



贵州省宽阔水国家级自然保护区草本植物区系及物种多样性研究

曹晓栋¹, 杨波¹, 黄梅¹, 余爽¹, 余登利², 白新祥^{1*}

(1 贵州大学林学院,贵阳 550025;2 贵州省宽阔水国家级自然保护区管理局,贵州绥阳 563300)

摘要:该研究以宽阔水国家级自然保护区野生草本植物为研究对象,依据不同生境类型共选取10个样地进行调查,分析草本植物物种组成、区系特点及物种多样性的变化规律,为保护区草本植物物种多样性研究提供基础资料。结果表明:(1)样地内共有草本植物58科183属277种(含种下分类单位),以菊科(Asteraceae)、唇形科(Lamiaceae)、禾本科(Poaceae)和荨麻科(Urticaceae)为优势科;以凤仙花属(*Impatiens*)、堇菜属(*Viola*)、蓼属(*Persicaria*)和冷水花属(*Pilea*)为优势属。(2)在分布区类型中,科的热带分布成分最多,这与保护区所处的中亚热带植被环境的特点相吻合,属的温带地理分布比重最大(61.69%),但温带分布属内含种数较少,均以单种属为主,相反热带分布属的种数较多,并且属级在区系性质的分析中和科级相比更为敏感和可靠;由科和属的性质递变来看,热带性与温带性成分相互渗透,有较明显的过渡特征,属级的地理分布反映出保护区草本植物区系属于亚热带向暖温带过渡分布的性质。(3)各样地中草本植物群落组成有较大的差异,不同样地草本植物群落的 α 多样性指数与丰富度指数的变化格局不完全一致,但总体变化趋势是一致的,均在样地7的草本植物群落中达到峰值;相异性系数和Cody指数变化格局较为一致,总体呈现上升的趋势;样地8中草本植物多样性指数偏低,受人为干扰因素影响较大。

关键词:草本植物;植物区系;物种多样性;宽阔水国家级自然保护区

中图分类号:Q948.15;Q948.5 文献标志码:A

Flora and Species Diversity of Herbaceous Plants in Kuankuoshui National Nature Reserve of Guizhou

CAO Xiaodong¹, YANG Bo¹, HUANG Mei¹, YU Shuang¹, YU Dengli², BAI Xinxiang^{1*}

(1 College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2 Kuankuoshui National Nature Reserve, Suiyang, Guizhou 563300, China)

Abstract: The community of wild herbaceous plants in Kuankuoshui National Nature Reserve was taken as the research object. According to different habitat types and environmental gradients, we selected 10 plots for investigation, to understand plant species composition, flora characteristics, and species diversity of the herbaceous community in this reserve and provide basic information for the ecosystems. The results showed that: (1) the herbaceous plant composition was relatively rich and the total 277 species belonged to 58 families and 183 genera, with Asteraceae, Lamiaceae, Poaceae and Urticaceae being dominant families. The preponderant genera were *Impatiens*, *Viola*, *Persicaria*, *Pilea*. (2) In the distribution area type,

收稿日期:2021-01-04;修改稿收到日期:2021-07-12

基金项目:贵州省野生观赏植物资源调查(701256192201);贵州宽阔水国家级自然保护区保护与监测工程建设项目(2019-C027)

作者简介:曹晓栋(1995—),男,硕士研究生,主要研究方向为野生观赏植物种质资源调查。E-mail:1364850979@qq.com

*通信作者:白新祥,副教授,硕士生导师,主要从事野生观赏植物种质资源及开发利用等研究。E-mail:254715174@qq.com

the tropical distribution component of families is the most, this is consistent with the characteristics of the vegetation environment in the middle subtropical zone. The temperate geographical distribution proportion of genera is the largest (61.69%), but they contain less species, and are dominated by single species. On the contrary, there are more species in tropical distribution genera, and the analysis of the floristic nature of the genus level is more sensitive and reliable than that of the family level. From the perspective of the gradual change of the nature of family and genus, the tropical and temperate elements infiltrate each other and have obvious transitional characteristics. Therefore, the geographical distribution of the genus level reflects that the herbaceous ornamental flora in the Nature Reserve belongs to the nature of the transition from subtropical to warm temperate. (3) There are great differences in the composition of herbaceous plant community among different plots, The variation patterns of diversity and richness of wild herbaceous plant communities were not identical, but the overall trend is the same. Both diversity and richness were maximized in plot 7. The change trend of β diversity coefficient and Cody index of plant community was basically the same, and showed an upward pattern on the whole. The diversity index of herbaceous plants in plot 8 was low, which was greatly affected by human disturbance.

Key words: herbaceous community; flora; species diversity; Kuankuoshui National Nature Reserve

物种多样性是指物种水平上的生物多样性,它既体现了生物之间及其与环境的复杂关系,又体现了生物资源的丰富性^[1],它作为群落生态学研究的重要内容之一^[2],是生态系统功能的基础,是衡量一定区域内生物资源丰富程度的一个客观指标。物种多样性不仅可以反映群落中物种的丰富度和均匀度,也能反映群落组成结构与环境因子间的相互关系及其发展变化情况^[3-5]。在自然保护区森林植物群落中,相对较高大的木本植物而言,草本植物虽植株矮小,生物量所占比率低,但其有着整个森林生态系统中较高的物种丰富度和物种多样性,所以研究保护区草本植物的物种多样性可以更好地了解保护区内植物群落的组成、变化和发展情况,对植物群落物种多样性的监测也可以反映群落及其环境的保护状况^[6-7],同时对控制和预防珍稀濒危物种的丧失具有重要意义^[8]。

宽阔水国家级自然保护区处于黔北大娄山山脉的喀斯特台原区,区内生态系统的组成成分与结构较复杂,生境类型多样,是黔北生物多样性保护的重点地区之一^[9]。保护区内植被覆盖率高,原生性强,植物多样性较丰富,为许多物种提供了理想的栖息场所。植被是自然保护区最重要的组成成分之一,植被的保护状况是管理和评价保护区的重要依据和指标^[10]。但近年来对宽阔水保护区生物多样性的研究主要集中在鸟类、黑叶猴、昆虫等动物领域^[11-12],植物领域主要集中在对亮叶水青冈(*Fagus lucida*)、白辛树(*Pterostyrax psilophyllus*)等木本植物群落的研究^[13-14]。草本植物物种多样性组成是保护区的根本所在,在温带森林群落中,草本层植

物在全部维管植物中的占比高达90%^[15],保护区缺少关于该区域内的草本植物物种多样性的组成情况,这在很大程度上制约了保护工作的开展^[16],因此,调查和分析保护区内草本植物的物种多样性对维护保护区植物环境和生物多样性具有重要意义。本文通过对宽阔水保护区草本植物区系及物种多样性等方面的研究,旨在为本区域草本植物资源的保护、合理利用提供理论依据,促进保护区的自身建设和自我管理,同时也为植物物种多样性等方面的研究提供重要的基础资料^[17]。

1 研究区概况

宽阔水国家级自然保护区地处贵州省遵义市绥阳县境北部,黔北大娄山山脉东部斜坡地带,属亚热带季风性气候,地理坐标为E107°02'42"~107°13'26",N28°08'23"~28°19'10"。地势中间高、四周低,海拔650~1 762 m,东西宽约19 km,南北长约20 km,总面积26 231 hm²^[14]。常年气温较低,云雾多,日照少,具有低纬度山地湿润性气候特点,年平均气温11.7~15.2℃,年降水量1 300~1 350 mm,年平均相对湿度超过82%。土壤以黄棕壤、黄壤为主,植被为中亚热带常绿落叶阔叶混交林,森林覆盖率为77.07%,是黔北喀斯特地貌物种多样性最丰富的地区之一^[14],区内以中亚热带原生性亮叶水青冈森林生态系统和黑叶猴及其栖息地为主要保护对象^[18-19]。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查方法

调查工作采用样线调查和样地调查相结合的方

表 1 宽阔水国家级自然保护区样地基本概况

Table 1 Characteristics of the ten plots in Kuankuoshui National Nature Reserve

样地 Plot	对应位置 Relative locality	经纬度 Longitude and Latitude	海拔高度 Altitude/m
1	太阳山 Taiyangshan	107°9'36.81"E; 28°14'9.54"N	1 707
2	大面坡垭口 Damianpo yakou	107°9'34.58"E; 28°13'49.99"N	1 655
3	一线天 Yixiantian	107°11'4.16"E; 28°14'13.21"N	1 605
4	金林山 Jinlinshan	107°10'36.33"E; 28°12'45.07"N	1 553
5	刘家林 Liujielin	107°10'32.8"E; 28°13'39.6"N	1 505
6	黄林岩 Huanglinyan	107°10'23.17"E; 28°12'27.36"N	1 409
7	飘水岩 Piaoshuiyan	107°10'53.25"E; 28°12'2.4"N	1 360
8	林树湾 Linshuwban	107°11'16.7"E; 28°11'50.33"N	1 295
9	香树湾 Xiangshuwban	107°12'48.65"E; 28°13'40.79"N	1 166
10	苏家沟 Sujiagou	107°6'52.53"E; 28°11'51.56"N	951

法,在2019年9月至2020年12月期间,保障最少每月一次的频率对宽阔水保护区野生草本植物进行野外调查,依据不同的生境类型和海拔梯度,分别在研究区内选取10个样地进行调查研究(表1),样地总面积为1 hm²。样地选择参照罗黎鸣等学者对草本植物调查取样的方法^[20-22],根据样地的具体环境和植被生长状况,设置长500 m、宽2 m的样带,在每条样带上间隔10 m设置1 m×1 m的样方,共500个样方。调查内容包括:植物的名称、个体数、盖度和株高,以及样方的生境类型、坡向坡位和海拔等相关内容,本研究植物调查和讨论只针对种子植物^[17]。

2.2 区系分析

查阅相关文献资料对所调查的植物物种进行鉴定^[18-19,23-25]。区系成分分析以世界种子植物科的分布区类型和中国种子植物属的分布区类型为理论依据^[26-28],参照潘云芬等学者对于保护区的植物区系研究方法进行分析^[29-30],在进行科属种的区系分析时,种下分类单位均视作种级看待^[17]。

2.3 物种多样性的测度

参照徐志果^[31]、刘召强等^[32]和余飞燕等^[5]的物种多样性的测度方法,各指标计算公式如下:

(1)重要值(IV)=(相对密度+相对盖度+相对频度)/3

$$(2) \text{物种丰富度}(R) = \frac{S-1}{\ln N}$$

式中 R 为 Margalef 物种丰富度指数; S 为样方内物种数目; N 为样方内所有物种的个体总数(随样方面积大小而变化)。

(3)α 多样性测度方法

Simpson 优势度指数(DS)

$$DS = 1 - \sum_{i=1}^s \frac{N_i(N_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Shannon-Weiner 多样性指数(H')

$$H' = -\sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i), P_i = N_i / N$$

$$\text{Pielou 均匀度指数}(JP) = \frac{H'}{\ln s}$$

式中 i: 第 i 个种, N_i 为样方内第 i 个物种的个体数; N 为样方内所有物种个体数; P_i 为样方内第 i 个物种的个体数占所有物种个体数的比例。

(4)β 多样性测度方法

$$\text{相异性系数}(CD) = 1 - 2c/a + b$$

Cody 指数(β_T)

$$\beta_T = [g(H) + l(H)]/2 = (a + b - 2c)/2$$

式中, a 和 b 分别为 2 群落的物种数, c 为 2 群落的共有物种数。

3 结果与分析

3.1 宽阔水国家级自然保护区草本植物物种组成

经过此次调查统计研究区共有草本植物 58 科 183 属 277 种(含种下分类单位,下同),其中包含双子叶植物 42 科 145 属 231 种,单子叶植物 16 科 38 属 46 种。

3.1.1 科的组成分析 研究区调查到草本植物共有 58 科,详见表 2,含 5 属以上的有 12 科,占总科数的 20.69%,计 113 属,占总属数的 61.75%,其中菊科(Asteraceae)、唇形科(Lamiaceae)、禾本科(Poaceae)和荨麻科(Urticaceae)在研究区草本植物组成上占有重要位置,含 5 属以下的科有 46 科,占

总科数的 79.31%，占总属数的 38.25%，占次要位置。

由表 3 可知，含 20 种以上的科有 2 个，即菊科（32 属 44 种）和唇形科（12 属 20 种），占总种数的 23.10%。含 10~20 种的科有 5 个，即荨麻科 10 属 19 种、伞形科（Apiaceae）8 属 11 种、蓼科（Polygonaceae）5 属 11 种、禾本科 10 属 10 种和毛茛科（Ranunculaceae）8 属 10 种，共占总种数的 22.02%。含 2~9 种的小型科和单种科共有 51 科，占总科数的 87.93%，含种数 152 种，占总种数的 57.87%，这些类群在群落中虽然不占主导地位，但体现了本区域植物区系的复杂性和多样性^[17]。

3.1.2 属的组成分析 研究区共计草本植物 183 属，详见表 4。其中含 9 种的属有凤仙花属（*Impatiens*）；含 7 种的属有堇菜属（*Viola*）、蓼属（*Persicaria*）、冷水花属（*Pilea*）；含 2~4 种的属有 41 属，

单种属 136 属。寡种属（2~4 种）和单种属共 177 属，237 种，占总属数的 96.72% 和总种数的 85.56%，由此可见，研究区属的组成较为分散，以寡种属和单种属为主，植物成分组成较为复杂。

3.2 宽阔水国家级自然保护区草本植物的分布区类型分析

3.2.1 科的分布区类型 参考李锡文、吴征镒^[26,28]关于世界种子植物科的分布区类型的划分，由表 5 可知，研究区草本植物 58 科在 7 个分布区类型中均有涉及，科的分布区类型较为集中，在泛热带分布类型中占比最高。在世界范围内分布的科主要有唇形科、禾本科、菊科、堇菜科（Violaceae）等 26 科，此类型包括的科数较多，占绝对优势，但由于该类型分布范围较广，很难凸显区系性质，在区系分析中地位不突出，所以在统计分析时暂不进行考虑。泛热带分布的主要有大戟科（Euphorbiaceae）、凤仙

表 2 宽阔水国家级自然保护区草本植物科内属的组成

Table 2 The Composition of genera in families of herbaceous plants in Kuankuoshui National Nature Reserve

科内含属数 No. of genus in family	科数 No. of family	占总科数 Proportion of total families/%	属数 No. of genus	占总属数 Proportion of total genera/%
≥10	4	6.90	64	34.97
5~9	8	13.79	49	26.78
2~4	16	27.59	40	21.86
1	30	51.72	30	16.39
总计 Total	58	100.00	183	100.00

表 3 宽阔水国家级自然保护区草本植物科内种的组成

Table 3 The Composition of species in families of herbaceous plants in Kuankuoshui National Nature Reserve

科内含种数 No. of species in family	科数 No. of family	占总科数 Proportion of total families/%	种数 No. of species	占总种数 Proportion of total species/%
≥20	2	3.45	64	23.10
10~20	5	8.62	61	22.02
2~9	31	53.45	132	47.65
1	20	34.48	20	7.22
总计 Total	58	100.00	277	100.00

表 4 宽阔水国家级自然保护区草本植物属内种的组成

Table 4 The Composition of species in genera of herbaceous plants in Kuankuoshui National Nature Reserve

属内含种数 No. of species in genus	属数 No. of genus	占总属数 Proportion of total genera/%	种数 No. of species	占总种数 Proportion of total species/%
≥9	1	0.55	9	3.25
5~7	5	2.73	31	11.19
2~4	41	22.40	101	36.46
1	136	74.32	136	49.10
总计 Total	183	100.00	277	100.00

花科(Balsaminaceae)、秋海棠科(Begoniaceae)、苦苣苔科(Gesneriaceae)、石蒜科(Amaryllidaceae)等16科,占非世界广布科的50%;北温带分布的主要有桔梗科(Campanulaceae)、忍冬科(Caprifoliaceae)等8科,占非世界广布科的25%;东亚和北美间断分布的科主要有菖蒲科(Acoraceae)、透骨草科(Phrymaceae)等4科,占非世界广布科的12.5%;其他的分布区类型都只有少数一两科,占比较小。

3.2.2 属的分布区类型 在植物区系研究中,相对于科的区系,属的区系更能体现出植物在进化过程中的分布情况和区域地理特征^[33]。在分类学中,属所包含的种常具有同一起源和相似的进化趋势,并且属的分类特征相对稳定,在进化过程中有较明显的地区性差异,能较好地对彼此进行区分。参考中国种子植物属的分布区类型划分标准^[27],研究区草本植物183属,在13个分布区类型中均有涉及(表5),世界分布型共有29属,由于世界分布属在分析本研究区草本植物区系关系时意义较小,所以重点分析其余的分布类型。

热带区域分布的属共59属,占非世界广布属的38.31%。其中泛热带分布的属有23属,占非世界广布属的14.94%,包含凤仙花属、虾脊兰属(Calanthe)、冷水花属、金粟兰属(Chloranthus)等,

是宽阔水保护区草本植物热带分布属的主要成分。热带亚洲和热带美洲间断分布的仅有葱莲属(Zephyranthes)。旧世界热带分布的有香茶菜属(Isodon)、艾纳香属(Blumea)、楼梯草属(Elatostema)和山珊瑚属(Galeola)4属。热带亚洲至热带大洋洲分布的有蜈蚣草属(Eremochloa)、十万错属(Asystasia)、兰属(Cymbidium)和通泉草属(Mazus)4属。热带亚洲至热带非洲分布的有芒属(Misanthus)、野苘蒿属(Crassocephalum)、魔芋属(Amorphophallus)、水麻属(Debregeasia)等8属。热带亚洲分布的共19属,主要有半蒴苣苔属(Hemiboea)、斑叶兰属(Goodyera)、蛇根草属(Ophiorrhiza)、肉穗草属(Sarcopyramis)等。

温带区域分布的属共95属,占非世界广布属的61.69%,高于热带分布属。其中北温带分布有46属,占非世界广布属的29.87%,常见的属有紫菀属(Aster)、风轮菜属(Clinopodium)、报春花属(Primula)、紫堇属(Corydalis)等。东亚和北美洲间断分布的有龙头草属(Meehania)、黄水枝属(Tiarella)、金线草属(Antennorion)等9属。旧世界温带分布的主要有天名精属(Carpesium)、水芹属(Oenanthe)、淫羊藿属(Epimedium)等12属。温带亚洲分布的有菊属(Cirsium)、黏冠草属(Myriactis)、附地菜属

表5 宽阔水国家级自然保护区野生草本植物科、属的分布区类型

Table 5 The areal-types of spermatophytic families and genera in Kuankuoshui National Nature Reserve

分布区类型 Areal type	科数 No. of family	占非世界广布科比例 Proportion of non world wide spread families/%	属数 No. of genus	占非世界广布属比例 Proportion of non world widespread genera/%	区系性质 Floristic nature
1. 世界分布 Cosmopolitan	26	—	29	—	
2. 泛热带分布及其变型 Pantropic	16	50	23	14.94	
3. 热带亚洲和热带美洲间断分布 Trop. Asia & Trop. Amer. disjuncted	—	—	1	0.65	热带性质 (Type 2-7)
4. 旧世界热带分布及其变型 Old World Tropic	2	6.24	4	2.60	Tropical nature (Type 2-7)
5. 热带亚洲至热带大洋洲分布及其变型 Trop. Asia to Trop. Australasia oceania	—	—	4	2.60	
6. 热带亚洲至热带非洲分布及其变型 Trop. Asia to Trop. Africa	—	—	8	5.19	
7. 热带亚洲分布及其变型 Trop. Asia	1	3.13	19	12.34	
8. 北温带分布及其变型 North Temperate	8	25	46	29.87	
9. 东亚和北美洲间断 Asia & N. America disjuncted	4	12.50	9	5.83	
10. 旧世界温带分布 Old world Temp.	—	—	12	7.79	温带性质 (Type 8-15)
11. 温带亚洲分布 Temp. Asia	—	—	3	1.95	Temperate properties (Type 8-15)
12. 地中海区、西亚至中亚分布 Mediterranean, W. Asia to Central Asia	1	3.13	—	—	
13. 中亚分布 Central Asia	—	—	—	—	
14. 东亚分布 East Asia	—	—	22	14.29	
15. 中国特有分布 Endemic to China	—	—	3	1.95	
合计 Total	58	100	183	100	

(*Trigonotis*)3 属。东亚分布的共 22 属,主要有沿阶草属(*Ophiopogon*)、黄鹤菜属(*Youngia*)、石芥苣属(*Mosla*)、蒲儿根属(*Sinosenecio*)等。中国特有分布的属有 3 属,包括星果草属(*Asteropyrum*)、尾囊草属(*Urophysa*)和血水草属(*Eomecon*)。

从表 5 可看出,宽阔水保护区草本植物科的分布可划分为 7 个分布区类型,其中热带区域共分布 19 科,温带区域共分布 13 科,热带成分科较多于温带成分科,两者科数 R/T 值为 1.46。保护区属的分布可划分为 13 个分布区类型,只有 2 个类型没有涉及,说明保护区内草本植物属的区系地理成分复杂,分布区类型多样且广泛,其中热带区域共分布 59 属,温带区域共分布 95 属,总体上温带成分较热带成分,两者属数 R/T 值为 0.62,表明保护区属的分布类型以温带地理分布为主,热带地理分布为辅。温带地理分布属的比重较高,但属内种数较少,均以单种属为主,相反热带分布属的种数较多,这表明宽阔水国家级自然保护区野生草本植物区系具有亚热带与暖温带的双重性质,但以暖温带为主,其中,中国特有分布属种类较多,反映出保护区有悠久的植物区系历史和相对稳定的植物群落。

3.3 草本植物群落物种多样性分析

3.3.1 不同生境下草本植物群落组成变化 重要值是判断以及计算物种多样性的重要指标,它的综合分值可以反映物种在群落中的相对重要性,其大小是判断优势种和亚优势种的重要指标^[34]。宽阔水国家级自然保护区草本植物群落优势种主要有求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、冷水花(*Pilea notata*)、过路黄(*Lysimachia christiniae*)等。由表 6 可知,在所调查的不同样地中求米草的占比均较高,多为优势种,可能由于研究区主要为黄棕壤,比较适宜根茎型禾草的生长,并且求米草等根茎型禾草具有发达的根状茎,繁殖较快。样地 1 中植物群落以冷水花、鸭儿芹(*Cryptotaenia japonica*)、求米草、牛膝(*Achyranthes bidentata*)为优势种,四者重要值之和达 32.78%。样地 2 的地势低于样地 1,物种数多于样地 1,种间分布较均匀,优势种为薄片变豆菜(*Sanicula lamelligera*)、深圆齿堇菜(*Viola davidii*)等。样地 3 的植物群落以求米草为优势种,其重要值为 10.2%,伴生种为野棉花(*Anemone vitifolia*)、细柄凤仙花(*Impatiens leptocaulon*)、野艾蒿(*Artemisia lavandulifolia*)等。样地 4 的植物群落以过路黄(*Lysimachia christiniae*)、求米草、赤车(*Pellionia radicans*)、蛇莓(*Duchesnea indica*)

为优势种,四者重要值之和达 34.96%。样地 5 的植物群落以车前(*Plantago asiatica*)、过路黄、冷水花、蛇莓为优势种,四者重要值之和达 37.14%。样地 6 的植物群落以求米草、细柄凤仙花、冷水花、楼梯草(*Elatostema involucratum*)为优势种,四者重要值之和达 34.23%。样地 7 位于河流沿岸,环境湿润,适宜野生草本植物的生长,植物种类丰富,其中楼梯草、薄叶新耳草(*Neanotis hirsuta*)、冷水花、龙头草(*Meehania henryi*)的重要值在样地中相对较高。样地 8 的植物群落以求米草、鸭儿芹、三脉紫菀(*Aster ageratoides*)为优势种,三者重要值之和达 31.98%。样地 9 的植物群落主要位于喀斯特岩溶生境,植物种类较为特殊,其中过路黄、滇黔蒲儿根(*Sinosenecio bodinieri*)、黄花蒿(*Artemisia annua*)、假还阳参(*Crepidiastrum lanceolatum*)的重要值较高。样地 10 的植物群落以冷水花、楼梯草、薄片变豆菜、过路黄为优势种,四者重要值之和达 22.91%。总的来说,样地海拔和样地植物群落的重要值呈正相关的关系,低海拔样地植物群落重要值较均匀,物种多样性高,种类较为丰富。

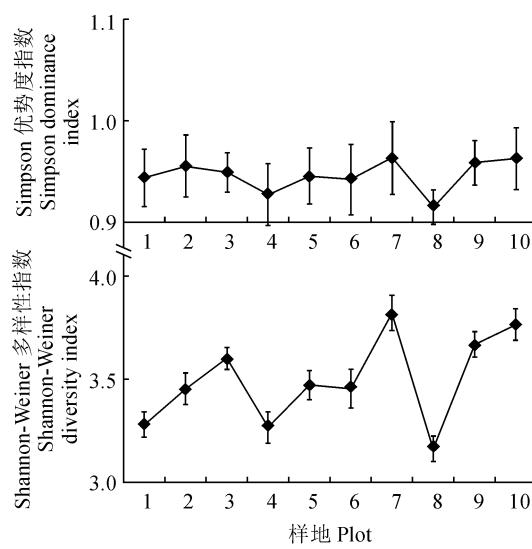
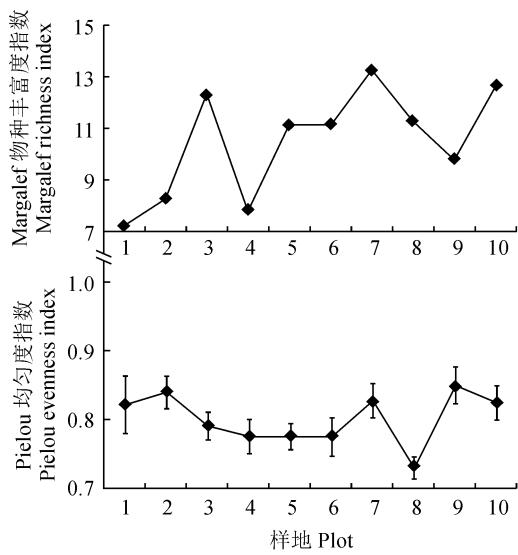
3.3.2 不同生境下物种丰富度的变化 物种丰富度是量化生态系统对气候与人为干扰反应最重要的指标之一^[35],当 Margalef 物种丰富度指数值越大,表示该群落或生境内物种种类越丰富。由图 1 可知,在宽阔水保护区所调查的 10 个样地中,植物群落的物种丰富度大体呈现逐步增加的格局。样地 7 的物种丰富度指数最高(13.26),样地中出现了 101 种草本植物。样地 1 的物种丰富度指数最低(7.23),样地仅出现了 54 种草本植物。样地 1、2、4 的整体物种丰富度指数都较低,可能是因为植物群落中林木层的覆盖度较高,主要表现在金佛山方竹(*Chimonobambusa utilis*)的过密生长,导致郁闭度过高,竹下空间抑制了草本植物的生长,缺乏草本植物所需的光照以及养分。样地 9 的物种丰富度指数低于样地 8 和 10,由于样地 9 位于喀斯特岩溶生境条件下,样地中以岩生植物为主,种类较为特殊,从而导致物种丰富度指数低于周边样地。总的来说,海拔越低且水分光照充足的样地,物种丰富度指数就越高,草本植物种类越丰富。

3.3.3 不同生境下物种 α 多样性的变化 宽阔水国家级自然保护区草本植物群落的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数变化如图 1 所示,可以看出,Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数变化格局基本相同,均表现为先上升后下降

表 6 宽阔水国家级自然保护区样地中重要值排前 4 位的植物

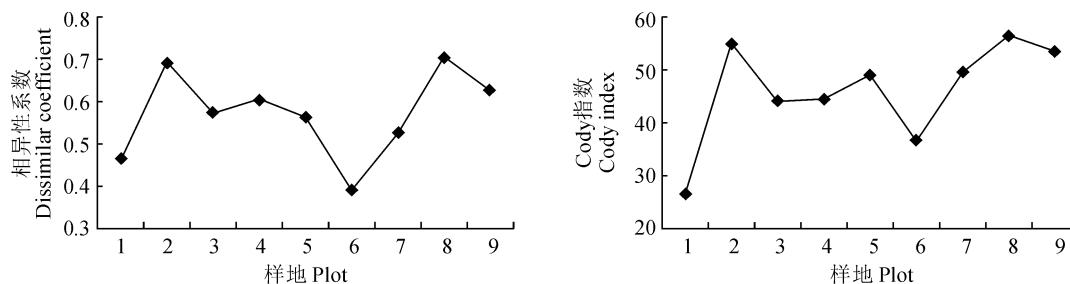
Table 6 The top four important species in the plots of Kuankuoshui National Nature Reserve

样地 Plot	第一位 The first		第二位 The second		第三位 The third		第四位 The fourth	
	物种 Species	重要值 Important value	物种 Species	重要值 Important value	物种 Species	重要值 Important value	物种 Species	重要值 Important value
1	冷水花 <i>Pilea notata</i>	0.097	鸭儿芹 <i>Cryptotaenia japonica</i>	0.086	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	0.073	牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i>	0.071
2	薄片变豆菜 <i>Sanicula lamelligera</i>	0.070	深圆齿堇菜 <i>Viola davidii</i>	0.068	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	0.065	冷水花 <i>Pilea notata</i>	0.057
3	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	0.102	野棉花 <i>Anemone vitifolia</i>	0.061	细柄凤仙花 <i>Impatiens leptocaulon</i>	0.051	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulifolia</i>	0.050
4	过路黄 <i>Lysimachia christiniae</i>	0.119	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	0.089	赤车 <i>Pellionia radicans</i>	0.076	蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>	0.067
5	车前 <i>Plantago asiatica</i>	0.094	过路黄 <i>Lysimachia christiniae</i>	0.076	冷水花 <i>Pilea notata</i>	0.074	蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>	0.070
6	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	0.093	细柄凤仙花 <i>Impatiens leptocaulon</i>	0.089	冷水花 <i>Pilea notata</i>	0.081	楼梯草 <i>Elatostema involucratum</i>	0.080
7	楼梯草 <i>Elatostema involucratum</i>	0.065	薄叶新耳草 <i>Neanoitis hirsuta</i>	0.059	冷水花 <i>Pilea notata</i>	0.044	龙头草 <i>Meehania henryi</i>	0.041
8	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	0.123	鸭儿芹 <i>Cryptotaenia japonica</i>	0.114	三脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i>	0.083	野艾蒿 <i>Artemisia lavandulifolia</i>	0.037
9	过路黄 <i>Lysimachia christiniae</i>	0.096	滇黔蒲儿根 <i>Sinosenecio bodinieri</i>	0.055	黄花蒿 <i>Artemisia annua</i>	0.038	假还阳参 <i>Crepidiastrum lanceolatum</i>	0.036
10	冷水花 <i>Pilea notata</i>	0.077	楼梯草 <i>Elatostema involucratum</i>	0.065	薄片变豆菜 <i>Sanicula lamelligera</i>	0.045	过路黄 <i>Lysimachia christiniae</i>	0.043

图 1 不同样地草本植物群落 α 多样性的变化Fig. 1 α diversity of herbaceous plant community from different sample plots

再上升的趋势,均在样地 7 草本植物群落中达到峰值,分别为 0.963 和 3.819,在样地 8 草本植物群落中 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数最低,分别为 0.915 和 3.161。Pielou 均匀度指数变化格局与 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数的变化格局不完全一致,但总体变化趋势是一致的,均在样地 8 草本植物群落中指数最低(0.729),这与杨文斌等的研究结论基本一致^[17]。

由于样地 8 的部分地段为喀斯特石壁环境,植被类群少,种类较特殊,物种丰富度较低。其次样地周边有当地村民活动,实地调查发现,该样地群落中包含大面积的中华猕猴桃(*Actinidia chinensis*)和金佛山方竹,一方面由于野生猕猴桃和冬笋,当地村民大量采挖,尤其冬笋的过度采挖,使原有植被群落遭到破坏,导致有些根系较弱的草本植物幼苗死亡,也在一定程度上增加了局部的水土流失,严重影响

图 2 不同样地草本植物群落 β 多样性的变化Fig. 2 β diversity of herbaceous plant community from different sample plots

了该区域的原生态景观。同时,因为人类活动较多,外来植物入侵及其化感作用,严重排挤了入侵区域本土植物的生长,使入侵区域的植物多样性降低^[36]。另一方面由于金佛山方竹大面积生长,竹下空间郁闭度较高,草本层缺乏光照,严重抑制了草本植物的生长,从而导致样地 8 草本植物群落的 α 指标整体较低于其他样地。

3.3.4 不同生境下物种 β 多样性的变化 β 多样性指沿着环境梯度不同生境群落之间物种组成的相异性或物种沿着环境梯度的更替速率,反映生境间的多样性^[37]。 β 多样性用相异性系数和 Cody 指数来表达^[17,38],控制 β 多样性的主要生态因子有水分、土壤、地貌及干扰等^[37,39]。由图 2 可以看出,研究区草本植物群落的相异性系数和 Cody 指数的变化格局比较一致。两个折线的峰值均出现在样地 8 和样地 9 之间(0.71 和 56.5)。相异性系数最小值出现在样地 6 和样地 7 之间(0.39),Cody 指数最小值出现在样地 1 和样地 2 之间(26.5),表明这两个样地海拔段之间物种的更替速率较慢。

4 讨 论

本研究在宽阔水保护区共调查到草本植物 58 科 183 属 277 种,研究区草本植物区系地理成分较为复杂,物种多样性高,其中菊科、唇形科、禾本科和荨麻科在群落中优势度较明显,属的组成不均匀,属内含种数最多的为凤仙花属(9 种),其中寡种属(2~4 种)和单种属占比较高,分别占总属数的 96.72% 和总种数的 85.56%。在宽阔水自然保护区野生草本植物科的分布区类型中,热带成分科(19 科)较多于温带成分科(13 科),R/T 值为 1.46,表明保护区科的分布区类型以热带性质为主,这一特征与宽阔水保护区所处中亚热带植被环境的特点相吻合。属的分布区类型中,热带地理分布共有 59 属,温带地理分布共有 95 属,两者属数 R/T 值为 0.62,在属这一分类等级上,温带性成分增多,分布

类型更占优势,属级对区系性质的分析和科级相比,更为敏感和可靠,由科和属的性质递变可以看出,热带性与温带性成分相互渗透,有较明显的过渡特征,所以宽阔水保护区的草本植物区系属于亚热带向暖温带过渡分布的性质,具有亚热带与暖温带的双重性质,并以暖温带为主。

α 多样性研究结果表明,不同样地中植物群落的物种数量、重要种的组成具有较大的差异,本研究得出研究区不同样地草本植物群落的 α 多样性格局与丰富度的变化格局不完全一致,但总体变化趋势是一致的,均在样地 7 的草本植物群落中达到峰值,造成这种变化的原因,主要与各样地植物群落的生长环境以及受人为干扰程度有关。一方面可能是因为有些样地位于喀斯特岩壁特殊地段,植物种类比较特殊,部分样地受金佛山方竹的影响,不适宜草本植物的生长繁殖,如样地 1、2、4 的植物物种丰富度指数都较低,另一方面由于有些样地受人为干扰比较严重,如样地 8,主要表现在人为活动干扰和过度采挖等。

β 多样性可以定义为群落间的多样性,也可以定义为沿着某一环境梯度物种替代的程度或速率、物种周转率等^[17,40],它既可以反映较大距离上群落组成的差异,也可以是小范围内环境梯度快速变化下物种组成的更替^[41-42]。相异性系数和 Cody 指数分别从上述两个角度反映物种多样性沿环境梯度的分布格局及变化规律,均很好地表达了 β 多样性的含义^[17,38]。在研究结果中,相异性系数最小值在样地 6 和样地 7 的植物群落之间,最大值在样地 8 和样地 9 之间,造成这种情况的原因可能与样地草本植物群落的生境类型、光照强度、土壤类别以及人为干扰因素有关。Cody 指数的变化格局说明,高海拔至低海拔地区不同生境下草本植物中的替代总体上呈现逐渐加快的趋势,本研究中出现的这种变化的原因可能与人为干扰活动和物种之间的相互竞争有关,中度干扰在增加 α 多样性的同时,也导致了生境

的异质性,从而增加了 β 多样性^[37]。

宽阔水国家级自然保护区由山地、丘陵、平原、峡谷等组成了相互依存、相互制约的等级自然体系^[37]。不同样地间的植物群落空间分布格局的复杂性与多变性是由多个自然环境因子综合作用的结果^[37,43]。在实地调查中发现,宽阔水保护区的植物多样性已经受到一定程度人为活动的影响,另外,样地中有竹林的植物群落,草本植物的物种多样性水平明显下降,只存在个别适应性较强的种。这主要是由于在闭郁的林分中,竹林密度大,生态位处于最

下层的草本植物,对光照等资源的反应更为敏感,面临的竞争更为残酷,从而导致草本层植物群落衰退,只有少数适应能力强的种类可以在林下生长,成为绝对优势种^[44]。草本植物是自然保护区最重要的组成成分之一,所以保护和恢复宽阔水保护区内的草本植物多样性已迫在眉睫,首先要加强宣传,提高保护区附近村民保护植物的意识,减少对野生植物的过度采挖,其次,建议相关部门对一些竹林较密区域进行适当的疏伐,给草本植物提供适宜的生长环境,形成人与自然和谐共生的生态景观。

参考文献:

- [1] 董世魁,汤琳,张相锋,等.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):1 472-1 483.
- DONG S K, TANG L, ZHANG X F, et al. Relationship between plant species diversity and functional diversity in alpine grasslands[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(5): 1 472-1 483.
- [2] 盘金文,郭其强,余大龙,等.不同林龄马尾松人工林优势种径级结构及物种多样性分析[J].西北植物学报,2019,39(4):722-728.
- PAN J W, GUO Q Q, YU D L, et al. Analysis on diameter class structure of dominant species and species diversity of *Pinus massoniana* plantation at the different ages[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2019, 39(4): 722-728.
- [3] 郝文芳,梁宗锁,陈存根,等.黄土丘陵区弃耕地群落演替过程中的物种多样性研究[J].草业科学,2005,22(9):1-8.
- HAO W F, LIANG Z S, CHEN C G, et al. Study of species diversity evolvement process during vegetation restoration of abandoned farmland in the hilly loess plateau[J]. *Pratacultural Science*, 2005, 22(9): 1-8.
- [4] 祝存冠,陈桂琛,周国英,等.青海湖区河谷灌丛草地植被群落多样性研究[J].草业科学,2007,24(3):31-35.
- ZHU C G, CHEN G C, ZHOU G Y, et al. Study on plant community diversity in valley shrub grassland of Qinghai Lake region[J]. *Pratacultural Science*, 2007, 24(3): 31-35.
- [5] 余飞燕,王坤锐,叶鑫,等.金马河温江段河岸带不同生境草本群落物种多样性和生物量变化研究[J].草地学报,2020,28(3):793-800.
- YU F Y, WANG K Y, YE X, et al. Research on species diversity and biomass variation of herbaceous community in different habitats in Wenjiang section of Jinma River[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(3): 793-800.
- [6] 谢晋阳,陈灵芝.暖温带落叶阔叶林的物种多样性特征[J].生态学报,1994,(4): 337-344.
- XIE J Y, CHEN L Z. Species diversity characteristics of deciduous forests in the warm temperate zone of North China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, (4): 337-344.
- [7] 谢晋阳,陈灵芝, Ghirelli L, Chiesura L, Lorenzon F. 意大利威尼斯大区刺叶栎林的生物多样性研究[J].植物学报,1995,37(5): 386-393.
- XIE J Y, CHEN L Z, GHIRELLI L, CHIESURA L, LORENZONI F. Biodiversity studies on *Quercus ilex* woods in Veneto, Italy[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1995, 37(5): 386-393.
- [8] 张金铭,符龙飞,洪欣,等.石首麋鹿国家级自然保护区草本植物区系及物种多样性[J].生态学杂志,2019,38(2):513-520.
- ZHANG J M, FU L F, HONG X, et al. Herbaceous flora and species diversity in Shishou Milu National Nature Reserve [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38(2): 513-520.
- [9] 杨焱冰,陈光平,安明态,等.宽阔水国家级自然保护区重点保护野生植物优先保护序列研究[J].中国野生植物资源,2017,36(4): 68-73.
- YANG Y B, CHEN G P, AN M T, et al. Conservation priorities for plants in Kuankushui National Nature Reserve[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2017, 36(4): 68-73.
- [10] 岳明,任毅,党高弟,等.佛坪国家级自然保护区植物群落物种多样性特征[J].生物多样性,1999,7(4):263-269.
- YUE M, REN Y, DANG G D, et al. Species diversity of higher plant communities in Foping National Reserve[J]. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7(4): 263-269.
- [11] CHEN H B, XIU J F, ZHANG C L. A survey OF blackflies with three new species from kuankushui, Guizhou, China (Diptera, SIMULIIDAE) Full-text in English[J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2012, 37(2): 382-388.
- [12] 王佳佳,余志刚,李筑眉,等.贵州宽阔水自然保护区鸟类地面巢捕食者的调查[J].生态学杂志,2014,33(2): 352-357.
- WANG J J, YU Z G, LI Z M, et al. Identifying predators of

- ground nests of birds in Kuankuoshui Nature Reserve, Guizhou, Southwestern China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, **33**(2): 352-357.
- [13] 汪正祥,雷耘, KAZUE FUJIWARA, 等. 亚热带山地亮叶水青冈林的群落分类及物种组成与更新[J]. 生物多样性, 2006, **14**(1): 29-40.
WANG Z X, LEI Y, KAZUE FUJIWARA, et al. Community classification, species composition, and regeneration of *Fagus lucida* forests in subtropical mountains, China[J]. *Biodiversity Science*, 2006, **14**(1): 29-40.
- [14] 陈龙, 安明态, 王加国, 等. 宽阔水保护区白辛树群落物种组成及种群结构分析[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2019, **44**(3): 55-61.
CHEN L, AN M T, WANG J G, et al. Analysis on species composition and population structure of *Pterostyrax psilophyus* community in Kuankuoshui Reserve[J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 2019, **44**(3): 55-61.
- [15] 陈煜, 许金石, 张丽霞, 等. 太白山森林群落和林下草本物种变化的环境解释[J]. 西北植物学报, 2016, **36**(4): 784-795.
CHEN Y, XU J S, ZHANG L X, et al. Environmental interpretation of variations on forest community and understory herbaceous in Taibai Mountain, Shaanxi, China[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, **36**(4): 784-795.
- [16] 黄俞淞, 吴望辉, 蒋日红, 等. 广西弄岗国家级自然保护区植物物种多样性初步研究[J]. 广西植物, 2013, **33**(3): 346-355.
HUANG Y S, WU W H, JIANG R H, et al. Primary study on species diversity of plant in Longgang National Nature Reserve of Guangxi[J]. *Guishaia*, 2013, **33**(3): 346-355.
- [17] 杨文斌, 刘坤, 周守标. 安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性[J]. 生态学报, 2013, **33**(5): 1433-1442.
YANG W B, LIU K, ZHOU S B. The flora and species diversity of herbaceous seed plants in wetlands along the Xin'anjiang River from Anhui[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, **33**(5): 1433-1442.
- [18] 喻理飞. 宽阔水自然保护区综合科学考察集[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2004.
- [19] 喻理飞, 陈光平, 余登利. 贵州宽阔水国家级自然保护区生物多样性保护研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2018.
- [20] 王正文, 祝廷成. 松嫩草原主要草本植物的生态位关系及其对水淹干扰的响应[J]. 草业学报, 2004, **13**(3): 27-33.
WANG Z W, ZHU T C. Niche relationships among the main herbaceous plant species and their responses to flooding disturbance on the Songnen Steppe, Northeastern China[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, **13**(3): 27-33.
- [21] 贺书珍, 王得祥, 杨改河, 等. 局域与区域生态过程对太白山牛皮桦林林隙内草本植物物种丰富度的影响[J]. 西北植物学报, 2012, **32**(1): 180-186.
HE S Z, WANG D X, YANG G H, et al. Effects of local and regional processes on herbaceous plant assemblages in the *Betula utilis* forest gaps of Taibai Mountain[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2012, **32**(1): 180-186.
- [22] 罗黎鸣, 武建双, 余成群, 等. 拉萨河谷山地灌丛草地植物多样性监测方法的比较研究[J]. 草业学报, 2016, **25**(3): 22-31.
LUO L M, WU J S, YU C Q, et al. A comparative study of methods for monitoring plant diversity in montane shrub grassland in the Lhasa River Basin[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, **25**(3): 22-31.
- [23] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [24] 贵州植物志编辑委员会. 贵州植物志[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988-1989:(卷 4-9).
- [25] 黄梅, 李美君, 黄红, 等. 贵州省野生苦苣苔科物种多样性与地理分布[J/OL]. 广西植物: 1-20 [2021-04-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20210408.1051.004.html>.
HUANG M, LI M J, HUANG H, et al. Species diversity and geographic distribution of wild Gesneriaceae in Guizhou [J/OL]. *Guishaia* : 1-20 [2021-04-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20210408.1051.004.html>.
- [26] 李锡文. 中国种子植物区系统计分析[J]. 云南植物研究, 1996, (4): 363-384.
LI X W. Floristic statistics and analyses of seed plants from China[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1996, (4): 363-384.
- [27] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究, 1991, **13**(增刊 IV): 1-139.
WU Z Y. The areal-types of Chinese genera of seed plants [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1991, **13**(Supplement IV): 1-139.
- [28] 吴征镒, 周浙昆, 李德铢, 等. 世界种子植物科的分布区类型系统[J]. 云南植物研究, 2003, **25**(3): 245-257.
WU Z Y, ZHOU Z K, LI D Z, et al. The areal-types of the world families of seed plants[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2003, **25**(3): 245-257.
- [29] 金孝峰, 丁炳扬, 郑朝宗, 等. 浙江百山祖自然保护区种子植物区系分析[J]. 云南植物研究, 2004, **26**(6): 605-618.
JIN X F, DING B Y, ZHENG C Z, et al. The floristic analysis of seed plants in Baishanzu Nature Reserve from Zhejiang Province [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2004, **26**(6): 605-618.
- [30] 潘云芬, 徐庆, 程元启, 等. 安徽升金湖自然保护区湿地草本种子植物区系研究[J]. 湿地科学, 2008, **6**(2): 304-309.

- PAN Y F, XU Q, CHENG Y Q, et al. Herbaceous seed flora of wetlands in Shengjin Lake Nature Reserve of Anhui Province[J]. *Wetland Science*, 2008, **6**(2): 304-309.
- [31] 徐志果. 安太堡露天矿复垦地草本植物群落多样性研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- [32] 刘召强, 刘艺平, 冯理明, 等. 额尔齐斯河流域垂枝桦林群落结构特征与物种多样性相关分析[J]. 西北植物学报, 2020, **40**(3): 532-542.
- LIU Z Q, LIU Y P, FENG L M, et al. Differences in community characteristics, species diversity, and their coupling associations among *Betula pendula* forests in Irtysh River watershed[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2020, **40**(3): 532-542.
- [33] 陈思艺, 艾训儒, 姚 兰, 等. 鄂西南地区种子植物多样性与区系特征[J]. 西北植物学报, 2019, **39**(2): 330-342.
- CHEN S Y, AI X R, YAO L, et al. Biodiversity and flora characteristics of seed plants in Southwest of Hubei[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2019, **39**(2): 330-342.
- [34] 张 倩, 孙小妹, 杨 晶, 等. 坡向对东祁连山高寒草甸群落物种功能群及其多样性的影响[J]. 西北植物学报, 2019, **39**(8): 1 480-1 490.
- ZHANG Q, SUN X M, YANG J, et al. Effect of slope aspect on species functional groups and species diversity in alpine meadow of the east of Qilian Mountains[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2019, **39**(8): 1 480-1 490.
- [35] 张 静, 陈志林, 侯晓巍, 等. 三江源区祁连圆柏群落物种多样性沿海拔梯度的变化格局[J]. 西北植物学报, 2020, **40**(10): 1 759-1 767.
- ZHANG J, CHEN Z L, HOU X W, et al. Species diversity of *Juniperus przewalskii* community in three river headwater along altitude gradient[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2020, **40**(10): 1 759-1 767.
- [36] 张佳期, 周守标, 高香琴, 等. 石首麋鹿国家级自然保护区外来入侵植物种的分析[J]. 杂草学报, 2017, **35**(1): 36-41.
- ZHANG J Q, ZHOU S B, GAO X Q, et al. Analysis of alien invasive plants in Shishou Milu National Nature Reserve, China[J]. *Journal of Weed Science*, 2017, **35**(1): 36-41.
- [37] 陈 杰, 郭屹立, 卢训令, 等. 伊洛河流域草本植物群落物种多样性[J]. 生态学报, 2012, **32**(10): 3 021-3 030.
- CHEN J, GUO Y L, LU X L, et al. Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, **32**(10): 3 021-3 030.
- [38] 娄彦景, 赵魁义, 马克平. 洪河自然保护区典型湿地植物群落组成及物种多样性梯度变化[J]. 生态学报, 2007, **27**(9): 3 883-3 891.
- LOU Y J, ZHAO K Y, MA K P. Change in floristic composition and species diversity of plant community along environment gradient in Honghe National Nature Reserve, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, **27**(9): 3 883-3 891.
- [39] 崔保山, 赵欣胜, 杨志峰, 等. 黄河三角洲芦苇种群特征对水深环境梯度的响应[J]. 生态学报, 2006, **26**(5): 1 533-1 541.
- CUI B S, ZHAO X S, YANG Z F, et al. The response of reed community to the environment gradient of water depth in the Yellow River Delta[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, **26**(5): 1 533-1 541.
- [40] MAGURRAN A E. Why Diversity? [M]//Ecological Diversity and Its Measurement. Dordrecht: Springer Netherlands, 1988: 1-5.
- [41] 郝占庆, 于德永, 吴 钢, 等. 长白山北坡植物群落 β 多样性分析[J]. 生态学报, 2001, **21**(12): 2 018-2 022.
- HAO Z Q, YU D Y, WU G, et al. Analysis on β diversity of plant communities on northern slope of Changbai Mountain [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(12): 2 018-2 022.
- [42] 刘增力, 郑成洋, 方精云. 河北小五台山北坡植物物种多样性的垂直梯度变化[J]. 生物多样性, 2004, **12**(1): 137-145.
- LIU Z L, ZHENG C Y, FANG J Y. Changes in plant species diversity along an elevation gradient on Mt. Xiaowutai, Hebei, China[J]. *Chinese Biodiversity*, 2004, **12**(1): 137-145.
- [43] 赵从举, 康慕谊, 雷加强. 准噶尔盆地典型地段植物群落及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2011, **31**(10): 2 669-2 677.
- ZHAO C J, KANG M Y, LEI J Q. Relationships between plant community characteristics and environmental factors in the typical profiles from Dzungaria Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, **31**(10): 2 669-2 677.
- [44] 叶柳欣, 库伟鹏, 刘 军, 等. 封育年限对毛竹林群落结构和林下植物多样性的影响[J]. 生态学报, 2020, **40**(3): 921-930.
- YE L X, KU W P, LIU J, et al. Effects of exclosure term on community structure and undergrowth diversity of *Phyllostachys pubescens*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, **40**(3): 921-930.

(编辑:潘新社)