

# 模糊数学方法在中国土地资源评价中的应用进展

李希灿<sup>1,2</sup>, 王静<sup>2</sup>, 邵晓梅<sup>2</sup>

(1. 山东农业大学信息科学与工程学院, 泰安 271018; 2. 国土资源部土地利用重点实验室, 北京 100035)

**摘 要:** 对近 30 年来模糊数学方法应用在我国土地资源评价中的论文进行检索与分类统计, 以常用模糊数学方法为主线进行应用进展分析与展望。研究结果表明, 自 1980 年以来, 模糊数学方法在我国土地资源评价中逐步得到应用, 研究论文分布在几十种期刊上, 论文作者比较分散; 其中, 模糊综合评价、模糊聚类分析方法应用相对较多, 分别占检索论文总数的 46% 和 26%。模糊综合评价方法主要应用在土地适宜性评价、土地质量评价、可持续发展评价等方面; 模糊聚类分析方法主要应用在土地利用类型划分和土地资源评价等方面。模糊数学方法将在土地资源评价、分类、规划、决策、预测和控制问题研究中得到进一步应用。在应用模糊数学方法时应注意合理描述模糊概念、注重多种方法并用, 在实践中不断创新。

**关 键 词:** 土地资源评价; 模糊综合评价; 模糊聚类

1965 年, 美国 L.A.Zadeh 教授在国际学术刊物《Control and Information》上发表了第一篇模糊性方面论文《Fuzzy Sets》, 宣告了模糊数学的建立。1980 年左右, 模糊理论引入我国, 引起了国内一些学者的关注并逐步开展了研究, 取得了丰富的理论与应用成果。目前, 模糊数学方法已被广泛应用在地震预报、气象预报、医疗诊断、农业区划、人工智能、图象识别、工程质量分析、环境质量评价、水资源优化分析等方面。模糊概念在土地资源评价中是客观存在的, 1980 年以来, 模糊数学方法在土地资源评价中逐步得到应用。笔者从“中文科技期刊”网中(1980–2007 年)输入关键词“土地”检索到 64096 篇论文, 再从中检索模糊数学方法应用情况, 经综合筛选整理, 统计结果为: 模糊综合评价 56 篇、模糊聚类 31 篇、模糊相似关系 3 篇、模糊相似优先决策 1 篇、模糊模式识别 6 篇、模糊优选 1 篇、模糊聚类与模糊识别 1 篇、模糊神经网络 7 篇、模糊规划 7 篇、模糊逻辑 5 篇、模糊控制 1 篇、其他 2 篇, 总计 121 篇(可能不是全部)。经检索, 1980–2007 年模糊数学方法研究及应用的全部论文为 51496 篇, 可见, 模糊数学方法在我国土地资源评价中应用相对较少。关于土地资源评价及评价方法研究进展<sup>[1–4]</sup>, 已有多位学者进行了系统总结与展望, 但至今未见模糊数学方法在我国土地资源评价中应用的综述。

本文目的是根据统计文献, 以常用模糊数学方法为主线, 总结其在土地资源评价中的应用现状, 并指出其应用方向及其在应用中的注意事项, 供同行研究借鉴。

## 1 常用模糊数学方法应用进展

### 1.1 模糊综合评价

模糊综合评价是在模糊环境下, 考虑多种因素的影响, 为了某种目的对评价对象做出综合决策的方法。由于模糊综合评价是将定量与定性分析、精确分析与不确定性分析相结合, 模型简单、计算方便, 因而在土地资源评价中已得到应用。经检索文献, 1980 年以来, 累计有 56 篇论文应用模糊综合评价方法, 针对土地资源中的问题进行评价研究, 主要应用方面包括土地质量评价<sup>[4–12]</sup>、土地适宜性评价<sup>[13–18]</sup>、土地资源可持续评价<sup>[19–23]</sup>、土地价格评估<sup>[24–28]</sup>、土地复垦与整理<sup>[29–32]</sup>、土地分等定级<sup>[33–34]</sup>、土地生产力分析<sup>[35–37]</sup>、土地生态评价<sup>[38–41]</sup>、土地利用<sup>[42–47]</sup>、土地退化<sup>[48–51]</sup>、土地利用图与数据质量评价<sup>[52–54]</sup>、旅游资源评价<sup>[55–56]</sup>、土壤质量指标评价<sup>[57–58]</sup>、土地集约利用评价<sup>[59]</sup>。最大的特点是 56 篇论文分布在 50 种不同期刊上, 几乎没有同名作者, 说明研究人员分散; 论文多以模糊综合评价方法应用为主。值得注意的是

收稿日期: 2008–10; 修订日期: 2009–02。

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAB15B04, 2006BAJ05A08); 2007 年度国土资源部百名优秀科技人才计划项目。

作者简介: 李希灿(1965–), 男, 山东成武县人, 博士, 主要从事模糊数学方法与应用、土地资源评价研究。E-mail: lxc@sdaa.edu.cn

通讯作者: 王静, E-mail: wjing0162@yahoo.com.cn

应用方向由早期的土地质量评价和土地适宜性评价逐步转向土地可持续利用、城市土地估价、土地集约利用和旅游资源评价方面。从时间分布统计来看,2000 年以来该方面的论文逐步增加,说明随着对土地资源复杂系统评价研究的逐步深入,模糊综合评价方法越来越受到重视。

模糊综合评价模型在应用时,重要的是根据研究对象确定评价指标和进行单因素评价。单因素评价可采用模糊统计法和构造隶属函数的方法。根据问题的特点,构建单因素评价的隶属函数是模糊综合评价方法应用的创新点。为防止信息丢失,模糊变换的算子可取普通矩阵算法。另外,应注重对评价结果的解译。模糊综合评价除上述已有的应用方面外,在土地生态安全评价、脆弱生态区评价、遥感信息评价、新农村建设方案评价、土地复垦方案与实施效果评价等热点研究方面将逐步得到应用。借助 GIS 技术可以更好地展示土地资源评价结果的空间分布规律。

## 1.2 模糊聚类分析

聚类分析是数理统计多元分析的一个分支,模糊数学的诞生与发展,自然产生了模糊聚类分析,给带有模糊性分类的问题提供了解决方法。由于土地资源评价中存在多指标、多量纲、多时空、不确定性的分类问题,近年来,模糊聚类分析方法在土地资源评价中得到初步应用。经文献检索,1980 年以来累计有 31 篇论文应用了模糊聚类分析方法,主要应用方面包括土地利用分区<sup>[60-70]</sup>、土地分等定级<sup>[71-75]</sup>、土地管理<sup>[76-78]</sup>、土地合理利用<sup>[79]</sup>、土地调查<sup>[80-81]</sup>、地貌类型划分<sup>[82-83]</sup>、土地资源评价<sup>[84-90]</sup>。从时间和刊物分布上来看,基本是 1993-2006 年间均 2 篇,分布在 26 种不同期刊上;没有发表 3 篇同类论文的同名作者,说明研究人员分散;应用方向以土地利用类型划分和土地资源评价为主。

模糊聚类分析属于系统分类,最大特点是可以根据动态聚类图观察样本的聚集过程。合理选择样本指标是模糊分类的重要基础,建立模糊相似关系矩阵的方法很多,但实践证明不同方法对聚类结果影响不大,一般只选一种方法即可。模糊聚类分析方法不仅可以进行样本分类,而且还可以用于建立识别模式、预测、评价、因素分析等方面。模糊聚类分析将在区域经济分区、土地退化程度分区、不同区域土地集约化利用划分、土地质量类型区划分、遥感图象识别与分类、脆弱生态区分类、基于高光

谱分析的土地质量指标反演等方面得到应用。

## 1.3 模糊关系分析

普通关系是描述事物之间精确性的关系。模糊关系是描述客观事物之间具有相似联系的一种方法,表示事物之间在多大程度上具有某种关系。模糊关系用关系矩阵表示,模糊关系矩阵与关系数据库具有相同的结构,结合 GIS 技术利用模糊关系可以较好地表达土地资源的空间分布。经检索发现,1980 年以来,仅有 3 篇论文利用模糊关系研究土地资源空间优化布局<sup>[91-93]</sup>,利用模糊相似关系描述土地资源单元的分布,然后进行相似单元的合并,形成空间优化布局(张光宇等,1998)。

应用模糊关系分析法关键在于根据问题的性质,确定不同目标下的模糊关系。例如,用模糊关系矩阵表示遥感图像的灰度(反射率),根据每个元素的灰度值的大小和地表覆被类型对应的反射率的特点,给定合理的阈值,就可以识别地表覆被类型;又如,在研究土地资源的空间分布时,首先将地域空间划分成大小相等的土地单元,不同的土地资源类型分布用不同的模糊关系表示出来,借助 GIS 或 RS 技术,通过模糊关系的运算,就可以使土地资源的分布实现可视化,在此基础上可研究土地资源空间优化布局<sup>[93]</sup>。基于模糊关系分析的方法将在土地资源评价、土地资源空间优化布局、土地资源多目标决策等研究中得到进一步应用。

## 1.4 模糊相似优先决策

模糊相似优先比决策是一种二元对比决策<sup>[94]</sup>。即先利用二元相对比较级定义一个模糊相似优先比,再建立模糊优先比矩阵,然后通过确定给定水平下的截矩阵对所有的备选方案进行优劣排序。经检索文献,1980 年以来仅有 1 篇论文将该方法应用到大气环境质量区域划分中<sup>[95]</sup>。

模糊相似优先决策方法计算简单、方便实用。在土地资源评价问题中,如相似自然区域的选择、农作物布局的相似区域选择、评价指标权重确定、土地资源决策等问题,都可以进一步应用该方法。

## 1.5 基于最大隶属原则或择近原则的模糊模式识别

所谓模糊模式识别,是指在模糊环境下从待识别的对象中识别出哪些对象与已知的模式相同或相近。一般有单因素识别的最大隶属原则法和多因素识别的择近原则法<sup>[94]</sup>。经检索文献,1980 年以来,该方法在土地资源评价已得到初步应用,累计发表论文 6 篇,主要应用在土地资源评价<sup>[96-99]</sup>、土地利用

合理性分析<sup>[100]</sup>、矿区塌陷区土地复垦潜力评价<sup>[101]</sup>等方面。

模糊模式识别方法计算简单,既适合单因素的识别问题,也适合多因素多模式的识别问题。该方法既可以用于类型识别,也可以用于预测与决策问题。在实际应用时,关键是构建已知模式的隶属函数或模糊集表达式,使其反映客观实际;也可以利用已有的模糊集分布函数形式,结合实际问题调整其参数。如土地利用类型的识别、土壤质量类型的识别、基于遥感图象识别土地覆被类型、脆弱生态区类型的识别、土地资源可持续发展类型的识别等,这类问题均可采用模糊模式识别的方法解决。

### 1.6 模糊优选方法

模糊优选是在有限的可行决策方案集中,选择最优决策方案和进行方案的优劣排序。优与劣,这一对概念既有差异又共维(价值维)且处于两极,具有中介过渡性,是客观的模糊概念,这是优选的模糊性。优选是在有限的可行决策方案集中选择最优方案,这是优选的相对性<sup>[102-103]</sup>。在土地资源评价中,存在许多具有模糊性和相对性的评价问题,但经检索文献,1980年以来,仅有1篇论文将该方法应用于环境质量评价<sup>[104]</sup>。在有关土地方面的研究中未见该方法的应用。模糊优选模型是基于模糊目标函数建立的,数学基础严密,易于程序化,比加权综合法更易于决策判别,在水文水资源系统已得到广泛应用<sup>[105-107]</sup>。如土地整理或土地复垦多个方案的评价、不同区域经济类型区的评价与排序、不同区域土地可持续评价、土地利用规划方案评价、不同区域土地生态安全评价等问题研究,均可应用模糊优选方法。

### 1.7 基于模糊 C-均值算法的模糊聚类与模糊识别方法

基于模糊 C-均值算法的模糊聚类与模糊识别方法是在模式未知或已知的情况下,利用已知待分类样本指标,按照一定算法建立模式和计算待分类样本模糊识别矩阵,根据最大隶属原则确定样本所属类别的方法<sup>[108]</sup>。该方法基于模糊环境下的目标函数建立计算模型,理论基础严密,易于程序化。模糊聚类与模糊识别方法在水文预报、环境质量评价、水质质量评价、图象识别等方面已得到广泛应用。经检索文献,1980年以来,仅有1篇论文将该方法应用于喀斯特石漠化危险度评价<sup>[109]</sup>。

模糊聚类与模糊识别方法将在土地利用类型

识别、土地生态环境评价、土地资源功能区的划分、遥感图象识别、土壤类型识别、地貌类型划分、基于高光谱分析的土地质量指标反演等问题中得到应用。另外,利用模糊聚类与模式识别方法也可以确定评价指标的权重<sup>[110]</sup>。

### 1.8 模糊预测方法

模糊预测是以模糊数学基本理论作为计算和处理手段的预测方法<sup>[111]</sup>。常用的模糊预测方法包括模糊回归预测、基于模糊聚类分析的预测、集值统计预测、模糊推理预测、模糊多项式预测、基于模糊识别的预测<sup>[112]</sup>、模糊马尔柯夫链状预测等。经检索文献,1980年以来,在土地资源管理领域至今未见模糊预测方法的应用。

在土地资源管理中存在许多预测问题,如土地退化趋势预测、土地质量变化趋势预测、区域粮食产量预测、耕地数量变化预测、土地储备量预测等,而且存在一些不确定性(随机性和模糊性)因素的影响,因此,应用模糊预测方法更具优越性。模糊预测方法将在诸如上述的土地资源预测问题中得到应用。

### 1.9 模糊规划方法

线性规划是目前应用最为广泛的一种系统优化方法,在土地资源优化配置和地区经济规划中已得到应用。模糊线性规划是将线性规划的约束条件或者目标函数模糊化,引入隶属函数,从而导出一个新的线性规划问题,它的最优解称为原问题的模糊最优解。经检索文献,1980年以来,该方法在土地资源评价已得到初步应用,累计发表论文7篇,主要应用在作物布局规划<sup>[113]</sup>、土地利用规划<sup>[114-116]</sup>、土地整理优化<sup>[117]</sup>、城市用地结构优化<sup>[118]</sup>等方面,在中国土地资源生产能力与人口承载力研究中也得到应用。

土地利用规划受多种因素的影响和约束,而这些约束往往又是模糊的,特别是长期的土地利用规划、另外县级以下的规划部门又缺乏科学的手段,利用土地利用的模糊性约束,建立土地利用模糊最优规划模型是切合实际的<sup>[114]</sup>。对于多目标多阶段的规划问题,可以采用多目标系统模糊优选动态规划方法<sup>[119-120]</sup>。模糊规划方法将在地区经济规划、土地利用规划、土地资源优化配置、土地资源人口承载力分析等方面得到进一步应用。

### 1.10 模糊神经网络算法

由两个或两个以上的模糊神经元相互连接而



成的复杂信息处理系统称为模糊神经网络<sup>[121]</sup>。模糊神经网络具有学习、联想、自适应性,又具有模糊思维的功能,克服神经网络不能处理模糊信息的不足。经检索文献,1980年以来,该方法在土地资源评价已得到初步应用,累计发表论文7篇,主要应用在土地质量评价<sup>[121-123]</sup>、土地适宜性评价<sup>[124]</sup>、土地利用决策<sup>[125-126]</sup>、遥感图像数据处理<sup>[127]</sup>、建设用地量预测<sup>[128]</sup>等。

利用模糊神经网络可以从给定的数据中挖掘潜在的规则与知识。模糊神经网络主要应用于分类、评价、定权、推理、预测等方面,因此,模糊神经网络算法将在土地资源评价、土地资源区划、土地资源优化配置、土地覆盖类型分类、遥感图像信息提取、土地可持续利用评价、土地集约利用评价、区域土地需求量预测、土地质量指标高光谱反演等研究中得到进一步应用。

### 1.11 模糊逻辑

模糊逻辑中,一个模糊命题的取值已不是单纯的“真”与“假”,而是真假的程度如何,用 $[0,1]$ 的一个实数表示。模糊逻辑是一种形式化的连续值逻辑,它在开关理论、信息处理、似然推理、用模糊语言控制复杂生产过程等方面都有着广泛应用<sup>[129]</sup>。经检索文献,1980年以来,该方法在土地资源评价已得到初步应用,累计发表论文5篇,主要应用在基于遥感影像的土地覆盖信息提取<sup>[130-131]</sup>、土地适宜性评价<sup>[132]</sup>、城市土地集约化利用评价<sup>[133]</sup>、土地利用<sup>[134]</sup>等方面。

基于模糊逻辑的评价、控制、推理、预测等方法,将在土地资源的可持续利用评价、土地资源优化配置决策、土地质量指标高光谱反演、土地退化趋势预测、土地质量评价等方面得到应用。

### 1.12 模糊控制

模糊控制不要求建立被控对象的完整精确的数学模型,只需将系统运行规律及技术人员的经验加以总结,并用自然语言表达出来,然后用数学方法使之定量化并进行运算与推理<sup>[135]</sup>。经检索文献,1980年以来,仅有1篇论文应用模糊控制进行土地价格评估<sup>[136]</sup>。由于影响土地价格的繁华程度、交通条件、基础设施及其交互作用下的宗地价格构成一个复杂的、难以确定数学模型的控制系統,应用模糊控制预测土地评估是可行的。

模糊控制实际上是一种语言控制,它的优点是可以模拟人的思维,模仿人操作策略,便于进行人

机对话。社会发展是由人口、资源、环境和经济构成的复杂系统,受到众多定性与定量因素的影响,因此,模糊控制将会在土地资源评价问题得到进一步应用,如土地可持续发展利用、耕地数量控制、环境质量控制、土地退化控制与治理、土地生态环境评价与控制等。

## 2 使用模糊数学方法应注意的问题

### 2.1 合理描述模糊概念

土地资源评价问题中客观存在着众多模糊概念,合理描述模糊概念是用好模糊数学方法的基础性工作。模糊概念一般用隶属函数表示,对隶属函数的确定可根据大量已有资料采用模糊统计的方法,也可以先通过统计分析确定隶属函数的分布形式,再借用已有的模糊分布,通过调整分布参数使之符合研究问题实际。根据问题的性质,明确隶属函数是采用绝对隶属函数还是相对隶属函数;对于评价问题一般采用相对隶属函数比较方便。

### 2.2 注重多种模糊数学方法并用

从数学角度而言,对于复杂的土地资源评价问题,任何单一的数学方法都难以凑效,必须利用多种方法或模型群进行描述、对比验证。如评价某一大区域内的土地集约利用程度问题,首先利用模糊聚类分析方法对区域内的各小区域进行系统分类;然后利用模糊综合评价方法进行类内区域土地集约利用程度评价;根据存在的问题,再利用模糊规划、模糊控制方法研究提高土地集约利用的对策。

### 2.3 注重成因分析、统计分析与模糊集分析相结合

土地资源评价系统是由众多因素综合作用的,合理选择评价因子是做好评价工作的前提。筛选评价因子必须从成因的角度去选择,利用统计分析方法,从列出的指标中选择与评价对象相关关系较大的指标作为评价因子,常用的方法包括层次分析法、主成分分析法、相关系数法等统计分析方法;然后,利用模糊集分析的方法,对所研究的问题进行模糊表达、建模分析、推理与论证、控制与决策。这种思维方式称为成因分析、统计分析与模糊集分析相结合的方法论<sup>[108]</sup>。

### 2.4 注重在应用实践中创新

创新性应用模糊数学方法应包括两个方面。一方面,是根据数学模型的特点和所研究问题的性质,巧妙结合,灵活应用,克服生搬硬套,做到一种

方法多种应用方式;另一方面,模糊数学方法本身具有自身的规律,而土地资源评价问题又具有本学科的特色,现有的模糊数学方法不一定完全满足待解决问题的需要,因此,在应用中对现有的模糊数学方法进行改进,甚至借助模糊数学方法的思维独立构造方法体系<sup>[137-138]</sup>,是十分必要的。这也是当前土地资源学科研究中急需解决的问题<sup>[139]</sup>。

### 3 结论与建议

自 1980 年以来,模糊数学方法在我国土地资源评价中已逐步得到应用,并且以模糊综合评价方法和模糊聚类分析方法应用为主。模糊综合评价主要应用在土地适宜性评价、土地质量评价、可持续发展评价等方面;模糊聚类分析方法主要应用在土地利用现状的分区、土地资源评价等方面。研究论文分散在几十种期刊上,论文作者比较分散。另外,本文阐述了模糊数学方法在土地资源评价中的应用方向和应用中的注意事项,供同行研究借鉴。

土地资源评价中客观存在着模糊性,利用模糊数学方法具有其优越性,应进一步加强应用研究。笔者建议:一是设立土地资源学模糊集分析研究方向,对基础较好的研究人员进行专项研究资助,深入开展模糊数学方法在土地资源评价中的应用研究,逐步建立稳定的研究梯队;二是开发模糊数学方法应用系统软件,为模糊数学方法在土地资源学科中广泛应用提供技术支持。

### 参考文献

[1] 傅伯杰. 土地评价研究的回顾与进展. 资源科学, 1990, 12(3):1-7.

[2] 倪绍祥, 陈传康. 我国土地评价研究的近今进展. 地理学报, 1993, 48(1):75-83.

[3] 倪绍祥. 近十年来中国土地评价研究的进展. 自然资源学报, 2003, 18(6):672-683.

[4] 陈百明. 土地资源评价方法现状及发展趋势的探讨. 中国土地, 1984(4): 52-58.

[5] 王国强. 土地质量的模糊数学评价:以信阳地区为例. 河南科学, 1985(4): 65-77.

[6] 孙曰瑶. 模糊数学在土地评价中的应用实例. 宁夏大学学报(自然科学版), 1990, 11(1):68-75.

[7] 许学工. 黄河三角洲土地质量模糊综合评价. 自然资源学报, 1992, 7(1):43-54.

[8] 胡兵, 熊德祥, 潘剑君. 农用地质量模糊综合评价模型的建立与检验. 南京农业大学学报, 1998, 21(3):64-69.

[9] 刘哲民. 模糊数学在土地评价中的应用. 宝鸡文理学院学报(自然科学版), 1999(1):84-78.

[10] 石常蕴, 周慧珍. GIS 技术在土地质量评价中的应用:以苏州市水田为例. 土壤学报, 2001, 38(1):17-20.

[11] 赵静珍, 刘淑玲, 任凌宇, 等. 土地利用质量综合评价的研究. 河北省科学院院报, 2002, 19(3):79-83.

[12] 敖登高娃, 巴雅尔, 宝音. 半干旱区县域自然资源评价. 半干旱区资源与环境, 2004, 18(5):99-102.

[13] 方明, 陈帮本, 杨崇瑞. 江苏海滩资源围垦适宜性模糊综合评价. 南京农业大学学报, 1988, 11(3):68-73.

[14] 张运鹏, 管华. 开封市郊区土地适宜性评价. 地域研究与开发, 1993, 12(3):26-31.

[15] 姚建民. 黄土塬沟壑区土地开发适宜性评价方法研究. 自然资源学报, 1994, 9(2):185-192.

[16] 刘耀林, 刘艳芳, 夏早发. 模糊综合评判在土地适宜性评价中应用研究. 武汉测绘科技大学学报, 1995, 20(1): 71-75.

[17] 杜红悦, 李京. 土地农业适应性评价方法研究与系统实现:以攀枝花为例. 资源科学, 2001, 23(5):41-45.

[18] 蔡靖疆, 辜寄蓉, 王成善, 等. 岷江上游土地资源适应性评价研究. 矿物岩石, 2001, 21(1):91-97.

[19] 程克坚, 彭补拙, 濮励杰. 干旱绿洲地区土地资源可持续利用初探:以新疆吐鲁番市为例. 资源科学, 1998, 20(4): 14-18.

[20] 李堂军, 孙承爱, 顾洪利. 矿区可持续发展分层模糊综合评价方法研究. 矿冶工程, 2001, 21(3):15-17.

[21] 王宪恩, 董德明, 赵文晋, 等. 区域可持续发展模糊评价. 东北师范大学学报自然科学版, 2003, 35(3):79-83.

[22] 王超, 李新举, 边微, 等. 泰安市土地利用可持续评价. 山东农业大学学报, 2004, 35(3):401-406.

[23] 许素芳, 周寅康. 开发区土地利用的可持续性评价及实践:以芜湖经济技术开发区为例. 长江流域资源与环境, 2006, 15(4):453-457.

[24] 吴良才. 土地价格评估理论与方法的研究. 华东地质学院学报, 1997, 20(1):66-69.

[25] 葛雄山. 宗地估价的模糊综合评估法. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2001, 27(3):345-348.

[26] 单胜道, 龙建新. 模糊综合评估法及其在农地价格评估中的应用. 同济大学学报 (自然科学版), 2002, 30(8): 1010-1013.

[27] 杨兆强, 康玉林. 应用 FUZZY 使土地评估方法最优化. 电力学报, 2002, 17(3):164-165.

[28] 石磊, 李青. 基于模糊评价方法的广州市土地竟投风险决策评价方法. 广东轻工职业技术学院学报, 2004, 3 (1):48-52.

[29] 张合兵, 靳海亮, 常玉光. 矿区土地复垦中的环境质量评价例. 黑龙江工程学院学报, 2001, 15(4):33-35.

[30] 孔令伟, 宋丽丽. 模糊评价在土地复垦效益中的应用. 煤炭技术, 2007, 26(3):104-106.

[31] 吕晓军, 罗林涛. 模糊数学在土地开发整理新增耕地质量评价中的应用. 西安科技学院学报, 2004, 24(1): 65-

- 66.
- [32] 王媛玲, 赵庚星, 李占军. 土地整理效益项目后综合评价. 农业工程学报, 2006, 22(4): 58–61.
- [33] 魏靖宇. 用模糊综合评价方法评定城市土地级别. 华东地质学院学报, 1997, 20(1): 70–75.
- [34] 孔垂思, 张德刚, 严修儒, 等. 基于 GIS 技术的农用地定级研究: 以仙桃市为例. 安徽农业科学, 2006, 34(6): 3146–3147.
- [35] 李长智, 赵明, 严鹏, 等. 运用模糊数学理论进行土地生产力分析. 水土保持研究, 1995, 2(1): 85–90.
- [36] Wang Jiuli, Su Xiqin. Construction and application of model of appraising land resources for its productive potentiality in Huangyukou Small Watershed. Journal of Beijing Forestry University, 1998, 7(2): 97–109.
- [37] 牛彦斌, 秦双月, 周亚鹏, 等. GIS 支持下的耕地地力评价研究. 河北农业大学学报, 2004, 27(3): 84–88.
- [38] 吴登茹. 用模糊数学方法综合评价水热气候资源: 以关中地区为例. 中原地理研究, 1984(1): 13–23.
- [39] 钱金平. 土地生态系统定量评价初探. 城市环境与城市生态, 2001, 14(2): 54–55.
- [40] 韩立达. 应用模糊数学方法评价大气自动地面点的污染等级. 中国环境监测, 1989, 5(2): 41–42.
- [41] 赵艳, 赵英武, 郑帅, 等. 大气环境质量模糊评价的可视化实现. 中国环境监测, 2003, 19(5): 48–50.
- [42] 王昱生, 潘介正. 草场资源综合评价的数学模型. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(3): 165–172.
- [43] 刘闯. 大连瓦房店市苹果林地资源综合评价数学模型. 北京大学学报(自然科学版), 1987(4): 79–86.
- [44] 黄雪樵. 遥感数据与 DTM 结合进行山地土地资源评价. 遥感技术与应用, 1987(4): 58–61.
- [45] 赵童, 徐慰慈. 城市土地开发产生的交通影响程度的模糊评价方法. 公共交通科技, 2000, 17(1): 69–74.
- [46] 丰伟, 李雪芹. 城市轨道交通与土地开发相互关系的模糊评价. 城市轨道交通, 2004, 26(9): 6–7.
- [47] 张金亭, 吴秀, 刘越岩. 基于模糊综合评判的土地利用规划实施评价方法. 国土资源科技管理, 2005(5): 82–86.
- [48] 张克斌. FUZZY 模式识别法在土地沙漠化程度评价中的应用. 中国沙漠, 1990, 10(1): 22–28.
- [49] 汤洁, 赵凤琴, 李昭阳, 等. GIS 技术支持下的土地盐碱化敏感性评价. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, 36(5): 841–846.
- [50] 李发斌, 李何超, 周家云. 矿山土地破坏程度评价方法研究. 采矿技术, 2006, 6(2): 25–28.
- [51] 李忠魁. 水土保持规划中的软决策. 水土保持通报, 1986, 6(6): 1–11.
- [52] 李杰. 土地利用图的评价方法. 宁夏大学学报(自然科学版), 1996, 17(2): 64–68.
- [53] 沈陈华. 土地利用现状数据建库数据质量评价与控制研究. GIS 技术, 2006(1): 50–52.
- [54] 张鹏飞. 模糊数学在地籍测量成果验收中的应用. 矿山测量, 2002(2): 46–47.
- [55] 李根长, 王自果, 薛华成. 模糊综合评价三亚旅游现状. 系统工程理论与实践, 1999, 19(5): 110–113.
- [56] 王国霞, 佟连军, 马延吉. 吉林省通榆县旅游资源模糊评价研究. 地理学与国土研究, 2002, 18(1): 107–110.
- [57] 王志忠, 李忠魁. 土壤资源的模糊综合评价与模糊聚类方法. 土壤通报, 1987, (5): 199–202.
- [58] 李萍. 藏东南耕作棕壤养分模糊综合评价. 土壤, 2003, 35(3): 435–437.
- [59] 蔡为民, 薛岩松. 土地集约利用的模糊评判. 统计与决策, 2007(2): 51–53.
- [60] 杨美华, 王铭文, 刘蘼蘼. 东北区农业气候的模糊聚类及其区划. 东北师范大学学报(自然科学版), 1982(3): 109–115.
- [61] 李建军. 甘肃省黄土丘陵沟壑区第三副区小流域综合治理模式研究. 水土保持研究, 1994, 1(1): 54–62.
- [62] 黄贤金, 严金明, 王胜, 等. 江苏建湖县土地利用现状类型区评价. 南京农业大学学报, 1994, 17(3): 102–110.
- [63] 宋桂琴, 王丽芝. 黄土高原重点水土流失区土地利用分区. 水土保持通报, 1996, 16(1): 36–41.
- [64] 郑新奇. 山东省土地利用分区界限模型判别的探讨. 农业系统科学与综合研究, 1996, 12(3): 172–175.
- [65] 李景国, 冯忠江. 河北省土地利用现状类型区分析. 国土开发与整治, 1997, 7(1): 55–58.
- [66] 黄贤金, 陈利根. 大城市郊区土地利用结构类型区评价: 以南京市为例. 长江流域资源与环境, 1997, 6 (2): 137–142.
- [67] 赵小敏, 鲁成树, 刘菊萍. 江西省土地利用分区研究. 江西农业大学学报, 1998, 20(3): 387–392.
- [68] 孙鹏举, 黄淑娟, 王瑞. 酒泉地区土地利用现状研究. 草业科学, 2000, 17(2): 13–18.
- [69] 周志跃, 陈俐谋, 张孝成. 重庆市土地利用现状分区研究. 西华师范大学报(自然科学版), 2006, 27(2): 149–152.
- [70] 朱枝琳. 基于模糊聚类的城市功能区划分研究. 大坝与安全, 2006(增刊), 28–31.
- [71] 汪有科, 王培森. 模糊聚类分析法在水土流失分类中的应用. 水土保持通报, 1986(3): 93–96.
- [72] 吴耀. 模糊聚类分析在湖北省新洲县土壤分类中的应用. 湖北农业科学, 1988(11): 13–16.
- [73] 王晓鹏. 模糊聚类与主成份分析在土地分等定级方法之研究. 青海师范大学学报(自然科学版), 1998(3): 57–63.
- [74] 王晓鹏, 张希珍. 模糊聚类分析在土地管理中的应用. 青海师范大学学报(自然科学版), 1999(2): 27–30.
- [75] 王庆日, 吕亮卿. 农用土地分等定级的 FUZZY 方法研究. 山西农业大学学报, 1999, 19(3): 229–233.
- [76] 崔振洋. 模糊聚类分析在土地管理中的应用. 山西农业大学学报, 1993, 13(2): 141–144.
- [77] 刘陶琨. 模糊聚类分析在土地定级估价商服中心类型划分中的应用. 测绘信息与工程, 2004, 29(3): 9–11.
- [78] 徐良, 孟志勇, 阚叔愚. 模糊聚类法对我国划拨土地使用权交易上的应用研究. 北方交通大学学报, 1999, 23(1): 30–33.



- [79] 武建军, 杨思全. 基于模糊模式识别理论的土地利用合理性分析. 地理科学进展, 2002, 21(3):230-236.
- [80] 沈陈华, 郜莉. 建设城乡一体化地籍调查模型的研究. 南京师大学报(自然科学版), 2004, 27(4):107-110.
- [81] 江标初, 陈映鹰. 模糊分类在土地利用/覆被变更调查中的应用. 安徽农业科学, 2005, 33(6):1121-1122.
- [82] 孙虎. 陕西延河流域地貌组合类型的模糊划分. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1996, 24(4): 229-233.
- [83] 张兵. 黄土丘陵区数字地貌模型与遥感影像分类. 环境遥感, 1996, 11(4):254-259.
- [84] 郑家祥, 应龙根. 模糊聚类分析法在环境质量评价中的应用. 华东师范大学学报 (自然科学版), 1984 (3): 106-112.
- [85] 张伟. 模糊聚类分析法在土地资源评价中的应用: 以湖北省大冶县为例. 武汉师范学院学报 (自然科学版), 1984(2):108-115.
- [86] 张万忠. 大连地区土壤资源评价. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 1988(3):48-56.
- [87] 赵占群, 郭远航. 模糊聚类分析法在地下水水质评价中的应用. 交通环保, 1988(Z1):21-23.
- [88] 赵伊川. 辽南丘陵区小区域土地研究: 以金县东南部为例. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 1988(2):62-70.
- [89] 封志明. 土地资源定量化评价的 MFICA 新模式. 农业系统科学与综合研究, 1994, 10(1):36-40.
- [90] 王云琦, 王玉杰, 等. 重庆缙云山典型林分林地土壤抗蚀性分析. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6):775-780.
- [91] 张光宇, 刘永清. 基于模糊相似关系的土地资源空间分布系统递阶结构模型. 自然资源学报, 1998, 13(4): 352-358.
- [92] 张光宇, 刘永清. 土地资源空间优化布局的系统模糊结构模型. 技术经济与管理研究, 1998(3):34-35.
- [93] 沙晋明, 李晓梅. 遥感信息支持下的模糊相似递阶结构模型的应用与实现:山区土地资源开发类型空间分布的研究. 农业系统科学与综合研究, 2003, 19(2):34-35.
- [94] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用. 武昌:华中理工大学出版社, 2000.
- [95] 赵占群. 模糊性相似优先法在大气环境质量区域划分中的应用. 黑龙江环境学报, 1989(2):29-33.
- [96] 朱明德, 寇文正, 彭世揆, 等. 模糊数学及其在林业中的应用. 林业资源管理, 1981(3):17-32.
- [97] 杨艳生. 土壤资源的模型识别评价方法. 资源科学, 1986 (2):43-48.
- [98] 昌玮. 模糊模型识别及其在土地质量评价中的应用. 交通环保, 1988(Z1):1-8.
- [99] 林光纪. 应用模糊数学方法识别福建北部海区带鱼捕捞群体年龄组成的相似度. 海洋湖沼通报, 1988, (2):92-97.
- [100] 武建军, 杨思全. 基于模糊识别理论的土地利用合理性分析. 地理科学进展, 2002, 21(3):230-236.
- [101] 王宇, 臧婁斌. 基于模糊识别的矿区塌陷区土地复垦潜力评价. 山西建筑, 2006, 32(2):120-121.
- [102] 陈守煜. 工程水文水资源系统模糊集分析理论与实践. 大连:大连理工大学出版社, 1998.
- [103] 陈守煜. 水资源与防洪系统可变模糊集理论与方法. 大连:大连理工大学出版社, 2005.
- [104] 杨建强, 林年丰. 多目标模糊优选模型在环境质量评价中的应用. 长春科技大学学报, 2000, 30(2):381-383.
- [105] 许开立, 陈宝智, 陈全, 等. 基于模糊熵的多目标模糊优选模型及应用. 煤炭学报, 2000, 25(4):397-400.
- [106] 韩宇平, 解建仓. 多层次多目标模糊优选模型在水安全评价中的应用. 资源科学, 2003, 25(4):37-42.
- [107] 刘金禄, 陈守煜. 模糊优选保序条件及其在防洪调度中的应用. 大连理工大学学报, 2004, 44(4):571-574.
- [108] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [109] 麦雄发, 李玲. 喀斯特石漠化危险度的模糊模式识别. 广西师范学院学报(自然科学版), 2004, 21(3):47-50.
- [110] 李希灿, 解明东, 许德生, 等. 模糊聚类与模糊识别理论模型研究. 模糊系统与数学, 2002, 16(2):58-64.
- [111] 陈世权, 郭嗣琮. 模糊预测. 贵州: 贵州科技出版社, 1994.
- [112] 李希灿, 宗学才, 李军, 等. 模糊综合预测模式与应用. 山东农业大学学报, 2003, 34(2):267-271.
- [113] 李天顺. 作物布局模糊规划的研究:以河南省封丘县为例. 生态学杂志, 1987, 6(5):31-34.
- [114] 白志明, 张玉峰. 土地利用的模糊最优规划. 山西农业大学学报, 2001, 11(1):42-46.
- [115] 刘宇, 曲波, 朱仲英, 等. 一种土地使用模糊空间决策方法. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 28(2):208-211.
- [116] 于苏俊, 张继. 遗传算法在多目标土地利用规划中的应用. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(5):62-66.
- [117] 贾泽露, 刘耀林, 耿冯康. 基于模糊线性规划的土地整理优化研究. 测绘信息与工程, 2004, 29(4):36-39.
- [118] 俞礼军, 段国钦, 靳文舟. 基于交通约束的城市最佳用地结构模糊规划模型研究. 交通与计算机, 2007, 25(2): 6-8.
- [119] 陈守煜. 系统模糊集决策理论与应用. 大连: 大连理工大学出版社, 1994.
- [120] 于苏俊, 张继, 夏永秋. 基于遗传算法的可持续土地利用动态规划. 长江流域资源与环境, 2006, 15 (2): 180-184.
- [121] 李晓忠, 汪培庄, 罗承忠. 模糊神经网络. 贵州:贵州科技出版社, 1994.
- [122] 胡月明, 薛月菊, 李波, 等. 从神经网络中抽取土地评价模糊规则. 农业工程学报, 2005, 21(12):93-97.
- [123] 胡月明, 郭志达, 郭玲香. 模糊联想记忆神经网络在土地质量评价中的应用. 南京农业大学学报, 2005, 22(1): 104-107.
- [124] 焦利民, 刘耀林. 土地适宜性评价的模糊神经网络模型. 武汉大学学报信息科学版, 2004, 29(6):513-516.
- [125] 王玉敏, 周孝德. 可持续发展评价指标体系模型研究. 灌溉排水, 2002, 22(4):70-72.

[126] 郑 定. 整体的知识发现与 GIS 方法对土地利用的语义决策研究. 中国土地科学, 2001, 15(4):39–42.

[127] 李朝峰, 王桂梁. 模糊控制 BP 网络的遥感图像分类方法研究. 中国矿业大学学报 (自然科学版), 2001, 30(3): 311–314.

[128] 黄海, 祝国瑞. 基于模糊神经网络的土地储备量预测研究. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(6):561–563.

[129] 贺仲雄. 模糊数学方法及其应用. 天津: 天津科学技术出版社, 1985.

[130] 莫登奎, 林辉, 孙华, 等. 基于高分辨率遥感影像的土地覆盖信息提取. 遥感技术与应用, 2005, 20(4):411–414.

[131] 陈杰, 孙志英, 檀满枝. 模糊逻辑在土地利用遥感分类中的应用. 土壤学报, 2007, 44(5):769–775.

[132] 刘耀林, 焦利民. 基于计算机智能的土地适宜性评价模型. 武汉大学学报信息科学版, 2005, 30(4):283–287.

[133] 赵姚阳, 濮励杰, 卜崇峰. 基于模糊逻辑的城市土地集约化利用评价. 人文地理, 2006(1):17–20.

[134] 喻永平, 陈晓勇, 都洁. 基于数学模糊逻辑的土地利用动态可视化. 城市勘测, 2007(4):39–42.

[135] 胡淑礼. 模糊数学及其应用. 四川:四川大学出版社, 1994.

[136] 吴良才, 胡振琪. 基于模糊控制的土地价格评估. 东华理工学院学报, 2004, 27(2):81–84.

[137] 张生元, 武强, 成秋明, 等. 基于模糊预测对象的证据权方法及其在土地沙漠化评价中应用. 地球科学: 中国地质大学学报, 2006, 31(3):389–393.

[138] 陈守煜, 柴春岭, 苏艳娜. 可变模糊集方法在土地适宜性评价中的应用. 农业工程学报, 2007, 23(3):95–97.

[139] 中国土地学会, 中国土地勘测规划院, 国土资源部土地利用重点实验室. 土地科学学科发展蓝皮书 (2006 年). 北京:中国大地出版社, 2007: 97–98.

# Progress in the Application of Fuzzy Mathematics Methods in China Land Resource Evaluation

LI Xican<sup>1,2</sup>, WANG Jing<sup>2</sup>, SHAO Xiaomei<sup>2</sup>

(1. College of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 270108, China;  
2. Key Lab of Land Use, Ministry of National Land and Resources, Beijing 100035, China)

**Abstract:** The purpose of this paper is to review recent 30 years research of China’s land resource evaluation by using fuzzy mathematics methods. The results indicate that, since 1980 fuzzy mathematics methods have been applied to land resource evaluation, the relevant articles are not only distributed on many journals, but the authors are also scatterd. Especially, the major applied fuzzy mathematics methods are fuzzy comprehensive evaluation and fuzzy classification, and the articles using fuzzy comprehensive evaluation are 46% of the indexed papers, and the articles using fuzzy classification are 26% of the indexed papers. The method of fuzzy comprehensive evaluation is mainly applied in land suitability judgment, land quality evaluation and land sustainable development evaluation. The method of fuzzy classification is mainly applied to clustering region of land use condition and land resource evaluation. At the same time, the further application directions are the land resource evaluation, clustering, planning, decision making, forecast and control. When we use the fuzzy mathematical methods, we should pay attention to expressing the fuzzy concept rationally, utilizing multiple methods and innovating in practice.

**Key words:** land resource evaluation; fuzzy comprehensive evaluation; fuzzy classification