中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊
百种中国杰出学术期刊
中国科学引文数据库源刊

基于地形梯度的湘西地区生态系统服务价值时空变化

陈奕竹，肖轶，孙思琦，郭泺

引用本文:
陈奕竹, 肖轶, 孙思琦, 等. 基于地形梯度的湘西地区生态系统服务价值时空变化[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(4): 623–631.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180751

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

2000—2013年衡阳市土地利用格局转变对生态系统服务的影响

Effect of land use transformation pattern in 2000–2013 on ecosystem services in Hengyang City, China

中国生态农业学报. 2017, 25(7): 1060–1070 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160913

渭北旱塬县域土地利用时空演变规律研究*--以合阳县为例

Land use dynamics in Weibei upland in China – A case study of Heyang County

中国生态农业学报. 2016, 24(11): 1565–1574 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160510

喀斯特山地土地利用变化的垂直分布特征

Vertical distribution of land use in karst mountainous region

中国生态农业学报. 2016, 24(12): 1693–1702 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.160456

鄂尔多斯高原泊江海子流域土地利用动态变化及驱动因素分析

Characteristics and driving factors of land use change in the Bojiang Lake Basin in Ordos Plateau, China

中国生态农业学报. 2017, 25(11): 1693–1706 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170012

基于改进指数和法的地形因素对土地利用变化影响程度评价

Evaluation of influencing of terrain factors on land use change based on improved Index Sum Method

中国生态农业学报. 2018, 26(3): 442–452 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170593

中国生态农业学报(中英文) 2019 年 4 月 第 27 卷 第 4 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Apr. 2019, 27(4): 623−631

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.180751

陈奕竹, 肖轶, 孙思琦, 郭泺. 基于地形梯度的湘西地区生态系统服务价值时空变化[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(4): 623−631
CHEN Y Z, XIAO Y, SUN S Q, GUO L. Spatial-temporal changes of ecosystem service values in Xiangxi region based on terrain[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(4): 623−631

基于地形梯度的湘西地区生态系统服务价值时空变化*

陈奕竹[1,2], 肖 轶[1], 孙思琦[1], 郭 泺[1**]

(1. 中央民族大学生命与环境科学学院 北京 100081; 2. 北京大学城市与环境学院 北京 100871)

摘 要: 为探究土地利用和生态系统服务价值(ecosystem service value, ESV)随不同地形因子变化的情况, 本文利用湘西地区 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年及 2015 年 6 期遥感数据、野外调研数据和统计数据, 分析了湘西不同土地利用类型在不同地形梯度上的变化、生态系统服务价值的时空变化及土地利用格局与 ESV 的相关性。研究结果表明: 1)受人类活动影响较大的土地利用类型如耕地和建设用地主要分布在较低高度及坡度梯度上, 山体南面和东面方向各类型土地面积较大。林地在不同地形梯度上均为最主要的土地利用类型。建设用地面积在不同地形梯度上随时间均明显呈增加趋势。2)ESV 在海拔梯度上表现为先减少后增加, 且海拔越高, ESV 随时间变化的增长幅度越小; ESV 随坡度增大而增大, 且 25 年间最小坡度梯度上增长量最多; ESV 随着地形位指数上升而增大; 坡向变化中, 东南方向出现 ESV 最低值, 西北方向出现 ESV 最高值, 东和西北方向 ESV 随时间增长量最大。3)相关性分析表明, 林地、草地在坡度和地形位梯度上的变化与 ESV 变化呈正相关。湘西地区土地利用变化及生态系统服务价值随地形变化的差异明显。本研究为合理布局和保护我国南方丘陵山地区域的生态用地, 发挥湘西地区的生态屏障作用提供了理论依据和决策支持。

关键词: 土地利用变化; 生态系统服务价值; 地形梯度; 地形位指数; 湘西地区
中图分类号: S181 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-6237(2019)04-0623-09

Spatial-temporal changes of ecosystem service values in Xiangxi region based on terrain*

CHEN Yizhu[1,2], XIAO Yi[1], SUN Siqi[1], GUO Luo[1**]

(1. College of Life and Environmental Sciences, Minzu University of China, Beijing 100081, China; 2. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: To understand the change of land use and ecosystem service value (ESV) on different terrain gradients, this study used remote sensing data, field data and statistic data of Xiangxi region in 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 and 2015 to analyze the change of each land use types along the gradients of elevation, slope, aspect and terrain index, which were classified into five levels by quantile method, respectively. The study also evaluated the ESV with XIE Gaodi's method to explore the spatio-temporal change of ESV in Xiangxi region. And R Studio and Pearson correlations were used to analyze correlation between areas changes of different land use types and change of ESV with terrain gradients. The results showed that: 1) areas of different land use types were significantly different on different terrain gradients. The human-activity-affected cropland and construction land mainly distributed on low gradients of elevation, slope and terrain index, while the natural systems, such as forestland and grassland, were mainly on high gradients

* 科技部重点研发计划课题(2017YFC0505601)资助
** 通信作者: 郭泺, 主要从事景观生态学研究。E-mail: guoluo@muc.edu.cn
陈奕竹, 主要从事景观生态学研究。E-mail: baggieChen@126.com
收稿日期: 2018-08-08 接受日期: 2018-12-03
* This study was supported by the Key Research and Development Project of Chinese Ministry of Science and Technology (2017YFC0505601).
** Corresponding author, E-mail: guoluo@muc.edu.cn
Received Aug. 8, 2018; accepted Dec. 3, 2018

of the three terrain factors. The south and east slopes were with larger areas of each land use type. Forestland occupied about 70% area on every terrain gradient, and the construction land area significantly increased on every terrain gradient over 25 years. 2) ESV decreased first and then increased with increasing elevation. From 1990 to 2015, ESV increased at lower elevation gradient, however, change was slighter at higher elevation, and it even decreased on the highest elevation gradient. ESV increased with slope growth. Over 25 years, ESV increased most on the lowest slope gradient. In a similar way, ESV evenly increased with increasing terrain index gradient. ESV was the lowest in southeast slope, highest in northwest slope, and increased most in east and northwest slopes from 1990 to 2015. 3) Correlations between change of land use types areas and ESV with gradients of elevation, slope, aspect, terrain index were different. On elevation gradient, grassland area change significantly positively correlated with ESV change. On slope gradient, forestland and grassland areas changes both had extremely positive correlation with ESV change. On aspect gradient, cropland and unused land areas changes had extremely negative correlation with ESV change, while forestland had a significant positive correlation. On terrain index gradient, areas changes of forestland and grassland were significantly correlated with change of ESV. In summary, the changes of land use and ESV were obviously different regarding topography. Forestland and grassland were two important land use types for improvement of ESV in mountain area of Xiangxi region.

Keywords: Land use change; Ecosystem service value; Terrain gradient; Terrain index; Xiangxi region

生态系统服务是指人类直接或间接地从生态系统中获取的利益，其变化决定着人类的生存环境和物质基础[1-2]。我国学者谢高地等[3-4]根据中国实际情况，修订了中国二级生态系统服务价值当量表，为我国生态系统服务价值评估工作的开展提供了重要参考[5-7]。2005 年千年生态系统评估报告(MA)中指出，较多生态系统服务功能正在退化或者呈下降趋势，且这种趋势可能在未来 50 年内仍然不能有效扭转[8]。因此，生态系统服务价值的定量化分析仍旧是一项重要的工作，对保护区域环境、响应国家可持续发展的号召有着重要意义。同时，土地可造成物质、能流等生态过程的变化以及生态系统的结构和功能的改变，从而影响整个生态系统的稳定性[9-12]。将生态系统服务价值与土地利用面积进行相关性分析，有助于理解不同类型土地利用面积对生态系统服务价值的影响，有利于研究区合理规划土地的使用，是建立人与自然健康互利关系的重要内容。

地形是自然地理学的基础，它与生态系统服务存在着紧密的联系[13-14]，是影响土地利用格局、生态系统服务空间分布的重要因素。但在我国，生态系统服务与城市化[15-16]、社会经济[17-18]和土地利用类型[19-20]的关系受到较多关注，而探讨生态系统服务价值随地形梯度变化的研究较少。在现已报道的基于地形梯度的土地利用变化和生态系统服务价值变化的研究中，多数从高度、坡度、地形位对土地利用类型的分布进行探讨[21-23]，也有部分利用地形起伏度对生态系统服务价值进行分析[24-25]，但是将基于高度、坡度、坡向、地形位的多种地形因子梯度的土地利用变化和生态系统服务价值变化结合起来，共同说明问题的研究较少。

湘西地区山地多，海拔差异大，地形梯度的变化因子对于土地利用格局和生态服务格局的变化影响显著，该地社会经济发展较滞后，环境保护与经济发展的矛盾日益突出，因此基于地形梯度变化分析湘西地区生态系统服务价值的时空变化对于土地的合理利用与开发尤为重要和必要。本文以湘西为研究区，基于地形梯度，利用 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年 6 期土地利用的遥感分类数据，对不同地形梯度上的生态系统服务价值进行估算，分析其时空变化，并结合土地利用数据进行相关性分析，探讨研究区在地形梯度上的不同类型土地面积对生态系统服务价值的影响，以期对该地区土地利用的合理化和区域的健康发展提供理论依据。

1 研究区概况

湘西地区位于湖南西部，湘、鄂、渝、黔 4 省市边区的中心位置(108°47′~112°57′E, 25°58′~29°48′N)。该地区含邵阳市、张家界市、怀化市、娄底市和湘西自治州 5 市(州)，有武陵、雪峰两大山脉，且被云贵高原环绕，整体海拔低至 50 m，高至 1 903 m。湘西地区属亚热带季风湿润气候，且具有明显的大陆性特征，水热同季、冬暖夏凉、四季分明，多年平均气温在 17~18 ℃范围内，平均降水量在 1 100~1 600 mm 间波动。境内有沅、澧干流及其支流酉水、㵲水、渠水等水系。截至 2015 年底，湘西地区居住总人口数为 2 019.36 万人，占全省的 29.77%。土地面积为 8.17 万 km^2，约占全省的 38.57%。地区生产总值为 4 897.05 亿元，占全省的 16.09%。湘西地区是湖南省少数民族聚居区，也是湖南省西部 20 个集中连片贫困县的主体地区，属于传统的老、少、边、穷地区。基于国家的政策扶持，如扶贫开发和民族

地区优惠政策等为大湘西的社会经济发展提供了良好条件[26]。

2　数据来源与研究方法

2.1　数据来源

研究采用 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年 6 个时段的 Landsat TM/ETM 遥感影像，结合研究区域 1∶25 万地形图、土壤和植被专题图进行分析。根据土地利用覆盖(LUCC)分类体系结合区域土地类型特征，将分类系统分为 7 类(图 1)，包括耕地、林地、草地、湿地、水域、建设用地、未利用地。

2.2　生态系统服务价值评估

本文结合谢高地等[3-4]的价值当量换算方法确定湘西地区生态系统服务价值，将生态系统生产的净利润看作该生态系统所能提供的生产价值，将单位面积农田生态系统粮食生产的净利润当作 1 个标准当量因子的生态系统服务价值量。2010 年全国地均粮食产量为 4 974 kg·hm^{-2}，谢高地等[3-4]将中国 2010 年 1 个生态系统价值当量的经济价值确定为 3 406.50 元·hm^{-2}。依据湖南省粮食产量的相关资料可知研究区内地均粮食产量为 5 575.48 kg·hm^{-2}，则生态系统服务当量价值系数为 1.120 9，即湘西地区的一个生态系统服务功能当量为 3 818.43 元·hm^{-2}。根据价值当量和各用地类型的面积得到湘西地区生态系统服务价值。

评估公式为：

$$\mathrm{ESV}_f = \sum_{i=1}^{n}\left(A_i \times VC_{fi}\right) \tag{1}$$

$$\mathrm{ESV} = \sum_{i=1}^{n} A_i \times VC_i \tag{2}$$

式中：ESV 表示研究区的生态系统的总服务价值，A_i 表示研究区第 i 种土地利用类型的面积(hm^2)，VC_i 表示第 i 种土地利用类型的生态系统服务价值系数，ESV_f 表示生态系统第 f 项服务功能的价值，VC_{fi} 表示研究区第 i 种土地利用类型的第 f 项生态系统服务价值系数。

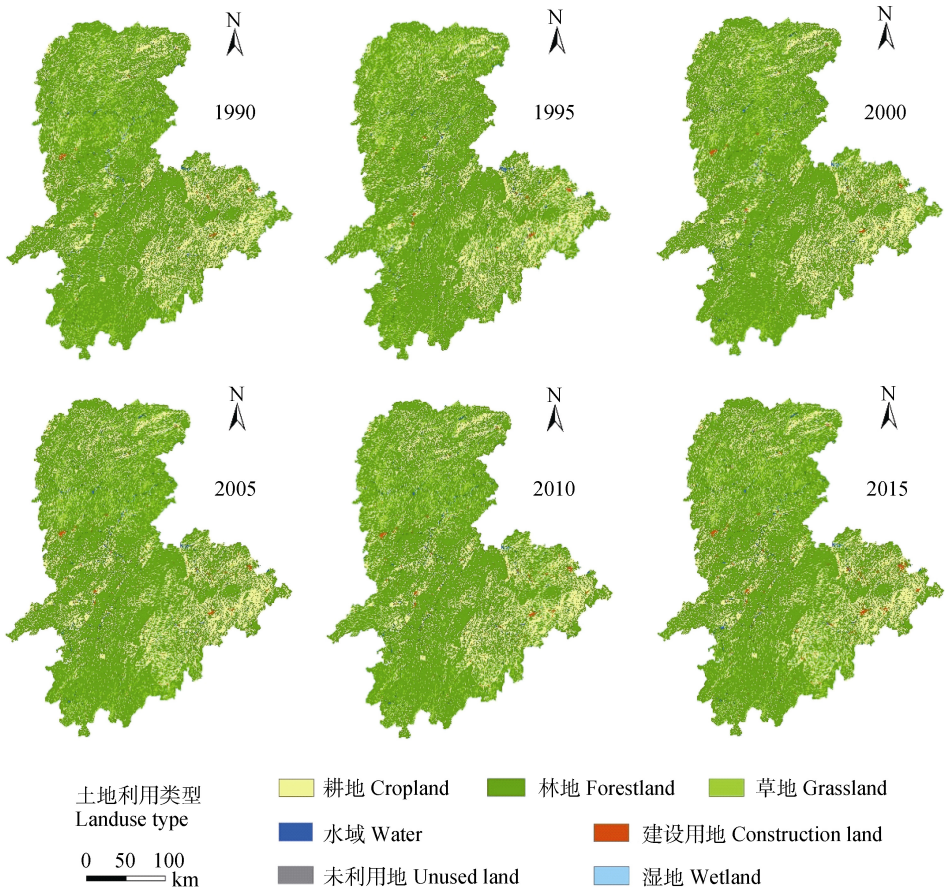

图 1　1990—2015 年湘西地区土地利用类型图

Fig. 1　Maps of land use in Xiangxi region from 1990 to 2015

2.3　地形梯度分析

生态系统服务价值是自然因素和人为因素共同影响的结果。地形位指数是复合分析海拔及坡度的地形因子，常用于定量分析土地利用空间格局与地

形梯度的关系，计算公式如下：

$$T=\ln[(E/E_0+1)\times(S/S_0+1)] \quad (3)$$

式中：T 为地形位指数，E 为某点的海拔(m)，E_0 为该点所在区域的平均海拔(m)，S 为某点的坡度(°)，S_0 为该点所在区域的平均坡度(°)。

本研究根据湘西地区地形分布特点，采用分位数法(quantile)把海拔、坡度及地形位指数均分为 5 个等级，将坡向分为 8 个等级(表 1)。对海拔、坡度、坡向、地形位指数 4 个方面各梯度的生态系统服务价值进行计算，并利用 6 期数据进重复验证。

表 1 湘西地区海拔、坡度、坡向及地形位梯度设置情况

Table 1 Gradients of elevation, slope, aspect and topographic index setting in Xiangxi region

海拔 Elevation		坡度 Slope		坡向 Aspect		地形位 Terrain index	
梯度等级 Gradient	梯度范围 Gradient range (m)	梯度等级 Gradient	梯度范围 Gradient range (°)	梯度等级 Gradient	梯度范围 Gradient range (°)	梯度等级 Gradient	梯度范围 Gradient range
1	50~276	1	0~1.25	北 North	0~22.5 & 337.5~360	1	0~0.291
2	276~380	2	1.25~2.39	东北 Northeast	22.5~67.5	2	0.291~0.515
3	380~503	3	2.39~3.86	东 East	67.5~112.5	3	0.515~0.702
4	503~680	4	3.86~6.26	东南 Southeast	112.5~157.5	4	0.702~1.104
5	680~1 903	5	6.26~27.57	南 South	157.5~202.5	5	1.104~2.313
				西南 Southwest	202.5~247.5		
				西 West	247.5~292.5		
				西北 Northwest	292.5~337.5		

2.4 相关性分析

基于 R 语言主程序以及 Hmisc 扩展包进行相关性分析，并结合 Pearson 相关性计算方法，计算不同土地利用类型面积随各地形梯度变化与各梯度上总生态系统服务价值变化之间的相关性。

3 结果与分析

3.1 土地利用结构的时空变化

3.1.1 基于海拔梯度的土地利用变化

湘西地区土地利用类型在海拔梯度上存在一定差异，随着海拔升高，土地利用面积变化大致表现为 4 种类型：①持续减少。包括耕地、建设用地、水域及湿地。其中耕地和建设用地属于人为干扰较强的土地利用类型，易受到开发条件及居住适宜度、种植适宜度的限制。也表现出水域和湿地对海拔的适应性较差，与许策等[25]的研究结果一致。②持续增加。该类型主要为林地。林地受海拔限制较小，且随着海拔上升，人为活动干扰降低，人工开发建设土地面积减少，侧面加强了对高海拔林地的保护。③先减少后增加。主要为草地。草地对海拔适应性更高，易附着生长。④波动型，含未利用地。该类型在海拔梯度上的变化有较多波动，特别在低海拔区域人为活动频繁，过度开发或土地荒废均可能导致未利用地面积变大。

各海拔梯度上土地利用类型随时间变化大致如下：①5 个梯度的耕地面积都随时间的推移不断减少。②低海拔上林地面积先增加后减少，梯度 3、4 上林地面积随时间变化不明显，高海拔上林地面积先减少后增加。③不同年间草地面积波动较大，但始末变化不大。从海拔变化上看，湘西地区在 2005 年之前退耕还林政策实施的较为有效，耕地面积减少且林地面积增加，尤其是高海拔地区。但 2005 年之后，可能因社会经济发展需求，林地面积有所下降。同时，湘西地区城市快速扩张主要发生在 2010—2015 年，各梯度间建设用地面积均有较大增长。

3.1.2 基于坡度梯度的土地利用变化

随着坡度增大，不同土地利用类型的面积表现出 4 种变化：①持续减少。包括耕地、建设用地及水域。随着坡度增大，多数作物及建筑物无法稳固存在。同时，坡度的增大不利于水资源储备，故 3 者有所下降。②持续增加。包括林地及草地。二者对坡度的适应性较强，且人为活动强度随坡度的增大而降低，有利于较大坡度上林地和草地的维持保护。③先减少后增加。主要为湿地。

各坡度梯度上土地利用类型随时间变化：林地面积在前 4 个梯度内整体随时间增加，且梯度 1 和梯度 2 内林地面积在 2000 年达到最大值，梯度 5 内面积有所下滑。草地面积在低坡度上随时间减少，但在高坡度上随时间增加。除梯度 2 以外，水域面积均随时间有所增大。建设用地在各梯度上整体均表现为随时间变化而增大，且坡度等级越低，增大越明显。坡度上土地利用类型的变化也反映出湘西地区城市建设的发展。

3.1.3 基于坡向梯度的土地利用变化

坡向对太阳辐射的接收和降雨会产生一定影响，

从而可能造成局部气候的差异, 由此对土地利用类型的分布造成一定限制。湘西地区内有武陵、雪峰两大山脉, 二者走向均为东北-西南。土地利用类型在不同坡向上表现不同: 林地、耕地和草地是湘西地区主要土地利用类型, 各坡向梯度中占比最大的仍是林地, 约 69%, 其次为耕地, 约 24%, 草地约 5%, 其余类型土地占比相差不多且十分微小, 约为 1%。

1990—2015 年间, 各土地利用类型面积变化规律明显: ①耕地和湿地在北、东北、东、西及西北方向上均减少, 而在东南、南、西南方向上增加。②林地和草地在南、西南、西方向上减少, 而在北、东北、东、东南及西北方向上均增加。③水域在北、东北及西北方向上减少, 在东、东南、南及西南方向上增加。④建设用地在各个坡向上均有较大增加, 相对变化率最高达 174%。

3.1.4　基于地形位梯度的土地利用变化

湘西地区土地利用类型随地形位指数的升高呈现以下变化: ①耕地和水域面积持续减少, 与海拔梯度和坡度梯度结果相同。②林地、草地面积持续增加, 是人为影响和植被适应力共同作用的结果。③湿地面积先减少后增加。④建设用地总体表现为梯度越低, 面积越大。

1990—2015 年间, 除梯度 1 外, 耕地面积在各梯度上均随时间增大; 各地形位梯度上的林地面积均随时间而减少; 草地在梯度 1、3 上有所增加, 其余梯度有所减少; 水域面积在梯度 1、3、5 上不断增加至最高值; 建设用地面积在各地形位梯度内均随时间有所增加。

3.2　生态系统服务价值格局的时空变化

3.2.1　生态系统服务价值在海拔梯度上的变化

1990—2015 年海拔梯度上的单位面积生态系统服务价值(ESV)变化如图 2 所示。由图可看出, 各年单位面积 ESV 的梯度变化情况较一致, 呈现出先减少后增加的变化, 在 276~380 m 上达到最低值, 之后单位面积 ESV 一直攀升, 在 680~1 903 m 内达到最高值。该梯度变化与草地面积随海拔梯度变化一致, 均在第 2 梯度出现最小值, 在湘西地区草地面积随梯度变化而变化的趋势反而比林地更显著。1990—2015 年单位面积 ESV 在低海拔区域表现为增长, 随海拔升高增长幅度不断减少, 在高海拔区域出现单位面积 ESV 减少, 这可能与草地面积在高海拔地区占比不断增加而林地面积占比减少相关。海拔越低人为干扰越严重, ESV 越减小。

3.2.2　生态系统服务价值在坡度梯度上的变化

湘西地区单位面积 ESV 在坡度梯度上表现为随坡度增大而增大(图 2), 且在 0°~2.39°间变化较大。不同土地利用类型中, 水域、湿地、林地、草地的单位面积 ESV 较大, 耕地和未利用地较小。随着坡度增大, 林地和草地面积持续增加, 耕地面积持续减少, 单位面积 ESV 随坡度增加而不断升高。1990—2015 年, 各个坡度梯度上的单位面积 ESV 均有所增长, 不同梯度的增长幅度不同。

3.2.3　生态系统服务价值在坡向梯度上的变化

1990—2015 年湘西地区单位面积 ESV 在坡向梯度上的变化相似, 即在东南部出现单位面积 ESV 最低值, 在西北部出现最高值(图 2)。虽然多数土地利用类型的面积在东南方向上有所增加, 但是增加的主要是耕地及建设用地, 所以东南部整体 ESV 较小。在西北部上林地、草地的增加大于建设用地故整体有利于提高 ESV。1990—2015 年间, 各坡向上的单位面积 ESV 均表现为增长。其中单位面积 ESV 增长最多的是东部和西北部, 均增长 2.08%。其次为南部增长了 0.86%, 西部减少了 0.26%。

3.2.4　生态系统服务价值在地形位梯度上的变化

湘西地区单位面积 ESV 在地形位梯度上表现为随梯度增大而增大(图 2), 且各梯度间增长较平均。即山地特征越明显, 单位面积 ESV 越高。1990—2015 年, 地形位梯度 1 和梯度 5 上单位面积 ESV 有所增加, 梯度 1 增长 4.01%, 梯度 2 至梯度 4 单位面积 ESV 分别减少 1.02%、0.45%、0.93%, 梯度 5 增长 0.20%。与海拔梯度和坡度梯度变化相似的是, 湘西地区单位面积 ESV 增长最多的地区均出现在最低地形位上, 高地形位梯度上, 人类活动强度较小, 负面影响较小, 且部分湘西地区属于退耕还林试点, 自然生态系统功能较优, 服务价值较高。

3.3　土地利用与生态系统服务价值在地形梯度上的相关性分析

将不同土地利用类型在海拔、坡度、坡向、地形位梯度上的变化情况与单位面积 ESV 在不同地形梯度上的变化情况进行相关性分析, 发现不同土地利用类型对单位面积 ESV 的影响差异显著(表 2)。林地和草地在各个地形梯度上大部分的指数变化与 ESV 表现出极强的正相关。在坡度梯度上, ESV 的变化与耕地、林地、草地、水域和湿地的面积变化均有显著相关性。在坡向梯度上, 耕地和未利用地与 ESV 存在极强的负相关性, 林地面积与 ESV 存在极强正相关, 其余的土地利用类型与 ESV 相关性较差。可以看出: 影响不同坡向 ESV 变化的主要因素是耕地、林地及未利用地。在地形位梯度上, ESV 与林地、草地呈极强的正相关性, 而与耕地、水域面积呈极强的负相关性。

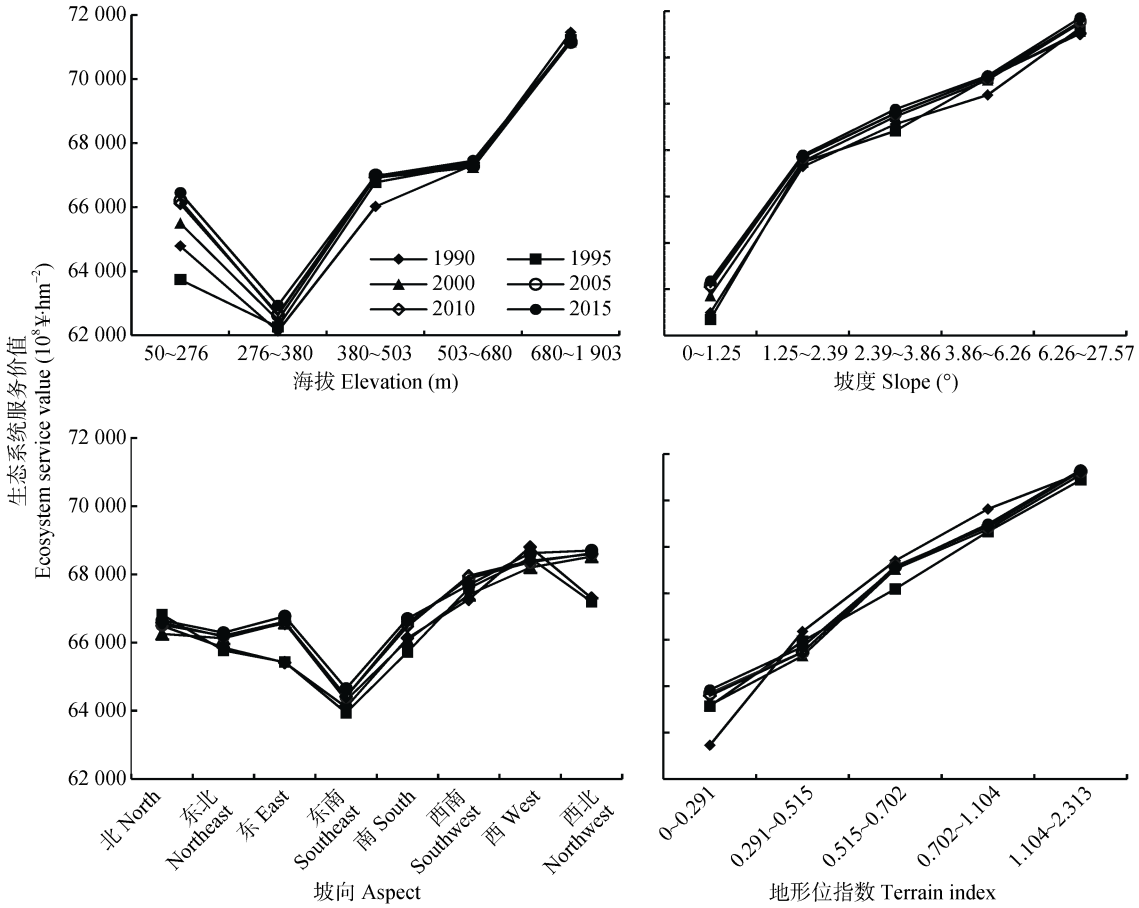

图 2 湘西地区随海拔、坡度、坡向、地形位指数梯度变化的生态系统服务价值

Fig. 2 Changes of ecosystem service values with elevation, slope, aspect, terrain index gradients in Xiangxi region

表 2 梯度变化的土地利用面积与地形梯度变化的生态系统服务价值相关性系数

Table 2 Correlation coefficients between changes in land use area and ecosystem services value with terrain gradient change in Xiangxi region

	地形因素 Terrain factor	土地利用面积变化 Change in land use area					
		耕地 Cropland	林地 Forest	草地 Grassland	未利用地 Unused land	水域 Water	湿地 Wetland
生态系统服务价值变化 Change in ecosystem service value	海拔梯度 Elevation gradient	−0.763	0.632	0.938*	−0.561	−0.481	−0.598
	坡度梯度 Slope gradient	−0.997**	0.994**	0.958*	−0.180	−0.989**	−0.941*
	坡向梯度 Aspect gradient	−0.888**	0.842**	0.598	−0.828*	−0.570	−0.295
	地形位梯度 Terrain index gradient	−0.975**	0.946*	0.996**	−0.696	−0.896*	−0.803

0.05 水平(双侧)显著相关。相关系数 0.8~1.0 为极强相关、0.6~0.8 为强相关、0.4~0.6 为中等相关、0.2~0.4 为弱相关、0~0.2 为极弱相关或不相关。 represents significant correlation at 0.05 level (both sides). Correlation coefficient of 0.8–1.0 represents extremely strong correlation, 0.6–0.8 represents strong correlation, 0.4–0.6 represents medium correlation, 0.2–0.4 represents weak correlation, 0–0.2 represents extremely weak correlation or non-correlation.

4 讨论与结论

4.1 讨论

本文分析了湘西地区土地利用类型在海拔、坡度、坡向及地形位指数上的变化，计算了不同梯度上 ESV 的变化，对土地利用类型与 ESV 的梯度变化进行了相关性分析。在梯度等级的划分上，本文采用了分位数法(quantile)，根据湘西地区地形情况，海拔高度主要分布在 50~900 m，坡度主要分布在 0°~7.5°，相较于分位数法，自然断点法容易造成某一梯度内面积过小，进而在后续操作中易造成相对较大的损失，导致结果偏差较大。吴见等[23]同样选取了这种分级方法。本文采用湘西地区粮食产量对谢高地等[3-4]提出的“中国生态系统单位面积生态系统服务价值当量”进行修正，从而刻画出研究区内 ESV 时空变化特征，该方法适用于较大区域的评估，国内有较多相似的应用[5-7]。本文数据利用 R 语言

进行相关性分析, 保证数据处理的可靠性和准确性, 降低人工出错几率。

研究结果显示, 土地利用分布在不同地形梯度上差异显著, 总体而言, 海拔较高、坡度较大、地形位指数较大的区域自然植被类型面积所占比例更大, 这与哈凯等[27]、吴见等[23]的研究结果一致。同样地, 单位面积 ESV 在较高海拔、较大坡度、较大地形位指数上更高, 这与许策等[25]的研究结果相似。湘西地处武陵山区, 山地的 ESV 普遍比平原高[25,28-29]。ESV 变化由自然和人为双重因素控制。从自然因素出发, 地形对人类活动限制较大, 导致农田和建设用地对地形的选择更为局限, 主要分布于低海拔、低坡度、低地形位指数上。从人为因素出发, 研究时段内, 我国生态环境保护意识逐渐提高, 颁布了许多相关保护政策, 湘西地区含多处退耕还林还湿工程试点, 故随时间变化, 湘西地区耕地面积明显减少, 湿地面积增加。但尽管如此, 城市建设仍在快速进行, 这体现在建设用地迅猛扩张上。此外, 本文将坡向因子也考虑在内, 以研究区内主要山脉为基础, 研究山脉不同方向上各土地利用类型和 ESV 的时空变化, 希望能够更全面地了解研究区情况。在此基础上, 本文还对 7 种土地利用类型和 ESV 在 4 种地形因子梯度上的变化进行了相关性分析, 探究对 ESV 随梯度变化影响较显著的土地利用类型, 结果显示林地和草地面积多与地形梯度上的 ESV 呈正相关关系, 增加二者的占地面积对提高湘西地区 ESV 有一定帮助, 这与退耕还林的工作基点相符合。

本文通过以上工作希望展示湘西地区土地利用发展的不合理之处, 为未来的建设与保护提供理论基础。未来的工作中, 在海拔、坡度、地形位指数较小的区域内, 稳定建设用地面积占比的同时应保证水域、湿地的保护建设工作, 这样有利于 ESV 的提高, 而地形因子较大的梯度区内由于人为活动强度较小, 负面影响易得到控制, 故林地、草地等自然生态系统的保护非常重要, 应防止过度开发, 造成水土流失甚至因地形的起伏而导致开发地废置为荒地。将自然因素与社会因素有效结合进行对 ESV 变化机制的分析是今后的工作重点, 应合理规划建设用地和农田、注重自然生态系统的保护, 同时应增加实地调研来进一步验证理论研究。

4.2　结论

1)土地利用类型在地形因子的作用下表现出明显的梯度变化。耕地和建设用地主要分布在低海拔、低坡度、低地形位指数的区域, 林地与草地反之。研究区内山脉的南面和东面各类型土地面积较大。林地在不同地形因子的不同梯度上均为最主要的土地利用类型, 平均所占比例约 70%, 建设用地面积在不同地形因子的不同梯度上随时间均表现为增加。

2)研究区 ESV 在不同地形梯度上呈现出差异性变化。在海拔梯度上, ESV 呈现出先减少后增加的变化趋势, 在 276~380 m 达最低值, 25 年间海拔梯度越高 ESV 增长幅度越小, 最高海拔梯度内 ESV 减少。在坡度梯度上, ESV 随坡度增大而增大, 25 年间最小坡度上 ESV 增长最多。地形位梯度上 ESV 的变化与坡度梯度相似, 即较低地形位梯度内的 ESV 呈现较大增长。坡向变化中, 在东南方向上出现单位面积 ESV 最低值, 在西北方向上出现最高值, 25 年间单位面积 ESV 增长最多的是东和西北方向。

3)不同土地利用类型与ESV变化在不同梯度上的相关性有明显差异。在海拔梯度上, 草地面积与ESV呈极强正相关。在坡度梯度上, ESV与林地和草地面积呈极强正相关, 而与耕地、水域和湿地面积呈极强负相关。在坡向梯度上, 耕地和未利用地面积与ESV呈极强负相关, 林地面积与ESV呈极强正相关。在地形位梯度上, ESV与林地、草地面积呈极强正相关, 与耕地、水域面积呈极强负相关。因此, 加强对林地和草地的保护可以促进湘西地区生态系统服务价值的提高。

参考文献 References

[1] 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[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 607–613
OUYANG Z Y, WANG X K, MIAO H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values[J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 607–613

[2] 陈蝶, 卫伟, 陈利顶, 等. 梯田生态系统服务与管理研究进展[J]. 山地学报, 2016, 34(3): 374–384
CHEN D, WEI W, CHEN L D, et al. Progress of the ecosystem services and management of terraces[J]. Mountain Research, 2016, 34(3): 374–384

[3] 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
XIE G D, ZHEN L, LU C X, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 911–919

[4] 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): 1243–1254

XIE G D, ZHANG C X, ZHANG L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1243–1254

[5] 张艳军, 官冬杰, 翟俊, 等. 重庆市生态系统服务功能价值时空变化研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(3): 1169–1177
ZHANG Y J, GUAN D J, ZHAI J, et al. Spatial and temporal variations of ecosystem services value in Chongqing City[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(3): 1169–1177

[6] 游巍斌, 何东进, 巫丽芸, 等. 山岳旅游地生态服务价值时空分异及其与环境因子关系——以武夷山风景名胜区为例[J]. 山地学报, 2012, 30(1): 113–120
YOU W B, HE D J, WU L Y, et al. Spatial-temporal variation of landscape service value and its correlation with ambient environmental factors in mountain resorts — A case study of Wuyishan Scenery District[J]. Journal of Mountain Science, 2012, 30(1): 113–120

[7] 满苏尔·沙比提, 娜斯曼·那斯尔丁, 艾萨迪拉·玉苏甫. 天山托木尔峰国家级自然保护区生态系统服务价值评估[J]. 山地学报, 2016, 34(5): 599–605
SABIT M, NASIRDIN N, YUSUP A. Evaluation on ecosystem service value of Tianshan Tomur National Nature Reserve[J]. Mountain Research, 2016, 34(5): 599–605

[8] MA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends: Synthesis[M]. Washington, DC: Island Press, 2005

[9] 李敏. 基于土地利用变化的生态系统服务价值研究——来自 2000—2013 年淮南市土地利用的经验证据[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015
LI M. Study on ecosystem services value based on land use change — Empirical evidence from Huainan City during 2000–2013[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2015

[10] 王盼盼. 东北区县域土地利用景观格局演变及驱动机制研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2015
WANG P P. Study on the county's landscape pattern change characteristics and its driving mechanism in the Northeast China[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2015

[11] 顾泽贤, 赵筱青, 高翔宇, 等. 澜沧县景观格局变化及其生态系统服务价值评价[J]. 生态科学, 2016, 35(5): 143–153
GU Z X, ZHAO X Q, GAO X Y, et al. Change of landscape pattern and it's evaluation of ecosystem services values in Lancang County[J]. Ecological Science, 2016, 35(5): 143–153

[12] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3311–3319
LIU G L, ZHANG L C, ZHANG Q. Spatial and temporal dynamics of land use and its influence on ecosystem service value in Yangtze River Delta[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3311–3319

[13] 蔺小虎, 姚顽强, 邱春霞. 黄土丘陵沟壑区退耕驱动下土地利用变化——以陕西省安塞县纸坊沟流域为例[J]. 山地学报, 2015, 33(6): 759–769
LIN X H, YAO W Q, QIU C X. Land use change driven by farmland in loess hilly-gully region — A case study of Zhifanggou gully basin[J]. Mountain Research, 2015, 33(6): 759–769

[14] 王晓峰, 薛亚永, 张园. 基于地形梯度的陕西省生态系统服务价值评估[J]. 冰川冻土, 2016, 38(5): 1432–1439
WANG X F, XUE Y Y, ZHANG Y. Assessing the ecosystem service values in Shaanxi Province based on terrain[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(5): 1432–1439

[15] 朱昌丽, 张继飞, 赵宇鸾, 等. 青藏高原东缘典型流域生态系统服务的地形梯度效应——以岷江上游为例[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(10): 1687–1699
ZHU C L, ZHANG J F, ZHAO Y L, et al. Topographic gradient effects of typical watershed ecosystem services in the eastern Tibetan Plateau — A case study of the upper reaches of Minjiang River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(10): 1687–1699

[16] 邹月, 周忠学. 西安市景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(8): 2629–2639
ZOU Y, ZHOU Z X. Impact of landscape pattern change on ecosystem service value of Xi'an City, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(8): 2629–2639

[17] 李全, 李腾, 杨明正, 等. 基于梯度分析的武汉市生态系统服务价值时空分异特征[J]. 生态学报, 2017, 37(6): 2118–2125
LI Q, LI T, YANG M Z, et al. Spatiotemporal variation of ecosystem services value based on gradient analysis in Wuhan: 2000–2010[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(6): 2118–2125

[18] 郜红娟, 韩会庆, 罗绪强, 等. 贵州省生态系统服务价值与社会经济空间相关性分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(2): 262–266
GAO H J, HAN H Q, LUO X Q, et al. Spatial correlation of socioeconomic factors and ecosystem service values in Guizhou Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(2): 262–266

[19] 陈婧祎, 罗红霞, 胡林利, 等. 生态系统服务价值与社会经济相关性研究——以重庆市大都市区为例[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 330–336
CHEN J Y, LUO H X, HU L L, et al. Correlation between social economic development and ecosystem service value — A case of Chongqing metropolitan area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(4): 330–336

[20] 陈青峰, 于化龙, 张杰, 等. 怀来县土地利用/覆被变化及生态系统服务价值时空演变[J]. 水土保持研究, 2016, 23(3): 137–143
CHEN Q F, YU H L, ZHANG J, et al. The spatiotemporal evolution of land use/cover change and ecosystem service values in Huailai County[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(3): 137–143

[21] 郜红娟, 张朝琼, 张凤太. 基于地形梯度的贵州省土地利用时空变化分析[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(1): 62–70
GAO H J, ZHANG C Q, ZHANG F T. Spatio-temporal patterns of land use change in Guizhou Province based on terrain gradient[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2015, 33(1): 62–70

[22] 董顺舟, 赵宇鸾, 李秀彬. 基于地形梯度的高原山地区土地利用格局时空特征——以贵州省盘县为例[J]. 水土保持

研究, 2017, 24(2): 213–222
DONG S Z, ZHAO Y L, LI X B. Spatiotemporal patterns of land use change in plateau region based on the terrain gradient — A case study in Panxian County[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(2): 213–222

[23] 吴见, 王帅帅, 谭靖. 基于安徽省土地利用变化的地形梯度效应分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(2): 239–248
WU J, WANG S S, TAN J. Analysis on terrain gradient effect based on land use change in Anhui Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(2): 239–248

[24] 杨锁华, 胡守庚, 瞿诗进. 长江中游地区生态系统服务价值的地形梯度效应[J]. 应用生态学报, 2018, 29(3): 976–986
YANG S H, HU S G, QU S J. Terrain gradient effect of ecosystem service value in middle reach of Yangtze River, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(3): 976–986

[25] 许策, 李超, 张天柱, 等. 基于地形梯度的河北省怀来县山地生态系统空间分布及变化特征分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 198–204
XU C, LI C, ZHANG T Z, et al. Distribution and variation analysis of mountain ecosystem based on topographic gradient in Huailai County of Hebei Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 198–204

[26] 湖南省统计局. 2016 湖南统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016
Hunan Provincial Bureau of Statistics. 2016 Hunan Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Standard Press, 2016

[27] 哈凯, 丁庆龙, 门明新, 等. 山地丘陵区土地利用分布及其与地形因子关系——以河北省怀来县为例[J]. 地理研究, 2015, 34(5): 909–921
HA K, DING Q L, MEN M X, et al. Spatial distribution of land use and its relationship with terrain factors in hilly area[J]. Geographical Research, 2015, 34(5): 909–921

[28] 赵艳霞, 武爱彬, 刘欣, 等. 浅山丘陵区土地利用地形梯度特征与生态服务价值响应[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 141–145
ZHAO Y X, WU A B, LIU X, et al. Terrain gradient features and response of ecological services value in shallow hilly region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(3): 141–145

[29] 石垚, 袁大鹏, 赵雪杉, 等. 基于地形梯度的冀西北间山盆地生态系统服务价值评估——以河北省怀来县为例[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 184–190
SHI Y, YUAN D P, ZHAO X S, et al. Evaluation of ecosystem service values of mountainous basins in northwest Hebei Province based on terrain gradient — A case study of Huailai County, Hebei Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(3): 184–190