# 基于空地一体调查的银瓶山森林公园银瓶嘴群落物种垂直分布格局研究\*

 许冬山¹
 张柱森¹
 邓泽伟²
 闫东明¹
 杨进良¹

 陈 进¹
 唐瑾暄¹
 张中瑞²

(1. 东莞市银瓶山森林公园, 广东 东莞 523603;

2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 银瓶山森林公园银瓶嘴区域海拔落差极大,为调查该区域植物资源垂直分布格局,研究采用空地一体调查技术,结合无人机航拍建模技术在银瓶嘴区域不同海拔梯度设置 19 块样地开展实地调查。结果表明:群落调查显示,优势度指数以样地 2 最高,样地 10 次之,样地 12 最低,多样性指数以样地 2 最高,样地 10 次之,样地 4 最低,均匀度指数则为样地 13 最高,样地 11 次之,样地 4 最低;对各样点健康度进行综合评价,样地 1、2、16、10、9、6、17、7、5 为较健康样地,14、15、18、19、13、8、10、11、3、12 为较不健康样地。结合空间三维模型判断,峰脊地带附近群落相对健康、沟谷地带群落相对不健康,应加强植物群落的保护。

关键词 银瓶山森林公园; 群落结构; 物种多样性; 垂直分布

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2023) 06-0104-09

## Study on the Vertical Distribution Pattern of Species in Yinpingzui Community of Yinpingshan Forest Park Based on An Air-ground Integrated Survey

XU Dongshan<sup>1</sup> ZHANG Zhusen<sup>1</sup> DENG Zewei<sup>2</sup> YAN Dongming<sup>1</sup> YANG Jinliang<sup>1</sup> CHEN Jin<sup>1</sup> TANG Jinxuan<sup>1</sup> ZHANG Zhongrui<sup>2</sup>

(1. Dongguan Yinpingshan Forest Park, Dongguan, Guangdong 523603, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract To investigate the vertical distribution pattern of plant resources in the Yinpingshan area of Yinpingshan Forest Park, which has a great altitude difference, the study adopts the air-ground integrated survey technique, combined with the drone aerial photography modeling technology to set up 19 sample plots at different altitude gradients in the Yinpingzui area to carry out field surveys. The results showed that: the community survey showed that the dominance index was the highest in sample 2, the second highest in sample 10, and the lowest in sample 12, the diversity index was the highest in sample 2, the second highest in sample 10, and the lowest in sample 4, and the evenness index was the highest in sample 13, the second highest in sample 11, and the lowest in sample 4; the health of each site was comprehensively evaluated, and sample 1, sample 2, sam-

第一作者: 许冬山 (1981—), 男, 工程师, 主要从事森林公园建设和管理工作, E-mail: 378447999@ qq. com。通信作者: 张中瑞 (1987—), 男, 高级工程师, 主要从事森林经理研究, E-mail: zhangzhongrui126@ 126. com。

ple 16, sample 10, sample 9, sample 6, sample 17, sample 7, sample 5 were the healthier samples, and sample 14, sample 15, sample 18, sample 19, sample 13, sample 8, sample 10, sample 11, sample 3, and sample 12 were the unhealthier samples. Combined with the spatial three-dimensional modeling, the community is relatively healthy relative to the ridge area and relatively unhealthy relative to the valley area, and the protection of plant communities should be strengthened.

Key words Yinpingshan Forest Park; community structure; species diversity; vertical distribution

生物多样性是人类赖以生存和发展的基础,是地球生命共同体的血脉和根基,为人类提供了丰富多样的生产生活必需品、健康安全的生态环境和独特别致的景观文化<sup>[1-2]</sup>。植物群落中蕴藏着丰富的野生植物种质资源,为人类的生存和发展提供了必需的物质资源,为动植物和其他生物的生存提供了栖息地,维持了地球生态系统的服务功能<sup>[3-4]</sup>。

东莞市银瓶山森林公园被誉为广东省十大最 美森林之一, 其中银瓶嘴位于森林公园东北侧, 海拔898 m, 素有"东莞第一峰"之名, 具有杜 鹃 Rhododendron simsii 花海、野生红花荷 Rhodoleia championii 群落、吊钟花 Enkianthus quinqueflorus群落等多种特色珍稀植物资源。垂直梯度海拔 作为植物群落物种多样性的主要生态因子, 直接 影响着区域中的水热条件,从而改变林下植物的 分布、组成和结构,形成了物种多样性的垂直分 布格局[5-7]。银瓶嘴区域,海拔落差较大,延绵起 伏, 传统方式难以全面调查区域整体资源分布状 况。基于此,本研究通过无人机低空航拍,采用 空地一体调查技术,全面获取针对银瓶山森林公 园银瓶嘴开展植物资源垂直分布格局调查,掌握 植物群落组成、群落健康及多样性等植被资源现 状,以期为该地区生物多样性保持及可持续经营 提供科学依据,为植物资源的合理保护与利用提 供基础保障。

## 1 材料与方法

#### 1.1 研究区域概况

银瓶山森林公园位于广东省东莞市东部,属低山丘陵,地势为东北高,西部略低,森林公园山体隶属罗浮山系,为罗浮山东延余脉,公园主体属低山丘陵地貌,地势主要呈现东面及中间高、南北两侧低的走势。森林公园最高峰为银瓶嘴,是东莞市的最高峰。其地处北回归线以南,属亚热带季风气候,森林公园年均气温 21~22.2

℃,最热月为 7 月,月平均气温 27 ~ 28 ℃,极端最高气温 37.9 ℃,最冷月为 1 月,月平均气温 13 ~ 14 ℃,极端最低气温-0.5 ℃;年平均降水量 1 802.5 mm,降水季节分配不均匀,春夏季多、秋冬季少;地带性土壤为南亚热带赤红壤。

#### 1.2 研究方法

1.2.1 调查方法 2022年9月,通过无人机对银瓶嘴进行低空航拍,生成区域数字高程模型模型(图1)、区域实景三维模型(图2),全区域最高点为海拔897.60 m,最低点海拔为157.27 m。结合银瓶嘴地形垂直分布状况、区域植物的分布特点和在多次路线调查的基础上,选设代表性样地19块(表1、图3),每样地为20 m×30 m,在样地中设置6个10 m×10 m的样方用于乔木调查,再于每个10 m×10 m 样方中选取1个2 m×2 m的小样方用于灌木及草本类植物调查。测定样地的经纬度、海拔、坡向、坡度等立地因子。

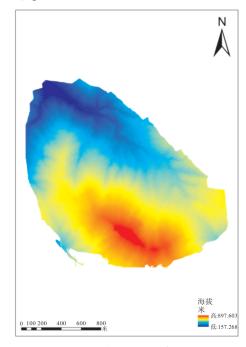


图 1 银瓶嘴区域数字高程模型 Fig. 1 Digital elevation model of Yingpinzui area



图 2 银瓶嘴区域实景三维模型 Fig. 2 Realistic 3D modeling of Yingpinzui area

表 1 研究样地概况

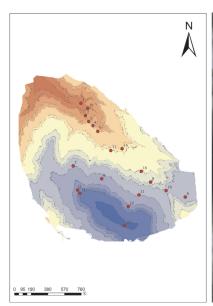
Table 1 Overview of the study sample plots

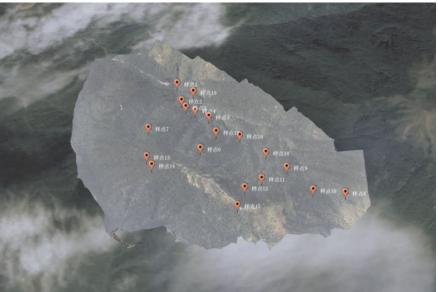
样地编号 Sample plot No.	中心经度 Central longitude	中心纬度 Central latitude	海拔/m Elevation	坡度 Gradient	坡向 Slope
1	114. 235 168	22. 895 987	220	38	东
2	114. 235 638	22. 894 716	260	45	北
3	114. 235 989	22. 894 090	306	46	东北
4	114. 236 448	22. 893 646	323	32	东南
5	114. 236 973	22. 893 063	340	30	东北
6	114. 237 292	22. 888 195	659	21	东北
7	114. 234 157	22. 889 580	619	42	西
8	114. 246 520	22. 886 124	586	33	东
9	114. 242 701	22. 887 741	543	19	西
10	114. 244 409	22. 886 839	564	62	东南
11	114. 241 374	22. 886 450	628	38	西
12	114. 240 173	22. 885 294	711	38	西北
13	114. 234 582	22. 887 094	727	49	西
14	114. 234 823	22. 886 746	745	31	西
15	114. 239 702	22. 883 338	830	34	南
16	114. 239 629	22. 891 229	394	34	东北
17	114. 238 368	22. 891 064	416	40	东北
18	114. 241 696	22. 888 857	509	33	西北
19	114. 235 915	22. 895 431	240	29	东南

1.2.2 植被调查 对样方内乔木层进行每木调查,内容包括树种名称、株数、胸径(起测径阶≥5 cm)、树高、冠幅等,灌木层每木调查内容包括植物名称、地径、株数、冠幅、平均高度、盖

度等,草本层调查内容包括植物名称、平均高度、 盖度、株(丛)数等。记录植物生活型。

胸径: 为林地内乔木离地面 1.3 m 处主干的 直径。





注: 左图为海拔高程样点示意图, 右图为实景三维样点示意图。

Note: The left diagram is an elevation sample point diagram, and the right diagram is a real three-dimensional sample point diagram.

#### 图 3 银瓶山森林公园银瓶嘴样地分布示意

Fig. 3 Sample plot distribution in Yinpingzui area of Yinpingshan Forest Park

树高:为林地内乔木从地面到顶端生长点的 垂直距离。

冠幅:为林地内植被与斜坡平行、交叉垂直 两个方向的平均枝冠直径。

地径: 距地表面以上 10 cm 处的灌木的平均直径。

平均高度: 样方内灌木或草本植物的平均高度。

盖度:为植物地上部分垂直投影面积占样地面积的百分比,即投影盖度。

生活型:按乔木、灌木、草本、藤本来进行生活型分类。

1.2.3 物种多样性分析 物种多样性在群落学上的应用,主要是通过度量群落中的种数、个体总数以及各种多度的均匀程度来表征群落的组织结构水平。本研究选择 Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数进行物种多样性计算。

(1) Simpson 优势度指数 (D):

$$D = 1 - \sum_{i=1}^{s} P_i^2$$

式中 $P_i$ 为第i物种出现的概率,S为物种数。

(2) Shannon-Wiener 多样性指数 (H'):

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \ln P_i$$

式中 $P_i$ 为第i种的相对多度。

(3) Pielou 均匀度指数 (E):

$$E = H'/\ln S$$

式中 H'为 Shannon-Wiener 多样性指数,S为种数。该指数是指样方中各个种多度的均匀度,但其大小是通过样方内多样指数与物种个体数的比值来度量的。

1.2.4 健康度评价 本研究通过层次分析法对银 瓶山区域植物群落进行综合健康评价,本项目选 取指标分为定量指标 B1 和定性指标 B2 两类 (表2)。定量指标分为物种多样性 C1、均匀度 C2、优 势度 C3。定性指标分为生境状况 C4、垂直结构 C5、物种密度 C6、物种组成 C7。并对层次分析法 结果中的各样地得分矩阵中得分值进行聚类排序,

表 2 植物群落健康度评价指标

Table 2 Evaluation index of plant community health

	•	•
一级 I	二级Ⅱ	三级Ⅲ
		C1 物种多样性
	B1 定量指标	C2 均匀度
		C3 优势度
A 群落综合健康评价		C4 生境状况
	D2 0 14 14 14 1	C5 垂直结构
	B2 定性指标	C6 物种密度
		C7 物种组成

划分样地健康类别。 各定性指标选择为表3。

## 2 结果与分析

## 2.1 航拍建模

通过无人机航拍, 共飞行 1 个架次, 采集原始照片 227 张。补充航摄及地面拍 223 张, 共计拍摄 450 张。对少量需要处理的原片(局部穿云、光线偏暗等情况), 利用 photoshop 等工具软件进行调整处理。对需要进行 PPK 后处理的 POS 数据,通过随机的后处理软件,导入基站数据和机载数据,进行自动解算。位置不确定性表明(图4),全区域最小不确定性为 0.026 1 m,最大不确定性为 2.542 2 m,中位位置不确定性为 0.406 2 m。综合全局分辨率表明(图5),本项目航摄区域最高分辨率为 0.043 2 m/pixel,最低分辨率为 0.104 7 m/pixel,中位分辨率为 0.064 m/pixel。航拍效果良好。

表 3 定性指标 Table 3 Qualitative indicators

指标 Index	描述 Description	得分 Score
	缓坡 (坡度≤15°)	3
C4	陡坡(15°<坡度≤35°)	2
	坡很陡 (坡度 > 35°)	1
	垂直结构完整	3
C5	分层不明显	2
	分层缺失	1
	样地物种数在80~100之间	5
	样地物种数在60~80之间	4
C6	样地物种数在40~60之间	3
	样地物种数在40~20之间	2
	样地物种数在0~20之间	1
	优势种重要值在 100 以上	3
C7	优势种重要值在50~100之间	] 2
	优势种重要值在 50 以下	1

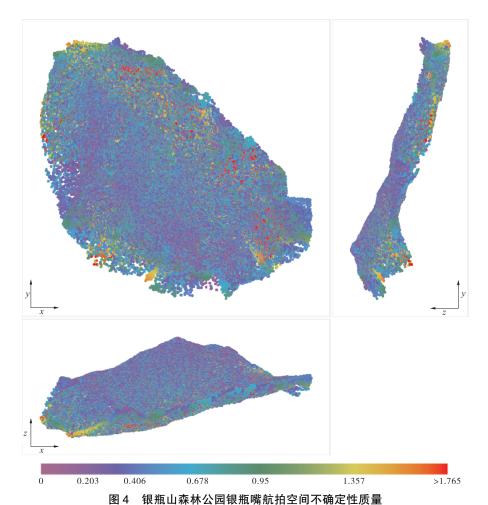


Fig. 4 Quality map of spatial uncertainty for aerial photography in Yinpingzui area of Yinpingshan Forest Park

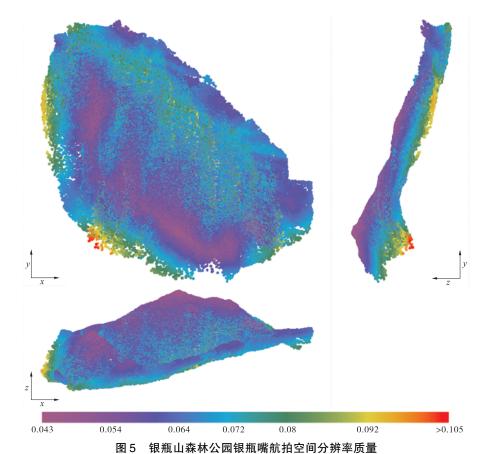


Fig. 5 Aerial spatial resolution quality map in Yinpingzui area of Yinpingshan Forest Park

#### 2.2 群落物种多样性分析

植物群落物种多样性不仅是度量一个群落结构和功能复杂性的重要指标,而且是植物分布均匀度与丰富度的综合体现。银瓶嘴区域植物群落不同样点优势度指数、多样性指数的变化趋势基本一致,表现为优势度指数以样地2最高、样地10次之,样地12最低,多样性指数以样地2最高,样地10次之,样地4最低,均匀度指数则为样地13最高,样地11次之,样地4最低(表4)。

## 2.3 健康度评价

植物群落健康度评价层次分析法各指标矩阵如下。

对 19 个样点的群落健康度进行评分,可知样点 1 健康度最高,为 0.17,样点 12 的健康度最低,为 0.064,综合 19 个样点,其大小依次为样地 1,2,16,10,9,6,17,7,5,14,15,18,19,13,8,10,11,3,12。

对各样点健康度进行聚类,则如下图所示,样地1,2,16,10,9,6,17,7,5为较健康样地,14,15,18,19,13,8,10,11,3,12为较不健康样地。

表 4 银瓶山森林公园银瓶嘴样点多样性指数 Table 4 Sample diversity index in Yinpingzui area of Yinpingshan Forest Park

			area or rinpingsharr rorest rank							
样地编号	优势度指数	多样性指数	均匀度指数							
Sample	Dominance	Diversity	Richness							
plot No.	index	index	index							
1	0. 52	1.61	0. 49							
2	0.68	2. 01	0. 59							
3	0. 20	0.46	0. 28							
4	0.04	0. 10	0.09							
5	0.06	0. 16	0. 12							
6	0.60	1. 64	0. 58							
7	0.63	1. 62	0. 62							
8	0.07	0. 16	0. 15							
9	0.47	1. 30	0.46							
10	0.60	1.81	0. 56							
11	0.06	0. 14	0. 12							
12	0. 12	0. 27	0.40							
13	0.63	1. 27	1.83							
14	0. 17	0.44	0. 23							
15	0.53	1.06	0. 55							
16	0.48	1. 38	0.45							
17	0.55	1. 55	0. 54							
18	0. 26	0. 57	0.35							
19	0. 21	0.43	0. 31							

## 3 结论与讨论

银瓶嘴区域海拔高差大,动植物资源丰富,森林覆盖范围大,地形地貌复杂多变,为野外调查带来了一定难度。因此,本次调查样地依据银瓶嘴区域植物资源的分布特点和多次路线调查的基础上,选设代表性样地 19 块进行调查。通过在不同海拔梯度不同地段进行样地选址,不仅扩大了样地的分布区域,还极大地增加了样地数量,使得调查区域尽可能容纳更多的森林群落。本项目运用无人机低空航拍,一方面应用无人机踏查选设样地,大大提升采样效率;另一方面高精度三维建模开展空间分析,提供了新的视角。

物种多样性作为植物群落功能结构的基本特

征,能够客观地表征群落组成状况<sup>[10]</sup>。海拔高度作为植物群落物种多样性的主要生态因子,直接影响着区域中的水热条件,从而改变林下植物的分布、组成和结构,形成了物种多样性的海拔梯度格局<sup>[11-12]</sup>。研究发现,银瓶嘴海拔落差极大,最低点仅157 m,最高点海拔至898 m,但群落多样性未见明显垂直分布规律。有研究表明甘肃莲花山保护区<sup>[13]</sup>、秦岭中段太白山<sup>[14]</sup>、石门森林公园<sup>[15]</sup>森林植物群落乔木层的物种多样性均呈现出随着海拔升高先升后降的趋势。本研究区域,可能由于银瓶嘴为著名风景名胜区,受人为干扰较大,结合数字高程模型可以看出,在沟谷地带附近一般为步道附近,物种多样性表现较差,在峰脊地带附近一般为远离步道区域,物种多样性相对较为理想。

表 5 健康度评价指标

Table 5 Health evaluation index

样地编号 No.	多样性 Diversity	均匀度 Richness	优势度 Dominance	生境状况	waluation index 物种密度构 Species density structure	垂直结构 Vertical structure	物种组成 Species composition
1	0. 52	1. 61	0. 49	4	5	3	2
2	0. 68	2. 01	0. 59	4	4	3	1
3	0. 20	0.46	0. 28	1	2	2	1
4	0.04	0. 10	0.09	1	3	2	2
5	0.06	0. 16	0. 12	1	4	2	2
6	0.60	1. 64	0. 58	3	3	3	3
7	0. 63	1. 62	0. 62	2	3	3	1
8	0.07	0. 16	0. 15	1	2	2	2
9	0. 47	1.30	0.46	3	4	3	3
10	0.60	1.81	0.56	4	4	3	1
11	0.06	0. 14	0. 12	1	2	2	2
12	0. 12	0. 27	0.40	1	2	1	2
13	0. 63	1. 27	1. 83	1	2	1	1
14	0. 17	0.44	0. 23	1	3	2	2
15	0. 53	1.06	0. 55	1	2	2	2
16	0.48	1. 38	0. 45	3	5	3	2
17	0. 55	1. 55	0. 54	3	3	3	1
18	0. 26	0. 57	0.35	1	2	2	2
19	0. 21	0.43	0. 31	1	2	2	2

表 6 银瓶山森林公园银瓶嘴得分值矩阵

Table 6	Score Matrix in	Yinpingzui area	of Yinpingshan	Forest Park

样地编号 No.	多样性 Diversity	均匀度 Richness	优势度 Dominance	生境状况 Habitat condition	垂直结构 Vertical structure	物种密度构 Species density	相对丰富度 Relative abundance index	得分值 Score
1	0. 012	0.002	0. 001	0. 023	0.060	0. 056	0. 014	0. 170
2	0.015	0.003	0.002	0. 023	0. 048	0.056	0.007	0. 154
3	0.004	0.001	0.001	0.015	0. 024	0.014	0.007	0.066
4	0.001	0	0	0.015	0. 036	0.014	0. 014	0.081
5	0.001	0.001	0	0.015	0. 048	0.014	0. 014	0.094
6	0.013	0.002	0.002	0. 023	0. 036	0.042	0. 022	0. 140
7	0.012	0.003	0.002	0. 023	0. 036	0. 028	0.007	0. 111
8	0.001	0.001	0	0.015	0. 024	0.014	0. 014	0.070
9	0.010	0.002	0.001	0. 023	0. 048	0.042	0. 022	0. 148
10	0.014	0.002	0.002	0. 023	0. 048	0.056	0.007	0. 152
11	0.001	0.001	0	0.015	0. 024	0.014	0. 014	0.070
12	0.002	0.002	0	0.008	0. 024	0.014	0. 014	0.064
13	0.010	0.008	0.002	0.008	0. 024	0.014	0.007	0.072
14	0.003	0.001	0	0.015	0. 036	0.014	0. 014	0.085
15	0.008	0.002	0.001	0.015	0. 024	0.014	0. 014	0.080
16	0. 011	0.002	0.001	0. 023	0.060	0.042	0. 014	0. 154
17	0.012	0.002	0.001	0. 023	0. 036	0.042	0.007	0. 124
18	0.004	0.002	0.001	0.015	0. 024	0.014	0. 014	0.075
19	0. 003	0.001	0. 001	0.015	0. 024	0. 014	0. 014	0. 073

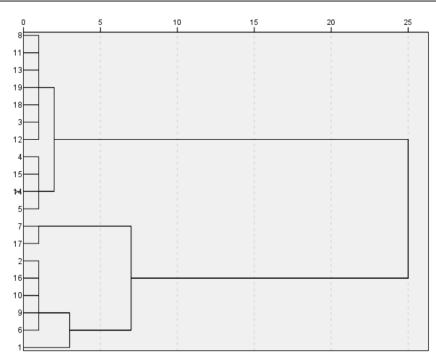


图 6 银瓶山森林公园银瓶嘴样点聚类 Fig. 6 Sample point clustering diagram in Yinpingzui area of Yinpingshan Forest Park

### 参考文献

- [1] 吴智宏,王梓,栾福臣,等. 车八岭 20hm²中亚热带常绿 阔叶林监测样地群落物种组成和区系特征[J]. 林业与 环境科学,2021,37(3):86-91.
- [2] 韩路,陈家力,王家强,等. 塔河源荒漠河岸林群落物种组成、结构与植物区系特征[J]. 植物科学学报,2019,37(3):324-336.
- [3] 刘福权,郭乐东,马旭东. 粤北次生常绿阔叶林优势种群结构及分布格局研究[J]. 林业与环境科学,2011,27(4):12-18.
- [4] 徐建,韦新良,王敬,等. 龙王山落叶阔叶林群落特征及物种多样性研究[J]. 西南林业大学学报,2014,34(3):
- [5] 丁晖,杨云方,徐海根,等. 武夷山典型常绿阔叶林物种组成与群落结构[J]. 生态学报,2015,35(4):1142-1154.
- [6] 宋相金, 東祖飞, 戴文坛, 等. 粤北车八岭杉木人工林物 种多样性及优势植物种群结构[J]. 林业与环境科学, 2017,33(1):1-8.
- [7] 梁燕飞,古文强,闫东明,等. 东莞市银瓶山森林公园润 楠属植物群落特征研究[J]. 林业与环境科学,2022,38 (1):132-139.

- [8] 古文强,梁燕飞,陈进,等. 银瓶山森林公园润楠属植物 群落多样性研究[J]. 林业与环境科学,2021,37(6): 176-181.
- [9] 黄梅,戴晓勇,杨成华,等. 阔柄杜鹃典型植物群落的结构及其多样性特征分析[J]. 西部林业科学,2020,49 (2):113-120+136.
- [10] 张晓龙,周继华,蔡文涛,等. 水分梯度下黑河流域荒 漠植物群落多样性特征[J]. 生态学报,2017,37(14): 4627-4635.
- [11] 伊贤贵,丁晖,方炎明,等. 基于固定样地的黄山不同海拔森林群落物种多样性分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(1):149-155.
- [12] 徐卫,杨婷,李泽华,等.广东南岭植物群落物种多样性沿海拔梯度分布格局[J].林业与环境科学,2022,38(1);9-17.
- [13] 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(1):20-28.
- [14] 仝玉琴,王军利,韩振江. 秦岭中段锐齿槲栎天然次生 林群落的物种多样性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(2);69-78.
- [15] 邹文涛,姜艳,尹光天,等. 石门森林公园不同海拔或 坡向林地物种多样性的比较[J]. 中南林业科技大学 学报,2014,34(4):77-81.