

# 黔西北地区生态系统服务价值在地形梯度上的时空效应

姚星宇<sup>1</sup> 周德全<sup>1</sup> 黄炜<sup>1</sup> 刘秀明<sup>2</sup>

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550081)

**摘要:** 基于黔西北 2000—2020 年共 3 期的土地利用及数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 数据, 选取海拔、坡度、坡向及地形位指数共 4 个地形因子, 分析了黔西北地区 20a 间土地利用及生态系统服务价值 (Ecosystem Service Value, ESV) 在各地形梯度上的时空变化特征。分析结果如下: 研究区内耕地与建设用地等受到人为因素干扰较大的地类面积随海拔、坡度及地形位指数梯度的上升而明显下降, 林地与草地面积出现先增加后减少的趋势, 而水体及湿地则主要分布在低海拔的缓坡区域, 且在 20a 间面积变化巨大, 湿地及周边地类向水体的转化使得水体面积快速增加, 湿地则几乎消失殆尽。ESV 与坡度和地形位指数梯度表现出正相关关系, 而随着海拔的上升出现下降后逐渐趋于平稳; ESV 在坡向上的最大值则出现在东北或北向上, 此外, 20a 里 ESV 在各地形因子上都出现了不同程度上升。经过分区统计发现, 20a 里黔西北地区 ESV 在空间上表现出了极端化特征, ESV 极值区的分布和差异越发集中和明显。本研究表明, 黔西北地区的地形条件对于其生态系统服务价值具有很大的影响和关联, 可为之后研究区内合理调控土地利用、生态修复以及乌江上游生态屏障的建设等提供重要理论依据和参考。

**关键词:** 地形梯度; 生态系统服务价值; 土地利用变化; 黔西北地区; 喀斯特山区

中图分类号: S181

文献标识码: A

DOI: 10.19754/j.nyyjs.20220330022

生态系统服务功能是指生态系统在其过程中所形成能够提供并维持人类赖以生存的自然环境条件及其附属功能<sup>[1-3]</sup>。对生态系统服务价值的研究如今成为生态经济学和环境经济学等学科的重点<sup>[4,5]</sup>, 其作为生态保护、生态功能区划、自然资源核算以及生态补偿决策的依据和基础, 谢高地等<sup>[6,7]</sup>根据中国实情, 对我国的二级生态系统服务价值当量表进行了重新修订, 为我国之后的生态系统服务价值评估工作提供了重要的参考<sup>[8-10]</sup>, 并对我国自然资产的评估、生态补偿等方面提供更为全面的科学依据与决策支持<sup>[7]</sup>。

对于山区生态系统服务价值研究的特别之处在于, 山区具有高度空间异质化的山地环境, 蕴含了丰富的地理生态信息, 其土地利用变化约为水平变异梯度的 1000 倍<sup>[11,12]</sup>, 同时, 山区也是生态脆弱与贫困区的聚集地带, 由不同地形要素造成土地利用方式的不同对当地经济建设、农业生产活动以及当地的生态系统服务价值都具有深刻影响<sup>[13,14]</sup>。地形是自然地理学的重要基础, 深刻影响着区域土地利用格局与生态

系统服务价值的空间分布<sup>[15,16]</sup>, 在我国近些年关于生态系统服务的研究中, 主要结合内容包括城市化<sup>[17]</sup>、社会经济<sup>[18,19]</sup>以及土地利用类型<sup>[20]</sup>, 而与地形梯度的结合研究较少, 且多数均以海拔、坡度、地形位等地形因子在空间上对土地利用的分布研究为主<sup>[21-23]</sup>, 同时一些研究也加入了地形起伏度对生态系统服务价值进行了研究分析<sup>[24,25]</sup>, 而将海拔、坡度、坡向以及地形位等多种地形因子在不同梯度上对土地利用与生态系统服务价值进行时空结合分析的还较少<sup>[26]</sup>。

黔西北地区地处贵州省西北地区, 山地区域广泛, 地表起伏大, 喀斯特地貌明显, 区域内土地利用与生态系统服务价值结构在各地形因子的不同梯度上变化显著; 在受到当地经济快速发展与脆弱生态环境的双重影响下, 人地矛盾日益凸显, 因此, 对该区域进行生态系统服务价值在不同地形梯度上的时空变化分析显得尤为重要, 有助于区域内合理调控土地利用方式及生态环境建设。本文基于黔西北地区的 DEM 高程数据并提取各地形因子, 依托 2000 年、2010 年

收稿日期: 2022-03-07

基金项目: 国家自然科学基金项目“喀斯特筑坝河流水安全与调控对策”(项目编号: U1612441)

作者简介: 姚星宇 (1995-), 男, 硕士。研究方向: 喀斯特地貌与生态环境; 通讯作者周德全 (1957-), 男, 硕士, 教授。研究方向: 喀斯特地质与环境。

及2020年黔西北地区土地利用数据,对其土地利用及生态系统服务价值在各地形因子不同梯度上的时空变化进行了深入研究分析,并探讨对其造成变化的根本因素,以期对黔西北土地利用和生态建设的合理调控及规划提供理论支撑。

## 1 研究区概况

黔西北位于贵州省西北部地区,地处云贵川3省交界处( $E103.60^{\circ}\sim 106.72^{\circ}$ ,  $N25.33^{\circ}\sim 27.78^{\circ}$ ),主要包括贵州省毕节地区、六盘水市及安顺市,约占全省总面积的26.16%。由于区域地处我国西南集中连片喀斯特区域中心部位,地表可溶性碳酸盐岩出露广泛,在受到乌蒙山脉自西北向东南方向上的差异性抬升之后,区域内高程呈现出自西北向东南的逐级降低趋势,其整体高程位于336~2890m。在气候条件上,黔西北地区主要以亚热带季风性湿润气候为主,四季分明,冬暖夏凉,雨热同期,其多年平均气温约为13~16 $^{\circ}C$ ,多年平均降水量在800~1400mm。境内主要有包括北盘江、三岔河、六冲河等在内的多条水系,在受到威宁隆起区与六盘水裂隙槽等多重复杂地质构造的影响下,区域内中北部地区的三岔河及六冲河分属于长江水系,而区域南部地区的北盘江则分属于珠江水系。至2020年11月,区域内总人口达到1240.18万人,占全省总人口的32.16%;2020年,黔西北地区国内生产总值约为4326.75亿元,约占全省的24.27%。黔西北地区贫困县集中连片,属传统的老、少、边、穷地区,同时,该地区由于石漠化与水土流失严重,生态环境较为脆弱,是乌江及珠江上游水土保持和防护林建设的重点地区。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据来源

本次研究采用的黔西北2000年、2010年及2020

年共3个时期的土地利用数据来自于资源环境科学与数据中心,并将黔西北地区的土地分为耕地、草地、林地、湿地、水体以及建设用地共6类。通过结合来自地理空间数据云平台30m分辨率的DEM数据,对其进行地形因子提取及梯度分级之后,基于地形梯度对黔西北的土地利用及生态系统服务价值进行时空上的深入分析。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 生态系统服务价值评估

为了对我国的生态系统服务价值进行准确估算,谢高地等<sup>[6,7]</sup>对Costanza所提出的生态系统计算方法进行了修正,并建立了基于单位面积的价值当量因子法,通过结合该方法,将单位面积生态系统内所生产的净利润看作该生态系统提供的生态价值,选取单位面积农田生态系统内所生产粮食的总价值并将其看作一个标准当量因子的生态系统服务价值量,随后查阅2010年我国和贵州地区的地均粮食产量,分别为4974kg $\cdot$ hm $^{-2}$ 和3659kg $\cdot$ hm $^{-2}$ ,可得知贵州省与全国的生态系统服务价值当量系数约为0.7356,根据谢高地<sup>[6,7]</sup>在2010年将单个生态系统服务价值当量确定值为3406.50元 $\cdot$ hm $^{-2}$ 后可知,黔西北地区单个生态系统服务价值当量(以贵州省为参考)约为2506.16元 $\cdot$ hm $^{-2}$ 。根据该价值当量和不同的土地利用类型面积,可以得到黔西北地区的生态系统服务价值。其评估公式:

$$ESV_f = \sum_{i=1}^n (A_i \times VC_{fi}) \quad (1)$$

$$ESV = \sum_{i=1}^n (A_i \times VC_i) \quad (2)$$

式中, $ESV$ 为研究区的生态系统服务总价值; $A_i$ 表示研究区内第*i*种土地类型的面积,hm $^2$ ; $VC_i$ 表示第*i*种土地类型的生态系统服务价值系数; $ESV_f$ 表示生态系统中第*f*项服务功能的价值; $VC_{fi}$ 表示第*i*种土地类型的第*f*项生态系统的服务价值系数。

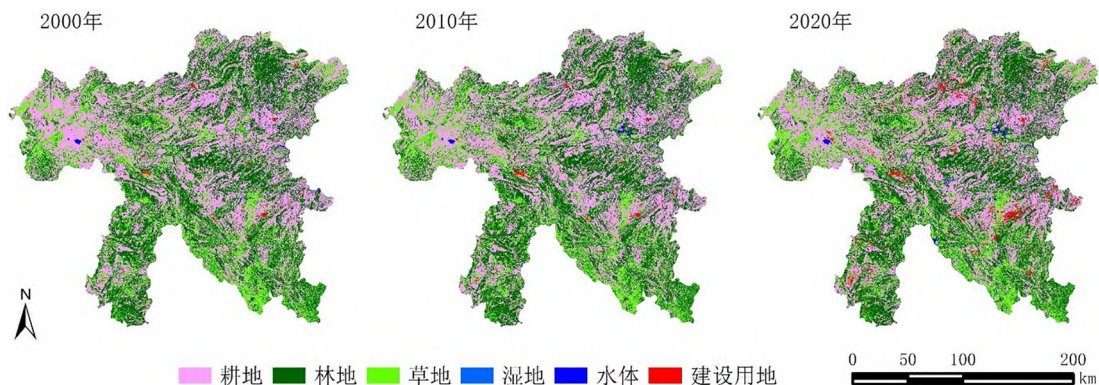


图1 黔西北地区2000—2020年土地利用变化

2.2.2 地形梯度分析

生态系统服务价值是自然因素与人为因素共同影响的结果，在对区域生态系统服务价值进行评估时，除了人为因素会对其造成一定影响之外，自然因素才是影响该评估的主要要素。地形位指数是一种对海拔与坡度进行复合分析的地形因子，常被用于量化分

析土地利用在地形梯度上的空间效应，公式：

$$T = \ln \left[ \left( \frac{E}{E_0} + 1 \right) \times \left( \frac{S}{S_0} + 1 \right) \right] \quad (3)$$

式中， $T$ 为地形位指数， $E$ 为任意点的海拔高度， $m$ ； $E_0$ 为该点所在区域的平均海拔， $m$ ； $S$ 为任意点的坡度， $^{\circ}$ ； $S_0$ 为该点所在区域的平均坡度， $^{\circ}$ 。

表1 黔西北地区海拔、坡度、坡向及地形位梯度分级表

海拔		坡度		坡向		地形位	
梯度范围/m	梯度等级	梯度范围/ $^{\circ}$	梯度等级	梯度范围/ $^{\circ}$	梯度等级	梯度范围	梯度等级
336~1108	1	0~10.32	1	0~22.5、337.5~360	北	0~0.971	1
1108~1434	2	10.32~18.03	2	22.5~67.5	东北	0.971~1.218	2
1434~1737	3	18.03~26.50	3	67.5~112.5	东	1.218~1.448	3
1737~2081	4	26.50~37.33	4	112.5~157.5	东南	1.448~1.700	4
2081~2890	5	37.33~83.17	5	157.5~202.5	南	1.700~2.558	5
				202.5~247.5	西南		
				247.5~292.5	西		
				292.5~337.5	西北		

2.2.3 区域差异性分析

生态系统服务价值的相对变化率是指生态系统服务价值变化与土地利用面积变化之间的比率<sup>[27]</sup>，常用于反映区域间的差异，公式：

$$R = \frac{R_L}{R_C} = \frac{(L_b - L_a) / L_a}{(C_b - C_a) / C_a} \quad (4)$$

式中， $R$ 为相对变化率； $R_L$ 、 $R_C$ 分别为区域与总体的变化率； $L_a$ 与 $L_b$ 分别为局部区域内初始与末期ESV； $C_a$ 与 $C_b$ 分别为全局初始与末期的ESV。对于经过计算得出最终的 $R$ 值，根据其所处范围的不同而具有不同的特性，主要包括：当 $R>0$ 时，表明区域与全局生态系统服务价值变化趋势与方向一致，其中，当 $0<R<1$ 时，表明区域生态系统服务价值的变化幅度要低于研究区整体，当 $R>1$ 时，表明区域生态系统服务价值的变化幅度要高于研究区整体；当 $R<0$ 时，表明区域与全局生态系统服务价值变化趋势与方向相反，其中，当 $-1<R<0$ 时，表明区域生态系统服务价值的变化幅度要低于研究区整体；当 $R<-1$ 时，表明区域生态系统服务价值的变化幅度要高于研究区整体。

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

随着海拔的上升，黔西北地区内各土地利用类型面积也发生了不同程度的变化，主要包括以下几种变化规律。持续减少，主要包括耕地、林地和建设用

地，其中耕地和林地属于对热量、降水等气候条件具有较强依赖性的地类，随着海拔的持续上升，气候条件对于该类型地类的限制性越来越强，其下降幅度也越来越大；波动型，主要包括草地与湿地，黔西北地区作为典型的喀斯特地区，土层较为浅薄，而且草地相比林地其适应性更强，因此在高海拔梯度上并未表现出明显的下降现象；先减少后增加，该类型主要为水体，期间由于黔西北地区在低海拔梯度上修建的多个水库以及区内高海拔梯度上的高原湖泊——草海，使其变化趋势呈现出“V”型，这在很大程度上受到了人为因素的干扰。

各海拔梯度上不同土地类型面积在20a间，耕地面积在各海拔梯度上表现出持续降低的趋势，林地呈现出波动上升的态势，草地则基本保持平稳；而对于水体与建设用地，出现了快速增长势头，其中水体总面积从2000年的13239.36hm<sup>2</sup>增长至2020年30038.22hm<sup>2</sup>，增长面积主要位于梯度1与梯度2上；湿地面积则出现快速下降现象，从2000年的705.96hm<sup>2</sup>降至了2020年仅有的12.96hm<sup>2</sup>，这很可能与多座水库的修建及湖泊生态扩建有关，从而使得大量湿地向水体转变。

3.1.2 基于坡度梯度的土地利用变化

坡度的增大对黔西北地区各土地利用类型在不同坡度梯度上的面积分布均造成了不同程度的影响，主要体现在以下几方面。持续减少，主要包括耕地、湿地、水体及建设用地。随着坡度增大，无论是对于水土的保持，还是建筑物的建设，都存在不利因素，4类土地利用类型与坡度地形因子表现出明显的负相关

关系;先增加后减少,主要包括林地和草地。随着坡度的增加,受到人为干扰的因素也随之减少,林地与草地的面积随着坡度的增大也相应的出现增加。

2000—2020年,林地与草地总面积在2010年达到最大值,各梯度间林地与草地面积在20a间几乎保持不变;湿地与水体在20a间则变化巨大,湿地总面积从2000年的 $705.24\text{hm}^2$ 降低至2020年的 $12.96\text{hm}^2$ ,这其中不乏向水体的转变;而水体面积在20a间则快速上升,主要增加面积多位于低坡度区域,其中梯度1与梯度2在20a间水体面积分别增加了 $5593.5\text{hm}^2$ 、 $4632.3\text{hm}^2$ ;建设用地的变化规律与水体近似,在低坡度区域也出现快速增长,侧面反映出了黔西北地区在20a里飞速发展的城镇化建设。

### 3.1.3 基于坡向梯度的土地利用变化

虽然坡向在一定程度上会影响水热条件及光照辐射,但研究区内的坡向因子对不同坡向间的水热条件等因素的影响程度并不大,没有形成差异巨大的生态环境,进而影响土地利用类型的布局。从黔西北地区不同坡向上各土地利用类型的面积来看,并未表现出明显的变化规律,大多都呈现出波动型变化特征,包括耕地、林地与建设用地。其中,草地面积占比最大值出现在东南方向,而最小值出现在北方向上;而湿地面积占比在东南及南方普遍较小,在北方与西北方则普遍较大;水体在不同坡向上的变化与湿地也基本相似,只是其随着时间各坡向间面积占比差值越来越小。耕地与林地作为研究区内最主要的2个地类,在东南至南及西至西北方向上出现了极值变化,分别为 $-4.93\%$ 、 $-7.86\%$ 、 $6.06\%$ 、 $14.94\%$ 。

2000—2020年,耕地面积在所有坡向上均出现降低,其中南方降幅最大,达到了 $-5.71\%$ ,林地则相反,呈现出增加态势,其中在南方增幅最大,为 $0.99\%$ ,草地则为波动变化,在北、南、西南、西以及西北方向上降低,最大降幅在西方,为 $-2.51\%$ ,而在东方增幅最大,达到了 $1.27\%$ ;而建设用地、水体及湿地在20a间面积变化巨大,其中建设用地与水体面积呈现出成倍的增长,湿地在20a间则几乎消失殆尽。

### 3.1.4 基于地形位梯度的土地利用变化

地形位指数在一定条件下反映了区域的山地特征,即地形位指数越大,山地特征也越明显。随着地形位指数的增加,黔西北地区各土地利用类型面积变化规律如下。持续减少,主要包括耕地、湿地、水体、建设用地。随着地形位指数的上升,山地特征越明显,越不适合土地的开发利用及水资源的储备,从而导致这4类地类面积持续减少,这种现象与海拔及

坡度因素对该地类的影响也基本契合;先增加后减少,主要包括林地与草地。这是人为因素干扰与植被适应力的共同作用的结果,但在黔西北一些山地特征太过明显的区域,由于受到喀斯特石漠化及水土流失的影响,林地与草地面积反而出现了降低现象。

2000—2020年间,耕地与林地各梯度间的面积占比变化不大,而草地、水体与建设用地在低地形位区域上面积占比出现降低,在高地形位均出现一定增长,其中水体在梯度1与梯度3的面积占比从2000年的 $52.63\%$ 、 $13.55\%$ 分别变化至2020年的 $43.45\%$ 、 $17.03\%$ ;湿地则是在中间地形位区域上面积占比出现降低,梯度1与梯度5则出现增长。

## 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

从图2可以看出,单位面积ESV最大值位于梯度1,随后大幅降低至梯度2后趋于平衡。从2000—2020年,在海拔梯度1单位面积ESV出现了逐年增长的现象,达到了2020年的 $40322\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,增长了 $17.87\%$ ,这很大程度上受到乌江和北盘江上新修建的洪家渡等大型水库的影响,水体面积在该梯度上的占比从2000年的 $0.93\%$ 达到了2020年的 $3.12\%$ ,水体面积占比在该梯度上的快速增长同时也增加了单位面积内的ESV;而在其余梯度上单位面积ESV各年基本保持不变,其中梯度4要略微高于梯度2、梯度3、梯度5,这主要与林地、草地等地类在该梯度上的广泛分布有关。

### 3.2.2 生态系统服务价值在坡度梯度上的变化

在坡度梯度上,黔西北地区单位面积ESV随着坡度的上升而增大,从梯度1至梯度4,增势稍缓,而从梯度4至梯度5,单位面积ESV的增加幅度超过了 $10000\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。随着坡度的增大,耕地占比从梯度1上超过 $50\%$ 下降至梯度4的不到 $30\%$ ;而林地与草地占比则从梯度1上的约 $25\%$ 、 $15\%$ 上升至梯度5的约 $71\%$ 、 $28\%$ ,其梯度5上单位面积ESV超过 $46000\text{元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

2000—2020年,不同坡度梯度上的ESV均随着时间而出现略微变化,3期数据间几乎保持平行增长,不同坡度梯度上各地类面积的占比在各年间也基本保持不变,其中不同坡度梯度上水体与建设用地面积占比均出现了明显增加。在2000—2020年间,单位面积ESV在梯度1上增长最快,达到了 $4.17\%$ ,而在梯度4上增长最慢,为 $2.57\%$ 。

### 3.2.3 生态系统服务价值在坡向梯度上的变化

经统计发现,黔西北地区不同坡向上单位面积ESV差距并不明显,但在各年间的变化规律相似,

2000年、2010年及2020年,其单位面积ESV最大与最小值分别出现在北与南、东北与西、东北与南方向上,主要受到不同方向上土地利用结构差异的影响,一般在北方或东北方向上,其水体、林地及草地总占比都要明显高于单位面积ESV较低的南方或西方。

总体来看,20a间在相同方向上单位面积ESV都出现了逐年增加的现象,其中,各坡向上单位面积ESV增长最快的是东北向,达到了4.08%,而增长最慢的为南方,约为2.88%;此外,20a间,没有任何坡向上单位面积ESV出现降低现象。

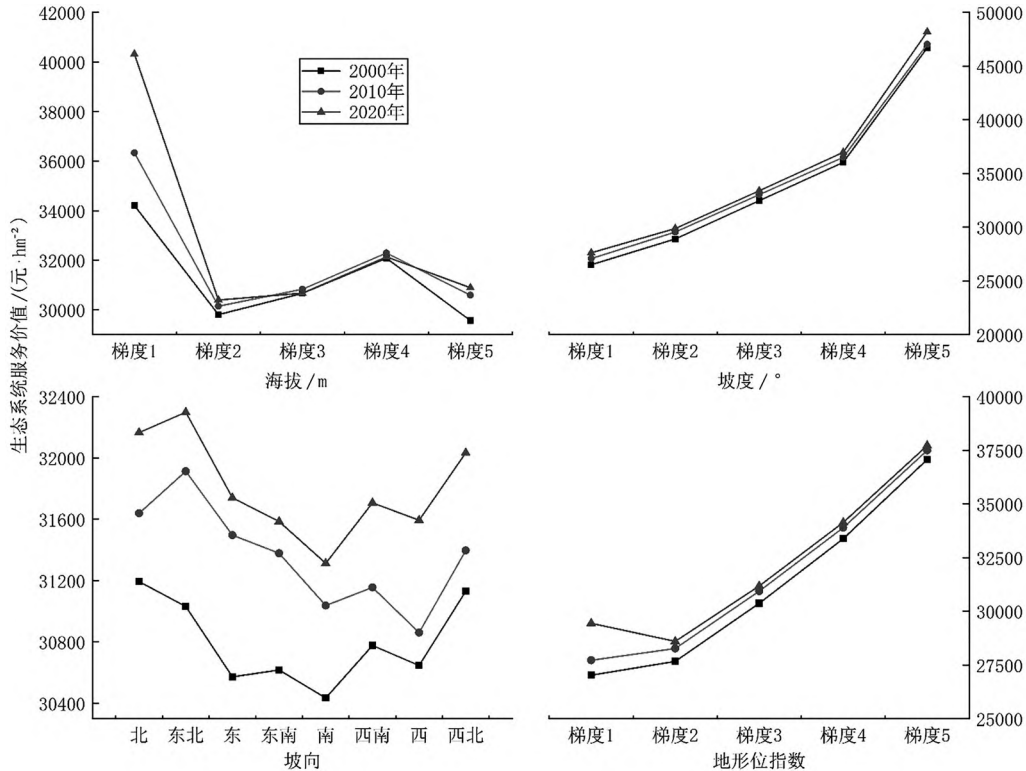


图2 黔西北地区单位面积ESV随地形梯度的变化情况

### 3.2.4 生态系统服务价值在地形位梯度上的变化

黔西北地区单位面积ESV在地形位梯度上的变化规律与坡度相似,随着地形位指数的增加表现出了持续增加的现象,同时在不同地形位梯度间的增长较为均衡。地形位指数作为反映山地特征的主要指标,其指数值的增加也越来越能突出山地特征,同时限制人为使用土地及其附属资源的空间,而林地与草地以较强的适应力在高地形位梯度上得以留存,其单位面积ESV自然也出现增加。

2000—2020年间,相同地形位指数梯度上单位面积ESV差异较为明显的主要在梯度1,2020年明显高于2010年及2000年,20a间增加了8.95%,其主要原因可能还是由于低地形位区域近些年来多座大型水库的修建;随着梯度不断增加,其变化幅度也越小,梯度5上仅增加了1.76%,侧面反映了该梯度上土地利用变化不大,即山地特征越明显,受到人类活动的干扰越小。

### 3.3 区域生态系统服务价值的空间分布

在ArcGIS 10.2中,基于2km×2km的网格,对黔

西北地区2000年、2010年及2020年共3期的生态系统服务价值进行了区域分区统计,用以表达黔西北地区2000—2020年的20a间生态系统服务价值在时空上的变化情况。经过对单位面积ESV进行分级重命名:极低(<1.5万元·hm<sup>-2</sup>)、较低(1.5~3万元·hm<sup>-2</sup>)、中等(3~4.5万元·hm<sup>-2</sup>)、较高(4.5~6万元·hm<sup>-2</sup>)、极高(>6万元·hm<sup>-2</sup>),最终得到黔西北地区2000年、2010年及2020年生态系统服务价值在空间上的分布情况,见图3。

2000—2010年,变化最为明显的地区主要位于研究区西北部的威宁县和赫章县,以及东北方向上的大方县、黔西县以及织金县的交界处,2个地区的生态系统服务价值都呈现出增加的趋势,其中威宁县和赫章县大部区域的单位面积ESV开始由极低水平上升至较低水平,而在大方县、黔西县以及织金县的交界处区域,由于水库的修建,水域面积快速增加,其单位面积ESV也相应得到快速增长。

2010—2020年,变化较为明显的地区主要在研究区南部,包括六枝地区与水城县交界处、关岭县与镇

宁县交界处以及纳雍县与织金县相邻等地区,在受到北盘江和三岔河上多座水库修建的影响后,水域面积得到快速增加,从而使该地区单位面积 ESV 获得提升;此外,在黔西北地区毕节市、钟山区、普定县以

及安顺市等主要城镇聚集区,在受到快速城镇化的影响,部分耕地、草地与林地等逐渐转变为建设用地,导致这些区域单位面积 ESV 不足  $1.5 \text{ 万元} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,处于极低水平。

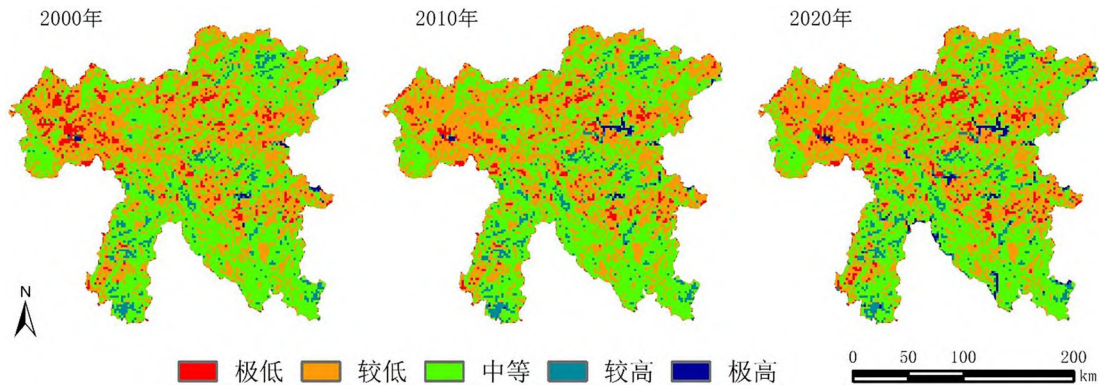


图3 黔西北地区2000—2020年单位面积ESV空间分布状况

20a间,黔西北地区生态系统服务价值变化较为明显,表现出了极端化发展特征。随着区域内多座大型水利设施的修建以及城镇化的快速发展,水利设施边缘地区的单位面积ESV在短期内得到快速提升,而在一些城镇边缘地区,随着城镇化的快速发展,大量地类转变为低产出的建设用地,其单位面积ESV也随之下滑。这些变化在很大程度上都扩大了黔西北区域间的生态系统服务价值差距。

### 3.4 区域生态系统服务价值的差异分析

2000—2020年,黔西北地区18个县市的ESV总量与单位面积ESV都发生了不同程度的变化,见表2。2000—2010年间,ESV总量增幅最大与最小的县市分别为黔西县和平坝区,其中黔西县ESV总量增幅为7.63%,增加了6.51亿元,而平坝区则降低了-6.93%,减少了2.15亿元;在单位面积ESV上,前10a里织金与平坝分别成为ESV总量增加幅度最大与最小的地区,幅度分别为6.07%、-6.93%,而在2010—2020年间,六枝地区和钟山区ESV总量变化明显,其变化幅度分别为9.65%、-2.73%,这10a间,六枝地区的ESV总量增加显著,达到了2020年的63.64亿元,其单位面积ESV也由2000年的 $32059.04 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加至2020年的 $35675.99 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,而钟山区却降低至2020年的11.12亿元,其单位面积ESV也降至黔西北各县市最低,仅为 $25907.89 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。20a里,六枝地区成为黔西北地区ESV总量增幅最大的区域,达到了11.28%,而平坝区则降低了6.63%。20a间,黔西北多数地区ESV总量得到了提升,较为明显的主

要包括六枝、黔西等地,增幅超过10%;而一些地区却出现了不同程度的降低,主要包括平坝及钟山区等地,降幅分别为-6.63%、-4.85%。总体来看,黔西北地区在20a间里ESV总量出现了小幅提升,增加了3.27%,从2000年的1414.29亿元增加至2020年的1460.59亿元。

基于黔西北全区域的ESV变化情况,2000—2010年间,黔西北各县市ESV相对变化率R值较大的地区主要有黔西县、织金县和大方县,分别为4.25、3.38、3.03,其R值远大于1,表明在这10a间,这些地区的变化幅度远大于黔西北地区,且与之方向相同;而在平坝区、普定县与钟山区,其相对变化率为-3.86、-1.49、-1.22,表明这3个地区的变化方向与黔西北整体相反且差异巨大。2010—2020年间,黔西北地区各县市ESV相对变化率较大的地区主要有六枝地区、关岭县及纳雍县,其变化率分别为6.64、3.55、2.55,远高于黔西北整体区域;而在钟山区、安顺市和毕节市,相对变化率仅为-1.88、-1.14、-1.11,其R的绝对值也均大于1,表明区域的ESV变化与黔西北整体发展相反且变化幅度还高出整体水平。

总体来看,在2000—2020年的20a间,黔西北地区大部分县市ESV总量的变化方向与整体一致,均呈现出增加的趋势,只是六枝地区和黔西县等地区要明显高于黔西北整体区域;而少数县市则呈现出ESV总量降低现象,尤其是平坝区和钟山区,变化幅度远高于整体水平,这主要受到了近些年来城市化的快速发展,草地与林地等地类向建设用地等ESV低产地类的转变,从而导致该地区ESV总量出现降低。

表2 黔西北地区2000—2020年各县(市、区)ESV的变化率及差异性

区域	变化率/%			差异性		
	2000—2010年	2010—2020年	2000—2020年	2000—2010年	2010—2020年	2000—2020年
盘县	0.31	-0.09	0.22	0.17	-0.06	0.07
紫云	-0.13	0.82	0.69	-0.07	0.56	0.21
镇宁	0.12	4.40	4.53	0.07	3.03	1.38
关岭	-0.21	5.16	4.94	-0.12	3.55	1.51
安顺	-0.92	-1.66	-2.56	-0.51	-1.14	-0.78
六枝	1.49	9.65	11.28	0.83	6.64	3.45
水城	1.12	3.67	4.83	0.62	2.52	1.48
普定	-2.67	-0.56	-3.22	-1.49	-0.39	-0.98
平坝	-6.93	0.33	-6.63	-3.86	0.22	-2.02
织金	6.07	1.27	7.42	3.38	0.87	2.27
威宁	4.42	1.12	5.58	2.46	0.77	1.71
钟山	-2.18	-2.73	-4.85	-1.22	-1.88	-1.48
纳雍	1.53	3.71	5.30	0.85	2.55	1.62
赫章	1.58	-0.34	1.23	0.88	-0.23	0.38
黔西	7.63	2.50	10.32	4.25	1.72	3.15
大方	5.44	-1.18	4.20	3.03	-0.81	1.28
毕节	0.75	-1.62	-0.89	0.42	-1.11	-0.27
金沙	-0.72	2.20	1.46	-0.40	1.52	0.45
黔西北	1.79	1.45	3.27	1.00	1.00	1.00

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

本研究基于黔西北地区2000年、2010年及2020年土地利用数据,选取海拔、坡度、坡向以及地形位指数,依据谢高地中国生态系统单位面积生态系统服务价值当量方法,以黔西北地区粮食产量价值化对其进行修正换算,得到黔西北地区生态系统服务价值,在对不同地形因子进行梯度分级后,综合深入分析了黔西北地区在基于地形梯度上土地利用与生态系统服务价值的时空变化情况。

从研究可以发现,黔西北地区不同土地利用类型与各地形梯度具有明显相关关系,自然植被占比较大区域往往分布于海拔较高、坡度较大、地形位指数较高的区域,如林地与草地,其相应单位面积ESV也较高;而在一些海拔较低、坡度较缓及地形位指数较低区域,耕地与建设用地等与人类活动密切的地类占比较高,单位面积ESV也随之降低;这些都体现出了地形对于人类在利用土地上的限制作用,但在研究时期内,由于城镇化扩张迅猛,大量在使用上受限较小的土地转变为建设用地,快速拉低了区域的ESV。

结合研究区的地形与生态背景,希望通过本次研

究,反映出黔西北地区当下在土地利用上的不合理之处,为今后研究区的土地利用、生态建设和城乡规划等提供理论基础。

### 4.2 结论

黔西北地区土地利用类型随着地形梯度表现出明显的梯度效应。总体来说,随着海拔、坡度及地形位指数的增加,耕地、建设用地面积占比越来越低,而林地与草地则相反;水体和湿地作为受限于地形较大的地类,则主要分布在低海拔的缓坡区域;不同地类在不同坡向上并没有太明显的变化,波动较小。20a间,耕地、林地及草地总面积变化幅度不大,人造水体与建设用地面积快速增加,而湿地则出现大幅降低。

黔西北单位面积ESV在地形梯度上表现出明显差异。其中,在不同海拔梯度上出现剧烈变化,最高值位于梯度1,低值区位于梯度2和梯度5;随着坡度梯度上升,自然植被覆盖面积的增加使得单位面积ESV也得到快速增加;在坡向上,单位面积ESV并未表现出明显变化规律,但在20a里,单位面积ESV在不同坡向上全都出现了增加;而地形位指数则与其表现出明显的正相关关系,山地特征越明显,单位面积ESV越高。

20a 间, 黔西北地区 ESV 在空间上呈现出极端化的发展。在一些低海拔、低坡度的城镇边缘区域, 城镇的快速扩张与土地利用方式的转变导致了 ESV 的快速下降, 而在一些主要水系流域附近, 随着多个水库的修建, 快速增长的水体面积也使得 ESV 急剧增加, 使其在空间上呈现出了明显的两极化。除此之外的其它区域在 20a 间变化较小。

2000—2020 年, 黔西北地区的 ESV 总值出现了略微增加, 大部分县市 ESV 总量的变化方向与整体一致, 均呈现出增加的趋势, 只是在六枝地区和黔西县等地要明显高于黔西北整体区域; 而少数县市则呈现出 ESV 总量降低现象, 尤其是平坝区和钟山区, 变化幅度远高于整体水平, 这主要受到了近些年来城市化的快速发展, 草地与林地等地类向建设用地等 ESV 低产出地类的转变, 从而使该地区 ESV 总量出现降低。

#### 参考文献

- [1] Daily G C. Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems [M]. Washington, DC: Island Press, 1997.
- [2] James B, Spencer B. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units [J]. Ecological Economics, 2007, 63 (2/3): 616-626.
- [3] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis [M]. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [4] Chen Z X, Zhang X S. Value of ecosystem services in China [J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45 (10): 870-876.
- [5] Pearce D. Auditing the Earth: The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Environment, 1998, 40 (2): 23-28.
- [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 (05): 911-919.
- [7] 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 (08): 1243-1254.
- [8] 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 (03): 1169-1177.
- [9] 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 (01): 113-120.
- [10] 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 (05): 599-605.
- [11] Lauer W. Human development and environment in the Andes: A geoeological overview [J]. Mountain Research and Development, 1993, 13 (2): 157-166.
- [12] 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 (05): 909-921.
- [13] 靖娟利, 陈植华, 胡成, 等. 中国西南部岩溶山区生态环境脆弱性评价 [J]. 地质科技情报, 2003, 22 (03): 95-99.
- [14] 孙然好, 陈利顶, 张百平, 等. 山区景观垂直分异研究进展 [J]. 应用生态学报, 2009, 20 (07): 1617-1624.
- [15] 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 (06): 759-769.
- [16] 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 (05): 1432-1439.
- [17] 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 (08): 2629-2639.
- [18] 郝红娟, 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 (02): 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 (04): 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 (03): 137-143.
- [21] 郝红娟, 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 (01): 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 (02): 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 (02): 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 (03): 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 (05): 198-204.
- [26] 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 (04): 623-631.
- [27] 冯异星, 罗格平, 周德成, 等. 近 50a 土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响——以新疆玛纳斯河流域为例 [J]. 生态学报, 2010, 30 (16): 4295-4305.

(责任编辑 贾灿)