

文章编号: 1008-2786-(2018)6-973-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000392

一种石漠区地表岩石裸露率测量方法

刘娟^{1,2} 沈有信^{1*} 赵志猛^{1,2} 赵高卷^{1,2}

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园 热带森林生态学重点实验室, 昆明 650000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 岩石裸露率是判定喀斯特石漠化等级最基础指标之一,其精度对判定石漠化分布区、划分等级、制订防治措施十分重要。传统机械布点法测量内容单一,无法满足日益严峻的石漠化治理需求。针对这一问题,本实验设计在小尺度不同粒径岩石裸露条件下,应用照片处理技术(拍照)获取岩石裸露率并分类径级的方法,并传统机械布点测量方法进行比对。结果发现:拍照测量得到的岩石裸露率低于机械布点测量值,在拍照测量结果未达到石漠化(岩石裸露率 < 30%)时两种方法之间的差异显著,超过此比例后两种测量结果的差异随着岩石裸露率的增加而逐渐减小;拍照测量岩石裸露率变异系数高于机械布点测量结果,说明拍照方法更能反映喀斯特石漠化岩石高异质性特性;拍照测得石漠化区和治理区的岩石分布密度分别为 111 个/m² 和 67.4 个/m²,两个样地岩石优势粒径均为 75 ~ 250 mm,但综合来看,治理区样地的岩石粒径尺寸要高于石漠化区。机械布点测量简单、快捷,但数据内容单一,拍照测量不仅可以反映岩石裸露率,还可同时测量岩石粒径和分布密度,敏感度较机械布点测量高,能反映喀斯特石漠化地区更多的细节和变异,能更好地服务于石漠化治理。

关键词: 喀斯特; 石漠化; 岩石裸露率; 测量方法

中图分类号: Q948

文献标志码: A

喀斯特石漠化的本质是土地生物潜能的衰减或破坏,致使大量露石^[1] 出露于地表,出现类似于荒漠的石漠景观^[2]。多数学者认为岩石裸露率是评定石漠化等级的最基本的量化指标,并依据该指标建立各自的石漠化分类体系^[3-4]。从遥感影像中提取植被、土被和基岩裸露面积或土地利用状况等信息,计算岩石裸露率最为常见^[5-6]。将裸露岩石比例达到一定比例(如 30% 以上)的土地定义为石漠化土地^[7]。杨奇勇等根据这种计算方法得出的岩石裸露率差异将石漠化划分为 4 个等级^[8]。李森等人^[9-10] 依据生态基准面理论选取坡面形态、植被覆盖率和基岩裸露率等综合反映石漠化景观的代表性

因子将石漠化土地分为极重度、重度、中度和轻度石漠化。张信宝等人建议区分有植物覆盖和无植被覆盖的裸岩面积,并根据无植被覆盖的裸岩面积比例将石漠化程度划分为无、轻度、中度和强度四个等级^[11]。

随着遥感技术的发展、遥感影像分辨率的提高,遥感解译运用到裸岩测量也越来越广泛^[12-17]。基于多光谱遥感影像中的土壤裸露率(Bareness of Soil Percentage, BSp) 和植被覆盖度(Vegetation coverage, VC),可计算出岩石裸露率(Bareness of Rock Percentage, BRp),其公式为: $BRp = (1 - BSp - VC) \times 100\%$ ^[18]。但是在中国南方喀斯特地区,特

收稿日期(Received date): 2018-6-25; 改回日期(Accepted date): 2018-11-06

基金项目(Foundation item): 国家重点研发专项课题(2016YFC0502504); 国家自然科学基金项目(41671031)。[The National Key Program of China (2016YFC0502504); The National Natural Science Foundation of China (41671031)]

作者简介(Biography): 刘娟(1981-),女,山东济南人,硕士研究生,主要研究方向:生态恢复。[LIU Juan (1981-), female, born in Jinan, Shandong province, M. Sc. candidate, research on ecological restoration] E-mail: liujuan@xtbg.ac.cn

* 通讯作者(Corresponding author): 沈有信(1966-),男,研究员,博士生导师,从事喀斯特生态学与植被恢复研究。[SHEN Youxin (1966-), male, professor, specialized in karst ecology and vegetation restoration] E-mail: yxshen@xtbg.ac.cn

别是石漠化治理区,生境破碎度高,斑块面积小,除地表肉眼可见裸露岩石和土壤外,仍有大量出露地表的岩石和土壤被植被所掩盖。尽管将每个像元的裸岩率判读由0和100%两种状态改为0~100%范围取值^[19],但多光谱影像仍不可避免地存在同物异谱和异物同谱的现象,同时遥感影像受轨道和天气等因素影响,高质量影像不多。野外核实标志物信息和试验区的准确性就显得尤为重要。因此野外实地验证和复查成为遥感技术提高判别石漠化精度的一个极其重要的环节和依据。目前野外主要通过目测法和传统人工简单机械布点法来快速获取岩石裸露率指标。目测法依赖于人工经验,受限于地上植被对裸岩的遮挡,精度难以保证。机械布点法^[20-21]克服了这一影响,但其测量内容单一,许多石漠化尤其是伴生白云岩区域,地表石体较小,严重影响判定精度。更为重要的是,随着石漠化治理越来越难,在治理工程的规划和治理中,治理区的石漠化现状评估单独依靠岩石裸露率信息已经无法满足治理工作的需要,岩石的分布密度和岩石粒径信息也需要进行精确测量。本研究以传统机械布点法为基准,应用拍照技术,开发新的裸露岩石面积计量技术,探寻精确测定野外小尺度喀斯特石漠化及治理区岩石裸露率的方法,为遥感技术的运用提供更为翔实的野外数据,为石漠化等级的量化判定和治理提供技术支撑和参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于云南省南部红河哈尼族彝族自治州

境内,红河中游北岸,东经 $102^{\circ}33' \sim 103^{\circ}11'$,北纬 $23^{\circ}12' \sim 24^{\circ}10'$,海拔230~2515 m,总面积约3789 km²。受季节和地形变化影响,夏季炎热多雨,冬季温和少雨,属南亚热带季风气候。年平均降雨量805 mm,年平均气温19.8℃,全年无霜期307 d。该地区出露地层主要是二叠系茅口组,以灰岩为主,伴有白云岩。研究选择了1个石漠化区域和1个已经治理的区域(图1)。

(1) 石漠化区:人工垦殖后形成的撂荒草地,石体间散布薄层土壤,水土流失严重。以扭黄茅(*Heteropogon contortus*)、西南菅草(*Themeda hookeri*)等多年生草本植物为优势种,零星分布有杭子梢(*Campylotropis macrocarpa*)、坡柳(*Salix myrtillacea*)等小灌木,植株大多高于石体。

(2) 治理区:稀疏的8年生马尾松(*Pinus massoniana*)林,植株已高于岩石,栽植间距大,林窗开阔,林下及空旷区多杂草,林地郁闭度15%。

1.2 野外样地设置

2017年10月,两样地顺相同坡向分别各设置6条样带,每条样带内从坡底到坡顶设置3个20 m×20 m样方。每样方内四个拐角和中心布置1 m×1 m取样小样方,因此,两个样地共有18个20 m×20 m样方和90个1 m×1 m小样方。

1.3 岩石的测量

1.3.1 拍照法

土壤表面(1 m×1 m)覆盖的岩石尺寸和面积通过数字拍照^[22]和Image J图像处理软件进行测定(图2)。使用尼康7200最高分辨率6000×4000万像素于1.5 m高处拍照,在地面放置矫正标尺。拍照前清除每个小样方内地表所有植物和地表枯落



图1 石漠化和治理区样地景观

Fig. 1 Rocky desertification area and rocky desertification anti-treatment area

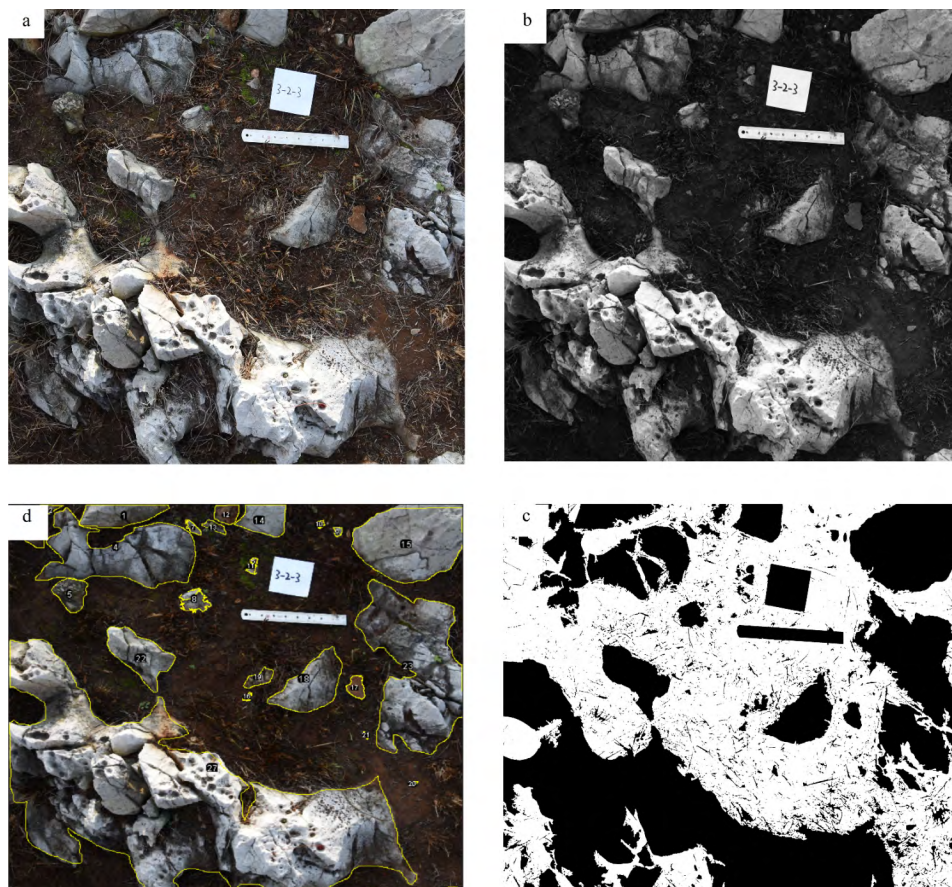


图2 (1 m × 1 m) 采样点图像处理过程: (a) 去除样方植被并拍照; (b) RGB 图像转化成灰度图; (c) 设置阈值; (d) 勾画岩石轮廓并获取面积和粒径

Fig. 2 The treatment procedures in sampling points (1 m × 1 m): (a) Remove plants and acquire the image of sampling sites; (b) Convert RGB image to grayscale; (c) Set threshold; (d) Depict the outline to obtain the outcrop's area and size

物。受图像分辨率的限制 5 mm 以下的碎石在图像中不易辨别,另外, < 5 mm 的碎石被认为与沙子具有相同的物理性质^[23],因此岩石尺寸的下限设定为 5 mm。岩石粒度分类标准为 5 ~ 20 mm, 20 ~ 75 mm, 75 ~ 250 mm, 250 ~ 600 mm 和大于 600 mm 5 个粒级。

1.3.2 机械布点法

机械布点法是估算岩石裸露率最简单、快速实用的方法,在野外地面调查中被广泛应用。手持 1 m 长竹竿,沿 20 m × 20 m 样方边线行走,每一米点击地面,判断该点是否与石头接触,有石头计数,无石头不计数,最终统计点击到石头的样点数。每个样地共记录 36 条边线,两样地共 72 条边线。计算岩石裸露率的公式如下:

岩石裸露率 = 与石头接触的样点数 / 样点总数

1.4 数据分析

所有数据录入 Microsoft office Excel 2010,计算均值、方差和变异系数; SPSS 19 统计软件对岩石裸露率和岩石分布密度进行单因素方差分析(one-way ANOVA); Origin 9 绘制散点图。

2 结果与分析

2.1 不同岩石裸露率测量方法之间的差异

两种方法测量岩石裸露率结果显示,拍照测量方法得到的治理区和石漠化区岩石裸露率均值分别为 31.23% 和 40.08%,机械布点测量方法得到治理区和石漠化区岩石裸露率均值分别为 41.39% 和 58.75% (表 1)。通过分析两种方法测量获取的岩石裸露率散点分布图(图 3)发现,拍照测量结果更加分散。当拍照测量岩石裸露率 < 30% 时,两种方

法测量结果差异最大,但随着岩石裸露率的增加,两种方法测量结果差异逐渐减小并趋向于一致。经显著性统计检验,当拍照方法测得岩石裸露率 $>30\%$ 时,两种方法测量结果之间的差异不显著($p>0.05$);当岩石裸露率 $<30\%$ 时,两种方法测量结果之间差异显著($p<0.05$)。

拍照方法测量治理区和石漠化区岩石裸露率的变异系数分别为47.13%、47.53%(表1)。机械布点测量治理区和石漠化区岩石裸露率的变异系数分别为29.04%和29.36%。拍照测量结果的变异程度高于机械布点测量结果。通过分析拍照获取的岩石裸露率发现,在石漠化区和治理区中的岩石裸露率大小不一,分别对两个样地中岩石裸露率 $>30\%$ 和 $<30\%$ 的数据进行分析,发现不同方法测量结果变异系数有所差异。综合来看,当岩石裸露率 $>30\%$ 时的石漠化斑块,拍照方法测量结果的变异系数随着岩石裸露率的增加逐渐减小。

通过分析两种测量方法获得的岩石总裸露率随

坡位变化的趋势图(图4)发现,在治理区,两种方法测量的岩石总裸露率随坡位的变化趋势大致相同,岩石总裸露率从坡底到坡顶呈现出先上升后下降的趋势。石漠化区拍照测量岩石总裸露率从坡底到坡顶逐渐上升,机械布点测量岩石总裸露率从坡底到坡顶先上升后下降,最低值出现在坡顶。

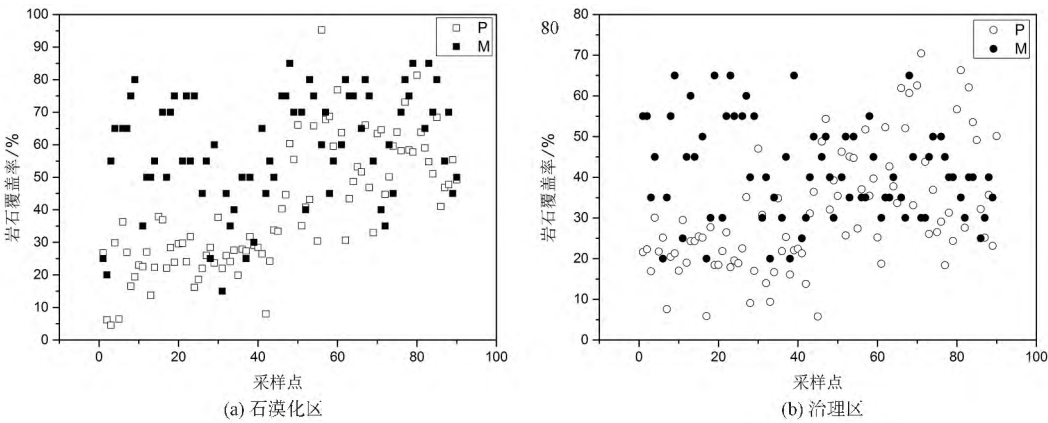
2.2 石漠化及其治理区的岩石粒径分布分析

通过拍照技术测量岩石粒径结果发现(表2),两类样地中5~20 mm粒径岩石面积占比都较小,石漠化区75~250 mm粒径岩石面积占总岩石裸露面积的33.88%,其次是250~600 mm粒径岩石,占28.48%;治理区样地中75~250 mm粒径岩石面积占总岩石裸露面积的36.65%,其次是 >600 mm粒径岩石,占32.91%。可以看出两个样地岩石的优势粒径均为75~250 mm岩石,治理区样地除75~250 mm和 >600 mm粒径岩石面积占比大于石漠化区之外,其他粒径岩石面积占比均小于石漠化区。通过对比发现,治理区样地的平均岩石粒径尺寸要

表1 两种测量方法获取的石漠化及其治理区的岩石裸露率及其变异

Tab.1 The exposed rate of rocks and its variation measured by two ways in rocky desertification area and rocky desertification anti-treatment area

样地	方法	样方数	裸露率/%	标准差/%	极小值/%	极大值/%	总变异系数/%	$<30\%$ 变异系数/%	$>30\%$ 变异系数/%
石漠化区	拍照	90	40.08	19.05	4.54	95.24	47.53	16.85	17.22
治理区	拍照	90	31.23	14.72	5.79	70.45	47.13	11.16	18.7
石漠化区	机械	72	58.75	17.25	15	85	29.36	25.87	16.97
治理区	布点	72	41.39	12.02	20	65	29.04	15.91	10.76



注: M: 机械布点测量结果, P: 拍照测量结果。

图3 石漠化区及治理区不同方法测量获取的岩石裸露率散点分布图

Fig.3 Scatter plot of rock ratio measured by two methods in rocky desertification area and rocky desertification anti-treatment area

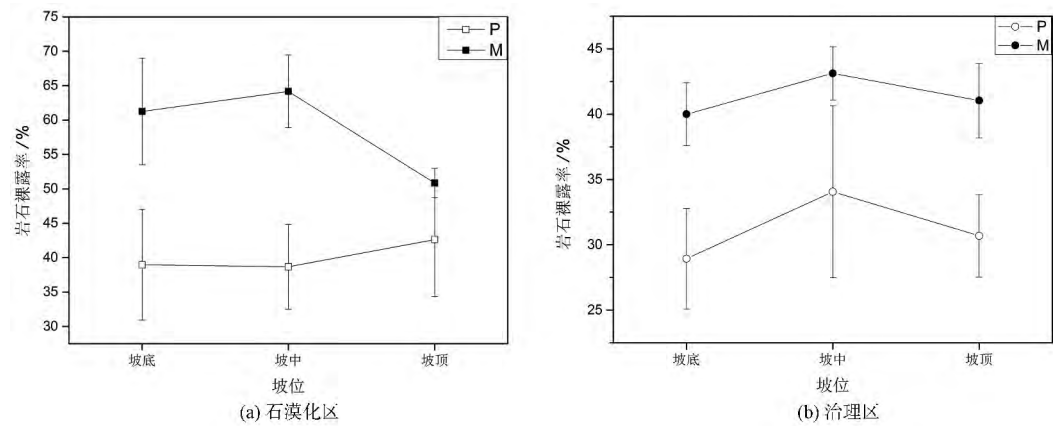


图 4 两种方法测得的石漠化区及治理区岩石裸露率随坡位变化趋势图

Fig. 4 The increase-decrease trend map of exposed rate of rocks with slope gradients measured by two ways in rocky desertification area and rocky desertification anti-treatment area

表 2 石漠化及其治理区不同粒径岩石面积占比和密度分布

Tab. 2 The distribution of rock cover percentages and rock densities in two sample sites.

样地	5 ~ 20 mm	占总 面积比	20 ~ 75 mm	占总 面积比	75 ~ 250 mm	占总 面积比	250 ~ 600 mm	占总 面积比	> 600 mm	占总 面积比	分布 密度
石漠化区	0.17 ± 0.03	0.43	5.23 ± 0.45 ^a	13.05	13.58 ± 0.75 ^a	33.88	11.42 ± 1.21 ^a	28.48	9.69 ± 1.85	24.17	111.0 ^a
治理区	0.09 ± 0.04	0.28	3.81 ± 0.36 ^b	12.19	11.45 ± 0.78 ^b	36.65	5.16 ± 0.63 ^b	16.52	10.28 ± 1.98	32.91	67.4 ^b

注: 数字后不同字母表示不同区域间差异达到显著性($p < 0.05$)。

高于石漠化区。通过方差分析检验石漠化区和治理区各粒径岩石面积占比间差异,显示 20 ~ 600 mm 粒径岩石出露面积占比在两个样地中差异最为显著($p < 0.05$)。

以地表单位面积(1 m²) 内的碎石个数表征岩石分布密度,石漠化区岩石的分布密度为 111 个/m²,显著高于治理区的 67 个/m²(表 2),石漠化区地表岩石的分布更加破碎。

3 讨论

石漠化是我国西南地区分布较为广泛的一种生态地质灾害,其等级的划分是进行石漠化治理的首要前提。岩石裸露率是石漠化等级划分的一个重要指标,它的精确度对石漠化的判定和分级具有十分重要的理论与现实意义。计算机提取岩石裸露率可以提高遥感影像的解译速度和客观性,但大尺度的 3S 技术应用和遥感解译仍离不开野外实地验证复查,用来辅助提高精度。本研究通过两种方法对石漠化及其治理区的岩石裸露率进行测定,根据喀斯特石漠化地区植被修复技术规程^[24],两种方法测量的石漠化区和治理区均已达到石漠化状态。

拍照测量获取的两个样地岩石裸露率的变异性显著高于机械布点测量结果(表 1),且数据更加分散(图 3),表明该方法更能反映样地岩石裸露率变异。在喀斯特地区,地表岩石与浅薄土层相互镶嵌导致了石沟、石缝、石洞、石坑和土面等小生境类型的多样性和斑块分布,这些小生境和土石斑块的岩石裸露程度具有不均匀性、不连续性和复杂多样性^[25],即使在同一地段,小生境的类型及其特征差异也十分明显。张忠华^[26]等人对桂林喀斯特石山阴香群落进行调查时,也证实了样地岩石裸露率的差异性。机械布点测量统计中,所获数据单一,往往忽视了岩石的细节,如岩石的粒径大小和分布密度,同时还受到样地中岩石分布均匀度、聚集度等因素的影响。拍照测量结果是地表真实生境的反映,结果的高变异性与喀斯特地区高度异质性和复杂性的生境特征更加吻合。同时,通过比较两种方法获得的总岩石裸露率随坡度的变化趋势(图 4)发现,治理区两种测量结果随坡位的变化趋势基本一致。而在石漠化区,机械布点测量结果的最低值出现在坡顶位置,与拍照测量结果不一致,判断可能是由于坡顶碎石粒径较大、碎石分布密度较小、机械布点测量击点概率偏小的原因。坡顶岩石裸露率与拍照测量

结果更加接近,也说明随着岩石裸露率增加两种方法测量结果的差异逐渐减小。拍照测量的总岩石裸露率随坡位上升逐渐增加,变化趋势更加符合石漠化陡坡地土壤侵蚀和水土流失特征。

通过比对测量结果发现,石漠化区和治理区岩石裸露率机械布点测量结果均高于拍照测量结果,可能与岩石粒径大小和岩石分布密度有关。测量发现治理区岩石粒径要大于石漠化区,且岩石分布密度要小于石漠化区。随着岩石粒径变小,分布密度变大,两种方法测量岩石裸露率也由相差 10 个百分点上升到 18 个百分点(表 1)。说明岩石密度分布和粒径大小是影响两种测量方法结果差异的主要因素。

喀斯特地区生境复杂,拍照和机械布点结果反映的石漠化程度大小不一,两种方法所获取的岩石裸露率变异范围均很大(图 3)。当拍照测量岩石裸露率 < 30% 时,两种测量结果之间的差异性显著;而当岩石裸露率 > 30% 后,两种测量结果之间的差异性不显著,且差异随着岩石裸露率的增加而逐渐减小。比对拍照测量岩石裸露率 > 30% 和 < 30% 时,两个样地不同方法测量结果的变异系数(表 1),岩石裸露率 < 30% 时,机械布点测量结果的变异系数高于拍照测量结果,> 30% 时,治理区内机械布点测量结果的变异系数低于拍照测量结果。石漠化区内机械布点测量变异系数同拍照测量结果变异系数之间的差异不大(表 1),但治理区总体岩石裸露率(32.23%)要低于石漠化区(40.08%),佐证了随着石漠化程度的增加,两种方法测量结果差异减小的趋势,因此对于岩石裸露率 > 30% 时,拍照和机械布点测量均可以满足岩石裸露率测量。

相对于机械布点测量方法,拍照测量还可以获得岩石的分布密度和粒径数据,并可利用图像处理软件分析不同岩石粒径大小和优势粒径(表 2),这对于研究当地生态水文和土壤退化具有重大意义^[27-28],也能为石漠化治理规划提供更为精细的数据。碎石覆盖度和碎石尺寸的大小影响各种水文和土壤退化过程的强度,如表面密封、渗透、蒸发、径流能量耗散和水侵蚀^[29-33],大块砾石可能会增大径流量,而小块碎石会减小径流^[34]。石漠化治理难的症结大多集中在石漠化地区的立地条件,如岩石裸露率高,地表土层浅薄缺失,土壤水分匮乏^[35]。地表岩石分布密度和粒径大小的不同,对土壤含水量和土壤侵蚀的影响存在差异,石漠化治理过程中根据

这些差异,提出相应的治理思路和具体的治理措施,从而提高石漠化治理效率。

4 结 论

采用拍照和传统机械布点两种方法,对石漠区地表岩石裸露率进行测量,得到以下结论:

(1) 相对于传统的机械布点测量方法,拍照方法的精准度更高,能反映测量区内岩石分布的高度异质性,且能同时获取岩石分布密度和岩石粒径数据。

(2) 当岩石裸露率 < 30% 时,拍照测量结果与机械布点测量方法之间的差异显著,但当岩石裸露率 > 30% 后,其测量结果与机械布点测量方法之间的差异逐渐减小。

(3) 拍照方法尺度小,也易受到地形复杂性和多样性等因素的干扰,需要多点重复,同时需要设备。因此建议在高精度要求的研究、规划项目中使用,或作为传统机械布点法、目测法的校准技术。

参考文献(References)

- [1] 沈有信,赵志猛,必胜春,等. 陆地系统中的露石及其生态作用[J]. 地球科学进展,2018,33(4):343-349 [SHEN Youxin, ZHAO Zhimeng, BI Shengchun, et al. Rock outcrop and its ecological function in terrestrial ecosystem[J]. Advances in Earth Science, 2018, 33(4):343-349]
- [2] 张文源,王百田. 贵州喀斯特石漠化分类分级探讨[J]. 南京林业大学学报,2015,39(2):148-154 [ZHANG Wenyuan, WANG Baitian. Discussion on classification and gradation of Karst rocky desertification in Guizhou Province[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2015, 39(2):148-154]
- [3] 李瑞玲,王世杰,周德全,等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J]. 地理学报,2003,58(2):314-320 [LI Ruiling, WANG Shijie, ZHOU Dequan, et al. The Correlation between rock desertification and lithology in karst area of Guizhou[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(2):314-320]
- [4] 王世杰,李阳兵. 生态建设中的喀斯特石漠化分级问题[J]. 中国岩溶,2005,24(3):192-195 [WANG Shijie, LI Yangbing. Discussion on the classification of karst rocky desertification in ecological constructions[J]. Carsologica Sinica, 2005, 24(3):192-195]
- [5] 苏维词. 喀斯特土地石漠化类型划分及其生态治理模式探讨[J]. 中国土地科学,2008,22(4):42-37 [SU Weici. Types division of karst rocky desertification and a tentative survey of its ecological treatment mode[J]. China Land Science, 2008, 22(4):32-37]
- [6] 王宇,张贵. 滇东岩溶石山地区石漠化特征及成因[J]. 地球科学进展,2003,18(6):933-938 [WANG Yu, ZHANG Gui. On the

- desertification and genesis of karst stone mountain area in east Yunnan[J]. *Advance in Earth Sciences*, 2003, **18**(6): 933 – 938]
- [7] 白晓永, 王世杰, 陈起伟, 等. 贵州土地石漠化类型时空演变过程及其评价[J]. *地理学报*, 2009, **64**(5): 609 – 618 [BAI Xiaoyong, WANG Shijie, CHEN Qiwei, et al. Spatio-temporal evolution process and its evaluation method of karst rocky desertification in Guizhou Province[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, **64**(5): 609 – 618]
- [8] 杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 等. 基于地统计学和遥感的岩溶区石漠化空间变异特征[J]. *农业工程学报*, 2012, **28**(4): 243 – 247 [YANG Qiyong, JIANG Zhongcheng, MA Zulu, et al. Spatial variability of karst rock desertification based on geostatistics and remote sensing[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, **28**(4): 243 – 247]
- [9] 孙武, 南忠仁, 李保生, 等. 荒漠化指标体系设计原则的研究[J]. *自然资源学报*, 2000, **15**(2): 160 – 163 [SUN Wu, NAN Zhongren, LI Baosheng, et al. An approach to the designing principle of desertification indicators[J]. *Journal of Natural Resources*, 2000, **15**(2): 160 – 163]
- [10] 李森, 董玉祥, 王金华. 土地石漠化概念与分级问题再探讨[J]. *中国岩溶*, 2007, **26**(4): 279 – 284 [LI Sen, DONG Yuxiang, WANG Jinhua. Re-discussion on the concept and classification of rocky desertification[J]. *Carsologica Sinica*, 2007, **26**(4): 279 – 284]
- [11] 张信宝, 王世杰, 贺秀斌, 等. 西南岩溶山地坡地石漠化分类刍议[J]. *地球与环境*, 2007, **35**(2): 188 – 192 [ZHANG Xinbao, WANG Shijie, HE Xiubin, et al. A preliminary discussion on the rocky desertification classification for slope land in karst mountain areas of southwest china[J]. *Earth And Environment*, 2007, **35**(2): 188 – 192]
- [12] 熊康宁. 喀斯特石漠化的遥感: GIS 典型研究[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 27 – 29 [XIONG Kangning. Karst rocky desertification based on 3S: GIS software with its typical applications[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 27 – 29]
- [13] 毛燕, 杨旭. 3S 技术在石漠化研究中的应用[J]. *安徽农业科学*, 2014, **6**(6): 1873 – 1874 [MAO Yan, YANG Xu. Application of 3S technology in desertification research[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, **6**(6): 1873 – 1874]
- [14] 兰安军. 基于 GIS-RS 的贵州喀斯特石漠化空间格局与演化机制研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2003: 80 – 98 [LAN Anjun. Study on spatial patterns and evolutionary mechanism of the karst rock desertification in Guizhou Province based on GIS-RS [D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2003: 80 – 98]
- [15] 赵丽苹. 基于 MODIS 数据的喀斯特地区石漠化时空演变特征研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015: 22 – 27 [ZHAO Liping. Temporal and spatial evolution characteristics of rocky desertification in karst region based on modis data [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2015: 22 – 27]
- [16] 赵银军, 曾兰, 何忠, 等. 基于多源遥感影像的喀斯特地貌景观解译及格局研究[J]. *水土保持研究*, 2017, **24**(4): 158 – 162 [ZHAO Yinjun, ZENG Lan, HE Zhong, et al. Interpretation and landscape pattern of karst landform based on multi-source remote sensing images[J]. *Research of Soil & Water Conservation*, 2017, **24**(4): 158 – 162]
- [17] 陈起伟, 熊康宁, 兰安军. 基于 3S 的贵州喀斯特石漠化遥感监测研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2014, **28**(3): 62 – 67 [CHEN Qiwei, XIONG Kangning, LAN Anjun. Monitoring studies on karst rocky desertification in Guizhou based on 3S[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014, **28**(3): 62 – 27]
- [18] 兰安军, 张百平, 熊康宁, 等. 黔西南脆弱喀斯特生态环境空间格局分析[J]. *地理研究*, 2003, **22**(6): 733 – 741 [LAN Anjun, ZHANG Baiping, XIONG Kangning, et al. Spatial pattern of the fragile karst environment in southwest Guizhou province [J]. *Geographical Research*, 2003, **22**(6): 733 – 741]
- [19] 张盼盼, 胡远满, 肖笃宁, 等. 一种基于多光谱遥感影像的喀斯特地区裸岩率的计算方法初探[J]. *遥感技术与应用*, 2010, **25**(4): 510 – 514 [ZHANG Panpan, HU Yuanman, XIAO Duning, et al. A method of the percentage of bare rock calculation in karst areas based on multi-spectrum remote sensing image[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, **25**(4): 510 – 514]
- [20] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1996: 54 – 55 [MENG Xianyu. Forest mensuration[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996: 54 – 55]
- [21] 张建军, 朱金兆. 水土保持监测指标的观测方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013: 45 – 46 [ZHANG Jianjun, ZHU Jinzhao. Observation method of soil and water conservation monitoring indicators[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2013: 45 – 46]
- [22] ZHU Yuanjun, SHAO Mingan. Spatial distribution of surface rock fragment on hill-slopes in a small catchment in wind-water erosion crisscross region of the Loess Plateau [J]. *Science in China*, 2008, **51**(6): 862 – 870
- [23] POESEN J, WESEMAEL B V, GOVERS G, et al. Patterns of rock fragment cover generated by tillage erosion [J]. *Geomorphology*, 1997, **18**(3): 183 – 197
- [24] 国家林业局. LY/T1840-2009(2010) 喀斯特石漠化地区植被修复技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009 [State Forestry of China. LY/T1840-2009 (2010) Technological standard on revegetation of rock desertification karst area, China[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009]
- [25] 张忠华, 胡刚, 倪健. 茂兰喀斯特森林群落的种间分离特征[J]. *生态学报*, 2010, **30**(9): 2235 – 2245 [ZHANG Zhonghua, HU Gang, NI Jian. Interspecific segregation of old-growth karst forests in Maolan, Southwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, **30**(9): 2235 – 2245]
- [26] 张忠华, 梁士楚, 胡刚. 桂林喀斯特石山阴香群落主要种群的种间关系[J]. *山地学报*, 2007, **25**(4): 93 – 100 [ZHANG Zhonghua, LIANG Shichu, HU Gang. Interspecific relationships among main species of Cinnamomum burmannii community on karst hills of Guilin[J]. *Mountain Research*, 2007, **25**(4): 475 – 482]
- [27] SHI Zhongjie, XU Lihong, WANG Yanhui, et al. Effect of rock fragments on macropores and water effluent in a forest soil in the

- stony mountains of the Loess Plateau , China [J]. *African Journal of Biotechnology* , 2012 , **11**(39) : 9350 – 9361
- [28] CHEN Hongsong , LIU Jianwei , WANG Kelin , et al. Spatial distribution of rock fragments on steep hillslopes in karst region of northwest Guangxi , China [J]. *Catena* , 2011 , **84**(1) : 21 – 28
- [29] FIGUEIREDO T D , POESEN J. Effects of surface rock fragment characteristics on interrill runoff and erosion of a silty loam soil [J]. *Soil & Tillage Research* , 1998 , **46**(1 – 2) : 81 – 95
- [30] GOVERS G , OOST K V , POESEN J. Responses of a semi-arid landscape to human disturbance: A simulation study of the interaction between rock fragment cover , soil erosion and land use change [J]. *Geoderma* , 2006 , **133**(1 – 2) : 19 – 31
- [31] WANG Xiaoyan , LI Zhaoxia , CAI Chongfa , et al. Effects of rock fragment cover on hydrological response and soil loss from Regosols in a semi-humid environment in South-West China [J]. *Geomorphology* , 2012 , **151 – 152**(1) : 234 – 242
- [32] ZHANG Yinghu , ZHANG Mingxiang , NIU Jianzhi , et al. Rock fragments and soil hydrological processes: Significance and progress [J]. *Catena* , 2016 , **147**: 153 – 166
- [33] ERIKSSON C P , HOLMGREN P. Estimating stone and boulder content in forest soils—evaluating the potential of surface penetration methods [J]. *Catena* , 1996 , **28**(28) : 121 – 134
- [34] YAIR A , LAVEE H. Areal contribution to runoff on scree slopes in an extreme arid environment—a simulated rainstorm experiment [J]. *Supplement band* , 1974 , 21: 106 – 121
- [35] 苏维词. 中国西南岩溶山区石漠化治理的优化模式及对策 [J]. *水土保持学报* , 2002 , **16**(5) : 24 – 27 [SU Weici. Controlling model for rocky desertification of karst mountainous region and its preventing strategy in southwest , China [J]. *Journal of Soil and Water Conservation* , 2002 , **16**(5) : 24 – 27]

Method to Measure Surface Rock Ratio in rRocky Desertification Areas

LIU Juan^{1 2} , SHEN Youxin^{1*} , ZHAO Zhimeng^{1 2} , ZHAO Gaojuan^{1 2}

(1. CAS Key Laboratory of Tropical Forest Ecology , Xishuangbanna Tropical Botanical Garden , Chinese Academy of Sciences , Kunming 650000 , China; 2. University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China)

Abstract: The rock ratio is one of the fundamental criteria in the classification of rocky desertification , and its accuracy is important to identify , classify , and determine anti-desertification treatments in rocky desertification areas. The traditional mechanical dot surveying method (TDM) , which provides only a single datum for the rock ratio , is unable to meet the increasing demand in rock desertification studies and practices in karst areas. Accordingly , a digital photographing method (DPM) was employed to determine the rock ratio and rock sizes in a rocky desertification area and in an anti-desertification treatment area in this study , and the results were compared to those with the TDM. They showed that the rock ratio of DPM was lower than was that of TDM. The difference in the rock ratio between the two methods was significant when the DPM ratio was <30% . When the DPM ratio was >30% , the difference between the two methods decreased with a increase in the DPM ratio. The DPM coefficient of variation of the rock ratio was higher than was that of TDM , indicating DPM's greater sensitivity to the rock distribution heterogeneity in karst areas. The rock density DPM determined was 111 /m² and 67.4 /m² in the rocky desertification area and the anti-desertification treatment area , respectively. The dominant rocks were 75 ~ 250 mm in size in both sites , and there was a trend in which the rocks in the treatment area were larger than those in the desertification area. Compared with TDM , which obtains a single rock ratio datum more easily and rapidly , the DPM can collect the rock ratio , as well as the rock size and density for each size group , has greater sensitivity , and identifies more details and variation in rocks to meet the requirements for rock studies and anti-desertification treatments.

Key words: karst; rocky desertification; rock ratio; measurement methods