

土地适宜性评价过程中模型方法对比研究

薛保山, 刘刚 (中国地质大学, 湖北武汉 430074)

摘要 通过对比分析目前土地适宜性评价中普遍采用的主成分分析法、模糊综合评判法等模型方法, 得出各自的优势和缺陷, 提出在评价过程中应在采用当前先进技术的基础上综合运用多种模型方法对评价系统进行最佳拟合。

关键词 土地; 适宜性评价; 模型; 方法; 比较

中图分类号 F301.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)07-03162-04

Comparative Study on Models and Methods in the Course of Land Suitability Evaluation

XUE Bao-shan et al (China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074)

Abstract The commonly used method in the current land suitability evaluation such as principal component analysis and fuzzy comprehensive evaluation were compared and analyzed. And the advantages and defects of each method were obtained. Based on the current advanced technology in the course of evaluation, many kinds of models and methods should be comprehensively used to get the best fitting of the evaluation system.

Key words Land; Suitability evaluation; Model; Method; Comparison

土地适宜性评价是对土地质量的综合考量, 涉及目标区域的地质地貌、水文与水资源、土壤、气候、植被、地形、区位等对土地某一或多种用途的综合评价, 是土地利用规划的技术向导, 是土地资源合理利用的基础工作, 分为定性评价和定量评价。随着科学技术的发展和评价理论的不成熟, 研究越来越趋向于定性和定量相结合的评价, 以期探索更优的数学模型, 解决土地适宜性评价中存在的为人不确定性和评价结果的不稳定性问题。一般将评价分为评价单元的划分、评价因子的确定、评价因子权重的确定和系统评价4个步骤, 笔者结合土地适宜性评价的4个步骤, 对比分析各步骤中普遍采用的模型和方法。

1 划分评价单元

土地适宜性评价单元是按照土地质量均匀一致原则划分的土地适宜性评价的最基本单元, 各评价单元要尽可能保证单元内土地质量、土地属性和利用方式的相对一致。目前, 土地适宜性评价中评价单元的划分方法主要有4种, 一是以土壤类型图斑为评价单元; 二是以土地利用现状图斑为评价单元; 三是将上述2种或多种图斑利用GIS技术进行空间叠加, 形成新的评价单元。几种方法均有其可取之处和不同程度的缺陷, 第4种是前3种的综合, 是利用现代计算机技术发展的新方向。但利用多图斑的叠加, 容易形成较多碎小单元, 大大增加采样数据量和评价难度。土地是包括地质、地貌、气候、水文、土壤、植被等多种自然要素在内的自然综合体, 其不同区域间的空间数据具有典型的空间相关性和依赖性。在进行土地适宜性评价单元划分过程中, 对因不同图斑叠加产生的琐碎单元运用变异函数和克里格法进行无偏内插值, 确定由不同图层叠加形成琐碎地块的各项评价因子的值。

2 选取评价因子

土地适宜性评价在选取评价因子时至少应符合5项原则: 主导性原则。从影响土地质量的众多因子中选择制约土地用途的主要因子, 增强土地质量评价的科学性和简洁性。差异性原则。选择研究区内有明显差异、能够出现临

界值的因子, 客观地划分土地等级。不相容性(独立性)原则。所选的指标体系能够尽量反映土地的全部属性, 且指标间不能出现因果关系, 避免重复评价。可能性原则。指标的选择要易于捕捉信息并对其定量化处理, 应简单明了, 便于理解和计算。定量与定性相结合的原则。尽量把定性的、经验性的分析进行量化, 以定量为主。必要时对现阶段难以定量的指标采用定性分析, 减少人为影响, 提高精度^[1]。按照上述原则, 目前多采用主成分分析法、灰色关联分析、逐步回归分析等进行土地适宜性评价因子的选取, 具有较好的效果。

2.1 主成分分析法 主成分分析法是将能够收集到的对土地适宜性有影响的评价因子, 通过计算相关系数、相关系数矩阵特征值与特征向量、主成分贡献率及累计贡献率和主成分载荷等确定评价系统主要参评因子, 并且将有较大正相关的因子综合成一个新的因子, 从而使评价系统既抓住了系统的主要因子又保留了原始评价因子的绝大多数信息, 且彼此间互不相关, 使复杂的评价体系得以精简。其核心就是利用数理统计运算进行降维, 基本原理是设评价目标区域有 n 个评价单元, 每个评价单元的土地适宜性受 m 个因子影响, 则有关联系数矩阵:

$$R = \begin{matrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{matrix}$$

$$\text{式中, } r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (X_{ki} - \bar{X}_i)(X_{kj} - \bar{X}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ki} - \bar{X}_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{kj} - \bar{X}_j)^2}}$$

x_i, x_j 为初始评价因子 ($i, j = 1, 2, \dots, m$), 解特征方程 $|I - R| = 0$, 得特征值 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, m; \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m \geq 0)$, 求出特征值 λ_i 得特征向量 $e_i (i = 1, 2, \dots, m)$, 计算主成分 z_i 的累计贡献率得 $\sum_{k=1}^i \lambda_k / \sum_{k=1}^m \lambda_k (i = 1, 2, \dots, m)$, 一般取累计贡献率在 85% ~ 95% 的第 i 个主成分; 计算主成分载荷 $p_i (z_k, x_j) = \sum_{k=1}^i e_{kj} (i, k = 1, 2, \dots, m)$ 构成主成分载荷矩阵, 通过分析矩阵 z_i 与 $x_k (k = 1, 2, \dots, m)$ 的相关性, 将各原评价因子进行综合, 同时剔除异常因子。

例如, 陈加兵等采用主成分分析法, 对福建省沙县夏茂

作者简介 薛保山(1978 -), 男, 湖北随州人, 在读硕士, 从事地球探测与信息技术方面的研究。

收稿日期 2008-12-18

镇的9种水稻土土类进行综合评分,以水稻田为评价对象,采用自然地块为评价单元,通过计算各因子的方差贡献率,从10个评价指标,提取了累积贡献率要超过85%的5个主成分,代表了水稻田质量96.697%的信息,取得较好效果^[2]。鲍艳等运用一种基于主成分聚类分析的客观分析方法对阜新市的土地利用生态安全进行综合评价,将标准化处理后的11个指标利用SAS(Statistics Analysis System)统计软件求相关矩阵特征值,最终从11个成分中筛选出方差贡献率较大的6个成分为主成分,剔除一些没有明显分异作用的指标或相互间存在明显的线性相关关系的指标,以确定最终指标^[3]。

2.2 灰色关联分析 灰色系统理论是由邓聚龙教授于1982年提出,主要是在研究系统模型之内部信息不充分、不完整的情况下,用来做系统的关联分析及模型建构,并借着预测及决策的方法来探讨及了解系统。灰色理论主要对事物的“不确定性”、“多变量输入”、“离散的数据”、“数据的不完整性”作有效的处理,土地质量本身所受影响因子纷繁复杂,由于各种因素,各影响因子的数值往往呈现离散状态,且很难收集并完整测量。因此,灰色系统理论的运用从一定程度上恰好可以解决这类问题,关联分析又称为系统因素分析,透过关联分析可将系统内众多因素,依个别对系统影响的强弱程度,筛选出主要及次要,明显及潜在,值得发展及舍弃的。其基本理论为设评价目标 X_0 , 评价序列:

$$X_0 = [x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)]$$

$$X_1 = [x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(n)]$$

...

$$X_i = [x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)]$$

...

$$X_m = [x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(n)]$$

求其均值项得 $X_i = \frac{X_i}{n} = [x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)]$; 求

差序列得 $d_i(k) = |x_0(k) - x_i(k)|, (i=0, 1, 2, \dots, m)$; 求极大差得 $M = \max_i \max_k d_i(k), m = \min_i \min_k d_i(k)$; 则有联系

$$\text{系数 } r_{0i}(k) = \frac{m + M}{d_i(k) + M} \quad (0, 1); k = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2,$$

$$\dots, m); \text{ 则各项关联度就为 } r_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_{0i}(k) \quad (i = 1, 2, \dots, m)。$$

当 $r_{0i} > r_{0j} (i, j = 1, 2, \dots, m)$, 则认为 X_i 与 X_0 的关联度比 X_j 与 X_0 的关联度大。据此就可以评判出各评价因子与评价目标的关联程度, 确定出评价系统的主要因子, 使评价因子的选择和评价因子权重赋值更趋于客观实际。

如郭娜等以四川省“金土工程”数据库中的原始数据作为研究基础, 通过应用灰色系统理论的关联分析方法, 以坡度、地面岩石露头、灌溉保证、排水条件、土壤构型、有效土层厚度、土壤酸碱度和土壤有机质作为与水稻平均产量相关的因子进行多因素关联分析, 结果显示该区域排水条件与其产量具有最大的关联度^[4]。

2.3 逐步回归分析 进行土地适宜性评价过程中由于影响土地质量的因子众多, 人们总是希望从对评价目标 y 有影响的诸多因子中选择一些因子作为参评因子, 应用多元回归分析的方法建立在回归方程中包含所有对评价目标 y 影响显著的因子而不包含对 y 影响不显著的因子的回归方程。逐

步回归分析正是根据这种原则提出来的一种回归分析方法。它的主要思路是在考虑的全部影响因子中按其对于 y 的作用大小, 显著程度大小或者贡献大小, 由大到小地逐个引入回归方程, 而对那些对 y 作用不显著的因子可能始终不被引入回归方程。另外, 已被引入回归方程的因子在引入新因子后也可能失去重要性, 而需要从回归方程中剔除。引入一个因子或者从回归方程中剔除一个因子都称为逐步回归的一步, 每一步都要进行 F 检验, 以保证在引入新因子前回归方程中只含有对 y 影响显著的变量, 而不显著的变量已被剔除。

通过对自然质量等指数、利用等指数及其所对应的实际标准粮产量进行回归分析, 结果表明, 后者与实际标准粮产量的拟合优度大于前者, 即对自然质量等指数进行利用程度修正后, 利用等指数更接近于实际标准粮产量, 并据此提出了农用地在利用过程存在问题及改进对策^[5]。

从计算过程来看, 逐步回归分析可以有效并不遗漏地找出所有有显著影响的因子, 但是土地质量的某些影响因子在有些范围内具有不显著的影响, 但在另一个范围内影响程度不再是线性的或缓和的, 这就需要评价者凭经验判断因子影响的重要性, 即在逐步回归的过程中计算回归系数 b 及 t 值检验, 的取值不同, 涉及剔除或引入的因子也就不同。

3 确定评价因子权重

3.1 特尔菲法 特尔菲法也称为专家经验评估法, 由美国兰德公司(RAND Corporation)于20世纪50年代初创立, 在软科学领域得到了广泛应用, 它能对大量非技术性的、无法定量分析的因素做出概率估算。其一般过程如图1所示, 在统计分析中, 处理方法也可选用人数比重法、峰值法、均值法或四分位法等。

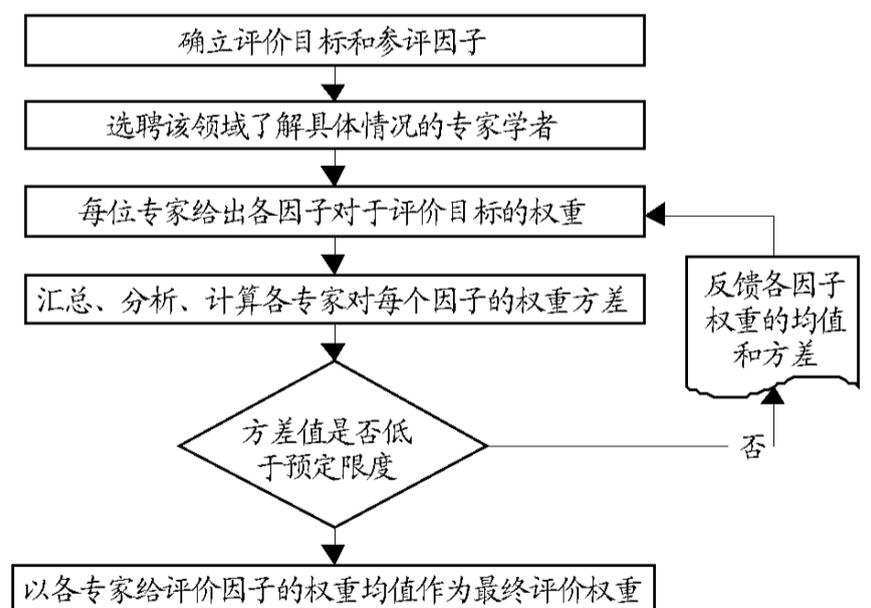


图1 特尔菲法的一般步骤

Fig.1 The general step of Delphi method

由于专家评价的最后结果是建立在统计分布的基础上, 所以具有一定的不稳定性。不同专家总体的直观评价意见和协调情况不可能完全一样, 这是特尔斐法的不足之处。

宋晓丽等首先从生产力、生产稳定性、资源保护性、经济的可行性、社会可接受性等五方面, 初步选择了一系列能够反映城郊土地利用特点的指标, 然后对阳泉市郊区进行实地调查、并进行专家咨询, 对评价指标体系进行调整, 运用特尔菲法确定了指标权重, 最后得出阳泉市郊区土地利用水平评价指标体系^[6]。

3.2 层次分析法 在确定影响某目标的诸因子在该因素中

所占的比重时,常遇到的困难是这些比重不易定量化,此外,当影响某因素的因子较多时,直接考虑各因子对该因素有多大程度的影响时,常常会因考虑不周全、顾此失彼而使评价设计者提出与实际认为的重要性程度不相一致的数据,甚至有可能提出一组隐含矛盾的数据。通过层次分析计算得出各因子对应的目标权重,较好解决了这一矛盾,降低评价的人为性和不稳定性。

层次分析法(AHP)是美国运筹学家T.L.Saaty教授于20世纪70年代初期提出,对一些较为复杂、较为模糊的问题做出决策的简易方法,它特别适用于那些难于完全定量分析的问题。它先根据实际情况抽象出较为贴切的层次结构;再将某些定性的量作比较接近实际定量化处理。其基本理论为:比较n个因子 $X=\{x_1, \dots, x_n\}$ 对目标Z的影响大小,即在评价过程中的权重,采取对因子进行两两比较建立成对比较矩阵的办法,即每次取2个因子 x_i 和 x_j ,以 a_{ij} 表示 x_i 和 x_j 对Z的影响大小之比,则 x_j 与 x_i 对Z的影响之比应为 $a_{ji} = 1/a_{ij}, a_{ii} = 1$ 。全部比较结果用矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 表示,称A为Z~X的成对比较判断矩阵(判断矩阵)。a_{ij}的值一般采用数字1~9及其倒数,设对于准则C的相对权重 $W=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。则权重 $w_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \frac{a_{ik}}{a_{kj}}, i=1, 2, \dots, n$; 计算相

对权重向量的方法,在判断矩阵过于偏离一致性时,其可靠程度也就值得怀疑了,因此要对判断矩阵的一致性进行检查,步骤: 计算一致性指标C.I.(consistency index), $C.I. = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, λ_{max} 为最大特征根,可使用公式 $\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{n w_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{n w_i}$ 计算得到; 查找相应的平均随机一致性指标R.I.(random index); 计算一致性比例C.R.(consistency ratio), $C.R. = C.I. / R.I.$,当 $C.R. < 0.1$ 时,认为判断矩阵的一致性是可以接受的;当 $C.R. > 0.1$ 时,应该对判断矩阵做适当修正。

如李璞等以地力评价理论为基础,以新疆自治区克拉玛依市2 000 hm²土地开发项目为实例,选取了土地开发项目区未利用地16个地力影响因子,并在系统分析层次分析法(AHP)理论基础之上,对各影响因子进行了权值计算^[7]。马东辉等针对城镇土地防灾适宜性评价各因素的特点,对层次分析法做出发展,提出限定性因素评价模型,发展形成限定性层次分析法,并将之应用到泉州市场地防灾适宜性评价中^[8]。

层次分析法对人们的思维过程进行了加工整理,提出了一套系统分析问题的方法,为科学管理和决策提供了较有说服力的依据。但层次分析法也有其局限性,主要表现在:它在很大程度上依赖于人们的经验,主观因素的影响很大,它至多只能排除思维过程中的严重非一致性,却无法排除决策者个人可能存在的严重片面性。比较、判断过程较为粗糙,不能用于精度要求较高的决策问题。AHP至多只能算是一种半定量(或定性定量结合)的方法。

4 综合评价
4.1 系统聚类法 系统聚类法也称层次聚类分析法,其基本思想是先将n个单元各自看成一类,然后规定单元之间的

距离和类与类之间的距离。开始,因每个单元自成一类,类与类之间的距离与样品之间的距离是相等的,选择距离最小的一对并成一个新的类,计算新类和其他类的距离,再将距离最近的两类合并,这样每次减少一类,直至所有的单元都成一类为止。由此可见,系统聚类方法中,度量数据之间的亲疏程度是极为关键的,并没有给定分类的标准,也没有给出所有数据分成几类,而要求比较客观地从数据自身出发进行分类。类与类之间的亲疏程度有最短距离法、最长距离法、中间距离法、重心法、类平均法、离差平方和法等^[9]。

最短距离和最远距离计算公式为 $d_{kr}^2 = \sqrt{p d_{pk}^2 + q d_{qk}^2 + |d_{pk}^2 - d_{qk}^2|}$;系统聚类其他方法的公式为 $d_{kr}^2 = \sqrt{p d_{kp}^2 + q d_{kq}^2 + d_{pq}^2 + |d_{kp}^2 - d_{kq}^2|}$;当p、q、3个参数取不同的值时,就形成了不同的聚类方法(表1),在表1中, n_p 是p类中单元的个数, n_q 是q类中单元的个数, $n_r = n_p + n_q$;一般取负值。

表1 系统聚类方法分类
Table 1 The classification by system clustering method

方法 Method	p	q		
最短距离法 Shortest distance method	1/2	1/2	0	-1/2
最远距离法 Longest distance method	1/2	1/2	0	1/2
中线法 Midline method	1/2	1/2	-1/4	0
重心法 Gravity method	$\frac{n_p}{n_p + n_q}$	$\frac{n_q}{n_p + n_q}$	$-\frac{n_p n_q}{(n_p + n_q)^2}$	0
组平均法 Group average method	$\frac{n_p}{n_p + n_q}$	$\frac{n_p}{n_p + n_q}$	0	0
距离平方和法 Distance square sum method	$\frac{n_k + n_p}{n_k + n_r}$	$\frac{n_k + n_q}{n_k + n_r}$	$-\frac{n_k}{n_k + n_r}$	0
可变数平均法 Variable average method	$(1 - \frac{n_q}{n_r})$	$(1 - \frac{n_p}{n_r})$	<1	0
可变量法 Variable method	$(1 - \frac{n_q}{n_r})/2$	$(1 - \frac{n_p}{n_r})/2$	<1	0

林志堃在30个评价单元主成分得分的基础上,用最短距离法、最长距离法、重心法、类平均法、离差平方和法等5种方法分别对30个评价单元进行聚类,然后将5种聚类结果进行比较分析,最后确定耕地适宜等级,提出类平均法为进行耕地适宜性评价的最佳方法^[10]。

4.2 模糊综合评判 模糊综合评判方法是一种运用模糊数学原理分析和评价具有“模糊性”的事物的系统分析方法,其基本思想是利用模糊线性变换原理和最大隶属度原则,考虑与被评价事物相关的各个因素,对其做出合理的综合评价,是一种以模糊推理为主的定性与定量相结合、精确与非精确相统一的分析方法,应用于土地适宜性评价过程中,可以解决评价中大量的不确定、定性因素对评价结果精确度和可靠性影响的问题,从而提高精确度,增加评价的可靠性。模糊

评价基本模型, 设评判对象为 P , 其因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$; 评判等级集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。对 U 中每一因素根据评判集中的等级指标进行模糊评判, 得到评判矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times m}$; 式中, r_{ij} 表示 u_i 关于 v_j 的隶属程度。(U, V, R) 则构成了一个模糊综合评判模型。确定各因素重要性指标(也称权数)后, 记为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$, 满足 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, 合成得 $B = AR = (\overline{b_1}, \overline{b_2}, \dots, \overline{b_m})$, 经归一化后, 得 $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$, 于是可确定对象 P 的评判等级。

土地是在自然因素和人为因素共同作用下形成的自然综合体, 受时间、空间因子的制约, 而这些制约因子的作用还难以用精确的数字表达。同时, 土地质量本身在“好”与“较好”之间也无截然界限, 这类界限具有模糊性。由于对评价因素和指标实行了规范化, 因而使用该方法有时可得到比经验法乃至回归分析法更好的结果。运用该方法关键在于求得某一评价因素, 确定属于第几级评价的隶属度。但该方法

存在建立评判对象因素集 U (评价因子选取) 以及评判集 V (评价因子的权重) 的问题。

5 结论

通过对土地适宜性评价过程中的较常用方法模型对比分析, 可以认为要进行更精细、更科学稳定的土地适宜性评价, 可以从以下4个方面改进评价方法: 利用GIS技术对评价区域进行多图斑叠加形成新的评价单元, 运用地质统计学原理确定由不同图层叠加形成琐碎地块的各项评价因子的值; 运用主成分分析法、逐步回归分析或灰色关联分析法从众多评价因子中选出对土地某种用途适宜性的主要影响因素, 必要时还可以对因子进行排序用于在确定权重时进行检验; 评价因子权重的确定是评价系统的核心, 直接影响着评价结果, 根据具体区域和项目本身的具体情况, 可以采用特尔菲法、层次分析法确定各评价因子对评价目标的权重; 根据确定的评价因子和各因子的权重, 运用模糊综合评判确定出该区土地对某一用途的适宜程度(表2)。

表2 主要土地适宜性评价模型和方法的比较

Table 2 The comparison of mainland suitability evaluation model and methods

评价过程 Evaluation process	模型和方法 Model and methods	对比分析 Comparative analysis
划分评价单元 Dividing the evaluation units	土壤类型图斑	可以使各单元在土壤类型上取得相对的一致, 在气候、地形、水文等方面, 土地质量、土地属性、土地利用方式均达不到相对一致, 与地块界和行政界不一致
	土地类型图斑 土地利用类型图斑	土壤、地形、气候、水文等因素相对的一致, 土地利用类型不尽一致 评价单元的界限在地面上与地块分布完全一致, 一些大图如大面积的耕地、林地内部差异较大, 只能保证其利用类型上的一致性, 而且斑内评价所需的土地特殊信息量不足, 精度稍差
	多图斑GIS叠加	各类要素均一, 但易出现过多琐碎地块
选择评价因子 Selecting evaluation factors	主成分分析	提出了系统的主要因子, 保留了原始评价因子的绝大多数信息, 且彼此间互不相关
	灰色关联分析	通过求各项关联度, 确定对系统影响的强弱程度, 筛选出主要因素, 次要因素和舍弃因素
	逐步回归分析	有效的不遗漏地找出所有显著影响的因子, 但有时需要评价者凭经验判断因子的影响的重要性, 在逐步回归的过程中计算回归系数 b 及 t 值检验, 的取值不同
确定因子权重 Confirming the factor weight	特尔菲法	有效利用了专家库, 但具有一定的不稳定性
	层次分析	计算得出各因子对于目标权重, 但无法排除决策者个人可能存在的严重片面性
系统综合评价 System comprehensive evaluation	系统聚类分析	比较客观地从数据自身出发进行分类
	模糊综合评判	有效解决评价中大量的不确定、定性因素对评价结果精确度和可靠性的影响, 需要先确定出参评因子及其权重

在评价因子的确定、评价因子权重的确定以及评价单元的划分、系统评价的过程中综合运用各类数学模型进行评价, 可以使土地评价工作的定量化更严密、评价过程人为干扰因素更少, 使评价结果更符合客观事实。

参考文献

- [1] 周勇, 田有国, 任意, 等. 定量化土地评价指标体系及评价方法探讨[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 37-41.
- [2] 陈加兵, 曾从盛. 主成分分析、聚类分析在土地评价中的应用[J]. 土壤, 2001(5): 243-256.
- [3] 鲍艳, 胡振琪, 柏玉, 等. 主成分聚类分析在土地利用生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 87-90.

- [4] 郭娜, 郭科, 吴金炉, 等. 灰色关联度分析法在土地评价中的应用[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2007, 34(6): 626-629.
- [5] 林小莹, 王占岐, 妥洁. 回归分析在农用地分等中的应用[J]. 资源环境与工程, 2005(1): 65-69.
- [6] 宋晓丽, 樊俊华. 多层次灰色评价法在土地评价中的应用[J]. 山西农业大学学报, 2006, 26(1): 106-109.
- [7] 李璞, 王慎敏, 周寅康. 基于层次分析法的土地开发项目区未利用地地力评价研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(2): 754-756.
- [8] 马东辉, 郭小东, 苏经宇, 等. 层次分析法逆序问题及其在土地利用适宜性评价中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2007(6): 124-135, 165.
- [9] 周生路. 土地评价学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2006.
- [10] 林志垒. 主成分分析、聚类分析在耕地适宜性评价中的应用[J]. 甘肃教育学院学报: 自然科学版, 2001(2): 40-46.