

文章编号: 1008 - 2786 - (2019)5 - 702 - 15

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000461

岩溶槽谷区地形起伏特征及其对景观格局的影响

王 权,李阳兵*

(贵州师范大学 地理与环境科学学院,贵阳 550025)

摘 要: 在当前多因素驱动下探讨岩溶槽谷区地形起伏对景观格局的影响,对区域景观规划和生态修复具有重要意义。本文以 2017 年 Google Earth 0.53 m 高清影像和 DEM(Digital Elevation Model)为数据源,结合实地调查验证,通过移动窗口法和均值变点法提取地形起伏度和典型代表性样带设计,从景观水平尺度探究地形起伏对景观格局的影响,并运用 Logistic 回归模型分析景观格局和影响因子之间的定量关系,揭示其现实与理论意义。结果表明:受槽谷地形起伏特征影响,景观类型随地形起伏度的增加呈现不同的变化模式;西部槽谷景观类型呈三种变化模式,中部槽谷呈现先增加后增减少的变化模式,东部槽谷呈两种变化模式;低地形起伏区域景观结构较复杂,高地形起伏度区域景观呈现单一性;景观格局由低地形起伏向高起伏演变呈现出梯度差异性,景观格局由人为景观逐渐向自然景观过渡;岩溶槽谷区景观格局在地形起伏度的分布受多重因素影响,其中自然条件是景观格局决定因素,社会经济是推动因素,政策是再分配因素。

关键词: 岩溶槽谷;地形起伏;均值变点法;样带;景观格局;GIS

中图分类号: P901, Q149

文献标志码: A

地形是影响土地利用格局的决定因素^[1],然而景观格局的空间分布与地形因子具有显著相关性^[2]。地形起伏度是表征地形起伏特征的定量指标,能直观反映地形地貌特征^[3],不同地形起伏使生态系统的物质和能量可以再分配^[4],从而决定了景观格局在空间分布上具有差异性^[5];在多重因素主导下,不同地形起伏度的土地利用景观格局分布特征是自然、社会经济和政策因素协同作用的结果^[6]。

景观格局是指不同属性斑块大小和形状各异的景观要素在空间上的排列和组合^[7]。近年来,景观格局的时空演变是地理学和景观生态学长期关注的

热点,国内外学者采用数量分析法(景观格局指数和景观动态变化模型)对不同尺度的景观格局特征进行了系统研究。国内外学者研究了山地丘陵地区不同地形因子对土地利用景观格局的影响^[8]、不同尺度的地形对景观格局的影响^[9]、山地平原过渡带地形起伏特征及其对景观格局的影响^[10]、地形起伏对景观格局演变规律及潜在分布概率、地形起伏对景观格局演变过程的响应^[11];受地形因子影响,景观格局呈现出一定的梯度分布特征^[12],随地形梯度增加,其一般是以人为景观向自然景观过渡^[13-14]。已有研究主要集中于分析山地平原多种地形因子对景观格局的时空分布规律与差异性。中国西南岩溶

收稿日期(Received date):2019-05-20;改回日期(Accepted date):2019-09-11

基金项目(Foundation item):贵州师范大学研究生创新基金项目(YC[2018]025);国家重点研发计划项目(2016YFC0502300);国家自然科学基金项目(41661020)。[Guizhou Normal University Graduate Innovation Fund Project(YC[2018]025);National Key R&D Program(2016YFC0502300);National Natural Science Foundation of China(41661020)]

作者简介(Biography):王权(1993-),男,硕士研究生,贵州铜仁人,主要从事土地利用与规划方面研究。[WANG Quan(1993-), male, M. Sc. Candidate, born in Tongren, Guizhou Province, research on land use and planning] E-mail:excellent_wangquan@126.com

* 通讯作者(Corresponding author):李阳兵(1968-),男,博士,教授,重庆潼南人,主要研究土地利用与生态过程。[LI Yangbing(1968-), male, Ph. D., Professor, born in Tongnan, Chongqing, research on land use and ecological processes] E-mail:li-yapin@sohu.com

山地地区地形起伏多变^[15],岩溶山地地区土地利用在复杂地形上呈现垂直带性^[16],但定量探讨岩溶山地典型地貌单元的景观格局受地形起伏度影响的研究尚属少见,因此,地形起伏对槽谷区景观格局的演变还需进一步探讨。

岩溶槽谷地貌主要分布于西南岩溶地区^[17],该区域地形地貌复杂,地势险要,生态环境极其脆弱,生态系统受自身地形地貌制约,土地退化严重^[18];再则,槽谷区箱型紧密式北东向背斜/向斜构造发育^[19],岩层构造倾角变化大,受多种岩性控制^[20],地形起伏多变、高差大,山坡、槽坝在空间上交替出现,地形分异明显,形成高度异质性的景观特征。因此,有必要深入研究岩溶槽谷区地形起伏对土地利用景观的空间分布和形成机制。基于此,本文主要选取具有代表性的贵州省德江、沿河、印江三县交界处的三条岩溶槽谷,基于移动窗口法和典型样带设计研究,探讨岩溶槽谷区地形起伏对土地利用景观的影响,以及这种影响在不同自然和社会经济特征背景下所表现出的共同特征和差异性,旨在探讨景观格局与不同地形起伏度的空间相关性,及其内在的自然、社会和经济原因,揭示岩溶槽谷区地形起伏对景观格局分布的影响,为岩溶槽谷区土地利用管理、景观规划和生态修复提供科学参考。

1 研究区概况

本研究区域位于贵州省德江县、沿河县和印江县的交界处,地理位置为 $108^{\circ}21'48'' \sim 108^{\circ}32'37''E$ 和 $28^{\circ}12'41'' \sim 28^{\circ}26'35''N$,由位于德江县枫香溪镇、沿河县谯家镇的西部槽谷、印江县杉树镇的中部槽谷、印江县沙子坡镇的东部槽谷组成(图1)。三条槽谷北东向排列,自西向东分别为向斜、背斜和向斜构造;西部槽谷、中部槽谷、东部槽谷由东到西,山、槽交替出现,每条槽谷又分别由中间的谷地和两侧的坡面构成,自然特征具有各自差异性(表1)。岩溶槽谷区土地总面积 503.39 km^2 ,其中山坡的土地面积 359.21 km^2 ,槽谷的土地面积 141.64 km^2 ;山坡占总面积71%,槽谷地占总面积29%。西部槽谷区人口分布为8.4万,生产总值为8560万元,人均纯收入1867元;中部槽谷人口分布为2.53万,生产总值为4204万元,人均纯收入1580元;东部槽谷人口分布为2.63万,生产总值为5321万元,人均纯收入1680元。乡镇、居民点和耕地主要分布在各条槽谷的中部地形平坦部位。研究区域气候类型属于亚热带气候和暖温带季风山地气候,年平均气温 15°C ,年均降雨量1200 mm。

表1 岩溶槽谷区自然属性特征

Tab.1 Characteristics of natural attributes in karst trough valley area

名称	海拔/m	平均海拔/m	坡度/ $^{\circ}$	平均坡度/ $^{\circ}$	长/km	宽/km	高差/km	面积/ km^2	地形地貌	典型影像
西部槽谷	414 ~ 1277	687	0 - 69	28	39.63	6.52	0.90	251.12	低山峡谷	
中部槽谷	440 ~ 1280	856	0 - 74	32	43.91	3.76	1.02	178.82	丘陵谷地	
东部槽谷	380 ~ 1280	798	0 - 72	30	30.69	4.91	0.98	129.61	低山河谷	

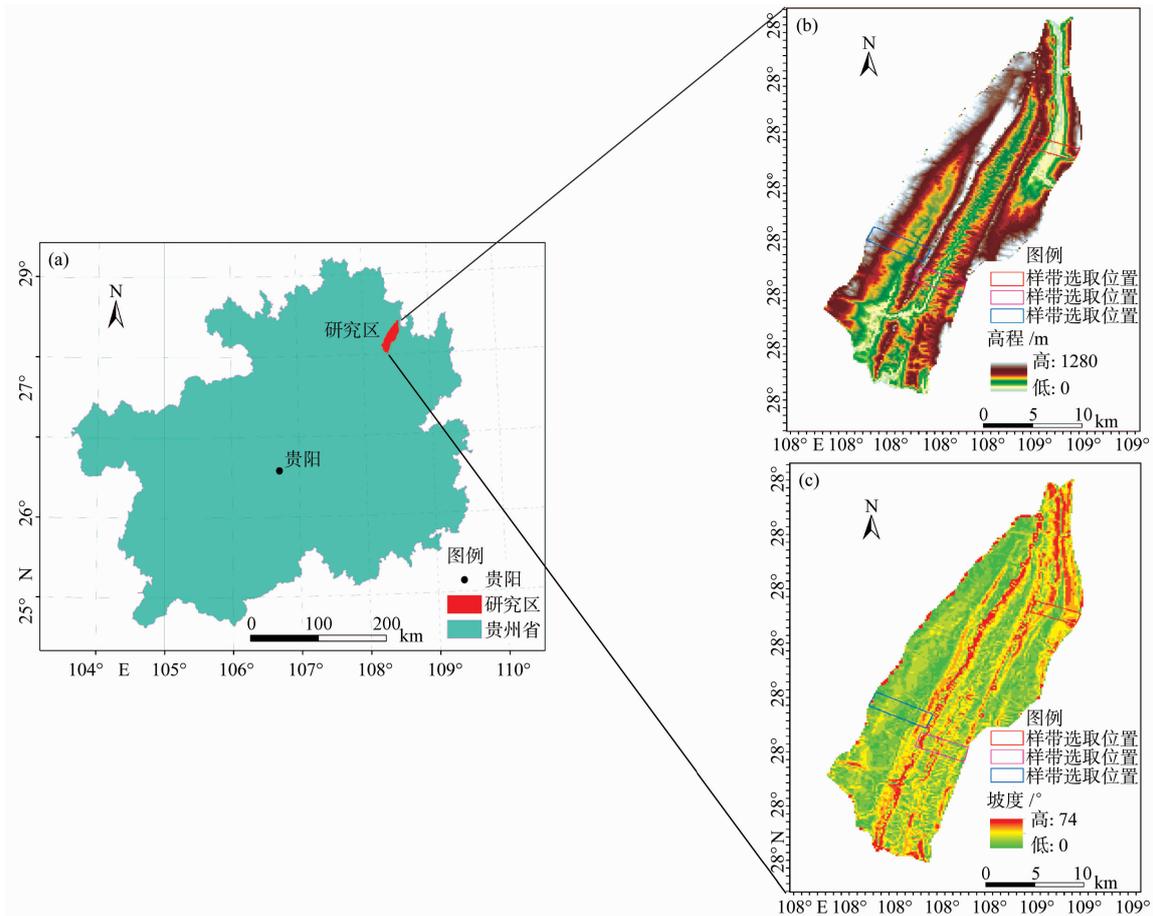


图1 研究区地貌 (a)研究区在贵州省的位置;(b)研究区高程图;(c)研究区坡度图

Fig. 1 Topography of study area

(a) location of study area in Guizhou Province; (b) elevation map of study area; (c) slope map of study area

2 研究数据与方法

2.1 数据来源与处理

数据来源于2017年Google Earth高清影像(0.53 m),采用Erdas imagine 9.0遥感处理软件对影像进行几何校正。在Arcgis10.2软件支持下,采用人工目视解译方法,最后得到岩溶槽谷区2017年土地利用线划图,再经过Arcgis10.2软件进行拓扑检查与修改处理,在分类中参照2017年全国土地利用分类体系,把地类斑块分为18种,即景观类型分别是灌木林地、农村居民用地、平坡耕地、缓坡耕地、斜坡耕地、陡坡耕地、水田、水域、沟渠、道路、城镇用地、工矿用地、有林地、草地、裸露岩地、茶园、撂荒地、经果林,并赋予每个斑块代码属性值,最后得到西、中、东部槽谷土地利用景观类型图(图2)。

岩溶槽谷区DEM数据来源于ASTER GDEM,

经过处理得到所需要数据(高程、坡度、地形起伏度);根据研究区实际情况分别对槽谷区的四级公路、城镇分布、河流分布做缓冲区,得到距公路距离、距城镇距离以及距河流距离;人口数据源于印江县、德江县和沿河县统计年鉴;降雨量、气温数据源于印江县、沿河县和德江县气象站,利用ANUSPLIN软件插值,以槽谷区经纬度为自变量,海拔高度为协变量,将其空间插值可得到栅格数据,与地形起伏数据进行叠加提取不同地形起伏度上的降雨气温数据。

2.2 研究方法

2.2.1 地形起伏度的计算

进行地形起伏度计算时,选取移动窗口单元大小最为关键,窗口大小选取是否恰当直接决定地形起伏度的最佳精确度^[21]。本文采用均值变点法统计最佳单元^[22],以移动窗口大小为X轴,平均地形起伏度为Y轴,其平均地形起伏度值随窗口大小的

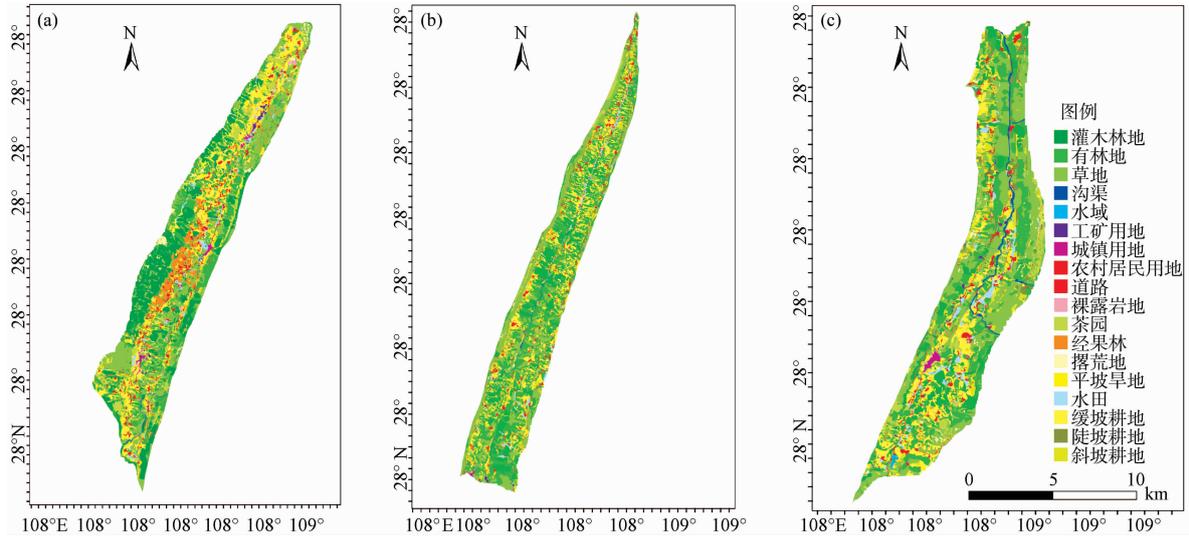


图 2 岩溶槽谷区土地利用景观类型图:(a)西部槽谷;(b)中部槽谷;(c)东部槽谷

Fig. 2 Land use landscape type map in karst trough valley area

(a) Western trough valley; (b) Middle trough valley; (c) Eastern trough valley

变化呈现对数曲线特征(图 3),拟合度值为 0.99,拟合值趋近 1,拟合度良好。由图 4 可见, $T_i(S - S_i)$ 曲线呈现先增加后降低趋势,在第 9 个点 ($i = 10$) 时, T_i 达到最大(4.98)则出现变点,对应的窗口为 19×19 像元 0.05 km^2 ,根据移动窗口法对岩溶槽谷区地形起伏度的最佳统计单元大小是 0.05 km^2 。

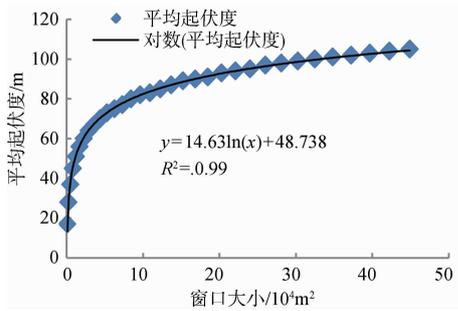


图 3 地形起伏度变化曲线

Fig. 3 Topographic relief variation curve

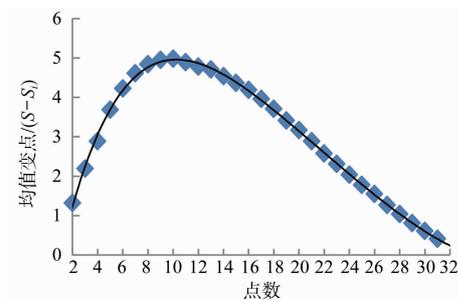


图 4 $T_i(S - S_i)$ 差值变化曲线

Fig. 4 Difference variation curve of $T_i(S - S_i)$

本文借助移动窗口法和均值变点法对地形起伏度最佳单元大小进行提取,根据中国数字地貌制图规范中的分级标准^[23],并结合岩溶槽谷区实际情况,利用 Arcgis10.2 软件重分类(reclassify)工具将地形起伏度分为五级(图 5),分别是 $[0, 30]$ 平坦、 $(30, 70]$ 微起伏、 $(70, 120]$ 小起伏、 $(120, 200]$ 中起伏、 $(200, 260]$ 高起伏。首先从景观水平选取景观指数分析不同地形起伏度对景观格局的影响,然后考虑景观格局在不同地形起伏度上的影响因素。

2.2.2 景观格局指标选取和计算

景观格局指数能够定量反映景观在空间上的组成及其分布特征^[24]。根据岩溶槽谷区实际特点,为全面反映岩溶槽谷区景观格局破碎度和多样性的空间差异性,在景观水平上选取蔓延度指数(CONTAG)、聚集度指数(AI)、香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)来表征景观多样性状况和空间异质性。利用 Arcgis10.2 软件的栅格转换工具,对土地利用景观矢量数据栅格化,然后导入 Fragstats4.2 软件对各景观指标进行计算并统计,从而得到各条槽谷区景观指标数值。

2.2.3 典型样带设计

岩溶槽谷区属于复杂地貌类型,地形地貌在横向梯度上具有显著差异性。由于选取研究对象属于隔槽式槽谷,三条槽谷北东向排列,自然环境和社会经济差异性大,为更清楚探讨出西、中、东部槽谷的地形地貌状况和土地利用景观在地形起伏面上的空

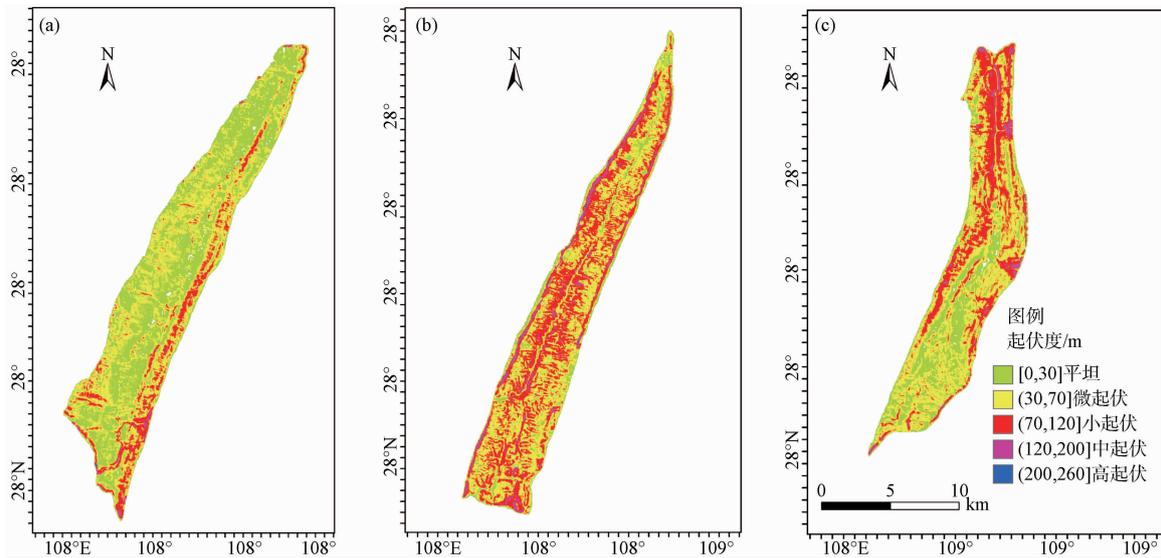


图5 岩溶槽谷区地形起伏度的空间分布:(a)西部槽谷;(b)中部槽谷;(c)东部槽谷

Fig. 5 Spatial distribution of topographic relief in karst trough valley area

(a) Western trough valley; (b) Middle trough valley; (c) Eastern trough valley

间分布特征,采用 Arcgis10.2 软件对各条槽谷设计典型代表性样带(图1)。西部槽谷样带宽1.20 km、长6.53 km;中部槽谷样带宽1.20 km、长4.00 km;东部槽谷样带宽1.20 km、长5.10 km。基于 Fragstats4.2 的移动窗口法,以50 m为间隔距离对栅格尺度的样带进行随机采样,以横向典型样带分析各条槽谷景观格局随地形起伏度的梯度变化。

2.2.4 土地利用景观的影响因素

本文运用 Logistic 回归模型定量探究岩溶槽谷区典型地貌的景观格局与驱动因素之间的关系和作用大小,从而解释该驱动因子对土地利用景观格局的作用机制,该模型已被用于分析土地利用变化与驱动机制的定量关系研究^[25]。本文根据研究区实际情况,主要选取高程(m)、坡度($^{\circ}$)、地形起伏(m)、距公路距离(m)、人口密度(人 \cdot km $^{-2}$)、距城镇距离(m)、距河流距离(m)和降雨量(mm)、气温($^{\circ}$ C)相关指标数据,在运用 Logistic 回归模型的基础上采用 ROC 曲线(Relative Operating Characteristics)对回归结果进行检验,当 ROC > 0.7 时,说明选取的影响因子对研究区土地利用景观的驱动具有解释能力^[26]。

3 结果分析

3.1 岩溶槽谷区地形起伏的空间分异特征

三条槽谷的地形起伏度空间分布具有显著差异

性(图6)。西部槽谷地形起伏度主要是以平坦和微起伏为主,面积占比分别为39.03%和35.18%,平均起伏度为130.23 m,其槽谷东翼地形起伏度显著;中部槽谷地形起伏度主要以微起伏和小起伏为主,面积占比分别为43.62%和41.05%,平均起伏度为130.98 m;东部槽谷地形起伏度主要以微起伏和小起伏为主,面积占比为42.25%和27.79%,小起伏主要分布于东部槽谷的山坡两翼及北部,平均起伏度为128.32 m。整个岩溶槽谷区地形起伏度为0~260 m,平均起伏度为142.76 m。三条槽谷地形起伏度整体都以微起伏占主导,中起伏与高起伏分布最少,各条槽谷差异性显著。

3.2 不同地形起伏的土地利用景观类型分布

随地形起伏度的增加,西部槽谷主要景观类型分布呈现三种变化模式(图7):(1)缓坡耕地、农村居民用地、城镇用地、水田的面积呈现持续减少特征,其面积分别由平坦区域降到高起伏区域;(2)灌木林地呈现先增加后减少特征,其面积由平坦部位增加到小起伏后又降低到中起伏区域;(3)有林地、草地呈现持续增加特征,其面积分别由小起伏增加到高起伏区域。这说明,随着地形起伏度增加,缓坡耕地、农村居民用地、城镇用地在低地形起伏度区域具有优势景观,而灌木林地、草地及有林地在中、高地形起伏度区域为优势景观,是因为对自然条件选择适应性的结果^[27]。

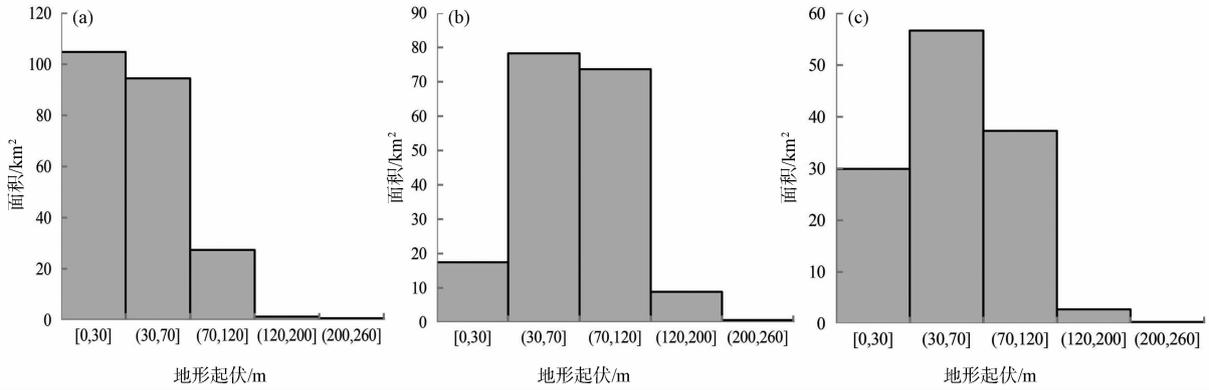


图 6 岩溶槽谷区地形起伏分布特征:(a)西部槽谷;(b)中部槽谷;(c)东部槽谷

Fig. 6 Distribution characteristics of topographic relief in karst trough valley area

(a) Western trough valley; (b) Middle trough valley; (c) Eastern trough valley

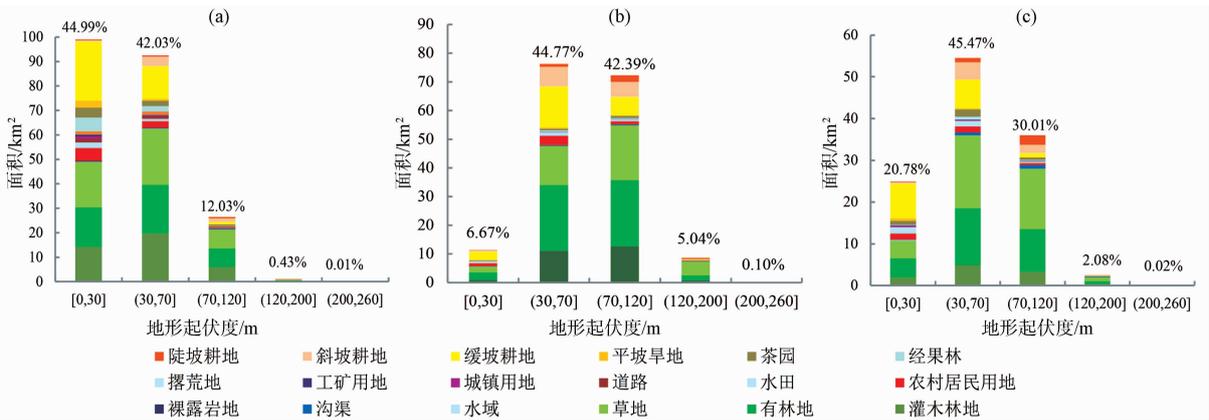


图 7 岩溶槽谷区地形起伏度上的景观类型分布结构:(a)西部槽谷;(b)中部槽谷;(c)东部槽谷

Fig. 7 Landscape type distribution structure of topographic relief in karst trough valley area

(a) Western trough valley; (b) Middle trough valley; (c) Eastern trough valley

在中部槽谷,随着地形起伏度的增加,缓坡耕地、农村居民用地、撂荒地、草地、有林地、灌木林地都呈现出先增加后减少的变化特点。其中,灌木林地、有林地、草地的面积分别由平坦区域增加至小起伏后又减少至高起伏区域;农村居民用地、撂荒地、缓坡耕地,分别由平坦部位增加至微起伏后又降低至中起伏区域。

在东部槽谷,随着地形起伏度的增加,主要景观类型分布呈现出两种变化类型。持续减少型土地利用类型包括农村居民用地、水田、缓坡耕地,其面积分别由平坦部位持续减少至中起伏区域;先增加后减少型土地利用类型包括,灌木林地、有林地、草地、撂荒地,其中,灌木林地、有林地、草地的面积分别由平坦部位增加至微起伏又减少至高起伏区域。

对西、中、东部槽谷综合分析发现景观类型分布

格局具有共同特征与差异性。三条槽谷景观类型主要集中于低、微和小地形起伏区,在低、微和小地形起伏区域集中分布缓坡耕地、农村居民用地及城镇用地,该地形起伏区域人地关系矛盾突出,人类经济活动频繁,使得人文景观类型结构显著^[28]。小起伏区均有人文与自然景观交错分布,边缘效应显著。有林地、灌木林地、草地主要集中于中、高地地形起伏度区域,且分布面积也最大,自然景观突出^[29]。

3.3 不同地形起伏对景观格局的影响

随着地形起伏度增加,西、中、东部槽谷的蔓延度指数 (CONTAG) 表现出先增加后降低趋势 (图 8),这说明三条槽谷在低地形起伏区域景观斑块最大限度破碎化,蔓延连通性较高^[30]。西、东部槽谷随着地形起伏度增加,聚集度指数 (AI) 呈现增加趋势,而中部槽谷聚集度指数 (AI) 呈现先增加后降低

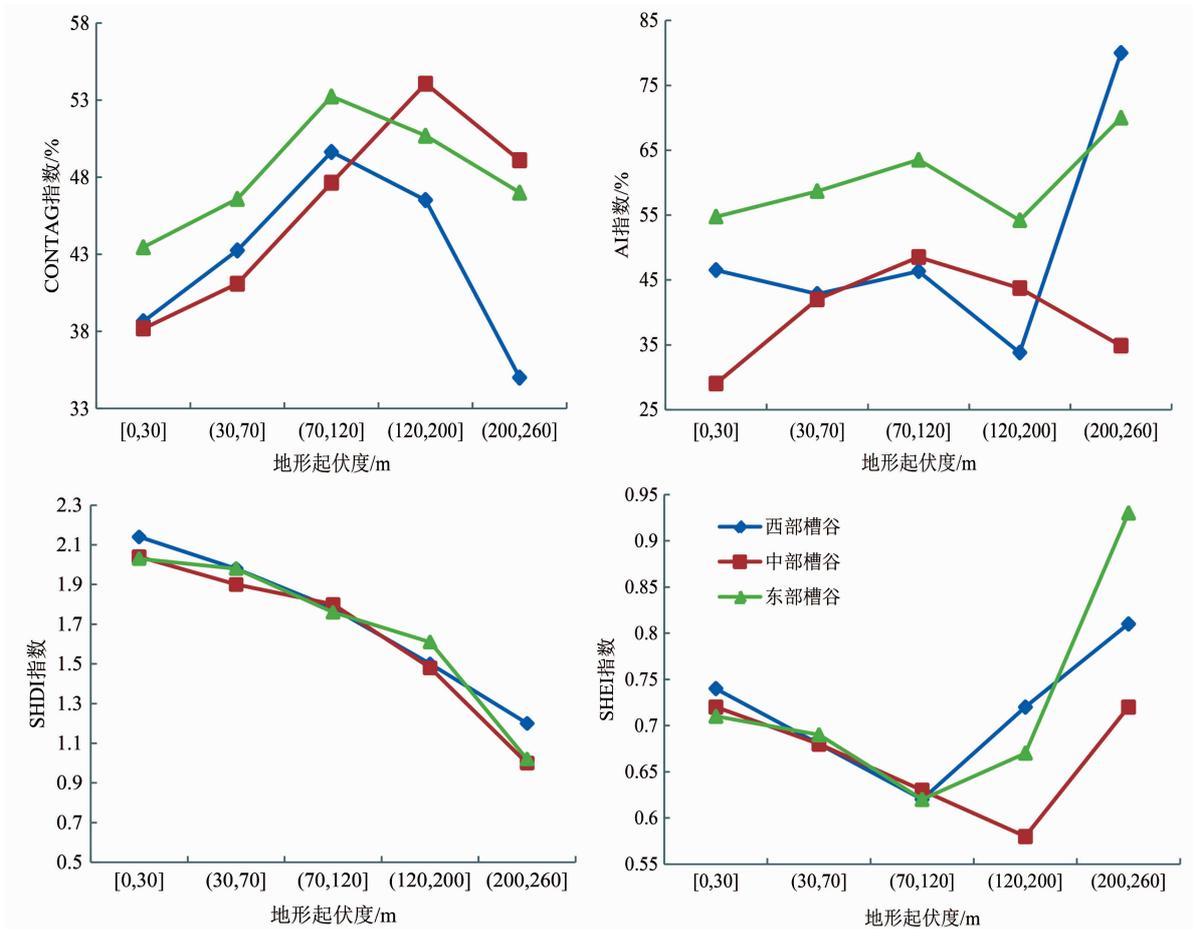


图 8 岩溶槽谷区地形起伏度景观水平指数变化

Fig. 8 Change of topographic relief landscape level index in karst trough valley area

且在小起伏达到最大比例。随着地形起伏度增加,西、中、东部槽谷香农均匀度分布指数(SHEI)呈现出基本一致性,呈现先减少后增加的变化趋势。三条槽谷在小起伏度(70,120]时,香农均匀度分布指数(SHEI)达最低且同时出现拐点,其值分别为0.62、0.63和0.62。根据香农多样性指数(SHDI)变化曲线得出,西、中、东部槽谷香农多样性指数(SHDI)均随着地形起伏度增加呈现持续降低的变化趋势。

随着社会经济不断发展,低地形起伏区域的城镇用地和道路在增加,而缓坡耕地在减少,使得斑块类型不断受到分割,斑块密度增大,蔓延度指数(CONTAG)增高,高地形起伏度区域景观类型呈现单一性^[31]。低地形起伏区域受城镇、农村居民用地、工矿及交通用地分割,槽坝内部结构复杂,景观异质性最强、多样性和均匀度达到最大、破碎化严重,高地形起伏度连通性和聚集度差^[32]。

3.4 西、中、东部槽谷样带区景观格局总体特征

三条槽谷景观格局的空间分布既存在共同特征又具有差异性(图9)。共同性表现在从槽谷中间槽坝区域向两翼山坡延伸,在地形地貌上呈现出梯度效应。差异性体现在:(1)西、东部槽谷平坦和微起伏区域主要集中,以显著的人为景观为主导;海拔在900 m左右,地形起伏高差大,受人类扰动减弱^[33],西、东部槽谷山坡两翼主要呈现自然景观为主导。(2)中部槽谷人为景观主要集中于槽谷山坡西翼,东翼呈现为自然景观,以谷底为基准线,形成了槽谷山坡两翼人为景观和自然景观特征的鲜明对比。其原因在于中部槽谷谷底与山坡丘陵交错,谷底河流侵蚀越深,坡度较大,水土流失现象严重,槽谷东翼处于向阳坡,光照条件极差,以自然景观为主。

3.5 西、中、东部槽谷典型样带区景观格局与地形起伏的响应关系

西、中、东部槽谷样带区,地形起伏与景观格局指数均呈现出显著相关性(图10)。西、中、东部槽

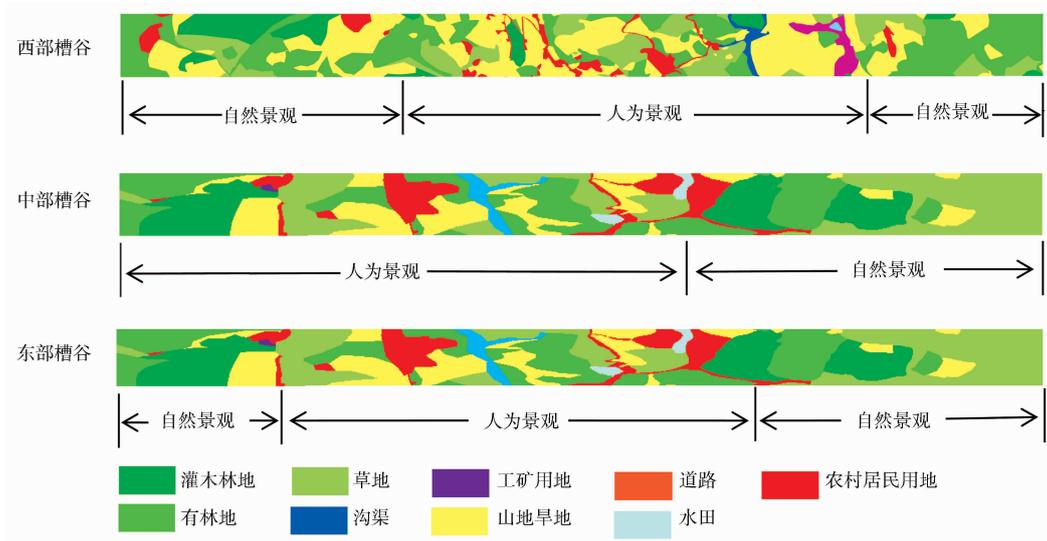


图 9 西、中、东部槽谷样带的景观格局变化

Fig. 9 Landscape pattern change of sample tape in the Western, Middle and Eastern trough valley

谷的蔓延度指数 (CONTAG)、香浓多样性指数 (SHDI)、香浓均匀度指数 (SHEI) 与地形起伏度具有明显相关特征,受地形起伏影响大;其中,西部槽谷景观格局指数与地形起伏的波动主要集中于地形起伏 20 ~ 40 m 和 70 m 左右;中部槽谷景观格局指数与地形起伏的变化主要集中于 50 m 和 100 m 左右;东部槽谷区景观格局指数与地形起伏的波动主要集中于 40 m 和 80 m 左右的地形起伏区域。由西、中、东部槽谷的聚集度指数 (AI) 与地形起伏关系来看,三条槽谷聚集度指数与地形起伏关系整体呈现出平滑曲线,西、中部槽谷出现少许锯齿状,变化不太显著,然而东部槽谷的聚集度指数受地形起伏度影响较大,呈现较大的波动。

4 不同地形起伏区景观格局的影响因素

本文通过 Logistics 回归分析探讨了岩溶槽谷区不同地形起伏度区景观类型与各项影响因子之间相互关系(表 2)。结果显示,ROC 值均大于 0.7,说明所选的各项驱动因子对景观格局具有较强的解释能力。由于槽谷区的道路、工矿用地、水域、沟渠、裸露岩地、茶园、经果林、撂荒地、陡坡耕地分布少, Logistic 模型回归未通过 0.05 显著性检验,因此主要选取灌木林地、有林地、草地、平坡耕地、缓坡耕地、斜坡耕地、农村居民用地、城镇用地、水田与驱动

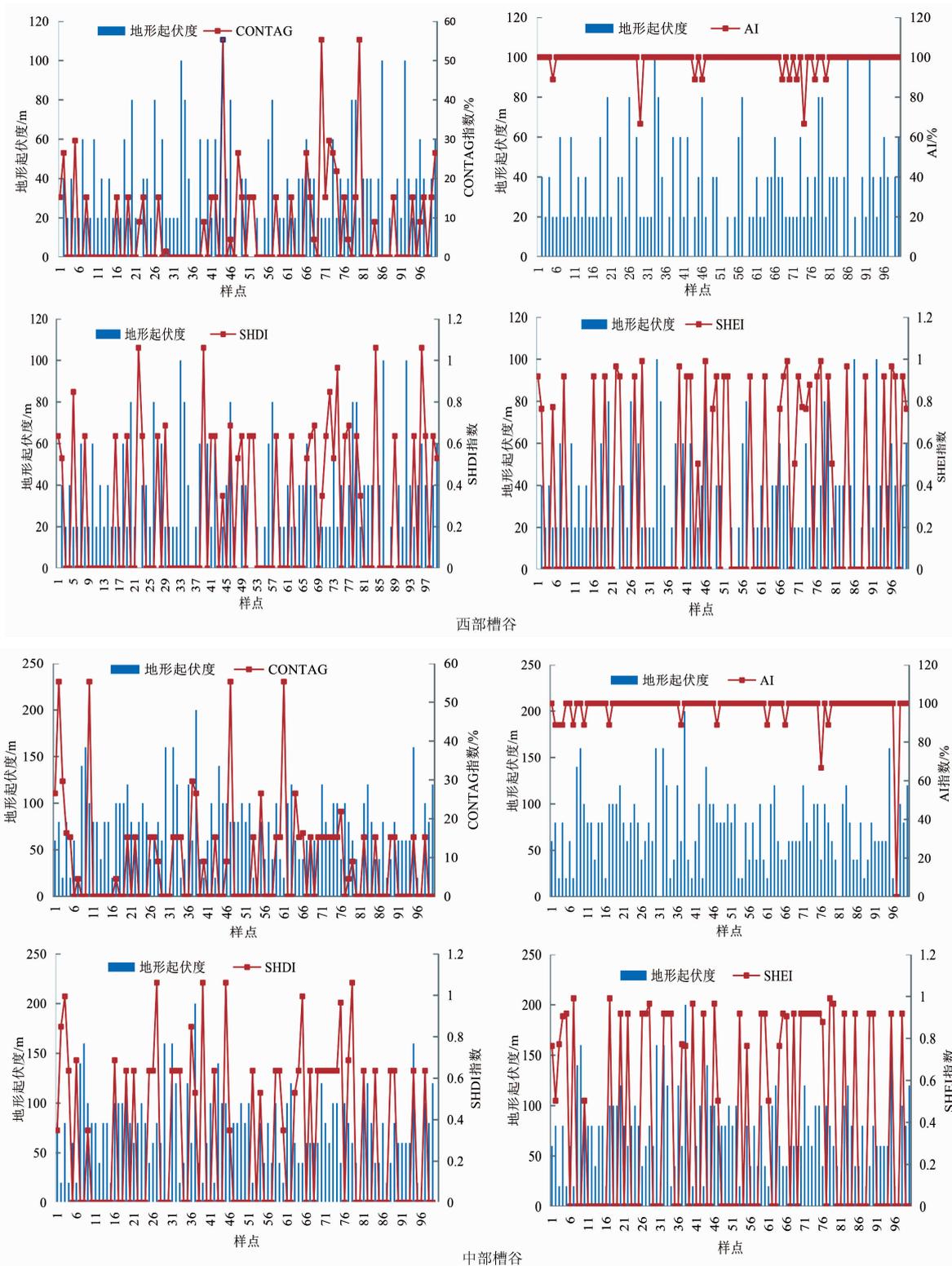
因素进行 Logistic 回归分析。

岩溶槽谷区不同地形起伏区景观类型与驱动因子之间的 Logistic 回归出现显著关系。平坡耕地在平坦部位主要受人为因素影响,即距公路距离、距城镇距离和河流距离分别增加 1 m,其影响程度值分别为 0.16、0.67 和 0.05;水田的分布主要受平坦和微起伏的影响,在平坦和微起伏区受坡度和距河流距离影响显著,坡度增加 1°和距河流距离增加 1 m,影响水田分布程度值分别为平坦(0.17、0.07)、微起伏(0.07、0.07);草地主要分布于微起伏、小起伏、中起伏区域,微起伏和小起伏区草地受人为影响为主,距公路城镇距离增加 1 m,影响草地分布影响程度值分别为微起伏(0.02、0.01)、小起伏(0.07、0.38),然而在中起伏区受自然因素为主,高程、地形起伏增加 1 m,坡度增加 1°影响其分布程度值分别为 0.02、0.43 和 0.03;缓坡耕地和斜坡耕地的分布主要受坡度因子的影响,坡度增加 1 m 在微起伏、小起伏和中起伏的影响程度分布值分别为 0.08、0.07 和 0.07。在小起伏、中起伏和高起伏区,有林地和灌木林地的分布主要受自然因素较为显著,其中有林地在小起伏和中起伏区,高程、地形起伏增加 1 m 和坡度增加 1°影响其分布程度值分别为小起伏(0.07、0.08、0.05)、中起伏(0.07、0.32、0.04),灌木林地的高起伏区域最为显著,高程、地形起伏增加 1 m 和坡度增加 1°,影响其分布程度值分别为 0.08、0.76 和 0.08。

对农村居民用地和城镇用地的分布具有解释能力的因素相对较多,且显著性大。在平坦区、微起伏区、小起伏区,主要受人为因素的距公路距离、距城镇距离、距河流距离和自然因素的坡度和地形起伏共同影响较强,城镇用地在平坦和微起伏区域分布

概率大,而农村居民用地在小起伏区域分布多。

通过 Logistic 回归模型对影响因子进行筛选,岩溶槽谷区景观格局在不同地形起伏区的演变均受自然因素、社会经济因素和政策因素共同作用^[34],下面对此做进一步分析:



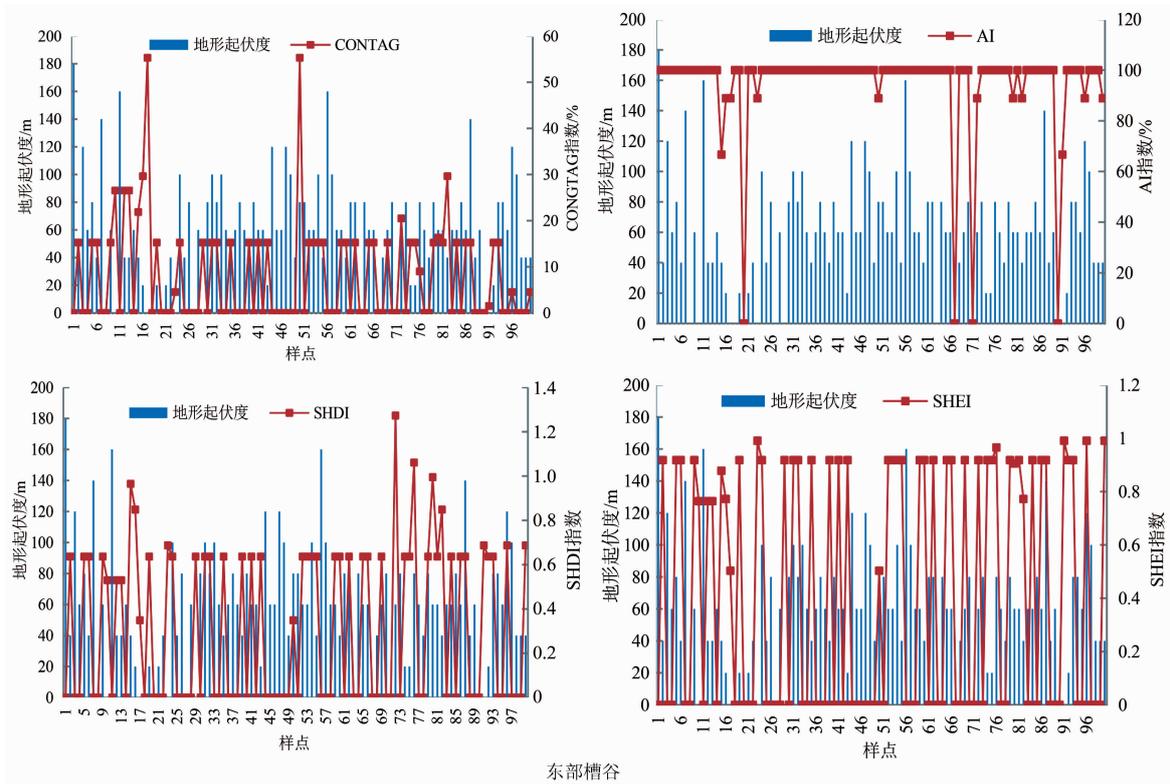


图 10 岩溶槽谷区样带区景观格局与地形起伏的关系

Fig. 10 Relationship between landscape pattern and topographic relief of sample tape in karst trough valley area

表 2 岩溶槽谷区不同地形起伏上的景观类型与驱动因素之间的 Logistic 回归结果

Tab.2 Logistic regression results between landscape type and driving factors on topographic relief in karst trough valley area

地形起伏	驱动因子	系数	常量	高程/m	坡度/°	地形起伏度 /m	距公路距离 /m	距城镇距离 /m	距河流距离 /m	ROC 值
平坦	平坡耕地	Beta	2.53	—	0.04	0.06	0.16	0.67	0.05	0.94
	农村居民用地	Beta	1.34	-0.03	-0.01	-0.02	0.08	0.97	0.06	0.98
	城镇用地	Beta	1.24	0.03	-0.01	0.05	0.08	—	0.03	0.97
	水田	Beta	1.45	—	0.17	0.08	0.04	0.01	0.07	0.98
微起伏	草地	Beta	1.16	—	-0.01	0.01	0.02	0.01	—	0.95
	缓坡耕地	Beta	0.66	0.04	0.08	0.05	0.06	0.71	—	0.95
	农村居民用地	Beta	-0.21	0.05	—	0.08	0.05	0.95	—	0.92
	城镇用地	Beta	1.21	0.06	0.08	0.09	0.60	—	0.05	0.93
小起伏	水田	Beta	1.43	0.02	—	0.01	0.02	0.98	-0.01	0.94
	有林地	Beta	3.07	0.07	0.05	0.08	-0.01	—	0.01	0.94
	草地	Beta	1.75	—	-0.01	-0.01	-0.01	0.38	0.07	0.87
	缓坡耕地	Beta	1.44	0.01	0.08	0.01	0.01	0.28	—	0.88
中起伏	农村居民用地	Beta	3.25	—	0.06	0.26	0.06	0.21	-0.01	0.91
	有林地	Beta	1.49	0.07	0.05	0.32	—	—	0.03	0.92
	草地	Beta	1.54	0.02	0.03	0.43	—	0.12	0.22	0.87
	斜坡耕地	Beta	1.32	0.04	0.07	0.32	0.12	0.17	0.23	0.91
高起伏	灌木林地	Beta	1.87	0.01	0.02	0.21	0.13	0.12	0.01	0.90
	有林地	Beta	1.78	0.06	0.04	0.56	0.23	0.43	—	0.89
	灌木林地	Beta	1.56	0.08	0.08	0.76	0.23	0.21	0.01	0.93

“—”表示未通过 0.05 显著性检验;Beta 系数为回归系数,衡量驱动因子对景观类型的影响程度。

(1)自然因素。槽谷属于岩溶复杂地貌类型,三条槽谷北东向排列,地形起伏大,高程、坡度分异明显。最高海拔1280 m,最低海拔380 m,坡度最陡 74° ,不同地形起伏、高程、坡度对景观格局分布具有决定性作用^[35]。槽谷中间凹型特征导致山坡与谷底气温、降雨量差异性大(图11a)。气温随海拔增加而降低,从而形成气温垂直差异,其导致景观类型呈现梯度效应^[36]。槽谷区年降雨量1000~1100 mm,槽谷沟壑区和山脊地区水土流失自上而下加剧。

(2)社会经济因素。社会经济因素对不同地形起伏的景观类型分布具有推动作用^[37]。随着地形起伏度增加,三条槽谷人口密度都逐渐降低,距城镇和道路距离越大(图11b)。随着社会经济的快速发展,槽谷区枫香溪镇、濂家镇、沙子坡镇、杉树镇的城镇化不断提升,工业生产规模加大,农村人口逐渐向城镇聚集,人口密度增加,道路基础设施不断完善,交通便捷,流动人口加剧,使得大量坡耕地、草地、农村居民用地转变为城镇建设用地,景观破碎度加剧。在中起伏(120,200]、高起伏(200,260]区域,距城镇距离和公路越远,社会经济落后,人口密度少,人为干扰减轻,从而呈现自然景观显著的特征。

(3)政策因素。岩溶槽谷区通过各种政策影响也使得景观类型在不同地形起伏上呈现梯度差异性。在槽谷区域的地形起伏 $[0,30]$ 地形平坦、 $(30,70]$ 微起伏区,城镇规划对农村居民用地、城镇用地,坡耕地的再分配具有重要作用。近年来,槽谷区农业政策驱动土地利用转型^[38],槽谷低地形起伏区域农业结构发生转变,主要集中在距水域、距道路较近的平坦部位 $(0,30]$,由水稻种植向烤烟等经济作

物转变。小起伏(70,120]和中起伏(120,200]区域进行经果林种植规划,(200,260](高起伏)进行退耕还林和茶园基地规划。在中起伏(120,200]和高地形起伏(200,260]区裸露岩石分布较广,石漠化现象突出,该区封山育林和退耕还林政策使得景观斑块类型呈现单一化。自2014年贵州省大力实施精准扶贫政策,大量生态移民工程也使得槽谷区不同地形起伏的景观斑块破碎化,整体景观斑块数量增加,空间异质性增强^[39]。

5 讨论与结论

5.1 讨论

(1)通过对岩溶槽谷区地形起伏度特征及其对景观格局的影响分析,发现槽谷区景观格局整体在不同地形起伏度上呈现梯度差异性。根据野外调研发现,西部槽谷南部、整条中部槽谷和东部槽谷北部区域山坡-槽坝的地形起伏度高低不一,与平原地区地形起伏度由低向高的景观格局演变规律有所差异^[40-42]。岩溶山地地形地貌复杂,地形起伏高差大,探讨槽谷区地形起伏对景观格局演变,并考虑在多种影响因素下分析景观格局的形成机理,有助于为地区生态修复及景观生态规划提供科学依据。

(2)运用移动窗口法和均值变点法提取地形起伏度最佳窗口时,其窗口临界大小的提取过程中会有一定误差。对三条槽谷的典型样带设计时,选取区域有可能会影响景观指数的局限性,因此,在选取典型样带设计需结合各条槽谷的地形地貌特征和研究目标。

(3)槽谷区土壤性质、岩性状况、水文和各方面社会经济等也可能导致景观格局的变化。以后的研

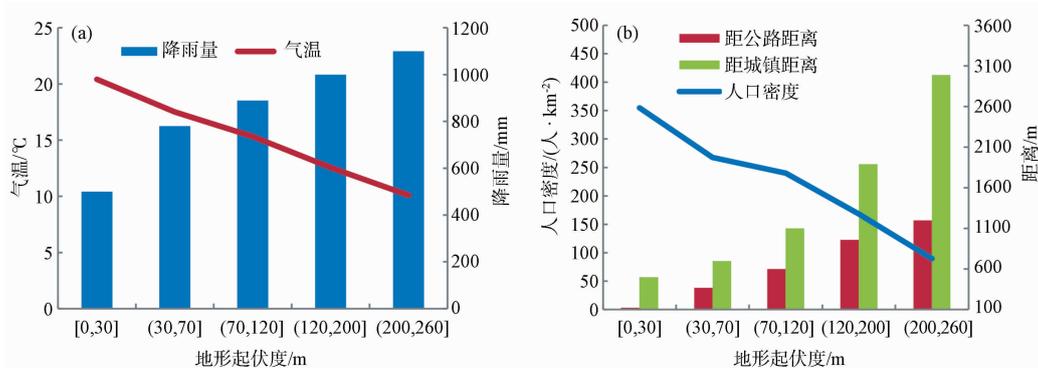


图11 地形起伏度与自然、社会经济因素关系 (a)自然因素;(b)社会经济因素

Fig. 11 Relationship between topographic relief and natural, socioeconomic factors (a) natural factors; (b) socioeconomic factors

究应从系统论出发^[43],全面分析多重因素对景观格局分布影响,并探究各种因素对景观格局的协同作用,进一步明确影响槽谷区景观格局的主控因子,从而更加精确的揭示出景观格局的形成机理。

(4)景观格局变化在时序上是一个发展、动态的过程,本文仅利用2017年景观数据在地形起伏上的变化分析,是一个时间上的静态过程,未来在槽谷区的研究应结合时间序列上的景观数据和社会经济等数据,探讨景观格局在不同时段受地形起伏度影响的共同特征和差异性。

5.2 结论

本文根据岩溶槽谷区实际情况,以高清遥感影像为数据源,研究了槽谷区地形起伏特征及其对景观格局的影响及作用机制,主要结论如下:

(1)缓坡耕地、农村居民用地、城镇用地、道路和水田主要集中于低地形起伏度区域,且随地形起伏度增加,有林地、灌木林地及草地景观类型面积分布增大。随地形起伏度增加,西部槽谷景观比例呈现持续减少、先增加后减少和持续增加三种模式,中部槽谷呈现先增加后减少特征,东部槽谷呈现持续减少和先增加后减少两种模式。

(2)对槽谷区典型样带进行分析发现,景观格局与地形起伏呈显著相关性;低地形起伏区域景观结构较复杂,景观斑块聚集度大、景观破碎度大,蔓延度高且斑块之间连通性强、景观类型多样化且均匀分布,空间异质性强,高地形起伏度区域景观格局呈现单一性;景观格局由低地形起伏向高起伏演变呈现梯度差异性。

(3)岩溶槽谷区景观类型在不同地形起伏度区的分布格局受自然环境、社会经济和政策因素共同影响;其中自然条件是决定因素,社会经济是推动因素,政策是再分配因素。

参考文献 (References)

[1] LIU Jiyuan, ZHANG Zengxiang, XU Xinliang, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2010, **20** (4): 483 - 494.

[2] ANDREW B, INGRID S. Changing landscape identity—practice, plurality, and power [J]. 2019, **44**(3): 271 - 277.

[3] KORUP O, MONTGOMERY D R, HEWITT K. Glacier and landslide feedbacks to topographic relief in the Himalayan syntaxes [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United*

States of America, 2010, **107**(12): 5317 - 5322.

[4] SPADA F, CONTI F. Lagozzo: Patterns of Floristic Diversity and Topographical Heterogeneity in a Forest Ecosystem in Monti Della Meta (S-C Italy) [J]. *Giornale botanico italiano*, 1994, **128**(1): 385 - 385.

[5] ROERING J J, KIRCHNER J W, DIETRICH W E. Characterizing structural and lithologic controls on deep-seated landsliding: implications for topographic relief and landscape evolution in the Oregon coast range, USA. *Geol Soc Am Bull* [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2005, **117**(5): 654 - 668.

[6] 宋戈, 王盼盼. 松嫩高平原县域土地利用空间格局地形梯度特征分析——以巴彦县为例 [J]. *地理科学*, 2017, **37**(8): 1218 - 1225. [SONG Ge, WANG Panpan. Spatial pattern of land use along the terrain gradient of county in Songnen high plain; a case study of Bayan county [J]. *SCIENTIA GEOGRAPHICA SINICA*, 2017, **37** (8): 1218 - 1225]

[7] RIITTERS K H, ONEILL R V, HUNSAKER C T, et al. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics [J]. *Landscape Ecology*, 1995, **10**(1): 23 - 39.

[8] 张静, 任志远. 秦巴山区土地利用时空格局及地形梯度效应 [J]. *农业工程学报*, 2016, **32**(14): 250 - 257. [ZHANG Jing, REN Zhiyuan. Spatiotemporal pattern and terrain gradient effect of land use change in Qinling-Bashan mountains [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, **32**(14): 250 - 257]

[9] HASSAN G F, SHARIF A O, TUZUN U, et al. The effect of many-body interactions on the electrostatic force in an array of spherical particles [J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2010, **346** (1): 232 - 235.

[10] 张静静, 朱文博, 赵芳, 等. 山地平原过渡带地形起伏特征及其对景观格局的影响——以太行山淇河流域为例 [J]. *中国科学:地球科学*, 2018, **48**(4): 102 - 112. [ZHANG Jingjing, ZHU Wenbo, ZHAO Fang, et al. The characteristics of topographic relief in the transition zone of mountain plain and its influence on landscape pattern—taking the Taihangshan Qihe River Basin as an example [J]. *SCIENTIA SINICA Terrae*, 2018, **48** (4): 102 - 112]

[11] 许尔琪, 张红旗. 喀斯特山地土地利用变化的垂直分布特征 [J]. *中国生态农业学报*, 2016, **24**(12): 1693 - 1702. [XU Erqi, ZHANG Hongqi. Vertical distribution of land use in karst mountainous region [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, **24**(12): 1693 - 1702]

[12] 赵卫权, 苏维词, 袁俊. 基于地形起伏度的贵州省景观空间格局分异特征 [J]. *水土保持研究*, 2010, **17**(2): 105 - 110. [ZHAO Wei-quan, SU Weici, YUAN Jun. Heterogeneity of landscape pattern based on the relief in Guizhou Province [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, **17**(2): 105 - 110]

[13] 宋同清, 彭晚霞, 杜虎, 等. 中国西南喀斯特石漠化时空演变

- 特征、发生机制与调控对策[J]. 生态学报, 2014, **34**(18): 5328-5341. [SONG Tongqing, PENG Wanxia, DU Hu, et al. Occurrence, spatial-temporal dynamics and regulation strategies of karst rocky desertification in southwest China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(18): 5328-5341]
- [14] PUTZ F E, Ruslandi, ELLIS P W, et al. Topographic restrictions on land-use practices: consequences of different pixel sizes and data sources for natural forest management policies in the tropics [J]. *Forest Ecology and Management*, 2018, **422**: 108-113.
- [15] BOOTH A M, ROERING J J, REMPEL A W. Topographic signatures and a general transport law for deep-seated landslides in a landscape evolution model [J]. *Journal of Geophysical Research; Earth Surface*, 2013, **118**(2): 603-624.
- [16] ZHANG H P, ZHANG P Z, KIRBY E, et al. Along-strike topographic variation of the Longmen Shan and its significance for landscape evolution along the eastern Tibetan Plateau [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, **40**(4): 855-864.
- [17] 王正雄, 蒋勇军, 张远瞩, 等. 基于 GIS 与地理探测器的岩溶槽谷石漠化空间分布及驱动因素分析[J]. 地理学报, 2019, **74**(5): 1025-1039. [WANG Zhengxiong, JIANG Yongjun, ZHANG Yuanzhu, et al. Spatial distribution and driving factors of karst rocky desertification based on GIS and geodetectors [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, **74**(5): 1025-1039]
- [18] 李阳兵, 黄娟, 徐倩, 等. 对石漠化概念及其治理的再思考[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2017, **35**(5): 1-6, 55. [LI Yangbing, HUANG Juan, XU Qian, et al. Rethinking the concept and restoration of Karst rocky desertification [J]. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences)*, 2017, **35**(5): 1-6, 55]
- [19] 蒋勇军, 刘秀明, 何师意, 等. 喀斯特槽谷区土地石漠化与综合治理技术研发[J]. 生态学报, 2016, **36**(22): 7092-7097. [JIANG Yongjun, LIU Xiuming, HE Shiyi, et al. Research and development of comprehensive rehabilitation measures for land rocky desertification in karst trough valley area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, **36**(22): 7092-7097]
- [20] JIANG Yongjun, CAO Min, YUAN Daoxian, et al. Hydrogeological characterization and environmental effects of the deteriorating urban karst groundwater in a karst trough valley: Nanshan, SW China [J]. *Hydrogeology Journal*, 2018, **26**(5): 1487-1497.
- [21] 赵宇鸾, 李秀彬, 张颖. 黔桂喀斯特山地与山区类型划分技术与应用[J]. 地球信息科学学报, 2017, **19**(7): 934-940. [ZHAO Yuluan, LI Xiubing, ZHANG Ying. Technology and application of mountainous area divisions in Qian-Gui Karst areas [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2017, **19**(7): 934-940]
- [22] 张颖, 赵宇鸾. 基于 DEM 的横断山县域山区类型划分[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2016, **34**(6): 8-14. [ZHANG Ying, ZHAO Yuluan. Mountainous area divisions at county level in Hengduan Mountains based on DEM [J]. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences)*, 2016, **34**(6): 8-14]
- [23] 周成虎, 程维明, 钱金凯, 等. 中国陆地 1: 100 万数字地貌分类体系研究[J]. 地球信息科学学报, 2009, **11**(6): 707-724. [ZHOU Chenghu, CHENG Weiming, QIAN Jinkai, et al. Research on the Classification System of Digital Land Geomorphology of 1: 1 000 000 in China [J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2009, **11**(6): 707-724]
- [24] 李阳兵, 姚原温, 谢静, 等. 贵州省山地-坝地系统土地利用与景观格局时空演变[J]. 生态学报, 2014, **34**(12): 3257-3265. [LI Yangbing, YAO Yuanwen, XIE Jing, et al. Spatial-temporal evolution of land use and landscape pattern of the mountain-basin system in Guizhou Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(12): 3257-3265]
- [25] 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 Kai, DING Qinglong, MEN Mingxin, et al. Spatial distribution of land use and its relationship with terrain factors in hilly area [J]. *Geographical Research*, 2015, **34**(5): 909-921]
- [26] 赵志轩, 张彪, 金鑫, 等. 海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2011, **31**(7): 1925-1935. [ZHAO Zhixuan, ZHANG Biao, JIN Xin, et al. Spatial gradients pattern of landscapes and their relations with environmental factors in Haihe River basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, **31**(7): 1925-1935]
- [27] 臧玉珠, 刘彦随, 杨园园. 山区县域土地利用格局变化及其地形梯度效应——以井冈山市为例[J]. 自然资源学报, 2019 **34**(7): 1391-1404. [ZANG Yuzhu, LIU Yansui, YANG Yuanyuan. Land use pattern change and its topographic gradient effect in the mountainous areas: a case study of Jinggangshan city [J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, **34**(7): 1391-1404]
- [28] AMORI G, GIPPOLITI S, LUISELLI L, et al. Do interlinks between geography and ecology explain the latitudinal diversity patterns in Sciuridae? An approach at the genus level [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 2009, **87**(3): 246-253.
- [29] 陈铸, 黄雅冰, 朱志鹏, 等. 基于地形梯度特征的福州市景观格局演变[J]. 应用生态学报, 2018, **29**(12): 247-256. [CHEN Zhu, HUANG Yabing, ZHU Zhipeng, et al. Landscape pattern evolution along terrain gradient in Fuzhou City, Fujian Province, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, **29**(12): 247-256]
- [30] 刘亚香, 李阳兵, 易兴松, 等. 贵州典型坝子土地利用强度空间演变及景观格局响应[J]. 应用生态学报, 2017, **28**(11): 3691-3702. [LIU Yaxiang, LI Yangbing, YI Xingsong, et al. Spatial evolution of land use intensity and landscape pattern response of the typical basins in Guizhou Province, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, **28**(11): 3691-3702]

- [31] BRYNGELSON J D, ONUCHIC N O, SOCCI N D, et al. Funnels, pathways and the energy landscape of protein folding: a synthesis [J]. *Proteins Structure Function and Bioinformatics*, 1995, **21**(3): 167 - 195.
- [32] 王媛媛, 周忠发, 魏小舟. 石漠化景观格局对土地利用时空演变的响应[J]. *山地学报*, 2013, **31**(3): 307 - 313. [WANG Yuanyuan, ZHOU Zhongfa, WEI Xiaozhao. Rocky desertification landscape pattern on spatio-temporal evolution of land use the response [J]. *Mountain Research*, 2013, **31**(3): 307 - 313]
- [33] 王权, 李阳兵, 刘亚香. 岩溶槽谷区山坡-槽坝土地利用变化的对比研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, **28**(1): 122 - 133. [WANG Quan, LI Yangbing, LIU Yaxiang. Comparative study of land use change in Karst hillside-trough dam area [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, **28**(1): 122 - 133]
- [34] ZHAO Ruifeng, CHEN Y, SHI Peiji, et al. Land use and land cover change and driving mechanism in the arid inland river basin: a case study of Tarim River, Xinjiang, China [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2013, **68**(2): 591 - 604.
- [35] MIGUEL D M, FARFÁN M Á, OLIVERO J, et al. Land-use changes as a critical factor for long-term wild rabbit conservation in the Iberian Peninsula [J]. *Environmental Conservation*, 2010, **37**(2): 169 - 176.
- [36] 童晓伟, 王克林, 岳跃民, 等. 桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应[J]. *生态学报*, 2014, **34**(12): 3425 - 3434. [TONG Xiaowei, WANG Kelin, YUE Yuemin, et al. Trends in vegetation and their responses to climate and topography in northwest Guangxi [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(12): 3425 - 3434]
- [37] FORKUOR G, COFIE O. Dynamics of land-use and land-cover change in Freetown, Sierra Leone and its effects on urban and peri-urban agriculture - a remote sensing approach [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2011, **32**(4): 1017 - 1037.
- [38] 王权, 李阳兵, 黄娟, 等. 喀斯特槽谷区土地利用转型过程对生态系统服务价值的影响[J]. *水土保持研究*, 2019, **26**(3): 192 - 198. [WANG Quan, LI Yangbing, HUANG Juan, et al. Effect of land use transformation process on ecosystem service value in Karst trough valley [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019, **26**(3): 192 - 198]
- [39] 刘吉平, 董春月, 盛连喜, 等. 1955 - 2010 年小三江平原沼泽湿地景观格局变化及其对人为干扰的响应[J]. *地理科学*, 2016, **36**(6): 879 - 887. [LIU Jiping, DONG Chunyue, SHENG Lianxi, et al. Landscape pattern change of marsh and its response to human disturbance, in the small Sanjiang Plain, 1955 - 2010 [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, **36**(6): 879 - 887]
- [40] 王丹丹, 王志强, 陈铭, 等. 松嫩平原西部沼泽湿地景观格局动态变化研究[J]. *干旱区地理*, 2006, **29**(1): 94 - 100. [WANG Dandan, WANG Zhiqiang, CHEN Ming, et al. Dynamic change of marsh landscape patterns in the west Songnen plain [J]. *Arid Land Geography*, 2006, **29**(1): 94 - 100]
- [41] 王宗明, 宋开山, 刘殿伟, 等. 三江平原桦南县景观格局时序变化与驱动因素研究[J]. *生态科学*, 2007, **26**(5): 401 - 407. [WANG Zongming, SONG Kaishan, LIU Dianwei, et al. Changes in landscape patterns and driving forces in Huanan County, Sanjiang Plain, over the past 50 years [J]. *Ecological Science*, 2007, **26**(5): 401 - 407]
- [42] 杨钟贤, 苏春江. 平原与山区土地利用/覆被变化对比——以双流县和米易县为例[J]. *山地学报*, 2009, **27**(5): 585 - 592. [YANG Zhongxian, SU Chunjiang. A comparative study between plain and mountain on LUCC: case study of Shuang liu county and Miyi county, Sichuan [J]. *Mountain Research*, 2009, **27**(5): 585 - 592]
- [43] 张玲玲, 赵永华, 殷莎, 等. 基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析[J]. *生态学报*, 2014, **34**(12): 3276 - 3284. [ZHANG Lingling, ZHAO Yonghua, YIN Sha, et al. Gradient analysis of dry valley of Minjiang River landscape pattern, based on moving window method [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, **34**(12): 3276 - 3284]

The Characteristics of Topographic Relief and Its Influence on Landscape Pattern in Karst Trough Valley Area

WANG Quan, LI Yangbing*

(School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China)

Abstract: It is of great significance to explore the influence of topographic relief of karst trough valley on landscape pattern under the backgrounds driven by various factors, which can help the regional landscape planning and

ecological restoration. This study, based on the Google Earth image of 2017 with 0.53 m resolution and DEM (Digital Elevation Model) as the data source combined with field survey to verify the images, used the move window method and the mean variable point method to extract the topographic relief and the typical representative sample tape design to study the impact of topographic relief on the landscape pattern in landscape level scales. The quantitative relationship between landscape pattern and influence factors was analyzed by logistic regression model, and its reality and theoretical significance were revealed, too. Influenced by the topographical features of trough valley, the landscape type showed different change modes as the terrain relief increases, i. e. , the landscape type of the western trough valley showed three change modes, a first increased and then decreased mode in the middle trough valley, two change modes in the eastern trough valley. The landscape structure of the low terrain relief area was complex, while the landscape of the high terrain relief area was unitary. The landscape pattern showed a gradient difference from low terrain relief to high relief, which was gradual transition from the artificial landscape to the natural landscape. The distribution of the landscape pattern in different topographic relief in karst trough valley area was affected by various factors, of which the natural conditions were the determinants of landscape pattern, the social economy conditions were the driving factor, and the policy was the redistribution factor.

Key words: karst trough valley; topographic relief; mean point method; sample tape; landscape pattern; GIS