基于 GIS 与灰关联综合评价模型的土壤质量评价*

胡月明[1], 吴谷丰[2], 江 华[3], 张馨远[1], 徐剑波[1], 李华兴[1*]

(1 华南农业大学 资源环境学院, 广州 510642; 2 佛山教育学院 数学系, 广东 佛山 528000;
3 华南农业大学 经贸学院, 广州 510642)

[摘 要] 本研究探讨了地理信息系统(GIS)技术与层次分析模型和灰关联综合评价模型的结合在土壤质量评价中的应用。并以广东省东莞赤红壤农业现代化试验区为例, 应用 ArcInfo 进行空间数据采取、处理与分析, 采用叠置分析方法, 以评价因素的组合确定评价单元; 采用层次分析法确定评价因素的权重; 构造灰关联综合评价模型, 计算各单元的灰关联综合评价值, 得出各单元按质量从劣到优排列的序列, 应用 ArcView GIS 绘制评价结果图。

[关键词] 地理信息系统; 灰关联; 评价模型; 土壤质量

[中图分类号] S126 [文献标识码] A [文章编号] 1000-2782(2001)04-039-04

地理信息系统(Geographic Information System 或 Geo-Information System, 简称 GIS)是在计算机软、硬件支持下, 把各种地理信息按空间分布或地理坐标, 以一定格式输入、存储、查询检索、显示和综合分析应用的技术系统[1], 是 20 世纪 60 年代开始发展起来的新兴技术, 目前已用于涉及地理(空间)信息的几乎所有领域[2], GIS 与各种分析模型的结合是其目前发展趋势之一。灰色系统理论自 1982 年问世以来, 经广大理论和应用工作者多年的努力, 理论上不断完善, 应用上不断开拓, 渗透到社会经济能源交通等多个领域, 取得了众多的成果和效益。灰关联分析是灰色系统理论的重要组成部分, 它是分析灰色系统中各因素关联程度的一种量化方法, 其基本思想是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断灰色过程发展态势的关联程度[3]。

土壤质量评价与监测是评价和重新设计持续性的土壤与土地系统的一个基础[4]。尽管北美及欧洲的一些土壤学家在这些方面已取得了许多重要进展[5], 但迄今为止, 还没有公认的或统一的土壤质量指标和定量化的评价方法[6]。本研究以广东省东莞赤红壤农业现代化试验区为例, 探讨了地理信息系统(GIS)技术与层次分析模型和灰关联综合评价模型的结合在土壤质量评价中的应用。

1 试验区概况

东莞赤红壤现代化农业试验区位于广东省东莞市桥头镇, 北纬 23°01′, 东经 114°06′, 主要土壤为赤红壤和水稻土, 地貌类型包括低丘台地、冲积平原和低洼积水地, 代表了广东省 70% 的农业用地类型。

该试验区是国家和广东省"八五"、"九五"攻关项目"广东赤红壤区现代化创汇农业开发研究"的试验基地, 华南农业大学、广东省农业科学院、广东省生态环境与土壤研究所等单位在过去 8 年中进行了区内的土壤背景值及其变化、农业生态、资源利用、种植养殖等多方面的研究, 积累了大量的基础数据。

2 评价因素及其权重的确定

根据东莞试验区土壤资源的特点, 结合其他研究成果和专家意见, 选取地面坡度、坡向、土壤质地、土壤 pH 值、土壤有机质含量、土壤速效磷含量、土壤速效钾含量、土地利用类型等因素作为东莞试验区的土壤质量评价因素(图 1)。

[收稿日期] 2001-01-08
[基金项目] 国家"九五"攻关项目(95-004-03-10); 广东省自然科学基金(980150); 广东省科技创新百项工程项目(9B05801G)
[作者简介] 胡月明(1964-), 男, 湖南安化人, 副教授, 博士, 主要从事地理信息系统应用与土地资源管理研究。
* 通信联系人。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

- 土壤质量 A Soil quality A
  - 地形因素 B_1 Landform B_1
    - 坡度 C_1 Gradient C_1
    - 坡向 C_2 Aspect C_2
  - 土壤因素 B_2 Soil B_2
    - 土壤质地 C_3 Soil texture
    - 土壤酸碱度 C_4 Soil pH
    - 土壤有机质 C_5 Organic material
    - 土壤速效磷 C_6 Soil available phosphorus
    - 土壤速效钾 C_7 Soil available potassium
  - 土地利用 B_3 Landuse B_3
    - 利用类型 C_8 Landuse type C_8

图 1 东莞试验区土壤质量评价因素体系

Fig. 1 Soil quality evaluation factors for Dongguan experimental field

为了弱化主观因素的影响, 采用层次分析法(Analytic Hieracrchy Process, 简称 AHP 法) 确定各评价因素的权重。该方法只需请专家给出指标两两之间的相对重要性, 就可以计算出权值[7]。本研究引入 1～7 比率标度法表示任意两指标之间的相对重要程度, 根据层次分析原理构造判断矩阵如下。

A - B 判断矩阵:

$$P_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 3 \\ 2 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{pmatrix}。$$

B_1- C 判断矩阵:

$$P_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{pmatrix}。$$

B_2- C 判断矩阵:

$$P_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 2 & 3 \\ 1/2 & 2 & 1 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}。$$

采用方根法近似求出各指标的权值, 并作一致性检验[7], 最终确定各评价因素($C_1, C_2, \cdots, C_8$) 对土地质量影响的权重, 如表 1 所示。

表 1 各评价因素的权重

Table 1 Weight of evaluation factors

评价因素 Evaluation factor	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
权重 Weight	0.231 5	0.077 3	0.205 7	0.100 4	0.124 9	0.063 7	0.034 5	0.161 7

3 评价单元的划分

评价单元是土壤质量评价的基本单位[8]。结合 GIS 技术的特点和数据来源, 本研究选择以评价因素的组合确定东莞试验区土壤质量评价单元。

3.1 单因素图层数字化与处理

评价所需的土壤质地、土壤 pH 值、土壤有机质含量、土壤速效磷含量、土壤速效钾含量、土地利用类型图及相关的土壤类型图、等高线图等图件采用扫描和屏幕数字化的方法输入计算机, 相应的属性数据采用计算机键盘输入。

坡度图和坡向图则通过建立东莞试验区数字地形模型(DTM) 来获取。在 ArcInfo 软件支持下, 首先对等高线、高程点、陡坎等图层进行数字化和编辑, 并建立拓扑关系。然后应用 TIN 模块建立数字高程模型, 生成不规划三角网(TIN)。最后在 TIN 中分别提取坡度图和坡向图[9]。

3.2 拓扑叠加分析

采用 ArcInfo 的多边形拓扑叠加功能[9], 通过对各评价因素的单因素图层, 即地面坡度、坡向、土壤质地、土壤 pH 值、土壤有机质含量、土壤速效磷含量、土壤速效钾含量、土地利用类型图等图层进行叠置分析, 用生成图层的图斑作为东莞试验区土壤质量评价的评价单元。

4 评价模型的构造

设 $X = (X_1, X_2, \cdots, X_n)^T$ 为样本集, $X_i = (x_{1i}, x_{2i}, \cdots, x_{mi})$ 为第 i 个样本的原始数据, 即 x_{ij} 表示第 i 个样本第 j 个指标值。根据关联分析理论[3], 按以下步骤构造灰关联综合评价模型。

4.1 参考序列的确定

要对各个样本进行综合评价, 首先必须确定参考序列, 确定参考序列时, 既要考虑到序列的先进性, 又要考虑到序列的可行性。为此, 选取最优指标集 $X_0 = (x_{01}, x_{02}, \cdots, x_{0m})$ 作为关联分析的原始参考序列, 其中, x_{0k} 为第 k ($k = 1, 2, \cdots, m$) 个指标在各个样本中的最优值, 一般选取方法是, 如果某一指标取大值为好, 则取该指标在各个样本中的最大值, 反之则取最小值。

4.2 评价指标的规范化处理

由于评价指标相互之间通常具有不同的量纲和数量级, 不能直接进行比较, 因此需要对原始指标值

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

进行规范化处理。

设第 k 个指标的变化区间为 $[p, q]$, 其中, p 为第 k 个指标在所有样本中的最小值, q 为第 k 个指标在所有样本中的最大值, 进行下述转换:

$$c_{ij} = \frac{x_{ij} - p}{q - p}。\tag{1}$$

将原始指标值 x_{ij} 变成无量纲的 0 与 1 之间值 c_{ij}, 即得到矩阵 C

$$C = \begin{bmatrix} c_{01} & c_{02} & \cdots & c_{0m} \\ c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nm} \end{bmatrix}。\tag{2}$$

4.3　评价结果的计算

将经规范化处理后的最优指标集 $C_0 = (c_{01}, c_{02}, \cdots, c_{0m})$ 作为参考数据列, 将经规范化处理后的各样本指标 $C_i = (c_{i1}, c_{i2}, \cdots, c_{im})$ 作为被比较数据列, 则可用公式(3) 分别求得第 i 个样本第 k 个指标与第 k 个最优指标的关联系数 ζ_{ik} ($i = 1, 2, \cdots, n$; $j = 1, 2, \cdots, m$)。

$$\zeta_{ik} = \frac{\min_s \min_t |c_{0t} - c_{st}| + \sigma \max_s \max_t |c_{0t} - c_{st}|}{|c_{0k} - c_{ik}| + \sigma \max_s \max_t |c_{0t} - c_{st}|},\tag{3}$$

式中, $\sigma \in [0, 1]$ 称为分辨系数, 一般取 $\sigma = 0.5$, 则第 i 单元的关联度为

$$r_i = \sum_k p_k \zeta_{ik},\tag{4}$$

式中, p_k 为第 k ($k = 1, 2, \cdots, m$) 个指标的权重。

若关联度 r_i 最大, 则说明 C_i 与最优指标集最接近, 因而第 i 个样本是最优样本, 这样就可以根据关联度的大小排出各个样本的优劣次序。

5　评价结果

用灰关联综合评价模型计算出各评价单元的灰关联综合评价值。由于指标值经过了规范化处理, 各指标值都在 0～1, 最大值均为 1。显然, 土壤质地、土壤 pH 值、土壤有机质含量、土壤速效磷含量、土壤速效钾含量的指标值越大, 土壤质量越好; 地面坡度、坡向、土地利用类型的原始指标值是按等级给出的, 数值越大, 也表示土壤质量越好。因此, 各指标的最优值都是 1, 参考序列取为 (1, 1, ⋯, 1)。用上述模型计算出各个评价单元的灰关联综合评价值, 然后按表 2 所列标准确定各评价单元的土壤质量等级。

表 2　东莞试验区土壤质量灰关联综合评价标准

Table 2　Index of gray relative comprehension evaluation for Dongguan experimental field

灰关联度 Index of gray relative	[0.85, 1]	[0.70, 0.85]	[0.55, 0.70]	[0, 0.55]
土壤质量等级 Soil quality grade	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ

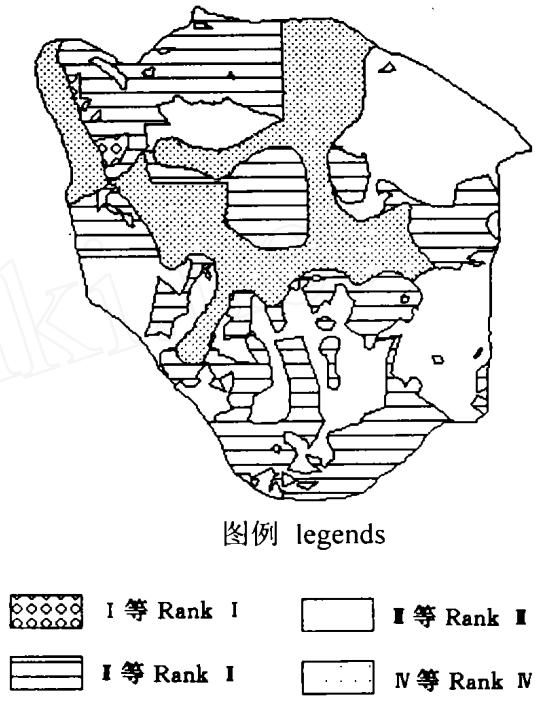

图 2　东莞试验区土壤质量灰关联综合评价结果

Fig. 2　Map of soil quality evalation results for Dongguan experimental field

应用 ArcInfo 的同质融合功能, 将评价结果属于同一土壤质量等级的相邻评价单元合并, 应用 ArcView 3.2 绘制土壤质量评价结果图, 并计算出各个质量等级土壤资源的面积, 见图 2 和表 3。

表 3　东莞试验区土壤质量评价结果

Table 3　Soil quality eveluation results for Dongguan experimental field

土壤质量等级 Soil quality grade	面积/ hm^2 Area	比例/% Percentage	土壤质量等级 Soil quality grade	面积/ hm^2 Area	比例/% Percentage
Ⅰ	3.30	2.46	Ⅳ	34.47	25.71
Ⅱ	41.49	30.96	合计 Total	134.04	100.00
Ⅲ	54.78	40.87			

6　分析与讨论

在通常的定量化的土壤质量评价过程中, 一般要用到各个评价因素的评价标准, 评价标准是土壤质量等级关于评价因素量化值的一个阶跃函数, 即不同级别间的分界点是"跳跃"的, 这就造成分界点

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

两端即使指标值相差很小但分属不同级别,而同一级别首尾指标值又相差较大,因而具有一定程度的不合理性。同时,评价标准的制订带有一定的主观性,因而影响评价结果的科学性。

土壤质量评价结果实质上是"离散"的,同一质量等级中最好的单元与最差的单元质量差异较大,而下一级别中最好的与上一级别中最差的反而差异较小,而且,评价结果不能反映同一级别的单元之间的质量差别。这些问题在一定程度上影响了评价结果对决策的参考价值。

灰色系统中的关联分析法,实质上是一种因素分析法,是分析系统中多因素关联程度的方法,灰关联综合评价模型是根据这个原理而设计的,样本的灰关联综合评价值反映该样本与各个指标值最优的"理想样本"的相似程度,因而其大小可以反映该样本的优劣。灰关联综合评价模型具有方法简单、计算量小、理论可靠等特点,该模型适用于多指标综合评价问题。

将灰关联评价模型用于土壤质量的评价,可以得出各评价单元按土壤质量的排序,并根据关联度的大小给出各单元的质量等级。该方法没有用到各评价因素的评价标准,只用到各因素的原始量化值,因而评价结果更为客观、科学。而且,评价结果给出各单元按质量的排序,又可以根据关联度大小划分各单元的土壤质量等级。由此可见,灰关联综合评价模型不仅在方法上更具有科学性,而且结论更丰富,对土壤资源利用决策具有更大的参考价值。

[参考文献]

[1] 李德仁. 什么是 GIS? [J]. 测绘通报, 1993, (4): 36- 41.

[2] 何建邦, 钟耳顺. 论地理信息系统及其在地理学中的地位[J]. 地理学报, 1993, 48(1): 84- 90.

[3] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987. 17- 41.

[4] 赵其国, 孙 波, 张桃林. 土壤质量与持续环境 Ⅰ. 土壤质量的定义及评价方法[J]. 土壤, 1997, 3: 113- 120.

[5] Doran J W, Jones A J. Methods for Assessing Soil Quality[M]. Washington: SSSA special publication, 1996.

[6] 张桃林, 潘剑君, 赵其国. 土壤质量研究进展与方向[J]. 土壤, 1999, (1): 1- 7.

[7] Saaty A L. The analytic hierarchy process[M]. McGraw Hill, Inc., 1980.

[8] HU Yue-ming, DAI Jun, WANG Ren-chao. GIS-based red soil resources classification and evaluation[J]. Pedosphere, 1999, 9(2): 131- 138.

[9] ERSI. Understanding GIS- The ARC/INFO Method[M]. CA: ERSI Inc, 1997. 1- 1～10- 39.

Soil quality evaluation based on Geographic Information System and gray relative comprehensive evaluation model

HU Yue-ming[1], WU Gu-feng[2], JIANG Hua[3], ZHANG Xin-yuan[1], XU Jian-bo[1], LI Hua-xing[1*]

(1 *College of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*; 2 *Department of Mathematics, Foshan Normal College, Foshan, Guangdong* 528000, *China*; 3 *College of Economy and Trade, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*)

Abstract: Taken Dongguan Agricultural Modernization Experimental Field of Red Soil Areas as the research site, soil quality evaluation based on the technique of Geographic Information System and mathematic models were discussed. ArcInfo was adopted for spatial data collection, processing and analysis, overlay analysis was also used to determine evaluation unit by combination of evaluation factors. AHP was applied to judge the weight of each evaluation factor, gray relative comprehension evaluation model was given, value of gray relative comprehensive evaluation of all samples was calculated and the order of samples on soil quality was given. Soil quality evaluation result was mapped using ArcView GIS software.

Key words: Geographic Information System (GIS); gray relative; evaluation model; soil quality

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net