

桂西南喀斯特石漠化山地土壤理化性质和 潺槁木姜子叶片性状的微地形分异特征

吕仕洪^{1,①}, 李象钦¹, 白坤栋², 潘玉梅¹, 唐赛春¹, 邓丽丽¹, 曾丹娟¹

(1. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室, 广西 桂林 541006;

2. 广西师范大学生命科学学院 广西漓江流域景观资源保育与可持续利用重点实验室, 广西 桂林 541006)

摘要:以广西平果市龙何喀斯特生态重建示范区为背景,比较其自然封育区不同类型微地形的形态特征、土壤理化性质及潺槁木姜子 [*Litsea glutinosa* (Lour.) C. B. Rob.] 叶片性状。结果表明:桂西南喀斯特石漠化山地微地形主要有石面、土面、石沟、石窝和石缝 5 种类型,面积占比的平均值分别为 59.3%、24.1%、9.6%、6.3% 和 0.7%;同一类型不同单元的长度、宽度和面积变异较大。石沟、石窝和石缝的土壤含水量显著 ($P < 0.05$) 高于土面和石面;土面土壤容重显著大于石窝和石沟,最大持水量、田间持水量、毛管持水量、毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度显著小于石窝和石沟,pH 值及有机质、全 N、全 P、全 K、全 Ca 和全 Mg 含量均最低;石缝土壤 pH 值及有机质、全 P、全 Ca 和全 Mg 含量最高,石面土壤全 N 和全 K 含量最高。石沟中潺槁木姜子单叶面积和单叶干质量显著大于土面、石窝和石缝,石缝中潺槁木姜子比叶质量显著大于石窝和石沟,土面中潺槁木姜子叶片全 C 和全 Mg 含量最高,石沟中潺槁木姜子叶片全 N、全 P、全 K 和全 Ca 含量最高。综合分析结果显示:受不同类型微地形的形态结构和土壤组成的影响,桂西南喀斯特石漠化山地的土壤理化性质和潺槁木姜子叶片性状具有较为明显的微地形分异特征,在该区植被修复中,应根据不同类型微地形的土壤环境特点有针对性地采取自然封育和人工促进修复等措施。

关键词:微地形;土壤理化性质;潺槁木姜子;叶片性状;喀斯特石漠化山地;桂西南

中图分类号: Q948.114; X171.4 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2022)03-0011-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2022.03.02

Microtopographic differentiation characteristics of soil physicochemical properties and leaf traits of *Litsea glutinosa* in karst rocky desertification mountain of southwestern Guangxi LYU Shihong^{1,①}, LI Xiangqin¹, BAI Kundong², PAN Yumei¹, TANG Saichun¹, DENG Lili¹, ZENG Danjuan¹ (1. Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Landscape Resources Conservation and Sustainable Utilization in Lijiang River Basin, College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541006, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2022, 31(3): 11-17

Abstract: Taking Longhe Karst Ecological Reconstruction Demonstration Zone in Pingguo City of Guangxi as background, morphological characteristics, soil physicochemical properties and leaf traits of *Litsea glutinosa* (Lour.) C. B. Rob. in different types of microtopography in its natural sealing area were compared. The results show that there are five types of microtopography namely stony surface, soil surface, stony ditch, stony nest, and stony crevice in karst rocky desertification mountain of southwestern Guangxi, and their mean percentages of area are 59.3%, 24.1%, 9.6%, 6.3%, and 0.7% respectively; the variations of length, width, and area of different units of the same type are relatively large. Moisture

收稿日期: 2021-11-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31860174); 广西自然科学基金项目(2018GXNSFAA281112)

作者简介: 吕仕洪(1967—),男,广西玉林人,本科,副研究员,主要从事植物资源利用与恢复生态学方面的研究。

①通信作者 E-mail: lshh@gxib.cn

引用格式: 吕仕洪, 李象钦, 白坤栋, 等. 桂西南喀斯特石漠化山地土壤理化性质和潺槁木姜子叶片性状的微地形分异特征[J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(3): 11-17.

contents in soil of stony ditch, stony nest, and stony crevice are significantly ($P < 0.05$) higher than those of soil surface and stony surface; soil bulk density of soil surface is significantly larger than those of stony nest and stony ditch, while its maximum moisture capacity, field moisture capacity, capillary moisture capacity, capillary porosity, noncapillary porosity, and total porosity are significantly smaller than those of stony nest and stony ditch, and its pH value and contents of organic matter, total N, total P, total K, total Ca, and total Mg are all the lowest; pH value and contents of organic matter, total P, total Ca, and total Mg in soil of stony crevice are the highest, and contents of total N and total K in soil of stony surface are the highest. Single leaf area and single leaf dry mass of *L. glutinosa* in stony ditch are significantly larger than those in soil surface, stony nest, and stony crevice, specific leaf mass of *L. glutinosa* in stony crevice is significantly larger than those in stony nest and stony ditch, contents of total C and total Mg in leaf of *L. glutinosa* in soil surface are the highest, and contents of total N, total P, total K, and total Ca in leaf of *L. glutinosa* are the highest in stony ditch. The comprehensive analysis result shows that soil physicochemical properties and leaf traits of *L. glutinosa* in karst rocky desertification mountain of southwestern Guangxi have evident microtopographic differentiation patterns affected by the morphological structure and soil composition of different types of microtopography, and natural sealing and artificial promoting restoration measures should be taken accordingly based on the soil environmental characteristics of different types of microtopography in the vegetation restoration of this area.

Key words: microtopography; soil physicochemical property; *Litsea glutinosa* (Lour.) C. B. Rob.; leaf trait; karst rocky desertification mountain; southwestern Guangxi

微地形 (microtopography) 又称微地貌, 是指较小尺度 (空间尺度一般在 0~1 m 范围内) 的地形变化^[1-4]。在较小尺度范围内, 微地形对局部环境的物理、化学和生物等过程能够产生一定的影响, 如土壤含水量^[5-7]、土壤理化性质^[8-12]、土壤种子库^[13, 14]、幼苗定居^[15-17]和植物功能性状^[18-20]等, 从而对植物生长和植物群落的发展起到一些重要作用^[21-23]。南方喀斯特石漠化区及其他喀斯特山区的地表存在多种可明显区分且具有不同生态有效性的微地形^{[8, 10], [24]52-58}, 他们是这些区域环境高度异质性和影响植被修复效果的重要因子。迄今为止, 朱守谦等^{[24]53-61}对黔中喀斯特区的调查和研究发现, 不同微地形间立地微环境和植物种类存在差异; 刘方等^[8]的研究结果显示: 喀斯特森林生态系统中不同微地形间的土壤分布和土壤理化性质存在明显的水平空间变异; 程富东等^[10]对喀斯特区坡耕地的研究表明: 不同微地形间土壤有机质、全 N、全 P 和全 K 含量等差异明显; 杜雪莲等^[18]研究了喀斯特石漠化区不同微地形中火棘 [*Pyracantha fortuneana* (Maxim.) Li] 和竹叶花椒 (*Zanthoxylum armatum* DC.) 等 5 种灌木叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值特征等, 这些研究从不同角度反映出微地形对喀斯特区土壤和植物能够产生较为明显的影响。

潺槁木姜子 [*Litsea glutinosa* (Lour.) C. B. Rob.] 为常绿乔木或小乔木, 属偏阳性树种, 耐干旱瘠薄, 是

桂西南喀斯特山区乡土先锋群落常见种或优势种^[25], 也是该区极度退化植被自然恢复群落的重要建群种。在桂西南喀斯特石漠化区, 植被修复是其生态环境治理的基础和关键, 而植被修复效果则取决于潺槁木姜子等常见种或优势种的生长状况。对亟需植被修复的桂西南喀斯特石漠化区而言, 土壤状况 (包括土层厚度和土壤理化性质) 对植物生长和植被修复效果至关重要, 植物叶片性状又与土壤微环境和植物生长状况密切相关, 但目前对土壤理化性质和植物叶片性状与微地形的内在关系尚不明晰。

鉴于此, 为探讨桂西南喀斯特石漠化山地不同微地形土壤理化性质和植物叶片性状特征, 本文以广西平果市龙何喀斯特生态重建示范区 (简称龙何示范区) 为背景, 研究其自然封育区 (自然坡地) 不同微地形的土壤理化性质和优势植物潺槁木姜子的叶片性状, 探究微地形对土壤理化性质和潺槁木姜子叶片性状的影响, 为该区域植被修复策略的制定提供参考。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

龙何示范区始建于 2001 年, 位于广西平果市南部, 以果化镇布尧村龙何屯 (东经 107°23'20"、北纬 23°23'04") 为中心, 属较典型的峰丛洼地区, 山地面积占土地总面积 85% 以上。洼地海拔 200~400 m, 石

峰海拔 300~550 m,山顶与山脚高差 50~250 m,山体坡度多在 25°以上。龙何示范区毗邻右江河谷,处在南亚热带季风气候区,热量充足,降水丰沛,但干湿季明显。该区域年均气温 19.1 ℃~22.0 ℃,极端高温 38.8 ℃,极端低温-1.3 ℃,≥10 ℃年积温 7 465.6 ℃,年降水量 1 369.9 mm,5月至8月的降水量约占年降水量的 70%,9月至翌年4月的降水量约占年降水量的 30%,春旱和秋旱比较普遍和严重。目前,经过近 20 年的自然封育和人工造林^[26],龙何示范区山地(包括自然封育区和人工造林区)植被发生了较明显的变化,植被以灌丛和乔木林为主,群落高度 2.5~7.0 m,植被盖度超过 85%,常见种类有潺槁木姜子、皱叶雀梅藤(*Sageretia rugosa* Hance)、浆果楝[*Cipadessa baccifera* (Roth.) Miq.]、龙须藤[*Bauhinia championii* (Benth.) Benth.]、黄荆(*Vitex negundo* var. *negundo* Linn.)、红背山麻杆[*Alchornea trewioides* var. *trewioides* (Benth.) Muell. Arg.]、类芦[*Neyraudia reynaudiana* (Kunth) Keng ex Hitchc.]、五节芒[*Miscanthus floridulus* (Lab.) Warb. ex Schum. et Laut.]、蔓生莠竹[*Microstegium fasciculatum* (Linn.) Henrard]、鬼针草(*Bidens pilosa* Linn.)和飞机草[*Chromolaena odorata* (Linn.) R. M. King et H. Rob.]等。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查及取样

1.2.1.1 样方设置与微地形划分 2020年9月,在龙何示范区弄怀、弄井、弄烈、龙何上和康乐等自然封育区内,分别选择坡向、坡位和植被类型等相同或相近的地段,各设置1个面积10 m×10 m的样方,参考朱守谦等^{[24]53-54}、刘方等^[8]和程富东等^[10]的方法并结合样地实际情况,将样地内的微地形划分为5种类型:1)土面,表面土覆盖比较均匀、土壤层次发育相对完整的小块平地或缓斜地;2)石窝,由若干块裸岩围成相对封闭、形状与大小不一、有土被覆盖的环状或多边形凹槽;3)石沟,由露出岩石围成、横断面为“U”形、有1个或数个缺口并有土被覆盖的沟状凹槽;4)石缝,由大块裸岩崩裂形成的或者位于2块较大裸岩之间、横断面为“V”形、有土或无土覆盖的条状或狭长型裂隙;5)石面,部分露出或完全露出基岩的岩石表面,表面光滑或凹凸不平且分布着大小不一的凹槽和裂隙。除石面外,逐一记录各样方内每个微地形单元的类型,用钢卷尺(精度0.1 cm)测量其长

度和宽度(各测定2或3次,结果取平均值),据此计算各微地形单元面积及各微地形类型的面积占比(某一类型微地形单元面积之和占样方面积的百分比),每个样方总面积减去土面、石窝、石沟和石缝的面积后的差值占整个样方面积的百分比即为石面面积占比。

1.2.1.2 样品采集 土壤样品采集包括环刀法(100 cm³)和挖掘法,前者用于测定土壤物理性质(土壤含水量除外),后者用于测定土壤含水量和土壤化学性质。采集土样时,先将地表枯枝落叶层除去,再用环刀取土或尖头小铲挖掘土样。除因石面土壤过于稀少、石缝宽度太小无法使用环刀取土外,土面、石窝和石沟随机选择能够使用环刀取土的单元及位点进行取样,每个样方、每种微地形取土样2或3份。挖掘法是每个样方、每种微地形随机选择3个以上的微地形单元,每个单元挖取土样1或2份(同一微地形单元挖取2份土样的,1份用于测定土壤水分含量,1份用于测定土壤化学性质),取土深度0~5 cm,每份土样约200~250 g,充分混合后装入自封袋并立即使用YH-C10002便携式电子天平(浙江瑞安市英恒电器有限公司,精度0.01 g)称量。

在每个样方及相邻地段的土面、石窝、石沟和石缝中分别随机选择3株以上潺槁木姜子植株(株高大于等于100 cm),在植株上、中、下部随机采集形态完整、叶色正常的成熟叶片并装入自封袋中,每个样方(地点)、每种微地形的叶片鲜质量不少于100 g。由于仅部分石面有数量极少的潺槁木姜子幼苗(株高不足5 cm),因此未在石面采集潺槁木姜子叶片。

1.2.2 土壤理化性质测定 采用烘干法^[27]测定挖掘法取样土壤的含水量。采用LY/T 1215—1999中的浸泡法测定环刀法取样土壤的容重、最大持水量、田间持水量、毛管持水量、毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度。将挖掘法取样土壤风干、粉碎和过筛(100目)后,采用NY/T 1377—2007中的电位法测定pH值,采用NY/T 1121.6—2006中的K₂Cr₂O₇法测定有机质含量,采用LY/T 1228—2015中的自动定氮仪法测定全N含量,采用LY/T 1232—2015中的钼锑抗比色法测定全P含量,采用LY/T 1234—2015中的碱熔法测定全K含量,采用NY/T 296—1995中的原子吸收分光光度法测定全Ca和全Mg含量。每份样品、每个指标均重复测定3次,结果取平均值。

1.2.3 叶片性状测定 潺槁木姜子叶片样品带回实

实验室后,每份样品随机取 30 枚叶片并做好标记,用 Li-3000A 便携式叶面积仪(美国 Li-COR 公司,精度 0.01 cm^2)逐一测定单叶面积(LA),再将叶片置于 $65 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘箱内 48 h,然后用 MH-03B 电子天平(浙江瑞安市英恒电器有限公司,精度 0.1 mg)称量单叶干质量(LDW),据此计算比叶质量(SLA)。随后,采用 LY/T 1269—1999 中的低温外热重铬酸钾氧化-比色法测定全 C 含量,采用 LY/T 1269—1999 中的蒸馏法测定全 N 含量,采用 NY/T 2421—2013 中的钼锑抗比色法测定全 P 含量,采用 NY/T 2420—2013 中的火焰光度法测定全 K 含量,采用 LY/T 1270—1999 中的原子吸收分光光度法测定全 Ca 和全 Mg 含量。每份样品、每个指标均重复测定 3 次,结果取平均值。

1.3 数据统计和分析

使用 SPSS 17.0 软件进行数据统计和分析。首先检验各指标数据的正态性及方差齐性,如果测定指标具有正态性和方差齐性,使用方差分析进行差异显著性检验($P < 0.05$),并采用 LSD 法进行多重比较,反之,则使用 Kruskal-Wallis 检验进行差异显著性检验,并采用 Wilcoxon Rank Sum Tests 进行多重比较。

2 结果和分析

2.1 不同微地形的形态特征

桂西南喀斯特石漠化山地不同微地形的形态特征见表 1。结果显示:土面、石窝、石沟和石缝 4 种微

地形单元长度、单元宽度和单元面积的变异较大,其中,单元长度和单元宽度的变异系数在 47% 以上,石缝单元面积的变异系数为 78.8%,土面、石窝和石沟单元面积的变异系数在 95% 以上。石面面积占比平均值最大(59.3%),土面面积占比平均值次之(24.1%),二者显著($P < 0.05$)高于石沟、石窝和石缝;土面面积占比的变异系数最大(44.5%),石沟面积占比的变异系数次之(34.4%),其他 3 种微地形面积占比的变异系数在 20% 左右。

2.2 不同微地形的土壤理化性质

桂西南喀斯特石漠化山地不同微地形的土壤物理性质和化学性质分别见表 2 和表 3。

土壤物理性质方面,5 种微地形中石沟、石窝和石缝的土壤含水量显著($P < 0.05$)高于土面和石面,土面的土壤含水量显著高于石面;土面土壤容重显著大于石窝和石沟;石窝和石沟的土壤最大持水量、田间持水量、毛管持水量、毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度显著大于土面,且石窝与石沟间差异不显著。

土壤化学性质方面,土面土壤 pH 值及有机质、全 N、全 P、全 K、全 Ca 和全 Mg 含量均最低,石缝土壤 pH 值及有机质、全 P、全 Ca 和全 Mg 含量最高,石面土壤全 N 和全 K 含量最高。石缝和石窝的土壤 pH 值显著高于土面和石面;石缝和石面的土壤有机质含量显著高于土面、石窝和石沟;石面土壤全 N 含量与石缝无显著差异,但显著高于石沟、石窝和土面,

表 1 桂西南喀斯特石漠化山地不同微地形的形态特征¹⁾

Table 1 Morphological characteristics of different microtopographies in karst rocky desertification mountain of southwestern Guangxi¹⁾

统计量 Statistic	单元长度/cm Unit length					单元宽度/cm Unit width				
	SS1	SN	SD	SC	SS2	SS1	SN	SD	SC	SS2
最大值 Maximum	245.3	103.1	365.2	150.5	—	140.4	86.7	54.6	9.0	—
最小值 Minimum	31.2	11.2	21.4	9.4	—	19.5	6.8	4.7	0.5	—
平均值 Mean	99.9a	39.4b	89.1a	40.3b	—	51.4a	26.6b	21.2b	3.0c	—
变异系数/% Coefficient of variation	47.3	58.1	77.8	58.8	—	50.0	58.8	48.1	53.3	—
统计量 Statistic	单元面积/cm ² Unit area					面积占比/% Percentage of area				
	SS1	SN	SD	SC	SS2	SS1	SN	SD	SC	SS2
最大值 Maximum	25 200.3	7 911.7	12 419.6	525.2	—	33.6	7.5	15.1	0.9	73.1
最小值 Minimum	589.3	66.2	159.8	9.3	—	11.9	4.5	6.6	0.4	46.4
平均值 Mean	5 854.8a	1 326.0b	2 087.1b	123.4c	—	24.1b	6.3c	9.6c	0.7d	59.3a
变异系数/% Coefficient of variation	95.3	117.5	100.2	78.8	—	44.5	18.9	34.4	25.0	19.2

¹⁾ SS1: 土面 Soil surface; SN: 石窝 Stony nest; SD: 石沟 Stony ditch; SC: 石缝 Stony crevice; SS2: 石面 Stony surface. 同一指标平均值后的不同小写字母表示不同微地形间差异显著($P < 0.05$) Different lowercases behind the mean of the same index indicate the significant ($P < 0.05$) difference among different microtopographies. —: 无数据 No datum.

表 2 桂西南喀斯特石漠化山地不同微地形的土壤物理性质 ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 2 Soil physical properties of different microtopographies in karst rocky desertification mountain of southwestern Guangxi ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

MT ²⁾	含水量/% Moisture content	容重/(g·cm ⁻³) Bulk density	最大持水量/(g·kg ⁻¹) Maximum moisture capacity	田间持水量/(g·kg ⁻¹) Field moisture capacity	毛管持水量/(g·kg ⁻¹) Capillary moisture capacity	毛管孔隙度/% Capillary porosity	非毛管孔隙度/% Noncapillary porosity	总孔隙度/% Total porosity
SS1	18.1±2.0b	1.27±0.05a	341.8±37.0b	240.3±36.4b	326.9±42.0b	41.4±4.7b	1.8±0.6b	43.2±4.1b
SN	22.9±1.5a	1.11±0.13b	494.5±66.0a	376.3±107.4a	460.6±118.5a	49.5±6.6a	3.6±1.2a	53.1±7.9a
SD	24.7±2.1a	1.09±0.04b	552.7±55.3a	411.6±64.7a	504.2±55.7a	54.5±4.3a	5.3±1.3a	59.8±4.1a
SC	22.3±1.3a	—	—	—	—	—	—	—
SS2	13.2±2.0c	—	—	—	—	—	—	—

¹⁾ 同列中不同小写字母表示不同微地形间差异显著 ($P<0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P<0.05$) difference among different microtopographies. —: 无数据 No datum.

²⁾ MT: 微地形 Microtopography; SS1: 土面 Soil surface; SN: 石窝 Stony nest; SD: 石沟 Stony ditch; SC: 石缝 Stony crevice; SS2: 石面 Stony surface.

表 3 桂西南喀斯特石漠化山地不同微地形的土壤化学性质 ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 3 Soil chemical properties of different microtopographies in karst rocky desertification mountain of southwestern Guangxi ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

MT ²⁾	pH 值 pH value	有机质 含量/(g·kg ⁻¹) Organic matter content	全 N 含量/(g·kg ⁻¹) Total N content	全 P 含量/(g·kg ⁻¹) Total P content	全 K 含量/(g·kg ⁻¹) Total K content	全 Ca 含量/(g·kg ⁻¹) Total Ca content	全 Mg 含量/(g·kg ⁻¹) Total Mg content
SS1	6.63±0.19b	128.53±28.36b	5.87±1.04c	0.78±0.15a	3.52±0.03c	1.97±0.74b	7.79±0.22b
SN	7.15±0.29a	164.23±35.55b	8.84±0.42bc	0.94±0.06a	3.74±0.02ab	2.39±0.87ab	8.40±0.34a
SD	6.91±0.28ab	170.27±55.37b	10.35±3.82bc	0.95±0.30a	3.58±0.15bc	3.15±0.44ab	8.12±0.33ab
SC	7.27±0.10a	399.27±71.94a	14.38±0.57ab	1.16±0.21a	3.79±0.07a	3.65±0.28a	8.54±0.12a
SS2	6.71±0.10b	383.33±139.19a	17.53±7.00a	1.07±0.29a	3.85±0.13a	2.65±0.95ab	7.89±0.12b

¹⁾ 同列中不同小写字母表示不同微地形间差异显著 ($P<0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P<0.05$) difference among different microtopographies. —: 无数据 No datum.

²⁾ MT: 微地形 Microtopography; SS1: 土面 Soil surface; SN: 石窝 Stony nest; SD: 石沟 Stony ditch; SC: 石缝 Stony crevice; SS2: 石面 Stony surface.

石缝土壤全 N 含量显著高于土面; 5 种微地形间土壤全 P 含量差异不显著; 石面和石缝的土壤全 K 含量显著高于石沟和土面; 石缝土壤全 Ca 含量仅显著高于土面, 与其他 3 种微地形差异不显著; 石缝和石窝的土壤全 Mg 含量显著高于石面和土面。

2.3 不同微地形中潺槁木姜子的叶片性状

桂西南喀斯特石漠化山地不同微地形中潺槁木姜子的叶片性状见表 4。结果显示: 石沟中潺槁木姜子单叶面积和单叶干质量显著 ($P<0.05$) 大于土面、

石窝和石缝; 石缝中潺槁木姜子比叶质量最大, 与土面差异不显著, 但显著大于石窝和石沟; 土面中潺槁木姜子叶片全 C 和全 Mg 含量最高, 其中, 叶片全 C 含量与石窝差异不显著, 但显著高于石沟和石缝, 叶片全 Mg 含量与石沟和石缝差异不显著, 但显著高于石窝; 石沟和石窝中潺槁木姜子叶片全 N 含量较高, 显著高于土面; 石沟中潺槁木姜子叶片全 P 和全 K 含量最高, 显著高于土面、石窝和石缝; 土面、石窝、石沟和石面间潺槁木姜子叶片全 Ca 含量差异不显著。

表 4 桂西南喀斯特石漠化山地不同微地形中潺槁木姜子的叶片性状 ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 4 Leaf traits of *Litsea glutinosa* (Lour.) C. B. Rob. in different microtopographies in karst rocky desertification mountain of southwestern Guangxi ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

MT ²⁾	单叶面积/cm ² Single leaf area	单叶干质量/mg Single leaf dry mass	比叶质量/(mg·cm ⁻²) Specific leaf mass	全 C 含量/% Total C content	全 N 含量/(g·kg ⁻¹) Total N content	全 P 含量/(g·kg ⁻¹) Total P content	全 K 含量/(g·kg ⁻¹) Total K content	全 Ca 含量/(g·kg ⁻¹) Total Ca content	全 Mg 含量/(g·kg ⁻¹) Total Mg content
SS1	42.6±10.5b	255.1±74.0b	6.0±1.3ab	47.70±0.90a	16.03±0.93b	0.89±0.06b	4.96±0.30b	18.17±3.19a	1.48±0.19a
SN	40.1±15.8b	223.4±83.3b	5.6±0.7b	46.93±0.57ab	18.27±1.91a	0.86±0.09b	5.08±0.87b	17.77±3.73a	1.25±0.06b
SD	51.0±13.9a	294.0±82.3a	5.8±0.7b	46.43±0.40b	18.36±1.55a	1.11±0.13a	7.14±1.50a	19.80±0.96a	1.42±0.14ab
SC	38.5±12.6b	244.2±87.0b	6.4±1.3a	46.20±0.57b	16.32±0.77ab	0.85±0.08b	5.06±0.40b	16.87±2.50a	1.43±0.09ab
SS2	—	—	—	—	—	—	—	—	—

¹⁾ 同列中不同小写字母表示不同微地形间差异显著 ($P<0.05$) Different lowercases in the same column indicate the significant ($P<0.05$) difference among different microtopographies. —: 无数据 No datum.

²⁾ MT: 微地形 Microtopography; SS1: 土面 Soil surface; SN: 石窝 Stony nest; SD: 石沟 Stony ditch; SC: 石缝 Stony crevice; SS2: 石面 Stony surface.

3 讨论和结论

在较小尺度范围内,微地形外观形态、单元数量和单元面积等是环境异质性的重要表征^{[1,8],[24]57-58}。在喀斯特石漠化区及其他山地,裸岩出露的高度、形态和面积占比等既决定了各微地形单元的外观形态,也对微地形小环境因子有至关重要的影响^{[6-8],[24]54-56}。本研究中,桂西南喀斯特石漠化山地微地形包括土面、石窝、石沟、石缝和石面5种类型,不同类型间除了外观形态和面积占比等差异比较明显外,同一类型不同单元间的长度、宽度和单元面积也有较大差异,其单元长度和单元宽度的变异系数接近或超过50%,单元面积的变异系数甚至超过100%。同时,由于石面面积占比较高,最高达到73.1%,平均接近60%,既体现出研究区立地环境的严酷性,更预示着环境治理和植被修复的艰巨性。

在自然状态下,土壤理化性质受基岩、气候、地形、地表植被和枯落物等因子的影响和制约,而在尺度较小的环境中,不同微地形的形态结构对土壤分布、水分运动、枯落物贮存和矿质元素格局等也有重要作用,从而影响其内部土壤的理化性质^[5-12]。本研究中,石沟、石窝和石缝的土壤含水量较高,土面和石面的土壤含水量较低,土面的土壤容重较大但其他理化指标较小,石沟和石窝的土壤最大持水量和总孔隙度等物理指标以及石缝和石面的土壤化学指标总体较大。结合野外调查和观察,推测主要原因在于不同微地形的形态结构和土壤组成等存在差异:土面周围无裸岩阻隔而表面较为平缓或倾斜,地表水比较容易流失^{[24]54},单位地表面积枯落物累积亦较少;石窝和石沟均为中间低、周围高和相对封闭的微环境,因裸岩阻隔使其地表水截留和单位地表面积枯落物累积较多,对土壤改善有利^[6,7,11];石缝上口狭小,微环境最为封闭,有利于保持土壤水分,土壤积存数量虽然较少,但主要以腐殖质为主,因而土壤含水量、有机质含量和全N含量等较高;石面完全暴露于地面,表面光滑或者凹槽和裂隙积存数量极少的土壤,使其水分截留十分有限且极易散失,但由于其土壤几乎全为腐殖质,因此土壤含水量最低,有机质含量和全N含量等较高。此外,与其他喀斯特区相比,龙何示范区自然封育区各种微地形的土壤有机质和全N含量等指标大于黔西北的坡耕地^[10],略小于茂兰喀斯特森

林群落^[8],表明经过近20年的植被恢复,自然封育区土壤的理化性质已有所改良。

叶片大小和叶片元素含量是反映植物叶片性状的重要指标,二者与植物种类及其生长环境的关系密切,同一植物在立地条件较好的生境中单叶面积和单叶质量较大而比叶质量较小^[18-20],不同植物种类间的差异更多的与其遗传和系统发育有关^[28]。如欧芷阳等^[19]研究发现,蚬木 [*Excentrodendron tonkinense* (A. Chev.) H. T. Chang et R. H. Miao] 叶干物质含量、叶片厚度、叶磷浓度、叶干质量和比叶面积等受海拔、坡度、坡位和坡向的影响明显,其中,随着海拔的升高,叶干物质含量显著降低,叶片厚度极显著增加;杜雪莲等^[18]对贵州喀斯特石漠化区5种灌木 $\delta^{13}\text{C}$ 的测定结果显示:不同小生境植物以及不同植物种类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值均存在差异。本研究中,桂西南喀斯特石漠化山地潺槁木姜子的叶片性状具有较为明显的微地形分异特征,即微地形对潺槁木姜子的单叶面积、单叶干质量、比叶质量和叶片元素含量影响较大,推测主要原因在于不同微地形间土壤微环境存在差异。5种微地形中,石沟土层较厚,土壤有机质、全N、全P和全K含量等居中,较适宜潺槁木姜子生长,潺槁木姜子个体数相对较多,生长也较好,因而石沟中潺槁木姜子的单叶面积、单叶干质量和叶片全N含量较高,比叶质量较小;土面虽然多数土层较厚,但土壤容重最大,土壤有机质、全N、全P和全K含量等最低,立地条件劣于石沟,因而土面中潺槁木姜子的单叶面积、单叶干质量和叶片全N含量等较低,但比叶质量较大;石窝的土壤容重和全N含量等理化指标与石沟差异不显著,但因其底部多以大块岩石为主,土层相对较薄,对直根系的潺槁木姜子造成一定的生长障碍,因而石窝中潺槁木姜子的单叶面积和单叶干质量较小,但叶片全N含量较高;石缝开口狭长,内部空间狭小,土壤积存数量少,立地条件劣于石沟、石窝和土面,潺槁木姜子生长受限较大,因而其单叶面积、单叶干质量和叶片中各元素含量较低或最低,比叶质量却最大;石面土壤最少,立地条件最差,一般只在其表面凹槽处积存数量极为有限的腐殖质,加之土壤水分难以满足潺槁木姜子生长所需,因而仅部分石面有数量极少的潺槁木姜子幼苗。

综上所述,在桂西南喀斯特石漠化山地,微地形主要有石面、土面、石窝、石沟和石缝5种类型,因其形态结构和土壤组成等方面有所不同,不同类型微地

形间的土壤理化性质存在一定差异;同时,受不同微地形中土壤微环境的影响,潺槁木姜子的单叶面积、单叶干质量、比叶质量和叶片元素含量具有较为明显的微地形分异特征。因此,在桂西南喀斯特石漠化山地的植被修复中,应根据不同类型微地形的土壤微环境特点有针对性地采取自然封育和人工造林等措施,促进退化植被的正向演替,建议选择土壤条件较好的微地形(如石沟、石窝和土面)开展直播造林或植苗造林,增加木本植物尤其是乔木种类的数量。受采样范围、采样次数和测定指标等所限,本研究对桂西南喀斯特石漠化山地不同微地形的土壤理化性质和潺槁木姜子叶片性状的认识尚在初步阶段,更大范围和更长时期的微地形、土壤和植物间的关系特征及其变化趋势等仍需今后开展更多、更广和更深的研究。

参考文献:

- [1] WATT A S. Pattern and process in the plant community[J]. *Journal of Ecology*, 1947, 35(1/2): 1-22.
- [2] LARKIN D, VIVIAN-SMITH G, ZEDLER J B. Topographic heterogeneity theory and ecological restoration[M]// FALK D A, PALMER M A, ZEDLER J B. *Foundations of Restoration Ecology*. Washington: Island Press, 2006: 142-164.
- [3] 卫伟,余韵,贾福岩,等.微地形改造的生态环境效应研究进展[J]. *生态学报*, 2013, 33(20): 6462-6469.
- [4] GILLAND K E, MCCARTHY B C. Microtopography influences early successional plant communities on experimental coal surface mine land reclamation [J]. *Restoration Ecology*, 2014, 22(2): 232-239.
- [5] 李艳梅,王克勤,陈奇伯,等.金沙江干热河谷微地形改造对土壤水分运动参数的影响研究[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(4): 19-23.
- [6] WANG D J, SHEN Y X, HUANG J, et al. Rock outcrops redistribute water to nearby soil patches in karst landscapes [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23(9): 8610-8616.
- [7] LI S, BIRK S, XUE L, et al. Seasonal changes in the soil moisture distribution around bare rock outcrops within a karst rocky desertification area (Fuyuan County, Yunnan Province, China) [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(23): 1482.
- [8] 刘方,王世杰,罗海波,等.喀斯特森林生态系统的小生境及其土壤异质性[J]. *土壤学报*, 2008, 45(6): 1055-1062.
- [9] 卜耀军,朱清科,包耀贤,等.陕北黄土区微地形土壤质量指标变异性及敏感性[J]. *水土保持学报*, 2014, 28(3): 153-157.
- [10] 程富东,戴全厚.喀斯特坡耕地微地貌土壤养分空间变异性研究[J]. *中国水土保持*, 2016(1): 51-53.
- [11] WANG D, SHEN Y, LI Y, et al. Rock outcrops redistribute organic carbon and nutrients to nearby soil patches in three karst ecosystems in SW China [J]. *PLOS ONE*, 2016, 11(8): e0160773.
- [12] 张志永,时忠杰,张 晓,等.浑善达克沙地不同微地形的土壤物理性质和草本群落分布及其相关性分析[J]. *植物资源与环境学报*, 2017, 26(1): 69-76.
- [13] 于卫洁,陈 宇,焦菊英,等.黄土丘陵沟壑区撂荒坡面种子雨特征[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(2): 395-403.
- [14] MELNIK K, LANDHÄUSSER S M, DEVITO K. Role of microtopography in the expression of soil propagule banks on reclamation sites [J]. *Restoration Ecology*, 2017, 26(S2): S200-S210.
- [15] 安红燕,徐海量,叶 茂,等.漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响[J]. *生态学报*, 2013, 33(1): 214-221.
- [16] KANGAS L C, SCHWARTZ R, PENNINGTON M R, et al. Artificial microtopography and herbivory protection facilitates wetland tree (*Thuja occidentalis* L.) survival and growth in created wetlands [J]. *New Forests*, 2016, 47(1): 73-86.
- [17] AKAJI Y, HIROBE M, MIYAZAKI Y, et al. Survival and growth of *Fagus crenata* seedlings in relation to biological and microtopographical factors in a cool temperate broadleaf forest [J]. *Journal of Forest Research*, 2017, 22(5): 294-302.
- [18] 杜雪莲,王世杰,容 丽.喀斯特石漠化区不同小生境常见灌木种叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 值特征[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(12): 3094-3100.
- [19] 欧芷阳,庞世龙,何 峰,等.桂西南喀斯特山地蚬木叶片性状对微地形变化的响应[J]. *西南农业学报*, 2020, 33(10): 2225-2231.
- [20] 熊 玲,龙翠玲,廖全兰,等.茂兰喀斯特森林木本植物叶的功能性状及其相互关系[J]. *应用与环境生物学报*, 2022, 28(1): 152-159.
- [21] 王 晶,朱清科,秦 伟,等.陕北黄土区封禁流域坡面微地形植被特征分异[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(3): 694-700.
- [22] 赵维军,张 岩,朱清科,等.陕北黄土坡面微地形对乔木生长特征的影响[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2014, 22(1): 69-79.
- [23] 袁 振,魏松坡,贾黎明,等.河北平山片麻岩山区微地形植物群落异质性[J]. *北京林业大学学报*, 2017, 39(2): 49-57.
- [24] 朱守谦,何纪星,祝小科,等.喀斯特森林小生境特征初步研究[M]//朱守谦.喀斯特森林生态研究(I).贵阳:贵州科技出版社,1993.
- [25] 钟济新.广西石灰岩石山植物图谱[M].南宁:广西人民出版社,1983: 22.
- [26] 吕仕洪,李先琨,何成新,等.广西岩溶地区茶条木群落特征与人工造林研究初报[J]. *植物资源与环境学报*, 2009, 18(3): 20-24.
- [27] 章家恩.生态学常用实验研究方法与技术[M].北京:化学工业出版社,2007: 56-57.
- [28] 孙 梅,田 昆,张 贇,等.植物叶片功能性状及其环境适应研究[J]. *植物科学学报*, 2017, 35(6): 940-949.

(责任编辑:张明霞)