

卧龙泉河流域土壤重金属污染的模糊评价

孙丽娜<sup>1,2</sup>, 孙铁珩<sup>1</sup>, 金成洙<sup>3</sup>

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016;  
2. 沈阳大学环境工程重点实验室, 沈阳 110044; 3. 东北大学, 沈阳 110004)

**摘要:** 运用模糊评价模型对卧龙泉河流域土壤-植物重金属污染现状进行了评价, 结果表明, 卧龙泉河上游和中游地区土壤-植物重金属污染严重。其中, 卧龙泉河上游土壤污染因子为 Cu、Pb, 水稻和玉米分别为 Pb、Cu、Cr、As 和 Pb、Cr、Hg; 王家崴子地区土壤的污染因子主要为 As、Pb、Cd、Zn, 水稻和玉米分别为 Pb、Cu、Cd、Cr、As 和 Pb、Cr、As、Hg; 氰化厂旱田土和靠山屯林地土为轻污染, 污染因子分别为 Pb、Zn、Cu、Hg 和 Hg、Pb; 卧龙泉河下游万福旱田土和王家崴子西山坡林地土无污染。王家崴子和万福地区的韭菜 Pb、Zn、Hg 污染严重。同一地区不同植物的污染因子不同, 不同地区水稻或玉米的污染因子也不同。  
**关键词:** 重金属污染; 模糊评价; 土壤-植物系统; 卧龙泉河流域  
**中图分类号:** X53      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1005-3409(2006) 01-0126-03

The Blurred Appraise of Heavy Metal  
Pollutions on Soils in Wolongquan River Basin

SUN Li-na<sup>1,2</sup>, SUN Tie-heng<sup>1</sup>, JIN Cheng-zhu<sup>3</sup>

(1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Science, Shenyang 110016, China;  
2. Shenyang University, 110044; 3. Northeastern University, Shenyang 110004, China)

**Abstract:** The appraisal of the present heavy metals pollution is made by blurred mathematics in the soil-plant system of Wolongquan river basin. The results indicated that the heavy metals pollution are terribly serious in the soil-plant system upper and medium Wolongquan river basin. Thereinto, the contaminative factors of soil are mainly Cu, Pb and the contaminative factors of paddy and maize are respectively Pb, Cu, Cr, As and Pb, Cr, Hg in upper Wolongquan River basin, and the contaminative factors of paddy and maize are respectively Pb, Cu, Cd, Cr, As and Pb, Cr, As, Hg in Wangjiawaizi district. The extent of heavy metal pollution are less in dryfarming soils of hydrogenide plant and in woodland soil of Kaoshan village and contaminative factors are respectively Pb, Zn, Cu, Hg and Hg, As, Pb, Cd, Zn. The levels of heavy metals are less than corresponding background of soil heavy metal in dry farming soil of Wanfu district down Wolongquan River and surfacial soil in west hill land of Wangjiawaizi district. The pollution of Pb, Zn, Hg in the leeks are grievous in Wangjiawaizi district and in Wanfu district. Different plants in same district have different contaminative factors and the ripe or maize in different districts have different contaminative factors.

**Key words:** heavy metals pollution; blurred appraise; soil-plant system; Wolongquan River areas

1 引言

土壤重金属元素污染具有很大的危害性<sup>[1-3]</sup>。它一方面导致粮食产量的减产, 另一方面被植物吸收, 通过食物链危害人类的生命和健康。此外, 土壤重金属污染作为一种潜在的二次污染源, 可以通过径流、入渗而污染地表水和地下水, 通过风蚀而使污染面积扩大。土壤重金属污染主要与局部地球化学异常和矿业开发、污水灌溉、农业措施、工业三废排放等人为活动有关, 其中采、选、冶是向土壤环境释放重金属污染物的主要途径之一<sup>[4-7]</sup>。据不完全统计, 全国直接被尾矿侵占和污染的土地 6.67 余万 hm<sup>2</sup>, 被间接污染的土壤达 66.7 余万 hm<sup>2</sup><sup>[8]</sup>。卧龙泉河流域位于碧流河水库上游, 是辽宁省

的金矿化集中区之一和重要的粮食生产基地。沿卧龙泉河分布有王家崴子金矿、金厂沟金矿、独甸金矿、矿洞沟金矿、卧龙泉萤石矿和日处理量 25 t 的氰化厂 3 个、50 t/d 浮选厂 1 个、250 t/d 浮选厂 1 个和镁砂厂 1 个。近年来的金矿开发在给地方带来经济效益的同时, 也在一定程度上造成了土壤-植物的重金属污染。本文运用模糊评价模型对卧龙泉河流域土壤、植物进行了评价, 旨在了解卧龙泉河流域土壤重金属污染现状, 为环境管理和土壤修复提供依据。

2 材料与方法

2.1 样品的采集与分析  
考虑到金矿开采对土壤环境的影响, 根据金矿的空间分

<sup>1</sup> 收稿日期: 2005-02-27  
基金项目: 国家自然科学基金(20477029); 国家自然科学基金重点基金项目(20337010); 国家博士点基金项目(1999014513)  
作者简介: 孙丽娜(1960-), 女, 教授, 硕士生导师, 主要从事资源与环境地球化学研究和污染生态研究。



计算各个污染因子的权重值见表 5 和表 6。  
式中,  $a_i^*$  ——第  $i$  个元素的实测值与基准值的比值;  $a_i$  ——第  $i$  个元素的权重;  $C_i$  ——重金属元素的实测值,  $S_i$  ——土壤质量基点值,  $i=1, 2, \dots, n$ 。

表 4 植物重金属污染程度分级标准								mg/kg
污染因子	清洁( )		轻污染( )		中污染( )		重污染( )	
	粮食	蔬菜	粮食	蔬菜	粮食	蔬菜	粮食	蔬菜
As	0.70	0.50	1.40	1.00	2.10	1.50	2.80	2.00
Hg	0.02	0.01	0.04	0.02	0.06	0.03	0.08	0.04
Cu	10.0	10.0	20.0	20.0	30.0	30.0	40.0	40.0
Pb	0.50	0.20	1.00	0.40	1.50	0.60	2.00	0.80
Zn	50.0	20.0	100.0	40.0	150.0	60.0	200.0	80.0
Cd	0.20	0.05	0.40	0.10	0.60	0.15	0.80	0.20
Cr	0.80	0.50	1.60	1.00	2.40	1.50	3.20	2.00

3.2.4 模糊综合评判结果与分析

利用单因子隶属度和各污染因子的权重系数, 根据模糊模型:

$$B=(b_j)=\max\{1, a_i\cdot r_{ij}\}$$

其中  $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ , 计算评价区的总隶属度, 并进行模糊评价, 其结果见表 7 和表 8。从表 7 和表 8 中可以看出, 每个评价区域相对各级标准的隶属度差异比较明显, 表明综合评判结果比较清晰, 能反映出土壤-植物的环境质量状况。

表 5 评价区域各评价因子的权重值(土壤)								
污染因子	1 号样	2 号样	3 号样	4 号样	5 号样	6 号样	7 号样	8 号样
G1	0.041	0.065	0.203	0.117	0.122	0.073	0.087	0.075
Hg	0.045	0.261	0.030	0.033	0.059	0.485	0.282	0.114
As	0.051	0.086	0.165	0.381	0.371	0.027	0.029	0.127
Cu	0.364	0.153	0.035	0.101	0.052	0.046	0.132	0.174
Pb	0.426	0.218	0.435	0.252	0.223	0.162	0.187	0.142
Zn	0.045	0.164	0.109	0.080	0.124	0.080	0.159	0.168
Cr	0.028	0.053	0.023	0.036	0.049	0.126	0.123	0.199

表 6 评价区域各评价因子的权重值(植物)								
样品	As	Cr	Cu	Zn	Hg	Pb	G1	
1. 卧龙泉河上游水稻	1.00	12.8	2.53	0.26	0.00	2.40	0.22	
2. 王家崴子矿区水稻	0.69	1.50	3.80	0.18	0.00	1.80	0.50	
3. 万福水稻	0.00	0.00	0.28	0.31	0.31	0.00	0.09	
4. 卧龙泉河上游玉米	0.63	5.50	0.57	0.28	1.00	0.16	0.11	
5. 王家崴子矿区玉米	2.09	8.40	0.40	0.20	1.20	9.92	0.08	
6. 万福玉米	0.00	0.00	0.29	0.28	0.35	0.00	0.08	
7. 王家崴子韭菜	0.01	0.04	0.04	0.10	0.22	0.57	0.02	
8. 万福韭菜	0.03	0.06	0.06	0.15	0.17	0.51	0.03	

表 7 评价区域总隶属度模糊综合评判结果(土壤)								
级别	1	2	3	4	5	6	7	8
	0.136	0.064	0.052	0.069	0.125	0.235	0.250	0.565
	0.074	0.243	0.036	0.175	0.131	0.237	0.504	0.367
	0.00	0.364	0.070	0.184	0.273	0.391	0.278	0.000
	0.391	0.329	0.250	0.227	0.100	0.136	0.000	0.000
	0.399	0.000	0.592	0.381	0.371	0.000	0.000	0.000
合评价结果								

评价结果表明, 卧龙泉上游稻田土、王家崴子稻田土和王家崴子坝侧旱田土属重污染, 氰化厂旱田土和靠山屯林地土属轻污染, 而万福旱田土和王家崴子西山坡林地土无重金属污染。卧龙泉河上游稻田土主要污染因子为 Cu、Pb, 氰化厂旱

参考文献:

[1] 张乃明. 土壤-植物系统重金属污染的研究现状与展望[J]. 环境科学进展, 1999, 7(4): 30- 33.

田土的主要污染因子为 Pb、Cu、Zn, 王家崴子稻田土的污染因子为 As、Pb、Cd、Zn, 靠山屯林地土的污染因子为 Hg、Pb。

不同地区的植物评价结果表明, 卧龙泉河上游和王家崴子地区的水稻和玉米都已达到了重度污染, 而卧龙泉河下游的万福地区水稻和玉米则为清洁级。卧龙泉河上游水稻的污染因子主要为 Pb 和 Cu, 其次为 Cr 和 As; 玉米的污染因子主要为 Pb 和 Cr, 其次为 Hg。王家崴子矿区水稻的污染因子主要为 Pb、Cu 和 Cd, 其次 Cr; 玉米的污染因子主要为 Pb、Cr 和 As, 其次为 Hg。王家崴子韭菜和万福韭菜均属重度污染, 污染因子均为 Hg、Zn 和 Pb, 但前者的污染强度相对较大。

表 8 评价区域总隶属度模糊综合评判结果(植物)					
样品级别	污染程度				
1	0.06	0.07	0.19	0.68	重污染
2	0.06	0.07	0.05	0.80	重污染
3	1.00	0.00	0.00	0.00	清洁
4	0.12	0.14	0.06	0.68	重污染
5	0.03	0.00	0.05	0.92	重污染
6	0.99	0.00	0.00	0.00	清洁
7	0.16	0.05	0.00	0.89	重污染
8	0.15	0.03	0.22	0.59	重污染

分析不同地区金矿开发活动及其土壤和植物的重金属污染特征可以看出, 矿业开发活动较强的王家崴子地区和卧龙泉上游地区土壤-植物重金属污染严重, 相对远离金矿开发活动的靠山屯和氰化厂地区土壤重金属污染程度较弱, 远离金矿开发的万福地区土壤和水稻、玉米无重金属污染。

同一地区水稻、玉米和韭菜的主要污染因子不同, 不同地区的水稻或玉米主要污染因子存在差异。这种特征可能与不同作物对不同重金属元素的选择性吸收和不同的耕作方式对不同元素的活性影响不同有关, 受不同地区土壤重金属元素的复合污染特征影响。不同地区的韭菜的污染因子相同, 说明了韭菜对 Hg、Zn、Pb 具有特征性选择吸收<sup>[12-26]</sup>。

4 结 论

通过对卧龙泉河流域土壤-植物重金属污染的模糊评价与空间分布分析, 可以得出以下几点结论:

(1) 在近金矿开发活动的卧龙泉上游稻田土和王家崴子稻田土、王家崴子坝侧旱田土重金属污染严重, 主要污染因子分别为 Cu、Pb 和 As、Pb、Cd、Zn; 相对远离金矿开发活动的氰化厂旱田土和靠山屯林地土属轻污染, 主要污染因子为 Pb、Zn、Cu、Hg 和 Hg、Pb; 而远离金矿开发活动的万福旱田土和王家崴子西山坡林地土无重金属污染。

(2) 卧龙泉河上游和王家崴子地区的水稻和玉米重金属污染严重。卧龙泉河上游水稻和玉米污染因子分别为 Pb、Cu、Cr、As 和 Pb、Cr、Hg; 王家崴子地区水稻和玉米的污染因子分别为 Pb、Cu、Cd、Cr 和 Pb、Cr、As、Hg。

(3) 王家崴子韭菜和万福韭菜重金属污染严重, 污染因子均为 Pb、Zn、Hg。

(4) 同一地区水稻、玉米和韭菜的主要污染因子不同, 不同地区水稻或玉米的的主要污染因子也存在差异, 可能与不同作物对不同重金属元素的选择性吸收和不同的耕作方式对不同元素的活性影响不同有关, 受不同地区土壤重金属复合污染影响。

[ 2 ] 朱荫湄,周启星. 土壤污染与我国农业环境保护的现状[ J ]. 土壤通报, 1999, 30(3): 132– 135.

[ 3 ] 刘玉机,刘绮,王家旺. 辽宁省环境重金属研究[ M ]. 北京: 环境科学出版社, 1996. 153– 164, 276– 295, 376– 393.

[ 4 ] E Gabler, J Schneider. Assessment of Heavy Metal Contamination of Floodplain Soils due to Mining and Mineral Processing in the Harz Mountains Germany[ J ]. Economic Geology, 2000, 39(7): 774– 781.

[ 5 ] Zhixun Lin, Roger B, Herbert Jr. Heavy – metal Retention in Secondary Precipitates from a Mine Rock Dump and Underlying Soil, Dalarna, Sweden[ J ]. Environmental Geology, 1997, 33(1): 1– 12.

[ 6 ] T L Hudson, J C Borden, M Russ, et al. Control on As, Pb and Mn Distribution in Community Soils of an Historical Mining District, Southwestern Colorado[ J ]. Environmental Ecology, 1997, 33(1): 25– 42.

[ 7 ] Y X Tao, Y Zhao, N Z Xu. The Effects of Metals Mine on Ecological Environment of Rocks and Soils[ J ]. Volcano Geology and Minerals, 1997, 20(3): 225– 231.

[ 8 ] 陈怀满,郑春荣,涂从,等. 中国土壤重金属污染: 现状与对策[ J ]. Ambio, 1999, 28(2): 130– 133.

[ 9 ] 王焕校. 污染生态学[ M ]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 3– 14.

[ 10 ] 孙铁珩,周启星,李培军. 污染生态学[ M ]. 北京: 高等教育出版社, 2003.

[ 11 ] 彭再德. Function of blur pattern in appraise of heavy metal pollution of area soil[ J ]. Protection of Chemosynthesis Environment, 1993, 13(4): 235– 238.

[ 12 ] 吴燕玉,余国营,王新. Cd, Cu, Pb, Zn, As 复合污染对水稻的影响[ J ]. 农业环境保护, 1998, 17(2): 49– 54.

[ 13 ] 夏增禄. 土壤环境容量与应用[ M ]. 北京: 气象出版社, 1988.

[ 14 ] 夏增禄. 中国土壤环境容量[ M ]. 北京: 地震出版社, 1992.

[ 15 ] 地理学会, 环境地质学会. 环境污染与生态效应论文集[ C ]. 北京: 科学出版社, 1991.

[ 16 ] 郑振华,周培疆,吴振斌. 复合污染研究进展[ J ]. 应用生态学报, 2001, 12: 469– 473.

[ 17 ] 李博文,郝晋珉. 土壤镉、铅、锌污染的植物效应研究进展[ J ]. 河北农业大学学报, 2002, 25( sup ): 74– 76 .

[ 18 ] 夏汉平. 土壤植物系统中的镉研究进展[ J ]. 应用与环境生物学报, 1997, 3( 3 ): 289– 298.

[ 19 ] 罗厚枚,王宏康. 土壤重金属复合污染对农作物的影响[ J ]. 环境科学, 1994, 13( 5 ): 427– 432.

[ 20 ] 宋菲,郭玉文,刘孝义,等. 土壤中重金属镉、锌、铅复合污染的研究[ J ]. 环境科学学报, 1996, 16( 4 ): 431– 436.

[ 21 ] 刘丽霞,辛克敏,张德美,等. 粉煤灰中镉、铬、铅、锌、汞对土壤及作物影响的初步评价[ J ]. 贵州科学, 1998, 16(3): 207– 211.

[ 22 ] 李湘洲. 重金属铅和镉对土壤与作物的危害与防治[ J ]. 经济林研究, 2000, 18(4): 12– 13.

[ 23 ] 王凯荣,周建林,龚惠群. 土壤镉污染对蓖麻的生长毒害效应[ J ]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 773– 776.

[ 24 ] 李清报,罗样熙,杨良. 土壤作物生态系统中的铅镉污染影响研究, 云南环境科学, 2002, 21( 2 ): 10– 11.

[ 25 ] 李忠海,王海燕,梁文彬. 土壤镉、锌、铅复合污染对芹菜的影响[ J ]. 中南林学院学报, 2002, 22(1): 36– 39.

[ 26 ] 游植麟. 土壤受镉铬铅复合污染的生物效应研究[ J ]. 农业环境保护, 1997, 16(3): 131– 132.

( 上接第 79 页)

均沟床比降和主沟长度等形态要素间存在非线性关系,堆积物粒度组成具有很好的分形结构特征,分维值的大小,表明了该系统自组织程度的高低。

(3) 泥石流暴发是松散堆积物起动的结果,松散堆积物的分布与聚集受流域面积、主沟长度、沟床坡度等因素的影响,特征值的过大或过小都不利于泥石流的发生。在工程区流域面积< 5 km<sup>2</sup>,主沟长度< 3 km 和主沟平均沟床坡度< 30 的沟谷,最利于泥石流的发生。松散堆积物的堆积角保持在临界角附近,整个松散堆积物被锁定在自组织临界状态

参考文献:

[ 1 ] 郭治安,等. 协同学入门[ M ]. 成都: 四川人民出版社, 1988.

[ 2 ] 王裕宜,詹钱登,韩文亮. 等. 泥石流暴发的应力自组织临界特性[ J ]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 39– 43.

[ 3 ] 罗德军,艾南山,李后强. 泥石流暴发的组织临界现象[ J ]. 山地研究, 1995, 13( 4 ): 213– 218.

[ 4 ] 高鹏. 流域水系的多标度分形研究及应用[ J ]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(2): 31– 39.

[ 5 ] 胡卸文,钟沛林. 云南蒋家沟流域泥石流沟谷演变的非线性特征[ J ]. 长江流域资源与环境, 2002, 11( 1 ): 94– 96.

[ 6 ] 易顺民,孙云志. 泥石流的分形特征及其意义[ J ]. 地理科学, 1997, 17(1): 24– 31.

[ 7 ] 易顺民. 泥石流堆积物的分形结构特征[ J ]. 自然灾害学报, 1994, 3(2): 91– 96.

[ 8 ] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所. 泥石流研究与防治[ M ]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989.

[ 9 ] 张咸恭. 工程地质学( 上册)[ M ]. 北京: 地质出版社, 1979.

[ 10 ] 杜榕桓,段金凡. 中国泥石流形成环境剖析[ J ]. 云南地理环境研究, 1990, 2(2): 8– 17.

下,泥石流具有自组织临界性。

(4) 泥石流灾害系统是由大量子系统按一定的结构和方式组合起来的复杂体系,这些不同层次的子系统通过非线性作用,既协同又制约,经过协调、协同、放大和进化等阶段,促使系统由无序向有序的方向发展进化。

致谢: 中国科学院成都山地灾害与环境研究所游勇研究员和柳金峰硕士在野外考察中给予了大力支持,在此表示致谢。