引文格式：李萱,李静芝. 湘西州土地利用与生态系统服务价值时空演变[J]. 地理空间信息, 2024, 22(4): 60-64. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.04.014

湘西州土地利用与生态系统服务价值时空演变

李　萱[1]，李静芝[1,2*]
（1. 长沙理工大学，湖南 长沙 410076；2. 洞庭湖水环境治理与生态修复湖南省重点实验室，湖南 长沙 410076）

摘　要：对湘西州 28 a 间土地利用和ESV时空变化进行分析。利用土地利用动态度和当量因子法，采用灰色关联度研究湘西州土地利用与ESV的相关性，并评价其土地生态风险。①1990-2018 年，林地、耕地为湘西州主要土地利用类型，2013-2018 年综合土地利用动态度最高。②湘西州生态系统服务总价值呈现先减后增趋势，28 a 间总价值减少 17.21 亿元。③研究区 ESV 分为 5 个等级，空间上有明显的区域差异性，东南高西北低。④1990-2018 年，林地对于研究区 ESV 影响最剧烈。⑤研究期内湘西州整体处于低生态风险等级。在土地利用中要注重保育林地，耕地面积不减少质量不降低，避免人类建设活动对生态系统的破坏。

关键词：土地利用；生态系统服务价值；相关性；格网分析；时空变化
中图分类号：P208　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）04-0060-05

Spatio-temporal Evolution of Land-use and Ecosystem Service Values in Xiangxi Tujia and Miao Autonomous Prefecture

LI Xuan[1]，LI Jingzhi[1,2]
(1. Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China;
2. Key Laboratory of Water Environment Management and Ecological Rehabilitation in Dongting Lake, Changsha 410076, China)

Abstract: To analyze the change law of land-use and ESV in Xiangxi Tujia and Miao Autonomous Prefecture, based on seven periods of land-use data, we used the land-use dynamic degree, transfer matrix and grey relational degree to study the relationship between land-use and ESV in Xiangxi and evaluate the ecological risk of land. The results show that ①from 1990 to 2018, forest and cultivated land are the main land-use types in Xiangxi, and the comprehensive land-use dynamic degree are the highest from 2013 to 2018. ②The total value of ecosystem services in Xiangxi shows a trend of increasing first and then decreasing, with a decrease of 1.721 billion yuan. ③ESV in the study area is divided into 5 grades, and there is obvious regional difference in space, the southeast is higher and the northwest is lower. ④From 1990 to 2018, the impact of forest on ESV is the most severe. ⑤The overall level of ecological risk in Xiangxi is low during the study period. In the land-use, we should pay attention to the forest conservation, the cultivated land area does not reduce and the quality does not reduce, reducing the human construction activity to the ecosystem destruction.

Key words: land-use, ESV, correlation, grid analysis, spatio-temporal change

目前，利用GIS技术，结合遥感数据和生态模型，对区域进行LUCC数据统计，与ESV联系制图进行时空演变分析取得了丰富成果。李庆玲[1]等利用三省土地利用数据，研究景观格局与生态系统服务功能的相互关系；吉玮[2]等对爱辉区遥感影像进行分类，核算分析其生态系统服务价值。此外，已有学者在土地利用时空变化基础上对研究区生态风险做出评价。吕乐婷[3]等引入景观生态风险模型评估溪河流域生态状况；朱润苗[4]基于福建省土地利用数据定量评价其风险等级。

湘西州属于我国西南部地区典型喀斯特地貌和武夷山脉叠加区，以山地丘陵为主，承载重要生态功能。截至目前，学者对其ESV时空演变及土地利用与生态系统服务关联研究较少，生态风险评价研究有空缺。据此，本文以湘西州为例，借助遥感影像图获取土地利用数据，采用ESV评估当量因子法，研究湘西州1990—2018年7期土地利用及生态系统服务价值时空变化和两者相关性，并做出土地利用风险评价。为优化区域土地利用及生态可持续发展提供参考，为维持湘西州生态系统健康稳定提供借鉴意义，同时丰富丘陵区生态系统服务价值研究类型。

收稿日期：2022-09-16。
项目来源：湖南省自然科学基金项目（2018JJ3526）；湖南省教育厅科学研究项目（17C0037）。
第一作者简介：李萱（1998—），本科，研究方向为城乡规划，E-mail：2295086610@qq.com。
通信作者：李静芝（1984—），博士，讲师，研究方向为城市与区域规划，E-mail：lijingzhi2210862@163.com。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

湘西土家族苗族自治州（湘西州）位于湖南省西北部，云贵高原东侧的武陵山区，处于109°10′~110°22.5′E，27°44.5′~29°38′N之间，坐落在湖南、湖北、贵州和四川四省交界处，是湖南省的“西北门户”。面积约1.5万km²。属中亚热带大陆性季风湿润气候区，四季分明。地势由西北向东南倾斜，海拔主要分布于200~800 m之间，地貌类型多样，以山地为主，兼有丘岗及部分河谷平地。境内的主要河流为沅江和酉水水系。2020年末全州常住人口248.8万人，城镇化率50.7 %；全州实现生产总值725.11亿元。近年来随着城市化快速推进，粗放土地利用方式导致湘西州生态服务发生改变。

1.2　数据来源

本文采用数据主要包括：①土地利用矢量数据：1990、1995、2000、2005、2010、2013、2018年的7期湘西州土地利用数据从中国地理国情监测云平台获取；②时空修正因子数据：NPP、降水量数据来源于中国科学院；③社会经济统计数据：全国及区域农产品数据、恩格尔系数及GDP数据来源于1990—2018年的《湘西州统计年鉴》、《中国统计年鉴》、《全国农产品成本收益资料汇编》。

为了方便ESV评估，根据湖南省土地利用分类标准和谢高地当量基础表分类，将土地利用类型重分类为耕地、林地、草地、水域、未利用地和建设用地6大类，前5类分别与生态系统分类中农田、森林、草地、水域和荒漠对应。

2　研究方法

2.1　土地利用变化

利用GIS软件，采用土地利用动态度[5]2种方法对湘西州土地利用变化进行分析。

2.2　生态系统服务价值评估

2.2.1　生态系统服务功能价值当量表构建

本文应用谢高地[6]当量因子法，在其制定的单位面积生态系统服务价值当量表的基础上，利用研究区NPP、降水和土壤保持调节的时空动态因子进行修订，构建湘西州价值当量表。目前关于建设用地的生态效应有所争议，其评估计算方法还有待商榷。因此，本文生态系统服务功能价值评价中不考虑建设用地。结果采用1990—2018年时空修订因子的平均值。

2.2.2　当量因子经济价值确定

一个标准当量因子的价值量为1 hm²农田生产粮食的经济价值[7]，根据研究区粮食产量和价格求得。本文选取2018年全国粮食平均价格2.19 元/kg和1990—2018年湘西州平均粮食产量4 143.06 kg/ hm²，计算得出研究区单位生态系统服务当量因子为1 298.08 元/ hm²。

根据修订后的当量因子表和标准当量经济价值得到湘西州生态系统服务价值系数表（表1）。

表1　湘西州生态系统服务价值系数/（元/hm²）

一级分类	二级分类	耕地	林地	草地	水域	未利用地
供给服务	食物生产	2 229.43	509.44	470.77	881.01	10.09
	原料生产	494.31	1 170.20	692.70	490.95	30.26
	水资源供给	−3 438.81	790.53	502.43	11 453.90	26.35
调节服务	气体调节	1 795.65	3 848.54	2 434.55	1 916.71	131.14
	气候调节	938.18	11 515.37	6 434.62	4 324.36	100.88
	净化环境	272.37	3 374.41	2 122.10	6 261.24	413.61
	水文调节	3 939.48	9 842.10	6 157.35	117 349.81	316.21
	土壤保持	121.50	542.66	343.47	252.35	17.52
支持服务	维持养分循环	312.73	358.12	228.66	168.13	10.09
	生物多样性	342.99	4 267.19	2 696.84	7 014.47	141.23
文化服务	美学景观	151.32	1 871.31	1 190.38	4 512.67	60.53
总计		7 159.15	38 089.89	23 273.87	154 625.59	1 257.91

2.2.3　社会发展系数修订

随着社会进步、城市化进程加快，ESV变化受支付意愿和支付能力的影响，在不同的社会阶段影响不同[8]。本文采用社会发展系数修正ESV测算。

$$\begin{cases} L = W \times A \\ W = \dfrac{2}{1+e^{-\left(\frac{1}{En}-2.5\right)}},\ A = \dfrac{\mathrm{GDP}_{st}}{\mathrm{GDP}_{ct}},\ En = E_{nu} \times U + E_{nr} \times R \end{cases} \tag{1}$$

$$D_t = \frac{L_s}{L_c} \tag{2}$$

式中，D_t 为第 t 年的社会发展修正系数；W 为支付意愿；A 为支付能力；GDP_{st}、GDP_{ct} 分别为第 t 年

研究区和全国人均GDP；En为第t年的恩格尔系数，E_{nu}，E_{nr}分别为第t年城镇和农村恩格尔系数，U和R分别为城镇和农村人口比例；L_s、L_c分别为湘西州和全国的社会发展系数。计算得出研究年份的社会发展修正系数分别为0.427 1、0.331 8、0.255 3、0.277 0、0.280 3、0.379 6、0.392 4。

2.2.4 生态系统服务价值评估模型

在以上修正基础上，根据湘西州各土地利用类型面积，建立生态系统服务价值评估模型。计算公式为：

$$\begin{cases} \mathrm{ESV}=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(A_i VC_{kij}\right) \\ VC_{kij}=VC_{ij}\times D_t \end{cases} \tag{3}$$

式中，ESV为生态系统服务总价值；A_i为第i种土地利用类型面积；VC_{kij}为修正后第i地类第j种生态系统服务功能价值系数。

2.3 灰色关联度分析

参照灰色系统理论[9]，计算1990—2018年各研究时段湘西州各地类分别与生态系统服务价值的关联度。将湘西州5种地类作为灰色关联模型的比较数列，选取7个研究年份的生态系统服务功能价值为参考数列。

$$\xi_{i(k)}=\frac{\min_i\min_k\left|X_{0k}-X_{ik}\right|+\rho\max_i\max_k\left|X_{0k}-X_{ik}\right|}{\left|X_{0k}-X_{ik}\right|+\rho\max_i\max_k\left|X_{0k}-X_{ik}\right|} \tag{4}$$

$$r_i=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\xi_{i(k)} \tag{5}$$

式中，$\xi_{i(k)}$为关联度；$\left|X_{0k}-X_{ik}\right|$为序列差；$\rho$为分辨系数，通常取常数0.5；$r_i$为关联度，得出的值越大表示两者之间的关联度越高，该地类对生态服务价值影响越大；当$0<\xi_i\leqslant 0.35$，关联度为轻度；当$0.30<\xi_i\leqslant 0.55$，关联度为中度；当$0.55<\xi_i\leqslant 0.75$，关联度为强度；当$0.75<\xi_i\leqslant 1$，关联度为极强度。

2.4 生态风险评价

本文在网格分析基础上，参考相关研究[10]，根据土地利用结构构建生态风险指数，用于评价湘西州生态变化情况。

$$\mathrm{ERI}=\sum_{i=1}^{n}\frac{A_i W_i}{A} \tag{6}$$

式中，ERI为土地生态风险指数；A_i为格网内地类面积；A为格网面积；W_i为地类生态风险强度权重。基于湘西州实际，将其划分为1 km×1 km的网格生成生态风险指数空间分布图，本文借鉴前人研究成果，将生态风险强度权重设置为：耕地0.32，草地0.16，水域0.53，未利用地0.82，林地0.12，建设用地0.85。

3 结果与分析

3.1 湘西州土地利用变化分析

1990—2018年28 a间，湘西州土地利用结构、地类面积占比次序未发生改变（图1）。从地类结构来看，研究区内以林地、耕地为主，研究期林地占比约71%，耕地占比约20%，未利用地比重最小，研究期内占比不到0.01%。从面积变化来看，28 a间，耕地、草地、水域面积减少，林地、未利用地、建设用地面积增加，耕地减少数量最多，为8 073.55 hm^2；林地增加数量最多，为1 279.95 hm^2；受城镇化进程的影响，建设用地规模明显扩张，增加面积8 358.95 hm^2。1990年林地、耕地、草地、水域、未利用地、建设用地占比分别为70.54%、19.76%、8.12%、0.76%、0.01%、0.81%，到2018年分别为70.63%、19.24%、8.05%、0.74%、0.01%、1.35%。

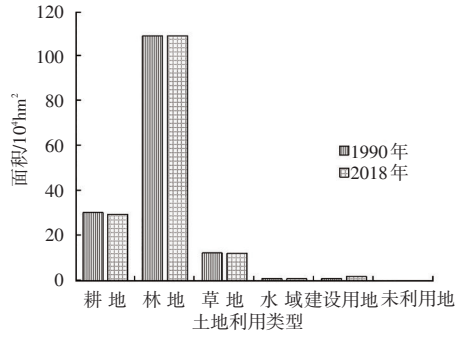


图1 1990、2018年湘西州土地利用类型面积变化

从动态度来看，28 a间研究区土地利用综合动态度较小，土地利用变化程度不高，2010年前土地利用变化程度比2010年后低。单一地类变化趋势可分为递增、先增后减、波动增减3种类型。递增的为建设用地，先增后减的有耕地和草地，波动增减的有林地和水域。未利用地在所有地类中变化最剧烈，1990—2018年动态度为3.28%，其中2010—2013年间未利用地动态度最大，达到33.35%。变化剧烈程度排第2的为建设用地，以每年2.39%的速度增加，面积增长较为迅猛，主要分布在吉首市城区及周边各县区。受城镇化、退耕还林政策及草地开垦和破坏力度加大的影响，耕地、草地呈现先增后减、整体减少趋势；受1995年和2010年暴雨自然灾害的影响，水域呈现增减波动趋势；而作为主体地类的林地，28 a间波动增减，动态度仅为0.01%，面积较为稳定，增减趋

势不明显。

3.2　湘西州生态系统服务价值时空变化

3.2.1　生态系统服务价值时间变化分析

由图2可知，从总体来看，1990—2018年湘西州生态系统服务价值呈现先减后增趋势，总价值在1990—2000年下降，2000—2018年上升，28 a下降17.21亿元。一方面虽然林地和未利用地面积增加，但耕地、草地、水域面积减少；另一方面社会发展系数的变化对其造成影响。从各土地利用类型贡献率来看，研究期内林地的贡献率一直居首位，在85%~86%之间波动，对湘西州ESV有重要影响，且2018年比1990年高0.28%；其次是草地，贡献率在5.98%~6.10%之间波动；水域和耕地的贡献率相当，耕地在4.40%~4.52%之间，呈下降趋势，水域在3.60%~3.80%之间波动；未利用地的贡献率最低，在0.018%~0.037%之间，先增加再减少。

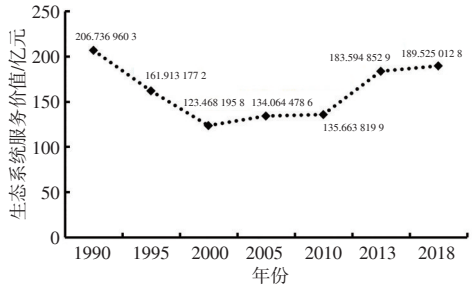


图2　湘西州1990–2018年生态系统服务价值总量变化

由表2可知，28 a内，除了未利用地，其他4种地类ESV下降。细分来看，1990—2000年，所有地类ESV减少；2000—2013年，所有地类ESV增加；2013—2018年，耕地、林地、草地、水域4类土地利用类型ESV增加，未利用地减少。1990—2018年，林地ESV降低量最大，为14.24亿元；水域降低幅度最大，为11.12 %，未利用地增加幅度最大，为76.34 %。

表2　湘西州1990–2018年各土地利用类型的ESV变化/亿元

年份	耕地	林地	草地	水域	未利用地	总计
1990	9.327 9	177.191 5	12.470 8	7.746 4	0.000 4	206.737 0
1995	7.255 9	138.935 6	9.868 2	5.853 2	0.000 3	161.913 2
2000	5.583 4	105.898 1	7.428 0	4.558 5	0.000 2	123.468 2
2005	6.035 0	114.905 5	8.053 8	5.069 9	0.000 2	134.064 5
2010	6.097 5	116.269 9	8.143 9	5.152 3	0.000 3	135.663 8
2013	8.157 4	157.844 1	10.980 8	6.611 8	0.000 7	183.594 9
2018	8.341 6	162.956 2	11.341 5	6.884 9	0.000 6	189.525 0
1990–2018	−0.986 2	−14.235 3	−1.129 2	−0.861 5	0.000 3	−17.211 9

3.2.2　生态系统服务价值空间变化分析

本文基于格网分析[11]，将研究区划分为若干个相同大小为1 Km×1 Km的格网矩阵，将土地利用数据与格网数据关联，根据上述公式计算出各格网的7个时间节点的地均ESV值，利用GIS自然间断点分级方法将研究区生态系统服务价值分为5个等级，即较低值、低值、中值、高值、较高值，并进行ESV空间特征分析。

1990—2018年湘西州生态系统服务价值空间分布格局总体变化小，表现出显著的区域差异性；总体特征表现为东南部高于西北部，原因是东南部林地分布密集。ESV较高值区集中在酉水和沅江水域范围内，高值区分布在泸溪县境内的林地密集区，中值区以高程在500~1000 m的山脉为主，集中在研究区西北部；低值区和较低值区受人类活动影响较大，分布在市县建设用地集中范围内。

3.3　土地利用对生态系统服务价值的影响

通过灰色关联度分析（式4）出研究期内耕地、林地、草地、水域和未利用地与生态系统服务价值的平均关联度分别为0.634 6、0.641 7、0.635 2、0.586 9、0.622 9。从高到低排序为：林地 > 草地 > 耕地 > 未利用地 > 水域；5种地类与其生态服务价值之间均存在强烈关联性，土地利用变化对生态服务价值影响剧烈。从平均关联度来看，林地关联度最高，表明林地是影响研究区生态系统服务价值的重要因素，因此加强林地保护管理，恢复林地面积对湘西州生态价值提升十分重要，其次是耕地和草地。

3.4　土地生态风险评价

利用GIS软件，自然断点法将评价结果按照0.15、0.2、0.26、0.45为风险临界阈值，分为较低风险、低风险、中风险、高风险和较高风险5个等级。得出湘西州土地利用生态风险图。

由表3可知湘西州较低生态风险区和低生态风险区一直居主导地位，1990—2018年的主要变化为较低风险区和中风险区分别减少0.01%，高风险区增加0.02%。可见，城市化进程加快，城市建设用地增加对生态风险有明显扰动，水域面积减少对生态安全有显著影响，但湘西州优越的自然本底保证其良好的生态状况。1990—2018年高风险地区主要呈团状和带状分布在凤凰县和吉首县境内建设用地密集处；中风险区显著减少，由于研究期内水域面积减少，城市建设活动沿水域展开，主要表现为酉水周边地区生态风险等级增加；较低生态风险区主要分布在研究区西部和东北部，土地利用类型以耕地和林地为主。湘西州七期生态风险指数均值分别为0.172、

0.169、0.172、0.172、0.173、0.173、0.175，略有波动且保持在0.2低风险以下，但总体呈小幅上升。说明研究期内湘西州整体生态安全状况稳定，凭借良好的自然本底和生态治理手段，研究区生态安全状况较好。

表3 1990–2018年湘西州生态风险等级土地利用占比/%

风险强度等级	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2018
较低风险	0.39	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38
低风险	0.35	0.35	0.35	0.36	0.35	0.37	0.35
中风险	0.19	0.17	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18
高风险	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.08
较高风险	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

4 讨论与结论

4.1 结 论

1）1990—2018年，林地、耕地为湘西州主体土地利用类型，两者之和约占总面积的90 %；耕地、草地、水域整体呈减少趋势，林地、建设用地和未利用地整体呈增加趋势。2013—2018年综合土地利用动态度最高；28 a间，未利用地动态度最大。

2）1990—2018年，湘西州总体生态系统服务价值呈现先减后增趋势，28 a间总价值减少17.21亿元，林地、耕地、草地、水域的ESV降低，未利用地的ESV增加；林地对其贡献率最大。未来湘西州土地利用应注重林地生态系统保护。

3）1990—2018年，ESV空间表现出明显的区域差异性，总体特征为东南部高于西北部。较高值区分布在水域范围内，高值区分布在林地密集区，中值区分布在500~1 000 m山脉范围内，较低值和低值区分布在建设用地范围内。

4）1990—2018年，湘西州土地利用类型与生态系统服务价值灰色关联度结果显示，林地 > 草地 > 耕地 > 未利用地 > 水域，林地对于研究区生态价值影响最剧烈。

5）1990—2018年，湘西州生态风险指数整体保持在0.2低风险等级，研究期内小幅上涨；较高风险区主要集中在建设用地密集区。

4.2 讨 论

1）本文在使用谢高地当量因子法时，为使方法适用于研究区，利用时空动态因子进行区域修订，为避免不同社会发展阶段带来计算结果偏差，利用社会发展系数进行时间修订，在时间序列方面ESV评估准确性提升。研究结果客观，为丘陵区土地利用和生态服务提供理论依据和参考。

2）在实际情况中，建设用地对生态系统服务总价值存在增益或损益影响，本研究未考虑建设用地生态系统服务价值，存在一定局限性。

3）研究结果看出，28 a来，研究区ESV总量减少，与土地利用结构有强关联。土地利用结构方面，林地、耕地为土地利用主导类型，对生态系统价值有强影响，未来应注重林地保育，耕地面积不减少质量不降低，同时保护草地、林地，进一步提高土地集约节约利用水平。

4）在城市快速发展时期，湘西州生态风险受经济发展、土地利用格局影响；为维持改善湘西州良好生态状况，要注重生态用地保护和生态风险水平管控。

参考文献

[1] 李庆玲，刘艳芳，李佩伶，等. 不同生态区景观格局差异与生态价值耦合[J]. 地理空间信息,2016,14(4):75-80

[2] 吉玮，王光宝，李丽，等. 基于土地利用的爱辉区生态价值动态评估[J]. 地理空间信息,2021,19(2):90-95

[3] 吕乐婷，张杰，孙才志，等. 基于土地利用变化的细河流域景观生态风险评估[J]. 生态学报,2018,38(16):5 952-5 960

[4] 朱润苗，陈松林. 1980—2020年福建省景观生态风险与生态系统服务价值的空间关系[J]. 应用生态学报,2022,33(6):1 599-1 607

[5] 肖建设，乔斌，陈国茜，等. 黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变[J]. 生态学报,2020,40(2):510-521

[6] 谢高地，张彩霞，张雷明，等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报,2015,30(8):1 243-1 254

[7] 薛嵩嵩，高凡，何兵，等. 近30年乌伦古河流域土地利用与生态系统服务价值变化研究[J]. 水土保持通报，2019,39(6):223-229

[8] 刘倩,李葛,张超,等. 基于系数修正的青龙县生态系统服务价值动态变化研究[J]. 中国生态农业学报(中英文),2019,27(6):971-980

[9] Deng J L. Control Problems of Grey Systems[J]. Systems & Control Letters,1982,1(5):288-294

[10] 彭建,党威雄,刘焱序,等. 景观生态风险评价研究进展与展望[J]. 地理学报,2015,70(4):664-677

[11] 耿纪文,帅红,张英,等. 洞庭湖生态经济区土地生态系统服务价值的时空变化[J]. 中南林业科技大学学报(社会科学版),2020,14(4):53-61