

# 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

苏广实<sup>1</sup>, 胡宝清<sup>2</sup>, 罗华艳<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550000; 2. 广西师范学院 资源与环境科学学院, 南宁 530001)

**摘 要:**探讨综合运用 GIS、网格法和人工神经网络等技术和方法进行县域喀斯特土地可持续利用评价。以广西都安县为例,从资源环境、经济、社会等方面构建都安喀斯特土地可持续利用评价指标体系,利用 2005 年相关分析数据获取各指标数据;将都安县域划分成 253 个评价网格单元,按照网格单元指标数据提取原理获得的评价网格单元各评价指标数据,根据指标性质,运用效用函数进行标准化处理;最后,运用 ANN 的 BP 模型进行都安喀斯特土地可持续利用评价,绘制评价结果分布图。结果表明:构成都安喀斯特土地利用系统的资源环境、经济、社会等因素在空间分布上存在明显的差异性,其土地可持续利用亦呈现明显的空间差异性,在空间分布上可区分为:不可持续性、弱可持续性、中可持续性、较强可持续性、强可持续性等 5 个等级,评价结果较为客观地反映了都安喀斯特土地可持续利用状况。

**关键词:**网格法;ANN;喀斯特;土地利用;可持续利用评价

中图分类号:F301.24;P642.25

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)04-0262-07

## Evaluation of Sustainable Karst Land Use at County Regional Level Based on the Method of Lattice and ANN —A Case of Du'an County in Guangxi

SU Guang-shi<sup>1</sup>, HU Bao-qing<sup>2</sup>, LUO Hua-yan<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, China;

2. Department of Resource & Environment Science, Guangxi Teachers Education University, Nanning 530001, China)

**Abstract:** Applying varied research technologies and methods including GIS technology, method of lattice and Artificial Neural Networks, ect., this paper studies on the evaluation of sustainable karst land use at county regional level. Taking Du'an county in Guangxi as an example, this paper builds an index system on the evaluation of sustainable Du'an karst land use from resource environment, economy, society and other aspects, and using related analytical data in 2005 to gain different kinds of index values. Du'an county was divided into 253 evaluation lattice units, in which gains different kinds of index values according to the theory of gaining index values, and utility function was used to carry on a standardized processing in accordance with the nature of the indexes. Finally, we used the BP (namely Back-Propagation Network) model of the ANN to evaluate the sustainable Du'an Karst land use, and to gain a map of evaluated results distribution. The evaluated results show that resource environment, economy, society and other factors, which form Karst land use system in Du'an, share obvious differences in spatial distribution, and its sustainable land use also has its own spatial differences. It was divided into five grades in spatial distribution as follows: unsustainability, low sustainability, moderate sustainability, relatively strong sustainability and strong sustainability. The evaluated results gave an objective reflection on the condition of sustainable Karst land use in Du'an.

**Key words:** the method of lattice; ANN; Karst; land use; evaluation on sustainable use

随着人口增长、土地退化和环境问题的日益加剧,土地可持续利用问题已成为可持续发展研究的焦

点。土地资源可持续性评价是土地可持续利用研究的核心,是实施土地可持续利用的重要手段<sup>[1]</sup>。由于

\* 收稿日期:2009-06-15

基金项目:国家自然科学基金(40661005);广西自然科学基金项目(067922)

作者简介:苏广实(1968—),男,讲师,博士后,主要从事喀斯特土地资源开发与利用、石漠化成因与治理研究。E-mail: shuguangshi@163.com

土地资源可持续利用评价具有系统的复杂性、多因素关联性、实现机制的多元性及区域的差异性与特殊性。所以,土地可持续利用指标体系和评价方法的理论架构是关键的科学技术问题<sup>[2]</sup>。构建土地资源可持续利用评价指标体系的技术方法目前还处于探索阶段,不同学者就不同区域的具体情况进行了研究<sup>[3-5]</sup>。土地可持续利用评价方法多采用多目标评价法,一般采用评价指标权重与属性值加权法和,或用加权积法计算,最终给出对土地资源可持续利用评价结果<sup>[6]</sup>。县级尺度是土地资源可持续利用、管理和规划的最佳尺度<sup>[7]</sup>。应当选择典型县进行土地可持续利用评价实例研究<sup>[2]</sup>。

我国西南地区是世界上最大的喀斯特连续地带<sup>[8]</sup>。该地区人地矛盾突出,人均耕地 0.06 hm<sup>2</sup>,比全国人均耕地少 1/3<sup>[9]</sup>。脆弱的地质生态背景以及毁林开荒、陡坡开垦、过度放牧等不合理的人类活动,土地退化、环境问题尤为严重。因此,在该地区选择典型喀斯特县域进行土地可持续利用评价实例研究,对提高土地可持续利用水平,缓和人地矛盾,促进区域可持续发展,具有重要的理论和现实意义。以广西典型喀斯特县域——都安县为研究案例,构建县域喀斯特土地可持续利用评价指标体系,运用网格法和人工神经网络相结合进行定量评价,以期为实施县域喀斯特土地可持续利用决策提供依据。

## 1 研究区概况

都安瑶族自治县(下文简称为都安县)位于广西中部偏西,介于 107°46′—108°31′E,23°48′—24°35′N 之间,地处云贵高原向广西盆地过渡的斜坡地带。地势北西高,东南低,地形复杂,岩石裸露,悬崖陡壁,山高谷深,洼地遍布。全境多以喀斯特石山为主,分为峰丛洼地、峰丛谷地和峰林谷地 3 种地貌单元,只有少数地带有土山丘陵分布。山地、丘陵和台地和谷地平原分别占全县面积的 77.9%、13.2%和 8.9%。气候为中亚热带季风气候与南亚热带季风气候区的过渡地带,年均气温 18.2~21.7℃,年降雨量 1 200~1 900 mm。雨量集中于夏季,约占年降雨量的 68.3%,且以暴雨形式降落,常造成洪涝灾害。地表水系不发育,地下水丰富,但埋藏深,水量、水位动态不稳,春、秋干旱,水土流失日趋严重。地层以石炭系和二叠系的碳酸盐岩为主,约占总面积的 90%。土壤以石灰岩土为主,占全县土地总面积的 83.28%。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。都安县现辖 2 个镇、17 个乡,总人口 63.17 万人。

## 2 评价指标选择和评价单元划分

### 2.1 评价指标选择

建立评价指标体系是喀斯特土地可持续利用评价的核心。借鉴已有研究成果,按照 AHP 的基本原理、土地可持续利用目标及评价的原则和内容,根据都安县人口、资源环境、经济和社会的实际情况,建立都安喀斯特土地可持续利用评价指标体系:目标层—准则层—指标层,目标层为土地可持续利用,准则层包括土地利用资源环境保护、经济可行性和社会可接受性,每条准则又包括 7~10 项影响指标。

资源环境指标反映了资源环境条件、资源利用与保护、环境污染及控制情况等,主要包括: $C_{11}$ ——平均年积温( $\geq 10^{\circ}\text{C}$ )、 $C_{12}$ ——平均年降水量(mm)、 $C_{13}$ ——森林覆盖率(% )、 $C_{14}$ ——人均耕地面积(hm<sup>2</sup>/人)、 $C_{15}$ ——复种指数(% )、 $C_{16}$ ——旱地面积比重(% )、 $C_{17}$ ——单位耕地面积化肥及农药排放量(t/km<sup>2</sup>)、 $C_{18}$ ——土地石漠化率(% )等。

经济指标反映资本投入水平、经济效益、经济结构和发展水平等,主要指标包括: $C_{21}$ ——全社会固定资产投资增长比率(% )、 $C_{22}$ ——农业产值增长率(% )、 $C_{23}$ ——人均国内生产总值(元/人)、 $C_{24}$ ——农民人均纯收入(元/人)、 $C_{25}$ ——单位面积产值(元/km<sup>2</sup>)、 $C_{26}$ ——单位面积农机总动力(kW·h/km<sup>2</sup>)、 $C_{27}$ ——财政收入占 GDP 的比重(% )等。

社会指标反映了人口状况、城镇化水平、基础设施建设、医疗保健和社会进步水平等,主要指标包括: $C_{31}$ ——人口密度(人/km<sup>2</sup>)、 $C_{32}$ ——人口自然增长率(% )、 $C_{33}$ ——城镇人口比重(% )、 $C_{34}$ ——人均粮食占有量(t/人)、 $C_{35}$ ——公路通车里程(km)、 $C_{36}$ ——科技总投入(万元)、 $C_{37}$ ——恩格尔系数(% )、 $C_{38}$ ——农业技术人员比重(人/万人)、 $C_{39}$ ——万人拥有病床数(床/万人)、 $C_{310}$ ——通电覆盖率(% )等。

### 2.2 评价单元划分与指标数据提取方法

2.2.1 评价单元划分——网格法 评价单元是土地可持续利用评价的最小单位,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。评价结果最终由评价单元反映出来。划分土地可持续利用评价单元的方法很多,本文采用网格法来划分评价单元。网格法以地理网格为评价单元,地理网格既可以经纬网格为基础,也可以坐标网格为基础。地理网格评价单元所提供的评价成果精度直接取决于网格的密度,尤其适用于 GIS 管理系统。

网格单元划分原理是将整个评价区域划分成统

一大小和形状的离散网格(通常为正方形),类似于选用一定大小的网格,构成覆盖评价区域范围的初步单元体系,以此作为基本评价单元。在 GIS 支持下,网格大小可根据评价精度要求来确定,网格可取得较小,加上计算机快捷、准确的运算结果,因而是一种效果较好的划分评价单元方法。一般地,网格大小的划分是根据评价区域评价因素的差异性和单元划分者的经验确定。然后到实地调查,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。网格法的关键是如何根据研究区域的不同特性,确定方格大小以及网格内指标数据的采集与分解。

2.2.2 网格单元指标数据提取 各网格单元内对上述 3 大类指标数据的提取方法各异。对于资源环境类指标可直接通过遥感影像解译数据和相关统计数据获得。对于社会经济类指标数据,按其性质分为面状指标和点、线状指标,面状指标因素是指对土地的影响仅与因素指标值有关的评价指标,点、线状指标因素是指对土地的影响既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。对于这两类数据的提取分别按以下两种情况进行处理。

(1)对于划分的评价网格单元完全处于一个行政区内(乡镇,下同),网格单元内各指标数据可以采用以下方法提取:面状指标可直接采用其指标值作为单元评价数值,点、线状指标参照土地定级评价的做法,分别按照指数衰减公式和直线衰减公式获取指标数值<sup>[10]</sup>。

①指数衰减公式:

$$f_i = F_i [1 - \frac{d}{D}]^b \quad (1)$$

②直线衰减公式:

$$f_i = F_i \times [1 - \frac{d}{D}] \quad (2)$$

式中: $f_i$ ——网格单元内第  $i$  个指标值; $F_i$ ——网格单元所在行政单元(乡镇,下同)第  $i$  个指标值; $d$ ——网格单元中心距行政中心的距离; $D$ ——某行政单元指标数值的最大影响距离, $d$  和  $D$  可通过 GIS 数据处理获得。

(2)对于一个网格单元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按式(3)计算<sup>[11]</sup>。

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

式中: $P$ ——网格单元某一指标值; $S_i$ ——第  $i$  个行政单元在网格中的面积; $D_i$ ——第  $i$  个行政单元某指标值, $n$ ——网格中包含行政单元个数; $S_i$  可通过 GIS 数据处理获得。

### 3 评价指标数据标准化与评价方法

#### 3.1 评价指标数据标准化

都安喀斯特土地可持续利用评价指标涉及自然、经济、社会等多方面因素,指标性质各异,其取值范围也相差很大,不具有直接可比性,不便于参加评价。因此,在评价比较前需进行无量纲化处理,将绝对的有量纲的指标转为无量纲的指标。本文使用效用函数<sup>[12]</sup>对各评价指标进行处理,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(这里指本文划分的网格单元),  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$  是综合评价指标体系中的  $n$  个分指标,它们具有不同的类型和量纲。评价指标矩阵  $X$  如式(4)。

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

式中: $X_{ij}$ ——第  $i$  个被评估对象的第  $j$  个分指标值。不失一般性,将  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$  分为 3 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。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。目前使用较多的是基于平均水平上的效用函数。具体算法如式(5)。

记第  $j$  个分指标  $Z_j$  的平均值为  $\bar{Z}_j$ :

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

(1)对效益型指标,记中间变量:

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

(2)对成本型指标,记中间变量:

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

(3)对区间型指标,当  $X_{ij} \leq A$ , 则

$$M_{ij} = \frac{X_{ij} - A}{|A|} \quad (8)$$

当  $X_{ij} \geq B$ , 则

$$M_{ij} = \frac{B - X_{ij}}{|B|} \quad (9)$$

当  $B \geq X_{ij} \geq A$ , 则

$$M_{ij} = 6 \quad (10)$$

式中: $A, B$ ——区间型指标的最佳上下界。

则将原始指标值  $X_{ij}$  按式(11)转化到  $[-1,1]$  区间上的效用函数值  $Y_{ij}$ 。

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

(11)

显然,  $Y_{ij} = f(M_{ij})$  是一条 S 型曲线。注意到  $M_{ij}$  反映了原始数据  $X_{ij}$  偏离平均值  $Z_j$  的程度。当  $X_{ij} = Z_j$ , 则  $M_{ij} = 0$ ; 当  $X_{ij} > Z_j$ , 则  $M_{ij} > 0$ , 且  $Y_{ij}$  随  $M_{ij}$  的增长非线性递增。

3.2 评价方法——人工神经网络(ANN)

喀斯特土地可持续利用过程是一个集非线性、开放性和动态性于一体的过程,影响喀斯特土地可持续利用的因素涉及资源环境、经济、社会等。喀斯特土地可持续利用与影响因素之间存在非线性关系。人工神经网络模型(Artificial Neural Networks, ANNs)可形成输入层—隐含层—输出层系统,很容易满足喀斯特土地可持续利用评价的要求。运用目前 ANNs 模型中应用最广泛的 BP 模型(Back-Propagation Network, BP)进行都安喀斯特土地可持续利用评价。BP 模型是一种有导师的误差逆传播的学习过程,信息从输入层经隐层处理后传向输出层,如果在输出层得不到期望的输出,则输出层的希望输出与实际输出之间的误差信号反向传播,由输出层经隐含层逐层修正连接权,使得误差信号最小。具体学习算法略。

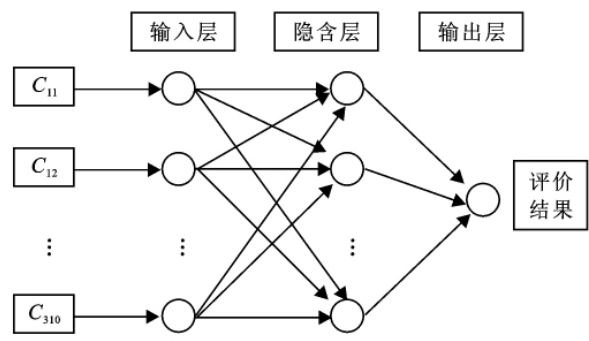


图 1 基于神经网络 BP 模型的喀斯特土地可持续利用评价系统框架

基于 ANN 的都安县喀斯特土地可持续利用评价的基本思想是:选取具有代表性网格单元指标数据作为神经网络的学习样本,经网络学习记忆后,利用其相似输入产生相似输出的联想推理功能,以及“内插”的联想推理功能,将样本数据输入训练好的 BP 模型,再与规定的评价标准数据相比较,即可确定喀斯特土地可持续利用等级。都安喀斯特土地可持续利用评价三层网络框架如图 1。第 1 层为输入层,共有  $n$  个节点(本研究为 25 个节点),分别输入经效用函数标准化后的第  $i$  个被评价网格单元的各分指标

效用函数值  $Y_{ij}$ ;第 2 层为隐含层,隐含节点数没有统一的规则,根据具体对象而定;第 3 层为输出层,只有一个节点,即为都安喀斯特土地可持续利用评价结果。

4 评价过程与结果分析

4.1 评价过程

4.1.1 评价单元划分与数据提取及标准化处理

(1)按照网格法的基本原理,根据都安县国土面积分布状况及地形、地貌、岩性、土壤等自然特征,经采样分析研究,采用比例尺 1:10 万为工作底图,按  $4\text{ km} \times 4\text{ km}$  划分评价网格单元比较合适,达到评价要求。在 GIS 支持下生成 253 个独立的评价网格单元,并按从左到右,从上到下顺序对评价网格单元进行编码,结果见图 2。

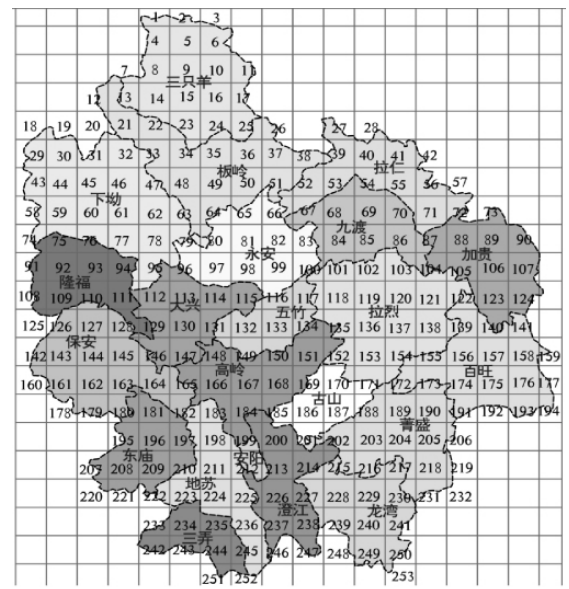


图 2 都安喀斯特土地可持续利用评价网格单元划分结果图

(2)根据已经建立的都安喀斯特土地可持续利用评价指标体系,搜集了都安县各评价指标的原始数据。其中,资源环境类指标数据主要来源于统计数据、实地调查和遥感影像数据提取;经济类指标数据和社会类指标数据主要来源于统计数据、实地调查和问卷调查。以上数据均使用 2005 年乡镇撤并后的相关数据。

(2)根据网格单元指标数据获取原理以及公式(1)、(2)、(3),通过计算可获取 253 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。标准化结果略。

表 1 都安喀斯特土地可持续利用评价网格单元各指标数据表

单元编号	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$	...	$C_{35}$	$C_{36}$	$C_{37}$	$C_{38}$	$C_{39}$	$C_{310}$
1	7202.7	1300	15.64	0.65	248.93	...	0.91	6422.5	55.7	82.6	6.62	96
2	7202.7	1300	15.64	0.65	248.93	...	0.91	6422.5	55.7	82.6	6.62	96
3	7202.7	1300	15.64	0.65	248.93	...	0.91	6422.5	55.7	82.6	6.62	96
4	7202.7	1300	15.64	0.65	248.93	...	0.91	6422.5	55.7	82.6	6.62	96
5	7202.7	1300	15.64	0.65	248.93	...	0.91	6422.5	55.7	82.6	6.62	96
6	7202.7	1300	15.64	0.65	248.93	...	0.91	6422.5	55.7	82.6	6.62	96
7	7202.7	1300	25.4	0.65	245.2	...	0.91	6422.5	55.7	82.6	6.62	96
8	7202.7	1300	15.64	0.65	248.93	...	0.91	6422.5	55.7	82.6	6.62	96
9	7202.7	1300	15.64	0.65	248.93	...	0.91	6422.5	55.7	82.6	6.62	96
10	7202.7	1300	15.64	0.65	248.93	...	0.91	6422.5	55.7	82.6	6.62	96
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
244	7345.1	1680	39.85	0.83	203.88	...	1.31	9175	55.7	118	9.45	99
245	7345.1	1680	39.85	0.83	203.88	...	1.31	9175	55.7	118	9.45	99
246	7345.1	1680	39.85	0.51	174.09	...	1.31	9175	55.7	118	9.45	99
247	7345.1	1680	39.85	0.79	160.58	...	1.31	9175	55.7	118	9.45	100
248	7345.1	1680	39.85	0.82	215.78	...	1.31	9175	55.7	118	9.45	100
249	7345.1	1680	39.85	0.82	215.78	...	1.31	9175	55.7	118	9.45	100
250	7345.1	1680	39.85	0.82	215.78	...	1.31	9175	55.7	118	9.45	100
251	7345.1	1680	39.85	0.83	203.88	...	1.31	9175	55.7	118	9.45	99
252	7345.1	1680	39.85	0.83	203.88	...	1.31	9175	55.7	118	9.45	99
253	7345.1	1680	39.85	0.82	215.78	...	1.31	9175	55.7	118	9.45	99

4.1.2 评价等级划分与学习样本训练 土地可持续利用评价等级通常分为 5 级。以都安喀斯特土地利用系统资源环境、经济、社会等指标数据为基础,辅以大量的实地调查资料,选取 50 个典型的网格单元作为标准样本,综合当地科技人员的意见,参照我国现有的土地资源可持续发展阶段划分标准,用土地利用可持续度来表示都安喀斯特土地利用可持续性,将其取值在[0,1]范围内。据此划分可得都安喀斯特土地可持续利用评价等级(表 2)。

有足够多典型性好和精度高的样本是采用人工

神经网络的首要前提条件。采用上述 50 个典型样本作为训练样本,其土地利用可持续度即为期望值。利用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,编号为 75 的网格单元样本期望输出值与训练值的误差最大,误差值为 0.017,期望输出值与训练值之间的误差在可接受的范围之内,说明网络训练成功,可以采用。

表 2 都安喀斯特土地可持续利用评价等级

评价等级	不可持续性(Ⅰ)	弱可持续性(Ⅱ)	中可持续性(Ⅲ)	较强可持续性(Ⅳ)	强可持续性(Ⅴ)
土地利用可持续度	[0,0.2]	[0.2,0.4]	[0.4,0.6]	[0.6,0.8]	[0.8,1]

4.2 结果分析

将上述经过标准化处理过的各网格单元指标数据输入到上述已经训练好的网络模型中。最后得到都安喀斯特土地可持续利用评价结果(表 3 和图 3)。

从图 3 可看出,都安喀斯特土地可持续利用评价结果各等级的分布情况:北部三只羊、板岭和下坳的大部分区域土地利用为不可持续性;永安全部区域、隆福、大兴、九渡和东庙大部分区域、下坳、板岭、保安和五竹部分区域土地利用为弱可持续性;加贵全部区域、保安、拉仁、百旺、古山和菁盛大部分区域、大兴、

高岭、五竹、拉烈、板岭、地苏和东庙的部分区域土地利用为中可持续性;土地利用为较强可持续性的乡镇分布在以县城所在地——安阳为中心的周围几个乡镇,包括高岭中部、保安东南部、古山西南部、澄江和安阳的大部分区域、地苏中部、三弄北部、菁盛北部和西南部、百旺南部等区域;土地利用为强可持续性的分布区域有两大块,即以拉烈为中心包括其周围的五竹、高岭、百旺和九渡小部分区域,以安阳为中心包括高岭南部、地苏北部和南部、安阳北部、澄江中部、西北部 and 南部、三弄南部以及龙湾绝大部分区域。

表 3 都安喀斯特土地可持续利用的评价结果

单元编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
评价值	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197	0.197	0.205	0.197	0.197	0.197	0.197	0.21
评价等级	I	I	I	I	I	I	II	I	I	I	I	II
单元编号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
评价值	0.199	0.197	0.197	0.197	0.197	0.104	0.112	0.112	0.195	0.198	0.199	0.199
评价等级	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
单元编号	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
评价值	0.199	0.199	0.497	0.497	0.106	0.106	0.106	0.106	0.093	0.106	0.101	0.169
评价等级	I	I	III	III	I	I	I	I	I	I	I	I
单元编号	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
评价值	0.114	0.114	0.497	0.568	0.568	0.568	0.107	0.107	0.107	0.107	0.076	0.11
评价等级	I	I	III	III	III	III	I	I	I	I	I	I
单元编号	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
评价值	0.11	0.204	0.404	0.404	0.473	0.473	0.473	0.473	0.473	0.098	0.098	0.098
评价等级	I	II	III	III	III	III	III	III	III	I	I	I
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
单元编号	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205
评价值	0.78	0.26	0.26	0.26	0.806	0.818	0.799	0.587	0.587	0.561	0.561	0.561
评价等级	IV	II	II	II	V	V	IV	III	III	III	III	III
单元编号	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217
评价值	0.561	0.264	0.264	0.264	0.264	0.811	0.71	0.801	0.622	0.656	0.609	0.599
评价等级	III	II	II	II	II	V	IV	V	IV	IV	IV	III
单元编号	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229
评价值	0.532	0.532	0.252	0.441	0.598	0.599	0.713	0.727	0.718	0.803	0.778	0.832
评价等级	III	III	II	III	III	III	IV	IV	IV	V	IV	V
单元编号	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241
评价值	0.811	0.532	0.532	0.768	0.768	0.768	0.768	0.765	0.8	0.842	0.803	0.803
评价等级	V	III	III	IV	IV	IV	IV	IV	V	V	V	V
单元编号	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253
评价值	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.802	0.803	0.803	0.803	0.8	0.8	0.799
评价等级	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	IV

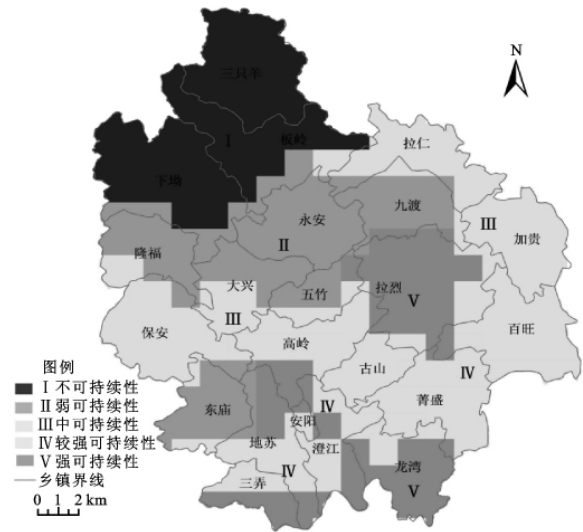


图 3 都安喀斯特土地可持续利用评价结果

5 结 语

在前人研究的基础上,选取广西典型喀斯特县域——都安县为案例,构建了都安喀斯特土地可持续利用评价指标体系,综合运用 GIS 技术、网格法和人工神经网络等技术和方法进行县域喀斯特土地可持续利用定量评价。评价结果表明:由于构成都安喀斯特土地利用系统的资源环境、经济、社会等因素在空间分布上存在明显的差异性,其土地可持续利用亦呈现明显的空间差异性,可区分为:不可持续性、弱可持续性、中可持续性、较强可持性、强可持续性等 5 个等级,评价结果客观地反映了都安喀斯特土地可持续利用状况。

采用网格法可根据评价精度需要确定评价单元

大小,当前快速发展的 GIS 技术很容易实现。由于神经网络具有自身适应能力,排除了很多人为的干扰因素,在一定程度上避免了以往评价方法过多地受到主观因素的影响。与此同时,在评价过程中,也发现一些问题需进一步探讨:(1)如何科学地遴选评价指标,建立客观、完善的指标体系;(2)神经网络技术本身的进一步完善;(3)典型训练样本的典型性确定等。

#### 参考文献:

- [1] 徐中春,谢永生,王恒俊. 中国土地资源评价研究新进展[J]. 中国农业通报,2008,24(3):379-383.
- [2] 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.
- [3] 戴尔阜,蔡运龙,傅泽强. 土地可持续利用的系统特征与评价[J]. 北京大学学报:自然科学版,2002,38(2):231-237.
- [4] 李植斌. 区域农用地可持续利用评价:以温州市为例[J]. 南京大学学报:自然科学版,1999,35(3):262-267.

- [5] 刘光成,董捷,田心尉. 土地可持续利用评价初探[J]. 中国农业资源与区划,2002,23(2):23-26.
- [6] 尹君. 土地资源可持续利用评价指标体系研究[J]. 中国土地科学,2001,15(2):6-9.
- [7] 王静,张凤荣,郭旭东. 县级尺度土地资源可持续利用评价方法研究[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(2):53-56.
- [8] Sweeting M M. Reflections on the development of Karst geomorphology in Europe and a comparison with its development in China [J]Z. Geomorph. ,1993,37:127-136.
- [9] 欧阳自远. 中国西南喀斯特生态脆弱区的综合治理与开发脱贫[J]. 世界科技研究与发展,1998,20(2):53-56.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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(3):29-40.

(上接第 261)

(2) 在长期干旱季节,果园套种植物的蒸散作用会减少土壤水分(百喜草全园覆盖区比清耕区减少了 2.54%),而前期降雨比较丰沛时果园套种的蓄水效果更为显著(百喜草全园覆盖区比清耕区提高了 4.50%),远大于其套种植物蒸散发作用的影响,说明果园套种在前期降雨丰沛时的蓄水效果更为显著,从一定程度上表明果园套种能有效地利用雨水资源,在果园内采取套种措施对雨水资源比较丰富的南方地区具有重要意义。

(3) 果园套种可以明显改善土壤有机质和土壤全量养分含量。从改良土壤有机质来看,套种狗牙根改良效果最好,套种百喜草改良效果最差。从改良果园土壤全氮效果来看,套种百喜草和狗牙根果园模式优于套种农作物模式,套种阔叶雀稗草改良效果最差;从改良果园土壤全磷效果来看,套种农作物模式都明显好于套种不同牧草模式。

(4) 各种套种模式均能明显提高土壤碱解氮含量,其中,套种农作物模式优于套种牧草模式。套种百喜草和套种农作物提高果园土壤速效磷含量,而套种狗牙根与阔叶雀稗草则略为降低了土壤速效磷含量。除了顺坡套种农作物降低土壤速效钾之外,其他套种模式均明显提高了其土壤速效钾含量。

(5)改良土壤全氮和土壤全磷效果百喜草>狗牙

根>阔叶雀稗草;改良土壤全钾的效益百喜草>阔叶雀稗草>狗牙根。横坡套种农作物和顺坡套种农作物来看,横坡套种改良土壤全氮、全磷、全钾和碱解氮、速效磷与速效钾的效果,明显比顺坡套种高,说明果园横坡套种具有较好的保持土壤养分的作用。

#### 参考文献:

- [1] 左长清,张展羽. 红壤坡地水土流失及其防治对策[C]//中国水土保持学会第三次全国会员代表大会学术论文集. 北京:中国农业科学技术出版社,2006:116-119.
- [2] 段舜山,林秋奇,章家恩,等. 广东缓丘坡地牧草果树间作模式的水土保持效应[J]. 中国草地,2000(5):35-40.
- [3] 段舜山,蔡昆争,王晓明,等. 鹤山赤红壤坡地幼龄果园间作牧草的水土保持效应[J]. 草业科学,2000,17(6):12-17.
- [4] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科技出版社,1978.
- [5] 中华人民共和国林业行业标准. 森林土壤分析方法[S]. 北京:国家林业局发布,1999.
- [6] 潘云,吕殿青. 土壤容重对土壤水分入渗特性影响研究[J]. 灌溉排水学报,2009,28(2):59-61,77.
- [7] 郑纪勇,邵明安,张兴昌. 黄土区坡面表层土壤容重和导水率空间变异特征[J]. 水土保持学报,2004,18(3):53-56.