

文章编号: 1008-2786-(2007)1-045-09

# 地貌差异条件下的县级尺度土壤环境综合评价方法 ——以江苏省仪征市为例

许端阳<sup>1</sup>, 姜小三<sup>1</sup>, 潘剑君<sup>1\*</sup>, 廖启林<sup>2</sup>, 吴新民<sup>2</sup>, 邹松梅<sup>2</sup>

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2 江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210018)

**摘 要:** 以地貌差异明显的江苏省仪征市为例, 根据地貌类型将其划分为平原区、岗地区和丘陵区三个子评价区, 在 GIS 支持下, 利用“压力—状态—响应”(PSR)模型确定各子评价区的评价因子, 运用层次分析法确定各子评价区的因子权重, 并运用分等定级法和模糊数学法进行评价因子的分值量化, 最后利用加权指数法和模型进行综合分值的计算并划分等级, 以及成果图的输出。结果表明, 仪征市土壤环境整体较好, 一等与二等土壤分别占总土壤面积的 67.6% 和 26.3%, 三等与四等土壤加起来占总土壤面积的 6%, 其中平原区与岗地区的土壤环境整体好于丘陵区。此方法可用于地貌具有差异的县级区域, 评价结果较为准确、可靠。

**关键词:** 地貌; 县级尺度; 土壤环境; 评价

**中图分类号:** X825

**文献标识码:** A

所谓土壤环境, 就是地球生态系统中能够生长植物, 具有一定环境容量及动态环境过程的地表疏松层连续体构成的环境。土壤环境与地球表层环境以及生物健康和人类健康均有重大关系<sup>[1,2]</sup>, 所以, 科学评价土壤环境具有重大的意义, 它不仅关系到我国的可持续发展战略, 而且为土地、环境等部门合理保护与利用土壤资源提供依据<sup>[3]</sup>。

土壤的形成具有明显的区域性特征, 而土壤环境的特点是通过土壤一系列的内在和外在的特性来表征的, 因而, 土壤环境也具有明显的区域性。由于土壤环境区域性的特征, 目前仅使用土壤物理化学特性为标准的评价体系和方法只能针对土壤个体进行评价, 而无法体现区域性土壤环境的特点; 所以, 考虑区域土壤环境特征的评价体系直接导致景观—地体特征作为评价的属性因子<sup>[4-6]</sup>。县级尺度的土壤环境已经具有很明显的区域性特征, 而目前国内

关于县级尺度的土壤环境评价方面的研究很少将地貌类型的差异对土壤环境的影响考虑进去, 而实际上在地貌类型复杂的县级区域, 地貌类型的差异对土壤环境的影响是不能忽视的; 同时, 区域性的差异必然导致在评价指标选取、分级赋值、权重确定等方面必须要体现不同区域的土壤环境特点, 科学合理的指标体系不但可以在不同区域间进行比较, 而且要正确反映区域土壤环境的特点<sup>[7]</sup>, 而目前传统方法在指标选取、权重确定上往往只采用一套指标权重体系, 很难反映区域土壤环境的特点。本文以地貌类型较为复杂的江苏省仪征市为例, 在 GIS 软件 ArcInfo 的支持下, 将研究区按地貌类型划分为平原区、岗地区和丘陵山区三大类型区, 利用“压力—状态—响应”(PSR)模型确定各个区域土壤环境评价因子进行分区评价, 力求在评价方法以及指标体系建立上有所创新。

收稿日期 (Received date): 2006-05-25; 改回日期 (Accepted): 2006-10-08.

基金项目 (Foundation item): 由“江苏省国土生态地球化学调查”项目资助 (水 [2003] 091-1)。[Supported by Eco-geochemical Survey of Soil Resources in Jiangsu Province]

作者简介 (Biography): 许端阳 (1983-), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 从事土壤资源与信息技术方面研究。[Xu Duanyang (1983-), male born in Luoyang of Henan Master student specialized on soil resources and information technology.]

\* 通讯作者: 潘剑君, 博士, 教授, 从事土壤资源调查与评价、遥感与 GIS 应用研究。Tel 025-84395329, E-mail jpan@nju.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

## 1 研究区概况

仪征市隶属于江苏省扬州市,属县级市,位于江苏省中西部,  $119^{\circ}02' \sim 119^{\circ}22'E$ ,  $32^{\circ}14' \sim 32^{\circ}36'N$  之间,地处长江三角洲的顶端,江淮丘陵的尾闾,跨越长江和淮河两大水系。由于地处北亚热带沿江季风气候区,光能资源丰富,热量条件优越,雨量较为充沛。该市地貌主要由丘陵、岗地、平原三大类型构成,整个地势由西北向东南低倾,其中丘陵占全县面积的 13% 左右,主要分布在县境西部边界地区,海拔 70 m 以上;岗地占全县面积的 58% 左右,主要分布在该市中北部,地势较低缓,而顶部相对平坦,根据组成物质的不同分为砂砾石岗地和黄土岗地;平原占全县面积的 27% 左右,主要分为河谷平原和沿江平原。全县土壤资源丰富,主要土壤类型有石质土(石质土亚类)、黄棕壤(黄棕壤土亚类)、潮土(灰潮土亚类)和水稻土(渗育型水稻土亚类、侧渗型水稻土亚类、潜育型水稻土亚类、潜育型水稻土亚类、淹育型水稻土亚类)<sup>[8]</sup>。

## 2 实验材料

土壤样品的采集采用公里网格法,即将研究区按公里网划分为若干单元,进行样品采集,同时利用 GPS 进行精确定位。土壤重金属含量的测定按照土壤环境质量标准(GB15618—1995)进行分析;土壤养分、土壤理化性状的分析按照相应的国家标准进行测定。

本文用美国环境系统研究所(ESRI)开发的 ArcInfo 8.2 作为支持软件,把采样点 GPS 的坐标数据导入 ArcInfo 并经过坐标和投影信息的变换,形成土壤采样点位图,同时建立采样点土壤属性库。收集研究区 1:5 万地形图、地貌类型图、土壤图、土地利用现状图,进行扫描矢量化,提取相应的空间信息,并建立了研究区的数字高程模型(DEM)。

## 3 土壤环境综合评价方法研究

利用栅格法将研究区域划分为一定数量的栅格,栅格的大小采用  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ ,每一个栅格作为最小的评价单元,每个栅格的属性值可以通过对已知采样点属性进行空间插值的方法得到,本文采用

的插值方法是逆距离加权法。同时,以地貌类型图为基础,将全县划分为三个子评价区域,即平原区、岗地区和丘陵区,利用 ArcInfo 的空间叠加功能,可以分别提取出平原区栅格图、岗地区栅格图和丘陵区栅格图<sup>[9]</sup>。根据评价模型,把每个子评价区域的评价因子的栅格属性值做向评价分值的转换,再通过对各个评价因子的分值进行加权求和得到综合评价分值。

### 3.1 土壤环境评价指标体系的建立和权重的确定

#### 3.1.1 应用“压力—状态—响应”(PSR)模型建立评价指标体系

“压力—状态—响应”模型能够衡量土壤环境所承受的压力、这种压力对土壤环境的影响、以及社会对这些变化的响应。

压力指标:描述人为活动对土壤环境造成的压力,如土壤的重金属污染状况,以及地貌条件,如坡度和坡向对土壤环境所造成的压力。本研究选取土壤重金属综合污染指数作为重金属污染状况,对土壤环境影响的压力指标,选取坡度、坡向、高程作为地貌条件对土壤环境影响的压力指标。在整个研究区范围内,重金属污染主要以汞、镍、砷和镉为主,集中分布研究区南部,以东南沿江地区和西南丘陵地区为主;研究区的地势整体上呈现西北高、东南低的状况,丘陵岗地主要分布在研究区的西北部。

状态指标:描述土壤环境的内在状态,如土壤的养分丰缺状况,土壤内在的各种物理、化学环境条件的好坏。本研究选取表征土壤养分状况的全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾以及表征土壤理化环境条件的土壤 pH 值、阳离子代换量(CEC)、质地作为土壤环境的状态指标。整个研究区的养分状况处于中等偏上的水平,东南平原地区整体好于西北丘陵岗地;研究区内土壤的理化环境条件整体较好,东南部土壤的 pH 值略高于西北部,而阳离子代换量则呈相反的趋势,西北部高与东南部。

响应指标:描述社会(从农民到国家决策者的各个层次)对造成土壤环境状态变化的压力的响应,既包括期望的正响应,如土地利用方式更趋于合理,也包括负面的响应如土地撂荒、土地利用方式的不合理等。同时,PSR 模型也帮助决策者(任何层次)对将来的响应做出的选择。本研究选择土地利用方式作为土壤环境变化的响应指标。

压力指标、状态指标和响应指标之间有时没有明确的界限,决策者在建立指标体系时应该注意,必

须把压力指标、状态指标和响应指标结合起来考虑, 在选取指标时主要遵循针对性、直接性、动态性、空间异质质性和可扩充性的原则<sup>[10 11]</sup>。

土壤环境作为一个环境体系, 不仅具有它的内部功能属性, 更有它的外部特征。因此, 在确定影响土壤环境的因素时, 不仅要考虑土壤内在的养分特征、理化条件对它的影响, 还应考虑重金属污染、地形以及人为因素如土地利用方式对它的影响, 这样才能更准确地反映土壤环境的本质。同时, 在指标

选取、指标分级、指标赋值、指标全重的确定上要充分体现区域性特点。本研究区地貌类型复杂, 应在指标选取、权重确定上体现不同地貌类型之间的差异。平原区一般不存在岩石露头, 所以土壤环境评价指标选定时就不需考虑地形对它的影响。岗地区和丘陵区则应考虑地形的影响, 但岗地顶部地势相对平坦, 坡向因子则不需要考虑, 而丘陵区则要考虑。根据研究区的实际情况, 采用 PSR 模型各子评价区的评价因子, 如表 1 所示。

表 1 子评价区的评价因子  
Table1 Factors of subregions for evaluation

评价因子	平原区	岗地区	丘陵区
压力指标	土壤重金属污染 (土壤全砷、全镉、全铬、全铜、全汞、全镍、全铅、全锌)	土壤重金属污染 (土壤全砷、全镉、全铬、全铜、全汞、全镍、全铅、全锌) 土壤立地条件 (坡度、高程)	土壤重金属污染 (土壤全砷、全镉、全铬、全铜、全汞、全镍、全铅、全锌) 土壤立地条件 (坡度、坡向、高程)
状态指标	土壤养分状况 (全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾、有机质) 土壤物理化学环境条件 (CEC、pH、质地)	土壤养分状况 (全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾、有机质) 土壤物理化学环境条件 (CEC、pH、质地)	土壤养分状况 (全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾、有机质) 土壤物理化学环境条件 (CEC、pH、质地)
响应指标	土地利用 (土地利用方式)	土地利用 (土地利用方式)	土地利用 (土地利用方式)

注: 括号中为影响各评价指标的评价因子

3. 1. 2 不同地貌类型区各个评价因子权重的确定

在本研究中, 利用层次分析法来确定评价因子的权重。层次分析法是将复杂问题的各个因素通过划分相互联系的有序层次使之条理化, 再根据同决策者的对话, 较客观的判断给每一层次各因素相对重要性的定量表示<sup>[12]</sup>。土壤环境评价层次结构可由三个层次构成, 即目标层: 土壤环境综合状况, 准则层: 土壤环境的压力—状态—响应的表示, 指标层: 具体的压力指标、状态指标和响应指标。通过构造各个判断矩阵, 计算特征根与特征向量, 并经层次总排序和一致性检验合格后, 就得到各个评价因子的权重。由于区域的差异, 相同评价因子在不同的地貌类型区中的重要性不同, 所以, 本文对三个子评价区的评价因子权重进行了分别确定, 结果如表 2。

3. 2 评价因子属性的分值化

本研究的评价因子根据其属性特点可分为离散型和域值型。根据评价因子属性的特点选择不同的量化方法进行量化。

3. 2. 1 离散型

具有这种类型属性的评价因子主要有: 土壤重

金属综合污染指数、土地利用方式、质地、坡向。它们的量化方法可采用分级描述评分的方法进行量化, 评分的标准参考《土壤环境质量标准》、《全国农业地力等级划分标准》及相关研究成果。

表 2 子评价区的评价因子权重  
Table 2 Factors' weight of subregions for evaluation

评价因子	权重		
	平原	岗地	丘陵
土壤重金属	0. 352 9	0. 260 9	0. 240 0
坡度		0. 173 9	0. 144 0
坡向			0. 096 0
全 N	0. 056 1	0. 034 6	0. 053 6
全 P	0. 039 2	0. 024 2	0. 037 5
全 K	0. 041 1	0. 025 3	0. 039 3
速效 P	0. 045 5	0. 028 0	0. 043 5
速效 K	0. 043 9	0. 027 0	0. 042 0
有机质	0. 056 5	0. 034 8	0. 054 1
CEC	0. 047 1	0. 043 5	0. 022 5
pH	0. 047 1	0. 043 5	0. 022 5
质地	0. 094 1	0. 087 0	0. 045 0
土地利用方式	0. 176 5	0. 217 4	0. 160 0

土壤重金属污染指数的计算采用内梅罗指数法。综合指数  $P$  的大小代表了土壤重金属污染程度的轻重

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

式中  $P$  为土壤污染的综合污染指数;  $C_i$  为土壤污染物  $i$  的实测量;  $S_i$  为污染物  $i$  的评价标准值。

$P$  值大小反映土壤污染状况。当  $P < 0.7$  时, 代表土壤处于安全水平; 当  $0.7 \leq P < 1$  时, 代表土壤处于警戒水平; 当  $1 \leq P < 2$  时, 代表土壤处于轻污染水平; 当  $2 \leq P < 3$  时, 代表土壤处于中污染水平; 当  $P > 3$  时, 代表土壤处于重污染水平<sup>[13-14]</sup>。

本研究所选取的土壤重金属污染物为: 砷、镉、铬、铜、汞、镍、铅和锌。评价标准采用 GB15618-1995 的二级标准 (表 3)。

表 3 部分评价因子的评价标准

Table 3 The criterion of some evaluated factors

指标	项目	1级	2级	3级	4级
污染指数 (P)	分级标准	安全 (< 0.7)	警戒 (0.7~1)	轻污染 (1~2)	中污染 (2~3)
	分值	100	80	60	40
土地利用方式	分级标准	水田, 菜地	旱地, 园地, 林地	牧草地	建设用地
	分值	100	80	60	40
质地	分级标准	壤质	粘壤质, 砂壤质	粘质, 砂质	粗骨
	分值	100	80	60	40
坡向	分级标准	向南	向东	向西	向北
	分值	100	80	60	40

### 3.2.2 域值型

具有这种类型属性的评价因子的属性值在一定区域范围内的影响成线性分布, 考虑到这种类型的评价因子多与土壤肥力有关, 如有机质、全氮、速效磷、CEC、pH 等, 而土壤肥力具有渐变性和模糊性, 所以用模糊数学的评价方法较为合适。通过确定各评价因子对所属等级的隶属程度即隶属度的大小, 来反映差异。由于隶属度为 0 到 1 之间的值, 所以为了与离散型数据的分值保持统一, 本文采用一个转换函数来进行转换。根据评价因子属性值的特点, 将隶属度函数分为两类: S 型和梯形函数。有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾、CEC、坡度采用 S 形函数, 如  $\mu(x)$ 。pH 值采用梯形函数, 如  $f(x)$

$$\mu(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq a \\ 0.9(x-b)/(a-b) + 0.1 & b < x < a \\ 0.9(x-c)/(b-c) + 0.1 & c < x < b \\ 0.1 & x < c \end{cases}$$

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x \geq a \\ 0.9(x-b)/(a-b) + 0.1 & b < x < a \\ 1.0 & c < x < b \\ 0.9(x-d)/(c-d) + 0.1 & d < x < c \\ 0.1 & x < d \end{cases}$$

式中  $a, b, c, d$  为隶属度函数分级的拐点, 具体数值参考《土壤养分分级标准》和相关研究文献。隶

属度向分值的转换采用下面的函数

$$c = \sum_{j=1}^m \delta_j^* c_j \quad \delta_j = \frac{b_j^k}{\sum_{j=1}^m b_j^k} \quad j=1, 2, \dots, m$$

式中  $k$  是选定的正实数,  $\delta_j$  实际上构成了一组权重,  $b_j$  是评价向量  $B$  中对应与第  $j$  级的值 (隶属度),  $c_j$  是对第  $j$  级所打的分值 (第一级: 100 分; 第二级: 80 分; 第三级: 60 分; 第四级: 40 分),  $c$  是最终得分<sup>[15-17]</sup>。

### 3.3 土壤环境综合评价

运用 GIS 的栅格数据叠加功能, 把象元大小相同的各评价因子栅格指数图划分等级, 并给每个等级一个分值, 这样在 ArcInfo 的桌面软件 ArcMap 的 Spatial Analyst 模块下的 Raster Calculator 中可以用加权指数求和模型进行运算, 其模型为

$$R = \sum_{i=1}^m W_i^* P_i$$

式中  $R$ : 综合指数;  $P_i$ : 第  $i$  个评价指标的分值;  $W_i$ : 第  $i$  个评价指标的权重值;  $m$ : 评价指标数。

用加权指数求和法对三个子评价区进行分别评价, 得到各个子评价区的综合指数分布图。利用 ArcInfo 的空间叠加分析功能三个子评价区的综合指数图进行合并, 就得到整个仪征市的整体的土壤环境综合评价指数图。根据研究区实际情况并结合专家意见, 采用等间距的方法将整个研究区划分等级。

4 应用实例

4.1 仪征市土壤环境综合评价流程的确定

本研究利用 ArcInfo 地理信息系统软件作为空间数据管理与分析的工具。在 ArcInfo 支持下, 将研究区的地貌类型矢量图进行栅格化, 并提取出平原、

岗地和丘陵三个子评价区域的栅格图; 利用 PSR 模型来确定各子评价区域土壤环境的评价因子, 运用层次分析法来确定各子评价区域因子的权重, 在计算各评价因子得分的基础上, 利用加权指数求和模型来求得综合指数并划分等级, 最后利用 ArcInfo 强大的制图功能制得综合评价结果图。评价流程图如图 1 所示。

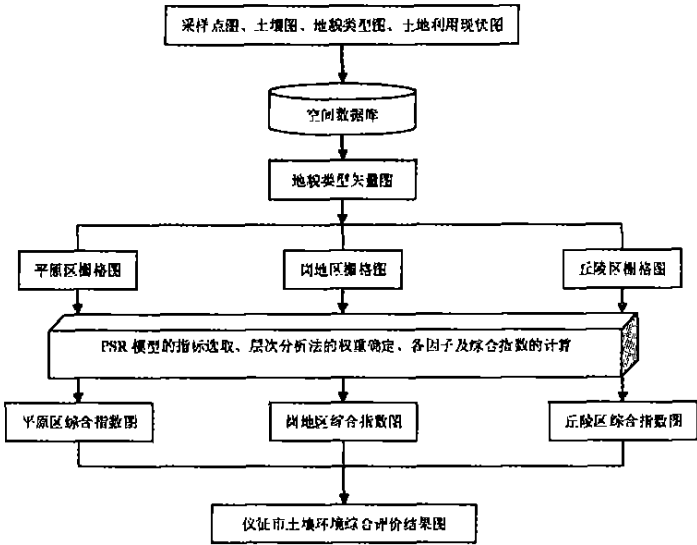


图 1 评价流程图

Fig 1 The flow chart of evaluation

4.2 评价结果分析

通过对仪征市各个子评价区土壤环境综合评价指数的计算, 将整个研究区的土壤环境划分为四级, 其统计结果如表 4 所示; 同时, 根据综合评价结果, 对不同土壤环境等级的土壤面积和不同地貌类型区不同的土壤环境等级结构进行统计分析, 如图 2 所示。

表 4 仪征市土壤环境评价结果

Table 2 Result of soil environment evaluation for Yizheng

等级	指数和范围	面积 (km <sup>2</sup> )	占总面积比重 (%)
1	90.0~ 97.0	573	67.6
2	83.0~ 90.0	223	26.3
3	76.0~ 83.0	34	4.02
4	69.0~ 76.0	18	2.13

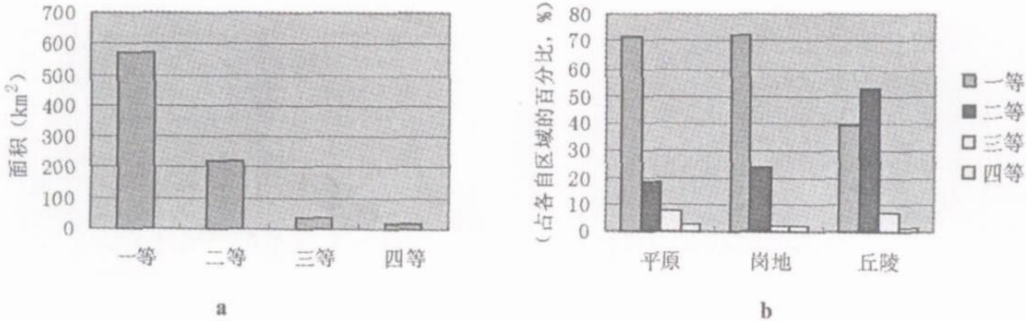


图 2 综合评价结果分析

Fig. 2 Analysis of the integrated evaluation's results

从表 4 和图 2 可见,仪征市土壤环境整体较好,从各类土壤在不同地貌类型区的分布状况看,平原与岗地地区均为一等 > 二等 > 三等 > 四等,而丘陵地区则为二等 > 一等 > 三等 > 四等。很明显,平原区与岗地区的土壤环境整体状况要好于丘陵区,平原区与岗地区土壤环境等级分布较为相似,但岗地区整体面积较大,土壤环境等级为四级的土壤分布的也较多;丘陵区的土壤环境等级主要以二等为主,整体状况稍差。在进行丘陵与岗地的评价时,由于考虑到地貌上存在与平原的明显差异,根据 PSR 模型,在指标的选取与权重的确定上充分考虑到山地土壤环境的特点,在选择与平原一样的重金属污染指标的同时,也充分考虑到地形的影响,选择了坡度、坡向、高程这些指标来表征山地地貌对土壤环境的影响。通过评价结果,很好地看出了丘陵与岗地区的土壤环境整体比平原区的差,特别是地势较高的丘陵地区,从四个土壤环境等级的土壤比例来看,丘陵区是以二等为主的,符合实际情况,通过调查与咨询有关专家,评价的结果较为合理。同时,利用

ArcInfo 强大的制图功能,得到各子评价区的土壤环境评价图与整个研究区的综合评价图(图 3)。

#### 4.3 与传统方法比较

传统的县级尺度区域的综合评价方法对地貌差异对土壤环境造成的影响的考虑明显不足,在指标选取、权重确定方面一般不体现出区域的差异性。通过把本研究方法所做出的综合评价图与分别只按平原区、岗地区和丘陵区的指标、权重这种传统的方法做出的整个市的综合评价图进行比较,就可明显看出差异:按平原区的指标与权重所做出的整个县的综合评价结果(如图 4b 所示),该县北部的低岗地区有许多等级为二等的小图斑,西部丘陵地区等级为二等的小图斑也明显增多,这与实际不相符,实际上这些增多的等级为二等的小图斑的等级应为一等,因为在丘陵、岗地这些山区,虽然地貌条件会对土壤环境造成压力,但是有些地方的山地土壤很好地得到了利用,土壤的理化性质都很好,符合一等土壤环境等级的标准,片面的采用平原区的指标体系来评价山区,是不能准确全面的反映实际情况的;按

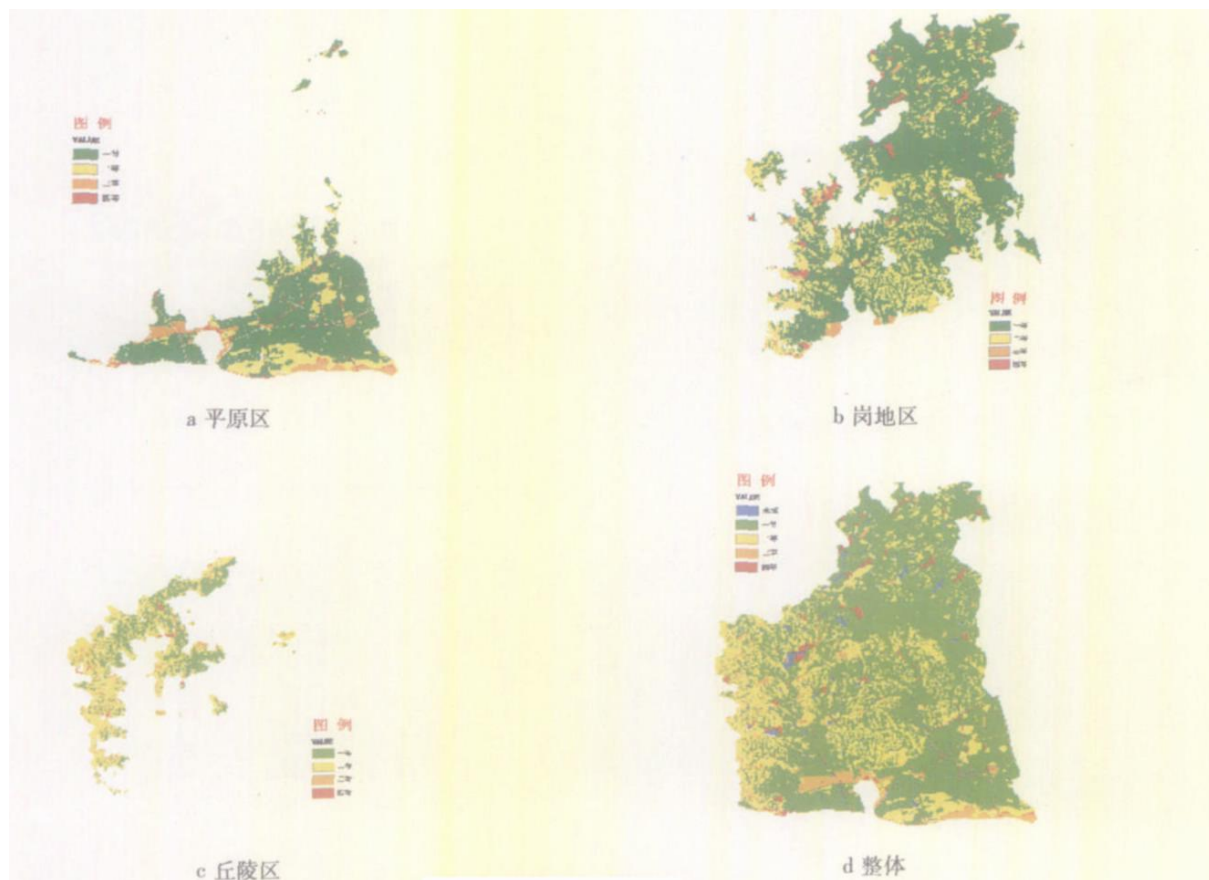


图 3 综合评价结果图

Fig. 3 Themaps of integrated evaluation

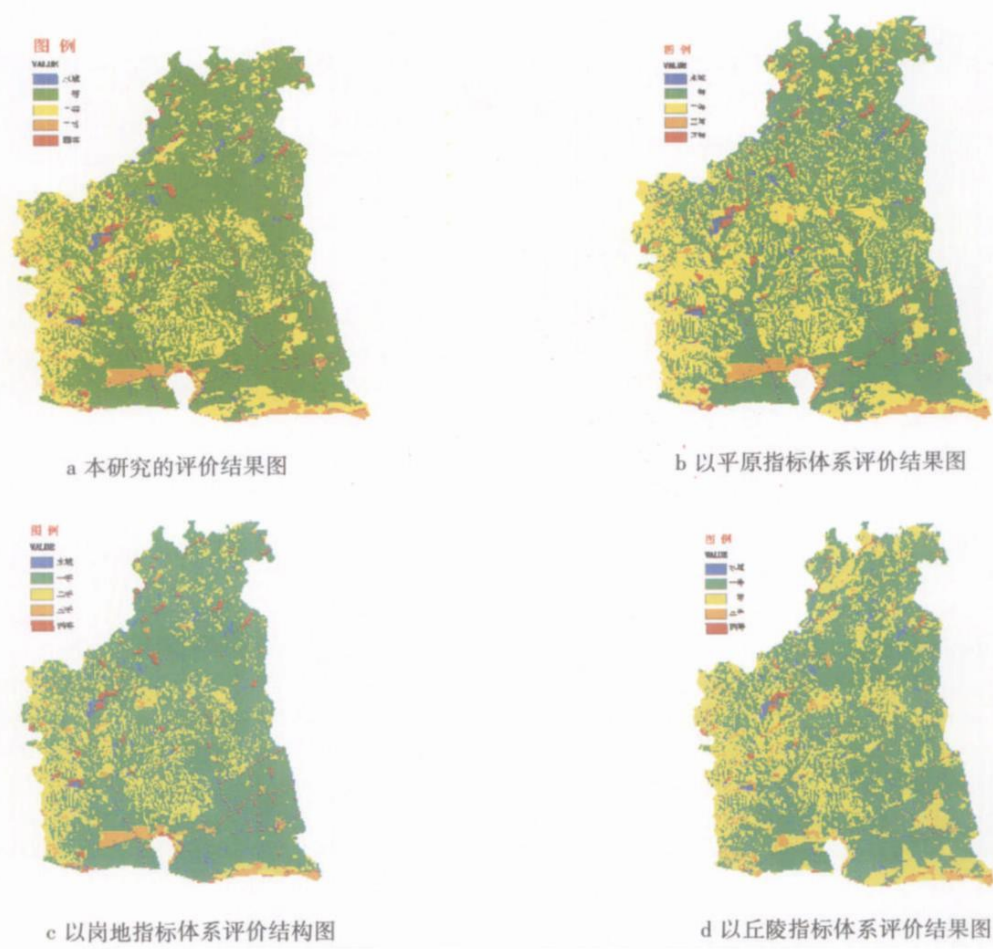


图 4 本研究评价结果图与传统方法评价结果图的比较

Fig. 4 The comparisons between maps of evaluation of the study in this article and the traditional methods

岗地区的指标与权重所做出的整个市的的综合评价结果 (如图 4c 所示), 该市东南部沿江平原区的二等与三等的土壤面积明显减少, 这是由于岗地的评价体系比平原的平原的评价体系多了一个坡度因子, 而坡度因子本身是个负指标, 使得平原区的土壤环境会被向好的方向夸大, 而实际上沿江是污染严重的地方, 这样显然不太合理; 按丘陵区的指标与权重所做出的整个市的的综合评价结果 (如图 4d 所示), 与只采用岗地的评价指标和权重所做出的结果有相似之处, 也与实际不太相符。所以, 在县级尺度下根据地貌类型的差异进行分区评价, 这样更好的体现了地貌类型对土壤环境的影响, 评价结果与实际情况基本相符。

### 5 几点体会

地貌差异条件下县级尺度土壤环境综合评价方

法很好的考虑到在县级尺度上土壤环境呈现的区域差异性问题, 通过根据不同的地貌类型划分出不同的子评价区域, 根据各子评价区域的不同特点选择适合其的指标权重体系, 合理的评价了整个区域的土壤环境状况。县级尺度作为中等尺度, 其土壤环境已经能表现出一定的空间异质性, 显然按照传统的以一套统一的指标权重体系来进行评价, 不能很好的表征整个县级区域的真实状况, 而按照本研究进行分区评价的方法思想则可以使这一问题得到解决, 所以在县级或着更大尺度上, 特别是在地貌差异较大的山区, 利用本文的研究方法可以很好地独立的确定山区的评价指标与指标权重, 而不受平原评价指标体系的影响, 因此, 此评价会得到更广泛的应用。但是, 分区评价同时也会带来在指标选择、权重确定、评价方法确定上的多元化, 也会造成评价结果之间的可比较性不稳定的问题, 如何更好协调他们之间的矛盾, 还需要进一步研究。

在 GIS的支持下, 利用其强大的空间分析功能进行各地貌区的划分, 并对其栅格化, 以  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$  的栅格做为评价单元, 保证了 1: 5 万地图的精度。GIS 强大的空间叠加功能以及图件制作功能在土壤环境评价上的应用使得土壤环境评价更方便, 准确, 并制作出精美的图片<sup>[18]</sup>。

PSR 模型在指标选取方面的应用可以很好的体现不同地貌类型区之间指标的差异, 克服了以往对整个研究区评价指标统一确定的不足, 具有很好的体现的区域性的特点。

土壤环境本身是一个很复杂的体系, 不同尺度下的土壤环境评价要求相差较大, 同时很难将影响土壤环境的因素——表达并确定最终评价结果, 地貌类型对土壤环境的影响如何更好的确定, 还需进一步的研究。

## 参考文献 (References)

- [1] Pan Genxing Soil Science of Earth Surface System [M]. Beijing Geological Publishing House, 2000. 1~ 62 [潘根兴. 地球表层系统土壤学 [M]. 北京: 地质出版社, 2000. 1~ 62]
- [2] P.W. Abrahams Soils: their implications to human health [J]. *The Science of Total Environment*, 2002, 291: 1~ 32
- [3] Zhu Yaming He Yan. Introduction to Environmental Geography Science [M]. Beijing Science Press, 2002. 1~ 45 [朱颜明, 何岩. 环境地理学导论 [M]. 北京: 科学出版社, 2002. 1~ 45]
- [4] Hangsheng Lin Dan Wheeler, Jay Bell *et al.* A assessment of soil spatial variability at multiple scales [J]. *Ecological Modelling*, 2005, 182: 271~ 290
- [5] Fu Bo-jié Chen Li-ding He Chan-sheng Integrating landscape ecological principles and land evaluation for sustainable land use [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 1999, 11 (2): 136~ 140
- [6] Zhang Ganlin, Du Guohua Gong Zitong Regionalized soil formation features and their application in basic soil classification and soil quality assessment [J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20 (2): 170~ 175 [张甘霖, 杜国华, 龚子同. 区域性土壤形成特征及其在土壤表层分类和土壤质量评价中的应用 [J]. 山地学报, 2002, 20 (2): 170~ 175]
- [7] Zhang Fengrong An Pingli Wang Junyan *et al.* Soil quality criteria and methodologies of farmland grading [J]. *Resources Science*, 2002, 24 (2): 71~ 75 [张凤荣, 安萍莉, 王军艳, 等. 耕地分等中的土壤质量指标体系与分等方法 [J]. 资源科学, 2002, 24 (2): 71~ 75]
- [8] The Office of Soil Survey, Jiangsu Province. Soil of Yizheng County, Jiangsu Province [R]. 1983. 1~ 187 [江苏省土壤普查办公室. 江苏省仪征县土壤志 [R]. 1983. 1~ 187]
- [9] Zhu Huiyi He Shujin, Zhang Ming GIS spatial analysis and its application in the research of land use change [J]. *Progress in Geography*, 2001, 20 (2): 104~ 109 [朱会义, 何书金, 张明. 土地利用变化研究中的 GIS 空间分析方法及其应用 [J]. 地理科学进展, 2001, 20 (2): 104~ 109]
- [10] Leng Yingshu, Li Xubin. New progresses of international study on land quality indicators [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54 (2): 177~ 184 [冷影疏, 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~ 184]
- [11] Guo Xudong Qiu Yang Lian Gang *et al.* Land quality indicators based on "Press-State-Response" framework at catchment for soil degradation by water erosion [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (9): 1884~ 1894 [郭旭东, 邱扬, 连刚, 等. 基于 PSR 框架, 针对土壤侵蚀小流域的土地质量评价 [J]. 生态学报, 2004, 24 (9): 1884~ 1894]
- [12] Liao Ying Xia Haili Application of AHP method and FUZZY complex evaluation method to optimizing analysis of bracing system for deep excavation [J]. *Industrial Construction*, 2004, 34 (9): 26~ 29 [廖英, 厦海力. 层次分析, 模糊综合评判法在深基坑支护方案优选中的应用 [J]. 工业建筑, 2004, 34 (9): 26~ 29]
- [13] Li Jing Xie Zhengniao Xu Jiaming *et al.* Evaluation on environmental quality of heavy metals in vegetable plantation soils in the suburb of Hangzhou [J]. *Ecology and Environment*, 2003, 12 (3): 277~ 279 [李静, 谢正苗, 徐建明, 等. 杭州市郊蔬菜地土壤重金属环境质量评价 [J]. 生态环境, 2003, 12 (3): 277~ 279]
- [14] Huang Guofeng Wu Qitang Rong Tianyu *et al.* Environmental quality assessment of the hamless vegetable production area [J]. *Research of the Environmental Science*, 1999, 12 (4): 53~ 56 [黄国峰, 吴启堂, 容天雨, 等. 公害蔬菜生产基地环境质量评价 [J]. 环境科学研究, 1999, 12 (4): 53~ 56]
- [15] Sun Ba Zhang Taolin, Zhao Qiguo Comprehensive evaluation of the soil fertility in the hilly and mountainous region of the southeastem China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1995, 32 (4): 362~ 369 [孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价 [J]. 土壤学报, 1995, 32 (4): 362~ 369]
- [16] Zhu Qing Zhou Shengkui, Sun Zhaojin *et al.* Application and comparison of two fuzzy mathematical models used in the evaluation of soil heavy metals' pollution [J]. *Environment Protection Science*, 2004, 30 (123): 53~ 57 [朱青, 周生路, 孙兆金, 等. 两种模糊数学模型在土壤重金属综合污染评价中的应用与比较 [J]. 环境保护科学, 2004, 30 (123): 53~ 57]
- [17] Liu Mengyun, An Shaoshan Chang Qingrui *et al.* Soil quality evaluation under different land use southern Ningxi mountain area [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12 (3): 35~ 37 [刘梦云, 安韶山, 常庆瑞, 等. 宁南山区不同土地利用方式土壤质量评价 [J]. 水土保持研究, 2005, 12 (3): 35~ 37]
- [18] Hou Wenguang Jiang Congshi Xiong Qingwen *et al.* Evaluation of soil quality based on GIS [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28 (1): 61~ 65 [侯文广, 江聪世, 熊庆文, 等. 基于 GIS 的土壤质量评价研究 [J]. 武汉大学学报, 2003, 28 (1): 61~ 65]

# Research on the Method of Soil Environment Evaluation under Different Landform on a County-wide Scale

——A Case Study of Yizheng City, Jiangsu Province

XU Duanyang<sup>1</sup>, JIANG Xiaosan<sup>1</sup>, PAN Jianjun<sup>1</sup>,

LAO Qilin<sup>2</sup>, WU Ximin<sup>2</sup>, ZOU Songn ei<sup>2</sup>

( 1. College of Resource and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China )

**Abstract** In this paper, the authors aim to make an evaluation of soil environment of Yizheng City, in which there are differences in landform. With the support of GIS, the authors divide the whole region into three units, which are plain-unit, hillock-unit and hill-unit. During the evaluation, the authors picked out the factors in every unit for evaluation by using the press-state-response model (PSR), and adopted AHP method to defined the factor's weight in every unit. Then, according to membership function of evaluation factors, classification method and FUZZY mathematics were used to define the value of factors. Finally, the authors set up the model of weighted integrated index method to calculate the integrated index, based on consulting the evaluation criteria, soil environmental quality results were classified and mapped. The results showed that soil environmental in Yizheng City is better as a whole, the acreage of soil with quality grades of one and two accounts for 67.6% and 26.3% respectively, however the acreage of soil with quality grades of three and four is about 7% aggregatedly. The results also showed that soil environment of plain-unit and hillock-unit was better than that of hill-unit. In a word, it is such a method that capable in county-wide region which has differences in physiognomy, and the results of evaluation are correct and trustable.

**Key words** physiognomy, county-wide scale, soil environment, evaluation