

土地质量地球化学评估方法研究

——以慈溪市为例*

刘军保, 黄春雷, 岑 静, 张志芳

(浙江省地质调查院, 杭州 311203)

摘要:以地球化学方法对慈溪市土地质量进行评估,通过层次分析法、因子分析法和专家经验法三种评估方法的对比研究,认为层次分析法、因子分析法比较适合一般土地质量评估,而专家经验法更适合污染土地质量地球化学评估。本文探索了适合土地质量评估的优选方案,为土地质量生态管理和土地合理规划、利用提供依据。

关键词:慈溪市; 土地质量; 地球化学评估; 层次分析法; 因子分析法; 专家打分法

中图分类号:P59

文献标识码:A

土地是指地球陆地表面和近地面层包括气候、土壤、水文、植被以及过去和现在人类活动影响在内的自然历史综合体^[1]。土地质量地球化学评估是依据土地中有益营养元素、有毒有害元素(包含有机污染物)等指标的含量水平,而进行的对土地功能影响程度所做的土地质量评价和级别划分。评估以土壤地球化学指标为主要依据,对土地质量、价值和风险等进行评估,为已开展的“浙江省基本农田质量调查试点”探索合理的评估方法,也为土地质量生态管理和合理利用规划提供依据。

慈溪市作为2002年至2005年开展的“浙江省农业地质环境调查”的示范区项目,进行了慈溪全境1/5万精度的农业地质环境调查,积累了丰富的资料^[2]。其中表层土壤地球化学调查1 100 km²,完成1件/km²密度采样993件样品和5万个分析测试数据(54项)。评价方案按照划分评估单元-筛选评估指标-建立评估体系-隶属模型建立和计算-综合评价和分级等步骤进行,关键技术是单元的划分、评价指标的筛选和指标的权重赋值。

1 评估单元

评价单元:目前有关评价单元的建立方法有两种,其一就是土壤类型(或地貌类型、或土地利用或自然田斑)+行政界线形成的图斑(简称图斑法),该方法在区域土地规划分等中和区域评价中应用较多。另外就是中国地质大学扬忠芳教授提出的“评价单元就是调查采样单

* 收稿日期:2009-08-17

基金项目:浙江省国土资源厅-浙江省基本农田质量试点项目

第一作者简介:刘军保(1966~),男,高级工程师,从事区域地球化学调查研究工作。

元”法(简称格子法),应用在土地质量地球化学评估中。两种方法各有优点和不足,广义的图斑法对区域掌握和控制土地质量宏观性较好,但不够精确和精细;格子法比较精细即时性好,但宏观性差且应用性不强。

应用单元:针对以上情况,我们就评价成果的应用性问题提出“应用单元”,但应用单元的建立目前还在积极探索中。慈溪市土地质量地球化学评估方法研究单元按应用单元进行。单元划分主要依据:

- (1) 地形地貌:按丘陵-河网平原-滨海平原三分考虑;
- (2) 土壤类型:按土壤类型亚类划分红壤-水稻土-潮土-盐土;
- (3) 行政权属:以乡镇(街道)为单位;
- (4) 主要围垦线:慈溪历史上有围垦记录 10 个,但对土地利用有显著影响的主要有 2 个,一塘线和七塘线,依次为单元划分的重要参照线。
- (5) 主要的道路、沟渠:主要考虑对土地利用类型有影响的道路、主干河流,本次主要以 329 国道线为划分依据。

依上述原则共划分单元 48 个(图 1)。

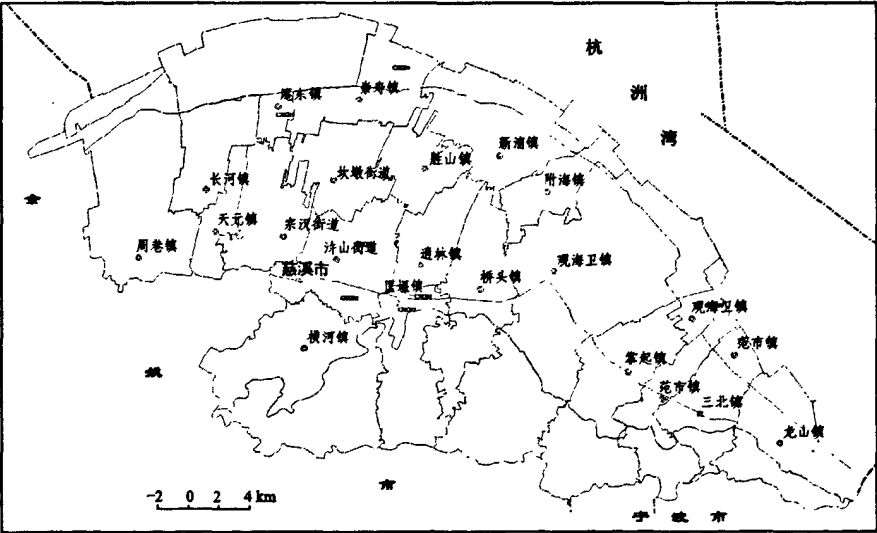


图 1 慈溪市土地质量评估单元图

Fig. 1 Plan of land quality assessment units of Cixi City

2 指标的筛选

2.1 指标筛选原则

(1) 主导性原则 选择的评价指标应是最能反映和揭示土地质量特征的指标,也是影响土地质量最敏感的因子。在影响土地质量的众多因素中选取主导作用的因子参与评价,以增加评价的简洁性和科学性。

(2) 独立性原则 尽量反映土地全部属性,避免重复和有因果关系的因子同时参评。

(3) 稳定性原则 选取的指标在一定时间范围和区域内具有稳定的性质,指标数据重现性好,指标不会因时间、测试单位不同而出现不同结果,数据可为大多数客户接受。

(4) 系统性原则 土地是自然和人类耕作共同影响下的系统,综合评价选取指标应包

括土地自然指标和影响指标,另外还可选取其他可量化指标以体现评价的系统性。

(5) 区域性原则 选取区域范围内重要的、突出的和具有特征性的指标。

(6) 生产性原则 指标应选取那些影响土壤生产性能的主要指标。

(7) 空间变异性原则 必须是在空间上有明显变化,存在着突变阈值的指标。

2.2 筛选指标和依据

根据上述原则,再根据慈溪地方实际情况,初步选取:有机质、S、pH、有效 Zn、有效 Mo、有效 B、有效 Cu 和 Cd、Hg、Pb、DDT、Se 及含盐量十三项指标。

其中根据慈溪市土壤环境质量现状评价结果显示^[3],Ⅲ级、超Ⅲ级土壤主要出现在天元、宗汉、鸣鹤、匡堰东及横河东南等地以及鸣鹤一带。影响土地环境质量的因素主要为 Hg、Cd、Pb,个别地区有 DDT^[3]。依据主导性原则,选择该四项指标。

慈溪地处滨海平原区,潮土和盐土所占面积大于50%,土壤中的含盐量已经成为影响土地质量的主要因素,根据生产性原则,选择含盐量。

另外,南部丘陵区土壤 pH 值呈现酸性,至七塘至十塘滨海盐土区,土壤呈强碱性,pH 值 3.96~8.80 之间变化;土壤有机质处于中等-缺乏之间,含量在 0.18%~8.35% 之间变化;铜有效态平均含量为 2.82 mg/kg,属正常-丰富级水平;有效锌含量在 0.34~110.4 mg/kg 之间,平均含量为 1.51 mg/kg,区域变异性较大,水稻土和红壤中处于正常-极丰富的水平,滨海盐土、北部潮土处于缺乏状态;有效铝平均含量为 0.08 mg/kg,含量区间为 0.04~3.09 mg/kg,水稻土及南部丘陵区属铝含量丰富——极丰富区,东部潮土及盐土区主要为正常区;硼有效态平均含量为 0.57 mg/kg,含量区间为 0.10~2.13 mg/kg。依据空间变异性原则、生产性原则和系统性原则,选择上述指标。

由于全氮属中等-丰富水平,铁有效态平均值为 99.36 mg/kg,含量丰富;锰有效态平均含量为 134.24 mg/kg,属丰富级含量水平;全 K、P 无分级标准,暂不列入评价指标^[4]。

3 隶属函数计算

3.1 隶属函数模型

隶属函数模型共有戒上型、戒下型和峰值型三种^[1](图 2)。

OrgC、S、有效 Zn、有效 Cu、有效 B、有效 Mo 等肥力指标采用戒上型。由于研究区硒元素较为缺乏,因此也采用戒上型模型。

镉、汞、铅、DDT 采用戒下型,含盐量考虑到本地区靠近海域,含盐量普遍较高,已普遍构成影响慈溪土地质量的重要因素,采用戒下型模型。pH 采用峰值模型。

3.2 隶属函数计算

应用研究区 L、U、O₁、O₂ 阈值确定采用背景值法^[1]。对于各评价指标统计检验是否服从正态分布,不服从正态分布或对数正态分布的数据,进行平均值±3 倍离差剔除异常数据,直至服从正态分布或对数正态分布。以累积频率值 20%,40%,60%,80% 的样本值即为 L、O₁、O₂ 和 U 值(表 1)。

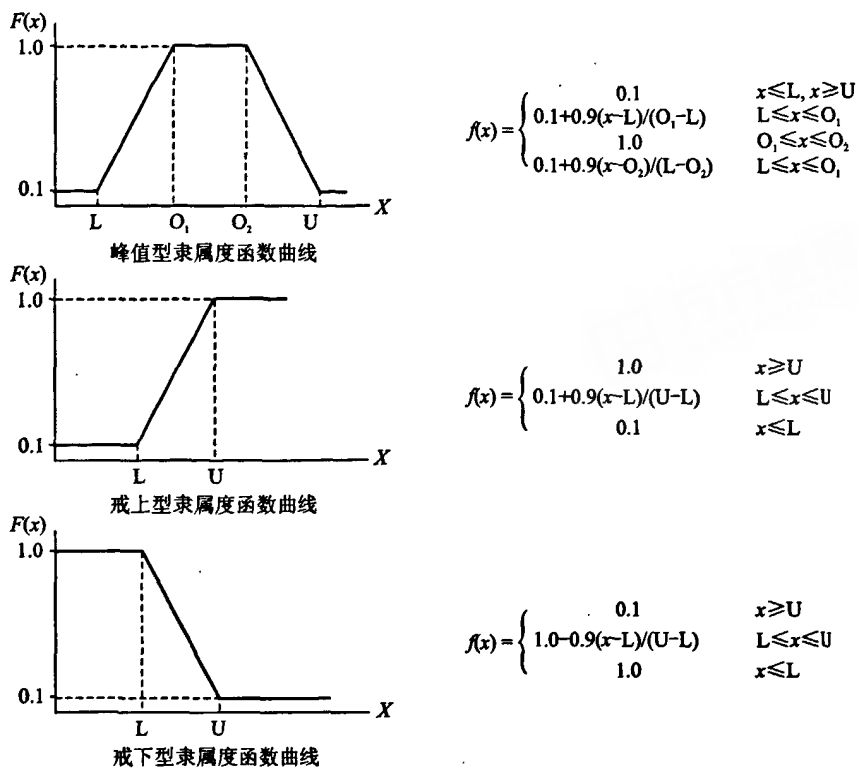


图 2 隶属函数模型图

Fig. 2 Membership function models

表 1 土地质量评估参评指标隶属函数模型值

Table 1 Membership function model values of participating indexes for land quality assessment

指标	OrgC	S	有效 Zn	有效 Cu	有效 B	有效 Mo	Cd	Hg	Pb	pH	含盐量	Se	DDT
L	0.69	201	1.61	2.46	0.49	47.28	125.8	64.3	23.4	6.43	221.8	0.16	22.5
U	1.29	352	7.47	6.60	0.65	163.81	177.8	209.8	37.2	8.39	314	0.35	0
O ₁										7.58			
O ₂										8.17			

单位:OrgC%;DDT、Cd、Hg μg/kg;其他mg/kg。

4 评价方法研究

土地质量评价的方法较多,评价模型有经验评分法(专家打分法)、回归分析法、层次分析法、主因子分析法和模糊数学法等。尝试用经验评分法,层次分析法和因子分析法三种方法对慈溪市土地质量进行对比评价研究,探索适合慈溪市土地质量评价和浙江省基本农田质量评价的比较优秀合适的评价模型和方法。

4.1 层次分析法评估

层次分析法(AHP)是将系统因素按支配关系分组以形成有序的递阶层次结构,通过两两比较判断的方式确定每一层次中因素的相对重要性,然后在递阶层次结构内进行合成以得到决策因素相对于目标的重要性的总顺序,从而为决策提供确定性的判据。是一种定性与

定量分析相结合的多因素决策分析方法,其步骤为:建立问题的递阶层次结构-构造两两比较判断矩阵-由判断矩阵计算被比较元素单层次权重-计算各层次元素的组合权重。

在层次比较和组合权重中我们根据参评指标在评估区的含量分布状况及空间变异度,结合不同元素对农作物的重要性程度,根据多年经验再结合有关专家意见,按照层次分析法的定义,对同层次的指标建立两两比较矩阵及求得相对权重如下,见表 2 至表 6。

表 2 肥力微量元素比较矩阵

Table 2 Comparison matrix of fertility trace elements

	有效 Zn	有效 Cu	有效 B	有效 Mo	权重
有效 Zn	1	1	1/3	1/2	0.1444
有效 Cu	1	1	1/3	1/2	0.1444
有效 B	3	3	1	1	0.3915
有效 Mo	2	2	1	1	0.3197

表 3 肥力指标比较矩阵

Table 3 Comparison matrix of fertility indexes

	大量元素(OrgC)	中量元素(S)	微量元素	权重
大量元素(OrgC)	1	4	2	0.5714
中量元素(S)	1/4	1	1	0.1429
微量元素	1/2	1	1	0.2857

表 4 有害元素比较矩阵

Table 4 Comparison matrix of harmful elements

	Cd	Pb	Hg	权重
Cd	1	1/2	2	0.2970
Pb	2	1	3	0.5396
Hg	1/2	3	1	0.1634

表 5 环境指标比较矩阵

Table 5 Comparison matrix of environmental indexes

	pH	有害元素	含盐量	有机污染物	权重
pH	1	3	1	5	0.3937
有害元素	1/3	1	1/3	2	0.1374
含盐量	1	3	1	5	0.3937
有机污染物	1/5	1/2	1/5	1	0.0752

表 6 健康指标比较矩阵

Table 6 Comparison matrix of environmental health indexes

	健康	Se	权重
健康	1	4	0.8000
Se	1/4	1	0.2000

依据前述指标筛选、隶属函数值计算模型和权重阈值结果,采用加法模型,对各评估指标的实测值进行权重和隶属度计算,获得土壤肥力和土壤环境地球化学综合指数。

$$P = \sum f_i \times C_i (i = 1, 2, 3, 4, \dots, n)$$

式中: P 为综合指数; f_i 为第 i 个评估指标的隶属函数值; C_i 为第 i 个评估指标的权重,评估指标为表征土地肥力和土地环境健康的各类指标。

依据上述公式计算各综合参数计算结果,并对其进行等级划分,一般分为 3 级。分级利

用 SPSS 软件进行累计频率统计,按 10%、50%划分等级。

每级对应的综合参数值见表 7。

表 7 土地肥力分级和土地环境分级与综合参数对应表

Table 7 Soil fertility classification and land environment grading corresponding to synthesis parameters

综合参数(P 肥综或 P 环综)	1~0.59	0.59~0.23	<0.23
土地肥力分级	丰富(一级)	适量(二级)	缺乏(三级)
土地环境分级	清洁(一级)	正常(二级)	污染(三级)

依据土地肥力质量等级和土地环境质量等级划分结果,采用表 8 所示的分等方案,对研究区进行土地质量地球化学分级。

表 8 土地质量地球化学分级表

Table 8 Soil quality geochemical classification

环境质量分级	肥力质量分级		
	丰富	适量	缺乏
清洁	1 级(优质)	2 级(优良)	3 级(良好)
正常	2 级(优良)	2 级(优良)	3 级(良好)
污染	4 级(中等)	4 级(中等)	5 级(差等)

从图 3 中可以看出,慈溪市土地质量从南往北依次降低,质量最好的地区为南部的山区。而中西部地区,由于受到 DDT 等有害物质的影响,质量下降,沿海滩涂地区的质量最低,估计是由于含盐量及 pH 的影响所造成的结果。但是总体来说,慈溪市的土地质量较好,第五级地没有,一级地占了全区的 41.35%,二级地占 34.58%,超过全区总面积的 75%以上。

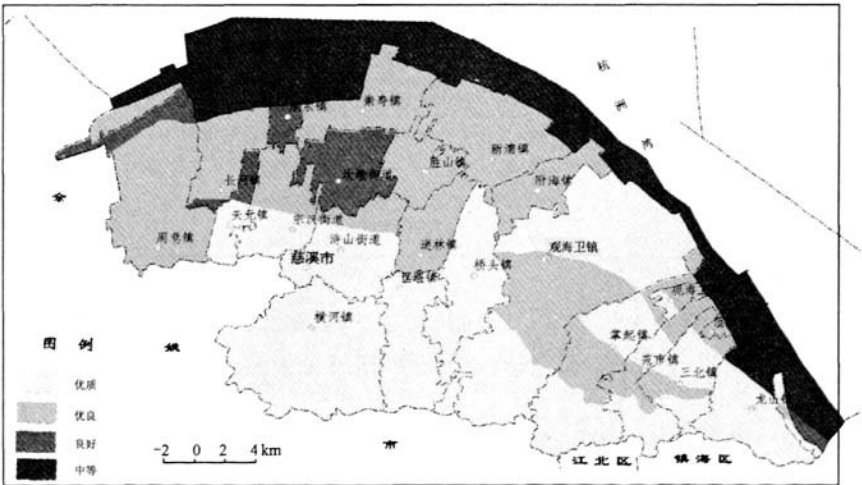


图 3 慈溪市土地质量地球化学评估图(层次分析法)

Fig. 3 Soil quality geochemical assessment plan(AHP) of Cixi City

4.2 专家经验法

经验评分法是根据调查资料,采用相关专家、技术人员的意见对各因素或指标给出的评分确定权重。指标体系的构建:肥力指标层中,必需大量元素主导着土壤的肥力丰缺状况,其次为必须的微量元素,比例越小,缺乏越严重,权重越大。在环境健康指标层中,污染越严重,

权重越大,反之则越小。各指标层的权重之和为1。

本次选取的5名专家在充分研究评价区实际情况基础上,对选择的指标进行打分,再按各专家打分平均值计算权重,结果如表9。

表9 专家评分法平均权重值
Table 9 Expert scoring average weights

指标	肥力指标						环境健康指标				
	环境指标			健康指标							
	大量元素	中量元素	微量元素			有害元素	含盐量	pH值	有机污染物	Se	
	Org. C	S	有效 Zn	有效 Cu	有效 B	有效 Mo	Cd	Pb	Hg	DDT	
	0.19		0.29	0.21	0.31	0.26	0.36	0.38			
权重	0.46	0.18		0.36			0.40		0.14	0.23	0.23
									0.78		0.22

采用加法模型,对评价单元各指标进行权重赋值和隶属度计算后,进行累加,分别得到肥力和环境健康评价指数。

$$P = \sum f_i \times C_i$$

式中 f_i 为第 i 个评价指标的隶属度函数值

C_i 为第 i 个评价指标的权重

分别做出肥力指标和环境健康指标综合指数 P 的累计频率曲线,分别按累积频率的10%、40%和50%将综合参数 P 肥和 P 环分成3段,土地肥力和土地环境健康等级相应分成3级,如表10所示。

表10 土地肥力和环境分级与综合参数对应表

Table 10 Soil fertility classification and land environment grading corresponding to synthesis parameters

累积频率	10%	40%	50%
综合参数 P 肥	1~0.53	0.23~0.53	<0.23
土地肥力分级	一级	二级	三级
综合参数 P 环	1~0.57	0.38~0.57	<0.38
土地环境健康分级	一级	二级	三级

依据土地质量等级和土地环境健康质量划分结果,采用《土地质量地球化学评估技术要求》中表3所示方案进行土地质量地球化学分等,结果见图4。

4.3 因子分析法

因子分析法^[5]是把众多复杂的因子归结为较少的几个综合因子的多元统计方法,可以看成是主成分分析的一种推广。具体就是将观测变量分类,将相关性较高即联系比较紧密的变量分在同一类中,而不同类的变量之间的相关性则较低。那么每一类的变量实际上就代表了一个本质因子,或一个基本结构。因子分析就是寻找这种类型的结构或模型。

土地质量地球化学评估中,一般能反映数据信息80%以上的因子,即可确定为主因子,主因子确定后,根据特征值的累积贡献率可确定其权重。

因子分析:利用SPSS软件将指标筛选后的各单元平均数据进行因子分析。采用主成分法(Principal Component Analysis)提取主要因子(本次分析要求累积贡献率大于90%),并

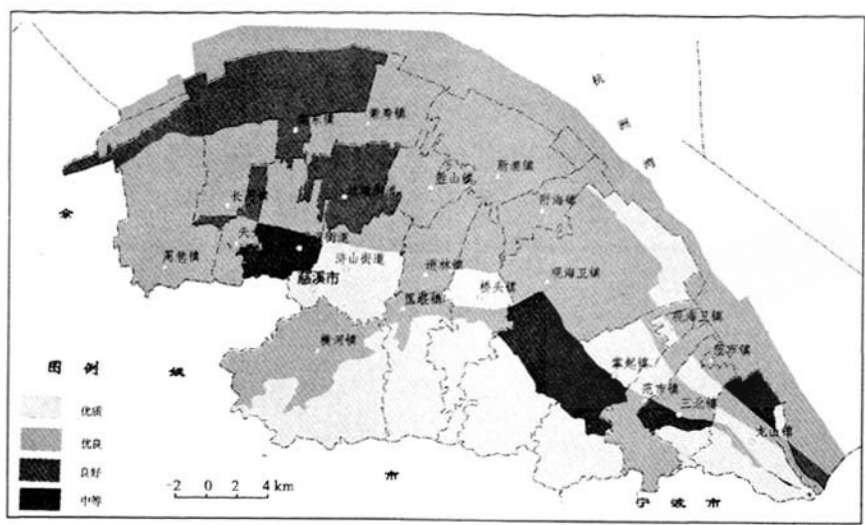


图 4 慈溪市土地质量地球化学评估(专家经验法)

Fig. 4 Land quality geochemical assessment of Cixi City(experience of law experts)

用最大方差旋转法求解负荷矩阵,按累计贡献率的 90%选择前 6 个主因子作为主因子,并记录每个因子的贡献率。

确定进入各主因子的元素(指标):选择载荷数大于 0.5 的指标进入各主因子,B、Mo、pH、Se 进入 F1,有机碳、S、Pb 进入 F2,Cd、Zn、Cu 进入 F3,含盐量进入 F4,DDT 进入 F5,Hg 进入 F6。

权重计算

$$ai=X\times Y,$$

式中 ai 为指标权重;

X 为校正后因子贡献率, $Xi = Fi/\Sigma Fi$, F 为贡献率;

Y 为校正后载荷对因子的贡献率, $Yi = Pi/\Sigma Pi$, P 为载荷数。

各指标权重见表 11。

表 11 各指标最终权重

Table 11 Final weights of various indexes

指标	C	S	有效 Zn	有效 Cu	有效 B	有效 Mo	Cd
权重	0. 078	0. 085	0. 034	0. 042	0. 115	0. 125	0. 030
指标	Pb	Hg	pH 值	含盐量	Se	DDT	
权重	0. 057	0. 049	0. 121	0. 083	0. 123	0. 059	

采用加法模型,对评价单元各指标进行权重赋值和隶属度计算后,进行累加,获得评价指数。

$$Xi = \Sigma ai \times fi$$

式中 fi 为第 i 个评价指标的隶属度函数值;

ai 为第 i 个评价指标的权重。

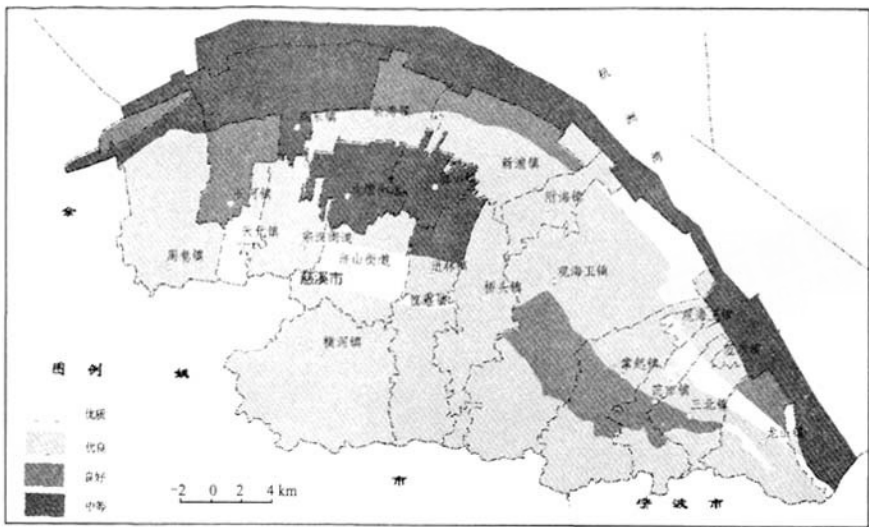


图5 慈溪市土地质量地球化学评估(因子分析法)
Fig. 5 Land quality geochemical assessment of Cixi City (factor analysis)

按照最终得分累积频率分布情况,将各评价单元分成4级。其中,分值 $X < 0.43$ 的为4级, $0.43 < X < 0.48$ 的为3级, $0.48 < X < 0.62$ 的为2级, $X > 0.62$ 的为一级。并按分级结果成图(图5),各类土地所占面积分别为:一级地占6.8%,二级地占55.2%,三级地占11.8%,四级地占26.2%。

4.4 评估结果对比讨论

采用的三种评价方法都是目前国内土地质量评价中普遍应用较广的评价方法。对比三种评价模型(表12)所反映的慈溪市土地质量基本良好,地球化学质量都以一、二级为主,未出现较差的五级土类。

表12 慈溪市土地质量评价不同方法比较表
Table 12 Comparison of different methods of land quality evaluation of Cixi City

评价方法	评价结果(面积%)				
	一级	二级	三级	四级	五级
层次分析法	41.35	34.58	5.44	18.62	/
专家经验法	25.66	57.11	10.66	6.52	/
因子分析	6.8	55.2	11.8	26.2	/

但对比表12和图3、4、5发现三种评价结果还存在许多差异,其中层次分析法和因子分析法在递阶层和两两比较法上由于主观原因和层次结构计算中突出了pH和含盐量的重要性,权重赋值由于因子的变异大等因素造成权重赋值偏重,没有体现出人们所关心的环境危害因素的重要性,使受工业污染明显的地区土地质量级上升,而使新围垦土地质量级下降,经与慈溪国土资源局有关专家讨论和实地验证,层次分析法和因子分析法的评价成果不太符合实际情况。经验打分评价方法客观易掌握,操作简便易行,评价结果能充分反映出调查区的实际情况,所反映的较差土地集中体现在工业发达和人口密集区,评价结果易被接受。

5 结语

慈溪市土地质量地球化学评估应用研究依据土地利用、土壤类型、行政区划和自然地理特征所划分的应用单元客观实际,可为基本农田质量评价提供基础评价依据。按规范原则筛选的指标类型和数量恰当,建立了指标函数模型。因此选用的三种评价方法(层次分析法、专家经验法和因子分析法)结果都体现出慈溪土地质量良好,但专家经验法评价结果更能体现工业污染对土地质量的影响,也符合当地实际情况。

参考文献

- [1] 土地质量地球化学评估技术要求(试行)[S]. 中国地质调查局,2007.
- [2] 慈溪市农业地质环境调查与绿色农产品基地评价[R]. 浙江省国土资源厅,2004.
- [3] 浙江省农业地质环境调查报告[R]. 浙江省国土资源厅,2005.
- [4] 刘英俊,等. 地球化学[M]. 北京:科学出版社,1976:78-102.
- [5] 扬忠芳,朱立,陈岳龙. 现代环境地球化学[M]. 北京:地质出版社(北京),1999:181-185.
- [6] 丁桑岚. 环境评价概论[M]. 北京:化学工业出版社,2001:98-101.

Study on land quality geochemical assessment methods:

—Taking Cixi City as an example

LIU Jun-bao, HUANG Chun-lei, CEN Jing, ZHANG Zhi-fang

(Zhejiang institute of geological survey, Hangzhou, 311203, China)

Abstract

The study on geochemical methods to assess the land quality of Cixi City by using of level analysis, factor analysis and expert scoring and the comparison of the three methods show that the level analysis and factor analysis are more suitable for the general assessment of land quality, while expert scoring is more suitable for the geochemical assessment of polluted land quality. The approach of preferable program suitable for land quality assessment may provide a scientific basis for ecological management of land quality and rational planning of land use.

Key words: Cixi City; land quality; geochemical assessment; AHP; factor analysis; expert scoring