

文章编号: 1008 - 2786 - (2020)1 - 042 - 08

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000489

蒙自喀斯特断陷盆地边坡与盆缘的露石差异性

蒋若涵^{1,2}, 沈有信^{1,2*}, 赵志猛^{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: 喀斯特露石常常占据一定比例的地表面积, 且具有许多已知或未知的水文—生态功能, 对于喀斯特地区的植被恢复和环境改善发挥着重要的作用。本实验运用样线法和拍照法识别喀斯特断陷盆地不同位置(盆缘和盆地边坡)露石的数量特征和外部形态特征, 同时比较了两种方法测量样地岩石裸露率的精准度。结果发现: 盆地边坡与盆缘的露石数量和外部特征存在显著差异, 盆缘露石分布密度(0.54 个·m⁻²) > 盆地边坡(0.39 个·m⁻²); 但盆地边坡露石的长宽比大于盆缘, 单体占地面积为盆缘露石的两倍, 接近 40% 的盆地边坡露石与山体等高线平行。样线法和拍照法测量样地岩石裸露率的结果存有差异, 但并不显著, 且这种差异呈现出随着岩石裸露率的增加而逐渐增加的趋势, 拍照测量结果具有较小的变异系数。这些结果说明了研究区露石具有较强的空间异质性, 对解释地表水土运移规律和植物分布提供重要参考。拍照法能准确地测量岩石裸露率, 并提供露石外部形态特征的精准数据, 可以作为喀斯特样地露石调查的新方法加以推广。

关键词: 喀斯特; 露石; 空间异质性; 测量方法; 蒙自

中图分类号: Q948

文献标志码: C

喀斯特是世界上广泛分布的一种地质景观类型^[1], 约占全球陆地面积的 12% ~ 15%。中国的喀斯特面积约 344 km², 其中西南地区地表喀斯特出露面积达 51 km²^[2]。在不合理的人类活动和自然因素作用下, 植被退化乃至消亡, 水土流失严重, 岩石裸露, 最终形成了连片分布的石漠化区域^[3]。通常, 将岩石裸露率大于 30% 的植被损毁的喀斯特土地定义为石漠化^[4]。由于其特殊的地表和地下二元三维结构, 石漠化区域的水土流失类型、形式、发生机制及其特点不同于非喀斯特地区^[5], 但其机理尚不清楚。

我们将高于地表的裸露碳酸盐岩称为露石, 它们在陆地生态中对土壤、水分流动、及其临近土壤的

养分富集、水分输送和异质生境构建方面发挥着重要作用^[6]。石漠化区域的露石千姿百态, 包括石面、石台、石沟、石槽、石坑及石洞等^[7-8]。露石与土壤斑块交错镶嵌, 形成类型多样的小生境和多层空间结构, 增加了水分运移过程的复杂性和水分、养分的空间异质性, 也直接影响植被的演替过程和分布格局^[9], 这些小生境类型及其组合构成了喀斯特生境的高度异质性。露石承接降水并输入临近土壤, 其形状与方位会影响露石石面上养分与有机物的分配^[10-14]。降雨过后, 喀斯特坡面地表径流夹带被侵蚀的土壤通过坡面向下冲刷经过不同坡向、坡位的露石, 影响径流的流向及流量, 进而对喀斯特坡面水土流失产生影响。露石的形状、面积、尖削程度(岩

收稿日期(Received date): 2019 - 10 - 14; 改回日期(Accepted date): 2020 - 01 - 09

基金项目(Foundation item): 国家重点研发专项课题(2016YFC0502503); 国家自然科学基金项目(41671031)。[National Key Program of China (2016YFC0502503); National Natural Science Foundation of China (41671031)]

作者简介(Biography): 蒋若涵(1995 -), 女, 云南大理人, 硕士研究生, 主要研究方向: 生态恢复。[JIANG Ruohan (1995 -), female, born in Dali, Yunnan province, M. Sc. candidate, research on ecological restoration] E-mail: jiangruohan@xtbg.ac.cn

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

石高/面积比值)以及露石对周围土壤的物理遮阴作用都会导致土壤含水量在小尺度上富集,并形成相对有利的人工恢复植被位点^[15],间接影响水土运移。尽管露石具有很多重要的生态功能,尤其对于水土流失可能具有阻控/协助意义,但截至目前,对于西南喀斯特地区广泛存在的露石的分布、格局以及露石形态的相关研究很少,尤其缺乏露石的形态、大小、角度等特征对水土流失产生影响的研究,同时也缺乏对露石特征的相关调查方法,制约了喀斯特生境与植物生长要素、生境与水土流失等相关关系的研究。

目前广泛应用于石漠化调查的遥感和地理信息技术,很难应用于微域尺度的露石研究。新的微域尺度的裸露岩石测量技术以传统机械布点为基准,应用拍照技术测量露石的长宽比、角度、面积等外部特征。相比传统机械布点法,拍照方法的精准度更高,可以反映测量区内岩石分布的高度异质性,以及可以准确地反映大小不一的露石信息,如露石的长、宽、角度、面积等详细数据^[16]。

新生代高原隆升产生的断裂活动所引起的断块差异沉降及侵蚀和溶蚀作用下^[17],云南形成了很多“盆-山”共存的喀斯特断陷盆地(图1)。单个盆地的盆地边坡(溶蚀丘峰谷地区)和边缘(侵溶蚀山区)所受的侵蚀、溶蚀、沉陷引力等的差异,可能导致地表露石格局、石漠化等的差异。因此,本实验利

用拍照法对蒙自喀斯特断陷盆地的盆地边坡和边缘的露石形态特征(如长宽比、角度和单体面积)进行识别,与样线法进行对比,研究分析野外岩石裸露率测定方法的准确度。为露石功能的深入研究提供数据支持,同时也为遥感与地理信息技术提供野外实际地形的真实数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于云南省东南部,红河哈尼族彝族自治州东部蒙自市西北勒乡(23°01′~23°34′N, 103°13′~103°49′E),海拔1284~1323 m。蒙自盆地边缘与云南高原面相连,丘峰、洼地,漏斗等地形普遍发育。西北勒乡位于蒙自盆地的南缘,辖区主要为盆地边缘,也涵盖部分边坡区域。距蒙自县城32 km,年均气温13.6℃,年均日照1722 h,有效光时874.8 h。年均降雨900~1000 mm,干季(10月—翌年4月)降水稀少,湿季(5月—10月)降水充沛,属南亚热带季风气候。境内地形破碎,石山纵横,露石占地面积大,石漠化现象突出;岩石溶蚀严重,土地贫瘠,水资源奇缺;可用耕地面积小,土壤层稀薄,坡度较高,渗透性强。

为比较断陷盆地边坡与盆缘(图1)的喀斯特石漠化迹地的露石特征差异,于西北勒乡的两个相邻

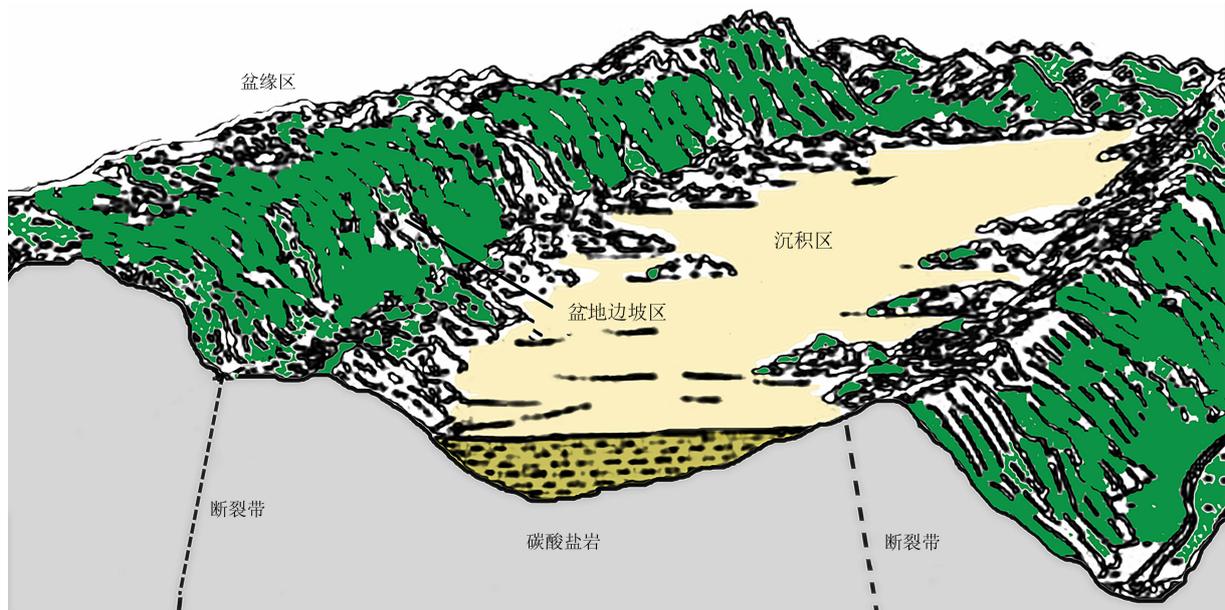


图1 云南省蒙自市断陷盆地分区示意图(根据王宇等^[17]修改)

Fig. 1 Schematic diagram of zones of karst fault - depression basin in Mengzi, China (after Wang et al. ^[17])

村选择试验样地,代表盆缘和边坡,其中盆缘样地位于西北勒村(23°27′ 08″N, 103°27′ 11″E),盆地边坡位于朵古村(23°27′ 47″N, 103°26′ 54″E)。研究区选择的盆地边坡盆缘石漠化明显,水土流失严重。

1.2 野外样地设置

2019年5月,于盆缘区与盆地边坡区顺坡向各设置三条样带,在每条样带内由上至下设置五条10 m长的垂直于样带的样线,样带内各样线的间距尽量保持相同。

1.3 露石测量

1.3.1 样线法

沿样线逐个识别露石编号,测量其与样线重合的长度,其累加长度与样线长度的比值作为样线法测量的岩石裸露率^[18]。

1.3.2 拍照法

使用相机于2.5 m高度对各样线垂直拍照,样线刻度(10 m长)作为地面矫正标尺。每样线分为三次拍照,使用Photoshop将三张照片合为一张完整的10 m样线内露石分布图片,其长度为1000 cm,宽度为100 cm,总面积为100 000 cm²。识别样线区域内的露石,编号并描边,利用Image J软件计算露石的长(单体露石最长距离)、宽(与露石长垂直的最短距离)、与等高线角度以及占地面积,计算样线上露石的面积总和占样线面积的比例代表该区域内岩石裸露率。

1.4 数据分析

将所有数据录入WPS表格中,计算各露石参数均值、极大值、极小值、方差和变异系数;通过origin



图2 10 m长样线图:(b)盆缘区;(a)盆地边坡区

Fig.2 Example of ten-meter long sample line

(a) slope of fault-depression basin;

(b) margin of fault-depression basin

软件绘制散点图、柱形图对比不同坡位岩石分布的状况以及岩石的形态,露石的各个性状的主要分布范围,分析露石分布规律;通过spss软件配对 t 检验判别两种岩石裸露率的测量方法之间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 露石主要形态差异

2.1.1 露石数量与长宽比

盆缘所取样地内的露石总数为161个,盆地边坡样地内的露石数为118个。盆地边坡的长宽比平均值略大于盆缘,但二者相差不大(图3a)。盆缘与盆地边坡过半的露石,长宽比均分布在1~3范围内,样地露石的形状大部分较为均匀,但盆地边坡处分布有一些长宽比较大的露石,其最大的长宽比值接近15(图3b)。

2.1.2 露石角度

两样地内,露石与等高线的夹角具有显著差异,其平均值表现为盆缘大于盆地边坡(图4a)。在盆

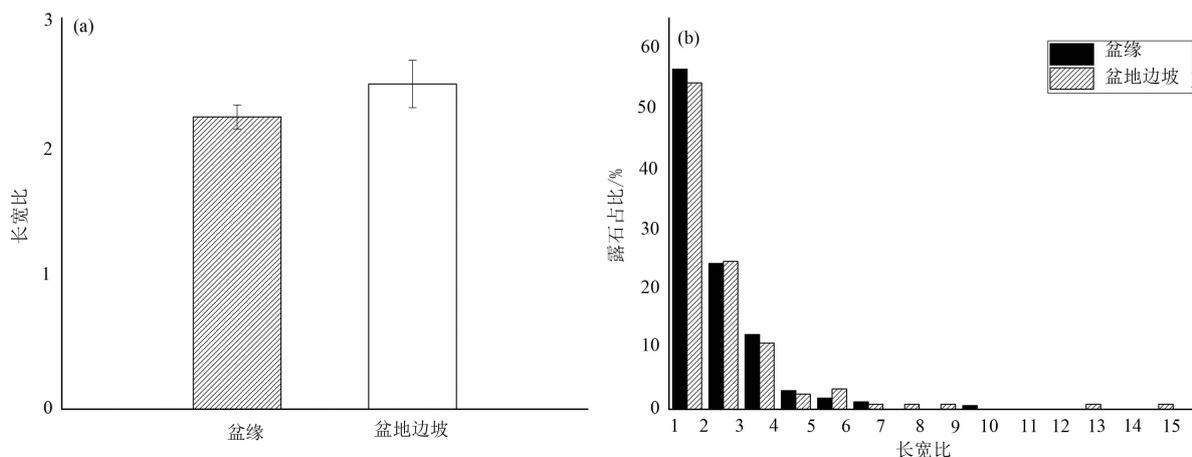


图3 盆缘与盆地边坡露石长宽比:(a)两样地露石长宽比均值;(b)两样地露石长宽比分布范围

Fig.3 Length-width ratio of rock outcrops at the margin and on slope of faulted basin

(a) mean ratio of length-width of outcrops in two plots; (b) ratio of length-width distribution range of outcrops

地边坡处,较大部分的露石呈与等高线平行或角度较小的分布状态($0^{\circ} \sim 20^{\circ}$,图 4b),其比例达到 41%;盆缘处的露石,在 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 范围内均有分布,但其分布于较高角度范围内的露石数量显著多于盆地边坡。如果将夹角 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 范围的露石归类为“横向”分布、 $21^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 归类为“斜向”分布 $> 70^{\circ}$ 的归类为“纵向”分布,则盆地边坡处的横向、斜向、纵向的比例分别为 41%、46%、13%,盆缘处的比例为 23%、53%、24%。

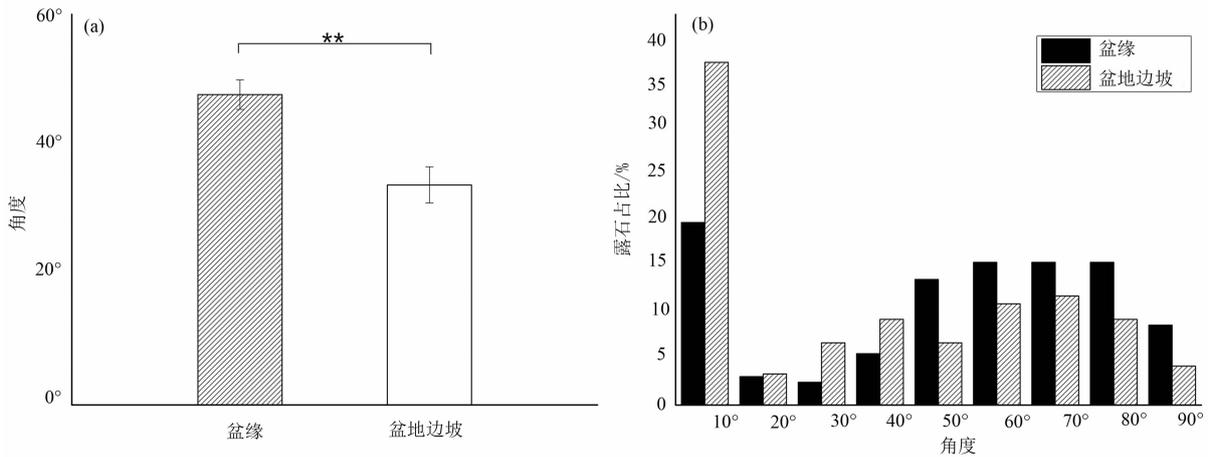
2.1.3 露石单体面积

分布在盆地边坡的露石的单体面积显著大于盆缘处的露石(图 5)。盆缘露石面积的跨度较小,并未出现面积大于 1.60 m^2 的露石,盆缘露石超过

70% 集中分布于 $0 \sim 4 \text{ m}^2$ 范围内,面积在 $0 \sim 0.2 \text{ m}^2$ 范围内的露石比例极高;盆地边坡内,面积在 $0 \sim 0.4 \text{ m}^2$ 范围内的露石近 50% ,最大的露石面积达到了 4.3 m^2 ,远超出了盆缘样地内的最大露石面积。

2.2 岩石裸露率测量方法比较

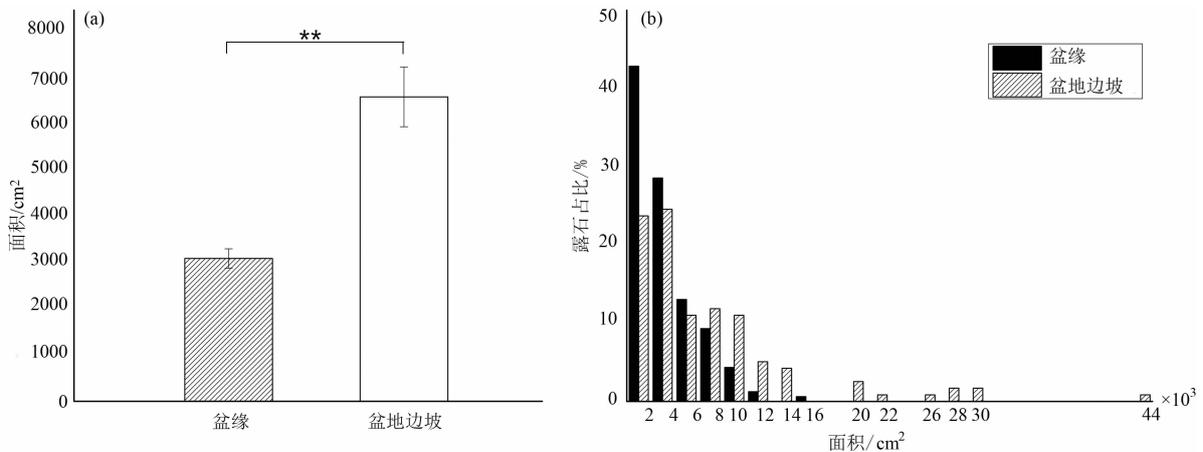
样线法与拍照法获得的两个样地内各样线的露石占比变异较大,不呈明显规律(图 6)。两种方法所获得的盆缘处岩石裸露率均值分别为 36.42% 与 33.31% ,盆地边坡处分别为 56.87% 与 52.05% (表 1)。不论是样线法或拍照法,盆地边坡岩石裸露率都高出了盆缘近 20% ,且盆地边坡处所获样线的岩石裸露率的极小值都已超出了 30% 的界定值,说明盆地边坡石漠化已达到较为严重状态。



注: ** $p < 0.01$ 。

图 4 盆缘与盆地边坡露石角度:(a)两样地露石角度均值;(b)两样地露石角度分布范围

Fig. 4 Angle of the margin and slope of faulted basin rock outcrops; (a) mean angle of two plots; (b) the angle distribution range



注: ** $p < 0.01$ 。

图 5 盆缘与盆地边坡露石面积:(a)两样地露石面积均值;(b)两样地露石面积分布范围

Fig. 5 Area of the margin and slope of faulted basin rock outcrops; (a) mean area of outcrops in two plot; (b) area distribution range of outcrops

表1 两种测量方法获取的盆地边坡与盆缘的岩石裸露率及其变异

Tab.1 Exposed rate of rocks and its variation measured by two ways
in the margin and slope of faulted basin

方法	样地	样方数	裸露率/%	标准差	极小值/%	极大值/%	变异系数/%	<30% 变异系数/%	>30% 变异系数/%
样线法	盆缘	15	36.42	15.24	19.10	68.05	41.85	15.40	28.27
	盆地边坡	15	56.87	12.26	35.11	79.27	21.56		21.56
拍照法	盆缘	15	33.30	10.80	20.07	54.64	32.44	16.18	19.96
	盆地边坡	15	52.05	7.28	39.89	61.89	13.91		13.91

虽然样线法获得的岩石裸露率的值大部分大于拍照法所得,但方差分析表明两种方法间的差异不显著。样线法获得的变异系数大于拍照法,但当岩石裸露率小于30%时,样线法所获的变异系数小于拍照法,综合来看,随着岩石裸露率增加,两种方法的变异系数随之逐渐增大。

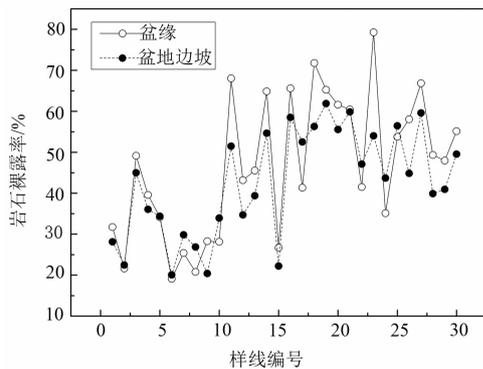


图6 两种方法获取的岩石裸露率散点图

Fig.6 Scatter plots of rock exposure rate obtained by two ways

3 讨论

喀斯特景观占据10%~15%的大陆面积,在陆地生态系统中具有不可或缺的地位。露石作为喀斯特地区最基本的地表构成元素,在生态系统中的水、土等物质转运和分配过程中发挥着举足轻重的作用。喀斯特生态系统及其露石格局具有极强的空间异质性,因此关于露石的地理分布规律(如分布密度和裸露率)以及外部形态特征(如长宽比、角度、单体面积)的调查,是进一步研究其生态功能的重要前提,同时也具有十分重要的理论与现实意义。

位于盆缘和盆地边坡两个样地之间露石存在显著差异。盆缘的露石分布密度大于盆地边坡,但其单体面积显著小于盆地边坡露石;盆缘露石以碎小

者居多,单体面积不大于 1.5 m^2 ,而盆地边坡位置则以单体较大的露石为主,拍照法观察到最大的单体面积可达 4.3 m^2 ;较高比例的盆缘和盆地边坡露石与山体等高线的角度均为 0° ,即平行于等高线;其长宽比大部分分布于1~3之间,部分盆地边坡露石的长宽比达到了13甚至15,说明盆地边坡位置的露石具有明显的横向长度。盆地边坡与盆缘样地分别位于断陷盆地的溶蚀丘峰谷地和侵溶蚀山地^[21],两个样地所处的空间位置决定了其在水土运移、碳酸盐岩差异化溶蚀、地表溶蚀外营力(水)等的差异。

自Poesen等在1994年对土壤岩石给出定义和测定方法后,大量学者开展了对土壤表层岩石的空间分布与运动、土壤的碎石对不同空间尺度土壤侵蚀影响的广泛研究^[19-20],发现土壤岩石对土壤的保水与渗水功能,对土壤有效的供水作用等产生影响^[21]。喀斯特地表的露石也受到了很多关注,李小雁^[22]等将半干旱地中海气候下的西班牙东南部的露石分为小尺度碎石(5~20 mm)和大尺度碎石(250~600 mm),陈洪松^[23]等将广西喀斯特露石分为小碎石(5~20 mm)和大碎石(75~600 mm)。我们在研究中发现,云南断陷盆地区的露石的长宽比变异较大(图3b),露石占地面积变异也大(图5b)。因此,地表露石是非规则分布的,单一的径向测量未必能很好地反映露石的大小,更难将其作为一个指标去分析露石对生态系统的水、矿质元素等的影响。经过检验,拍照法能获取与传统的测量方法近似的露石比例(图6),更新传统的露石研究中的简单的径向测量方法,采用能计算面积的拍照法更能深入揭示露石的形态特征,为分析露石的生态功能提供更多科学数据。

地表和表土内部的岩石对各种水文和地貌过程

的强度有很大影响^[23]。土壤侵蚀在重力势的驱动下,强度表现为沿坡向下逐渐增大,且这种趋势在雨季更为明显^[24],当喀斯特坡面地表径流夹带被侵蚀的土壤经过坡面顺坡向、横坡向露石的时候,露石对坡面上的水、土的移动将产生不同的阻力或协助力,顺坡向露石为地表径流及其夹带的侵蚀土壤提供向下漏失的通道,横坡向露石对其产生阻碍作用,降低其强度、减少其漏失流量,斜坡向的露石也会根据不同的角度对水土流失产生一定的协助/阻控作用;喀斯特地区的水土流失虽然已开展不少研究并已经取得大量成果,但部分研究结果仍然存在差异性^[25-26],对于露石角度的忽略可能是不同研究区域研究结果存在差异的原因之一。本研究对断陷盆地露石的角度进行调查,为喀斯特坡面水土运移的研究提供新的方向,为喀斯特坡面水土流失阻控技术提供理论基础。

断陷盆地露石格局的差异性及其坡位变异,为我们深入认识断陷盆地的地表特征,揭示露石格局下的地表水土运移差异,讨论露石对地表植物群落的形成、维持机制提供基础的科学数据。同时,这些特征的识别,还将为我们制定农业、工程、石漠化治理规划提供科学依据,更能为我们实施石漠化治理、水土流失防治措施提供技术基础。但是,蒙自盆地面积为 1767 km²^[17],本研究仅在盆地两个关键部位各选择了一个样地,所获得的结果有待在更多样点得到验证。

4 结论

对云南蒙自喀斯特断陷盆地边坡和盆缘的露石外部特征识别后,得到以下结论:

(1) 盆地边坡、盆缘的露石分布密度、长宽比、角度以及单体占地面积,均表现出明显的空间异质性特征,对解释地表水土运移规律和植物分布提供重要参考;

(2) 盆缘的露石分布密度(0.54 个/m²) > 盆地边坡(0.39 个/m²),盆缘的岩石裸露率与盆地边坡的岩石裸露率均大于 30%,且盆地边坡的岩石裸露率远高于盆缘,盆地边坡已经达到了中度石漠化程度;

(3) 拍照法与经典的样线法得到的岩石裸露率结果差异不显著。但这种差异有随着岩石裸露率的

增加而逐渐增加的趋势。鉴于拍照法能获取更多的露石特征,建议该方法用于喀斯特露石地表特征以及石漠化发育程度的定量分析。

参考文献(References)

- [1] 赵志猛,沈有信,朱习爱. 西南岩溶地区土壤水分研究进展[J]. 湖北农业科学,2017,56(19):3603-3609. [ZHAO Zhimeng, SHEN Youxin, ZHU Xia. Research progress of soil moisture in karst areas of southwest China [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017, 56(19):3603-3609]
- [2] 苏维词,杨华,李晴,等. 我国西南喀斯特山区土地石漠化成因及防治[J]. 土壤通报,2006,37(3):33-37. [SU Weici, YANG Hua, LI Qing, et al. Rocky land desertification and its controlling measurements in the karst mountainous region, southwest of China [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2006,37(3):33-37]
- [3] 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]. Advances in Earth Sciences, 2003, 18(6):933-938]
- [4] 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]
- [5] 张志才,陈喜,石朋,等. 贵州喀斯特峰丛山体土壤水分分布特征及其影响因素[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(5):803-807. [ZHANG Zhicai, CHEN Xi, SHI Peng, et al. Influences of rock on soil moisture distribution in the karst cluster-peach mountains [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, 17(5):803-807]
- [6] 沈有信,赵志猛,毕胜春,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]
- [7] 周游游,黎树式,黄天放. 我国喀斯特森林生态系统的特征及其保护利用—以西南地区茂兰、木论、弄岗典型喀斯特森林区为例[J]. 广西师范学院学报(自然科学版),2003,20(3):1-7. [ZHOU Youyou, LI Shushi, HUANG Tianfang. Features of karst forest ecosystem in China and its conservation in utilisation—a case study on Maolan, Mulun, Nonggang typical karst forests in Southwest China [J]. Journal of Guangxi Teachers College Natural (Science Edition), 2003, 20(3):1-7]
- [8] 李阳兵,王世杰,李瑞玲. 不同地质背景下岩溶生态系统的自然特征差异—以茂兰和花江为例[J]. 地球与环境,2004,32(1):9-16. [LI Yangbin, WANG Shijie, LI Ruiling. Differences in

- natural characteristics for karst ecosystems under different geological backgrounds as exemplified by Maolan and Huajiang ecosystems. *Geology-Geochemistry*, 2004, **32**(1):9-16]
- [9] 陈洪松, 聂云鹏, 王克林. 岩溶山区水分时空异质性及植物适应机理研究进展[J]. *生态学报*, 2013, **33**(2):317-326. [CHEN Hongsong, NIE Yunpeng, WANG Kelin. Spatio-temporal heterogeneity of water and plant adaptation mechanisms in karst regions: a review [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **33**(2):317-326]
- [10] 田彪, 丁明虎, 孙维君, 等. 大气 CO 研究进展[J]. *地科学进展*, 2017, **32**(1):34-43. [TIAN Biao, DING Minghu, SUN Weijun, et al. Research progress of atmospheric carbon monoxide [J]. *Advances in earth science*, 2017, **32**(1):34-43]
- [11] 王电杰, 沈有信, 黄金. 石林 3 种喀斯特生态系统的石面有机质和养分含量[J]. *山地学报*, 2015, **33**(1):16-24. [WANG Dianjie, SHEN Youxin, HUANG Jin. Epilithic organic matter and nutrient contents in three different karst ecosystems [J]. *Mountain Research*, 2015, **33**(1):16-24]
- [12] SHEN Jianlin, LI Yong, LIU Xuejun, et al. Atmospheric dry and wet nitrogen deposition on three contrasting land use types of an agricultural catchment in subtropical central China [J]. *Atmospheric Environment*, 2013, **67**:415-424.
- [13] KIDRON G J, STARINSKY A. Chemical composition of dew and rain in an extreme desert (Negev): Cobbles serve as sink for nutrients [J]. *Journal of Hydrology*, 2012, **420**:284-291.
- [14] LI Sheng, REN Huadong, XUE Liang, et al. Influence of bare rocks on surrounding soil moisture in the karst rocky desertification regions under drought conditions [J]. *Catena*, 2014, **116**(3):157-162.
- [15] 李生, 任华东, 姚小华. 西南喀斯特石漠化地区旱季土壤水分对裸岩的响应[J]. *生态学杂志*, 2012, **31**(12):3174-3178. [LI Sheng, REN Huadong, YAO Xiaohua. Responses of soil moisture to bare rocks in Karst rock desertification region of Southwest China during dry season [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, **31**(12):3174-3178]
- [16] 刘娟, 沈有信, 赵志猛, 等. 一种石漠区地表岩石裸露率测量方法[J]. *山地学报*, 2018, **36**(6):973-980. [LIU Juan, SHEN Youxin, ZHAO Zhimeng, et al. Method to measure surface rock ratio in Rocky desertification areas [J]. *Mountain Research*, 2018, **36**(6):973-980]
- [17] 王宇, 张华, 张贵, 等. 喀斯特断陷盆地环境地质分区及功能[J]. *中国岩溶*, 2017, **36**(3):283-295. [WANG Yu, ZHANG Hua, ZHANG Gui, et al. Zoniong of environmental geology and functions in karst fault-depression basins [J]. *Carsologica Sinica*, 2017, **36**(3):283-295]
- [18] 林琳, 刘学录. 基于样线法的景观异质性的尺度效应研究—以甘肃省临夏市为例[J]. *甘肃农业大学学报*, 2018, **53**(1):144-151. [LIN Lin, LIU Xuelu. Scale effect of landscape heterogeneity based on line transect method - a case study on Linxia city of Gansu Province [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2018, **53**(1):144-151]
- [19] POESEN J, LAVEE H. Rock fragments in top soils: significance and processes [J]. *Catena*, 1994, **23**(1-2):1-28.
- [20] POESEN J W, TORRI D, BUNTE K. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review [J]. *Catena*, 1994, **23**(1-2):141-166.
- [21] COUSIN I, NICOUILLAUD B, COUTADEUR C. Influence of rock fragments on the water retention and water percolation in a calcareous soil [J]. *Catena*, 2003, **53**(2):97-114.
- [22] LI Xiaoyan, CONTRERAS S, SOLE-BENET A. Spatial distribution of rock fragments in dolines: a case study in a semiarid Mediterranean mountain-range (Sierra de Gádor, SE Spain) [J]. *Catena*, 2007, **70**(3), 366-374.
- [23] 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**(1-2):0-28.
- [24] 贾金田, 付智勇, 陈洪松, 等. 喀斯特坡地基岩起伏对土壤剖面水分格局的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, **27**(6):1708-1714. [JIA JinTian, FU Zhiyong, CHEN Hongsong, et al. Effect of irregular bedrock topography on the soil profile pattern of water content in a Karst hillslope. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, **27**(6):1708-1714]
- [25] 彭韬, 王世杰, 张信宝, 等. 喀斯特坡地地表径流系数监测初报[J]. *地球与环境*, 2008, **36**(2):125-129. [PENG Tao, WANG Shijie, ZHANG Xinbao, et al. Results of preliminary monitoring of surface runoff coefficients for karst slope [J]. *Earth and Environment*, 2008, **36**(2):125-129]
- [26] 蒋忠诚, 罗为群, 邓艳, 等. 岩溶峰丛洼地水土漏失及防治研究[J]. *地球学报*, 2014, **35**(5):535-542. [JIANG Zhongcheng, LUO Weiqun, DENG Yan, et al. The leakage of water and soil in the karst peak cluster depression and its prevention and treatment [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2014, **35**(5):535-542]

Differences Between Slope and Margin Rock Outcrop Characteristics in the Karst Fault-Depression Basin in Mengzi, China

JIANG Ruohan^{1,2}, SHEN Youxin^{1,2*}, ZHAO Zhimeng^{1,2}

(1. 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: Karst is a widely distributed geological landscape type in the world, accounting for about 12% ~ 15% of the global land area. Rock outcrops are a common feature of karst landscapes and they drive a number of key hydrologic and ecological functions, including vegetation restoration and environmental improvement; however, there are few studies of the surface distribution and spatial heterogeneity of these features in karst areas. Therefore, the distribution density and external morphological characteristics (length-to-width ratio, angle, and area) of rock outcrops in faulted basin slope (FBS) and fault basin margin (FBM) karst landscape in Mengzi, China, were quantified by lines-plot (spline) and photographic methods; also the measurement accuracy was compared by the two methods. The results showed that there were differences in the quantity and external characteristics of rock outcrops between FBS and FBM; distribution density of rock outcrops was greater in FBM (0.54 per sq m) than in FBS (0.39 per sq m), whereas in FBS, length-width ratio of rock outcrops was greater than in FBM and area of single outcrops was twice as large than in FBM. Nearly 40% of rock outcrops in FBS ran parallel to mountain contour lines. There were no differences in measurements made by spline and photographic methods and the photographic measurements had smaller coefficient of variation. The result of both methods indicated spatial heterogeneity of the rock outcrops in the study area. There was evidence that any slight and non-significant differences between the measurement methods may increase with greater rates of rock exposure. The photographic method, which accurately measured rock exposure rate and external morphological characteristics of exposed rock, may be promoted as a new method for the measurement of rock outcrops in karst landscapes, and it may be used to provide reference material for the interpretation of theoretical soil and water migration dynamics and associated plant distribution.

Key words: karst; rock outcrops; spatial heterogeneity; method of measurement; Mengzi