

# 贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测

李正<sup>1,2</sup>, 王军<sup>1</sup>, 白中科<sup>1,2</sup>, 郭义强<sup>1</sup>, 余莉<sup>3</sup>

(1. 国土资源部土地整治中心土地整治重点实验室, 北京 100035; 2. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083;  
3. 北京地亿时代土地规划设计有限公司, 北京 100089)

**摘要:**以贵州省1996-2008年土地利用变更调查数据为基础,采用生态系统服务价值评估模型、敏感性指数和灰色预测模型,对土地利用变化引起的生态系统服务价值的变化进行了估算,对区域土地利用构成和生态系统服务价值进行了灰色预测。结果表明:贵州省近13年来,耕地、牧草地和未利用土地面积均呈现减少的趋势,而林地、园地、建设用地和水域面积呈增加趋势;贵州省2008年的生态系统服务总价值比1996年增加了59.08亿元,变化率为3.01%;贵州西北地区的生态系统服务总价值的变化率较贵州东南地区显著;敏感性分析表明采用的生态价值系数是合理的,研究区内的生态系统服务价值缺乏弹性;利用灰色GM(1,1)模型对贵州省2015年和2020年的土地利用构成和生态系统服务价值进行预测,未来10年贵州呈现林地、建设用地持续增加、耕地持续减少的趋势;2015和2020年土地利用结构信息熵分别为1.4320和1.4331,表明土地利用结构逐渐趋于均衡,2020年区域生态资产增加到2119.03亿元。

**关键词:**土地利用;生态系统服务价值;敏感性指数;灰色系统;贵州省

## 1 引言

生态系统服务是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务<sup>[1]</sup>,是人类生存和发展的物质基础和基本条件,是人类所拥有的关键自然资本。土地利用与人类活动关系密切,土地利用变化是人类活动与自然生态环境相互作用的集中体现<sup>[2]</sup>,其变化过程对维持生态系统服务功能起着至关重要的作用<sup>[3-4]</sup>。土地利用系统是一个复合的人工生态系统,土地利用结构变化引起生态系统的类型、面积及空间格局发生变化,直接影响生态系统所提供服务功能的类型和强度<sup>[5]</sup>。因此,研究土地利用变化对生态系统服务价值的影响及相互作用关系具有重要意义。近年来,国内外学者已经开展了全球尺度、国家尺度、区域尺度以及单个生态系统服务价值的评估研究<sup>[6-16]</sup>。生态系统服务价值的定量评估已成为可持续发展科学研究的热点。喀斯特地貌是世界上最脆弱的生态系统之一,约占全球陆地面积的15%。

贵州是中国喀斯特地貌发育最具典型的省份之一,具有喀斯特地貌分布范围广泛,形态类型齐全,地域分异明显的特征。在该区域开展土地利用变化对生态系统服务价值影响评估及时空模拟预测研究,可以确定区域内各生态系统的重要性,发现区域内各生态系统敏感性的分布特征,预测各生态系统未来的状态及发展动向,为区域土地利用结构优化调整和生态环境建设提供决策参考,丰富生态脆弱区生态系统服务价值研究的类型。

本文以贵州省为例,利用1996-2008年的土地利用变更调查数据,从省级尺度到市级尺度进行生态系统服务价值估算及变化分析,运用灰色系统理论方法,对土地利用结构变化及其生态系统服务价值进行灰色预测。

## 2 研究区域概况

贵州省地处云贵高原东部,位于103°36'~109°35' E, 24°37'~29°13' N之间,土地总面积1761.7万

收稿日期:2012-01; 修订日期:2012-03.

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAB38B07)。

作者简介:李正(1985-),男,江西萍乡人,硕士,主要研究方向为土地整理复垦、土地可持续利用。

E-mail: lizheng19859011@sina.com

通讯作者:王军(1970-),男,河南新乡人,博士,研究员,国土资源部“百人计划”获得者,主要研究方向为景观生态学、土地可持续利用与土地整理。E-mail: wangjun@lrcr.org.cn

hm<sup>2</sup>,其中喀斯特地貌面积约有1091.8万hm<sup>2</sup>,占土地总面积的61.9%。贵州耕地面积约448.5万hm<sup>2</sup>,根据国土资源部最新公布的《中国耕地质量等级调查与评定》结果,贵州耕地总体质量偏差,平均等别为11.44等,低于全国平均水平(9.80等)。贵州地势西高东低,山川纵横、地形破碎,约有92.5%的土地为山地和丘陵,水土流失严重,根据全国第二次水土流失遥感调查数据,贵州水土流失面积已达732万hm<sup>2</sup>,占土地总面积的41.54%。贵州下辖9个市(州、地)、88个县(市、区、特区),2008年末总人口3793万人,城镇化率为29.11%,低于全国平均水平(45.68%);人口密度为2.23人/hm<sup>2</sup>,高于全国水平(1.38人/hm<sup>2</sup>);GDP由1996年的719.83亿元增至2008年的3333.40亿元,第一、二、三产业结构构成由1997年的34.3%、37.0%、28.7%变为2008年16.4%、42.3%、41.3%,2008年地均GDP为1.89万元/hm<sup>2</sup>,低于全国水平(3.13万元/hm<sup>2</sup>)。

### 3 数据来源与研究方法

#### 3.1 数据来源

土地利用数据主要来源于贵州省1996-2008年土地利用变更调查数据,经济、社会等数据来源于《中国统计年鉴》、《贵州省统计年鉴》等。根据中国的土地分类系统及实际情况,本文将贵州省的土地利用类型分为8种:耕地、园地、林地、牧草地、居民点及工矿用地、交通用地、水域和未利用土地。

#### 3.2 研究方法

##### 3.2.1 生态系统服务价值评估模型

根据Costanza等<sup>[1]</sup>、谢高地等<sup>[7-8]</sup>的研究成果,分析不同地区生态系统服务价值研究的文献<sup>[9-16]</sup>,结合研究区的生态环境特征,确定贵州土地利用类型相对应的生态系统类型及生态价值系数(表1)。

生态系统服务价值的计算模型为:

$$ESV = \sum A_i \times C_i \quad (1)$$

式中:ESV指研究区生态系统服务总价值(元); $A_i$ 指研究区内第*i*种土地利用类型的分布面积(hm<sup>2</sup>); $VC_i$ 指第*i*种土地利用类型的单位面积生态价值系数(元/hm<sup>2</sup>·a);*i*指研究区土地利用类型。

##### 3.2.2 敏感性指数

利用敏感性指数(Coefficient of Sensitivity, CS)确定生态系统服务价值(ESV)随时间的变化情况对生态价值系数(VC)的依赖程度,以此验证所选生态价值系数是否适合本研究区。CS基于经济学中常用的弹性系数概念,是指VC变动1%引起ESV的变化情况,如果CS>1,表明ESV对VC是富有弹性的,CS越大,表明VC的准确性越关键;如果CS<1,则表明ESV对VC缺乏弹性。即使CS<1,赋值过高或过低的VC也可能在很大程度上影响生态价值随时间变化的真实性,因此,还应比较随时间而变化的变化率。本研究拟将各土地利用类型的生态价值系数分别上下调整50%来衡量ESV的变化情况。

敏感性指数(CS)的计算公式为:

$$CS = \left| \frac{(ESV_l - ESV_f) / ESV}{(VC_l - VC_f) / VC_f} \right| \quad (2)$$

式中:*f*和*l*分别表示调整前和调整后的生态服务价值系数;*i*表示土地利用类型。

##### 3.2.3 灰色预测模型

灰色预测模型就是将原始信息数据序列通过一定的数学方法处理后,将其转化为动态微分方程来描述原系统的内在特征,建立抽象系统的动态演变预测模型(Grey Dynamic Model, GM)<sup>[17-18]</sup>。本文采用灰色GM(1,1)模型对贵州2015年和2020年的土地利用结构进行预测。

将 $x_t^{(0)}(i)$ 定义为原始数据序列, $x_t^{(1)}(i)$ 为一次累加生成数序列,则GM(1,1)模型的一阶线性常系数微分方程标准型公式为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (3)$$

表1 研究区不同土地利用类型单位面积生态价值系数

Tab.1 Ecological value coefficients of different land use types in the study area

| 单项服务功能  | 土地利用类型/(元/hm <sup>2</sup> ·a) |         |         |         |          |        |
|---------|-------------------------------|---------|---------|---------|----------|--------|
|         | 林地                            | 园地      | 草地      | 耕地      | 水域       | 未利用地   |
| 气体调节    | 3097.00                       | 1265.50 | 707.90  | 442.40  | 0.00     | 0.00   |
| 气候调节    | 2389.10                       | 1170.30 | 796.40  | 787.50  | 407.00   | 0.00   |
| 水源涵养    | 2831.50                       | 41.50   | 707.90  | 530.90  | 18033.20 | 26.50  |
| 土壤形成与保护 | 3450.90                       | 1291.90 | 1725.50 | 1291.90 | 8.80     | 17.70  |
| 废物处理    | 1159.20                       | 722.10  | 1159.20 | 1451.20 | 16086.60 | 8.80   |
| 生物多样性保护 | 2884.60                       | 16.60   | 964.50  | 628.20  | 2203.30  | 300.80 |
| 食物生产    | 88.50                         | 356.90  | 265.50  | 884.90  | 88.50    | 8.80   |
| 原材料     | 2300.06                       | 1145.40 | 44.20   | 88.50   | 8.80     | 0.00   |
| 娱乐文化    | 1132.60                       | 547.80  | 35.40   | 8.80    | 3840.20  | 8.80   |
| 总计      | 19333.46                      | 6558.00 | 6406.50 | 6114.30 | 40676.40 | 371.40 |

GM(1,1)模型对应的标准型解为:

$$x^{(1)} = \left( x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (4)$$

式中:  $a$ 、 $u$  是待确定的未知参数;  $t$  是时间。

为提高 GM(1,1)模型预测值的精度和可靠性, 采用后验差检验方法进行模型精度检验。后验差比值  $C$  与小误差频率  $P$  定义为:

$$C = \frac{S_2}{S_1}, \quad p = P\{|\varepsilon_k - \bar{\varepsilon}| < 0.6745S_1\} \quad (5)$$

式中:  $S_1$  是原始数据标准差;  $S_2$  为预测数据标准差;  $\varepsilon_k$  是预测数据误差;  $\bar{\varepsilon}$  是预测误差的均值。  $C$  的大小表明模型预测值与实际值之差的离散程度, 越小越好。

## 4 结果与分析

### 4.1 土地利用变化情况

根据表2, 无论是1996年还是2008年, 林地占土地总面积的比例均超过了40%, 是土地利用结构的主体, 由于林地的大面积存在, 使得贵州地区所拥有的生态功能具有重要意义, 在生态环境建设中具有敏感性。

1996-2008年, 贵州土地利用类型变化总面积103.81万  $\text{hm}^2$ , 其中: 耕地和林地是主要变化的土地利用类型, 变化面积合计77.99万  $\text{hm}^2$  (耕地减少41.82万  $\text{hm}^2$ , 林地增加36.17万  $\text{hm}^2$ ), 占土地利用变化总面积的75.1%。在各土地利用类型中, 耕地、牧草地和未利用土地面积都有不同程度减少, 分别减少41.82万  $\text{hm}^2$ 、9.87万  $\text{hm}^2$  和0.22万  $\text{hm}^2$ , 减少率分别为8.5%、5.8%和0.1%; 林地、园地、建设用地和水域都有不同程度增加, 分别增加36.17万  $\text{hm}^2$ 、4.76万  $\text{hm}^2$ 、6.56万  $\text{hm}^2$  和4.41万  $\text{hm}^2$ , 增加率分别为4.8%、64.6%、13.1%和

22.6%。耕地减少, 林地、园地增加的主要驱动因子是生态退耕政策的实施; 建设用地、水域增加的原因主要是社会经济的发展, 驱动因子主要是人口的增长、GDP的增长以及人均收入的增加、水利水电工程的建设等<sup>[19]</sup>。

### 4.2 土地利用变化对生态系统服务价值的影响

#### 4.2.1 贵州省土地利用变化引起的生态系统总服务价值变化

根据公式1, 可计算得到1996-2008年贵州省生态系统服务总价值量(ESV)(表3、图1)。分析发现: 贵州省1996年的生态系统服务总价值为1961.65亿元, 2008年为2020.73亿元, 13年增加了59.08亿元, 变化率为3.01%, 生态系统服务总价值稳中有升(图1), 2003年的生态系统服务总价值增加幅度达到最大, 主要原因是2003年贵州省生态退耕还林面积达到最大, 林地的生态价值系数较高, 耕地和草地的生态价值系数较林地低, 林地面积的增加已经弥补了由于耕地和牧草地减少引起的生态系统服务总价值的下降, 使得贵州省生态系统服务总价值近年来有所增加, 表明近13年来贵州省造林工程、退耕还林工程等生态建设工程取

表2 1996年和2008年贵州省土地利用变化情况

Tab.2 Changes of the land use types in Guizhou province in 1996 and 2008

| 土地利用类型 | 1996年             | 比例    | 2008年             | 比例    | 变化量       | 变化率  |
|--------|-------------------|-------|-------------------|-------|-----------|------|
|        | 面积/ $\text{hm}^2$ | %     | 面积/ $\text{hm}^2$ | %     |           |      |
| 耕地     | 4903499.4         | 27.8  | 4485297.3         | 25.5  | -418202.2 | -8.5 |
| 园地     | 73742.8           | 0.4   | 121391.0          | 0.7   | 47648.2   | 64.6 |
| 林地     | 7547033.6         | 42.8  | 7908757.9         | 44.9  | 361724.3  | 4.8  |
| 牧草地    | 1696502.1         | 9.6   | 1597810.9         | 9.1   | -98691.2  | -5.8 |
| 建设用地   | 500960.3          | 2.8   | 566609.0          | 3.2   | 65648.7   | 13.1 |
| 水域     | 194675.1          | 1.1   | 238727.4          | 1.4   | 44052.3   | 22.6 |
| 未利用土地  | 2698833.3         | 15.3  | 2696653.1         | 15.3  | -2180.2   | -0.1 |
| 合计     | 17615246.6        | 100.0 | 17615246.6        | 100.0 | —         | —    |

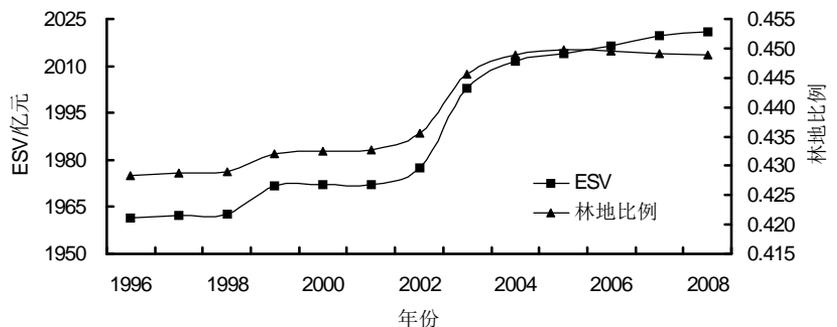


图1 1996-2008年贵州省生态系统服务总价值与林地比例曲线图

Fig.1 Total ESV and forest land proportion in Guizhou province from 1996 to 2008

得了一定成效。从各土地利用类型生态系统服务总价值的比例构成来看,林地和耕地的生态系统服务总价值比例高达89%,因此,贵州省在今后土地利用中应注重对林地和耕地生态系统的保护,巩固退耕还林成果,依靠林地保护和土地综合整治等手段继续加强生态环境建设。

#### 4.2.2 区域土地利用变化引起的生态系统总服务价值变化

利用公式1,计算得到1996年和2008年贵州省9个地区生态系统服务总价值量(*ESV*)(表4),贵州省9个地区中,2008年生态系统服务总价值最大的是黔东南州,达到448.50亿元;最小的是安顺市,只有69.90亿元。近13年贵州省9个地区中,贵州西北地区的生态系统服务总价值的变化率较贵州东南地区显著,生态系统服务总价值增加最大的是黔西南州,达到10.86亿元,变化率为6.95%,主要原因是林地的生态价值系数较大,黔西南州相继开展了珠江防护林体系建设工程、退耕还林工程、石漠化治理工程、重点公益林保护工程、植被恢复工程等生态建设工程,由此致使林地大量增加,1998-2008年,黔西南州累计完成营造林35.6万 $\text{hm}^2$ 。

通过计算单位土地面积*ESV*,贵州地均*ESV*从1996年的11136.1元/ $\text{hm}^2$ 增加到2008年的11471.5元/ $\text{hm}^2$ ,近13年贵州省及各地区的地均*ESV*均有所增加,其中地均*ESV*最大的是黔东南州,最小的是安顺市。从各地区土地利用结构及其对应的生

态价值系数来看,黔东南州的林地和水域面积占到土地总面积的67%左右,安顺市的林地和水域面积仅占到土地总面积的20%左右,林地和水域的生态价值系数是各土地利用类型中最高的。因此,林地和水域的面积所占土地总面积的比例在一定程度上决定了地均*ESV*的大小,即区域土地利用类型结构在一定程度上决定了该区域的*ESV*,因此,在进行区域土地利用规划或区域土地结构调整时应重视地均*ESV*的变化。

#### 4.2.3 敏感性分析

根据敏感性指数(*CS*)计算方法,将生态价值系数(*VC*)分别上下调整50%,计算出贵州省1996年和2008年各地类的*ESV*和*CS*(表5)。分析表明:在上下调整50%的情况下,*ESV*对*VC*的敏感性指数都小于1;最低值为0,即当园地或者未利用地的*VC*增加1%时,对应的*ESV*增加0~0.01%,对研究区的*ESV*影响很小;最高值为0.76,即当林地的*VC*增加1%时,对应的*ESV*增加0.76%,对研究区的

表3 1996年和2008年贵州省生态系统服务总价值变化情况

Tab.3 Changes of the total *ESV* in Guizhou province in 1996 and 2008

|       | <i>ESV</i> |        |         |        |            |           |
|-------|------------|--------|---------|--------|------------|-----------|
|       | 1996年      |        | 2008年   |        | 变化量<br>/亿元 | 变化<br>率/% |
|       | 价值/亿元      | 比例/%   | 价值/亿元   | 比例/%   |            |           |
| 耕地    | 299.81     | 15.28  | 274.24  | 13.57  | -25.57     | -8.53     |
| 园地    | 4.84       | 0.25   | 7.96    | 0.39   | 3.12       | 64.61     |
| 林地    | 1459.10    | 74.38  | 1529.04 | 75.67  | 69.93      | 4.79      |
| 牧草地   | 108.69     | 5.54   | 102.36  | 5.07   | -6.32      | -5.82     |
| 水域    | 79.19      | 4.04   | 97.11   | 4.81   | 17.92      | 22.63     |
| 未利用土地 | 10.02      | 0.51   | 10.02   | 0.50   | -0.01      | -0.08     |
| 建设用地  | 0.00       | 0.00   | 0.00    | 0.00   | 0.00       | 0.00      |
| 合计    | 1961.65    | 100.00 | 2020.73 | 100.00 | 59.08      | 3.01      |

表4 1996年和2008年贵州省各地区*ESV*及地均*ESV*变化情况

Tab.4 Changes of the total *ESV* and *ESV* per hectare in each region of Guizhou province in 1996 and 2008

|      | <i>ESV</i> |        |         |        |            |           | 地均 <i>ESV</i> /(元/ $\text{hm}^2$ ) |         |
|------|------------|--------|---------|--------|------------|-----------|------------------------------------|---------|
|      | 1996年      |        | 2008年   |        | 变化量<br>/亿元 | 变化<br>率/% | 1996年                              | 2008年   |
|      | 价值/亿元      | 比例/%   | 价值/亿元   | 比例/%   |            |           |                                    |         |
| 贵州省  | 1961.65    | 100.00 | 2020.73 | 100.00 | 59.08      | 3.01      | 11136.1                            | 11471.5 |
| 贵阳市  | 79.04      | 4.03   | 79.49   | 3.93   | 0.45       | 0.57      | 9822.8                             | 9879.1  |
| 遵义市  | 344.06     | 17.54  | 354.68  | 17.55  | 10.61      | 3.08      | 11177.9                            | 11522.7 |
| 铜仁地区 | 201.94     | 10.29  | 209.84  | 10.38  | 7.90       | 3.91      | 11214.8                            | 11653.7 |
| 黔西南州 | 156.20     | 7.96   | 167.06  | 8.27   | 10.86      | 6.95      | 9305.7                             | 9952.6  |
| 毕节地区 | 276.63     | 14.10  | 286.71  | 14.19  | 10.09      | 3.65      | 10304.8                            | 10680.6 |
| 安顺市  | 65.55      | 3.34   | 69.90   | 3.46   | 4.35       | 6.63      | 7084.5                             | 7554.4  |
| 黔东南州 | 447.94     | 22.84  | 448.50  | 22.19  | 0.55       | 0.12      | 14794.3                            | 14812.6 |
| 黔南州  | 299.29     | 15.26  | 305.75  | 15.13  | 6.46       | 2.16      | 11426.9                            | 11673.6 |
| 六盘水市 | 90.99      | 4.64   | 98.79   | 4.89   | 7.80       | 8.57      | 9130.4                             | 9912.8  |

ESV影响最大;同时,研究区生态系统服务总价值13年的变化率与生态价值系数调整后的变化率相差不大,相差0.01%~1.05%。这都说明研究区的ESV相对于VC是缺乏弹性的,即研究区采用的VC没有影响到ESV随时间变化的真实性。

#### 4.3 土地利用结构及生态系统服务价值的灰色预测

基于贵州省1996-2008年土地利用变更调查数据,构建适用于研究区各土地利用类型的灰色GM(1,1)模型,预测2015年和2020年的土地利用结构(运算过程采用Matlab软件进行),同时根据土地利用结构信息熵模型<sup>[19]</sup>计算土地利用结构预测值的信息熵。假定研究区总面积不变,未利用土地的预测值则为贵州省土地总面积减去其他土地利用类型的预测值(表6)。预测结果表明:到2015年和2020年,贵州耕地、牧草地、未利用地面积有不同程度减少,园地、林地、居民点及工矿用地、交通用地和水域面积有所增加,2015和2020年的土地利用结构信息熵值分别为1.4320和1.4331,较2008年的土地利用结构信息熵值1.4318有所增加,土地利用结构逐渐趋于均衡,异质性增强;生态系统服务总价值有所提高,分别达到2079.01亿元和2119.03亿元。

对灰色GM(1,1)预测模型进行精度评定,根据模型预测精度等级评定标准<sup>[17-18]</sup>,当 $C < 0.35$ 且 $P \geq 0.95$ 时,模型精度为一级(好);当 $C \geq 0.65$ 且 $P \leq 0.75$ 时,模型精度为四级(不合格)。根据表6,该模型后验差比值 $C_i \leq 0.19 < 0.35$ ,  $P_i = 1 > 0.95$ ,模型

预测精度为好,预测值具有较高可信度。

## 5 结论与讨论

(1) 贵州省近13年来,耕地、牧草地和未利用土地面积均呈现减少趋势,林地、建设用地和水域面积呈增加趋势;土地利用结构决定了生态系统服务价值,贵州2008年的生态系统服务价值比1996年有所增加,土地利用变化引起生态资产增加了59.08亿元,变化率为3.01%,表明近年来贵州生态环境建设工作成效凸显,林地面积的变化对整个贵州地区生态系统服务价值的变化起决定性作用;贵州西北地区的生态系统服务总价值的变化率较

表5 调整生态价值系数后生态系统服务总价值的变化情况及敏感性指数

Tab.5 Estimation of the coefficient of sensitivity (CS) and ecosystem services value (ESV) after the adjustment of the total ecosystem service values coefficient in Guizhou province

|              | ESV/亿元  |         |       |       | 与VC未调整前<br>变化率之差/% | CS   |      |
|--------------|---------|---------|-------|-------|--------------------|------|------|
|              | 1996年   | 2008年   | 变化量   | 变化率/% |                    | 1996 | 2008 |
| 耕地 VC+50%    | 2111.56 | 2157.85 | 46.29 | 2.19  | -0.82              | 0.15 | 0.14 |
| 耕地 VC-50%    | 1811.74 | 1883.60 | 71.86 | 3.97  | 0.95               |      |      |
| 园地 VC+50%    | 1964.07 | 2024.71 | 60.64 | 3.09  | 0.08               | 0.00 | 0.00 |
| 园地 VC-50%    | 1959.23 | 2016.75 | 57.51 | 2.94  | -0.08              |      |      |
| 林地 VC+50%    | 2691.20 | 2785.25 | 94.04 | 3.49  | 0.48               | 0.74 | 0.76 |
| 林地 VC-50%    | 1232.10 | 1256.21 | 24.11 | 1.96  | -1.05              |      |      |
| 牧草地 VC+50%   | 2015.99 | 2071.91 | 55.92 | 2.77  | -0.24              | 0.06 | 0.05 |
| 牧草地 VC-50%   | 1907.31 | 1972.17 | 64.87 | 3.40  | 0.39               |      |      |
| 水域 VC+50%    | 2001.24 | 2069.28 | 68.04 | 3.40  | 0.39               | 0.04 | 0.05 |
| 水域 VC-50%    | 1922.06 | 1972.17 | 50.12 | 2.61  | -0.40              |      |      |
| 未利用土地 VC+50% | 1966.66 | 2025.73 | 59.07 | 3.00  | -0.01              | 0.01 | 0.00 |
| 未利用土地 VC-50% | 1956.64 | 2015.72 | 59.08 | 3.02  | 0.01               |      |      |

表6 2015年和2020年贵州省土地利用结构及其生态系统服务价值预测值

Tab.6 Land use structure and ecosystem services value (ESV) in Guizhou province in 2015 and 2020

|           | 2015年                |         | 2020年                |         | 精度检验 |      |
|-----------|----------------------|---------|----------------------|---------|------|------|
|           | 预测值/万hm <sup>2</sup> | ESV/亿元  | 预测值/万hm <sup>2</sup> | ESV/亿元  | P    | C    |
| 耕地        | 414.34               | 253.34  | 395.61               | 241.89  | 1.00 | 0.14 |
| 园地        | 17.16                | 11.25   | 20.88                | 13.69   | 1.00 | 0.13 |
| 林地        | 828.52               | 1601.82 | 850.81               | 1644.90 | 1.00 | 0.19 |
| 牧草地       | 150.94               | 96.70   | 145.86               | 93.44   | 1.00 | 0.13 |
| 居民点及工矿用地  | 48.25                | 0.00    | 50.20                | 0.00    | 1.00 | 0.06 |
| 交通用地      | 12.95                | 0.00    | 14.47                | 0.00    | 1.00 | 0.06 |
| 水域        | 26.09                | 106.13  | 28.43                | 115.63  | 1.00 | 0.19 |
| 未利用土地     | 263.28               | 9.78    | 255.27               | 9.48    | —    | —    |
| 合计        | 1761.52              | 2079.01 | 1761.52              | 2119.03 | —    | —    |
| 土地利用结构信息熵 | 1.4320               | —       | 1.4331               | —       | —    | —    |

贵州东南地区显著。因此,贵州省在今后生态环境建设和土地管理中应注重对森林生态系统的保护,加大对未利用地的整理开发,尤其是对石漠化地区的治理和生态重建<sup>[20]</sup>,加强对建设用地潜力的挖掘和提高土地利用效率;针对贵州西北和东南地区的生态系统服务价值差异变化,优化土地利用分区和制定差别化土地利用决策,促进土地资源的合理利用和生态系统的持续发展。

(2) 灰色预测模型能充分利用时间序列数据信息进行分析预测,在保持人类影响或政策等因素不变的情况下,预测到2015年和2020年,贵州省的耕地、牧草地和未利用地的面积继续减少,林地、园地、建设用地和水域面积继续增加;土地利用结构信息熵值分别增加到1.4320和1.4331,生态资产总价值将分别增加到2079.01元和2119.03亿元。通过后验差检验方法对模型精度进行检验,灰色预测模型精度评定为好,表明灰色预测结果具有较高的可信度。

(3) 土地利用结构状态及其生态系统服务价值预测是一个复杂的系统工程,有很多随机和无序的影响因素。灰色预测模型的特点是在较少的数据样本情况下进行预测,与马尔柯夫链、元胞自动机、CLUE-S模型等<sup>[20-26]</sup>土地利用模拟预测方法相比,不需要土地利用结构的分布格局及土地利用类型的转移概率,在计算便捷方面具有独特优势且预测精度较高。土地利用变化与经济发展、人口增长及国家政策等因素紧密相关,随着经济社会的发展,建设用地面积不断增加,耕地数量不断减少,但建设用地增加或者耕地减少到一定程度之后,国家会采取相关政策,如加大耕地保护和节约集约用地力度、加快推进农村土地整治实施等政策,从而转向对建设用地或耕地自身潜力的挖掘,抑制建设用地增长或者耕地减少势头。所以,用灰色模拟预测的年限不宜过长,否则预测结果与实际发展情况将不相符合。尽管目前预测方法很多,RS、GIS等地理信息技术飞速发展,但各自的建模机理、应用条件各异,都有各自的优缺点。在实际应用中,利用各预测方法的优点,综合考虑土地利用类型、土地利用分布格局、土地管理措施和土地利用政策等因素对土地利用变化的影响<sup>[27]</sup>,对土地利用结构趋势进行组合预测,进行多方案比较分析,会得出较为满意的预测结果。

(4) 土地利用方式的转变及土地质量的变化会

导致生态系统提供服务的种类和强度发生变化,土地利用结构及空间布局的变化会对生态系统服务的总价值产生影响。系统核算生态系统服务价值,量化土地利用变化对生态系统服务价值的影响,需要综合考虑生态系统的功能、结构和布局,深入认识土地利用结构及空间变化对生态系统功能和结构的影响机理,才能够得出较为准确合理的自然生态价值,从而服务于土地利用决策和生态建设。本研究没有考虑生态系统服务价值评估中的质量因素和空间分布,即同一区域内不同质量的同一生态系统类型价值的差异和生态系统类型的不同空间布局的价值差异,这些需要在下一步的工作研究中予以完善。

### 参考文献

- [1] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [2] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: LUCG 的国际研究动向. *地理学报*, 1996, 51(6): 553-558.
- [3] Turner B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and land-cover change: Science/research plan. IGBP Report No.35/HDP Report No.7. Stockholm: IGBP, 1995.
- [4] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land-cover change, implementation strategy. IGBP Report No.48/IHDP Report No. 10. Stockholm: IGBP, 1999.
- [5] 吴克宁, 赵珂, 赵举水, 等. 基于生态系统服务功能价值理论的土地利用规划环境影响评价: 以安阳市为例. *中国土地科学*, 2008, 22(2): 23-28.
- [6] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展. *资源科学*, 2001, 23(6): 5-9.
- [7] 谢高地, 张懿铨, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值. *自然资源学报*, 2001, 19(1): 47-53.
- [8] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [9] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 607-613.
- [10] Wang Z M, Zhang B, Zhang S Q, et al. Estimates of loss in ecosystem service values of Songnen plain from 1980 to 2000. *Journal of Geographical Sciences*, 2005, 15(1): 80-86.
- [11] 苏飞, 张平宇. 基于生态系统服务价值变化的环境与经济协调发展评价: 以大庆市为例. *地理科学进展*, 2009, 28(3): 471-477.
- [12] 刘少博, 徐立, 王小凡, 等. 土地利用变化对长沙市生态系统服务价值影响. *湖南大学学报: 自然科学版*, 2010,

- 37(4): 72-76.
- [13] 周红艺, 熊东红, 杨忠. 元谋干热河谷土地利用变化对生态系统服务价值的影响. 农业工程学报, 2008, 24(3): 135-138.
- [14] 王晓峰. 榆林市土地生态系统服务功能价值测评. 地球科学与环境学报, 2009, 31(3): 302-305.
- [15] 吴大千, 刘建, 贺同利, 等. 基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析. 农业工程学报, 2009, 25(8): 256-261.
- [16] 岳书平, 张树文, 闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响. 地理学报, 2007, 62(8): 879-886.
- [17] 邓聚龙. 灰色系统基本方法. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987.
- [18] 傅立. 灰色系统理论及其应用. 北京: 科学技术出版社, 1992.
- [19] 李正, 王军, 白中科, 等. 喀斯特地区土地利用变化研究: 以贵州省为例. 地域研究与开发, 2011, 30(2): 143-148.
- [20] 吕明辉, 王红亚, 蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤侵蚀研究综述. 地理科学进展, 2007, 26(2): 87-96.
- [21] 赵庚星, 李强, 李玉环, 等. GIS支持下的马尔柯夫链模型模拟垦利县土地利用空间格局变化. 山东农业大学学报, 1999, 30(4): 345-349.
- [22] 彭建, 蔡运龙, Verburg P. 基于CLUE-S模型的喀斯特山区土地利用/覆被变化情景模拟: 以贵州猫跳河流域为例. 农业工程学报, 2007, 23(7): 64-70.
- [23] Verburg P, Veldkamp W, Limpiada R, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model. Environmental Management, 2002, 30(3): 391-405.
- [24] 李亦秋, 邓欧, 张冬有, 等. 丹江口库区土地利用及其生态系统服务价值情景模拟. 农业工程学报, 2011, 27(5): 329-335.
- [25] 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. 地理研究, 2005, 24(1): 19-27.
- [26] 曹银贵, 王静, 陶嘉, 等. 基于CA与AO的区域土地利用变化模拟研究: 以三峡库区为例. 地理科学进展, 2007, 26(3): 88-95.
- [27] 赵文武, 傅伯杰, 吕一河, 等. 多尺度土地利用与土壤侵蚀. 地理科学进展, 2006, 25(1): 24-33.

## Land Use and Ecosystem Service Values and Their Grey Forecast in Guizhou Province

LI Zheng<sup>1,2</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>, BAI Zhongke<sup>1,2</sup>, GUO Yiqiang<sup>1</sup>, YU Li<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China;

2. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Beijing DiYi Shidai Land Planning and Design Company Ltd., Beijing 100089, China)

**Abstract:** Based on the land use change data in Guizhou province from 1996 to 2008, and by the evaluation of ecosystem service values, coefficient of sensitivity and grey forecast model, this paper estimated the changes in land use and ecosystem service values, and predicted the land use structure and ecosystem services values. The results are shown as follows. (1) During 1996 and 2008 in Guizhou province, the land use structures showed that forest land, garden land, construction land and water body increased significantly, while cultivated land, grassland and unused land showed a decreasing trend. (2) The total ecosystem services values in the study area in 2008 is 5.908 billions yuan more than those in 1996, an increase of 3.01%. (3) The change rate of ecosystem services value of the northwestern part is much larger than that in the southeastern part of the study area. (4) The coefficient sensitivity analysis showed that the ecological value coefficients are reasonable, and the ecosystem service values lack flexibility in the study area. (5) The land use structures of Guizhou province in 2015 and 2020 were predicted by using the GM (1, 1) model. The trend of woodland and construction land would maintain a continual increase while the cultivated land a continual decrease in the ten years to come. The total ecosystem services value in 2020 would reach  $21.19 \times 10^8$  yuan. The information entropy values of land use structure were 1.4320 and 1.4331, respectively, implying that land use structures tend to be more and more balanced.

**Key words:** land use; ecosystem service values; coefficient sensitivity; grey system; Guizhou province

本文引用格式:

李正, 王军, 白中科, 等. 贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测. 地理科学进展, 2012, 31(5): 577-583.