

DOI: 10.5846/stxb201809111955

白云星,周运超.贵州省后寨河小流域地形因子、人为干扰与石漠化定量研究.生态学报,2018,38(24): - .

Bai Y X, Zhou Y C. Quantitative relationships among topography anthropogenic disturbance, and rocky desertification in the Houzhai River Basin, Guizhou Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(24): - .

贵州省后寨河小流域地形因子、人为干扰与石漠化定量研究

白云星,周运超*

贵州大学贵州省森林资源与环境研究中心/林学院, 贵阳 550025

摘要:为定量研究喀斯特区域地形因子、人为干扰和石漠化之间的关系。基于网格法和实地观测,建立后寨河流域石漠化信息数据库并分析。结果表明:后寨河流域石漠化面积为 14.43 km²,不同利用类型石漠化面积呈以下规律:荒地>坡耕地>乔木林地>耕地>灌木林地>灌草地>草地>弃耕地>园地>乔灌木林地>水田>经果林地;流域内岩石裸露率和土壤厚度主要受到坡度、坡位和人为干扰的制约,而人为干扰具有主观性,主要在岩石裸露率低、土壤较厚和坡度较缓的区域进行农业生产活动。荒地和弃耕地占据了石漠化面积的 32.64%,且存在较大潜在石漠化的风险。回归模型发现人为干扰程度对岩石裸露率(负效应-0.286)和土壤厚度(正效应 0.264)的直接效应最大,坡向对岩石裸露率(正效应 0.067)和土壤厚度(负效应-0.054)的直接效应最小。认清地形因子、人为干扰和石漠化之间的耦合关系有利于喀斯特小流域石漠化治理。

关键词:喀斯特小流域;石漠化;土地利用;影响因素

Quantitative relationships among topography anthropogenic disturbance, and rocky desertification in the Houzhai River Basin, Guizhou Province, China

BAI Yunxing, ZHOU Yunchao*

Guizhou University, Institute for Forest Resources & Environment of Guizhou/ College of Forestry, Guiyang 550025, China

Abstract: The relationship among topographic factors, human disturbance, and rocky desertification in karst areas was quantitatively assessed. A rocky desertification information database was established for the Houzhai River Basin and analyzed using grid-sampling and field observation. Rocky desertification affected a total of 14.43 km², and affected multiple land use types, including uncultivated lands, sloping croplands, arbor forestlands, arable land, shrub lands, shrub grasslands, grasslands, abandoned lands, garden lands, arbor-shrub mixed forestlands, paddy lands, and artificial fruit forestlands. The rock exposure rate and soil thickness were mainly restricted by slope gradient, slope position, and human disturbance. Otherwise, human disturbance is subjective, mainly in areas with low rock exposure, thick soil, and gentle slope gradient. Uncultivated lands and abandoned lands accounted for 32.64% of the rocky desertification area, and there was a greater risk rocky desertification under these types of land use. A regression model revealed that the degree of human disturbance directly affects both rock exposure rate (negative effect: -0.286) and soil thickness (positive effect: 0.264). However, only insignificant effects were observed for slope direction on either rock bareness (positive effect: 0.067) or soil thickness (negative effect: -0.054). According to these findings, rocky desertification in karst mountainous basin can be easily remedied by, understanding its relationships with topography and human disturbance.

基金项目:国家重大科学研究计划项目(2013CB956702);贵州省一流学科建设项目(GNYL[2017]007);贵州省“百层次”培养计划(QKHRC-2015-4022)

收稿日期:2018-09-11; 修订日期:2018-12-5

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yc409@163.com

Key Words: karst basin; rocky desertification; land use; impacting factors

“石漠化”是指受喀斯特环境影响和人类不合理的干扰、破坏所造成的人地矛盾突出,植被破坏,土壤侵蚀,土地生产力下降,地表呈现类似荒漠化景观为标志的土壤退化和岩石裸露的演变过程^[1-3]。当前,西南喀斯特地区土壤侵蚀导致的石漠化已成为中国最严重的生态问题之一^[4-5],不仅制约着社会经济的可持续性发展,更直接威胁着长江、珠江流域的生态安全^[6]。自 20 世纪 70 年代以来,国家退耕还林(草)政策的实施,加之石漠化治理被纳入国家社会经济建设的一项重要内容,使得喀斯特石漠化发展势头有所放缓,部分石漠化地区得到有效治理和恢复。截止至 2015 年喀斯特石漠化面积仍高达 9.2 万 km²^[7],喀斯特石漠化现象仍然不容乐观。以往对于石漠化的研究侧重于石漠化的地质背景及其演化^[8]、石漠化驱动因子分析^[9],石漠化危害度评估^[10]、石漠化空间尺度分析^[11]和石漠化生态恢复与重建^[12]等,其中石漠化驱动因子的研究一直是备受关注的热点问题。石漠化驱动因子有许多,如水文和地质条件、气候因素、地形因子和地貌类型以及人类发展。部分研究认为降雨和陡坡是喀斯特地区水土流失和石漠化发生的基本驱动力^[13],土壤侵蚀的数量与速率均与土地利用方式密切相关^[14],而土地利用方式又决定了植被面积及分布情况。坡地的过度开垦往往会引起严重的石漠化发生^[15],然而部分学者持相反观点,认为人类活动在一定程度上能够减少土壤侵蚀和石漠化的发生^[5]。

经过十余年的探索,喀斯特石漠化工作重心倾向于植被恢复与生态重建,在此过程中正确地认知人为活动在不同石漠化程度中的作用,对于科学、合理的石漠化治理方案有着重要意义。虽然石漠化与其影响因素的研究较多,但部分观点仍值得商榷,研究多集中在单一或多种因素对石漠化驱动的贡献,鲜有考虑石漠化影响因素之间如何相互作用,尤其人类活动和地形因素对不同等级石漠化的影响仍缺乏基础数据的采集和定量分析^[16],基础理论研究落后于生产实践活动致使现有治理模式仍存在较大的局限性^[17]。当前石漠化治理与恢复多是以小流域为单元^[1],不同土地利用方式往往与不同程度石漠化的发生、加剧和恢复存在一定关联,如果不能认清不同石漠化阶段与土地利用方式间的相关关系,将影响石漠化治理工程的精准性,造成大量生态治理资源的浪费。为避免生态重建的盲目性,本研究从小流域尺度出发,在收集贵州省普定县后寨河小流域石漠化信息与环境参数的基础上,试图明晰以下科学问题:(1)现阶段喀斯特流域土地利用类型与不同等级石漠化关系如何?(2)何种土地利用类型在石漠化进程中应该被着重关注?(3)喀斯特流域内地形因子、人为干扰与石漠化相互间的量化关系及其意义如何?以期为喀斯特地区石漠化防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

后寨河小流域位于贵州省普定县,属于高原型喀斯特小流域,流域面积为 75 km²(其中,陆地面积占 98.89%,水域面积占 1.11%),覆盖城关镇、马官镇和白岩镇等地,经纬度在 105°40'43"—105°48'2"E,26°12'29"—26°17'15"N 之间,海拔在 854.1—1567.4 m 之间,气压在 806.1—883.8 hPa 之间。年均气温为 15.3℃,年均降雨量为 1170.9 mm 以上,年蒸发量为 920 mm。流域内分布地层为中三叠关岭组,该地层为石灰岩、白云岩和泥灰岩 3 种类型的岩石。土壤主要有石灰土、黄壤和水稻土。植被主要有柏木(*Cupressus funebris* Endl.) 构树(*Broussonetia papyrifera*)、响叶杨(*Populus Adenopoda* Maxim)、香椿(*Toona sinensis* (A.Juss.) Roem.) 等;灌木主要有火棘(*Pyracantha floruneana*)、月月青(*Itea ilicifolia*)、小果蔷薇(*Rosa cymosa*) 等;农作物主要有水稻(*Oryza sativa Oryzaglaberrima*)、玉米(*Zea mays* Linn. Sp.)、大豆(*Glycine max* (Linn.) Merr)、向日葵(*Helianthus annuus*) 等。

1.2 试验设计

本研究基于研究区 1:10000 的地形图与野外实地观测,利用地理信息系统建立流域石漠化信息数据库并

制图。采用网格法对研究区域进行样点设置,共计 3333 个样点(150 m×150 m)。根据设置样点分布地形图并结合 GPS 定位系统对实地调查样点进行定位,野外调查采用剖面法(长 1.20 m×宽 0.80 m×深 1.00 m)获取土壤厚度信息,土壤厚度信息不足 1 m 时挖掘至基岩即可。通过 GPS、罗盘、坡度仪等测定记录各个样点坡度、坡位、坡向、海拔以及土地利用方式。岩石裸露率通过样点范围内岩石出露面积(首先通过皮尺测量样地内每一块裸露岩石的尺寸,再计算其面积)与样地面积百分比表示。专题图图斑数为 3333 个,因河流、公路、房屋等因素的影响,具有实测信息的图斑数为 2755 个,每个图斑面积为 0.15 km×0.15 km。

1.3 喀斯特石漠化分类标准

当前石漠化分级标准较多,尚无统一定论,经比较后发现,熊康宁^[18]等对石漠化分级时,既考虑石漠化的景观生态学特征又兼顾农业利用价值等因素,综合性较强且与本研究契合度较高,因此根据其划分标准将后寨河石漠化现状划分为如表 1 所示。

表 1 后寨河流域石漠化分级标准

Table 1 Grading standard of rocky desertification in Houzhai River Basin

| 强度 Intensity | 岩石裸露率 Rock exposure/% | 强度 Intensity | 岩石裸露率 Rock exposure/% |
|---------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| 无石漠化 No rocky desertification | < 20 | 中度石漠化 Moderate rocky desertification | 50 — 70 |
| 潜在石漠化 Potential rocky desertification | 20 — 30 | 强度石漠化 Intensity rocky desertification | 70 — 90 |
| 轻度石漠化 Mild rocky desertification | 30 — 50 | 极强度石漠化 Extreme intensity rocky desertification | > 90 |

1.4 数据分析

流域内石漠化空间分布特征利用 ARCGIS 10.3 平台完成。利用 SPSS 24.0 对数据进行分析,数据间差异性检验采用 ANOVA 分析,用 Pearson 相关系数评价石漠化与影响因子间的相关性。用多元线性回归法和通径分析法分析影响因子对石漠化的贡献,首先将定性因子量化,根据野外调查,土地利用类型按人为干扰程度分为 5 级,每个级别中土地利用方式按人为干扰程度从小到大排序:林地(乔木林地<乔灌木林地<灌木林地)人为干扰程度最小,赋值为 1,荒地赋值为 2,牧草地(灌草地<草地)赋值为 3,少有放牧地(弃耕地)赋值为 4,耕作用地(经果林地<园地<水田<耕地(无坡度)<坡耕地)人为干扰程度最大,赋值为 5;坡位按从下到上依次为:洼地、坡脚、下坡、中坡、上坡和坡顶,分别赋值为 1、2、3、4、5、6;坡向按阳光照射分为:阴坡、半阴坡、半阳坡和阳坡,分别赋值为:1、2、3、4。

2 结果与分析

2.1 土地利用类型与石漠化空间分布

后寨河流域的地形、地貌和水文因素影响着土地利用的空间分布特征(图 1)。耕地主要分布在流域内中部丘陵和西部平地区域,坡耕地、弃耕地和荒地主要分布在东部峰丛、中部和西部山脉、南部和北部孤山上等。水田主要分布在北部、南部山脚地区以及中部河流两侧。乔木林地、乔灌木林地、灌木林地和灌草地等林业用地分布与流域内峰丛和山脉之上;后寨河流域具有典型的喀斯特地上一地下二元结构,地形地貌类别多,且较为复杂,主要有峰丛洼地、峰丛谷地、峰林、孤山、落水洞、溶洞和地下河等地貌类型。受到地形、地貌因素的影响,石漠化主要发生在东部的峰丛洼地区域、北部、南部、西南部等峰林区域、西部和中部孤山区域。强度石漠化和极强度石漠化分布较少,主要发生在山峦上部及坡顶区域。后寨河流域无石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、强度石漠化和极强度石漠化面积分别为 42.92, 4.64, 7.81, 4.50, 1.87 km²与 0.25 km²。

2.2 不同等级石漠化的土地利用类型分布规律

基于流域内基岩裸露率,并结合前人划分标准,将后寨河小流域石漠化现状分为六个等级(图 2)。喀斯特流域内水田、耕地、坡耕地、园地和经果林地 75%以上处于无石漠化状态,乔木林地、乔灌木林地、灌木林

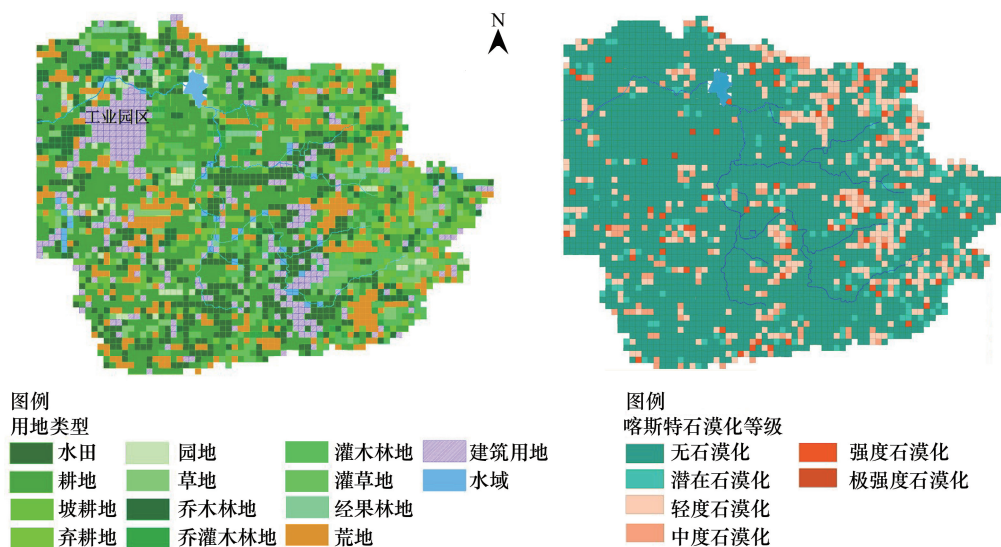


图1 后寨河土地利用模式与石漠化情况分布图

Fig.1 Land use pattern and rocky desertification distribution map in Houzhai River Basin

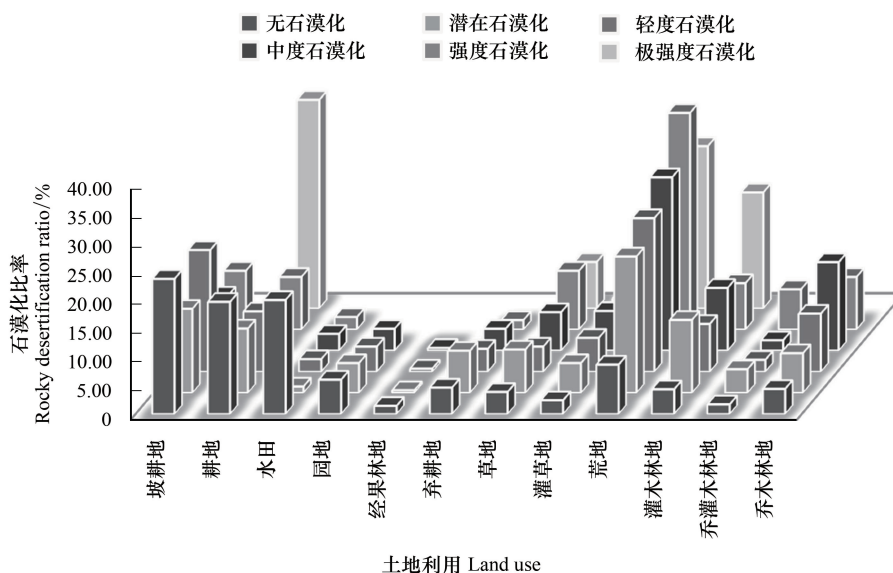


图2 后寨河流域不同等级石漠化中土地利用分布情况

Fig.2 Distribution of land use in different grades of rocky desertification in Houzhai River Basin

地、灌草地、草地和荒地 30%以上处于轻度至强度石漠化之间,极强度石漠化仅发生在耕地、灌草地、草地和荒地等土地利用类型。后寨河流域石漠化土地中,经果林地、水田、乔灌木林地、园地、弃耕地、草地、灌草地、灌木林地、耕地、乔木林地、坡耕地和荒地中的石漠化面积分别占石漠化总面积的 0.42%、2.36%、2.56%、3.52%、3.53%、5.91%、6.19%、9.26%、9.98%、11.43%、15.73%和 29.11%。不同等级石漠化土地中,无石漠化土地中坡耕地所占比例最大,为 23.53%,潜在石漠化土地中荒地所占比例最大为 23.71%,其次为坡耕地占 14.66%,轻度石漠化、中度石漠化和强度石漠化土地中荒地所占比例均为最大,分别为 26.63%、30.00%和 37.43%,极强度石漠化土地中耕地所占比例最大,为 36.00%,其次为荒地 28.00%。

2.3 岩石裸露率与土壤厚度在不同土地利用类型中的变化趋势

后寨河流域不同土地利用方式下岩石裸露率差异较大(图 3),水田、耕地、坡耕地、弃耕地、园地以及经果

林等人为干扰程度最大的用地类型平均岩石裸露率均小于 20%,而乔木林地、乔灌木林地、灌木林地、灌草地、草地以及荒地岩石裸露率皆大于 20%。总体来看,平均土壤厚度随着人为干扰程度降低而降低。对相同人为干扰级别中不同土地利用方式间的岩石裸露率和土壤厚度进行分析,园地和经果林地人为干扰程度相比坡耕地、耕地和水田较低,但岩石裸露率较高;乔木林地人为干扰程度最轻,但岩石裸露率却较高。

2.4 地形因子、人为干扰和石漠化间的关系

相关性分析表明后寨河流域坡度与岩石裸露率具有显著正相关性, $r=0.361, P < 0.01$ (表 2)。不同坡度岩石裸露率差异较大,随着坡度的增加,岩石裸露率逐渐增大。而坡度与土壤厚度具有显著负相关性, $r=-0.463, P < 0.01$ 。随着坡度的增加,土壤厚度逐渐降低。人为干扰程度与岩石裸露率和坡度呈显著负相关性,与土壤厚度呈显著正相关性。对于耕作坡地而言,坡度与岩石裸露率之间没有显著相关性, $r=0.008, P > 0.05$ 。土壤厚度与岩石裸露率($r=-0.406, P < 0.01$)、土壤厚度与坡度($r=-0.193, P < 0.05$)之间具有负相关性,但相关系数均小于非耕作坡度。由此可知,坡度是后寨河流域石漠化过程中极为重要的影响因子之一,而人为干扰具有主观性,主要在岩石裸露率低、土壤较厚和坡度较缓的区域进行人类活动。

表 2 后寨河流域岩石裸露率与土壤厚度、坡度和人为干扰程度的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of rock exposed rate with soil thickness, slope and human disturbance degree in Houzhai River Basin

| 土地类别 Land type | 影响因素 Influencing factor | 岩石裸露率 Rock exposure | 土壤厚度 Soil thickness | 坡度 Slope direction | 人为干扰 Anthropogenic disturbance |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 所有坡地 All slopes | 岩石裸露率 | 1 | | | |
| | 土壤厚度 | -0.557 ** | 1 | | |
| | | $P=0.000$ | | | |
| | 坡度 | 0.361 ** | -0.463 ** | 1 | |
| | | $P=0.000$ | $P=0.000$ | | |
| | 人为干扰 | -0.418 ** | 0.446 ** | -0.459 ** | 1 |
| | | $P=0.000$ | $P=0.000$ | $P=0.000$ | |
| 耕作坡地 Sloping croplands | 岩石裸露率 | 1 | | | |
| | 土壤厚度 | -0.406 ** | 1 | | |
| | | $P=0.000$ | | | |
| | 坡度 | 0.008 | -0.193 * | 1 | |
| | | $P=0.806$ | $P=0.044$ | | |
| 非耕作坡地 Uncultivated sloping land | 岩石裸露率 | 1 | | | |
| | 土壤厚度 | -0.443 ** | 1 | | |
| | | $P=0.000$ | | | |
| | 坡度 | 0.120 ** | -0.474 ** | 1 | |
| | | $P=0.007$ | $P=0.000$ | | |

不同坡位的岩石裸露率与土壤厚度差异较大(图 4),从洼地到坡顶,平均岩石裸露率逐渐增大,至坡顶达到最大值为 27.54%。从洼地到上坡,平均土壤厚度逐渐降低,变化范围在 76.29—33.69 cm 之间,但坡顶平均土壤厚度却明显高于上坡和中坡,为 51.96 cm。该现象与喀斯特地形密切相关,坡顶相对平缓,土壤不容易向下方流失,而上坡和中坡地形陡峭,土壤向下方流失,并在坡脚和洼地等地势平坦处积累。坡度平均值随着坡位升高而增大,从洼地 1.30° 逐渐增加到上坡 33.96°,但坡顶坡度较小,平均值为 12.61°;表明流域内坡位越高

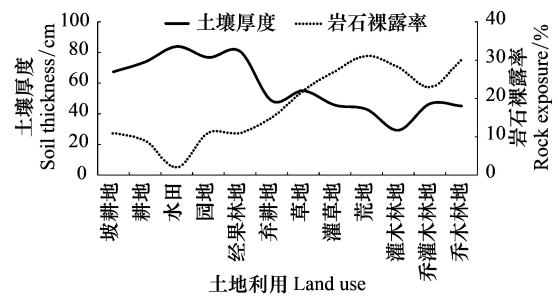


图 3 后寨河流域石漠化与土地利用类型的关系

Fig.3 Relationship between rocky desertification and land use types in Houzhai River Basin

的地方,其坡度越陡峭。

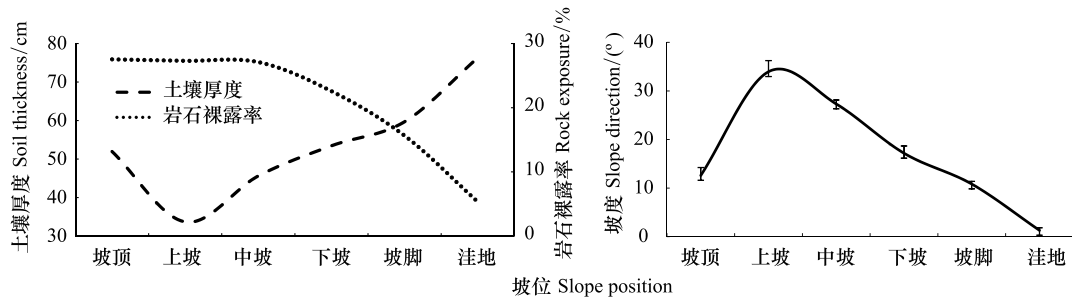


图4 后寨河流域石漠化与坡位的关系

Fig.4 Relationship between rocky desertification and slope position in Houzhai River Basin

对流域内耕作坡地与非耕作坡地的 1229 个采样点进行了坡向分类,研究表明:不同坡向之间,耕地所占比例有所差异(表 3),半阳坡耕地所占比例最大(30.25%),阳坡所在比例最小(20.21%),耕作坡地与非耕作坡地在岩石裸露率、土壤厚度和坡度均存在差异。耕作坡地除土壤厚度外,其余因子无显著性差异。不同坡向的耕作坡地岩石裸露率平均值均低于非耕作坡地,不同坡向的耕作坡地土壤厚度平均值均大于非耕作坡地。

表 3 后寨河流域坡向与石漠化影响因子相关性分析

Table 3 Correlation analysis between slope aspect and rocky desertification influence factors in Houzhai River Basin

| 坡向 Slope direction | 耕作坡地 Sloping croplands | | | | 非耕作坡地 Uncultivated sloping land | | |
|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| | 耕地比例 Cultivated land ratio/% | 岩石裸露率 Rock exposure/% | 土壤厚度 Soil thickness/cm | 坡度 Slope direction/° | 岩石裸露率 Rock exposure/% | 土壤厚度 Soil thickness/cm | 坡度 Slope direction/° |
| 半阳坡 Semi-sunny | 30.25 | 15.36±2.46A | 67.11±3.92A | 16.48±1.50A | 23.57±1.81A | 44.21±2.32A | 23.33±1.42A |
| 阳坡 Sunny | 20.21 | 15.25±2.30A | 54.80±4.11B | 16.37±1.80A | 27.91±1.61A | 40.04±1.81AB | 26.08±1.26AC |
| 半阴坡 Semi-Shady | 27.30 | 15.56±2.32A | 54.62±3.06AB | 17.41±1.46A | 28.41±1.64A | 44.09±2.10A | 26.11±1.46A |
| 阴坡 Shady | 27.63 | 15.95±1.88A | 56.15±2.88AB | 17.84±1.48A | 23.79±1.31B | 47.62±1.82AC | 23.67±1.17C |

表中数据为平均值±标准差,同列相同指标下不同大写字母表示差异显著($P<0.05$)

为更好的了解地形因子和人为干扰对石漠化的贡献大小,利用逐步回归分析方法对相关因子(坡度、坡向、坡位和人为干扰程度)进行筛选(表 4),得到石漠化与人为干扰及地形因子的多元线性回归方向系数和直接通径系数。岩石裸露率和土壤厚度均能与坡位、坡向、坡度和人为干扰程度拟合为具有显著意义的回归模型。通径分析表明人为干扰程度对岩石裸露率负效应最大(-0.286),坡度对岩石裸露率正效应最大(0.178),反之人为干扰程度对土壤厚度正效应最大(0.264),坡度对土壤厚度的负效应最大(-0.276)。坡向对岩石裸露率(0.067)和土壤厚度(-0.054)的影响最小。

3 讨论

3.1 喀斯特小流域石漠化格局与土地利用类型

西南喀斯特地区石漠化的形成是在特殊的生态地质背景基础上叠加人类活动导致的,研究区不同土地利用方式的石漠化发生和不同石漠化程度中土地利用分布具有明显差异,究其缘由可能是不同土地利用方式的土壤侵蚀速率有所差异^[19],也可能是不同土地利用方式下的土壤环境有所不同导致植被恢复潜力存在差异。本研究发现流域内农业生产活动主要集中在水土资源较好的区域,洼地、平地 and 坡脚成为园地、耕地、经果林、坡耕地和水田等农业生产集中区域,喀斯特基岩埋藏较深,土壤深厚,不存在石漠化的风险。分布在平地、坡脚和坡下部的坡耕地、耕地和园地和峰林、孤山中部 15°—24°斜坡地上的荒地和灌木林地,土被连续,基岩零星出露,部分坡面存在土壤流失,具有潜在的石漠化风险。流域内 54%轻度石漠化区域分布在坡下部至盆地

的坡耕地和耕地,27%轻度石漠化区域分布于坡腰位置的荒地,土被不连续,基岩裸露率在30%—50%,植被破坏后形成轻度石漠化现象。中度石漠化区域主要以分布在峰丛、峰林和孤山中上部25°—50°的荒地、乔木林地和灌木林地,人类农业生产活动区域骤减,因为这类土地被开垦为耕地后,土壤极易随着水蚀而流失,土地生产能力低,流域内草地和灌草地也主要分布于该坡度区域,放牧活动多发,应注意牲口超载引起草地退化。强度石漠化主要分布在峰丛中上部地区,主要用地类型为荒地、耕地、坡耕地、草地、乔木林地和灌木林地,岩石裸露率在70%—90%,土壤残留在岩石缝隙中,人为活动破坏后直接形成强度石漠化景观,植被恢复极其困难。在极强度石漠化区域,仍有36%的土地被人为规划为耕地,28%为荒地,20%为灌木林地,其余为一些零星的草地和灌草地。

表4 地形因子以及人为干扰与石漠化多元线性回归方程系数和通径系数

Table 4 Coefficient of multiple linear regression equation and path coefficient of environmental factors, human disturbance and rocky desertification

| 因子 Factor | 岩石裸露率 Rock exposure | | | | 土壤厚度 Soil thickness | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|--------------------|
| | 回归系数 Regression coefficient | 通径系数 Path coefficient | F 检验 F test | t 检验 T test (P) | 回归系数 Regression coefficient | 通径系数 Path coefficient | F 检验 F test | t 检验 T test (P) |
| 人为干扰程度 Anthropogenic disturbance | -0.040 | -0.286 | | 0.000 | 5.697 | 0.264 | | 0.000 |
| 坡位 Slope position | 0.019 | 0.132 | | 0.000 | -3.205 | -0.143 | | 0.000 |
| 坡向 Slope direction | 0.013 | 0.067 | | 0.002 | -1.663 | -0.054 | | 0.011 |
| 坡度 Slope direction | 0.002 | 0.178 | | 0.000 | -0.518 | -0.276 | | 0.000 |
| 常数 Constant | 0.210 | | | | 57.418 | | | |
| R ² | 0.243 | | | | 0.307 | | | |
| P | | | <0.001 | | 0.001 | | <0.001 | |

3.2 喀斯特小流域荒地和弃耕地的石漠化风险性

研究中值得关注的是流域内荒地不仅占据了石漠化土地中大部分比例,同时也具有较大的潜在石漠化风险。荒地是一种特殊的土地利用类型^[20],广义上指除建设用地和农业用地以外的未利用或利用过后被搁置和荒废的土地,狭义上指现状处于荒芜状态,但具有资源利用价值的宜农、宜林、宜牧、宜能土地。本研究中荒地指非林业、非农业生产用地,覆被仅存一些稀疏灌木、杂草,其土壤条件极差,常处于恶劣的地形地貌条件中,严重制约了植被的恢复和生态系统的正向演替。此外,近年来流域内不同石漠化阶段的弃耕地面积有所增加,大量耕作质量较差的土地和部分耕作条件较好的土地被遗弃。造成此现象的原因可能是农村外出务工的人数增加和受到国家政策影响,农产品经济发生改变,最终导致从事农业生产活动的人数减少,石漠化地区的部分耕地被遗弃。然而退弃耕地由于缺乏植被的覆盖和农业措施对土壤的保护,当遇上雨量较为集中的时段,会造成相比耕地更为严重的土壤侵蚀^[21],导致土壤质量降低,生态恢复更加困难。因此,荒地和弃耕地在石漠化治理中应当重点关注。植树造林作为石漠化治理的重要方式,通常选择在岩石裸露率高,土壤贫乏和坡度较高的区域实施,但因其单一的人工林种植模式^[22],生态结构过于简单,导致生态恢复速度的减缓,水土保持功能受到限制,今后治理中应该加强灌木、草本和藤本的培植。

3.3 喀斯特小流域自然-人类-石漠化的关系

喀斯特流域特殊的地形、地貌因素直接控制了自然生态环境特征,一方面导致坡度、土壤厚度和坡位等地理环境特征的多样性,另一方面成为土地利用规划中的主观选择性因素,而不同的土地利用类型对石漠化的干扰程度又有所不同,地形因子—人类活动—石漠化三者间存在一种特殊的关系。岩石裸露率和土壤厚度是

土地利用决策的重要因素,人为干扰程度对岩石裸露率(-0.286)和土壤厚度(0.264)的直接效应最大,表明在不考虑其它因素的情况下,农业生产集中在岩石露出较少和土壤较厚的区域。坡位调查结合相关性分析表明,在洼地至上坡区域,随着坡度的增加,岩石裸露率在增加,而土壤厚度和人为干扰程度在降低,坡顶坡度较缓,土壤较厚但岩石裸露率较大,说明流域内绝大部分农业生产用地坡位较低,但由于流域内耕地资源的短缺,坡位较高的区域仍存在开垦现象,耕作坡地主要处在轻度石漠化阶段,而这部分土地主要集中在山腰、山下部和山脚地区等水力侵蚀最强烈的区域,若把这部分区域看作一个整体,随着时间的推移,耕作措施使得高坡位耕地的一部分土壤流失到低坡位耕地,另一部分则漏失到喀斯特地下生境中^[23],长期以往,土壤侵蚀加剧引起土壤退化,养分流失和土层变薄迫使农民不得不弃耕,而这部分因环境原因搁置的耕地将成为生态脆弱区域,导致石漠化进一步加剧。一般认为阳坡和半阳坡更宜作为农业生产用地,但从流域调查结果表明阳坡并不是耕作用地的首选,阴坡、半阴坡和半阳坡的耕地比例相差不大,但值得关注的是,不同坡向之间,耕作坡地的岩石裸露率与坡度平均值均低于非耕作坡地,耕作坡地的土壤厚度平均值大于非耕作坡地。综上解释了农业生产用地(水田、耕地、坡耕地、弃耕地、园地以及经果林)平均岩石裸露率均小于非农业生产用地(乔木林地、乔灌木林地、灌木林地、灌草地、草地以及荒地)的现象,且农业生产活动主要考虑的因素有岩石裸露率、土壤厚度、坡度和坡位。为更深入了解农业活动对石漠化的影响,将耕作坡地与非耕作坡地进行比较发现,耕作坡地的坡度与岩石裸露率之间没有显著相关性($r=0.008, P>0.05$),而坡度与土壤厚度之间具有显著负相关性($r=-0.193, P<0.05$)。与之相反,非耕作坡地的坡度与岩石裸露率之间具有显著相关性($r=0.120, P<0.01$),坡度与土壤厚度之间同样具有负相关性($r=-0.474, P<0.01$)。耕作坡地与非耕作坡地的岩石裸露率与土壤厚度均呈负相关关系,但耕作坡地($r=-0.406, P<0.01$)相关系数(绝对值)低于非耕作坡地($r=-0.443, P<0.01$)。再次证明当土壤质量与其它环境因素差异不大时,较缓的坡地更易成为人类活动的主要场所,而那些陡峭的坡地由于人类干扰较小,在自然环境的长期作用下逐步演替为自然草地、灌草地、灌木林地和各种林地,部分则因自身所处的环境限制,水土流失频发、石漠化加重最终退化为荒地。

其次,相关性分析表明坡度与岩石裸露率具有显著正相关性($r=0.361, P<0.01$),坡度与土壤厚度具有显著负相关性($r=-0.463, P<0.01$),坡度作为重要的地形因子影响着土壤保水性能和植被分布,原因在于该流域属于高原地貌特征区域,坡度的差异导致水力侵蚀条件差异较大,进而对土壤侵蚀强度与水土流失过程有着显著影响,控制着石漠化的发生与发展^[24]。流域内坡位分布的研究结果表明,从上坡到洼地,土壤厚度平均值逐渐增大,由 33.69cm 增大到 76.29 cm,但部分坡顶土壤的厚度可达 51.96 cm;而岩石裸露率与坡度从上坡到洼地则是逐渐降低,坡顶岩石裸露率较大,坡度较缓。坡位对石漠化的影响主要体现在不同坡位其坡度和人类活动差异较大,高坡位地区坡度相对较大,生境恶劣,在降雨冲刷下更易发生片流侵蚀,导致土壤厚度相对浅薄,土地易被遗弃,最终退化为灌木林地、草地甚至荒地,加剧石漠化的发生;而低坡位地区,坡度相对平缓,土层一般较厚,更易被选择为农业生产用地。坡向影响着地表接受的太阳辐射能量,而太阳辐射能量又会对地表气温,土壤温度、湿度以及土壤养分循环产生影响^[25]。流域内不同坡向间岩石裸露率、土壤厚度和坡度差异较小,通径系数表明,坡向对于岩石裸露率和土壤厚度的影响最小,因此坡向并不是导致流域内石漠化差异的主要因素。

综上所述,地形因子—人类活动—石漠化是一种耦合关系(图 5),坡度和坡位是导致后寨河流域水土流失严重、石漠化加剧的主要影响因素,坡度越大,即易引起地表径流产生侵蚀,导致石漠化的发生;坡位越高,地理气候环境条件越差,植被生长的条件更加恶劣,因而水

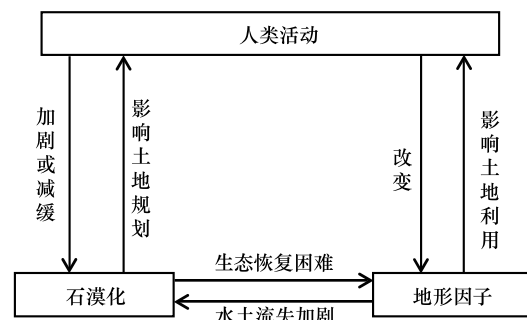


图 5 后寨河流域石漠化-人类\自然的耦合关系

Fig. 5 Coupling relationship between rocky desertification, human and nature

土保持能力相对较弱。流域内,由于地形条件不同,人为干扰对石漠化的影响也有所不同,在人为主观因素的作用下,优先选择坡度较小或坡位较低的区域进行农业生产活动,这些区域土壤较厚且岩石裸露率较低,耕作者通常会采取一些措施来保护土地资源和提高土地生产力^[26],间接性地对土壤水土保持功能产生积极效益,其结果是耕作坡地的岩石裸露率普遍低于非耕作坡地。但由于耕地资源的短缺,毁林开荒和陡坡耕作的现象仍有发生,这部分区域往往坡位较高或坡度较大,加之农业生产活动破坏了地表植被,在降雨作用下会造成严重的土壤侵蚀,使得原本脆弱的生态系统几乎崩溃,加速了石漠化的发生与发展。

4 结论

(1)喀斯特小流域不同土地利用类型下石漠化程度有较大差异,轻度、中度石漠化面积占到总石漠化面积的 85.31%,不同土地利用类型的石漠化面积表现为:荒地>坡耕地>乔木林地>耕地>灌木林地>灌草地>草地>弃耕地>园地>乔灌木林地>水田>经果林地;耕作用地平均岩石裸露率和平均土壤厚度均大于非耕作用地。

(2)喀斯特小流域内石漠化主要影响因素的关系较为复杂,随着坡度的增加岩石裸露率增大,土壤厚度和人为干扰程度降低;随着坡位的上升,平均岩石裸露率逐渐增大,从洼地到坡顶土壤厚度与坡度先增大后减小;不同坡向间,岩石裸露率、土壤厚度和坡度差异较小,相同坡向,耕作坡地平均土壤厚度大于非耕作坡地,平均岩石裸露率和坡度小于非耕作坡地。

(3)喀斯特小流域内荒地和弃耕地占据了石漠化面积的 32.64%,同时具有较大的潜在石漠化风险,在今后石漠化治理中应该引起重视。

(4)喀斯特小流域内地形因子—人类活动—石漠化存在耦合关系,坡度、坡位是石漠化发生和发展的主要因素,通径分析表明人为干扰程度对岩石裸露率(-0.286)和土壤厚度(0.264)直接效应最大,表明人为干扰集中在岩石裸露率低和土壤较厚的无石漠化和潜在石漠化区域,但受土地资源的限制,严重的石漠化区域仍存在耕作现象,应该合理规划土地资源。

参考文献 (References):

- [1] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101-105.
- [2] Cheng F, Lu H F, Ren H, Zhou L, Zhang L H, Li J, Lu X J, Huang D W, Zhao D. Integrated energy and economic evaluation of three typical rocky desertification control modes in karst areas of Guizhou Province, China. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 161: 1104-1128.
- [3] You H Y. Orienting rocky desertification towards sustainable land use: an advanced remote sensing tool to guide the conservation policy. *Land Use Policy*, 2017, 61: 171-184.
- [4] 黄先飞, 周运超, 张珍明. 喀斯特石漠化区不同土地利用方式下土壤有机碳分布特征. *水土保持学报*, 2017, 31(5): 215-221.
- [5] 周运超, 王世杰, 卢红梅. 喀斯特石漠化过程中土壤的空间分布. *地球与环境*, 2010, 38(1): 1-7.
- [6] 彭晚霞, 王克林, 宋同清, 曾馥平, 王久荣. 喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式. *生态学报*, 2008(2): 811-820.
- [7] 蒋忠诚, 罗为群, 童立强, 程洋, 杨奇勇, 吴泽燕, 梁建宏. 21 世纪西南岩溶石漠化演变特点及影响因素. *中国岩溶*, 2016, 35(5): 461-468.
- [8] 戴全厚, 严友进. 西南喀斯特石漠化与水土流失研究进展. *水土保持学报*, 2018, 32(2): 1-10.
- [9] Yang Q Q, Wang K L, Zhang C H, Yue Y M, Tian R C, Fan F D. Spatio-temporal evolution of rocky desertification and its driving forces in karst areas of Northwestern Guangxi, China. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 64(2): 383-393.
- [10] 王世杰, 李阳兵. 喀斯特石漠化研究存在的问题与发展趋势. *地球科学进展*, 2007, 22(6): 573-582.
- [11] Jiang Y J, Li L L, Groves C, Yuan D X, Kambesis P. Relationships between rocky desertification and spatial pattern of land use in typical karst area, Southwest China. *Environmental Earth Sciences*, 2009, 59(4): 881-890.
- [12] 王鸿, 罗爱忠. 毕节地区石漠化治理存在问题及对策. *岩土力学*, 2009, 30(S2): 427-429.
- [13] Xiong Y J, Qiu G Y, Mo D K, Lin H, Sun H, Wang Q X, Zhao S H, Yin J. Rocky desertification and its causes in karst areas: a case study in Yongshun County, Hunan Province, China. *Environmental Geology*, 2009, 57(7): 1481-1488.
- [14] Wu X Q, Cai Y L, Zhou T. Effects of land use/land cover changes on rocky desertification—a case study of a small karst catchment in Southwestern

- China. Energy Procedia, 2011, 5: 1-5.
- [15] Wu X Q, Liu H M, Huang X L, Zhou T. Human driving forces: analysis of rocky desertification in karst region in Guanling County, Guizhou Province. Chinese Geographical Science, 2011, 21(5): 600-608.
- [16] 王荣, 蔡运龙. 西南喀斯特地区退化生态系统整治模式. 应用生态学报, 2010, 21(4): 1070-1080.
- [17] 李强, 蒲俊兵, 黄妮, 杜红梅, 祁向坤, 王力, 杨慧. 断陷盆地生态环境地质分异及石漠化演变机理的研究途径. 地球科学进展, 2017, 32(9): 899-907.
- [18] 熊康宁, 袁家榆, 方尹. 贵州省喀斯特石漠化综合防治图集(2006~2050). 贵阳: 贵州人民出版社, 2007: 1-18.
- [19] 李阳兵, 邵景安, 周国富, 龙健. 喀斯特山区石漠化成因的差异性定量研究——以贵州省盘县典型石漠化地区为例. 地理科学, 2007, 27(6): 785-790.
- [20] 宫丽彦, 程磊磊, 卢琦. 荒地的概念、分类及其生态功能解析. 自然资源学报, 2015, 30(12): 1969-1981.
- [21] 林昌虎, 涂成龙, 陆晓辉, 林邵霞. 贵州西部喀斯特石漠化地区退耕弃荒地土壤氮素变异特征. 水土保持学报, 2005, 19(4): 14-17, 88-88.
- [22] 张红玉, 杨勇, 李勇. 西南喀斯特石漠化区域生态系统退化与恢复探讨. 生态科学, 2015, 34(4): 169-174, 179-179.
- [23] Peng X D, Dai Q H, Li C L, Zhao L S. Role of underground fissure flow in near-surface rainfall-runoff process on a rock mantled slope in the karst rocky desertification area. Engineering Geology, 2018, 243: 10-17.
- [24] 张珊珊, 周忠发, 孙小涛, 冯倩, 陈全. 基于坡度等级的喀斯特山区石漠化与水土流失相关性研究——以贵州省盘县为例. 水土保持学报, 2017, 31(2): 79-86.
- [25] 李娅芸, 刘雷, 安韶山, 曾全超, 李鑫. 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区不同植被区及坡向对土壤团聚体稳定性和可蚀性的影响. 自然资源学报, 2016, 31(2): 287-298.
- [26] Xu E Q, Zhang H Q, Li M X. Mining spatial information to investigate the evolution of karst rocky desertification and its human driving forces in Changshun, China. Science of the Total Environment, 2013, 458-460: 419-426.