

# 基于网格法与 ANN 的县域喀斯特土地系统功能分区研究

王德光<sup>1</sup>, 胡宝清<sup>2</sup>, 饶映雪<sup>3</sup>, 李文慧<sup>4</sup>

(1. 福建师范大学 地理科学学院, 福州 350001; 2. 广西师范学院 资源与环境科学学院, 南宁 530001;

3. 湖北城市建设职业技术学院, 武汉 430070; 4. 淮阴师范学院 城市与环境学院, 江苏 淮安 223300)

**摘要:**喀斯特土地资源是一类独特的土地资源,只有统筹规划,合理分区才能保障喀斯特地区土地资源的可持续利用。选择都安典型喀斯特土地系统为研究对象,统筹区域土地经济、生态和社会发展功能的原理,以 2009 年相关分析数据构建自然资源、社会、经济类共 16 项评价指标。根据指标性质,运用效用函数进行标准化处理;然后运用网格法将都安县土地系统划分为 313 个网格单元,以 ANN 的 BP 模型进行系统功能分区评价,最后将结果反映在图上。结果显示:都安县喀斯特土地系统可分为生态环境恢复区、保护性开发区、生态经济协调区、人文建设区 4 个功能区域。据此可以保证喀斯特土地利用的合理方向,使都安县土地资源配置效率得到最大化并实现土地的可持续利用。该分区方法较为科学,反映的结果较为客观,可为其他喀斯特地区的土地利用活动提供参考,但在指标的选取方面还有待进一步完善。

**关键词:**土地系统; 功能分区; 喀斯特; 网格法; ANN

中图分类号:F301.24;P642.25

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0131-06

## Research on Functional Zoning of Karst Land System at County Regional Scale Based on the Methods of Lattice and ANN

WANG De-guang<sup>1</sup>, HU Bao-qing<sup>2</sup>, RAO Ying-xue<sup>3</sup>, LI Wen-hui<sup>4</sup>

(1. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350001, China;

2. Faculty of Resources and Environmental Science, Guangxi Teachers Education University, Nanning 530001, China;

3. Department of Economics and Management, Hubei Urban Construction and Technological College, Wuhan 430070,

China; 4. School of Urban and Environmental Sciences, Huaiyin Normal University, Huaian, Jiangsu 223300, China)

**Abstract:** Karst land resource is one unique class of land resources, that only overall planning and rational partition can safeguard its sustainable use. Du'an typical Karst land system was selected as an research object. Based on the theory of regional land ecology, economy and society function development, with the data of 2009 related construct totally 16 evaluations on natural resources, social and economic etc. According to the nature of indicators, standardize the indicators with the utility function, then, by using the method of lattice, Du'an land system was divided into 313 grid cells, the regional functions were evaluated according to BP neural network technology. Finally, the results were displayed in the form of the map. The results show that the Du'an karst land system can be divided into 4 functional zones such as ecological environment restoration zone, protective development zone, ecological and economic co-ordination zone and humanity built-up zone. Based on the function zones, the land use direction can be ensured reasonably, and the efficiency of the county land resources allocation can be maximized, the land use action can be sustainable. This partition method is more scientific and the result is more objective, which can provide a reference for land use activities of other karst areas, however, the selection of indicators should be further improved.

**Key words:** land system; functional zoning; karst; method of lattice; ANN

收稿日期:2011-07-12

修回日期:2011-12-17

资助项目:国家自然科学基金(40871250);广西自然科学基金重点项目(2010GXNSFA013006,0832021Z)

作者简介:王德光(1982—),男,博士研究生,研究方向:土地利用与生态安全。E-mail:wanwanshun@qq.com

通信作者:胡宝清(1966—),男,教授,博士生导师,主要从事基于 3S 技术的喀斯特石漠化系统研究。E-mail:hbq1230@sina.com

土地资源是人类生存与发展的最基本的资源,是人地系统这一相互作用、相互影响的开放系统的重要组成部分之一<sup>[1]</sup>,对其有效合理地开发利用,是保障一个地区社会、经济、生态三者有效统一的重要途径,也是保持土地可持续利用、实现土地生产力持续增长和稳定性的有效方式。为了实现这一目标,有必要在宏观上进行统筹,综合考虑区域的资源环境承载能力与区域发展和土地用途管制的要求,从系统的角度进行功能区划,并有针对性地制定调控指标和措施,实行差别化管理<sup>[2]</sup>。通过土地利用功能分区可以调节各类土地利用结构之间的关系,对不适当的土地利用方式加以限制,做到因地制宜、地尽其用,解决土地利用的近期利益与长远利益之间的矛盾,从而达到人地关系的真正和谐,取得社会效益、经济效益和生态效益的协调统一,实现对土地资源的永续利用,对于保证整个经济社会的可持续发展具有十分重要的意义<sup>[3]</sup>。

喀斯特土地系统是由喀斯特自然环境、人类土地利用活动及其影响因素构成的独特的地域综合体,是一个多因素、多变量、非线性的典型复杂巨系统。由于喀斯特自然环境处于一种碳物质能量循环变异极强烈和快速的状态,使得喀斯特土地系统具有环境容量低、生物量小、群落植被替代慢、生态环境系统变异敏感度高、空间转移能力强、稳定性差等一系列生态脆弱性特征,是承灾能力弱,灾害承受阈值弹性小的一种脆弱环境系统<sup>[4-5]</sup>。研究喀斯特土地系统的土地功能分区无疑具有更为典型的指导意义。BP 神经网络方法是由大量的处理单元(神经元)互相连接而成的网络,为了模拟大脑的基本特性,在神经科学研究的基础上,提出了神经网络模型<sup>[6]</sup>。它致力于按照生物神经系统的方式处理现实世界的客观事物,目前在土地利用评价、预测模拟、土地退化预警等方面得到了部分应用<sup>[7-10]</sup>。本研究基于 BP 人工神经网络模型自身的特点,构建相关的指标体系,对喀斯特土地系统功能区划进行研究,以期能为喀斯特地区的土地利用活动提供有益的参考。

## 1 研究区概况

都安瑶族自治县(下称,都安县)位于广西壮族自治区中部偏西。地处云贵高原向广西盆地过渡的斜坡地带,都阳山脉东段,东经  $107^{\circ}51'$ — $108^{\circ}30'$ ,北纬  $23^{\circ}47'$ — $24^{\circ}35'$ ,南北长 100 km,东西宽 90 km,幅员面积 4 095.2 km<sup>2</sup>。都安县总地势为北西高,南东低,境内石山面积占全自治县总面积的 84.35%,故有“石山王国”之称。都安县属南亚热带季风气候区北缘,气候亦有过渡特点,受地形、地质构造和岩溶山区水文、植被条件的制约,境内各地的小气候特征较为

突出。全县年平均太阳辐射总量为 93.43 MJ/m<sup>2</sup>,年平均气温为 18.2~21.7℃。土壤以石灰岩土为主,占总面积的 83.28%<sup>[11]</sup>,地层以石炭系和二叠系的碳酸盐岩为主,约占总面积的 90%<sup>[12]</sup>。自然植被以石山区的亚热带喜钙耐旱的常绿阔叶树为主,由于人为毁林严重,多已沦为石山藤木灌丛植被<sup>[13]</sup>。都安县现辖安阳、高岭两个建制镇;另外还包括下坳、百旺、拉仁、九渡、拉烈、永安、五竹、菁盛、三弄、地苏、三只羊、保安、隆福、龙湾、大兴、加贵、东庙、古山、澄江等 20 个乡,2009 年末总人口 67.55 万人。

## 2 研究方法

### 2.1 评价指标体系的构建

土地功能分区评价指标体系是土地功能分区的基础。一个好的指标体系可以对特定区域的时空变化进行客观、有效的分析。因此,评价指标体系的构建不仅应遵循稳定性与动态性相统一、整体性和代表性相统一、科学性和实用性相统一等原则,还应该体现不同土地利用类型和利用目的的特点<sup>[14-15]</sup>。此外,土地系统功能分区的目标是多元的,它是经济、生态环境、社会综合作用的结果,所以根据区域的特点,区划评价指标体系可分为生态服务功能对土地利用的响应、土地利用的自然环境压力和社会经济效益三大部分。基于以上原则,本研究采用能够反映土地利用现状和发展趋势的指标为基础,参照国内外土地利用可持续指标<sup>[15-20]</sup>,从生态功能、社会经济、自然资源三大方面选择 16 个评价因子,构建喀斯特土地系统功能区划的评价指标体系,详见图 1。

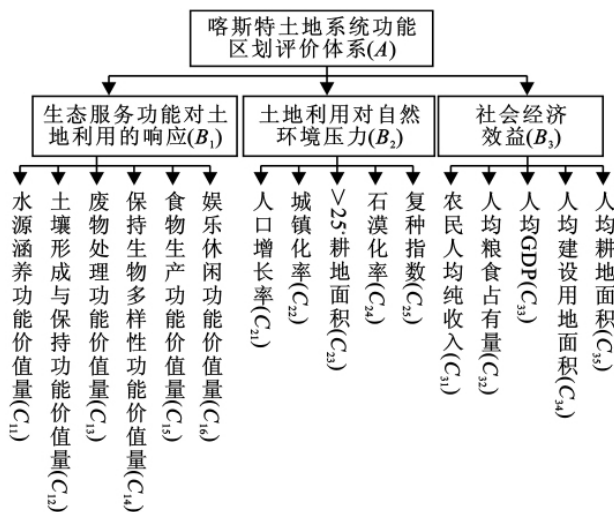


图 1 喀斯特土地系统功能分区评价指标体系

### 2.2 网格法评价单元的划分及指标提取

2.2.1 评价单元的划分 评价单元是进行土地系统功能分区评价的最小单位,具有明显的界线,是由影响土地质量的诸因素所组成的一个空间实体<sup>[13]</sup>。因

此,划分土地单元是在一定的精度要求下,按土地物性、区位条件和利用方式基本一致的原则进行。网格法进行评价单元划分的原理是选用一定大小的网格,构成覆盖分等范围的初步单元体系,网格大小根据地域的分等因素差异性和单元划分者的经验确定。然后到实地勘察,对单元内分等因素指标差异较大的再加密,最后形成的网格为评价单元。该方法的关键是如何得知地块的不同特性,进而确定方格大小以及网格内指标数据的采集与分解。该方法在机助处理条件下,因网格可取得较小,评价精度能满足要求且比较客观,加上计算机高速快捷的运算速度、准确无误的运算结果,不失为划分评价单元科学合理的方法。该方法目前在城镇土地分等定级估价当中得到了广泛的应用<sup>[21-23]</sup>,评价手段也日趋成熟,因此,本研究采用网格法来进行土地系统功能区划单元的划分。

2.2.2 网格单元指标数据的提取 评价网格单元指标数据是本次评价的基础,自然资源类的数据可以直接从遥感影像图中得出,例如石漠化面积可以用MAPGIS从遥感图中分网格提取,而大于25°耕地面积则可以将地形图叠加在遥感影像图上分网格单元提取。

对于社会经济类指标的数据分解,可按其性质将评价指标分为面状指标,即因素对土地的影响仅与因素指标值有关的评价指标和因素对土地的影响,即与因素涉及的设施规模有关,又与距设施的相对距离有关的点、线状指标。

对于评价单元网格完全处于一个行政区划内的评价指标数据可以采用以下方法进行单元网格数据的提取:

面状指标可直接采用其指标值作为单元评价的数值,点、线状指标参照土地定级评价的做法,可按照以下指数衰减公式和直线衰减公式进行数据分解<sup>[23]</sup>。

$$\text{指数衰减公式 } f_i = F(1 - \frac{d}{D}) \quad (1)$$

$$\text{直线衰减公式 } f_i = F(1 - \frac{d}{D}) \quad (2)$$

式中:  $f_i$ ——评价网格单元数值;  $F$ ——网格单元所在行政区划数值;  $d$ ——网格单元中心距行政中心的距离;  $D$ ——行政单元指标数值的最大影响距离。

对于一个网格内包含多个行政区划单元的部分区域,其评价数值的获取方法可参照以下公式<sup>[24]</sup>:

$$P = \sum_{i=1}^n S_i D_i \quad (3)$$

式中:  $P$ ——评价指标网格单元数值;  $S_i$ ——第  $i$  个行政单元在网格中的面积;  $D_i$ ——第  $i$  个行政单元单位面积上评价指标的具体数值;  $n$ ——网格中包含行政单元的个数。

经过上述处理,对都安县22个乡、镇部分土地利用自然环境压力评价指标和社会经济效益指标(城镇化率、人均建设用地、农民人均纯收入、人均GDP、人口指标等)进行提取,以得到每个网格空间数据,并以此作为土地功能区划评价的依据。

## 2.3 评价指标数据标准化及评价方法

2.3.1 评价指标数据标准化 都安喀斯特土地系统功能区划指标涉及自然、经济、社会等多方面因素,这些指标性质各异,其取值的范围也相差很大,不具有直接可比性,不便于参加评价。因此在评价比较前有必要找出一种方法,使得所有指标都转换成可以统一评价的数值,即进行无量纲化处理,将绝对的有量纲的指标转为无量纲的指标。本研究参照戴文战<sup>[25]</sup>的研究成果使用效用函数对具有不同量纲的评价指标进行处理,将其归一化到某一区间而又最大程度地反映被评估对象的真实水平。

设  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$  是被评估对象集,是综合评价指标体系中的  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$  个分指标,它们具有不同的类型和量纲。评价指标矩阵  $X$  如下:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中:  $X_{ij}$ ——第  $i$  个被评估对象的第  $j$  个分指标值。将  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_m\}$  分为三种类型,即效益型、成本型和区间型。效益型指标其值愈大愈好;成本型指标其值愈小愈好;区间型指标以其值落在某一特定区域为最佳。由于各分指标具有不同的量纲,且类型不同,故指标间具有不可共度性,难以进行直接比较,因此,在综合评价前必须把这些分指标按某种效用函数归一化到某一无量纲区间。显然,构造不同的效用函数将直接影响最终的评估结果。因此效用函数的构造是十分重要的。目前功效函数大多采用  $[0, 1]$  区间方法。这种转换方法存在三个问题:一是有效转换区间缩短为  $[a, b]$ , 且  $1 > b > a > 0$ ;二是当  $X_{ij}$  中出现次最小值远大于最小值时,实际有效转换区间将进一步大大缩短,严重影响转换精度;三是  $[0, 1]$  方法在评价中不能体现“奖优罚劣”原则,为此,采用如下基于平均水平上的效用函数。

记第  $j$  个分指标  $Z_j$  的平均值为  $\overline{Z_j}$ :

$$\overline{Z_j} = (\sum_{i=1}^m X_{ij}) / m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

(1) 对效益型指标,记中间变量为

$$M_{ij} = \frac{X_{ij} - Z_j}{|Z_j|} \quad (6)$$

(2)对成本型指标,记中间变量为

$$M_{ij} = \frac{Z_j - X_{ij}}{|Z_j|} \quad (7)$$

(3)对区间型指标,

$$\text{当 } X_{ij} \leq A, \text{ 则 } M_{ij} = \frac{X_{ij} - A}{|A|} \quad (8)$$

$$\text{当 } X_{ij} \geq B, \text{ 则 } M_{ij} = \frac{B - X_{ij}}{|B|} \quad (9)$$

$$\text{当 } B > X_{ij} > A, \text{ 则 } M_{ij} = 0 \quad (10)$$

式中  $A, B$  分别为区间型指标的最佳上下界。

则将原始指标值  $X_{ij}$  按以下公式转化到  $[-1, 1]$  区间上的效用函数值  $Y_{ij}$ 。

$$Y_{ij} = \frac{1 - e^{-M_{ij}}}{1 + e^{-M_{ij}}} \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (11)$$

**2.3.2 评价方法——BP 神经网络法** 都安县土地系统功能区划 BP 神经网络模型的输入层神经元个数由都安县土地系统功能区划指标体系指标层规定的指标个数确定,输入层神经元个数本质上就是反映都安县土地功能分区水平的因子个数,因而评价模型确定的输入层神经元个数为 16。评价模型的输出层神经元个数则由输出目标决定,模型期望的输出是都安县 313 个评价单元土地功能分区值,那么就规定输出层神经元个数为 1。评价模型的隐含层神经元个数的确定主要目的是提高网络的学习精度,其与增加隐含层层数提高学习精度相比,增加隐含层层数在结构实现上要简单很多。一般而言,BP 神经网络隐含层神经元个数越多,学习精度就越多,但是该网络推广(即将网络应用于未经学习的输入量)的能力也会越差。所以如果确定的隐含层神经元个数过多,就会影响学习速度与推广能力。对于三层网络,隐含层神经元个数可由以下公式确定:

$$j = \sqrt{m+n} + a \quad (12)$$

式中: $j$ ——隐含层神经元个数; $m$ ——输出层神经元个数; $n$ ——输入层神经元个数; $a$ ——1—10 的常数。经过多次模拟学习训练,发现本模型的隐含层神经元个数选择 7 时比较合适。综上,都安县土地功能分区 BP 神经网络模型的拓扑结构如图 2 所示。

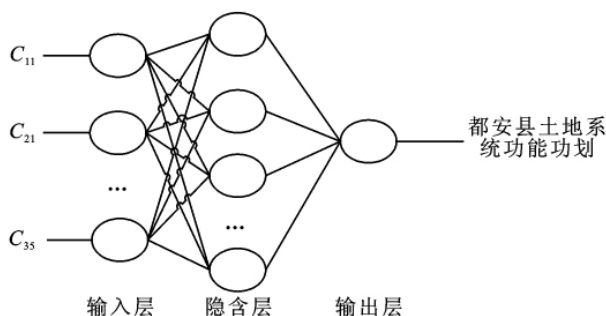


图 2 都安县土地系统功能区划 BP 神经网络模型拓扑结构

### 3 评价过程与评价结果

#### 3.1 评价过程

**3.1.1 评价单元划分与数据提取标准化处理** 按照网格法的基本原理,在遵循评价单元主导资源相对一致、自然资源结构相似性原则的基础上,采用比例尺为 1:10 万的工作底图,网格数据是在 MapGIS 6.7 支持生成,网格单元大小为 4 km×4 km,将都安县土地系统划分为 313 个评价基础单元,并按从上到下,从左到右的原则将其进行单元命名,见图 3。

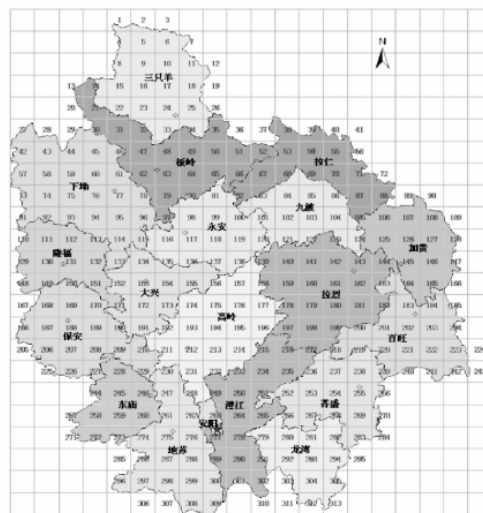


图 3 都安县土地系统功能分区评价单元

根据网格单元指标数据获取原理以及提取公式可计算获取 313 个评价网格单元各评价指标的基础数据(表 1)。最后,根据各评价指标的性质(效益型指标、成本型指标和中间型指标),运用效用函数计算公式(11)进行标准化处理,将其统一标准到  $[-1, 1]$  区间上。

**3.1.2 评价等级划分与学习样本训练** 采用 BP 神经网络方法建模的首要前提条件是有足够多典型性好和精度高的样本。而且,为监控训练(学习)过程使之不发生“过拟合”和评价建立的神经网络模型的性能和泛化能力,必须将收集到的数据随机分成训练样本、检验样本(10%以上)和测试样本(10%以上)3 部分。此外,数据分组时还应尽可能考虑样本模式间的平衡。因此,可以用随机分布的方法生成学习样本和检验样本,用标准数值作测试样本。按照此种方法,本研究随机抽取了 50 条记录作为本次研究的训练样本。

参照我国现有的土地功能分区划分标准,将都安喀斯特土地系统功能分区取值限定在  $[0, 1]$  范围内。据此划分可得都安喀斯特土地系统功能分区等级表,见表 1,分区标准见表 2。

采用上述 50 个典型样本作为训练样本,其功能分区等级即为期望值。利用 BP 神经网络将训练样

本反复进行学习,直至网络趋于稳定为止。经过反复训练之后,各神经元的联结权重较初始状态发生了较大变化,训练样本期望值与训练值之间存在一定的误差,随机抽取的 50 个训练样本中,输出值与训练值之间最大的误差值为 0.004,最小误差为 0,期望输出值与训练值之间的误差不大,在可接受的范围之内,因

此采用此种方法进行的都安县土地功能区划结果合理,可以采用。

表 1 都安县土地系统功能分区等级表

功能区划	生态环境	保护性	生态经济	人文
	恢复区	开发区	协调区	建设区
分值区间	[0,0.3]	[0.3,0.6]	[0.6,0.8]	[0.8,1]

表 2 都安县土地系统功能分区标准

评价等级	特征
I 级 生态环境恢复区	土地系统功能残缺不全。生态环境受到严重破坏,土地系统结构残缺不全,功能丧失,石漠化严重,植被覆盖率低导致该区域的保水保土保肥能力差,经济、社会发展水平不高,相对非常落后
II 级 保护性开发区	土地系统功能已有退化。生态环境受到一定破坏,资源消耗较大,受干扰后易恶化,生态问题显现,生态灾害时有发生。区内有一定的自然资源,发展潜力较大,土地开发利用应在充分保护该区的生态资源的前提下进行
III 级 生态经济协调区	土地系统功能较为完善。生态经济协调区位于生态非敏感区与生态敏感区之间,系统的稳定性较好,土地系统结构尚完整,功能尚好,一般干扰下可恢复,是人类社会与自然生态系统之间能量迁移的通道,可以缓解人类活动对脆弱的生态环境造成的压力,维护生态平衡
IV 级人文建设区	土地系统功能完整。土地系统结构完整,有很好的调控功能,人文景观保存良好

3.2 评价结果

经过训练样本的反复训练及误差的校正之后,得出本次都安县土地系统功能分区的结果,都安县土地系统功能分区 313 个评价单元中属于 I 级生态恢复区的评价单元有 100 个,评价值为 0~0.299;属于 II 级保护性开发区的评价单元有 86 个,评价值为 0.318

~0.591;属于 III 级生态经济协调区的评价单元有 46 个,评价值为 0.611~0.781;属于 IV 级人文建设区的评价单元有 78 个,评价值为 0.802~1。在此基础上结合土地功能分区评价等级和区域共扼等分区原则把都安 313 个评价单元分成 4 个一级功能区,8 个二级功能区,见表 3 及图 4。

表 3 都安县土地系统功能分区

一级功能区	名称	二级功能区	名称	功能区划范围
I	生态环境恢复区	I <sub>1</sub>	北部峰丛洼地恢复区	三只羊、板岭、下坳
		I <sub>2</sub>	西北部峰丛洼地恢复区	拉仁西南部、隆福北部、永安乡、九渡南部、大兴乡北部、东庙
II	保护性开发区	II <sub>1</sub>	东部峰丛—峰林谷地保护性开发区	拉仁东北部、加贵乡、百旺中北部
		II <sub>2</sub>	西部峰丛洼地保护性开发区	隆福西南部、保安乡、大兴南部、高岭中北部
III	生态经济协调区	III <sub>1</sub>	东南部丘陵谷地协调区	百旺南部、澄江北部、地苏南部、菁盛南部
IV	人文建设区	IV <sub>1</sub>	南部丘陵人文建设区	龙湾乡、澄江南部、高岭西南部、地苏北部、安阳镇南部
		IV <sub>2</sub>	中部峰丛—峰林谷地人文建设区	拉烈乡、菁盛北部

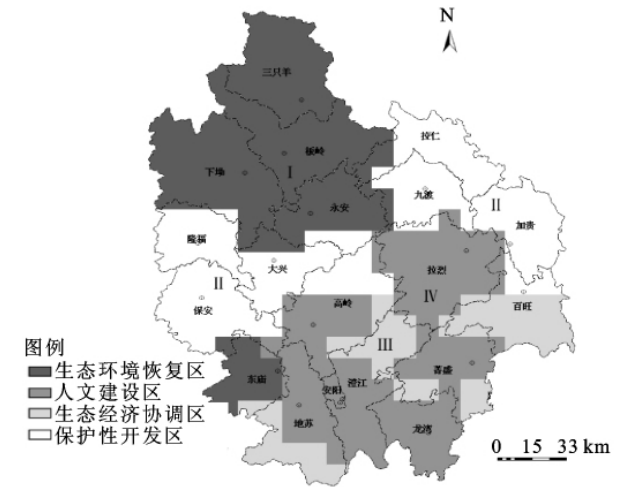


图 4 都安县土地系统功能区划图

4 结 语

近十几年来,受人类不合理活动的驱动,喀斯特地区的土壤侵蚀严重、基岩大面积裸露、土地生产力急剧下降、地表出现大面积的土地退化问题,严重影响到喀斯特山区人民的生存环境与可持续发展,威胁着喀斯特地区的生态安全。因此,脆弱生境下的喀斯特地区的土地利用活动一直是当今国际地学的研究热点。利用 GIS 技术与数学方法相结合,研究喀斯特地区的土地利用活动,按其功能特点合理规划发展方向是必要而且有实际意义的。本研究参考以往学者的研究,以典型喀斯特县域——广西都安县为案例,构建了喀斯特土地系统功能分区的指标体系,综合运

用网格法和 BP 神经网络方法进行县域喀斯特土地系统功能分区定量评价。通过计算,都安县土地系统可分为 4 个功能区,分别为生态环境恢复区、保护性开发区、生态经济协调区、人文建设区。依据评价结果可以较为合理地指导该区域的土地利用活动,避免人地矛盾的进一步激化。但是需要指出的是,利用 BP 神经网络方法虽然排除了更多人为干扰因素的影响,反映的结果较为客观,但是评价指标的选取还有待进一步完善,本研究选取了自然资源及社会经济类共 16 个评价因子进行土地系统的功能评价,基本反映了土地系统功能的适宜性、有效性和社会经济可接受性。但对系统的行动自由性和安全性<sup>[26]</sup>考虑不够,应增加更多的社会发展影响因素,适当考虑土地利用效益等指标因子,这样得出的评价结果会更为客观和合理,在这一方面,刘沛<sup>[27]</sup>、蒙莉娜<sup>[28]</sup>等人的成果可作为今后继续研究的借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 陈百明,周小萍,胡业翠,等.土地资源学[M].北京:北京师范大学出版社,2008.
- [2] 王静.土地用途分区管制与区域土地资源可持续利用浅析[J].中国人口·资源与环境,2001,11(4):83-86.
- [3] 陈百明,张凤荣.中国土地可持续利用指标体系的理论与方法[J].自然资源学报,2001,16(3):197-203.
- [4] 龙健,李娟,黄昌勇.我国西南地区的喀斯特环境与土壤退化及其恢复[J].水土保持学报,2002,16(5):5-8.
- [5] 杨明德.论喀斯特环境的脆弱性[J].云南地理环境研究,1990,2(1):21-29.
- [6] 陈守余,周梅春.人工神经网络模拟实现与应用[M].武汉:中国地质大学出版社,2000:10-12.
- [7] 胡宝清,王世杰,李玲,等.喀斯特石漠化预警和风险评估模型的系统设计[J].地理科学进展,2005,24(2):122-129.
- [8] 黎夏,叶嘉安.基于神经网络的元胞自动机及模拟复杂土地利用系统[J].地理研究,2005,24(1):19-26.
- [9] 徐昔保,杨桂山,张建明.基于神经网络 CA 的兰州城市土地利用变化情景模拟[J].地理与地理信息科学,2008,24(6):80-83.
- [10] 黎夏,叶嘉安.基于神经网络的单元自动机 CA 及真实和优化的城市模拟[J].地理学报,2002,57(2):159-166.
- [11] 杨小青,胡宝清,曹少英.喀斯特山区石漠化生态治理效益模糊综合评价:以广西都安瑶族自治县为例[J].生态与农村环境学报,2008,24(2):22-26.
- [12] 胡宝清,王世杰.基于 3S 技术的区域喀斯特石漠化过程、机制及风险评估[M].北京:科学出版社,2008.
- [13] 苏广实,胡宝清,罗华艳.基于网格法与 ANN 的县域喀斯特土地可持续利用评价:以广西都安瑶族自治县为例[J].水土保持研究,2010,17(4):263-268.
- [14] 杜红亮,陈百明,刘盛和,等.山区土地利用统筹的途径研究:以北京山区为例[J].资源科学,2007,29(2):117-123.
- [15] 余德贵,吴群,赵亚莉.土地利用主体功能分区方法与应用[J].农业系统科学与综合研究,2008,24(2):196-200.
- [16] 王万茂,韩桐魁.土地利用规划学[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [17] 张洁瑕,陈佑启,姚艳敏,等.基于土地利用功能的土地利用分区研究:以吉林省为例[J].中国农业大学学报,2008,13(3):29-35.
- [18] 李雯燕,米文宝.地域主体功能区划研究综述与分析[J].经济地理,2008,28(3):357-361.
- [19] Purnell. Land Use Planning in Land Evaluation Enschede[M]. ITC Publication,1990.
- [20] Quyang Z, Weisman J, Wang R. Ecological niche suitability model with an application in Taojiang land use planning[J]. Journal of Environment Science, 1994, 6(4):449-456.
- [21] 郑礼全.固定网格法在城镇土地定级中的应用[J].现代情报,2002(4):154-155.
- [22] 彭杰,郭栋.基于网格法的城镇土地定级研究[J].今日南国,2008(4):212-214.
- [23] 肖峰,李雪燕,邵战林.论城镇土地定级网格法合理运用[J].新疆农业大学学报,2006,29(4):93-97.
- [24] 范一大,史培军,辜智慧,等.行政单元数据向网格单元转化的技术方法[J].地理科学,2004,24(1):105-108.
- [25] 戴文战.基于三层 BP 网络的多指标综合评估方法及应用[J].系统工程理论与实践,1999(5):29-40.
- [26] 刘康.土地利用可持续性评价的系统概念模型[J].中国土地科学,2001,15(6):19-23.
- [27] 刘沛,段建南,王伟,等.土地利用系统功能分类与评价体系研究[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2010,36(1):113-118.
- [28] 蒙莉娜,郑新奇,赵璐,等.基于生态位适宜度模型的土地利用功能分区[J].农业工程学报,2011,27(3):282-287.