

文章编号: 1000-4734(2001)01-0073-07

# GIS 支持下的农业土地资源评价研究

## ——以贵阳市区为例

刘建军 李春来 邹永廖

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

**摘要:** 本文基于土地质量评价的“压力-状态-响应”(PSR)模型, 选取土壤重金属污染作为评价的一个压力指标, 应用 GIS 对贵阳市区农业土地资源进行了综合质量评价。定量评价的结果表明, 区域农业土地资源中大部分土地资源质量较好, 但旱地和水田共有 17.11 km<sup>2</sup> 的重金属重度污染区, 这部分耕地已不适宜种植农作物, 同时, 适合人类耕作的高质量耕地由于土壤重金属污染减少了近 1/3, 说明贵阳市区进行土壤重金属污染防治具有重要的意义。

**关键词:** 地理信息系统; 农业土地资源评价; 土壤重金属污染

**中图分类号:** F301; P964; X21

**文献标识码:** A

**作者简介:** 刘建军, 男, 1976 年生, 博士研究生, 从事环境遥感和 GIS 的应用研究。

近年来, 由于局部的地球化学或人为活动的强烈作用, 导致土壤污染对土地资源的压力越来越大。尤其是近些年来工业和乡镇企业的迅速发展, 土壤污染的扩散和加剧, 使一些污灌区甚至出产了大量含重金属或有毒有机物的稻米。这些含重金属或有毒有机物的稻米, 已对人体健康产生了严重的危害作用<sup>[1]</sup>。作为一个耕地小省和农业大省的贵州, 特别是贵阳市, 随着工业的不断发展, 土壤重金属污染较普遍, 有的地方还较为严重。1984 年, 全市进行土壤抽样调查, 重金属检出率为 100%, 其综合污染指数大于 1 的样点为 85.4%, 由于重金属污染的累积性, 导致目前贵阳市的土壤重金属污染更加严重。为了避免土壤污染的危害, 本文将以土壤重金属污染作为一个压力指标, 对贵阳市区农业土地资源进行评价, 为更好地保护和利用农业土地资源提供科学的依据和策略。

## 1 研究区概况

贵阳市区位于贵州中部、云贵高原东斜坡上, 地处东经 106°27'~107°03', 北纬 26°11'~26°55' 之间。东西宽 57 km, 南北长 79 km, 总面积 2 406 km<sup>2</sup>。全境地势南北高, 中间低; 地貌以岩

溶为主, 气候属亚热带湿润温和型, 年平均气温 15.3℃, 年总积温为 5 585℃, 年降水量 1 200 mm 左右; 土壤类型有黄壤、石灰土、水稻土、紫色土、潮土和草甸土六类, 其中, 以黄壤和石灰土为主<sup>[2]</sup>。存在的环境问题有: 岩溶地貌面积过大, 占 71.8%, 耕地面积有限; 土壤受重金属污染较为普遍, 有的地方还较为严重, 不利于城郊蔬菜、水果和养殖业的发展。

## 2 指标的选择

影响土地质量的因子是多方面的, 为了科学性、系统性地对土地资源评价, 建立衡量土地质量的指标体系, 是非常必要的。

### 2.1 “压力-状态-响应”(PSR)模型

“压力-状态-响应”模型<sup>[3]</sup>能够衡量土地资源所承受的压力、土地质量的状态以及社会对这些状况的响应。

**压力指标:** 描述人为活动对土地资源造成的压力, 如地下水的开采超过补给, 木材砍伐超过再生, 土地污染等;

**状态指标:** 描述土地资源的自然环境本底和土地质量现状;

**响应指标:** 描述社会(从农民到国家决策者的各个层次)对造成土地质量状态变化的压力的响应。

收稿日期: 2000-05-31

基金项目: 贵州省科学技术基金[批准号: 黔科合社字(1999)1158

### 2.2 农业土地资源评价指标

人类活动及自然界的许多变化,同土地资源的作用最直接最集中的体现在水、热两个方面,土地资源是以地形、地貌为其存在的骨架,上有土壤、植被、岩石和水体;人类利用土地资源(土地利用)的结果:建筑物、道路及耕地等构成土地资源的实体。故在评价指标的选择中,为了达到对农业土地资源进行评价的目的,通常选择水热、地形地貌、土壤植被和土地利用 4 组指标<sup>[4,5]</sup>。

水热:包括> 0 °C的年积温、年平均温度、年降水量 3 个指标;地形地貌:包括平均海拔、坡度、坡向 3 个指标;土壤植被:包括土壤类型、植被类型两个指标;土地利用:包括了土地利用程度指数 1 个指标。

根据“压力-状态-响应”模型,针对农业土地资源评价问题建立指标体系必须包括三方面指标:压力指标、状态指标和响应指标。我们不难看出上述 4 组指标中,水热、地形地貌、土壤植被指标属状态指标,土地利用指标属响应指标,却缺少反映土地质量的压力指标。针对土壤重金属污染的危害和贵阳市土壤污染的特点,本文将引入土壤重金属污染这个压力指标,与前面 9 个因子共同建立贵阳市农业土地资源评价的指标体系。

## 3 贵阳市农业土地资源评价模型设计

### 3.1 农业土地资源评价的技术路线

参照文献[6~9]对贵阳市农业土地资源进行评价,技术路线如图 1 所示。在地理信息系统的支持下,建立统一坐标的图形和属性数据库,根据指标的量化值和因子权重系数,应用 PAMAP GIS Modeller 模块中的 Model Formula Surface 程序对因子层进行逻辑运算,得出评价图。

根据评价所建立的指标体系,数字化的图件有:1994 年 1:10 万气候带分布图、1994 年年平均气温分布图、1994 年年降水量分布图;1:10 万地形图;1994 年 1:10 万土壤图、植被图;1994 年 1:10 万土地利用现状图;1984 年 1:10 万的汞、铅、镉和砷元素在贵阳市土壤中的环境地球化学图。

### 3.2 土壤综合污染指数的确定

结合贵阳市区土地重金属污染的情况,我们

选择铅、汞、砷、镉四个评价因子。把贵阳市区土壤中重金属的自然背景值:铅 37.6 mg/kg,汞 0.2 mg/kg,砷 18 mg/kg,镉 0.195 mg/kg 作为评价标准,利用贵阳市土壤中铅、汞、砷、镉元素的环境地球化学图<sup>①</sup>,在地理信息系统空间分析功能的支持下,根据下列公式分别计算出土壤单因子污染指数  $P_i$ :

$$P_i = C_i / S_i$$

式中  $C_i$  ——土壤中污染物  $i$  的实测浓度;

$S_i$  ——污染物  $i$  的评价标准。

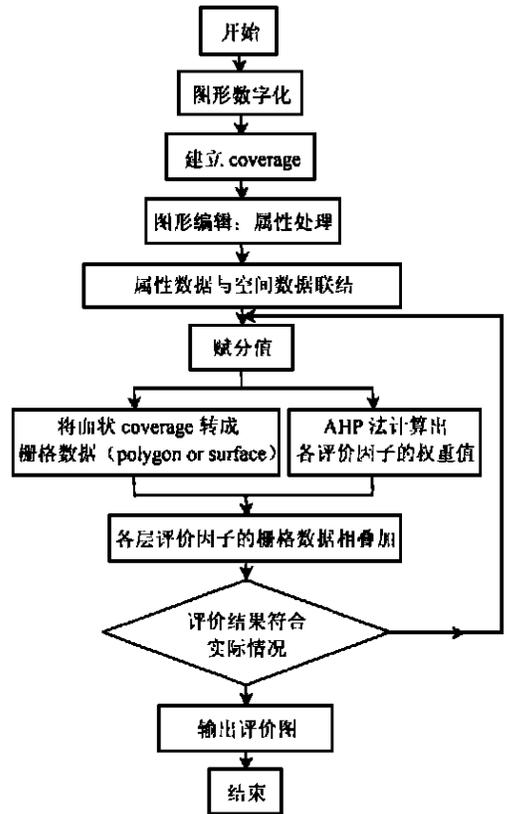


图 1 农业土地资源评价工作流程图

Fig. 1. The flow chart of evaluation of agricultural land resources.

在获得土壤中铅、汞、砷、镉四种元素的单因子污染指数后,以 Nemerow 公式<sup>[10,11]</sup>计算贵阳市区的综合污染指数  $P$ ,并依据土壤综合污染等级的划分(表 1),绘制重金属污染分布图(图 2)。

$$P = \sqrt{\frac{\text{平均}(P_i^2) + \text{最大}(P_i^2)}{2}}$$

① 该系列图是在贵阳地区 1:50 000 区调过程中,对本区进行的大面积系统的地球化学土壤采样,并进行分析的基础上,由贵州省地质矿产局区域地质调查大队等单位编辑成图。

表 1 土壤综合污染等级的划分

Table 1. The classification of ranks of soil integrated pollution

污染等级	污染指数范围
无污染	$P < 1$
轻度污染	$1 \leq P < 2$
中度污染	$2 \leq P < 3$
重度污染	$P \geq 3$

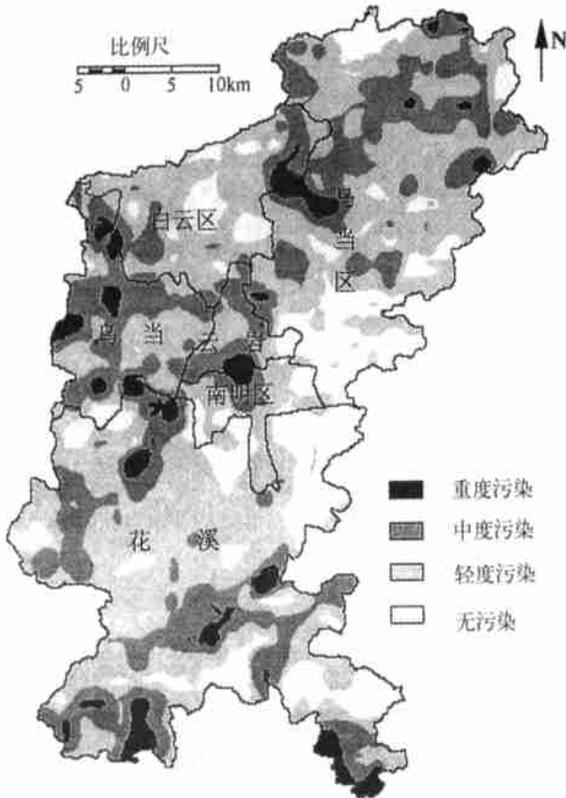


图 2 贵阳市土壤重金属污染分布图

Fig. 2. The distribution of heavy metal-contaminated soil in Guiyang proper.

### 3.3 研究区评价单元的定量化

引进地理信息系统技术, 实现全要素的定量化表示, 有助于改变传统地学与环境研究中的定性描述为主的状况。研究区评价单元的定量化, 不仅实现所有参评因子的定量化, 使参评因子落实到每一个基本分析单元, 为进一步空间叠加分析奠定了基础, 而且避免了由于定性描述较多、定量指标不足而采用逻辑判别方法时造成的漏判现象, 同时, 使定量分析结果在空间区域的横向对比和时间序列的动态分析方面都更为客观和准确, 真正实现全空间区域的定量分析<sup>[12, 13]</sup>。

在贵阳市农业土地资源评价中, 以  $30\text{ m} \times 30$

m 的栅格为基本分析单元, 同时采用统一的地理坐标, 使不同因子的栅格单元数据具有良好的空间匹配性, 有利于进行逻辑代数运算, 满足评价和查询的需要。

### 3.4 指标的量化

10 个评价指标确定后, 直接用它们去进行评价是困难的, 因为各系数间的量纲不统一, 没有可比性, 故必须对参评的指标因子进行量化处理。量化处理的方法很多, 本文的做法是将它们量化分级, 根据它们对农业土地资源利用中正向影响的大小, 从低到高分若干级, 以反映环境状况从劣到优的变化。

### 3.5 用层次分析法确定评价因子的权重

在土地资源评价中, 因子系数权重的确定是整个评价过程中不可缺少, 也是最重要的环节。随着近年来数学方法的发展, 层次分析法(The Analytic Hierarchy Process, AHP)已成为确定权因子的重要手段, 它是在定性方法基础上新近发展起来的定量地确定多因素权重的一种科学方法, 是美国运筹学家、匹兹堡大学教授 Saaty 于 1980 年创立的<sup>[14]</sup>。借助这一方法, 可将人们的经验思维数量化, 用以检查和保持决策者判断思维过程的一致性, 从而有利于对众多因素、多指标的事物进行定量的科学评价。

AHP 法确定因子权重的具体步骤如下:

- (1) 确定目标和评价因子集  $U$ 。
- (2) 构造判断矩阵: 以  $A$  表示目标,  $u_i$  表示评价因素,  $u_i \in U, (i=1, 2, 3, \dots, n)$ 。 $u_{ij}$  表示  $u_i$  对  $u_j$  的相对重要性数值 ( $j=1, 2, 3, \dots, n$ ),  $u_{ij}$  的取值依表 2。

表 2 判断矩阵标度及其含义

标度	含义
1	表示因素 $u_i$ 与 $u_j$ 比较, 具有同等重要性
3	表示因素 $u_i$ 与 $u_j$ 比较, $u_i$ 比 $u_j$ 稍微重要
5	表示因素 $u_i$ 与 $u_j$ 比较, $u_i$ 比 $u_j$ 明显重要
7	表示因素 $u_i$ 与 $u_j$ 比较, $u_i$ 比 $u_j$ 强烈重要
9	表示因素 $u_i$ 与 $u_j$ 比较, $u_i$ 比 $u_j$ 极端重要
2, 4, 6, 8	2, 4, 6, 8 分别表示相邻判断 1~3, 3~5, 5~7, 7~9 的中值
倒数	表示因素 $u_i$ 与 $u_j$ 比较得 $u_{ij}$ , 则 $u_j$ 比较 $u_i$ 得判断 $u_{ji} = 1/u_{ij}$

(3) 计算重要性排序: 根据  $A-U$  矩阵, 求出最大特征根所对应的特征向量。所求特征向量即为各评价因素重要性排序, 也就是权数分配。

(4) 检验: 用公式  $CR = CI/RI$  来检验, 式中  $CR$  称为判断矩阵的随机一致性比率, 当  $CR < 0.10$  即可认为判断矩阵具有满意的一致性, 说明

权数分配是合理的。  $CI$  称为判断矩阵的一般一致性指标,  $RI$  称为判断矩阵的平均随机一致性指标。

根据以上 AHP 确定评价因子权重的方法和步骤, 运用 Delphi 语言编写的程序进行计算, 得到贵阳市农业土地资源评价因子权重系数(表 3)。

表 3 农业土地资源评价指标体系的权重系数及赋值方法

Table 3. The weight coefficients and the evaluating way of evaluation index system of agricultural land resources in Guiyang

一级指标	一级系数	二级指标	二级系数	分级赋值
水热	0.25	大于 0℃ 积温	0.54	0~10 分
		年平均温度	0.30	
		年降水量	0.16	
地形地貌	0.125	海拔高度	0.56	0~10 分
		坡度	0.32	
		坡向	0.12	
土壤植被	0.125	土壤类型	0.66	0~10 分
		植被类型	0.34	
土地利用程度	0.25			0~10 分
土壤污染程度	0.25	土壤综合污染指数		-10~0 分

## 4 贵阳市农业土地资源评价

农业土地资源是一个复杂的系统, 系统中的各个子系统相互影响、相互作用。为了更好地进行贵阳市农业土地资源评价, 将整个农业土地资源分为 5 个子系统: 水热子系统、地形地貌子系统、土壤植被子系统、土地利用程度子系统和土壤环境质量子系统。

根据各个子系统的相互关系, 利用各指标的等级量值和权重系数, 用如下模型

$$\text{index} = \sum_{i=1}^n W_i \cdot C_i$$

分别计算出水热子系统指数值  $A$ 、地形地貌子系统指数值  $B$ 、土壤植被子系统指数值  $C$ 、土地利用程度子系统指数值  $D$ 。式中  $W$  为指标量值,  $C$  为对应指标权重,  $i$  为某子系统的指标数。然后, 以上述 4 个子系统指数值为基础, 计算出贵阳市区农业土地资源环境质量指数  $\text{enindex}$  ( $\text{enindex} = Aa + Bb + Cc + Dd$ ,  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  为对应的权重系数), 生成贵阳市区农业土地资源环境质量图 I (图 3)。最后在上述 4 个子系统指数值的基础上, 加上土壤环境质量子系统的综合污染指数值  $P$ , 计算出贵阳市农业土地资源环境质量指数  $\text{geindex}$  ( $\text{geindex} = Aa' + Bb' + Cc' + Dd' + Pf$ ,  $a'$ 、 $b'$ 、 $c'$ 、 $d'$ 、 $f$  为对应的权重系数), 最后生成新的贵阳市区农业土地资源环

境质量图 II (图 4)。

## 5 贵阳市农业土地资源状况分析

### 5.1 土壤重金属的污染状况

对贵阳市区土壤重金属污染分布图(图 2)进行分析, 得到表 4。重度污染主要表现为零星分布。从北到南, 白云区的牛场, 乌当区的水田、朱昌、金华, 贵阳市区, 花溪区的久安、石板哨、马岭和高坡南部土壤综合污染指数大于 3, 属于重度污染区。

表 4 贵阳市土壤重金属污染评价结果

Table 4. The evaluation results of soil heavy metal contamination in Guiyang

污染等级	面积/ km <sup>2</sup>	面积百分比/ %
无污染	1 951.2	81.10
轻度污染	346.5	14.40
中度污染	29.7	1.23
重度污染	78.6	3.27

应用 PAMAP GIS Analyzer Overlay 模块的 Polygon on Polygon 程序, 将贵阳市区土壤重金属污染分布图与土地利用现状图进行叠加, 得到各种土地利用类型的污染程度状况(表 5)。

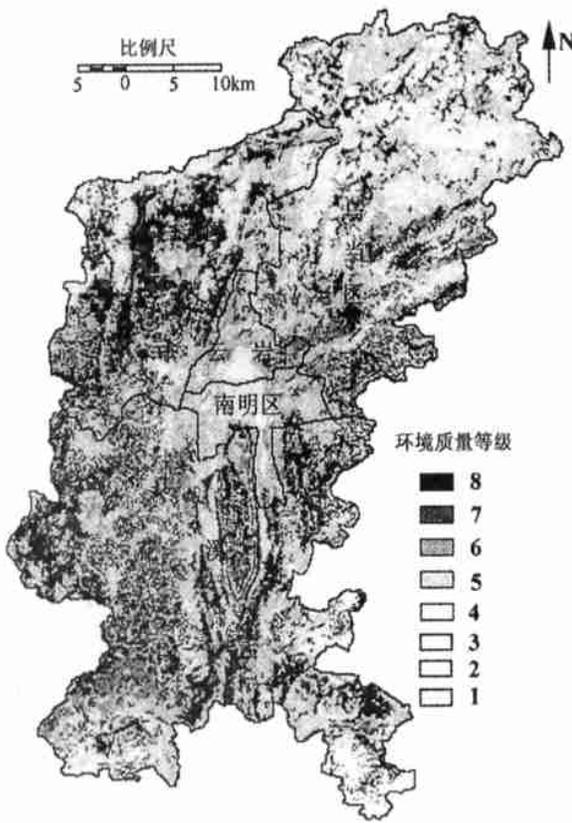


图 3 贵阳市区农业土地资源环境质量 I 图  
Fig. 3. The environment quality of agricultural land resources in Guiyang City.

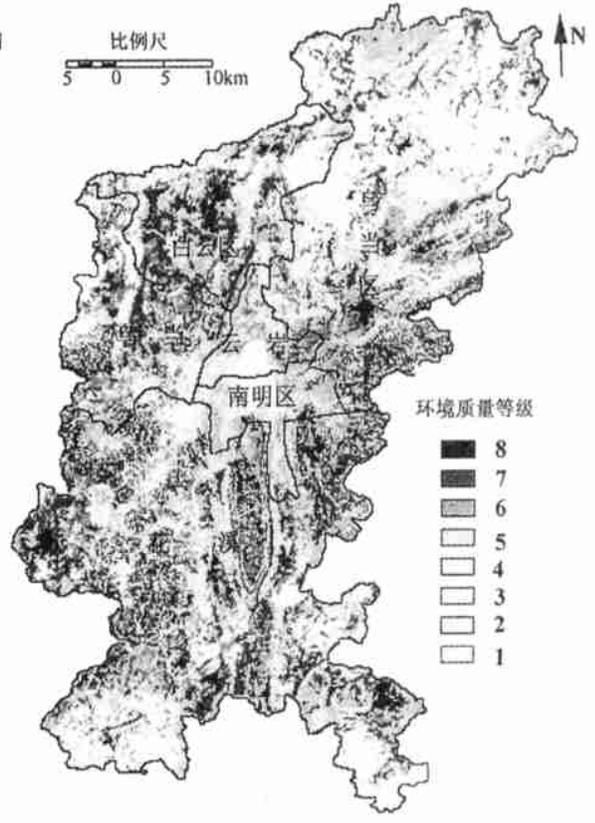


图 4 贵阳市区农业土地资源环境质量 II 图  
Fig. 4. The environmental quality of agricultural land resources in Guiyang proper.

表 5 贵阳市各种土地利用类型污染程度状况<sup>①</sup>

Table 5. The heavy metal contaminated status of different land-use types in Guiyang

污染等级	旱地		水田		林地		草地	
	面积/km <sup>2</sup>	面积百分比/%						
无污染	197.88	80.40	407.90	80.60	899.2	82.20	318.55	84.70
轻度污染	36.04	14.60	82.75	16.40	139.45	12.80	52.86	14.10
中度污染	1.71	0.70	8.50	1.70	7.53	0.70	3.35	0.90
重度污染	10.55	4.30	6.56	1.30	47.39	4.30	1.25	0.30

从表中可以看出, 中度污染和重度污染比例最大的土地利用类型是旱地和林地, 占 5%; 其次是水田占 3%; 草地最少, 占 1.2%。另外, 旱地和水田共有 17.11 km<sup>2</sup> 的重金属重度污染区, 这部分耕地已不适宜种植农作物。

### 5.2 土壤重金属污染对农业土地资源环境质量指数的影响

分别对图 3, 4 进行统计, 得出 8 级不同类型的环境质量区(表 6), 所有出现的各种环境质量区中, 无论有无土壤重金属污染, 都以第四、五级环境区(环境评价综合指数为 3~5)占有的面积比例最大, 全区域半数的地区均属于此种区域。由于土地重金属污染的影响, 土地质量有明显变差的趋势, 土地质量较好(环境评价综合指数为 5

① 土壤污染指数是根据土壤中的重金属来计算的, 用这个指标来衡量“建设用地”、“水域”和“未利用地”的污染状况是不合理的, 所以表 4.5 中的统计值均扣除了三类土地覆盖的面积。

~8)的环境区面积减少了9.1%，而土地质量相对较差(环境评价综合指数为0~3)的环境区面积增加了13.6%。

为了更好地反映土地重金属污染对耕地的影响,应用 PAMAP GIS Analyzer Overlay 模块的 Polygon on Polygon 程序,将图 3,4 分别与土地利

用现状图进行叠加分析,得到下面的分析结果(图 5,6)。由于重金属污染的影响,旱地中最好的第 8 级土地面积减少了 35.46 km<sup>2</sup>,占旱地总面积的 14.4%,同时,水田中土地质量指数大于 7 的面积减少了 163.4 km<sup>2</sup>,占水田总面积的 32.3%。

表 6 贵阳市农业土地资源环境质量评价结果

Table 6. The environmental quality evaluation results of agricultural land resources in Guiyang

环境等级	环境评价指数	面积 1/km <sup>2</sup>	面积百分数/%	面积 2/km <sup>2</sup>	面积百分数/%
1	0~1			45.45	2
2	1~2			52.43	2.3
3	2~3			210.09	9.3
4	3~4	391.45	17.3	822.22	36.5
5	4~5	981.55	43.4	442.57	19.7
6	5~6	164.06	7.3	250.95	11.1
7	6~7	431.45	19.1	392.26	17.4
8	7~8	291.35	12.9	38.91	1.7

注:面积 1 表示不考虑土壤重金属污染时的统计面积;面积 2 表示有土壤重金属污染时的统计面积。

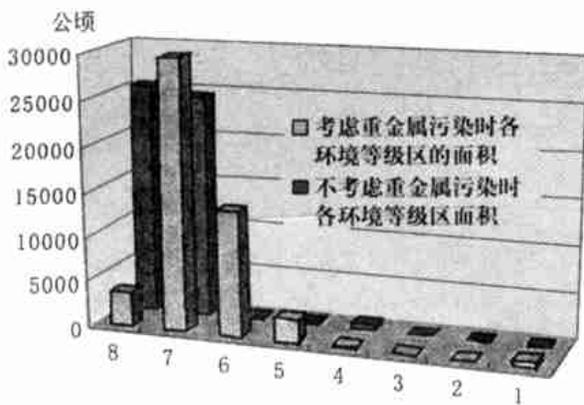


图 5 重金属污染对各级水田面积的影响

Fig. 5. The area of different-grade paddy fields impacted by heavy metal contamination.

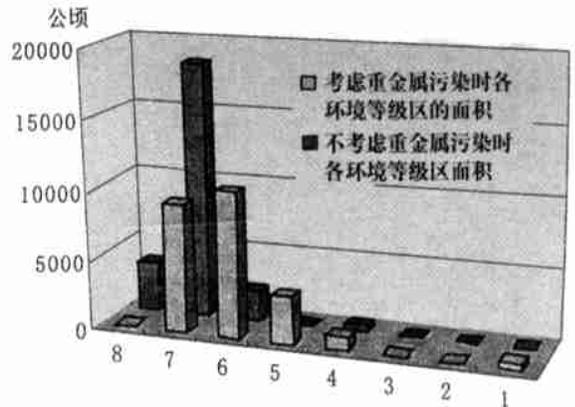


图 6 重金属污染对各级旱地面积的影响

Fig. 6. The area of different grade dry land impacted by heavy metal contamination.

## 6 结 论

(1) 根据对 210 和 321 国道沿线的实地调查和验证,本研究所获得的贵阳市农业土地资源评价结果基本符合贵阳市区的实际情况,评价结果有效。

(2) 贵阳市区农业土地资源面积中适合人类生存的五、六、七、八级土地占 49.9%,约一半;土地质量较差的一、二、三级土地占 13.6%,说明贵阳五区农业土地资源中大部分土地资源质量较好。

(3) 贵阳市区土壤中中度污染和重度污染比例最大的土地利用类型是旱地和林地,占 5%;其次是水田占 3%;草地最少,占 1.2%;另外,旱地和水田共有 17.11 km<sup>2</sup> 的重金属污染区,这部分耕地已不适宜种植农作物。

(4) 贵阳市区岩溶地貌面积大,耕地面积有限,而适合人类耕作的高质量耕地却由于土壤污染减少了近 1/3,因此,贵阳市区进行土壤重金属污染的防治,对保护耕地具有重要的意义。

致谢: 本文承蒙北京卫星信息工程所汪红强先生提供部分资料,在此表示衷心感谢。

## 参 考 文 献

- [1] 朱荫澍, 周启星. 土壤污染与我国农业环境保护的现状、理论和展望[J]. 土壤通报, 1999, 30(3): 132~136.
- [2] 《贵阳市综合农业区划》编写组. 贵阳市综合农业区划[R]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988.
- [3] 冷疏影, 李秀彬. 土地质量指标体系国际研究的新进展[J]. 地理学报, 1999, 54(2): 177~185.
- [4] 阎伍玖. 区域农业生态环境质量综合评价方法与模型研究[J]. 环境科学研究, 1999, 12(3): 49~52.
- [5] 高志强, 刘纪远, 庄大方. 中国土地资源生态环境质量状况分析[J]. 自然资源学报, 1999, 14(1): 93~96.
- [6] Hallett S H, Jones R J A and Keay C A. Environmental Information Systems Developments for Planning Sustainable Land Use [J]. *INT. J. Geographical Information Systems*, 1996, 10(1): 47~64.
- [7] Gessler P E, Moore I D, McKenzie N J and Ryan P J. Soil-landscape Modelling and Spatial Prediction of Soil Attributes [J]. *INT. J. Geographical Information Systems*, 1995, 9(4): 421~432.
- [8] 张萍, 刘高焕, 邢立新. 农业土地资源动态评价模型研究[J]. 国土资源遥感, 2000, (1), 51~56.
- [9] Anthony Gar-on Yeh and Xia Li. Sustainable Land Development Model for Rapid Growth areas Using GIS [J]. *INT. J. Geographical Information Systems*, 1998, 12(2): 169~189.
- [10] 郦桂芬. 环境质量评价[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989.
- [11] 马建华, 张丽, 李亚丽. 开封市城区土壤性质与污染的初步研究[J]. 土壤通报, 1999, 30(2): 93~96.
- [12] Rogowski A S. Quantifying Soil Variability in GIS Application: I Estimates of Position [J]. *INT. J. Geographical Information Systems*, 1995, 9(1): 81~94.
- [13] Rogowski A S. Quantifying Soil Variability in GIS Application: II Spatial Distribution of Soil Properties [J]. *INT. J. Geographical Information Systems*, 1996, 10(4): 445~475.
- [14] 张增祥, 等. 西藏自治区中部地区资源环境遥感监测与综合评价研究[M]. 北京: 宇航出版社, 1998.

## AN AGRICULTURAL LAND RESOURCE EVALUATION STUDY BASED ON GIS —— AS EXEMPLIFIED BY GUIYANG CITY

Liu Jianjun Li Chunlai Zou Yongliao

(*Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550002*)

**Abstract:** On the basis of the pressure-state-response model, heavy metal contamination of soil was selected as a pressure index of evaluation, and the agricultural land resources of Guiyang City were evaluated by means of GIS. The conclusions show that most of the agricultural land resources are of good quality. However, the dry land and paddy field covering an area of 17.11 km<sup>2</sup> are contaminated seriously heavy metals, which are not fit for growing crops. At the same time, the high-quality plowland, which is suitable for cultivation, has decreased by about 1/3 owing to soil heavy metal contamination. These show that it is very important to prevent and hardness heavy metal contamination of Guiyang City.

**Key words:** GIS; agricultural land resource; evaluation; soil heavy metal contamination