

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.05.011.

王彤, 易桂花, 张廷斌, 等. 西南三江流域生境质量时空格局及其地形梯度效应[J]. 水土保持研究, 2023, 30(5): 306-314.

WANG Tong, YI Guihua, ZHANG Tingbin, et al. Spatial and Temporal Pattern of Habitat Quality and Its Topographic Gradient Effect in the Three-River Basin of Southwest China[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(5): 306-314.

西南三江流域生境质量时空格局及其地形梯度效应

王彤¹, 易桂花², 张廷斌^{1,3}, 李景吉^{3,4}, 别小娟², 林梦男¹

(1.成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059; 2.成都理工大学
旅游与城乡规划学院, 成都 610059; 3.国家环境保护水土污染协同控制与联合修复重点实验
室(成都理工大学), 成都 610059; 4.成都理工大学 生态环境学院, 成都 610059)

摘要: [目的] 分析土地利用变化, 研究土地利用变化影响下西南三江流域生境质量的动态变化, 进而为保护区域生物多样性、合理利用土地资源和实现生态环境可持续性发展提供借鉴。 [方法] 利用 InVEST 模型对 2000—2020 年西南三江流域生境质量的时空格局开展动态评价, 利用地形位指数分析生境质量的地形分布特征。 [结果] 西南三江流域生境质量指数较高, 维持在 0.87 左右, 高生境质量主要分布在研究区中部和北部的昌都市、甘孜州、迪庆州、怒江州、凉山州及玉树州北部地区, 低生境质量主要分布在南部的昆明市和临沧市地区。近 20 年间, 西南三江流域平均生境质量随着地形位的升高而升高, 地形梯度上的生境质量变化趋势为“两升三降”, I、II 级生境质量上升, III、IV 和 V 级生境质量下降。 [结论] 西南三江流域生境质量与地形显著相关, 未来应关注地形对流域生境质量的影响。

关键词: 生境质量; InVEST 模型; 地形位指数; 西南三江流域

中图分类号: K928; X826

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)05-0306-09

Spatial and Temporal Pattern of Habitat Quality and Its Topographic Gradient Effect in the Three-River Basin of Southwest China

WANG Tong¹, YI Guihua², ZHANG Tingbin^{1,3}, LI Jingji^{3,4}, BIE Xiaojuan², LIN Mengnan¹

(1. College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. College of Tourism and Urban-Rural Planning, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 3. State Environmental Protection Key Laboratory of Synergetic Control and Joint Remediation for Soil & Water Pollution, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 4. College of Ecological Environment, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to analyze land use change and study the dynamic changes of habitat quality in the three southwest river basins under the influence of land use change, and then provide reference for the conservation of regional biodiversity, rational use of land resources and sustainable development of ecological environment. [Methods] The InVEST model was used to evaluate the spatial and temporal patterns of habitat quality in the Southwest Three Rivers Basin from 2000 to 2020, and the topographic distribution characteristics of habitat quality were analyzed using the topographic position index. [Results] The high habitat quality mainly distributed in the central and northern parts of the study area in Changdu City, Ganzi Prefecture, Diqing Prefecture, Nujiang Prefecture, Liangshan Prefecture and northern Yushu Prefecture, while the low habitat quality mainly distributed in the southern parts of Kunming City and Lincang City. In the past 20 years, the average habitat quality of the three southwestern rivers had increased with the rise in topographic position, and the trend of habitat quality on the topographic gradient was ‘two up and three down’, with the habitat quality of class I and II increasing and that of class III, IV and V

收稿日期: 2022-06-23

修回日期: 2022-07-18

资助项目: 国家自然科学基金(41801099); 四川省科技计划项目软科学项目(2021JDR0170); 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0307)

第一作者: 王彤(1998—), 女, 山西长治人, 硕士研究生, 研究方向为生态遥感。E-mail: wangtong@stu.cdut.edu.cn

通信作者: 易桂花(1982—), 女, 四川南充人, 教授, 博士, 从事环境遥感研究。E-mail: yigh@cdut.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

decreasing. [Conclusion] Habitat quality in the three southwestern river basins is significantly correlated with topography, and the attention should be paid to the influence of topography on habitat quality in the basins in the future.

Keywords: habitat quality; InVEST model; topographic position index; the three-river basin in southwest China

生境质量是生态系统功能完整性的重要评价要素,是环境为物种提供生存和繁殖适宜条件能力的重要体现^[1-2]。稳定的生境质量是维持生物多样性的基础,在一定程度上表现了区域生物多样性的状况^[3-4]。已有研究表明随着经济社会的快速发展和人类对自然界改造规模、力度的增强,区域生态系统功能和结构发生了巨大变化,导致生境质量不断下降、生物多样性持续降低^[5-6]。近些年陆地群落的生物多样性已平均下降20%以上^[7-8],全球植被生物量减少了50%^[9-10]。作为全球变化的重要组成部分,土地利用变化是威胁区域生境质量和生物多样性的指标^[4,11]。土地利用变化直接或间接改变资源和生物生境的时空分布^[12],从而改变这些生境的生产和服务能力,导致生物多样性下降^[13-14]。作为地理环境重要指标之一的地形对地球表面的物质迁移和能量变化有重要影响。研究表明,地形差异会影响土地利用状况和生境质量空间分布,进而影响生物多样性^[15-16]。因此,基于土地利用变化和地形分布特征的生境质量研究对促进区域生态保护和可持续发展具有重要的意义。

尽管实地生境调查法^[17]和物种分布建模法^[18]可以根据物种及其种群的变化揭示生境质量的变化,但它们需要消耗大量人力物力来获取相关数据。另外,生物多样性调查往往缺乏长时间、区域性和连续的物种监测数据,很难使用生物多样性和栖息地调查方法评估生物多样性的时空动态变化^[19]。随着遥感技术的发展,长时间序列遥感数据为解决这些问题提供了新思路^[20]。例如,各种卫星传感器数据可以分析影响地表的重要生态系统^[21]。这些数据产品包括了土地利用和土地覆被、植被生产力、植被结构、物候、积雪等构成生物多样性分布的环境基础要素^[22-24]。在此基础上,指数评价法和模型评价法得到发展。指数评价法利用植被指数和物种丰富度指数等评价生境质量,在生境质量动态变化评价方面存在一定的不足^[4,25]。而模型评价法获取数据比较容易,可以分析和模拟生境质量的时空变化,评价结果更适用于区域规划和生态保护的需要^[6,26]。

国内外学者多采用操作较简单、参数较少和应用成本低的InVEST模型进行生境质量评估^[27-28]。该模型由斯坦福大学和世界自然基金会以及大自然保护协会

共同开发,用于评价生态系统的服务功能和经济价值^[29]。其中的生境质量模块可以结合土地利用变化和生物多样性胁迫数据以及专家知识获得生境质量图。它可以代替实地调查等费时费力的方法,不需要物种分布数据,在区域性生境质量评价中具有显著优势^[30-31]。

西南三江流域是我国和国际上重要的生态环境保护区,生物多样性丰富^[32-33]。其地处我国二三级阶梯交界处,地形特征差异明显。近几十年来,随着人类活动的增加,三江流域水资源和土壤资源的不合理开发造成了若干生态和环境问题,生物多样性逐渐降低^[34-35]。评估和监测人类活动影响下生境质量的状况和动态变化,对实现三江流域经济社会发展与生态文明建设的和谐统一具有重要意义。然而,关于三江流域的现有文献大多集中在水电开发、气候变化、水文过程和种群特征等方面^[32-33,36],从生态系统服务角度分析生境质量的研究相对较少,导致制定未来可持续发展战略和管理政策时缺乏必要的参考依据。因此,本研究基于土地利用和地形指数分析三江流域生境质量,研究结果为土地资源合理利用、生物多样性保护和生态系统维护提供重要依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

西南三江指发源于青海省唐古拉山的怒江、澜沧江和金沙江,三江流域面积约39.9万km²,主要包括西藏自治区、青海省、云南省和四川省(图1)。研究区南北跨纬度16°,多年平均降水量650~1800mm。研究区南北海拔差异大,北部平均海拔在4500m以上,南部海拔250~2600m。研究区气候类型分带明显,北部属于高寒气候带,中部大部分区域属高原高寒带到亚热带过渡性气候,南部属亚热带,是世界物种高富集区和世界级基因库^[37]。研究区植被类型包括阔叶林、针阔叶混交林、针叶林、高山植被、灌丛、草原、草甸、草丛和栽培植被。

1.2 数据来源及处理

本研究采用的2000年、2005年、2010年、2015年、2020年土地利用与土地覆被(LULC, land-use/land-cover)数据(<https://data.casearth.cn/>)来自刘良云团队^[38]生产的1985—2020年全球30m地表覆盖精细分类产品。该产品包括29个地表覆盖类型,选取体现人类活

动的水田、旱地、不透水面和未利用地4种土地利用类型作为胁迫因子数据。DEM(Digital Elevation Model)数

据来自地理空间数据云的SRTM 90 m分辨率数字高程数据产品(<https://www.gscloud.cn/>)。

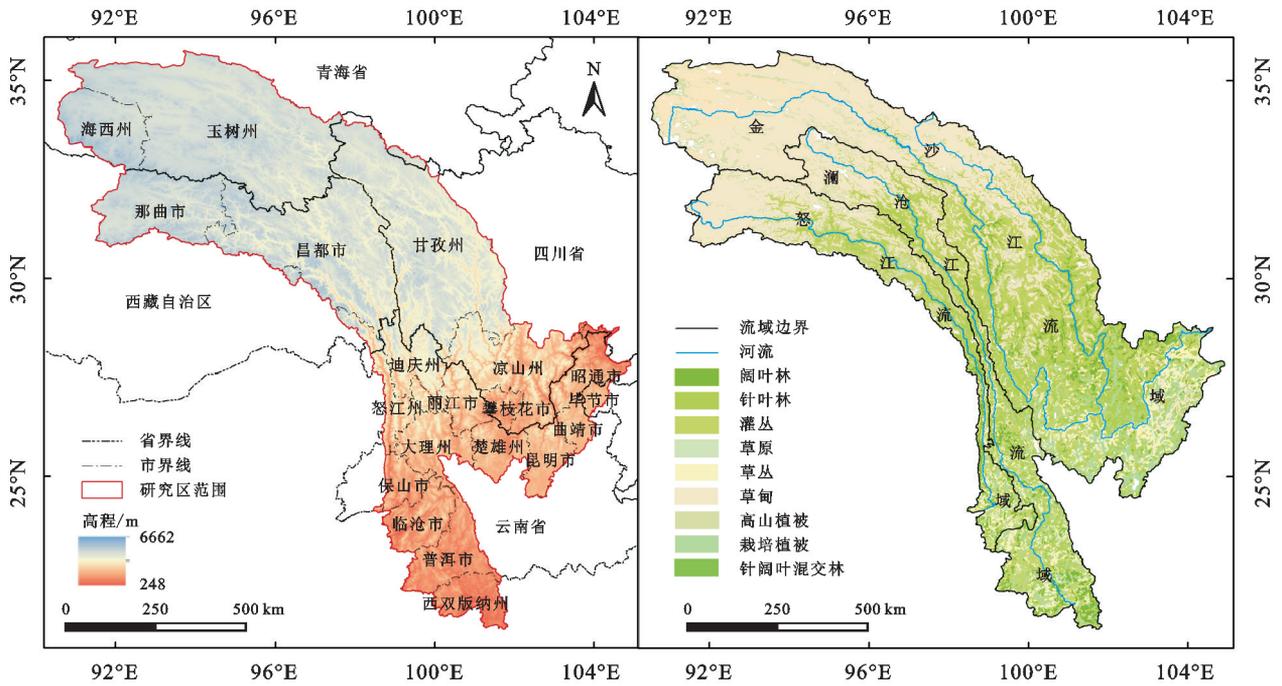


图1 研究区地理位置分布图和植被覆盖类型

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用转移矩阵计算 Flow 转移矩阵是在土地利用转移矩阵的基础上,综合考虑了土地利用变化的时间持续性以及转换规模。Flow 转移矩阵中流量代表土地利用类型的变化,存量为不变化的土地利用类型。矩阵通过土地利用类型变化面积与总变化面积的比值来描述研究区一段时间的土地利用变化量。具体计算方法参考 Runfola 等的研究^[39]。

1.3.2 生境质量评估 生境质量模块可以评估每个 LULC 尺度下的生境质量。生境质量优劣程度是由生境质量值来表示的,生境质量值的范围在 0~1,值越接近 1 代表生境质量越好,生物多样性维持越好。为便于对比分析,参考有关学者^[40]的研究并结合研究区特点,将生境质量指数栅格重分类为 [0, 0.3)、[0.3, 0.5)、[0.5, 0.8)、[0.8, 0.9)、[0.9, 1] 5 个取值范围,分别对应为极差、较差、中等、良好、优等 5 个生境质量等级。生境质量值计算公式如下:

$$Q_{xj} = H_j \left[1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + k^2} \right) \right] \quad (1)$$

式中: Q_{xj} 为第 j 类土地利用类型中栅格 x 的生境质量; H_j 为第 j 类土地利用类型的生境适宜度; z 为归一化常量,一般取值为 2.5^[41]; k 为半饱和和常数,取值为 0.5。 D_{xj} 为第 j 类土地利用类型中 x 栅格的生境退化度,表示生境受胁迫水平,计算公式如下:

$$D_{xj} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(\frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (2)$$

式中: r 为胁迫因子; y 为胁迫栅格数; Y_r 为 r 胁迫因子中的一组胁迫栅格数; W_r 为 r 因子权重; r_y 为 y 栅格胁迫程度; i_{rxy} 为 y 栅格的胁迫因子 r_y 对 x 栅格的胁迫度; β_x 为 x 栅格可达性水平; S_{jr} 为土地利用类型 j 对胁迫因子 r 的敏感度。 i_{rxy} 计算公式如下:

$$\text{线性: } i_{rxy} = 1 - \left(\frac{d_{xy}}{d_{rmax}} \right) \quad (3)$$

$$\text{指数: } i_{rxy} = \exp \left[- \left(\frac{2.99}{d_{rmax}} \right) d_{xy} \right] \quad (4)$$

式中: d_{xy} 为栅格 x 到 y 的直线距离; d_{rmax} 为 r 胁迫因子的最大影响距离。

该模型需要输入的主要参数有土地利用类型图、生境胁迫因子数据和胁迫因子表(最大影响距离、权重以及空间衰退类型)。其中,生境类型对胁迫因子的敏感度是在参考模型使用手册的基础上利用肯德尔秩相关进行赋值^[42],各胁迫因子的权重、最大影响距离和空间衰退类型参考模型使用手册和相关文献^[6,16,43-44]并根据研究区实际情况进行赋值(表 1—2)。

表 1 研究区胁迫因子最大影响距离、权重和空间衰退类型

胁迫因子	最大影响距离/km	权重	空间衰退类型
水田	4	0.7	线性
旱地	4	0.8	线性
建筑用地	10	1	指数
未利用地	3	0.5	线性

表 2 研究区生境类型对胁迫因子的敏感度

生境类型	生境敏感度	水田	旱地	建筑用地	未利用地
水田	0.3	0	0.1	0.5	0.2
草本	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5
乔木	0.5	0.5	0.5	0.7	0.5
旱地	0.3	0.2	0	0.5	0.2
林地	1	0.8	0.8	0.5	0.6
灌木林	0.9	0.7	0.7	0.8	0.2
草地	0.8	0.5	0.5	0.6	0.3
稀疏植被	0.4	0.6	0.6	0.7	0.4
湿地	1	0.2	0.2	0.5	0.5
建筑用地	0	0	0	0	0
裸地	0.1	0	0	0	0
水体	0.9	0.7	0.7	0.9	0.8
永久性冰川雪地	0.9	0.2	0.2	0.5	0.5

1.3.3 地形位指数计算 地形位指数是综合分析高程值与坡度值的指标^[19,45]。计算方法如下:

$$T = \lg \left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \times \left(\frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (5)$$

式中: E 为研究区高程; \bar{E} 为研究区高程平均值; S 为研究区坡度; \bar{S} 为研究区坡度平均值。该指数越大,表明高程和坡度都很大,反之高程和坡度均较小;地形位指数中等表明高程和坡度两者一个较大,另一个较小。本研究采用自然断点法将其分为 I 级 (<0.3)、II 级 ($0.3 \sim 0.5$)、III 级 ($0.5 \sim 0.7$)、IV 级 ($0.7 \sim 0.9$)、V 级 (>0.9)。

生境质量地形分布指数可以体现地形条件对生境质量空间分布的影响,其数值表示不同地形位等级上各级生境质量出现的频率^[46]。公式如下:

$$p = \left(\frac{S_{ab}}{S_a} \right) \times \left(\frac{S}{S_b} \right) \quad (6)$$

式中: S_{ab} 为 b 级地形区间上 a 种生境等级的面积; S_a

为研究区内 a 种生境等级总面积; S 为研究区面积; S_b 为研究区 b 级地形区间总面积。指数分布曲线越平坦,表示某种生境质量分布偏离标准分布越小,生境地形适宜度越高;反之,生境地形适宜度越低。 $p > 1$ 的区间为生境质量分布的优势地形位区间。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化

2000—2020 年各土地利用类型转化总面积为 72 868 km², 转化率约 9.5%。作为研究区主要土地利用类型的林地类面积增加 7 666 km²; 水体、未利用地和建设用地面积均有增加, 增加量分别为 4 120 km², 3 198 km², 1 515 km²; 占研究区总面积 30% 左右的草地类型面积变化较大, 减少 12 874 km²; 耕地类面积减少 1 801 km²。变化较大的土地利用转移方式为草地转变为林地 (2.97%)、林地转变为草地 (2.13%) 以及草地转变为未利用地 (1.02%)。不同土地利用类型的转入、转出比例显示, 林地转入规模最大, 转化占比 3.62%; 其次为草地, 占比 3.16%。草地、林地、耕地的转出量较大, 分别占比 4.48%, 2.62% 与 1.18%。

转入与转出的差值表示土地利用类型的净转化情况, 结果表明, 草地和耕地呈净转出状态, 净转出比例分别为 1.68% 和 0.23%; 林地、水体、建设用地和未利用地呈净转入状态, 净转入比例分别为 1%, 0.34%, 0.19% 和 0.38% (表 3)。草地净转出比例最大, 转出方向主要为林地和未利用地, 转出比例分别为 2.97% 和 1.02%; 其次为耕地, 主要转出方向为林地和草地, 占转出总量的 90.7%。林地转入来源主要为草地, 转入比例为 2.97%; 未利用地主要转入来源与转出方向均为草地, 其中草地转为未利用地的比例为 1.02%, 未利用地转为草地的比例为 0.51%; 水体主要转入来源是草地; 建筑用地转化比例较小, 总体稳定。

表 3 研究区土地利用类型 Flow 转移矩阵

土地利用类型	2020 年						
	耕地	林地	草地	水体	建筑用地	未利用地	转出
耕地		0.61	0.46	0.01	0.11	0.00	1.18
林地	0.41		2.13	0.04	0.03	0.02	2.62
草地	0.51	2.97		0.25	0.09	1.02	4.84
2000 年 水体	0.01	0.01	0.05		0.00	0.03	0.10
建筑用地	0.02	0.00	0.02	0.00		0.00	0.04
未利用地	0.00	0.03	0.51	0.14	0.00		0.69
转入	0.95	3.62	3.16	0.44	0.23	1.07	9.47

2.2 生境质量时空格局

总体而言, 2000—2020 年研究区生境质量水平较高, 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年的

平均生境质量分别为 0.880, 0.879, 0.875, 0.876, 0.875。不同土地利用类型的生境质量值存在差异, 林地、草地和水体的生境质量高, 耕地、未利用地和建

设用地的生境质量低。由于研究区林地和草地面积大,研究区大部分地区生境质量较高。在空间分布方面,研究区高生境质量优势水平(0.8~1)在90%左右,主要分布在研究区中部和北部,包括昌都市、甘孜州、迪庆州、怒江州、凉山州及玉树州北部地区(图

2)。其次为极差(0~0.3)和较差(0.3~0.5)生境质量,占总面积的7%左右,在研究区南部的昆明市和临沧市等地以及玉树州北部、那曲市南部和海西州部分地区分布范围广。中等生境质量(0.5~0.8)仅占3%左右,集中分布在西双版纳州和普洱市等地区。

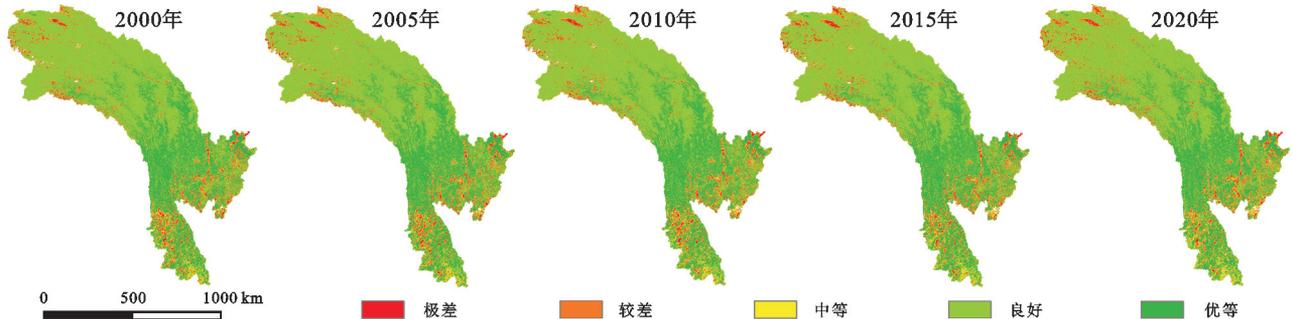


图2 研究区各时期生境质量分布

近20年间,林地生境质量值总体上接近1;水体生境质量值较为稳定,维持在0.9左右;建设用地生境质量值最低,保持在0.1水平。草地的生境质量数值在0.4~0.95,说明同一土地利用类型的生境质量值也存在差异。

2.3 生境质量的地形梯度效应

研究区地形位指数在0.03~1.16范围内,其中分布在研究区中部的Ⅲ级地形位面积最大,占比38.3%;其次是Ⅱ级地形位,主要分布在研究区南部和北部,面积占比为32.5%。不同土地利用类型在各地形位等级分布情况如下,耕地和建设用地主要分布在Ⅰ、Ⅱ级地形位,林地、草地、水体主要分布在Ⅱ、Ⅲ级地形位,未利用地主要分布在Ⅱ、Ⅳ级地形位。耕地和建设用地占比随地形位等级升高而降低。

2000—2020年,不同地形位指数等级中的林地、水体、建设用地和未利用地占比呈上升趋势,耕地和草地比例下降(表4)。值得注意的是,近21年来,土地利用类型变化较大的区域,主要分布在低等级地形位指数分布区。这是因为地势平坦的地方,人类活动的强度大,人为因素对土地利用的干扰明显。

地形位指数与生境质量的相关分析结果显示,2000年、2005年、2010年、2015年、2020年的相关系数分别为0.589,0.567,0.584,0.549,0.611,均在0.01(双侧)上显著相关,研究区生境质量具有明显的地形梯度效应,地形位指数较高的县平均生境质量一般较高。昌都市、迪庆州、甘孜州、怒江州、那曲市、凉山州、丽江市和玉树州处于Ⅲ级地形位,生境质量均在0.85之上;大理州、攀枝花市、海西州、昭通市、临沧市、保山市、曲靖市、楚雄州、昆明市、毕节市、普洱市和西双版纳州处于Ⅱ级地形位,除大理州、曲靖市、普洱市和西双版纳州之外,其余各市生境质量均低于0.85。

2000—2020年研究区平均生境质量随着地形位的升高而升高,V级地形位除外。近20年间,生境质量变化趋势在不同地形等级上呈现“两升三降”格局,Ⅰ级、Ⅱ级生境质量呈上升趋势,Ⅲ级、Ⅳ级、Ⅴ级生境质量呈下降趋势。生境质量地形梯度分布指数表明(图3),低等级(极差、较差)生境质量在Ⅰ级地形梯度上呈主要分布,优质(良好、优等)生境质量在较高地形梯度上分布频率大。分布指数最大的生境质量地形梯度是Ⅰ级地形位的较差等级生境质量,达到5.51。

3 讨论

3.1 生境质量的空间分布差异

研究发现,西南三江流域的生境质量显示出不同的空间分布特征,与土地利用类型分布和地形条件密切相关,高地形梯度地区和林草地覆盖区生境质量好,生境质量差的地区广泛分布在地形位指数低、城市化水平高的区域。研究区中部地区林草资源丰富,生境质量最好。中部的林地和草地主要分布在高海拔和地形起伏大的地区,人类活动强度低^[47]。这些地区虽然生态环境较为脆弱,但已建立起多个自然保护区、生态示范区,如芒康滇金丝猴、亚丁、海子山、贡嘎山、察青松多白唇鹿和察隅慈巴沟国家级自然保护区、羌塘—三江源、喜马拉雅东南部和横断山南部多样性保护优先区域。值得注意的是,北部地区大部分植被覆盖率高、生境质量高,但玉树州北部、海西州等地生境质量较差。玉树州北部、海西州等地生境质量差的原因,一是这些地区多为生态脆弱的裸地、戈壁和盐碱地,一旦被破坏很难恢复到原来的状态;二是当地人口增长快速,畜牧业规模加大。近10年间,当地居民不合理放牧后没有采取及时有效的补救措施,加快了草原植被的退化^[6,48]。南部地区地形平坦,人

类活动集聚,耕地和建设用地覆盖面积大,并且大部分地区环境较为恶劣,脆弱的生态易受外界干扰,在遭到灾害和人类活动破坏后恢复难度大,导致南部地区生境质量处于较低水平^[49-50]。

表 4 研究区各土地利用类型在不同地形位等级分布面积占比

地形位 指数	年份	土地利用类型的面积百分比/%					
		耕地	林地	草地	水体	建设用地	未利用地
I 级	2000	1.05	2.30	1.19	0.15	0.17	0.00
	2005	1.03	2.32	1.15	0.15	0.21	0.00
	2010	1.01	2.33	1.12	0.15	0.24	0.00
	2015	0.99	2.33	1.10	0.15	0.28	0.00
	2020	0.99	2.33	1.10	0.15	0.28	0.00
II 级	2000	1.23	10.05	20.22	0.22	0.05	0.82
	2005	1.22	10.10	20.09	0.24	0.06	0.88
	2010	1.20	10.15	19.98	0.26	0.08	0.91
	2015	1.18	10.15	19.85	0.28	0.09	1.02
	2020	1.18	10.15	19.85	0.28	0.09	1.02
III 级	2000	0.55	12.28	24.80	0.12	0.01	0.54
	2005	0.55	12.32	24.73	0.12	0.01	0.56
	2010	0.54	12.28	24.74	0.12	0.01	0.61
	2015	0.53	12.27	24.67	0.15	0.02	0.66
	2020	0.53	12.27	24.67	0.15	0.02	0.66
IV 级	2000	0.06	7.96	14.28	0.12	0.00	0.63
	2005	0.06	8.06	14.19	0.11	0.00	0.63
	2010	0.05	7.97	14.23	0.12	0.00	0.68
	2015	0.06	7.99	14.16	0.13	0.00	0.73
	2020	0.06	7.99	14.16	0.13	0.00	0.73
V 级	2000	0.00	0.39	0.74	0.02	0.00	0.06
	2005	0.00	0.40	0.73	0.02	0.00	0.06
	2010	0.00	0.40	0.73	0.02	0.00	0.07
	2015	0.00	0.40	0.73	0.02	0.00	0.07
	2020	0.00	0.40	0.73	0.02	0.00	0.07

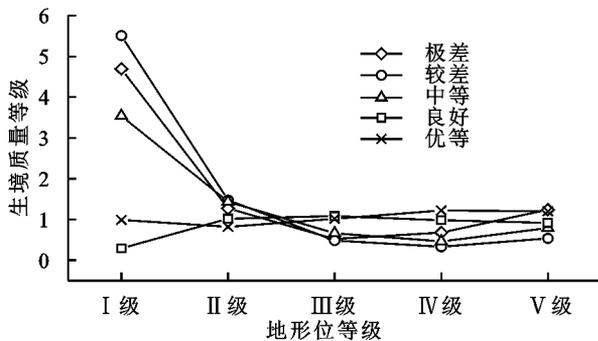


图 3 不同等级生境质量地形梯度分布指数

林草资源对高海拔地区的生境质量贡献很大,三江流域中部地区和北部地区需要重视对重要森林和草场的保护,划定生境保护区,控制载畜量和人类活动以维持林草地的生态功能。而在南部地势平坦的地区,人类活动相对频繁,耕地和建设用地往往侵占高生境质量分布空间。建议大力推行生态农业,逐渐提高耕地的生境质量水平。城镇建设用地生物多样性

性最低,应适当调整其用地结构,合理构建城市生态网络,搭建植被垂直结构以增强物种多样性。

3.2 土地利用变化对生境质量的影响

20 年间西南三江流域生境质量的等级转换总面积达到 98 938 km²。生境质量变化区域和土地利用变化区域空间重叠率为 93%。生境质量与土地利用类型的相关分析结果表明,2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年的生境质量与土地利用类型的相关系数分别为 0.76, 0.75, 0.71, 0.66, 0.46, 均在 0.01 (双侧) 上呈显著正相关关系。2000—2020 年,生境质量等级上升的区域占比 48.1%,集中于保山市、临沧市以及普洱市西部。由于退耕还林工程和自然保护区的建立,这些地区部分耕地和草地转为林地,部分耕地转为草地,生境质量得到改善。生境质量等级下降的区域占比 51.9%,主要分布在南部昆明市、昭通市、攀枝花市、楚雄市和玉树州北部等地区。这些

地区经济社会发展迅速、人类活动增强,建设用地面积不断增加,主要河流、湖泊、林地、草地、湿地等生态用地和农业用地的空间遭到挤压,生态环境问题不断出现^[51-53]。尽管建立了一些自然保护区,但保护区管护水平较低,基础设施和设备严重不足,保护区的建设也普遍存在批而不建、建而不管的现象^[50,54];保护地及外围普遍存在着放牧、非法采集、围垦种植等人为活动^[55-56],导致生境质量进一步遭到破坏。

区域资源赋性主导生境质量的整体情况,而工业建设发展和土地利用变化会在一定程度上影响部分变化趋势,导致生境质量分布情况和变化程度存在差异^[57-58]。随着城市化进程不断加快、经济快速发展和人口持续增长,人地之间的矛盾加大^[59-60]。城市扩张侵占原有生境形成新的威胁源,周围的生境被挤压和分割,导致区域生境质量不断下降^[61-62]。此外土地建设等人类活动切断了空间连通性,使原来良好的生境转变为威胁源,进一步加剧了生境质量下降^[63-64]。

4 结论

(1) 2000—2020年西南三江流域各土地利用类型转化面积为72 868 km²,规模较大的土地利用变化类型为草地转为林地、林地转为草地以及草地转为未利用地。林地净流入比例为1%,草地净流出为1.7%,其他土地利用类型净流动比例变化不大。

(2) 西南三江流域高生境质量主要分布在中部和北部,低生境质量主要分布在南部地区。不同土地利用类型生境质量值存在差异,林地生境质量值最高,建设用地生境质量值最低。

(3) 研究区地形等级指数以Ⅲ级为主,其次为Ⅱ级、Ⅳ级和Ⅰ级,Ⅴ级最低。生境质量与地形显著相关,地形位指数较高的地区生境质量也较高。20年间,生境质量在地形梯度上呈现“两升三降”格局,Ⅰ级、Ⅱ级生境质量呈上升趋势,Ⅲ级、Ⅳ级、Ⅴ级生境质量呈下降趋势。

本研究基于土地利用和地形角度研究了西南三江流域生境质量的时空分布特征,研究结果可为三江流域土地资源的合理利用和生物多样性保护提供支撑。由于InVEST模型只考虑了研究区内部各胁迫因子对生境质量的影响,但研究区边缘地带的生境质量还会受到研究区范围之外其他胁迫因子的影响,这可能会导致边缘地区的评价结果存在一定的误差^[44],未来应进一步收集研究区边缘外的胁迫因子数据。

参考文献:

- [1] Hall L S, Krausman P R, Morrison M L. The habitat concept and a plea for standard terminology[J]. *Wildlife Society Bulletin*, 1997:173-182.
- [2] Li S, Dong B, Gao X, et al. Study on spatio-temporal evolution of habitat quality based on land-use change in Chongming Dongtan, China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2022,81(7):1-12.
- [3] Sun X, Jiang Z, Liu F, et al. Monitoring spatio-temporal dynamics of habitat quality in Nansihu Lake basin, eastern China, from 1980 to 2015[J]. *Ecological Indicators*, 2019,102:716-723.
- [4] He B, Chang J, Guo A, et al. Assessment of river basin habitat quality and its relationship with disturbance factors: A case study of the Tarim River Basin in Northwest China[J]. *Journal of Arid Land*, 2022,14(2):167-185.
- [5] Garcia V D, Newbold T. Assessing the effects of land use on biodiversity in the world's drylands and Mediterranean environments[J]. *Biodiversity and Conservation*, 2020,29(2):393-408.
- [6] Liu Y, Liu S, Wang F, et al. Responses of habitat quality and animal biodiversity to grazing activities on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2021,9:68115
- [7] Davison C W, Rahbek C, Morueta Holme N. Land-use change and biodiversity: Challenges for assembling evidence on the greatest threat to nature[J]. *Global Change Biology*, 2021,27(21):5414-5429.
- [8] Hill S L L, Gonzalez R, Sanchez O K, et al. Worldwide impacts of past and projected future land-use change on local species richness and the Biodiversity Intactness Index [J]. *Biorxiv*, 2018: 311787, DOI: 10.1101/311787.
- [9] Erb K, Kastner T, Plutzer C, et al. Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass[J]. *Nature*, 2018,553(7686):73-76.
- [10] Diaz S, Settele J, Brondizio E S, et al. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change[J]. *Science*, 2019,366(6471): eaax3100.
- [11] Daskalova G N, Myers S I H, Bjorkman A D, et al. Landscape-scale forest loss as a catalyst of population and biodiversity change[J]. *Science*, 2020,368(6497): 1341-1347.
- [12] 欧阳志云,郑华.生态系统服务的生态学机制研究进展[J].*生态学报*,2009,29(11):6183-6188.
- [13] Bruckerhoff L A, Connell R K, Guinnip J P, et al. Harmony on the prairie? Grassland plant and animal community responses to variation in climate across land-use gradients[J]. *Ecology*, 2020,101(5):e02986.

- [14] Tang F, Fu M, Wang L, et al. Dynamic evolution and scenario simulation of habitat quality under the impact of land-use change in the Huaihe River Economic Belt, China[J]. *Plos One*, 2021,16(4):e0249566.
- [15] 周晓艳,何依依,黄欣,等.三峡库区生境质量的地形梯度效应及对土地利用变化的响应[J].*农业工程学报*, 2021,37(11):259-267.
- [16] 刘婷,邓伟,周渝,等.重庆市“一区两群”生境质量及其地形梯度分异[J].*环境科学与技术*,2020,43(11):227-236.
- [17] Paraskevopoulou Z, Shamon H, Songer M, et al. Field surveys can improve predictions of habitat suitability for reintroductions: a swift fox case study[J]. *Oryx*, 2022,56(3):465-474.
- [18] Venne S, Currie D J. Can habitat suitability estimated from maxEnt predict colonizations and extinctions[J]. *Diversity and Distributions*, 2021,27(5):873-886.
- [19] Li M, Zhou Y, Xiao P, et al. Evolution of habitat quality and its topographic gradient effect in northwest Hubei Province from 2000 to 2020 based on the InVEST model[J]. *Land*, 2021,10(8):857. DOI:10.3390/land10080857.
- [20] Randin C F, Ashcroft M B, Bolliger J, et al. Monitoring biodiversity in the Anthropocene using remote sensing in species distribution models [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020,239:111626.
- [21] Mahecha M D, Gans F, Sippel S, et al. Detecting impacts of extreme events with ecological insitu monitoring networks [J]. *Biogeosciences*, 2017,14(18):4255-4277.
- [22] Ibrahim S, Balzter H, Tansey K, et al. Estimating fractional cover of plant functional types in African savannah from harmonic analysis of MODIS time-series data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2018,39(9):2718-2745.
- [23] Xi H, Feng Q, Cheng W, et al. Spatiotemporal variations of Alxa national public welfare forest net primary productivity in northwest China and the response to climate change[J]. *Ecohydrology*, 2022,15(8):e2377.
- [24] Wei P, Zhang T, Zhou X, et al. Reconstruction of snow depth data at moderate spatial resolution(1 km) from remotely sensed snow data and multiple optimized environmental factors: A case study over the qinghai-tibetan plateau[J]. *Remote Sensing*, 2021,13(4):657.
- [25] Yang L, Shi L, Wei J, et al. Spatiotemporal evolution of ecological environment quality in arid areas based on the remote sensing ecological distance index: A case study of Yuyang district in Yulin city, China[J]. *Open Geosciences*, 2021,13(1):1701-1710.
- [26] Lin Y P, Lin W C, Li H Y, et al. Integrating social values and ecosystem services in systematic conservation planning: A case study in Datuan Watershed[J]. *Sustainability*, 2017,9(5):718.
- [27] 江伟康,吴隽宇.基于地区 GDP 和人口空间分布的粤港澳大湾区生境质量时空演变研究[J].*生态学报*, 2021,41(5):1747-1757.
- [28] Choudhary A, Deval K, Joshi P K. Study of habitat quality assessment using geospatial techniques in Keoladeo National Park, India[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021,28(11):14105-14114.
- [29] Moreira M, Fonseca C, Vergilio M, et al. Spatial assessment of habitat conservation status in a Macaronesian island based on the InVEST model:a case study of Pico Island(Azores, Portugal)[J]. *Land Use Policy*, 2018, 78:637-649.
- [30] Gomes E, Inacio M, Bogdzevic K, et al. Future scenarios impact on land use change and habitat quality in Lithuania [J]. *Environmental Research*, 2021,197:111101.
- [31] Wang B, Cheng W. Effects of land use/cover on regional habitat quality under different geomorphic types based on InVEST model[J]. *Remote Sensing*, 2022,14(5):1279.
- [32] Zhang B, Ding W, Xu B, et al. Spatial characteristics of total phosphorus loads from different sources in the Lancang River Basin[J]. *Science of the Total Environment*, 2020,722:137863.
- [33] Lin F, Wang Z, Luo Z, et al. Length - weight relationships of four fish species from the lower reaches of the Nujiang River and its tributaries in China[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2021,37(4):635-637.
- [34] Guo X, Tang Y, Xu Y, et al. Using stable nitrogen and oxygen isotopes to identify nitrate sources in the Lancang River, upper Mekong[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020,274:111197.
- [35] Liu S, Wang C, Wang P, et al. Anthropogenic disturbances on distribution and sources of pharmaceuticals and personal care products throughout the Jinsha River Basin, China [J]. *Environmental Research*, 2021,198:110449.
- [36] Bibi S, Song Q, Zhang Y, et al. Effects of climate change on terrestrial water storage and basin discharge in the lancang River Basin[J]. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2021,37:100896.
- [37] 张顾萍,陈国民,邵怀勇,等.近 16 年金沙江流域植被覆盖时空特征及其对气候的响应[J].*长江流域资源与环境*,2021,30(7):1638-1648.
- [38] Zhang X, Liu L, Chen X, et al. GLC_FCS30:global

- land-cover product with fine classification system at 30 m using time-series Landsat imagery[J]. *Earth System Science Data*, 2021,13(6):2753-2776.
- [39] Runfola D S M, Pontius R G. Measuring the temporal instability of land change using the Flow matrix[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2013,27(9):1696-1716.
- [40] Xiao P, Zhou Y, Li M, et al. Spatiotemporal patterns of habitat quality and its topographic gradient effects of Hubei Province based on the InVEST model[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2022;1-30.
- [41] Akbari A, Pittman J, Feick R. Mapping the relative habitat quality values for the burrowing owls (*Athene cunicularia*) of the Canadian prairies using an innovative parameterization approach in the InVEST HQ module [J]. *Environmental Management*, 2021,68:310-328.
- [42] Wu L, Sun C, Fan F. Estimating the characteristic spatiotemporal variation in habitat quality using the invest model: A case study from Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area[J]. *Remote Sensing*, 2021,13(5):1008.
- [43] 周婷,陈万旭,李江风,等.神农架林区人类活动与生境质量的空间关系[J].*生态学报*,2021,41(15):6134-6145.
- [44] Song Y, Wang M, Sun X, et al. Quantitative assessment of the habitat quality dynamics in Yellow River Basin, China [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021,193(9):1-17.
- [45] 周启刚,王陶,刘栩位,等.三峡库区消落带生境质量时空演变特征及其地形梯度效应研究[J].*地域研究与开发*,2022,41(2):155-160.
- [46] 贾磊,姚顺波,邓元杰,等.2000—2020年陕西秦巴山区生境质量时空演变及其地形梯度效应[J].*长江流域资源与环境*,2022,31(2):398-413.
- [47] 冯雨雪,李广东.青藏高原城镇化与生态环境交互影响关系分析[J].*地理学报*,2020,75(7):1386-1405.
- [48] 陈伟,耿涌,黄斌斌,等.西部欠发达地区生态经济系统能值分析:以青海省海西蒙古族藏族自治州为例[J].*生态学报*,2019,39(21):7904-7913.
- [49] Ou Z, Zhu Q, Sun Y. Regional ecological security and diagnosis of obstacle factors in underdeveloped regions: a case study in Yunnan Province, China[J]. *Journal of Mountain Science*, 2017,14(5):870-884.
- [50] Qian L, Chen J, Deng T, et al. Plant diversity in Yunnan: Current status and future directions[J]. *Plant Diversity*, 2020,42(4):281-291.
- [51] 杜金霜,付晶莹,郝蒙蒙.基于生态网络效用的昭通市“三生空间”碳代谢分析[J].*自然资源学报*,2021,36(5):1208-1223.
- [52] 杨婧媛,王小兰.资源型城市经济发展质量与生态环境压力脱钩关系研究:以攀枝花市为例[J].*西安理工大学学报*,2022,38(3):366-374.
- [53] 聂选华.云南边疆民族地区生态文明建设可持续发展研究[J].*昆明理工大学学报(社会科学版)*,2017,17(2):33-39.
- [54] 李俊梅,付健梅,张晨子,等.云南重点生态功能区城市生态环境良性化评价指标体系构建与实证研究[J].*生态经济*,2019,35(11):84-90.
- [55] Ye P, Zhang G, Wu J. Hotspots and conservation gaps: A case study of key higher plant species from Northwest Yunnan, China [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020,23:e01005.
- [56] Zhang S, Gheyret G, Chi X, et al. Representativeness of threatened terrestrial vertebrates in nature reserves in China[J]. *Biological Conservation*, 2020,246:108599.
- [57] 刘园,周勇,杜越天.基于 InVEST 模型的长江中游经济带生境质量的时空分异特征及其地形梯度效应[J].*长江流域资源与环境*,2019,28(10):2429-2440.
- [58] Li Z, Cheng X, Han H. Analyzing land-use change scenarios for ecosystem services and their trade-offs in the ecological conservation area in Beijing, China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020,17(22):8632.
- [59] Cai Z, Li W, Cao S. Driving factors for coordinating urbanization with conservation of the ecological environment in China[J]. *Ambio*, 2021,50(6):1269-1280.
- [60] Chen S, Huang Q, Muttarak R, et al. Updating global urbanization projections under the Shared Socioeconomic Pathways[J]. *Scientific Data*, 2022,9(1):1-10.
- [61] Li S, Zhao X, Pu J, et al. Optimize and control territorial spatial functional areas to improve the ecological stability and total environment in karst areas of Southwest China[J]. *Land Use Policy*, 2021,100:104940.
- [62] Feng Y, He S, Li G. Interaction between urbanization and the eco-environment in the Pan-Third Pole region [J]. *Science of the Total Environment*, 2021,789:148011.
- [63] Wan H Y, Cushman S A, Ganey J L. Improving habitat and connectivity model predictions with multi-scale resource selection functions from two geographic areas [J]. *Landscape Ecology*, 2019,34(3):503-519.
- [64] Liu Z, Gan X, Dai W, et al. Construction of an ecological security pattern and the evaluation of corridor priority based on ESV and the “Importance-Connectivity” Index: A case study of Sichuan Province, China[J]. *Sustainability*, 2022,14(7):3985.