

张薰元,周运超,黄 梅,等. 两种地质背景条件下群落物种组成及多样性与土壤因子的相关性研究:以桂林毛村为例[J]. 中国岩溶, 2022, 41(6): 940-951.

DOI: 10.11932/karst20220606

两种地质背景条件下群落物种组成及多样性与土壤因子的相关性研究 ——以桂林毛村为例

张薰元¹,周运超¹,黄 梅¹,白云星¹,张春来^{2,3,4}

(1. 贵州大学贵州省森林资源与环境研究中心/贵州省高原山地林木培育重点实验室/林学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004; 3. 自然资源部、广西岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004; 4. 联合国科教文组织国际岩溶研究中心, 广西 桂林 541004)

摘 要:为对比岩溶和非岩溶条件下物种组成及多样性的差异,明晰不同地质背景造就的不同土壤因子对物种多样性的影响,在兼有岩溶区与非岩溶区的桂林毛村采用野外样地调查法对研究区进行物种组成及多样性的对比研究。结果表明:(1)研究区内共记录了123种植物,其中岩溶区占35科46属87种,非岩溶区占48科61属95种,非岩溶区植物科属种数量明显大于岩溶区;(2)岩溶区物种多样性为:草本样方>灌木样方>乔木样方;在非岩溶区为:灌木样方>乔木样方>草本样方;(3)不同地质背景造就了不同的土壤因子,其中土壤全氮含量对物种多样性影响最为显著。综上,岩溶区物种组成明显低于非岩溶区,物种多样性也不及非岩溶区,土壤因子与物种多样性之间存在相关性,土壤全氮对物种多样性影响最为显著,土层深度减弱了土壤因子与物种多样性之间的相关性。对比岩溶区与非岩溶区土壤因子与物种之间的关系差异,为区域生态系统恢复重建提供了理论基础。

关键词:岩溶区;物种组成;多样性;冗余分析

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2022)06-0940-12

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引 言

生物多样性关系人类福祉,是人类生存和可持续发展的重要基础,其形成和维持机制一直是生态学研究的核心问题^[1-2]。环境因素对物种多样性分布格局具有重要影响,从气候带尺度来看,物种分布受到光照、温度和降雨等气候因子影响^[3-4],但对于相同气候条件不同地质背景下的物种多样性研究相对

较少。地质条件对于土壤的形成和发育极为重要^[5],土壤的质量与物种丰富度的关系密切^[6],因此,探究相同气候区域不同地质背景条件下植物多样性形成机制对于维护区域生态系统稳定具有重要意义。

目前,针对地质背景条件与物种组成和多样性之间关系的研究逐渐增多。研究表明,砂岩、板岩及花岗岩等成土母岩发育的土壤对草地物种多样性有显著影响^[7];页岩地区群落多样性和生产力受到环境

资助项目: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);贵州省人才团队项目(QKHPTRC20195614);中国地质科学院岩溶地质研究所地质调查委托项目(YR—JJHT-2017-206)

第一作者简介:张薰元(1996—),硕士研究生,主要从事林业与水土保持研究。E-mail: 2801381141@qq.com。

通信作者:周运超(1964—),教授,博士研究生导师,主要从事森林土壤学研究。E-mail: yc409@163.com。

收稿日期:2022-01-01

条件的制约^[8],不同母质地区的土壤钙镁含量与物种多样性呈明显负相关,且以石灰岩为背景的岩溶区因特殊的地质条件造就了特殊的土壤因子^[9],其物种多样性与土壤因子的关系更为复杂,群落不稳定性更强^[10-11]。岩溶区土壤因子在很大程度上制约着岩溶区生态系统,使其生态系统功能脆弱、抗干扰能力差^[12-13],岩溶区生物多样性受到了威胁^[14-15],故近年来对岩溶地区土壤因子与物种多样性关系的研究也趋向热门,但都单独在岩溶区内对某一特定林分或者特定物种与土壤因子之间的关系进行探讨^[16-17],少数针对岩溶区与非岩溶区物种组成及多样性的对比是在不同区域内进行的^[18],缺乏在同一区域不同地质背景条件下对物种组成和多样性差异的探究。因此,本研究选取在不同地质背景条件下兼有岩溶区和非岩溶区的桂林毛村作为研究区域,试图明晰以下问题:(1)探究同一气候条件下岩溶区与非岩溶区植物物种组成与多样性的差异;(2)阐明岩溶区与非

岩溶区土壤环境差异与物种的相关关系。以期为区域生态系统恢复重建提供理论基础。

1 研究材料与方法

1.1 研究区概况

广西桂林灵川县潮田乡毛村岩溶地貌与非岩溶地貌兼有分布,是研究不同地质背景生态效应的较好实验点(基本概况见表 1)。根据不同的地质背景条件研究区可以划分成两个区域^[19]:岩溶区与非岩溶区。毛村距桂林 60 km,属中亚热带湿润季风气候,气候温和,雨量充沛,降雨量占全年的 40%,多年平均降雨量为 1 915.2 mm,多年平均水面蒸发量为 1 378.3 mm,年平均气温为 18 ℃。研究区内不同地貌的地质背景条件不同,土壤层次分层明显,地层主要由泥盆系融县组(D_{3r})和东岗岭组(D_{2d})碳酸岩盐(岩溶区)及一套含 Fe 砂岩(非岩溶区)组成。

表 1 岩溶与非岩溶区基本概况
Table 1 Basic survey of karst and non-karst areas

区域	样方	土壤类型	土层厚度/cm	经纬度	海拔/m	坡度	群落优势种
非岩溶区	乔木	红壤	100	25°11'03.89"N 110°32'32.09"E	277	34°	木荷 <i>Schima superba</i> Gardn. et Champ.、甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (Champ. ex Benth.) Tutch.
	灌木	红壤	80	25°11'02.44"N 110°32'31.28"E	235	34°	杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i> Planch.、木荷 <i>Schima superba</i> Gardn. et Champ.、山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i> (Lour) Pers.、甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (Champ. ex Benth.) Tutch.、盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> Mill.
	草本	红壤	85.33	25°11'03.09"N 110°32'32.56"E	288	34°	狗脊蕨 <i>Woodwardia unigemmata</i> (Makino) Nakai、扭黄茅 <i>Heteropogon contortus</i> L. Beauv.、五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i> (Lab.) Warb. ex Schum et Laut.、铁苋芒 <i>Dicranopteris linearis</i> (Burm.) Underw.
岩溶区	乔木	黄色石灰土	56.33	25°11'17.18"N 110°32'23.09"E	217	40°	欏木 <i>Loropetalum chinense</i> (R. Br.) Oliver、青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunberg) Oersted
	灌木	棕色石灰土	46	25°11'24.13"N 110°32'48.21"E	183	35°	欏木 <i>Loropetalum chinense</i> (R. Br.) Oliver、龙须藤 <i>Bauhinia championii</i> (Benth.) Benth
	草本	黄色石灰土	46	25°11'16.33"N 110°32'22.89"E	225	40°	络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i> (Lindl.) Lem.、类芦 <i>Neyraudia reynaudiana</i> (kunth.) Keng、葛藤 <i>Pueraria lobate</i> (Willd.) Ohwi、五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i> (Lab.) Warb. ex Schum et Laut. <i>Miscanthus floridulus</i> (Lab.) Warb. ex Schum et Laut.

1.2 样地设计与植被调查

1.2.1 样地设置

采用野外样地调查的方法^[20], 调查研究区内物种组成及多样性。研究区域群落样地调查的最小表现面积^[21] 设置为 400 m², 其中样方的设置采用典型取样法, 取样范围设置为: 乔木样方 20 m×20 m, 灌木样方 5 m×5 m, 草本样方 1 m×1 m。乔木样方再以 10 m×10 m 为基本单元划分小样方, 用相邻格子法进行每木调查; 灌木样方设置在乔木样方中央, 草本样方设置在乔木样方的四个角对角线上。其中岩溶区与非岩溶区乔木样方各 3 块, 灌木样方各 3 块, 草本样方 3 块。总共设置样地 18 块。

1.2.2 植被调查

植被调查记录项目主要包括: ①草本样方、灌木样方、乔木样方中的植物种类名称、数量、群落情况; ②乔木 (DBH≥3.0 cm) 的树高、枝下高、胸径、冠幅, 同时全部记录乔木植物 DBH<3.0 cm 的幼树幼苗个体的高度; ③草本和灌木样方内植物的高度、地径、株数、盖度、多度。

1.3 测定方法

1.3.1 物种多样性测定^[22-23]

物种丰富度 (S) 采用 Patrick 丰富度指数 (Pa):
Pa=S

Simpson 多样性指数 (D): $D = 1 - \sum P_i^2$

Shanonon-Wiener 多样性指数 (H): $H = -\sum P_i \ln P_i$

种间相遇机率 (PIE): $PIE = \sum P_i \frac{N - N_i}{N - 1}$

Pielou 的均匀度指数 (Jsw): $Jsw = H / \ln S$

乔木样方的重要值: IV 乔 = 相对密度 + 相对频度 + 相对优势度

灌木样方和草本样方的重要值: IV 灌木样方、草本样方重要值 = 相对密度 + 相对频度 + 相对盖度
式中: P_i 为种 i 的个体数与样方个体总数的比值; N_i 为种 i 的个体数; N 样方的个体总数; S 为样方物种总数, 即丰富度指数。

1.3.2 土壤理化性质的测定

在每个样方内随机选取 3 个土壤剖面采样点进

行土壤样品采集, 以 20 cm 为一个梯度采集 0~40 cm 共计 2 个土层的土壤。土壤带回实验室后自然风干处理测定土壤理化性质: 通过重铬酸钾消解—硫酸氧化法测定有机质 (SOM), 碱解—扩散吸收法测定全氮 (TN), 碱熔—原子分光光度法测定全钾 (TK), 碱熔—钼锑抗比色法测定全磷 (TP), 碱解—扩散吸收法测定水机氮 (AN), 火焰光度计法测定速效钾 (AK), 氟化铵—盐酸浸提法测定速效磷 (AP), 电位法测定土壤 pH。

1.4 数据分析

所有实验数据处理均居于 3 个重复的平均值, 采用 Excel 2010 进行数据计算, 用 SPSS 18.0 对数据进行单因素方差 (one-way ANOVA) 分析, 并用 R 语言 Vegan 包、ggplot2 包、ggrepel 包、plyr 包对土壤因子与物种多样性指数之间的相关关系进行冗余分析作图。

2 结果与分析

2.1 不同地质背景条件下物种组成

据野外调查显示, 样地内共记录了 123 种植物, 其中岩溶区占 35 科 46 属 87 种, 非岩溶区占 48 科 61 属 95 种, 非岩溶区植物科属种数量明显大于岩溶区。其中, 各研究区内物种科属种数量波动呈现出先增加后下降的趋势, 两个研究区的物种组成均在灌木样方出现峰值 (图 1)。岩溶区有代表性的植物包括: 欆木 (*Loropetalum chinense* (R. Br.) Oliver)、青冈 (*Cyclobalanopsis glauca* (Thunberg) Oersted)、密花树 (*Rapanea neriiifolia* (Sieb. et Zucc.) Mez)、类芦 (*Neyraudia reynaudiana* (kunth.) Keng) 等物种, 乔木样方物种占岩溶区物种数的 22.5%, 灌木样方占

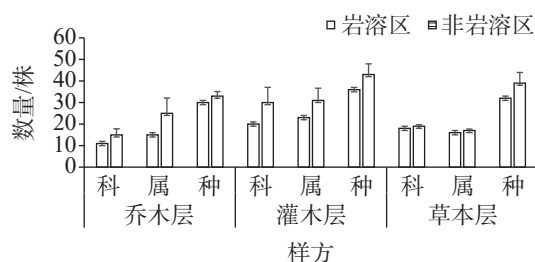


图 1 研究区不同样方内物种组成对比

Fig. 1 Comparison of species composition in different areas of the study area

40.8%, 草本样方占 36.7%。在非岩溶区以甜槠 (*Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutch.)、木荷 (*Schima superba* Gardn. et Champ.)、五节芒 (*Miscanthus floridulus* (Lab.) Warb. ex Schum et Laut.) 等为代表, 乔木样方物种占非岩溶区物种数的 23.4%, 灌木样方占 46.9%, 草本样方占 29.7%。其中, 金缕梅科的榿木在岩溶区占绝对优势, 其次是山茶科的青冈和紫金牛科的密花树; 非岩溶区是壳斗科的甜槠占绝对优势, 其次是山茶科的木荷和禾本科的五节芒及扭黄茅。其中, 两个研究区内共有物种 21 种, 占岩溶区物种的 24.14%, 占非岩溶区物种的 22.11%,

岩溶区单独存在的物种共 66 种。

重要值大小是确立优势种和建群种的依据, 可以反映物种在区域生态中的适应能力的综合指标。现统计出研究区中各样方内的前 10 物种重要值(表 2, 表 3), 以重要值最大的两个物种命名代表群落的方法^[24], 则各样方代表群落为: 岩溶区内, 草本样方以类芦+葛藤草丛为主, 灌木样方以榿木+龙须藤灌丛为主, 乔木样方以榿木+青冈栎乔木林为主。而在非岩溶区, 草本样方主要为五节芒+狗脊蕨草丛; 灌木样方主要为小甜槠+盐肤木灌丛; 乔木样方主要以甜槠+木荷乔木林为代表。

表 2 岩溶区各样方中代表物种重要值

Table 2 Important values of representative species in different quadrats of the karst area

样方	物种名称	盖度	相对盖度	密度	相对密度	频度	相对频度	重要值
		%	%	株·m ⁻²	%		%	%
草本	类芦							
	<i>Neyraudia reynaudiana</i> (kunth.) Keng	62.50	19.00	1.00	2.91	0.80	16.67	38.58
	葛藤							
	<i>Pueraria lobate</i> (Willd.) Ohwi	62.50	26.60	1.00	2.91	0.20	4.17	33.68
	五节芒							
	<i>Miscanthus floridulus</i> (Lab.) Warb. ex Schum et Laut.	62.50	19.00	0.67	1.94	0.60	12.50	33.44
	络石							
	<i>Trachelospermum jasminoides</i> (Lindl.) Lem.	1.50	0.46	8.00	23.30	0.20	4.17	27.92
	井栏凤尾蕨							
	<i>Pteris multifida</i> Poir.	37.50	11.40	1.00	2.91	0.60	12.50	26.81
	苔草							
	<i>Carex tristachya</i>	2.50	0.76	6.67	19.42	0.20	4.17	24.34
	弓果黍							
	<i>Cyrtococcum patens</i> (Linn.) A. Camus	2.50	0.76	4.67	13.59	0.40	8.33	22.69
	山蒜							
灌木	<i>Allium nipponicum</i> Fr. et Sav	2.50	0.76	3.67	10.68	0.20	4.17	15.61
	海金沙							
	<i>Lygodium japonicum</i> (Thunb.) Sw.	15.00	4.56	1.67	4.85	0.20	4.17	13.58
	蛇莓							
	<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	2.50	0.76	2.00	5.83	0.20	4.17	10.75
	榿木							
	<i>Loropetalum chinense</i> (R. Br.) Oliver	62.50	19.21	1.50	66.90	31.33	66.90	153.02
	龙须藤							
	<i>Bauhinia championii</i> (Benth.) Benth.	37.50	19.21	0.08	3.56	1.67	3.56	26.33
	齿叶黄皮							
乔木	<i>Clausena dunniana</i> Levl.	15.00	7.68	0.09	3.91	1.83	3.91	15.51
	海金子							
	<i>Pittosporum illicioides</i> Mak.	15.00	7.68	0.05	2.14	1.00	2.14	11.95
	火棘							
	<i>Pyracantha fortuneana</i> (Maxim.) Li	15.00	7.68	0.02	0.71	0.33	0.71	9.11
乔木	九里香							
	<i>Murraya exotica</i> L. Mant.	15.00	7.68	0.02	0.71	0.33	0.71	9.11
	野独活							
乔木	<i>Miliusa chunii</i> W. T. Wang	2.50	1.28	0.09	3.91	1.83	3.91	9.11

续表 2

样方	物种名称	盖度	相对盖度	密度	相对密度	频度	相对频度	重要值
		%	%	株·m ⁻²	%		%	%
灌木	棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i> (Hook.) H. Wendl.	15.00	7.68	0.01	0.36	0.17	0.36	8.40
	红背山麻杆 <i>Alchornea trewioides</i> (Benth.) Muell. Arg.	0.10	0.05	0.09	3.91	1.83	3.91	7.88
	鸡爪簕 <i>Oxyceros sinensis</i> Lour.	5.00	2.56	0.05	2.14	1.00	2.14	6.83
	欏木 <i>Loropetalum chinense</i> (R. Br.) Oliver	0.02	44.70	0.03	31.20	13.00	31.20	107.10
	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunberg) Oersted	0.002 1	4.74	0.03	27.20	11.33	27.20	59.14
乔木	密花树 <i>Rapanea neriifolia</i> (Sieb. et Zucc.) Mez	0.002	3.51	0.02	23.20	9.67	23.20	49.91
	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i> Mill.	0.01	31.94	0.001 5	2.40	1.00	2.40	36.74
	海金子 <i>Pittosporum illicioides</i> Mak.	0.001 5	3.43	0.01	9.60	4.00	9.60	22.63
	老虎刺 <i>Pterolobium punctatum</i> Hemsl.	0.001 5	4.80	0.001	0.80	0.33	0.80	6.40
	野独活 <i>Milisia chunii</i> W. T. Wang	0.000 7	1.53	0.000 8	0.80	0.33	0.80	3.13
	木犀 <i>Osmanthus fragrans</i> (Thunb.) Loureiro	0.000 5	1.20	0.000 8	0.80	0.33	0.80	2.80
	枇杷 <i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	0.000 5	1.05	0.000 8	0.80	0.33	0.80	2.65
	粗叶榕 <i>Ficus hirta</i> Vahl	0.000 1	0.03	0.000 2	0.03	1.33	0.03	0.09

表 3 非岩溶区各样方中代表物种重要值

Table 3 Important values of representative species in different quadrat of the non-karst areas

样方	物种名称	盖度	相对盖度	密度	相对密度	频度	相对频度	重要值
		%	%	株·m ⁻²	%		%	%
草本	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i> (Lab.) Warb. ex Schum et Laut.	45.00	43.80	16.60	53.9	0.17	5.00	60.65
	铁芒箕 <i>Dicranopteris linearis</i> (Burm.) Underw.	37.50	10.51	1.40	4.55	0.33	10.00	58.34
	扭黄茅 <i>Heteropogon contortus</i> L. Beauv.	62.5	26.28	0.20	0.65	1.00	30.00	56.93
	狗脊蕨 <i>Woodwardia unigemmata</i> (Makino) Nakai	15.00	10.51	6.40	20.78	0.17	5.00	36.29
	玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i> Ait. F. Hort. Kew. Ed.	2.50	1.75	0.20	0.65	0.67	20.00	22.4
	卵叶菝葜 <i>Smilax arisanensis</i>	15	1.75	0.2	0.65	0.17	5	16.16
	弓果黍 <i>Cyrtococcum patens</i> (Linn.) A. Camus	0.1	0.07	3.4	11.04	0.17	5	16.11
	山姜 <i>Alpinia japonica</i> (Thunb.) Miq.	2.5	1.75	0.8	2.6	0.17	5	9.35
	菝葜 <i>Smilax china</i> Linn.	2.5	1.75	0.4	1.3	0.17	5	8.05
	小白酒草 <i>Conyza. Canadensis</i> (L.) Crong.	2.5	1.75	0.4	1.3	0.17	5	8.05

续表 3

样方	物种名称	盖度	相对盖度	密度	相对密度	频度	相对频度	重要值
		%	%	株·m ⁻²	%		%	%
灌木	木荷	15	0.05	0.28	18.13	0.67	10.26	39.65
	<i>Schima superba</i> Gardn. et Champ.							
	杜鹃	15	7.4	0.17	10.88	0.83	12.82	31.1
	<i>Rhododendron simsii</i> Planch.							
	甜槠	37.5	18.49	0.1	6.74	0.33	5.13	30.36
	<i>Castanopsis eyrei</i> (Champ. ex Benth.) Tutch.							
	山鸡椒	2.5	1.23	0.32	20.73	0.5	7.69	29.65
	<i>Litsea cubeba</i> (Lour.) Pers.							
	盐肤木	37.5	18.49	0.21	13.47	0.5	7.69	28.44
	<i>Rhus chinensis</i> Mill.							
	野独活	37.5	18.49	0.02	1.04	0.33	5.13	24.66
	<i>Milusa chunii</i> W. T. Wang							
	菝葜	15	7.4	0.08	5.18	0.5	7.69	20.27
	<i>Smilax china</i> Linn.							
	荚蒾	15	7.4	0.13	8.29	0.17	2.56	18.25
	<i>Viburnum dilatatum</i> Thunb.							
	紫金牛	15	7.4	0.1	6.22	0.17	2.56	16.18
	<i>Ardisia japonica</i> (Thunberg) Blume							
乔木	赤楠	2.5	1.23	0.03	2.07	0.67	10.26	13.56
	<i>Syzygium buxifolium</i> Hook. et Arn.							
	甜槠	1.272	66.6	0.085	54.26	1	18.75	139.61
	<i>Castanopsis eyrei</i> Tutch.							
	木荷	0.473 3	24.78	0.038 3	24.47	1	18.75	68
	<i>Schima superba</i> Gardn. et Champ.							
	白栎	0.012	0.63	0.02	12.77	0.33	6.25	19.65
	<i>Quercus fabri</i> Hance							
	腺叶杜茎山	0.000 6	0.03	0.001 7	1.06	0.67	12.5	13.6
	<i>Maesa membranacea</i> A. DC.							
	黄樟	0.097 6	5.11	0.002 5	1.6	0.33	6.25	12.96
	<i>Cinnamomum porrectum</i> (Roxb.) Kosterm.							
	枫香	0.051 2	2.68	0.002 5	1.6	0.33	6.25	10.53
	<i>Liquidambar formosana</i> Hance							
	薄叶润楠	0.000 7	0.04	0.003 3	2.13	0.33	6.25	8.42
	<i>Machilus leptophylla</i> Hand.-Mazz.							
	九里香	0.000 6	0.03	0.000 8	0.53	0.33	6.25	6.81
	<i>Murraya exotica</i> L. Mant.							
	杉木	0.000 6	0.03	0.000 8	0.53	0.33	6.25	6.81
	<i>Cunninghamia lanceolata</i> (Lamb.) Hook.							
	罗伞	0.000 1	0.01	0.000 8	0.53	0.33	6.25	6.79
	<i>Brassaiopsis glomerulata</i> (Bl.) Regel							

2.2 不同地质背景条件下物种多样性对比

在岩溶与非岩溶区的研究样方调查中(表 4), 岩溶区 S 介于 30~36 之间, 非岩溶区 S 介于 33~43 之间, S 峰值均出现在灌木样方中; D 与 Jsw 变化趋势一样, 岩溶区的 D 介于 0.60~0.87 之间, Jsw 介于 0.47~0.72 之间, 其中灌木样方的 D 和 Jsw 最小, 而非岩溶区 D 介于 0.63~0.85 之间, Jsw 介于 0.38~0.70 之间, 其中乔木样方的 D 和 Jsw 最小; 岩溶区

P 值差距不大, 说明每个层次的物种密度相当, 而非岩溶区乔木样方 Jew 明显小于草本样方与灌木层, 即表示在非岩溶地区草本样方和灌木样方物种密度差距不大, 但两者的物种密度明显大于乔木样方。整体上看, 通过比较分析研究区物种多样性指数, 岩溶区样方中物种多样性为: 草本样方>灌木样方>乔木样方; 在非岩溶区为: 灌木样方>乔木样方>草本样方。

表 4 岩溶区与非岩溶区不同样方物种多样性

Table 4 Species diversity in different quadrats of karst and non-karst areas

多样性指数	岩溶区			非岩溶区		
	草本样方	灌木样方	乔木样方	草本样方	灌木样方	乔木样方
S	30.00	36.00	32.00	33.00	43.00	39.00
D	0.87	0.60	0.76	0.63	0.87	0.63
H	3.32	2.68	2.36	3.19	3.67	2.01
P	0.96	0.98	0.96	0.98	0.93	0.65
Jsw	0.72	0.47	0.49	0.61	0.70	0.38

注: S为丰富度指数; D为Simpson指数; H为Shanonon-Wiene指数; P为PIE指数; Jsw为Pielou指数。

2.3 不同地质背景条件下土壤理化性质对比

岩溶区与非岩溶区因地质背景不同导致的土壤差异较大,岩溶区土层薄,在 46~56.33 cm 的范围内,较非岩溶区 80~100 cm 的土层厚度明显偏低,非岩溶区与岩溶区土壤 pH 值相比非岩溶区在数值上更小,非岩溶区土壤 pH 在 4.5~4.78 范围内波动,土壤偏酸性;岩溶区土壤 pH 范围在 6.51~6.82 间,土壤中偏碱性。相对与土层厚度和土壤酸碱性的差异,土壤其余指标之间波动不一致。从表 5 中可知,0~20 cm 土层中,土壤 TN、TP、TK 含量均表现为岩溶区含量高于非岩溶区:岩溶区土壤 TN 含量为 1.33~1.83 g·kg⁻¹ 之间,高于非岩溶区土壤 TN 的 0.63~0.83 g·kg⁻¹,岩溶区土壤 TP 含量为 1.14~1.25 g·kg⁻¹,高于非岩溶区的 0.99~1.09 g·kg⁻¹,岩溶区土壤 TK 含量为 50.32~120.25 g·kg⁻¹,高于非岩溶区 34.99~48.37 g·kg⁻¹;非岩溶区主要是速效养分 AN、AP、AK

含量高于岩溶区:在草本样方中,非岩溶区的土壤 AN、AP 含量高于岩溶区,灌木样方中是非岩溶区的土壤 AP 含量高于岩溶区。岩溶区 SOM 在草本样方和灌木样方中含量分别在 33.42 g·kg⁻¹、51.75 g·kg⁻¹,均低于非岩溶区的 42.46 g·kg⁻¹、56.13 g·kg⁻¹;但岩溶区乔木样方 SOM 含量为 50.39 g·kg⁻¹,高于非岩溶区的 38.06 g·kg⁻¹。随着土层深入,在 20~40 cm 土层,土壤因子变化比较一致,研究区内除土壤 AP 含量表现为非岩溶区>岩溶区外,其余指标均表现为岩溶区>非岩溶区。

2.4 不同地质背景条件下土壤因子与物种多样性的关系

图 2a 表明在 0~20 cm 土层土壤因子与多样性指数对研究区不同层次样方的约束排序。从图中可看出,各样方排序的 57.458% 可以被土壤因子和物种多样性所解释,其中第一轴累计解释了 48.64% 的变

表 5 岩溶区与非岩溶区土壤理化性质对比

Table 5 Comparison of physical and chemical properties of soil in karst and non-karst areas

土壤层次	样方	研究区	pH	SOM/g·kg ⁻¹	TN/g·kg ⁻¹	AN/mg·kg ⁻¹	TP/g·kg ⁻¹	AP/mg·kg ⁻¹	TK/g·kg ⁻¹	AK/mg·kg ⁻¹
0~20 cm	草本	岩溶区	6.51±0.18	33.42±1.21	1.83±0.84	86.99±20.22	1.25±0.04	14.13±3.56	50.32±4.25	38.61±25.8
		非岩溶区	4.7±0.30	42.46±1.85	0.73±0.23	101.14±30.68	1.09±0.1	58.18±2.91	48.37±25.6	30.81±3.38
	灌木	岩溶区	6.73±0.30	51.75±4.42	1.83±0.22	191.11±78.57	1.22±0.05	23.84±3.56	120.25±51.50	41.22±16.1
		非岩溶区	4.53±0.09	56.13±5.9	0.83±0.41	73.50±34.36	0.99±0.04	66.06±19.31	34.99±28.89	25.28±12.88
	乔木	岩溶区	6.54±0.27	50.39±3.95	1.33±0.15	186.23±70.03	1.14±0.1	16.85±2.93	100.73±45.84	37.2±7.35
		非岩溶区	4.5±0.13	38.06±4	0.63±0.06	78.04±17.7	1.02±0.05	6.39±8.33	39.48±16.91	34.39±2.03
20~40 cm	草本	岩溶区	6.85±0.08	23.47±1.71	0.68±0.12	49.54±11.22	1.33±0.06	19.57±8.40	63.33±18.88	20.4±3.43
		非岩溶区	4.76±0.11	19.94±0.86	0.67±0.23	37.01±10.15	1.1±0.06	62.06±0.7	55.85±36.11	21.37±2.25
	灌木	岩溶区	6.77±0.35	50.75±2.84	0.88±0.74	99.58±59.26	1.28±0.03	20.86±8.30	132.61±57.44	26.58±10.31
		非岩溶区	4.78±0.09	4.772.23	0.40±0.05	37.11±18.52	1.08±0.04	74.90±8.08	40.37±32.27	26.58±10.31
	乔木	岩溶区	6.82±0.12	50.39±3.61	0.96±0.4	125.24±69.01	1.17±0.12	19.05±0.9	99.33±27.23	24.52±11.89
		非岩溶区	4.71±0.20	25.61±1.64	0.36±0.08	26.48±9.65	1.08±0.04	79.74±6.42	41.98±18.63	21.59±8.64

注:表中数值为平均值±标准误。

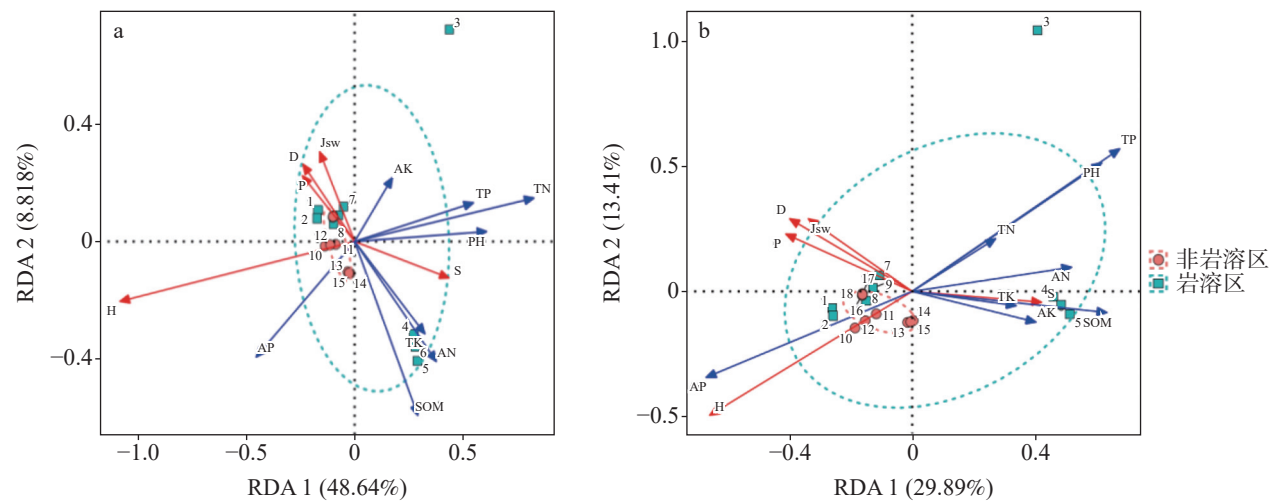


图 2 土壤因子与多样性指数对样方的 RDA 排序分析

(注: 图中 a 代表 0-20 cm 土层, b 代表 20-40 cm 土层; 点 1、2、3 代表岩溶区草本样方, 点 4、5、6 代表岩溶区灌木样方, 点 7、8、9 代表岩溶区乔木样方; 点 10、11、12 代表非岩溶区草本样方, 点 13、14、15 代表非岩溶区灌木样方, 点 16、17、18 代表非岩溶区乔木样方; TN 代表土壤全氮, TP 代表土壤全磷, TK 代表土壤全钾, AN 代表土壤水解氮, AP 代表土壤速效磷, AK 代表土壤速效钾, SOM 代表土壤有机质; S 为丰富度指数; D 为 Simpson 指数; H 为 Shanon-Wiener 指数; P 为 PIE 指数; Jsw 为 Pielou 指数。)

Fig. 2 RDA ranking analysis of soil factors and diversity indexes on quadrat

量,第二轴累计解释了 8.818% 的变量。根据变量之间夹角关系可看出,土壤因子与物种多样性指标之间存在相关性。在 0~20 cm 土层,选取的 8 个土壤理化指标中,AP 与 H 呈正相关关系,其余土壤指标与 H 为负相关关系;AK 与 D、P 及 Jsw 呈正相关,其余土壤指标均与 D、P、Jsw 为负相关。与前几个物种多样性指标不同,S 与 AP、AK 呈现出负相关关系外,与其余土壤指标均呈现出正相关关系。

在图 2b 中各样方排序的 43.3% 可被土壤因子和物种多样性所解释,第一轴累计解释了 29.89% 的变量,第二轴累计解释了 13.41% 的变量。在 20~40 cm 土层,AP 与 H、D、P 及 Jsw 为正相关,其余土壤指标均与 D、P、Jsw 为负相关;除 AP 与 S 呈现负相关外,其余土壤指标与 S 呈现为正相关关系。

表 6 中可知,在 0~20 cm 土层,土壤 TN、pH、TK 及 TP 对样地内物种多样性指数的影响较大,其中 TN 对样地内物种多样性的影响最显著($P<0.05$); 20~40 cm 土层中,土壤 TK、SOM、AP、TP、pH 对样地内物种多样性的影响较大。随着土层深度的增加,土壤因子与物种多样性指数之间的相关性削弱了,但土壤 TP、AP 和 TK 与物种多样性指数之间的相关性是随着土层深度增加而增加。

3 讨论

3.1 两种地质背景条件下植物物种组成及多样性的差异

物种组成是反映地区植物生态系统的基础,是

表 6 土壤因子在 RDA 中蒙特卡洛置换检验结果

Table 6 Monte Carlo substitution test results of soil factors in RDA

0~20 cm 土壤因子	R ²	P	20~40 cm 土壤因子	R ²	P
TN	0.546 3	0.002	TK	0.267 5	0.102
pH	0.288 3	0.084	SOM	0.244 8	0.111
TK	0.242 5	0.124	AP	0.236 7	0.138
TP	0.212	0.145	TP	0.230 5	0.121
AN	0.192	0.199	pH	0.22	0.163
SOM	0.162 9	0.259	AK	0.104 8	0.419
AP	0.137 3	0.354	AN	0.103 7	0.399
AK	0.111 8	0.426	TN	0.066 3	0.611

了解区域群落基本结构的重要指标^[25]。通过比较分析研究区中岩溶区与非岩溶区不同样方内物种组成的差异可看出,岩溶区中金缕梅科的榿木在植物物种中占绝对优势,而非岩溶区以壳斗科的甜槠为代表。岩溶区与非岩溶区科属种数量波动均是在灌木样方中达到峰值,是因为两个研究区灌木除了原本的物种外,还包含乔木中的小幼苗(表 2,表 3),因此灌木物种较多。灌木样方的物种重要值与其余两种样方相比,灌木物种重要值较均匀,优势相当的物种占比多,这有利于维持区域群落系统稳定性^[26]。物种多样性是生物多样性在物种水平上的表现形式,不仅体现了生物资源丰富度,还可以度量群落结构的复杂性^[27],研究区中,草本和乔木样方物种多样性指数表现为:岩溶区>非岩溶区,而灌木样方物种多样性指数表现为岩溶区<非岩溶区,出现这一现象的原因是由于非岩溶区土壤厚度、土被连续程度及空间资源等较好,岩溶区土层厚薄分布不均匀^[28],导致岩溶区灌木样方优势种及典型群落明显少于非岩溶区灌木样方,符合前人研究得到的群落结构越复杂其多样性指数越高的结论^[29]。非岩溶区土壤较岩溶地区土壤的土层厚且连续^[28],能提供较为充沛的养分以供植物生长,因此非岩溶区优势种吸取养分更为容易,优势种本身又在群落中具有持久不变的优势,因此非岩溶区乔木样方物种多样性小于岩溶区。整体上来说,岩溶区物种多样性低于非岩溶区,这与周运超等^[18]研究得到的岩溶区物种多样性高于非岩溶区的结论不符,这是由于此前研究是在不同区域内进行的,不能排除气候等条件对物种多样性的干扰。

在岩溶区,物种多样性整体呈现出草本样方>灌木样方>乔木样方,群落物种多样性逐渐减少,生物多样性和资源空间配置会更复杂,这与滇东喀斯特地区乔木层多样性较草本层、灌木层低的结果相似^[30]。在非岩溶区,物种多样性整体表现为灌木样方>乔木样方>草本样方,主要是因为乔木样方物种少,主要集中于优势种植物,而灌木样方物种多,个体分布较均匀,对资源空间的争夺还不剧烈,分化还不明显。因此,对岩溶退化区植被恢复重建而言,在营林措施上可从草本开始演替,逐渐过渡到灌木和乔木演替阶段,但非岩溶区植被修复重建可从灌木演替开始。

3.2 两种地质背景条件下土壤因子差异与物种多样性的关系

明晰土壤因子与物种多样性的关系,将有助于通过改善土壤因子来调整物种多样性^[31]。本研究,在 0~20 cm 土层,土壤全氮、全磷、全钾、水解氮、有机质等土壤因子均促进了物种丰富度的增加,而土壤速效磷和速效钾限制了物种丰富度的增长;在 20~40 cm 土层只有土壤速效磷指标限制区域物种丰富度。在不同土层对物种多样性指标产生负向影响的都是土壤养分中的速效磷和速效钾两个速效指标,原因一方面在于,土壤参数的空间结构特征导致速效磷与速效钾含量多的土壤中养分分布不均,从而造成区域物种丰富度低的现象^[32];另一方面,土壤中磷元素是植物生长所必需的营养元素之一,会受到土壤黏粒和其他无定型铁铝氧化物的吸附从而转化成无效的形态,限制了植物的生长^[33]。因土壤氮素的增加会显著提高植物生物量,间接促进植被盖度和后期地表凋落物的增加,提高土壤养分供给^[34],所以土壤全氮对物种多样性影响最为显著。

就本研究结果而言,研究区物种多样性与土壤 TN、pH、TP、TK 关联较大,其中受土壤 TN 影响最为显著,因为土壤氮素是植物生长力的主要限制资源^[35],是决定物种组成的重要因子,形成“凋落物-土壤养分-物种多样性”的动态循环^[36]。土壤速效养分与物种多样性之间的关联性不及土壤全量养分,从植物吸收的角度来说,草本植物根系较灌木、乔木浅^[37],土壤速效养分含量增加会加速草本植物生长力和光照资源竞争力^[38],增加草本物种多样性,减少灌木和乔木所占资源使植物物种多样性降低。因此,在区域生态修复重建时,为保证物种多样性,在岩溶退化区进行植被恢复时,应致力于 0~20 cm 土层全量养分的补充,而非岩溶区还要兼顾 20~40 cm 土层土壤全氮和速效磷的补充。总的来说,区域生态修复重建时土壤全氮是重要的衡量指标,但要兼顾土壤速效养分的补充,以维持植物养分吸收利用加速生态修复重建速度。

4 结 论

(1)研究区中物种共有 35 科 46 属 87 种,非岩溶区 48 科 61 属 95 种,非岩溶区的物种组成明显多于岩溶区的物种组成,榿木在岩溶区占绝对优势,非岩

溶区优势种是甜槠;岩溶区物种多样性表现出:草本样方>灌木样方>乔木样方,在非岩溶区为:灌木样方>乔木样方>草本样方。岩溶区物种多样性整体上低于非岩溶区;

(2)在不同地质背景条件下土壤因子对物种多样性影响不同:在0~20 cm土层,土壤TN、pH、TK及TP对样地内物种多样性指数的影响较大,其中土壤TN含量对样地内物种多样性的影响最显著($P<0.05$);20~40 cm土层中,土壤TK、SOM、AP、TP、pH对样地内物种多样性的影响较大,土层深度减弱了土壤因子与物种多样性之间的相关性。

参考文献

- [1] 温亚利. 中国生物多样性保护政策的经济分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2003: 20.
Wen Yali. Economic analysis of China biodiversity protection policy[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2003: 20.
- [2] Ruiz-Jaen M C, Aide T M. Restoration Success: How Is It Being Measured?[J]. Restoration Ecology, 2005, 13(3): 569-577.
- [3] Chu C, Lutz J A, Král K, et al. Direct and indirect effects of climate on richness drive the latitudinal diversity gradient in forest trees[J]. Ecology Letters, 2019, 22(2): 245-255.
- [4] Jonathan A Bennett, John Klironomos. Mechanisms of plant-soil feedback: interactions among biotic and abiotic drivers[J]. The New Phytologist, 2019, 222(1): 91-96.
- [5] 常跃畅. 福建省代表性土壤的氧化铁组成与磁化率及其发生学意义[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
CHANG Yuechang. Forms of Iron Oxides and magnetic susceptibility of representative soils in Fujian Province and theirs genetic significance[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [6] 刘俊廷. 晋西黄土区恢复年限对林下植被多样性及土壤理化性质的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
LIU Junyan. The effect of vegetation recovery on the diversity of undergrowth vegetation and the physical and chemical properties of soil in the loess plateau of western Shanxi Province[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.
- [7] 付义勋. 三江并流区草地分布地质条件影响分析[D]. 昆明: 云南大学, 2019.
FU Yixun. Impact analysis on geological condition of grassland distribution in the Three Parallel Rivers Region[D]. Kunming: Yunnan University, 2019.
- [8] 曾勇, 姜立君, 柯妍, 吕倩, 赵莉, 梁家栋, 胡涵, 令狐博. 重庆合川地区中二叠世晚期腕足动物群落物种多样性与生态系统功能(生产力)的关系[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(11): 1627-1633.
ZENG Yong, JIANG Lijun, KE Yan, LV Qian, ZHAO Li, LIANG Jiadong, HU Han, LING Hubo. The relationship between species diversity and ecosystem function (productivity) of the late Middle Permian brachiopods community at the region of Hechuan, Chongqing, China[J]. Science China: Earth Sciences, 2012, 42(11): 1627-1633.
- [9] 路洪海, 周蓓, 章程. 不同地质背景下发育的土壤及其对物种多样性的影响[J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(1): 83-86.
LU Honghai, ZHOU Bei, ZHANG Cheng. Species diversity and its correlation with soil factors under different geological background conditions[J]. Geography and Geo-Information Science, 2007, 23(1): 83-86.
- [10] I Tomášková. Evaluation of changes in the tree species composition of Czech forests[J]. Journal of Forest Science, 2018, 50(1): 31-37.
- [11] 常继方. 氮磷添加对呼伦贝尔草地植物群落物种多样性与稳定性的影响[D]. 哈尔滨: 黑龙江八一农垦大学, 2020.
CHANG Jifang. The addition of nitrogen and phosphorus to Hulunbuir grassland plants the influence of diversity and stability of falling species is often followed[D]. Harbin, Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2020.
- [12] 覃建勋, 付伟, 郑国东, 邓宾, 吴天生, 赵辛金, 卢炳科, 覃勇新. 广西岩溶区表层土壤硒元素分布特征与影响因素探究: 以武鸣县为例[J]. 土壤学报, 2020, 57(5): 1299-1310.
QIN Jianxun, FU Wei, ZHENG Guodong, DENG Bin, WU Tiansheng, ZHAO Xinjin, LU Bingke, QIN Yongxin. Selenium distribution in surface soil layer of karst area of Guangxi and its affecting factors: A case study of Wuming county[J]. Acta Pedologica Sinica, 2020, 57(5): 1299-1310.
- [13] 周蓓, 李艳娜, 陈忠. 生物多样性对岩溶地区生态保护、恢复及重建的意义[J]. 山地农业生物学报, 2003, 22(3): 248-252.
ZHOU Bei, LI Yanna, CHEN Zhong. The significance of biodiversity in protection, restoration and reconstruction of karst ecosystem[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2003, 22(3): 248-252.
- [14] 袁道先. 全球岩溶生态系统对比: 科学目标和执行计划[J]. 地球科学进展, 2001, 16(4): 461-466.
YUAN Daoxian. World correlation of karst ecosystem: Objectives and implementation plan[J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 16(4): 461-466.
- [15] 王江南, 冯火炬, 李百球, 方楷, 施建敏. 石灰岩山地淡竹林“岩石—土壤—植物”的元素分布与迁移积聚特征[J]. 中国岩溶, 2018, 37(5): 770-776.
WANG Jiangnan, FENG Huojue, LI Baiqiu, FANG Kai, SHI Jianmin. Distribution, transportation and accumulation of mineral elements in a rock-soil-plant system of Phyllostachys glauca in limestone mountains[J]. Carsologica Sinica, 2018, 37(5): 770-776.
- [16] 侯满福. 不同碳酸盐岩地球化学背景下的植物物种多样性和物种组成研究[D]. 桂林: 广西师范大学, 2005.
HOU Manfu. Plant species diversity and component in different Geo-chemical surroundings in karst area [D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2005.
- [17] 侯满福, 蒋忠诚. 茂兰喀斯特原生林不同地球化学环境的植物物种多样性[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 572-576.

- HOU Manfu, JIANG Zhongcheng. Species diversity of karst original forest in different geochemical environments in Maolan[J]. *Ecology and Environment*, 2006, 15(3): 572-576.
- [18] 周运超, 潘根兴. 茂兰森林生态系统对岩溶环境的适应与调节[J]. *中国岩溶*, 2001, 18(1): 47-52.
- ZHOU Yunchao, PAN Genxing. Adaptation and adjustment of Maolan forest ecosystem to karst environment[J]. *Carsologica Sinica*, 2001, 18(1): 47-52.
- [19] 莫春梦. 桂林市毛村流域碳酸盐岩混合溶蚀实验研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2019.
- MO Chunmeng. Experimental study on mixed dissolution of carbonate rock in Maocun watershed of Guilin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2019.
- [20] 陈志辉, 王克林, 陈洪松, 何寻阳. 喀斯特环境移民迁出区植物多样性研究[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(3): 723-727.
- CHEN Zhihui, WANG Kelin, CHEN Hongsong, HE Xunyang. Plant diversity during natural recovery process of vegetation in karst environment emigrant areas[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(3): 723-727.
- [21] 隋玉龙, 马小欣, 马莉, 陆贵巧, 周国娜. 雾灵山几种常见植物群落表现面积的研究[J]. *绿色科技*, 2014(1): 86-88.
- SUI Yulong, MA Xiaoxin, MA Li, LU Guiqiao, ZHOU Guona. Study on the area of some common plant communities in Mount Wuling[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2014(1): 86-88.
- [22] 黎燕琼, 郑绍伟, 龚固堂, 陈俊华, 朱志芳, 吴雪仙, 慕长龙. 生物多样性研究进展[J]. *四川林业科技*, 2011, 32(4): 12-19.
- LI Yanqiong, ZHENG Shaowei, GONG Gutang, CHEN Junhua, ZHU Zhifang, WU Xuexian, MU Changlong. Advances in biodiversity research[J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2011, 32(4): 12-19.
- [23] 袁秀, 马克明, 王德. 草地植物群落最优分类数的确定: 以黄河三角洲为例[J]. *生态学报*, 2013, 33(8): 2514-2520.
- YUAN Xiu, MA Keming, WANG De. Optimal number of herb vegetation clusters: a case study on Yellow River Delta[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(8): 2514-2520.
- [24] 陈晓熹, 杨新东, 曾献兴, 陈流保, 谢冲林, 黄久香, 吴建辉, 李意德, 许涵. 环境因子对青山山自然保护区森林群落物种分布的影响[J]. *生态学报*, 2019, 38(12): 3642-3650.
- CHEN Xiaoxi, YANG Xindong, ZENG Xianxin, CHEN Liubao, XIE Chonglin, HUANG Jiuxiang, WU Jianhui, LI Yide, XU Han. Influences of environmental factors on species distribution in forest community in Wengyuan Qingyunshan Nature Reserve, Guangdong[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(12): 3642-3650.
- [25] 董世魁, 汤琳, 张相锋, 刘世梁, 刘全儒, 苏旭坤, 张勇, 武晓宇, 赵珍珍, 李钰, 沙威. 高寒草地植物物种多样性与功能多样性的关系[J]. *生态学报*, 2017, 37(5): 1472-1483.
- DONG Shikui, TANG Lin, ZHANG Xiangfeng, LIU Shiliang, LIU Quanru, SU Xunkun, ZHANG Yong, WU Xiaoyu, ZHAO Zhenzhen, LI Yu, SHA Wei. Relationship between plant species diversity and functional diversity in alpine grasslands[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(5): 1472-1483.
- [26] 李杰, 乌仁其其格, 黄振艳. 呼伦贝尔草甸草原不同退化程度草地群落物种组成特征分析[J]. *广东农业科学*, 2013, 40(18): 139-143, 180.
- LI Jie, WUREN Qiqige, HUANG Zhenyan. Analysis on characteristic of plant community species composition under different degeneration degree grassland in the meadow steppe of Hulunbuir[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013, 40(18): 139-143, 180.
- [27] 唐志尧, 方精云. 植物物种多样性的垂直分布格局[J]. *生物多样性*, 2004, 12(1): 20-28.
- TANG Zhiyao, FANG Jingyun. A review on the elevational patterns plant species diversity[J]. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 20-28.
- [28] 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[J]. *地球与环境*, 2010, 38(1): 1-7.
- ZHOU Yunchao, WANG Shijie, LU Hongmei. Spatial distribution of soils during the process of karst rocky desertification[J]. *Earth and Environment*, 2010, 38(1): 1-7.
- [29] 农友, 卢立华, 贾宏炎, 雷丽群, 明安刚, 李华, 王亚南, 韦菊玲. 桂西南岩溶区不同恢复模式群落生物量及林下植物多样性[J]. *林业科学研究*, 2017, 30(2): 200-205.
- NONG You, LU Lihua, JIA Hongyan, LEI Lihua, MING Angang, LI Hua, WANG Yanan, WEI Juling. Community biomass and understory plant diversity under different vegetation restoration models of karst region in Southwest Guangxi[J]. *Forest Research*, 2017, 30(2): 200-205.
- [30] 司彬, 姚小华, 任华东, 李生, 何丙辉. 滇东喀斯特植被恢复演替过程中物种多样性研究[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2009, 31(1): 132-139.
- SI Bin, YAO Xiaohua, REN Huadong, LI Sheng, HE Binghui. Species diversity in the process of vegetation succession in the karst area in eastern Yunnan[J]. *Journal of Southwest University (Natural science edition)*, 2009, 31(1): 132-139.
- [31] 齐代华. 九寨沟水生植物物种多样性及其环境关系研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- QI Daihua. Species diversity of aquatic plant and its correlation with environment in Jiuzhaigou[D]. Chongqing: Southwest University, 2007.
- [32] 隋媛媛, 杜峰, 张兴昌. 黄土丘陵区撂荒群落土壤速效养分空间变异性研究[J]. *草业学报*, 2011, 20(2): 76-84.
- SUI Yuanyuan, DU Feng, ZHANG Xingchang. Spatial heterogeneity of available soil nutrients in abandoned olefield communities in the loess Hilly Region[J]. *Acta Prun Aculturae Sinica*, 2011, 20(2): 76-84.
- [33] Hinsinger P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review[J]. *Plant & Soil*, 2001, 237(2): 179.
- [34] 潘攀, 王长庭, 胡雷, 刘斯莉, 李洁. 植物群落和土壤对人工草地恢复演替的协同响应[J]. *生态环境学报*, 2020, 29

- (12): 2355-2364.
- PAN Pan, WANG Changting, HU Lei, LIU Sili, LI Jie. The synergistic responses of plant community and soil to the restorative succession of cultivated grassland[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(12): 2355-2364.
- [35] 高英志, 韩兴国, 汪诗平. 放牧对草原土壤的影响[J]. *生态学报*, 2004, 24(4): 791-797.
- GAO Yingzhi, HAN Xingguo, WANG Shiping. The effects of grazing on grassland soils[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 791-797.
- [36] 嘎玛达尔基, 杨泽, 谭星儒, 王珊珊, 李伟晶, 游翠海, 王彦兵, 张兵伟, 任婷婷, 陈世革. 凋落物输入变化和氮添加对半干旱草原群落生产力及功能群组成的影响[J]. *植物生态学报*, 2020, 44(8): 791-806.
- GAMADAERJI, YANG Ze, TANG Xingru, WANG Shanshan, LI Weijing, YOU Cuihai, WANG Yanbing, ZHANG Bingwei, REN Tingting, CHEN Shiping. Effect of altered litter input and nitrogen addition on ecosystem aboveground primary productivity and plant functional group composition in a semiarid grassland[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2020, 44(8): 791-806.
- [37] 徐洪雨, 王英宇, 宋桂龙, 韩烈保. 华北土石山区公路边坡常见植物根系地下分布特征[J]. *中国水土保持科学*, 2013, 11(2): 51-58.
- XU Hongyu, WANG Yingyu, SONG Guilong, HAN Liebao. Characteristics of root system distribution of common plants on freeway slopes in earthy-rocky mountain area of North China[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2013, 11(2): 51-58.
- [38] 徐远杰, 陈亚宁, 李卫红, 付爱红, 马晓东, 桂东伟, 陈亚鹏. 伊犁河谷山地植物群落物种多样性分布格局及环境解释[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(10): 1142-1154.
- XU Yuanjie, CHEN Yaning, LI Weihong, FU Aihong, MA Xiaodong, GUI Dongwei, CHEN Yapeng. Distribution pattern and environmental interpretation of plant species diversity in the mountainous region of Ili River Valley, Xinjiang, China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(10): 1142-1154.

Correlation between the composition and diversity of community species and soil factors under two geological conditions

——A case study of Mao village in Guilin

ZHANG Xunyu¹, ZHOU Yunchao¹, HUANG Mei¹, BAI Yunxing¹, ZHANG Chunlai^{2,3,4}

(1. Research Center for Forest Resources and Environment of Guizhou Province, Guizhou University/Key Laboratory of Plateau Mountain Tree Breeding of Guizhou Province/College of Forestry, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China; 3. Key Laboratory of Karst Dynamics, MNR&GZAR, Guilin, Guangxi 541004, China; 4. International Research Center on Karst under the Auspices of UNESCO, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract In order to compare the differences of species composition and diversity between karst and non-karst areas, and to explore the influence of different soil factors under these two geological conditions on species diversity, we conducted a field investigation in Maocun of Guilin that is composed of both karst and non-karst areas. Results show that a total of 123 species is recorded in the study area, including 87 species, 46 genera and 35 families in karst area and 95 species, 61 genera and 48 families in the non-karst area. The number of species composition in non-karst area is significantly higher than that in the karst area. In addition, the quadrat of species diversity in karst area is listed as: herb quadrat>shrub quadrat>tree quadrat. In the non-karst area, it is listed as, shrub quadrat>tree quadrat>herb quadrat. Finally, different types of geological background contribute to different soil factors, among which the total nitrogen content of soil has the most significant effect on species diversity. In conclusion, the species composition and diversity in the karst area is significantly lower than that in the non-karst area, and there is a correlation between soil factors and species diversity. Total nitrogen of soil has the most significant effect on species diversity, and the soil depth weakens the correlation between soil factors and species diversity. Comparing the relationship between soil factors and species in karst and non-karst areas provides a theoretical basis for the restoration and reconstruction of regional ecosystem.

Key words karst area, species composition, diversity, redundancy analysis

(编辑 张玲 杨杨)