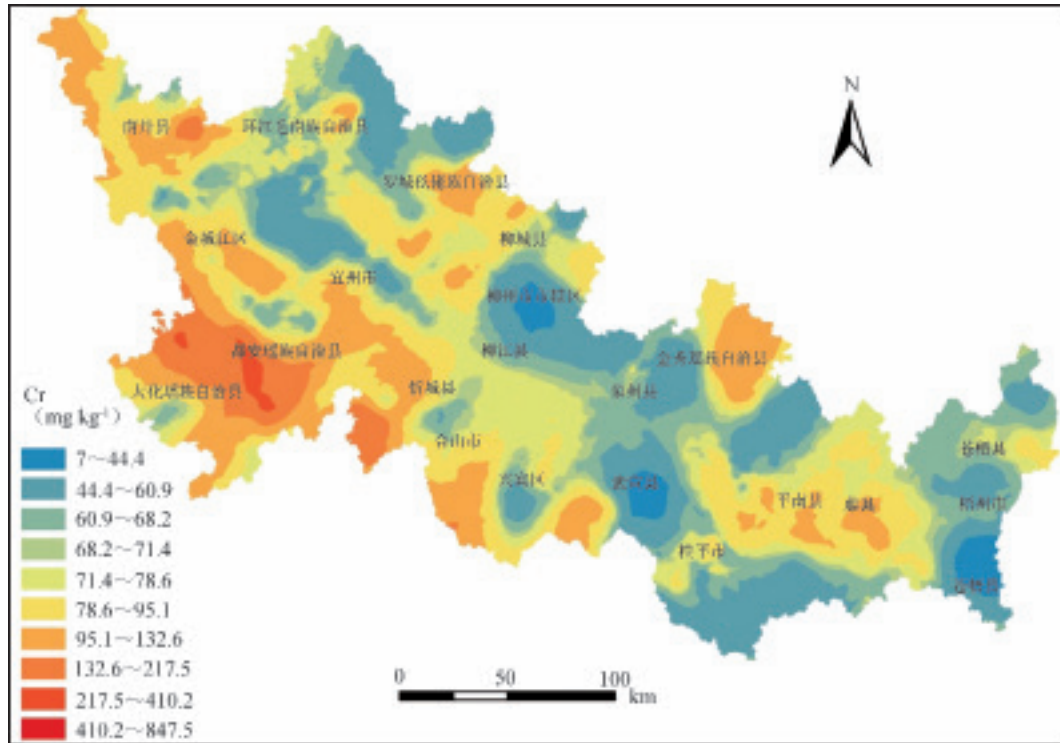


图2 广西西江流域土壤重金属Cr含量空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of heavy metal Cr content in soils of the Xijiang River Basin, Guangxi Zhuang Autonomous Region

表6 不同类型土壤表层重金属污染评价

Table 6 Evaluation of heavy metal pollution in the surface soil relative to type of the soil

项目Item	旱地土壤 Upland soil		水田土壤 Paddy soil				矿区土壤 Mining soil				污染程度 Degree of pollution		
	A		A		B		A		B				
	个数	比例 (%)	个数	比例 (%)	个数	比例 (%)	个数	比例 (%)	个数	比例 (%)			
$P_i \leq 1$	1 130	89.68	784	62.22	367	96.32	128	33.60	115	75.16	74	48.37	无
$1 < P_i \leq 2$	104	8.26	368	29.21	14	3.68	209	54.86	31	20.26	33	21.57	轻度
$2 < P_i \leq 3$	19	1.50	67	5.32	-	-	29	7.60	7	4.58	2	1.31	中度
$P_i > 3$	7	0.56	41	3.25	-	-	15	3.94	-	-	44	28.75	重度

注：A为以《土壤环境质量标准》（GB15618-1995）作为单因子污染指数法中的标准值。B为以推荐背景值作为单因子污染指数法中的标准值 Note: A. The criterion for Cr content in the “Standard for soil environmental quality” (GB15618-1995) is used as the benchmark value in the single factor pollution index method. B. The recommended background value for Cr content is used as the benchmark value in the single factor pollution index method

由于土壤是一个不均匀、具有高度空间变异的混合体，对采集的土壤样点进行污染评价只能

代表样点本身的土壤污染状况,因而利用ArcGIS中Kriging插值法对单因子污染指数法计算结果进行插值得到西江流域土壤Cr污染状况空间分布图(图4)。可以看出除了都安县、大化县和忻城县部分区域处于轻度污染之外,其他区域均处于无污染状态。对于轻度污染区域要加以重视,可以改变土地利用方式,对于无污染区域土壤要加以

保护,绝不能掉以轻心,因为西江流域上游矿产资源的不合理开采及“三废”排放问题均会造成严重的土壤污染问题,因此规范矿业开采行为、优化产业布局、实施多部门联合以及加强法规和标准的实施等方式进行有效防控,同时加强对尾砂库的安全监控,避免发生安全事故,是保证农业安全生产的关键。

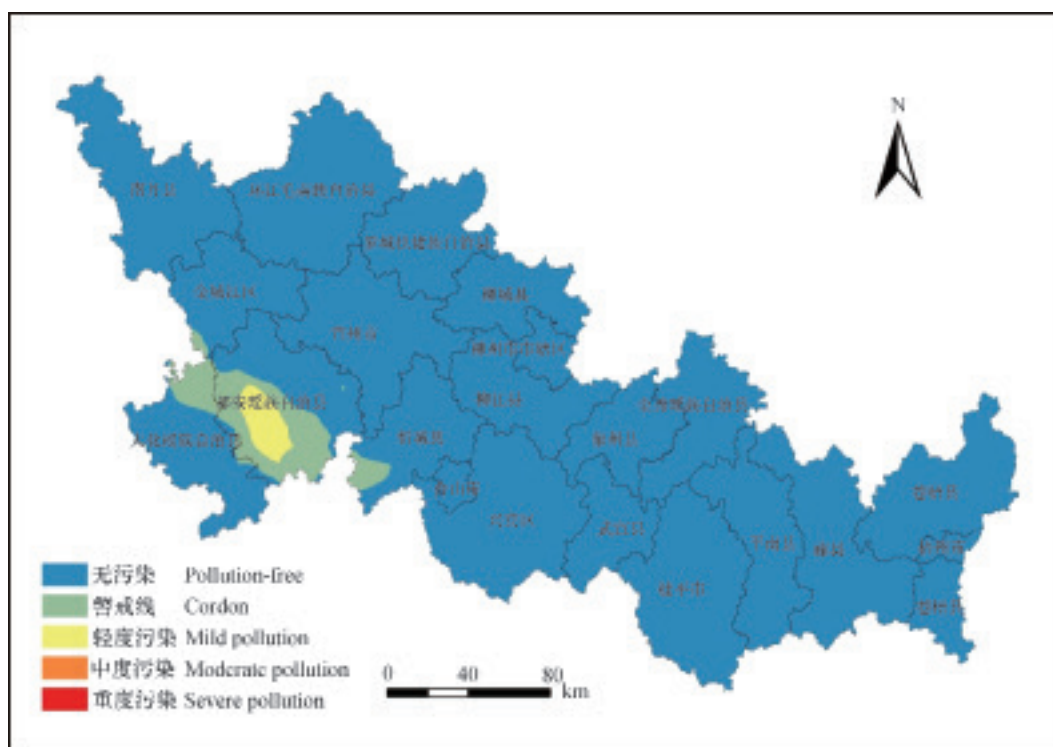


图3 不同类型表层土壤重金属污染评价

Fig. 3 Assessment of heavy metal pollution of the soils relative to type

3 结 论

通过对广西西江流域不同类型土壤进行调查,深入探究该流域土壤中Cr的空间分布状况及自然土壤Cr背景值状况。土壤Cr分布表现为中等空间自相关性,受到自然矿带和人类矿业活动的共同影响。对自然土壤Cr含量分析,比较背景值不同表示方法,重新提出广西西江流域自然土壤Cr背景值为 82.66 mg kg^{-1} ,是广西土壤重金属Cr背景值 56.25 mg kg^{-1} 的1.6倍。其矿区土壤、水田土壤、旱地土壤Cr含量分别为 104.2 mg kg^{-1} 、 91.06 mg kg^{-1} 、 74.52 mg kg^{-1} 。若以基线值 233.0 mg kg^{-1} 作为统一标准值,则矿区土壤、水田土壤、旱地土壤的点位

超标率分别为28.75%、4.98%、4.05%。广西西江流域91.2%农业用地表现为无污染级别,只有8.8%的地区处在中度甚至重度污染。总体而言,西江流域绝大部分地区土壤受Cr影响程度较小,但对于受到的污染的区域应给予足够重视,可采取改变土地利用方式、避免种植农作物等措施规避风险。

参 考 文 献

- [1] 王旌, 罗启仕, 张长波, 等. 铬污染土壤的稳定化处理及其长期稳定性研究. 环境科学, 2013, 34(10): 4036—4041
Wang J, Luo Q S, Zhang C B, et al. Study on stabilization and long-term stability of chromium contaminated soil (In Chinese). Environmental

- Science, 2013, 34 (10): 4036—4041
- [2] 李世业, 成杰民. 化工厂遗留地铬污染土壤化学淋洗修复研究. 土壤学报, 2015, 52 (4): 869—878
Li S Y, Cheng J M. Effect of chemical leaching remedying chromium contaminated soil in deserted chemical plant site (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2015, 52 (4): 869—878
- [3] Harani H, Otmame A, Makrelouf M, et al. Primary evaluation of antioxidant status oligomineral patient with type 2 diabetes Algeria: Special interest manganese and chromium. Annales De Biologie Clinique, 2012, 70 (6): 669—677
- [4] Cefalu W T, Hu F B. Role of chromium in human health and in diabetes. Diabetes Care, 2004, 27: 2741—2751
- [5] Zayed A M, Terry N. Chromium in the environment: Factors affecting biological remediation. Plant and Soil, 2003, 249 (1): 139—156
- [6] Naz A, Mishra B K, Gupta S K. Human health risk assessment of chromium in drinking water: A case study of sukinda chromite mine, Odisha, India. Exposure and Health, 2016, 8 (2): 253—264
- [7] Wang Y, Hu L, Lu G. Health risk assessments based on existing data of arsenic, chromium, lead, and zinc in China's air. Human and Ecological Risk Assessment, 2015, 21 (2): 560—573
- [8] Chatta A, Khan M, Mirza Z, et al. Heavy metal (cadmium, lead, and chromium) contamination in farmed fish: A potential risk for consumers' health. Turkish Journal of Zoology, 2016, 40 (2): 248-256
- [9] 齐水莲, 潘志恒. 铬渣及铬污染物无害化处置实践应用. 河南科技, 2014 (13): 55—56
Qi S L, Pan Z H. Practice of harmless disposal of chromium residue and chromium pollutants (In Chinese). Henan Science and Technology, 2014 (13): 55—56
- [10] 孙光, 罗遵兰, 徐靖, 等. 用指数平衡法对广西西江流域水资源承载能力的分析. 中国农业大学学报, 2013, 18 (5): 57—61
Sun G, Luo Z L, Xu J, et al. Analysis of water resources carrying capacity of Xijiang River Basin in Guangxi by exponential equilibrium method (In Chinese). Journal of Agricultural University of China, 2013, 18 (5): 57—61
- [11] 翟丽梅, 廖晓勇, 阎秀兰, 等. 广西西江流域农业土壤镉的空间分布与环境风险. 中国环境科学, 2009, 29 (6): 661—667
Zhai L M, Liao X Y, Yan X L, et al. Spatial distribution and environmental risk of cadmium in agricultural soils in Xijiang River Basin of Guangxi Province (In Chinese). Chinese Environmental Science, 2009, 29 (6): 661—667
- [12] 宋书巧, 梁利芳, 周永章, 等. 广西刁江沿岸农田受矿山重金属污染现状与治理对策. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22 (2): 152—155
Song S Q, Liang L F, Zhou Y Z, et al. Status and countermeasures of heavy metal pollution in farmland along Diaojiang River in Guangxi Province (In Chinese). Mineral Rock Geochemistry Bulletin, 2003, 22 (2): 152—155
- [13] 邱建强. 河池地区有色金属矿产业发展的问题与对策. 广西生态建设与经济协调发展学术研讨会, 2001
Qiu J Q. Problems and countermeasures of nonferrous metal mineral industry development in Hechi Region (In Chinese). Academic Seminar on Coordinated Development of Ecological Construction and Economy in Guangxi, 2001
- [14] 王成, 王哲, 姜新舒, 等. 广西车河矿区表层土壤重金属污染及风险评价. 四川环境, 2016, 35 (2): 92—97
Wang C, Wang Z, Jiang X S, et al. Pollution and risk assessment of heavy metals in surface soils of Chehe Mining Area in Guangxi (In Chinese). Sichuan Environment, 2016, 35 (2): 92—97
- [15] 孙杰, 刘骏龙, 胡晶晶, 等. 广西锰矿区土壤重金属垂直分布和赋存形态分析. 中南民族大学学报 (自然科学版), 2016, 35 (1): 12—16
Sun J, Liu J L, Hu J J, et al. Vertical distribution and occurrence of heavy metals in soil of Guangxi Manganese Area (In Chinese). Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2016, 35 (1): 12—16
- [16] Zhang C, Li Z, Yang W, et al. Assessment of metals pollution on agricultural soil surrounding a lead-zinc mining area in the Karst region of Guangxi, China. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2013, 90 (6): 736—741
- [17] 广西环境保护科学研究所. 土壤背景值研究方法 & 广西土壤背景值. 南宁: 广西科学技术出版社, 1992: 216—223
Guangxi Institute of Environmental Protection Science. Soil background value research method and Guangxi soil background value (In Chinese). Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 1992: 216—223
- [18] 刘绿柳, 姜彤, 徐金阁, 等. 西江流域水文过程的多气候模式多情景研究. 水利学报, 2012, 43 (12): 1413—1421
Liu L L, Jiang T, Xu J G, et al. A multi-climate model study on hydrological processes in Xijiang River Basin

- (In Chinese). *Journal of Hydraulic Engineering*, 2012, 43 (12): 1413—1421
- [19] 李艳军, 张剑廷. 我国铬铁矿资源现状及可持续供应建议. *金属矿山*, 2011 (10): 27—30
Li Y J, Zhang J T. Status quo of chromite resources in China and suggestions for sustainable supply (In Chinese). *Metal Mine*, 2011 (10): 27—30
- [20] 陈同斌, 范稚莲, 雷梅, 等. 磷对超富集植物蜈蚣草吸收砷的影响及其科学意义. *科学通报*, 2002, 47 (15): 1156—1159
Chen T B, Fan Z L, Lei M, et al. Effects of phosphorus on absorption of arsenic from *Pteris vittata* in hyperaccumulator and its scientific significance (In Chinese). *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47 (15): 1156—1159
- [21] 易杰祥, 吕亮雪, 刘国道. 土壤酸化和酸性土壤改良研究. *华南热带农业大学学报*, 2006, 12 (1): 23—28
Yi J X, Lü L X, Liu G D. Study on soil acidification and acid soil improvement (In Chinese). *Journal of South China University of Tropical Agriculture*, 2006, 12 (1): 23—28
- [22] 夏增禄. 土壤元素背景值及其研究方法. 北京: 气象出版社, 1987: 57
Xia Z L. Soil element background value and its research method (In Chinese). Beijing: Meteorological Press, 1987: 57
- [23] 康纳, 沙克立特, 王景华. 美国大陆某些岩石、土壤、植物及蔬菜的地球化学背景值. 北京: 科学出版社, 1980: 57—65
Jconnor J, Shakelite H T, Wang J H. Geochemical background values of some rocks, soils, plants and vegetables in the continental United States (In Chinese). Beijing: Science Press, 1980: 57—65
- [24] 夏增禄. 土壤元素背景值表示方法探讨. *农业环境科学学报*, 1986, 5 (2): 19—22, 18
Xia Z L. Discussion on representation method of soil element background value (In Chinese). *Journal of Agricultural Environmental Science*, 1986, 5 (2): 19—22, 18
- [25] 邢克孝, 杨卫东. 千山土壤中铬、汞微量元素的自然背景值研究. *辽宁大学学报 (自然科学版)*, 1986, 14 (1): 52—56
Xing K X, Yang W D. Study on natural background value of trace elements in chromium and mercury in Qianshan Soil (In Chinese). *Journal of Liaoning University (Natural Science Edition)*, 1986, 14 (1): 52—56
- [26] Chen J, Wei F, Zheng C. Background concentrations of elements in soils of China. *Water, Air, & Soil Pollution*, 1991, 57/58 (1): 699—712
- [27] 唐将, 钟远平, 王力. 三峡库区土壤重金属背景值研究. *中国生态农业学报*, 2008, 16 (4): 848—852
Tang J, Zhong Y P, Wang L. Study on the background of heavy metals in the Three Gorges Reservoir Area (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16 (4): 848—852
- [28] 张朝生, 章申, 张立成, 等. 长江水系河流沉积物重金属元素含量的计算方法研究. *环境科学学报*, 1995, 15 (3): 257—264
Zhang C S, Zhang S, Zhang L C, et al. Study on calculation method of heavy metal content in sediments of Yangtze River water system (In Chinese). *Journal of Environmental Science*, 1995, 15 (3): 257—264
- [29] 刘硕, 吴泉源, 曹学江. 龙口煤矿区土壤重金属污染评价与空间分布特征. *环境科学*, 2016, 37 (1): 270—279
Liu S, Wu Q Y, Cao X J. Evaluation of heavy metal pollution and spatial distribution of soil in Longkou Coal Mining Area (In Chinese). *Environmental Science*, 2016, 37 (1): 270—279
- [30] 张博华. Kriging空间插值最优估计模型的研究. *电脑知识与技术*, 2014, 10 (9): 2142—2144
Zhang B H. Research on Kriging spatial interpolation optimal estimation model (In Chinese). *Computer Knowledge and Technology*, 2014, 10 (9): 2142—2144
- [31] 杨斌, 彭省临, 李水如, 等. 广西有色金属成矿系列与成矿区带. *矿产与地质*, 2007, 21 (1): 8—11
Yang B, Peng X L, Li S R, et al. Non-ferrous metal mineralization series and metallogenic zone in Guangxi (In Chinese). *Mineral and Geology*, 2007, 21 (1): 8—11
- [32] 广西大百科全书编纂委员会. 广西大百科全书. 北京: 中国大百科全书出版社, 2008: 359—363
Compilation of Guangxi Encyclopedia Compilation Committee. *Guangxi encyclopedia (In Chinese)*. Beijing: Encyclopedia of China Publishing House, 2008: 359—363
- [33] 吴家前, 孔德超, 吴烈善. 广西涉重金属企业分布特征及污染防治对策. *矿产与地质*, 2015, 29 (6): 814—817
Wu J Q, Kong D C, Wu L S. Distribution characteristics of metallic enterprises involved in Guangxi and countermeasures for pollution prevention and control (In Chinese). *Mineral and Geology*, 2015, 29 (6): 814—817
- [34] 宋波, 田美玲, 陈同斌, 等. 基于文献数据的广西典

型土壤铅含量特征及其风险研究. 土壤学报, 2017, 54 (1): 92—107
Song B, Tian M L, Chen T B, et al. Characterization

of Pb contents in typical soils of Guangxi and risk assessment based on literature data (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2017, 54 (1): 92—107

Further Study on Spatial Distribution and Background Value of Chromium in Soil in Xijiang River Basin, Guangxi, China

WANG Fopeng¹ SONG Bo^{1,2†} HUANG Yufei¹ ZHANG Jun¹ YU Yuanyuan¹ LEI Mei³
LI Shaoxiang¹

(1 College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

(2 Cooperative Innovation Center for Water Pollution Control and Water Safety in Karst Region, Guilin 541004, China)

(3 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract 【Objective】To comprehensively explore content of Chromium and its distribution in the soil of the Xijiang River Basin in Guangxi Zhuang Autonomous Region, and background value of Chromium in the soil, field investigations were carried out in the basin. 【Method】A total of 2 022 samples of upland soil, paddy soil, mining soil, sediment and natural soil were collected for analysis of Chromium content and further spatial distribution with the aid of ArcGIS. Chromium background values were recalculated using the mathematical statistics method. Cr pollution of the agricultural soils was evaluated using the single factor pollution index method. 【Result】Results show: (1). In terms of geometric mean of Cr-contents in the soils, the four types of soils followed an order of mining soil (104.2 mg kg^{-1}) > paddy soil (91.06 mg kg^{-1}) > natural soil (82.66 mg kg^{-1}) > upland soil (74.52 mg kg^{-1}). (2). Comparative analysis shows that as against the Cr content in the samples of natural soil as background value of Cr in the Xijiang River Basin, about 4.05%、4.98% and 28.75% of the upland, paddy and mining soil samples were overstandard; (3) Interpretation of the Cr content spatial distribution map of the basin reveals that lands high in Cr content were distributed mainly in Nandan County, Jinchengjian, Du'an Yao Autonomous County, Dahua Yao Autonomous County, Heshan City, Huanjiang Maonan Autonomous County, Luocheng Mulao Autonomous County, Liucheng County, Xincheng County, Jinxiu Yao Autonomous County, Pingnan County, Tengxian County and Changwu County, indicating they were areas under intensive impacts of natural and anthropogenic activities. (4). This study found that the soil Cr background value of the basin was 82.66 mg kg^{-1} , which was 1.6 times as high as that of the province (56.5 mg kg^{-1}) and 2% lower than the criterion (90 mg kg^{-1}) for soil Cr specified in the “Standard for Soil Environmental Quality” (GB15618-1995). 【Conclusion】The comprehensive analysis of the heavy metal Cr contents in the soils of the Xijiang River Basin, the mining soil was the highest in Cr pollution and followed by the paddy soil and upland soil. If the baseline value, 233.0 mg kg^{-1} is set as the unified standard, about 4.05%, 4.98% and 28.75%, respectively, of the dryland soil, paddy soil and mining soil exceeded the criterion. All the findings in this study may provides a reference for formulation of a more scientific and reasonable standard. Though the agricultural soil in the basin, as a whole, is still quite clean, it is essential to avoid agricultural activities around the mining areas.

Key words Xijiang River Basin; Chromium; Background value; Pollution evaluation

(责任编辑: 檀满枝)