

# 基于 CLUE-S 模型的广西喀斯特山区 生态系统服务价值变化研究

赵国梁<sup>1</sup>, 胡业翠<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 国土资源部土地整治重点实验室, 北京 100035)

**摘 要:**以广西 2000 年、2005 年土地利用现状数据为基础, 基于 GIS 平台, 综合利用 ArcGIS 10.1, CLUE-S 模型以及 SPSS 19.0 等软件, 结合谢高地等对中国陆地生态系统单位面积生态服务价值表, 修正计算得到了 2015 年广西壮族自治区生态服务价值空间分布图与生态系统服务价值表, 并同 1995 年、2000 年和 2005 年数值对比揭示了广西喀斯特山区生态系统服务价值时空变化规律, 发现构成该区生态系统服务价值主要土地类型是耕地、林地、草地; 如果保持 2001—2005 年的人类影响不变, 2015 年广西喀斯特地区生态系统服务价值将基本平稳, 达到 664.39 亿元; 生态服务价值高值区有扩大趋势, 同时低值区也仍然在扩大, 中值区有所缩小, 特别西南地区、东北地区低值区有所扩大, 要警惕建设用地扩张与辐射作用, 由此可见喀斯特地区生态环境保护形势依旧十分严峻。

**关键词:**CLUE-S 模型; 生态服务价值; 广西喀斯特; 马尔科夫模型

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)06-0198-06

## Study on Ecosystem Service Value Changes Based on CLUE-S Models in Guangxi Karst Mountainous Area

ZHAO Guo-liang<sup>1</sup>, HU Ye-cui<sup>1,2</sup>

(1. Department of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Land Consolidation, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

**Abstract:** Based on the status of Guangxi land use data in 2000, 2005 and GIS platforms, comprehensively utilizing ArcGIS 10.1, CLUE-S model and SPSS 19.0 software et al, and combining with equivalent value per unit area of ecosystem services in China by Xie Gaodi et al, this paper calculated and amended the values of ecosystem services and the spatial distribution of ecosystem service value table in Guangxi, and revealed Guangxi karst mountainous area's ecosystem service value temporal variation by comparing with those situations in 1995, 2000 and 2005. Finally, it was found that the main types constituting of land area the value of ecosystem services were farmland, forest land, grassland; if the human impact of change between 2001 and 2005 was been kept, the value of ecosystem services in Guangxi Karst Mountainous Area will be basically stable in 2015, will reach to 66.439 billion (RMB); from the perspective of space, the high value areas for values of ecosystem services have a tendency to expand, low value areas are still expanding, and the middle value areas will narrow, particularly in the southwest, northeast should be alerted because of the construction land expansion and radiation effect, thus the eco-environmental situation is still very grim.

**Key words:** CLUE-S model; value of ecosystem services; karst area in Guangxi; Markov model

进入 21 世纪第二个十年来, 随着我国城市化进程不断加快, 国家经济发展战略的大力实施, 由于人们更多考虑土地可以实现直观经济价值, 而较少重视潜在的社会与环境价值, 人地矛盾持续尖锐, 生态环

境遭到进一步破坏。定量评估生态系统服务价值已成为国际可持续发展科学研究的热点, 是当前生态学、资源经济学和环境经济学的前沿交叉领域。

土地位于五大圈层(生物圈与岩石圈、土壤圈、大

气圈、水圈)的交汇空间,直接决定着生态系统提供服务的状态。土地利用/覆被变化(LUCC)作为全球变化的极其重要的组成部分和主要原因之一,使其成为土地科学领域、地理学、生态学等多学科的研究对象。特别是,“国际地圈与生物圈计划”(IGBP)和“全球环境变化的人文领域计划”(HDP)于1995年联合提出“土地利用/覆被变化”研究计划,使得土地利用变化研究成为全球变化研究的前沿和热点课题。全球各国研究组织和人员结合土地利用/覆被变化(LUCC)的国际研究动向,进行了大量的研究探索。同时我国作为土地利用大国,生态环境复杂,土地类型多样,在土地利用/覆被变化研究上,开展了众多工作,取得了丰硕的成果。

生态系统服务价值是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接提供的生命支持产品和服务,包括人类生活所必需的生态产品和保证人类生活质量的生态功能两部分<sup>[1]</sup>。生态系统服务价值,是研究土地利用/覆被变化的有力指标,人类生存与发展所需要的资源归根结底都来源于生态系统。生态系统服务价值的量化与货币化,一方面可以提高生态保护意识;更重要的一方面,有利于直观研究生态系统服务的时空变化,为合理制定土地利用战略提供技术支持,促进科学发展。同时,广西是世界喀斯特地貌发育的典型地区,全区喀斯特石山面积 9.77 万 km<sup>2</sup>,占全面积的 41%<sup>[2]</sup>,其石漠化的形成机理研究取得一定成绩,但是对喀斯特山区土地生态价值研究还很少提及<sup>[3]</sup>,特殊的地理位置与脆弱的生态环境,使得生态系统服务价值变化研究具有重大意义。

## 1 研究区概况

广西壮族自治区地处祖国南疆,位于东经 104°28′—112°04′,北纬 20°54′—26°24′,北回归线横贯全区中部,属中亚热带季风气候区,降水丰沛,干湿分明,大部分地区年降水量为 1 500~2 000 mm。广西喀斯特山区集中分布在桂中的红水河流域、柳江流域,桂西的左、右江流域,桂东北的漓江流域中下游两岸。同时广西喀斯特山区作为世界岩溶主要分布区域之一,其发育类型之多为世界少见,生态环境较为脆弱,近年来土地退化、林草逆向演替、农村生态环境破坏、生物多样性受到威胁、自然灾害频繁等问题频发。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与处理

本研究所选用的数据包括遥感数据和非遥感数

据,遥感数据主要选取了 TM 遥感影像。TM 数据来源于国际科学数据服务平台(<http://datamirror.csdb.cn>)网站。非遥感数据主要包括中国科学院地理科学与资源研究所提供的广西壮族自治区 1995 年、2000 年与 2005 年三期土地利用现状矢量数据、广西喀斯特地区矢量边界、DEM 数据、交通图、广西年鉴(2012 年)等。图件数据空间参考统一采用 Krasovsky\_1940\_Albers,大地水准面为 D\_Krasovsky\_1940,栅格数据均为 380 m×380 m 分辨率。

根据土地利用地域单元的功能或用途,将二级土地利用类型进行合并,分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 个大类。以 2000 年土地利用现状数据作为基期,转化输出为 380 m×380 m 栅格数据。在基期土地利用现状矢量数据中,提取居民点,工矿用地、水域等等,作近邻分析(Near),输出为 380 m×380 m 栅格数据。将广西 DEM 通过投影变换,统一栅格大小后,进行坡度、坡向、起伏度分析,并输出栅格图作为驱动力因素。查阅广西年鉴资料,结合广西矢量数据制作人口密度图等人文经济图件。基础图件准备完成后,统一转换为 ASC II 格式,为 CLUE-S 模型软件提供基础数据。

### 2.2 研究方法

2.2.1 CLUE-S 模型 CLUE-S (Conversion of Land Use and its Effects at Small region extent)模型是荷兰瓦赫宁根大学“土地利用变化和影响”研究小组在 CLUE 模型的基础上开发的。该模型解决了 CLUE 模型无法精确模拟小尺度区域问题,是一种基于高分辨率(一般大于 1 km×1 km)栅格影像的经验统计模型<sup>[4]</sup>。CLUE-S 模型的假设条件是,一个地区的土地利用变化受到该地区的土地利用需求驱动的,并且该地区的土地利用分布格局总是和土地需求以及该地区的自然环境和社会经济状况处于动态的平衡之中。

CLUE-S 模型运行的核心是空间分配模块。空间分配是基于对土地利用转化规则、土地利用限制区域、土地利用空间分布概率和基期年土地利用现状图分析的基础上,根据总概率的大小对土地利用需求进行空间分配的过程。总概率通过计算机多次迭代得到结果。

$$TPROP_{i,u} = P_{i,u} + ITER_u \quad (1)$$

式中:TPROP<sub>*i,u*</sub>——栅格单元 *i* 出现土地利用类型 *u* 的总概率;*P<sub>i,u</sub>*——通过 Logistic 回归方程求得的空间分布概率;ELAS<sub>*u*</sub>——各土地利用类型的转换弹性,取值为 0~1 之间,值越大,土地利用类型的稳定性越高;ITER<sub>*u*</sub>——土地利用类型 *u* 的迭代变量。

2.2.2 Logistic 回归模型 Logistic 回归分析作为土地利用变化研究中一种常用的建模方法,对二分类因变量进行回归分析时采用的非线性分类统计方法<sup>[5]</sup>。这种方法一般是将研究区细分为栅格单元,将每类土地利用的空间分布与驱动因素的关系利用 Logistic 逐步回归,求出每个栅格可能出现某种土地利用类型的概率。在 CLUE-S 模型中也用来计算某一种土地利用类型出现的概率,公式如下:

$$\ln\left\{\frac{P_i}{1-P_i}\right\}=\beta_0+\beta_1X_{1,i}+\beta_2X_{2,i}+\cdots+\beta_nX_{n,i}\quad (2)$$

式中: $P_i$ ——每个栅格可能出现某一土地利用类型  $i$  的概率; $X_{n,i}$ —— $i$  栅格处第  $n$  个驱动因素; $\beta_n$ ——第  $n$  个驱动因素的回归系数。通过 Logistic 逐步回归分析可以筛选出对土地利用格局影响较为显著的因素,同时剔除不显著的因素。

2.2.3 生态系统服务价值计算方法 中国学者谢高地、甄霖、鲁春霞等在个人偏好与支付意愿和生态服

务价值是一个效用价值的理论基础上,对中国 700 位具有生态学背景的专业人员进行了问卷调查,得出了 2007 年生态系统服务评估单价体系<sup>[6]</sup>。该基于专家知识的生态系统服务评估体系可用于评估已知土地利用面积的生态系统服务价值,其估算公式为:

$$ESV=\sum_{k=1}^nA_k\times V_k\quad (3)$$

式中:ESV——研究区生态系统服务总价值(元); $V_k$ ——第  $i$  类土地利用类型单位面积的生态功能总服务价值系数(元/hm<sup>2</sup>); $A_k$ ——研究区内第  $i$  类土地利用类型的面积(hm<sup>2</sup>); $n$ ——土地利用类型数目。 $V_k$  采用谢高地等 2007 年制定的中国陆地生态系统服务单位面积价值。

根据谢高地等人修订的我国不同省份农田生态系统生物量因子表,以全国农田生态系统的生物量因子为 1,广西均值为 0.98<sup>[7]</sup>,由此制定广西土地利用生态系统单位面积的生态系统服务价值表(表 1)。

表 1 广西生态系统单位面积生态服务价值							元/(hm <sup>2</sup> ·a)
一级类型	二级类型	森林	草地	农田	湿地	河流/湖泊	荒漠
供给服务	食物生产	145.2389	189.2507	440.118	158.4425	233.2625	8.80236
	原材料生产	1311.552	158.4425	171.646	105.6283	154.0413	17.60472
调节服务	气体调节	1901.31	660.177	316.885	1060.684	224.4602	26.40708
	气候调节	1791.28	686.5841	426.9145	5963.599	906.6431	57.21534
	水文调节	1800.083	668.9794	338.8909	5915.186	8261.015	30.80826
	废弃处理	757.003	580.9558	611.764	6337.699	6535.752	114.4307
支持服务	保持土壤	1769.274	985.8643	646.9735	875.8348	180.4484	74.82006
	维持生物多样性	1984.932	823.0207	448.9204	1624.035	1509.605	176.0472
文化服务	提供美学景观	915.4454	382.9027	74.82006	2064.153	1954.124	105.6283
	合计	12376.12	5136.177	3476.932	24105.26	19959.35	611.764

2.2.4 生态价值敏感性指数计算方法 为了验证生态价值系数的准确性,引入生态系统服务价值敏感性指数(the coefficient of sensitivity,CS),以反映生态系统服务价值对生态价值系数的依赖程度<sup>[8]</sup>。CS<1,表明生态系统服务价值缺乏弹性;CS>1,表明生态系统价值是有弹性的。CS 越大,生态系统服务价值相对于价值系数越有弹性。敏感性指数 CS 的计算公式如下:

$$CS=\left|\frac{(ESV_j-ESV_i)/ESV_i}{(V_{jk}-V_{ik})/V_{ik}}\right|\quad (4)$$

式中: $i,j$ ——初始状态和调整以后的状态;ESV——生态服务价值; $V$ ——价值系数。

### 3 结果与分析

生态系统类型在土地利用中表现为土地利用类型,土地利用类型、面积和空间位置的变化,即导致了各类生态系统类型、面积以及空间布局的变化。二

者实质上是互相影响又互相制约的一对矛盾统一体<sup>[1]</sup>。CLUE-S 模型是在模拟土地利用变化方面已经得到大量成熟应用,因而亦可以用来研究生态系统服务价值变化情况。

考虑到区域尺度要求与 CLUE-S 模型设置阈值,经过反复裁剪试验,发现采用 380 m×380 m 分辨率,根据矢量文件坐标系统将研究区均匀分为 A11,A12,A21,A22 四个子区,分别进行模拟,结果相对准确。

#### 3.1 Binary Logistic 空间统计回归结果

土地利用驱动因子,对于预测结果十分重要。通过查阅相关文献,结合获取资料与广西特殊区域情况,根据数据的获取性、稳定性、相关性和适用性,本文共选取了 12 类驱动因子,包括:距居民点距离(Sc1 gr0. fil)、距工矿距离(Sc1 gr1. fil)、距道路距离(Sc1 gr2. fil)、距铁路距离(Sc1 gr3. fil)、距水系距离(Sc1 gr4. fil)、距海洋距离(Sc1 gr5. fil)、坡度(Sc1 gr6. fil)、坡向(Sc1 gr7. fil)、起伏度(Sc1 gr8. fil)、人口密度

(Sc1 gr9. fil)、人均 GDP(Sc1 gr10. fil)、农村居民人均收入(Sc1 gr11. fil)等。

将预处理的驱动力二进制文件,通过 CLUE-S 的 File Convert 模块转换成单列文本文件,导入到 SPSS19.0 中,利用二元 Logistic 回归模块,对每一种土地利用类型和各个驱动因子进行回归分析,并将回归结果进行 ROC 检验。各地类 ROC 值均大于 0.7,可以认为所选取的驱动因子具有良好的解释能力。

3.2 Markov 模型非空间模拟

Markov 模型是基于 Markov 链,根据事件目前状况预测其在将来各个时刻(或时期)变动状况的一种预测方法<sup>[10]</sup>。在预测土地结构变化方面,已经得到较多应用。由于 CLUE-S 模型缺少非空间预测模块,因而将两者结合起来,可以实现模型应用的方法互补,进而综合协调不同地类间的竞争和转化关系,既提高了各地类转化的数量精度,又可以有效地模拟土地利用的空间变化,实现土地利用变化的空间模拟,因此具有重要的科学意义和实践意义<sup>[9-10]</sup>。

表 2 2000—2005 年土地利用/覆盖类型转移概率矩阵 %

土地利用类型	2005 年土地利用类型					
	耕地	林地	草地	水域	城镇工矿	未利用地
2000 年	耕地	<u>99.24</u>	0.71	0.00	0.04	0.00
	林地	0.01	<u>99.97</u>	0.00	0.01	0.00
	草地	0.02	0.67	<u>99.29</u>	0.02	0.01
	水域	0.09	0.23	0.02	<u>99.66</u>	0.00
	城镇工矿	0.09	0.04	0.00	0.04	<u>99.83</u>
	未利用地	0.00	0.00	0.02	0.72	0.00

\* 下划线部分表示 k 时期到 k+1 时期土地利用类型没有变化部分的概率。

最后,利用经过修正后的 2000—2005 年土地利用类型的转移概率矩阵,以 2005 年为基期,各种土地利用类型面积所占的比例为初始状态,模拟步长为 5 a,应用 Markov 模型对广西 2015 年土地利用现状进行情景预测,预测结果用于 CLUE-S 中土地需求模块。

3.3 CLUE-S 空间变化模拟

通过逻辑回归分析,得到各驱动力对不同地类影响的  $\beta$  值与土地利用需求数据后,在 CLUE-S 模型中,结合预处理数据,设定 2000 年土地利用现状数据(cov\_all. 0)为基期,设定主要参数(main1),回归方程(alloc1. reg)、土地利用转换矩阵(allow. txt)、土地转移弹性、区域约束性文件(region\_nopark. fil)、土地需求文件(demand. in1)、驱动力文件(sclgr \*. fil)等模型系统文件。软件所需参数文件设定完成之后预测 2005 年广西土地利用现状,模拟结果如附图 11 所示。与 2005 年土地利用现状图进行 kappa 系数检验为

首先,确定概率转移矩阵。在 ArcGIS 10.1 中,将 2000 年和 2005 年两期图像进行空间叠加,利用面积制表(Tabulate Area)空间分析,得到 2000 年土地利用覆盖类型 i 转变为 2005 年土地利用覆盖类型 j 的转移概率矩阵(表 2)。

其次,CLUE-S 与 Markov 复合模型预测模拟土地利用变化,不同情景设定得出不同结果,一般就现有国内相关应用,情景设定分为自然发展、耕地保护、生态保护与综合发展情景四种<sup>[11-13]</sup>。本文基于综合发展情景,结合《生态广西建设规划纲要》<sup>[14]</sup>,切实考虑到广西经济发展、生态保护、可持续性、土地利用总体规划等多种土地发展需求,科学修正转移概率矩阵。特别是《广西壮族自治区土地利用总体规划(2006—2020 年)》中明确指出,自上轮规划批转实施来,坚持从长远和全局出发,加强了土地用途管制,严格保护了耕地,强化了规划的控制和引导作用,统筹安排各类各业各区域用地,较好地满足了经济社会可持续发展的土地需求。

0.81(>0.75),具有高度一致性,证明参数设置合理,可以进行土地利用预测模拟。进而以 2005 年为基期,模拟预测 2015 年广西喀斯特山区土地利用现状图。

3.4 ESV 模拟对比

3.4.1 ESV 计算 根据三期土地利用现状数据,通过马尔科夫过程可以推算 2015 年广西喀斯特山区土地利用结构,并计算研究区内生态系统服务价值预测数据,利用上述“广西生态系统单位面积生态服务价值表”计算 1995 年、2000 年、2005 年和 2015 年广西各类土地利用类型生态服务价值,本文依据土地的具体利用类型选择与其最相近的生态系统<sup>[15]</sup>;其中耕地与农田生态系统相近;林地与森林生态系统相近;未利用地与荒漠生态系统相近;城乡、工矿、居民用地生态系统服务价值取 0。计算结果如表 3 所示。

结合广西生态服务价值表,利用 ArgMap 空间分析,输出栅格图,得到 1995 年、2000 年、2005 年以及 2015 年广西生态服务价值分布图(附图 12—13)。

表 3 广西 1995—2015 年生态系统服务价值

万元

土地利用类型	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
耕地	160510.36	189049.86	187845.04	186649.67	185463.65
林地	5970761.24	5974029.27	5984608.63	5995106.75	6005524.26
草地	496441.56	453742.65	450629.82	447539.33	444471.03
水域	5420.64	4492.65	5811.52	7122.04	8424.25
城镇工矿	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
未利用地	47.39	33.77	33.53	33.29	33.05
合计	6633181.19	6621348.22	6628928.55	6636451.08	6643916.24

3.4.2 ESV 变化分析 从 1995—2015 年广西喀斯特山区生态系统服务价值时空分布(附图 12—13)上来看,总体上平稳,局部呈现了先减后增的趋势。广西西北地区与东北地区喀斯特山区面积比例最大,1995—2000 年生态系统服务价值变化较大,高值区(>6 000 元/hm<sup>2</sup>)缩减,中值区(2 000~4 000 元/hm<sup>2</sup>, 4 000~6 000 元/hm<sup>2</sup>)、低值区(<2 000 元/hm<sup>2</sup>)面积扩大。2000 年以来,由于退耕还林、封山育林等政策推行,高值区域分布有所扩大,主要是林地面积增加,但是低值区域略有扩大,由于建设用地面积有所扩大。而其他地区,喀斯特山区分布零散,生态景观保持较好,开发力度小,受到人为干扰较少,生态系统服务价值高值区稳中有升,但是低值区仍然有扩大的趋势。依照近年土地利用变化趋势与规律,预测 2015 年生态系统服务价值总体稳中有升,高值区有扩大趋势,同时低值区也仍然在扩大,中值区有所缩小,特别西南地区、东北地区低值区有所扩大,要注意建设用地扩张。从各地类生态系统服务价值地区变化来看,2000 年以来喀斯特山区西北、东北地区草地、耕地生态服务价值大量减少,同时林地、水域生态服务价值会有增加,东北地区草地锐减问题更加突出;西南地区耕地、未利用地生态系统服务价值减少在全区比较明显,东南地区相对比较稳定,但是该两区建设用地

增加引发低值区面积扩大现象值得注意,未来极有可能保持这种态势。

由表 3,表 4 可知,广西在 1995—2000 年,生态服务价值总量减少了约 1.18 亿元,减幅为 0.18%,年均递减率为 0.04%。在此期间,生态系统服务价值组成地类中,增加地类为耕地、林地,耕地增加较多,年增长率为 3.56%;减少地类为草地、水域、未利用地,递减率最高的是草地,为 5.75%,同时面积比例较大,占总价变化的绝对值比率最高,达到 56.59%。在 2000—2005 年,广西生态服务价值总量增加了 0.76 亿元,增幅为 0.11%,年均递增率为 0.02%。其中,生态系统服务价值组成地类中,增加地类为林地、水域,林地面积增加较多,占总价变化绝对值为 65.24%;减少地类为耕地、草地、未利用地,递减率最高的是草地,达到 0.14%。综合表 3,表 4 得知,构成广西生态系统服务价值的主要土地利用类型是林地、耕地、草地,这三类之和在 1995—2005 年均占到总量的 99%以上。通过马尔科夫预测发现,2015 年区域生态系统服务价值稍有增加,增加到 664.4 亿元。未来林地、草地仍然是贡献最大的土地利用类型。需要指出的是,预测所得到的生态系统服务价值可能偏高。因为喀斯特区域环境脆弱多变,加之人为破坏因素难以估计,不易被模型考虑量化。

表 4 广西 1995—2005 年生态系统服务价值变化

%

土地利用类型	1995—2000 年价值变化		2000—2005 年价值变化		2005—2010 年价值变化		2010—2015 年价值变化	
	年增长率	占总价变化绝对值比率	年增长率	占总价变化绝对值比率	年增长率	占总价变化绝对值比率	年增长率	占总价变化绝对值比率
耕地	3.56	37.83	-0.13	7.43	-0.13	7.43	-0.13	7.42
林地	0.01	4.33	0.04	65.24	0.04	65.23	0.03	65.21
草地	-1.72	56.59	-0.14	19.20	-0.14	19.20	-0.14	19.21
水域	-3.42	1.23	5.87	8.13	4.51	8.14	3.66	8.15
未利用地	-5.75	0.02	-0.14	0.00	-0.14	0.00	-0.14	0.00
合计	-0.04	100.00	0.02	100.00	0.02	100.00	0.02	100.00

公式(4) 给出了生态服务价值敏感度计算方法,为了计算方便,本文将耕地、林地、草地、水域、未利用地的生态价值系数分别上下调整 50%<sup>[16-18]</sup>,应用调整以后的生态价值系数对广西 1990 年、2000 年、

2005 年以及 2010 年、2015 年的总服务价值进行了估算,最终得到广西喀斯特山区生态服务价值在不同年份之间的变化情况和敏感性指数,具体结果见表 5。

计算结果表明,广西喀斯特山区所有土地利用类

型的 ESV 对 VC 的敏感性指数均小于 1,其中,林地敏感指数最大,其次为草地、耕地、水域、未利用地。这表明研究区内 ESV 对 VC 是缺乏弹性的,即各土地利用类型生态服务价值系数的变化对广西喀斯特山区生态服务价值总量变化影响不大,区域研究结果是可信的。林地的敏感性指数大于其他土地利用类型,说明林地的 VC 变化会对生态系统服务总价值作用相对较大。而其他土地类型 VC 的变化,对广西喀斯特山区生态服务总价值影响不大。

表 5 广西生态系统服务价值敏感度					
土地利用 类型	敏感指数 CS				
	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
耕地 VC+50%	0.024	0.041	0.038	0.035	0.032
耕地 VC-50%					
林地 VC+50%	0.900	0.907	0.908	0.910	0.911
林地 VC-50%					
草地 VC+50%	0.075	0.059	0.049	0.052	0.048
草地 VC-50%					
水域 VC+50%	0.001	0.004	0.002	0.001	0.001
水域 VC-50%					
未利用 VC+50%	0.000	0.004	0.001	0.001	0.003
未利用 VC-50%					

## 4 结论与讨论

本文基于土地利用/覆被变化,借助 GIS 平台并结合生态系统服务价值计算方法,通过空间分析得出 1995—2005 年广西喀斯特山区生态价值分布格局,并运用 CLUE-S 与 Markov 复合模型模拟,设定综合发展情景模拟了 2015 年广西喀斯特山区生态系统服务价值分布情况。结果表明:

(1) 1995—2005 年,从基本用地特征来看,耕地、林地、草地在广西喀斯特山区占很大比重,故构成该区生态系统服务价值主要土地类型是耕地、林地、草地。前五年土地利用结构发生了较大变化,耕地大量被开垦,草地、未利用地、水域面积锐减,只有林地面积总量较为稳定。生态系统服务总值在这一阶段下降了 0.18%,各土地利用类型的生态服务价值除耕地、林地外,均有下降。后五年该区耕地生态服务价值平稳下降,林地、水域生态服务价值有所增加,草地生态服务价值继续下降,未利用地保持稳定。由于林地生态服务价值对总价值贡献比重较大,此阶段广西喀斯特山区生态服务总值有所增加,增幅达到 0.11%。

(2) 如果保持 2001—2005 年的人类影响不变,2015 年广西喀斯特地区生态系统服务价值将稳中有小幅度增加,达到 664.39 亿元。但值得注意的是,这

一价值可能稍有偏高,因为退耕还林、退耕还草等增加生态用地等政策,在后期由于获取资金、技术难度等增加而实施难度与效果有所增加。生态服务价值高值区有扩大趋势,同时低值区也仍然在扩大,中值区有所缩小,特别西南地区、东北地区低值区有所扩大,要警惕建设用地扩张与辐射作用。建设用地对生态系统服务价值的影响是负面的,建设用地增加会对生态系统服务功能产生阻碍作用。由此可见,喀斯特地区生态环境保护形势依旧十分严峻。

(3) 生态服务总值增加并不代表生态平衡发展,要特别注意广西喀斯特地区草地退化、森林破坏等生态问题。同时,继续推进退耕还林(草)工程,封山育林,严格限制建设用地与监控开垦荒地,以防造成因土地不合理利用而引起破坏生态平衡的行为发生。CLUE-S 与 Markov 复合模型可以有效地预测当前土地利用变化趋势下生态系统服务价值的空间分布情况,是一种非常实用研究工具。本研究没有考虑生态服务价值评估中的质量因素,即区域内不同质量的统一生态系统服务的价值差异,需要在下一步的工作中予以完善。

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[J]. Ecological Economics, 1998, 25(1): 3-15.

[2] 胡业翠, 刘彦随, 吴佩林, 等. 广西喀斯特山区土地石漠化: 态势, 成因与治理[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 96-101.

[3] 徐劲原, 胡业翠, 王慧勇. 近 10a 广西喀斯特地区石漠化景观格局分析[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 181-184.

[4] Verburg P H, Schot P P, Dijst M J, et al. Land use change modelling: current practice and research priorities [J]. Geojournal, 2004, 61(4): 309-324.

[5] Narumalani S, Jensen J R, Burkhalter S, et al. Aquatic macrophyte modeling using GIS and logistic multiple regression[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63(1): 41-49.

[6] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.

[7] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 10-13.

[8] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas[J]. Ecological Economics, 2001, 39(3): 333-346.

(下转第 210 页)

- 光响应特性的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2146-2150.
- [15] Kupperts M, Wheeler A M, Kupperts B I L, et al. Carbon fixation in eucalyptus in the field: Analysis of diurnal variation in Photosynthetic capacity[J]. Oecologia, 1986, 70(2): 273-282.
- [16] Rasehke K, Resemann A. The midday depression of  $\text{CO}_2$  assimilation in leaves of *Arbutus unedo* L. diurnal change in photosynthetic capacity related to changes in temperature and humidity[J]. Planta, 1986, 168(4): 546-558.
- [17] Bradford K J, Sharkey T D, Farquhar G D. Gas exchange, stomatal behavior, and delta C values of the flacca tomato mutant in relation to abscisic acid[J]. Plant Physiology, 1983, 72(1): 245-50.
- [18] 郭春芳, 孙云, 张木清. 土壤水分胁迫对茶树光合作用—光响应特性的影响[J]. 中国生态农业学报. 2008(6): 1413-1418.
- [19] Kramer P, Kozlowski T. Physiology of woody plants [M]. New York: Academic Press, 1979.
- [20] 李倩, 谭雪莲. 旱地植物蒸腾作用研究进展[J]. 甘肃农业科技, 2006(10): 18-20.
- [21] Michael T, Charles R W, Mark A A. Dynamic light use and protection from excess light in upper canopy and coppice leaves of *Nothofagus cunninghamii* in an old growth, cool temperate rainforest in Victoria, Australia [J]. New Phytologist, 2005, 165(1): 143-156.
- [22] 于贵瑞, 王秋凤. 植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [23] 龚伟, 宫渊波, 胡庭兴.  $\text{CO}_2$  浓度升高对湿地松针叶蒸腾特性和水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(5): 178-182.
- [24] 崔大练, 马玉心, 蔡体久.  $\text{CO}_2$  摩尔分数升高对兴安鹿蹄草光合生理特性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(1): 94-99.
- [25] 刘玉华, 贾志宽, 史纪安, 等. 旱作条件下不同苜蓿品种光合作用的日变化[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1468-1477.
- [26] 徐俊增, 彭世彰, 丁加丽, 等. 控制灌溉的水稻气孔限制值变化规律试验研究[J]. 水利学报, 2006, 37(4): 486-491.
- [27] Yu G R, Song X, Wang Q F, et al. Water-use efficiency of forest ecosystems in eastern China and its relations to climatic variables[J]. New Phytologist, 2008, 177(4): 927-937.
- [28] Berry J A, Beerling D J, Franks P J. Stomatal: key players in the earth system, past and present[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2010, 13(3): 233-239.
- [29] 付勇, 汪立今, 柴凤梅, 等. 多元线性回归和逐步回归分析在白石泉 Cu—Ni 硫化物矿床研究中的应用[J]. 地学前缘, 2009, 16(1): 373-379.
- [30] 张宁宁, 刘普灵, 王栓全, 等. 黄土丘陵区不同经济作物光合作用特性研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 269-273.
- [31] 李铭怡, 刘刚, 许文年, 等. 新银合欢在不同土壤水分条件下的适生性研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 259-266.
- [32] 肖文发, 徐德应, 刘世荣, 等. 杉木人工林针叶光合与蒸腾作用的时空特征[J]. 林业科学, 2002, 38(5): 38-46.
- [33] 许大全. 光合作用“午睡”现象的生态、生理与生化[J]. 植物生理学通讯, 1990, 26(6): 5-10.
- [34] 张启昌, 杜凤国, 夏富才, 等. 美国椴光合蒸腾的生理生态[J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2000, 1(5): 436-438.
- [35] 徐敏, 骆争荣, 于明坚, 等. 百山祖北坡中山常绿阔叶林的物种组成和群落结构[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2007, 33(4): 450-457.

(上接第 203 页)

- [9] 周锐, 苏海龙, 王新军, 等. 基于 CLUE-S 模型和 Markov 模型的城镇土地利用变化模拟预测: 以江苏省常熟市辛庄镇为例[J]. 资源科学, 2012, 33(12): 2262-2270.
- [10] Hu Y, Zheng Y, Zheng X. Simulation of land-use scenarios for Beijing using CLUE-S and Markov composite models[J]. Chinese Geographical Science, 2013, 23(1): 92-100.
- [11] 陆汝成, 黄贤金, 左天惠, 等. 基于 CLUE-S 和 Markov 复合模型的土地利用情景模拟研究[J]. 地理科学, 2009, 29(4): 577-581.
- [12] 冯喆, 黄力, 高阳, 等. 基于 CLUE-S 模型框架的土地可持续利用情景预测: 以阳泉市郊区为例[J]. 资源科学, 2011, 33(9): 1699-1707.
- [13] 黄明, 张学霞, 张建军, 等. 基于 CLUE-S 模型的罗玉沟流域多尺度土地利用变化模拟[J]. 资源科学, 2012, 34(4): 769-776.
- [14] 广西壮族自治区人民政府. 生态广西建设规划纲要(2006-2025 年)[Z]. 2007.
- [15] 吕明权, 王艳萍, 王继军. 吴起县土地利用变化及其生态服务价值研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 145-153.
- [16] 王冰, 田永中, 高志勇, 等. 重庆市土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 测绘科学, 2010, 35(2): 150-152.
- [17] 王佼佼, 胡业翠, 吕小龙, 等. 基于土地利用变化的北京市生态系统服务价值研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(32): 229-236.
- [18] 王伟林, 黄贤金, 钟太洋. 区域土地利用变化的生态系统服务价值响应: 以南京市为例[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1): 212-221.