

山西狮脑山不同海拔和坡向自然植物群落的物种多样性及种间联结性分析

王宇轩, 张敏, 王天真, 邢梦月, 王非^①

(东北林业大学园林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘要: 为探明山西狮脑山自然植物群落的空间异质性规律, 采用样方法对狮脑山不同海拔梯度及坡向自然植物群落的植被分布情况进行了实地调查, 根据调查结果对不同群落的物种组成及各层次优势种(重要值排名前5的物种)的重要值和生态位宽度进行了比较, 并对不同海拔梯度和坡向群落的物种多样性指数进行了比较和曲线拟合分析, 还对不同海拔梯度和坡向群落优势种间的联结性进行了分析。结果表明: 在狮脑山自然植物群落中共调查到35科65属79种植物。乔木层中, 侧柏(*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco)的重要值(50.9%)最大, 油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)的生态位宽度(Levins指数为6.06)最大; 灌木层中, 野蔷薇(*Rosa multiflora* Thunb.)的重要值(41.4%)最大, 黄刺玫(*Rosa xanthina* Lindl.)的生态位宽度(Levins指数为5.71)最大; 草本层中, 艾(*Artemisia argyi* H. Lév. et Vaniot)的重要值(35.3%)和生态位宽度(Levins指数为5.03)均最大。总体来看, 物种多样性指数、强联结种对数、负联结种对数均随海拔升高呈现“升—降—升”的变化趋势。阳坡的Margalef丰富度指数最高; 阴坡的Simpson优势度指数和Shannon-Wiener多样性指数最高。阳坡和平台的强联结种对最多, 尤其是强负联结种对, 而阴坡的弱联结和无联结种对数较多。曲线拟合结果显示: 坡向与3个物种多样性指数的相关系数均高于海拔。综上所述, 狮脑山自然植物群落物种较为丰富, 物种多样性和种间联结性受海拔和坡向影响较大, 且坡向的影响更大。

关键词: 狮脑山; 自然植物群落; 物种多样性; 种间联结性; 海拔; 坡向

中图分类号: Q948.15; S718.54 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2026)02-0067-10

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2026.02.07

Analyses on species diversity and interspecific association of natural plant communities at different altitudes and aspects in Shinao Mountain of Shanxi Province, China WANG Yuxuan, ZHANG Min, WANG Tianzhen, XING Mengyue, WANG Fei^① (College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2026, 35(2): 67-76

Abstract: To clarify the spatial heterogeneity patterns of natural plant communities in Shinao Mountain of Shanxi Province, China, field surveys were conducted on vegetation distribution of natural plant communities at different altitude gradients and aspects in Shinao Mountain by using the quadrat method, the species composition and the importance values and niche breadths of dominant species (the top five species in terms of importance value) in different layers of different communities were compared based on the survey results, the species diversity indexes of the communities at different altitude gradients and aspects were compared and subjected to curve fitting analysis, and the associations among dominant species of the communities at different altitude gradients and aspects were analyzed. The results show that a total of 79 species belonging to 65 genera of 35 families are surveyed in the natural plant communities of Shinao Mountain. In the arbor layer, *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco has the highest importance

收稿日期: 2025-08-25

基金项目: 煤基固废资源化与矿区生态治理院士专家工作站重点课题(RCEES-HX-JSFW2025000070)

作者简介: 王宇轩(2002—), 男, 山西阳泉人, 硕士研究生, 主要从事园林植物应用研究。

^①通信作者 E-mail: crystalwf@nefu.edu.cn

引用格式: 王宇轩, 张敏, 王天真, 等. 山西狮脑山不同海拔和坡向自然植物群落的物种多样性及种间联结性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2026, 35(2): 67-76.

value (50.9%), while *Pinus tabuliformis* Carr. has the largest niche breadth (the Levins index is 6.06); in the shrub layer, *Rosa multiflora* Thunb. has the highest importance value (41.4%), while *Rosa xanthina* Lindl. has the largest niche breadth (the Levins index is 5.71); in the herb layer, *Artemisia argyi* H. Lévl. et Vaniot has both the highest importance value (35.3%) and the largest niche breadth (the Levins index is 5.03). Overall, the species diversity indexes, number of strongly associated species pairs, and number of negatively associated species pairs all exhibit an “increase-decrease-increase” variation trend with increasing altitude. The Margalef's richness index is the highest on sunny slope; the Simpson's dominance index and Shannon-Wiener's diversity index are the highest on shady slope. The strongly associated species pairs are the most, especially strongly negative ones on sunny slope and flat, whereas the number of weakly associated and non-associated species pairs is relatively high on shady slope. The curve fitting results show that the correlation coefficients between aspect and the three species diversity indexes are all higher than those between altitude and the indexes. In conclusion, the species in natural plant communities in Shinao Mountain are relatively abundant, and the species diversity and interspecific associations are greatly influenced by both altitude and aspect, and the influence of aspect is greater.

Key words: Shinao Mountain; natural plant community; species diversity; interspecific association; altitude; aspect

植物群落的异质性和多样性受到海拔、坡向、坡度、土壤理化性质等多种因子的综合影响^[1-3]。其中,坡向和海拔为关键地形因子,通过调控光照、温度、水分、土壤养分等影响植物的生存、生长、竞争与共存,进而塑造群落的分布格局、多样性特征及种间联结关系^[3-4]。为揭示植物群落沿海拔和坡向的变化规律,研究者常通过物种组成、生态位宽度、种间联结关系、多样性指数等指标进行探究^[5-9]。通过优化物种组成与结构,可促进群落内植物个体的更新与生长,从而使群落的生态功能和效益得以充分发挥,并有利于植物最大限度地利用空间与自然资源^[10]。通过生态位宽度分析,可探明物种对环境资源的利用状况^[11]。通过种间联结特征分析,可揭示物种共存的可能性与机制^[12]。通过植物多样性指数分析,可明确不同环境因子对群落物种多样性的影响以及不同地域间的物种差异^[13]。

相关研究结果显示:植物群落物种多样性随海拔升高变化模式多样,主要包括在中等海拔范围最高、随海拔升高而降低、随海拔升高先升高后降低、随海拔升高先降低后升高、与海拔无关5种模式^[14-15],而新疆库车山区植物群落的物种多样性则随海拔升高呈现“升高—降低—升高—降低”的变化趋势^[16];海南吊罗山热带雨林中正、负联结种对的比例均随海拔升高而增大,而无联结种对的比例则随海拔升高而减小^[17];高寒草甸阴坡植物群落的物种多样性高于阳坡^[18],川西亚高山彩叶林阴坡上群落内树种的种间联结性也普遍高于阳坡^[19]。可见,植物群落物种多

样性及种间联结性对海拔和坡向的响应具有区域特异性。

虽然煤炭资源型城市在全球尤其是中国的经济发展中扮演过至关重要的角色,但由于长期的资源开发,这类城市普遍存在严重的生态创伤,如植被破坏、环境污染、地质灾害频发、土壤和水资源破坏、生物多样性丧失等。阳泉市是典型的煤炭资源型城市,长期的煤矿开采导致该市地表扰动、土壤污染等问题严重,对区内自然生态系统造成了极大损伤。近年来,随着可持续发展理念深入人心及国家对资源型城市转型的大力推动,旅游产业成为城市转型发展的重要方向之一。2013年,阳泉市被列入国务院首批煤炭产业转型城市^[20]。狮脑山为阳泉市的重要自然生态区域,其丰富的自然植物群落具有涵养水源、调节气候等关键生态作用,其独特的植被景观还蕴含着巨大的观赏价值,是发展生态旅游的宝贵资源^[21]。然而,受煤矿工业发展影响,狮脑山的环境受损严重,区内自然植物群落正面临着退化的风险。因此,探明狮脑山不同空间植物群落的物种组成和分布规律,针对狮脑山现有自然植物群落现状制定有效的保护策略,充分发挥狮脑山自然植物群落的生态作用和观赏价值,成为当前研究的重要方向。

鉴于此,本研究团队对狮脑山不同海拔梯度和坡向自然植物群落的物种组成及各层次优势种(重要值排名前5的种类)的重要值和生态位宽度进行了比较,在此基础上,对物种多样性指数的海拔和坡向差异进行了比较和曲线拟合分析,并对种间联结性进行

了分析,以期探明狮脑山自然植物群落的空间异质性规律,为狮脑山自然植物群落的科学规划、保护和开发建设提供参考。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

狮脑山位于山西省阳泉市城区西南部,主峰距离市中心约 10 km。山区的整体气候类型属温带半湿润大陆性季风气候,四季分明,冬夏较长、春秋较短,并且,夏季炎热多雨、冬季寒冷干旱。年平均气温 8~12℃,年温差和昼夜温差均较大;年降水量 450~550 mm,且降水主要集中在夏季;年无霜期 130~180 d。植被类型主要为针阔混交林,主要乔木种类有侧柏 [*Platycladus orientalis* (Linn.) Franco]、油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia* Linn.) 等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及调查方法 在全面踏查的基础上,共设置 10 个面积 20 m×50 m 的调查样地,包括 4 个阳坡样地、4 个阴坡样地和 2 个平台样地。这些样地的基本情况见表 1。鉴于狮脑山自然植物群落主要为针阔混交林,且乔木高度聚集,依据“样方面积扩大 10%,种数增加不超过 10%”的原则^[22],在每个样地内分别设置 3 个面积 10 m×10 m 的乔木样方、3 个面积 5 m×5 m 的灌木样方、3 个面积 1 m×1 m 的草本样方。

表 1 山西狮脑山自然植物群落调查样地的基本情况
Table 1 Basic situation of the survey plots for natural plant communities in Shinao Mountain of Shanxi Province, China

编号 No.	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔/m Altitude	坡向 Aspect	坡度/(°) Slope
S1	N37°51'28"	E113°33'22"	738.2	阳坡 Sunny slope	6.9
S2	N37°51'11"	E113°34'21"	785.7	阴坡 Shady slope	39.7
S3	N37°51'20"	E113°32'30"	857.2	阳坡 Sunny slope	5.4
S4	N37°51'10"	E113°32'16"	884.9	阴坡 Shady slope	10.8
S5	N37°51'12"	E113°31'55"	956.7	平台 Flat	0.0
S6	N37°51'12"	E113°31'55"	1 007.1	阴坡 Shady slope	33.9
S7	N37°50'50"	E113°31'30"	1 060.7	阳坡 Sunny slope	5.8
S8	N37°51'00"	E113°31'26"	1 111.5	阳坡 Sunny slope	15.3
S9	N37°50'55"	E113°31'26"	1 167.4	平台 Flat	0.0
S10	N37°53'03"	E113°30'32"	1 138.8	阴坡 Shady slope	23.8

于 2024 年 4—5 月,调查并记录每个乔木样方中胸径大于或等于 5 cm、高度大于或等于 3 m 的植物种名和数量,灌木样方中胸径小于 5 cm、高度 1~3 m

的植物种名和数量,草本样方中高度小于 1 m 的植物种名和数量;使用皮尺(精度 0.1 cm)测量乔木层植物的胸径和灌木层植物的基径;使用卷尺(精度 0.1 cm)测量乔木层和灌木层植物树冠投影南北向和东西向的宽度,以及草本层植物的高度(自然状态下,从地面到植株顶端的高度)及南北向和东西向的宽度,并根据相关测量结果计算乔木层植物的冠幅(树冠投影南北向宽度和东西向宽度的平均值)、灌木层植物的盖度(树冠投影南北向宽度和东西向宽度的乘积)和草本层植物的盖度(南北向宽度和东西向宽度的乘积)。

1.2.2 物种重要值及生态位宽度分析 参考张金屯^[23]的方法计算不同层次种类的重要值。参考 Pandey 等^[24]的方法,采用 R 4.2.3 软件计算不同层次种类的 Levins 指数。对各层次优势种(重要值排名前 5 的种类)的重要值和生态位宽度进行分析。

1.2.3 物种多样性指数计算及曲线拟合分析 参考张金屯^[23]的方法,使用 PAST 4.09 软件计算 Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数。为了消除面积效应对物种多样性指数计算结果的干扰,采用面积加权法^[25]进行标准化校正。并且,以物种多样性指数为纵坐标、海拔和坡向为横坐标分别进行曲线拟合分析。

1.2.4 种间联结性分析 根据实地调查数据,利用乔木层、灌木层、草本层优势种数据构建 2×2 联列表;采用方差比率检验群落的总体种间关联性,用 χ^2 统计量检测种间关联显著性,并利用联结系数(AC)分析种间联结性^[26]。AC 值域为[-1,1]。AC 值越趋近于 1,表明种间正联结性越强;AC 值越趋近于-1,则表明种间负联结性越强。根据 AC 值,将种间联结性分成 7 个水平:AC ≥ 0.67,强正联结;0.33 ≤ AC < 0.67,中等正联结;0.00 < AC < 0.33,弱正联结;AC = 0.00,无联结;-0.33 < AC < 0.00,弱负联结;-0.67 < AC ≤ -0.33,中等负联结;AC ≤ -0.67,强负联结。

1.3 数据统计及分析

使用 EXCEL 2020 软件计算各种类的重要值;使用 SPSS 27.0.1 软件对各样地间以及不同海拔梯度(参考观赏等^[27]的方法进行划分)和坡向间的物种多样性指数进行多重比较;使用 Origin 2022 软件对物种多样性指数与海拔和坡向进行曲线拟合分析。采用 Origin 2022 软件绘图,展示物种多样性指数比较结果;采用 R 4.2.3 软件中的 spaa 包绘图,展示优势

种间的联结关系。

2 结果和分析

2.1 物种组成分析

2.1.1 科、属水平分析 实地调查结果(附录 I)显示:狮脑山自然植物群落中植物种类共计 35 科 65 属 79 种。从科水平看,蔷薇科(Rosaceae)种类最多(12 种),菊科(Asteraceae)种类次之(11 种),禾本科种类较多(9 种),其余科种类较少(1~4 种),其中 24 个科只有 1 种,占总科数的 68.6%。从属水平看,李属(*Prunus* Linn.) 种类最多(6 种),蒿属(*Artemisia* Linn.) (4 种)次之,其余属种类较少(1~3 种),其中 57 个属只有 1 种,占总属数的 87.7%。

2.1.2 重要值分析 对乔木层、灌木层、草本层优势种(重要值排名前 5 的种类)的重要值进行统计分析,结果(表 2)显示:乔木层中,侧柏的重要值最大,油松次之,刺槐、榆(*Ulmus pumila* Linn.) 和欧黄栌(*Cotinus coggygria* Scop.) 的重要值较大,均在 21% 以上。灌木层中,野蔷薇的重要值最大,连翘[*Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl] 和黄刺玫(*Rosa xanthina* Lindl.) 的重要值相近且较大,欧黄栌和紫丁香(*Syringa oblata* Lindl.) 的重要值明显小于前 3 种植物。草本层中,艾(*Artemisia argyi* H. Lévl. et Vaniot) 的重要值最大,益母草(*Leonurus japonicus* Houtt.)、中华苦苣菜[*Ixeris chinensis* (Thunb.) Nakai]、狗尾草[*Setaria viridis* (Linn.) P. Beauv.] 的重要值均在 21% 以上,早熟禾(*Poa annua* Linn.) 的重要值明显低于前 4 种植物。值得注意的是,欧黄栌在乔木层和灌木层中的重要值均较高,说明该种的成苗和幼苗数量较多,天然更新能力强,在群落中起到重要作用。

2.1.3 生态位宽度分析 对乔木层、灌木层、草本层优势种的 Levins 指数进行统计分析,结果(表 2)显示:乔木层中,油松的 Levins 指数最大,其余 4 个优势种的 Levins 指数均大于 4,说明这些优势种具有较强的生存能力,乔木层结构较为稳定。灌木层各优势种的 Levins 指数排序与重要值排序差异较大,且 3 个优势种的 Levins 指数低于 4,说明灌木层结构尚未达到稳定状态。其中,重要值排名第 3 的黄刺玫的 Levins 指数最大,重要值排名第 1 的野蔷薇的 Levins 指数排名第 2,而重要值排名第 2 的连翘的 Levins 指数在灌木层的 5 个优势种中最小,仅为 2.15。说明黄刺玫的

适应性强,但竞争力较弱,尚未成为灌木层的绝对优势种;野蔷薇的适应能力较强,泛化程度较高,已成为灌木层的优势种;连翘的适应能力较弱,但特化程度较高,在群落中占有一定优势。虽然草本层各优势种的重要值和 Levins 指数排序也存在一定差异,但艾的重要值和 Levins 指数均最大,为草本层的绝对优势种。中华苦苣菜的 Levins 指数在草本层优势种中排名第 2,说明该种的特化程度较低,对资源的利用能力较强;而重要值排名第 2 的益母草的 Levins 指数在草本层优势种中却最低,说明该种为草本层的特化种,对资源的利用能力较弱。

表 2 山西狮脑山自然植物群落中各层次优势种(重要值排名前 5 的种类)的重要值及 Levins 指数

Table 2 Importance value and Levins index of the dominant species (the top five species in terms of importance values) in each layer of natural plant communities in Shinao Mountain of Shanxi Province, China

种类 Species	重要值/% Importance value	Levins 指数 Levins index
乔木层 Arbor layer		
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	50.9	5.26
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	39.1	6.06
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	34.6	4.91
榆 <i>Ulmus pumila</i>	32.2	4.11
欧黄栌 <i>Cotinus coggygria</i>	21.3	4.75
灌木层 Shrub layer		
野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i>	41.7	4.16
连翘 <i>Forsythia suspensa</i>	24.7	2.15
黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i>	24.4	5.71
欧黄栌 <i>Cotinus coggygria</i>	15.0	3.04
紫丁香 <i>Syringa oblata</i>	12.9	2.72
草本层 Herb layer		
艾 <i>Artemisia argyi</i>	35.3	5.03
益母草 <i>Leonurus japonicus</i>	24.0	2.01
中华苦苣菜 <i>Ixeris chinensis</i>	21.9	3.62
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	21.4	2.60
早熟禾 <i>Poa annua</i>	14.6	2.74

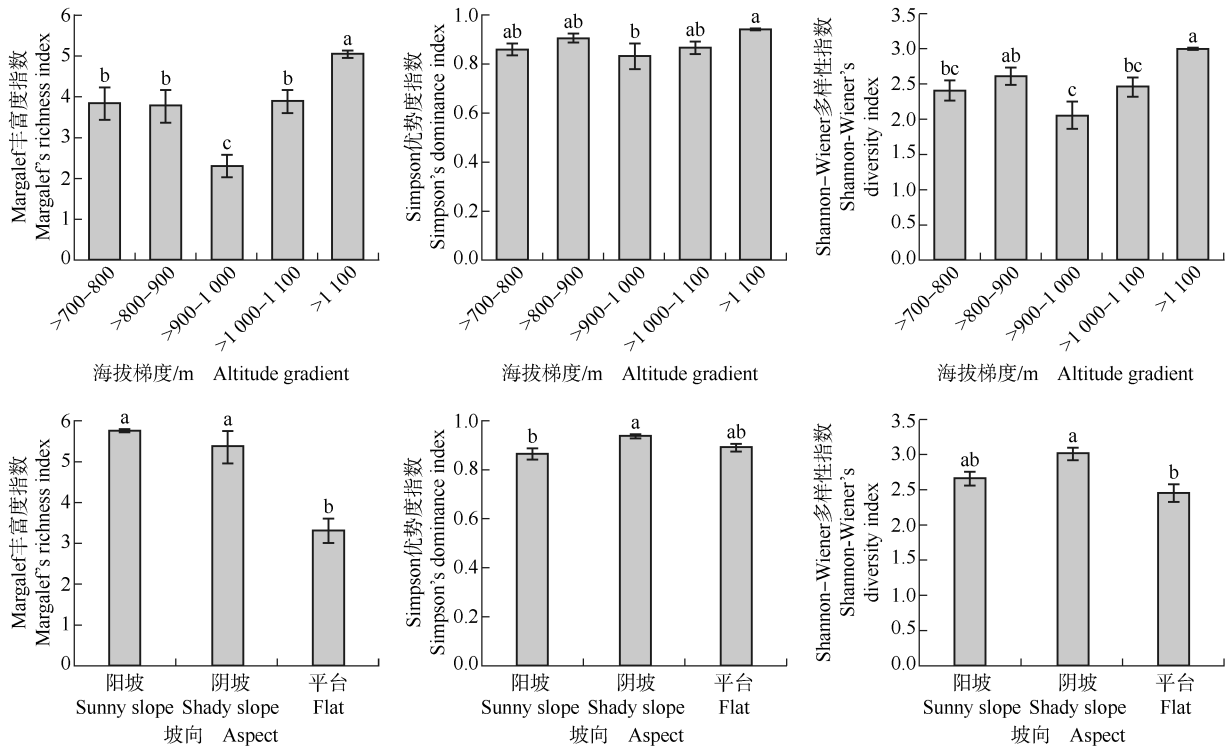
2.2 物种多样性指数分析

2.2.1 物种多样性指数变化分析 狮脑山不同海拔梯度、坡向间的 Margalef 丰富度指数、Simpson 优势度指数、Shannon-Wiener 多样性指数差异见图 1。从海拔看,3 个物种多样性指数总体上均随着海拔升高呈现“升—降—升”的变化趋势,且均在海拔 > 900 ~ 1 000 m 区域最小、在海拔高于 1 100 m 区域最大。从坡向看,阳坡的 Margalef 丰富度指数最大,阴坡的 Margalef 丰富度指数略低于阳坡,而平台的 Margalef 丰富度指数最小,且显著 ($P < 0.05$) 小于阳坡和阴坡;

阴坡的 Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数均最大, 阳坡的 Simpson 优势度指数和平台的 Shannon-Wiener 多样性指数最小, 且显著小于阴坡。

2.2.2 曲线拟合分析 物种多样性指数与海拔和坡向的曲线拟合结果(表 3)显示: Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数与海拔的相关性均不

显著, 而 Simpson 优势度指数与海拔的相关性极显著 ($P < 0.01$)。Margalef 丰富度指数与坡向的相关性不显著, 而 Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数与坡向的相关性均极显著。从相关系数 (R^2) 看, 坡向对 3 个物种多样性指数的影响程度均高于海拔。



每个图中柱子上方的不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Different lowercases above the bars in each graph indicate the significant differences ($P < 0.05$).

图 1 山西狮脑山不同海拔梯度和坡向自然植物群落的物种多样性指数比较
 Fig. 1 Comparison on species diversity indexes of natural plant communities at different altitude gradients and aspects in Shinao Mountain of Shanxi Province, China

表 3 山西狮脑山自然植物群落物种多样性指数与海拔和坡向的曲线拟合分析¹⁾
 Table 3 Curve fitting analysis of species diversity indexes with altitude and aspect of natural plant communities in Shinao Mountain of Shanxi Province, China¹⁾

SDI	与海拔(x_1)的曲线拟合结果 Curve fitting result with altitude (x_1)			与坡向(x_2)的曲线拟合结果 Curve fitting result with aspect (x_2)		
	拟合方程 Fitting equation	R^2	P	拟合方程 Fitting equation	R^2	P
R	$y = 2.197 23 + 2.941 54 \times 10^{-4} x_1$	0.008 13	0.635 66	$y = 2.008 67 + 0.196 73 x_2$	0.090 69	0.058 46
D	$y = -18.236 32 + 0.060 44 x_1 - 6.314 77 \times 10^{-5} x_1^2 + 2.176 22 \times 10^{-8} x_1^3$	0.277 06	0.009 40	$y = 0.516 16 + 0.218 22 x_2 - 0.033 39 x_2^2$	0.448 30	0.000 05
H'	$y = -56.241 53 + 0.184 38 x_1 - 1.921 72 \times 10^{-4} x_1^2 + 6.609 17 \times 10^{-8} x_1^3$	0.140 24	0.075 38	$y = 1.099 93 + 0.672 34 x_2 - 0.097 50 x_2^2$	0.303 87	0.002 87

¹⁾ SDI: 物种多样性指数 Species diversity index; R : Margalef 丰富度指数 Margalef's richness index; D : Simpson 优势度指数 Simpson's dominance index; H' : Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener's diversity index.

2.3 群落种间联结性分析

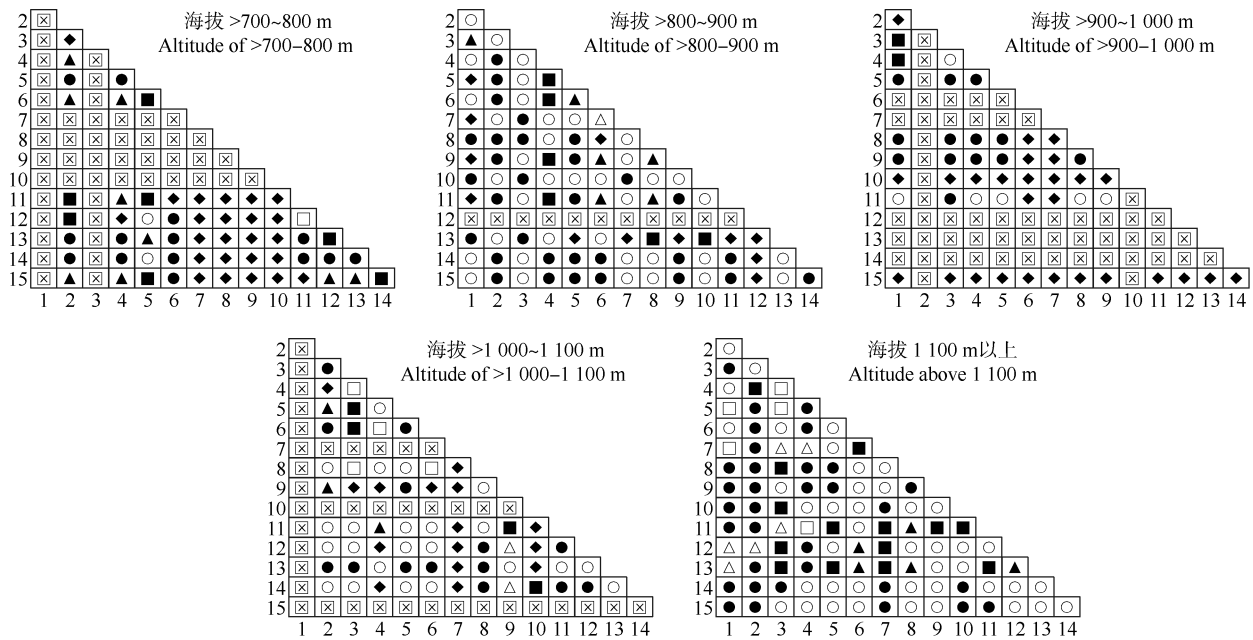
2.3.1 不同海拔梯度群落优势种间的联结性 从不同海拔梯度群落优势种间的联结系数 (AC) (图 2)

看, 海拔 $>700 \sim 800$ m 区域的负联结 ($AC < 0.00$) 种对最少, 仅有欧黄栌 (乔木层) - 益母草、欧黄栌 (乔木层) - 狗尾草、艾 - 益母草 3 个种对; 海拔 $>900 \sim 1 000$

m 区域的正联结 ($AC > 0.00$) 种对最少, 有欧黄栌(乔木层)-侧柏、榆-黄刺玫、刺槐-艾等 15 个种对; 海拔 1 100 m 以上区域的负联结种对最多, 包括刺槐-欧黄栌(灌木层)、欧黄栌(灌木层)-连翘、紫丁香-益母草等 53 个种对, 约占总种对数的 50%, 海拔 1 100 m 以上区域正联结种对也最多, 有欧黄栌(乔木层)-黄刺玫、油松-紫丁香、油松-狗尾草等 52 个种对。并且, 优势种间的负联结种对随海拔升高呈现“升—降—升”的变化规律, 即负联结种对数在海拔低于 900 m 以下区域随海拔升高而增多, 但在海拔 >900~1 000 m 骤减, 并在海拔 1 000 m 以上区域随着海拔

升高再次增多。

优势种间的强联结 ($AC \geq 0.67$ 和 $AC \leq -0.67$) 种对也随海拔升高呈现“升—降—升”的变化规律, 即强联结种对数在海拔 >700~900 m 区域内随着海拔升高而增多, 在海拔 >900~1 000 m 区域下降, 并在海拔 1 000 m 以上区域随着海拔升高再次增多。海拔 1 100 m 以上区域的强联结种对最多, 共有榆-黄刺玫、连翘-狗尾草、刺槐-野蔷薇等 75 个种对, 约占总种对数的 71%; 海拔 >700~800 m 区域的强联结种对最少, 共有油松-中华苦苣菜、欧黄栌(乔木层)-狗尾草、野蔷薇-狗尾草等 16 个种对。



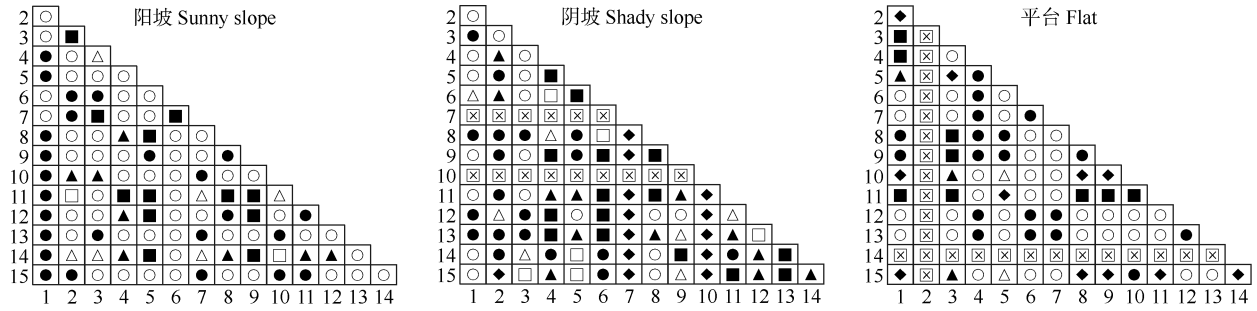
1: 侧柏 *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco; 2: 油松 *Pinus tabulaeformis* Carr.; 3: 刺槐 *Robinia pseudoacacia* Linn.; 4: 榆 *Ulmus pumila* Linn.; 5: 欧黄栌(乔木层) *Cotinus coggygia* Scop. (arbor layer); 6: 野蔷薇 *Rosa multiflora* Thunb.; 7: 连翘 *Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl; 8: 黄刺玫 *Rosa xanthina* Lindl.; 9: 欧黄栌(灌木层) *C. coggygia* (shrub layer); 10: 紫丁香 *Syringa oblata* Lindl.; 11: 艾 *Artemisia argyi* H. Lév. et Vaniot; 12: 益母草 *Leonurus japonicus* Houtt.; 13: 中华苦苣菜 *Ixeris chinensis* (Thunb.) Nakai; 14: 狗尾草 *Setaria viridis* (Linn.) P. Beauv.; 15: 早熟禾 *Poa annua* Linn.

●: 强正联结 Strong positive association ($AC \geq 0.67$); ▲: 中等正联结 Moderate positive association ($0.33 \leq AC < 0.67$); ■: 弱正联结 Weak positive association ($0.00 < AC < 0.33$); ◆: 无联结 No association ($AC = 0.00$); □: 弱负联结 Weak negative association ($-0.33 < AC < 0.00$); △: 中等负联结 Moderate negative association ($-0.67 < AC \leq -0.33$); ○: 强负联结 Strong negative association ($AC \leq -0.67$). ☒: 为避免双零效应, 剔除了 2 个物种均未出现的样方 Quadrats with no occurrence of either species were excluded to eliminate the effect of double zeros.

图 2 山西狮脑山不同海拔梯度自然植物群落优势种间的联结系数 (AC)
Fig. 2 Association coefficient (AC) between dominant species in natural plant communities at different altitude gradients in Shinao Mountain of Shanxi Province, China

2.3.2 不同坡向群落优势种间的联结性 从不同坡向群落优势种间的联结系数(图 3)看, 在阳坡, 强联结种对最多, 共有侧柏-黄刺玫、油松-欧黄栌(灌木层)、紫丁香-中华苦苣菜等 77 个种对, 其中, 强负联结种对有 52 个, 强正联结种对有 25 个; 在阴坡, 弱联

结 ($-0.33 < AC < 0.33$) 和无联结 ($AC = 0.00$) 的种对较多, 共有榆-野蔷薇、欧黄栌-狗尾草、黄刺玫-艾蒿等 36 个种对, 其中, 弱正联结种对有 15 个, 弱负联结种对有 6 个, 无联结种对有 15 个, 此外阴坡正联结种对较多有 46 个; 在平台, 强联结种对最多, 共有侧柏-黄



1: 侧柏 *Platycladus orientalis* (Linn.) Franco; 2: 油松 *Pinus tabulaeformis* Carr.; 3: 刺槐 *Robinia pseudoacacia* Linn.; 4: 榆 *Ulmus pumila* Linn.; 5: 欧黄栌 (乔木层) *Cotinus coggygia* Scop. (arbor layer); 6: 野蔷薇 *Rosa multiflora* Thunb.; 7: 连翘 *Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl; 8: 黄刺玫 *Rosa xanthina* Lindl.; 9: 欧黄栌 (灌木层) *C. coggygia* (shrub layer); 10: 紫丁香 *Syringa oblata* Lindl.; 11: 艾 *Artemisia argyi* H. Lévl. et Vaniot; 12: 益母草 *Leonurus japonicus* Houtt.; 13: 中华苦苣菜 *Ixeris chinensis* (Thunb.) Nakai; 14: 狗尾草 *Setaria viridis* (Linn.) P. Beauv.; 15: 早熟禾 *Poa annua* Linn.

●: 强正联结 Strong positive association ($AC \geq 0.67$); ▲: 中等正联结 Moderate positive association ($0.33 \leq AC < 0.67$); ■: 弱正联结 Weak positive association ($0.00 < AC < 0.33$); ◆: 无联结 No association ($AC = 0.00$); □: 弱负联结 Weak negative association ($-0.33 < AC < 0.00$); △: 中等负联结 Moderate negative association ($-0.67 < AC \leq -0.33$); ○: 强负联结 Strong negative association ($AC \leq -0.67$). ⊠: 为避免双零效应, 剔除了 2 个物种均未出现的样方 Quadrats with no occurrence of either species were excluded to eliminate the effect of double zeros.

图 3 山西狮脑山不同坡向自然植物群落优势种间的联结系数 (AC)
Fig. 3 Association coefficient (AC) between dominant species in natural plant communities on different aspects in Shinao Mountain of Shanxi Province, China

刺玫、刺槐-野蔷薇、紫丁香-中华苦苣菜等 55 个种对, 其中, 强负联结种对有 36 个, 强正联结种对有 19 个。

3 讨论和结论

统计结果显示: 狮脑山自然植物群落共有 35 科 65 属 79 种植物, 蔷薇科、菊科为优势科, 李属、绣线菊属、蔷薇属、蒿属为优势属, 符合华北地区温带针叶阔叶混交林的物种组成特征^[28]。比较发现, 狮脑山自然植物群落中的草本层植物种类 (20 科 39 属 42 种) 明显多于乔木层 (13 科 17 属 24 种) 和灌木层 (9 科 13 属 15 种), 符合一般情况下植物群落中乔木层、灌木层和草本层植物种类的分布特征^[29]。究其原因, 草本层以草本种类为主, 这类植物通常具有较短的生命周期和更高的繁殖速率, 具有较乔木和灌木种类更强的抗干扰能力及自我更新恢复能力^[30]。

物种的重要值能够直接表征其在群落中的相对优势程度^[31], 生态位宽度则能够反映物种对环境的适应性及其对资源的利用能力^[32], 二者均能够体现物种在群落中的地位和作用。狮脑山自然植物群落乔木层中侧柏、油松的重要值均相对较大, 已经成为当地的乡土物种, 对当地的气候和环境具有很强的适应能力。值得注意的是, 虽然侧柏的重要值最大, 但其生态位宽度却小于油松, 推测这是因为调查群落中

侧柏的相对密度较大, 大量聚集在个别样方内, 通过高相对密度和显著度来占据一部分资源, 而油松则通过扩大生态位宽度来占据更多不同空间。该群落乔木层中针叶树种侧柏和油松的重要值之和达到 90%, 这很可能与狮脑山长期受煤炭开采扰动影响的生态背景有关。已有研究发现, 针叶树通常具有耐旱、耐贫瘠的特点, 因此, 在土壤受损、地表扰动的环境中针叶树更易成为群落中的优势种^[33]。另外, 侧柏和油松的生态位宽度在乔木层种类中排名前 2 位, 并且, 刺槐、榆等阔叶树种的生态位宽度均较大, 说明侧柏和油松在群落中占据绝对优势, 而且群落中的针叶树与阔叶树已经形成相对稳定的结构。灌木层和草本层种类的重要值与生态位宽度排序差异较大, 说明该群落的灌木层和草本层尚未达到稳定状态, 仍处于动态演替过程中。灌木层中, 黄刺玫的生态位宽度最大, 远高于与其重要值相近的连翘, 究其原因, 该群落中黄刺玫的相对频度较大, 广泛分布于各个样地, 对生境的适应性和竞争能力较强; 而连翘的特化程度较高, 分布集中, 但盖度较大, 仅在个别样地中占据绝对优势, 因此, 虽然连翘的生态位宽度明显低于黄刺玫, 但重要值却与黄刺玫相近。另外, 野蔷薇的重要值在灌木层中最大, 黄刺玫的生态位宽度在灌木层中最大, 进一步说明蔷薇科蔷薇属植物在狮脑山自然植物群落的灌木层演替过程中占有优势地位, 对生境有强大的适应性。草本层中艾的重要值和生态位宽度

均最大,为该层次的绝对优势种,这与艾具有耐干旱、适应性强、耐践踏等特性^[34],更易在人为活动(如游客踩踏)频繁的区域占据优势密切相关。

植物群落的物种多样性受到海拔、坡向的综合影响^[27]。研究发现,海拔和坡向变化会造成土壤质地、土壤含水量、小气候等环境条件发生改变,从而影响植物群落的物种构成及分布^[35]。狮脑山自然植物群落的物种多样性指数在海拔>900~1 000 m 区域最小,而在海拔高于1 100 m 区域最大,究其原因:海拔高于1 100 m 已经达到狮脑山主峰高度,这一区域的温度较低、湿度较大,形成了稳定的气候条件^[36],并且,该区域受煤矿开采与人为活动等的影响微小,土壤的理化性质和肥力更优,能够为植物生长提供更多、更好的资源与环境;而海拔>900~1 000 m 区域地势较为平坦,主要为观赏平台,人流聚集,人为活动频繁,易对草地、树木造成严重的机械损伤,直接破坏地表植物,加上游客践踏导致土壤压实、孔隙度降低^[37],区内的物种丰富度和多样性明显下降,致使部分区域土壤裸露,水土流失加重^[38],最终造成原有生境被破坏,植物多样性骤降。拟合曲线分析结果显示:Simpson 优势度指数与海拔的相关性极显著($P < 0.01$),表明海拔对该植物群落的物种优势度格局影响极大;而 Margalef 丰富度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数与海拔的相关性却不显著,这可能是由于狮脑山的海拔范围为 738.2~1 167.4 m,在海拔上并未形成跨气候带的梯度差异,削弱了海拔对物种丰富度和多样性的影响。本研究中,阴坡的 Simpson 优势度指数和 Shannon-Wiener 多样性指数均高于阳坡和平台,说明阴坡的物种多样性更高,这主要是因为狮脑山属于温带季风气候,阳坡光照时间长、光照强度大,土壤的水分蒸发量较大、含水量较低^[39],仅适合耐旱植物生存;平台地形平坦,地表径流汇集,导致土壤紧实化^[40],且区内存在多个旅游观景平台,人为活动干扰严重;阴坡光照较弱、太阳辐射小,土壤的水分蒸发量较小、含水量较高^[39],能够支撑更多物种共存。然而,阳坡的 Margalef 丰富度指数却最高,究其原因:虽然阳坡的水分条件较差,但光照充足^[41],有利于喜阳植物的生存和生长。

种间联结体现了群落内物种之间的相互关系,能够反映群落的内在结构与功能联系^[42]。随着海拔的升高,狮脑山自然植物群落优势种间的强联结种对数和负联结种对数均表现为“升—降—升”的变化趋

势,且均在海拔 1 100 m 以上区域达到峰值,这一变化趋势与 Shannon-Wiener 多样性指数随海拔的变化趋势相同,说明植物群落多样性能够影响植物的种间联结关系,通常情况下,Shannon-Wiener 多样性指数越大,植物种间的联结关系越紧密。产生原因如下:高海拔地区低温、强风等气候条件导致植物可利用的资源减少,虽然高海拔区域的环境稳定,但物种丰富度较高(Margalef 丰富度指数为 5.03),植物个体之间的竞争加剧,导致植物种间的负联结关系增强,表现为强负联结种对增多;同时,高海拔下低温等环境压力可能促进物种间的协同适应^[43],如乔木与灌木通过冠层分层共享空间^[44],导致植物种间的正联结关系增强,表现为强正联结种对增多。在狮脑山自然植物群落中,阳坡和平台优势种间的联结关系较为紧密,且强负联结种对较多,可能是因为阳坡日照强、水分蒸发旺盛且物种丰富度较高,平台地势平缓,人类活动频繁,过度践踏致使土壤的吸水和排水能力下降,因此,阳坡和平台区域易出现水分亏缺问题,导致空间内资源有限、环境压力较大,物种对水分等资源的竞争加剧;阴坡正联结种对较多是因为阴坡的水分等条件稳定,多数物种可通过资源分配(如不同根系垂直分层吸收不同深度土壤中的水分,通过冠层高度分化实现对光照资源的高度利用^[45])实现共存。

综合分析认为,狮脑山自然植物群落物种较为丰富,以蔷薇科、菊科和禾本科种类为主;海拔和坡向对该区域的物种多样性和种间联结性均有较大影响,且坡向的影响更大。值得注意的是,本研究存在一定的局限性,例如:样地调查未覆盖全年,无法分析物种多样性和种间联结性的季节动态变化规律;调查的海拔梯度范围较小(约 430 m),无法对海拔效应进行全面解析。因此,后续应开展更为系统、全面的深入研究。另外,为了防止自然植物群落退化及深入开发旅游资源,在设计狮脑山的人工林或植物景观时,应当选择适宜不同空间生境的物种进行配置,如在阳坡或海拔 1 100 m 以上区域,宜采用侧柏-黄刺玫-艾或狗尾草等植物配置模式;在阴坡或海拔>800~900 m 区域,宜采用油松-欧黄栌-艾等植物配置模式。

参考文献:

- [1] 牟晨,王海燕,崔雪,等.长白山天然针阔混交林土壤养分空间异质性及其影响因素[J].应用与环境生物学报,2024,30(5):894-903.
- [2] 丛晓峰,陈昊,李丹,等.陕南中低海拔山区植物物种多样

- 性与海拔及坡向的关系[J]. 生态科学, 2023, 42(4): 39-47.
- [3] 王文虎, 王世林, 梁国玲, 等. 坡向和坡位对祁连山高寒灌丛植物群落多样性的影响[J]. 草业学报, 2025, 34(1): 17-28.
- [4] LIANG J, DING Z, LIE G, et al. Climate-driven environmental filtering determines hump-shaped elevational pattern of seed plant beta diversity in the central Himalayas[J]. *Plant Diversity*, 2025, 47(2): 264-272.
- [5] CHEN J, SHIYOMI M, WEI Z. Determining spatial heterogeneity in species richness of plant community [J]. *Grassland Science*, 2015, 61: 56-60.
- [6] 栾宜通, 李念森, 乔璐靖, 等. 云冷杉红松林优势树种生态位、种间联结及群落稳定性[J]. 植物研究, 2024, 44(5): 753-762.
- [7] ZUO X, MAO W, QU H, et al. Scale effects on spatial heterogeneity of herbaceous vegetation in desert steppe depend on plant community type[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 127: 107769.
- [8] TIAN Q, ZHANG X, XU X, et al. Knowledge about plant coexistence during vegetation succession for forest management on the Loess Plateau, China[J]. *Forests*, 2022, 13(9): 1456.
- [9] 陆鑫, 巴乐金, 乌兰·吾尚, 等. 海拔对塔城地区野果林生态位与种间关联影响[J]. 森林工程, 2024, 40(3): 76-87, 100.
- [10] 郭雅婷, 李运远. 基于生物多样性的城市绿地植物群落构建途径[J]. 风景园林, 2022, 29(1): 59-63.
- [11] 阿斯太肯·居力海提, 董乙强, 周时杰, 等. 封育对不同草地类型植物群落多样性及生态位特征的影响: 以新疆不同类型草地为例[J]. 草业科学, 2023, 40(5): 1168-1185.
- [12] 武秀娟. 芦芽山阴坡典型天然次生林群落的种间联结性[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(1): 54-61.
- [13] 徐林昕, 李亭亭, 夏永知, 等. 环境距离和地理空间距离对鄂西北植物群落 β 多样性的影响[J]. 植物科学学报, 2025, 43(3): 351-360.
- [14] 刘秉儒. 生物多样性的海拔分布格局研究及进展[J]. 生态环境学报, 2021, 30(2): 438-444.
- [15] 岳明, 张林静, 党高弟, 等. 佛坪自然保护区植物群落物种多样性与海拔梯度的关系[J]. 地理科学, 2002, 22(3): 349-354.
- [16] 布买丽娅木·吐如汗. 库车山区种子植物多样性海拔梯度格局研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2017: 36-39.
- [17] 李佳灵, 林育成, 王旭, 等. 海南吊罗山不同海拔高度热带雨林种间联结性对比研究[J]. 热带作物学报, 2013, 34(3): 584-590.
- [18] 刘旻霞, 王刚. 高寒草甸植物群落多样性及土壤因子对坡向的响应[J]. 生态学杂志, 2013, 32(2): 259-265.
- [19] 陈娟, 张小晶, 李巧玉, 等. 坡向对川西亚高山彩叶林群落树种种内和种间竞争的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(2): 53-62.
- [20] 焦振玲, 孙垂强. 《全国资源型城市可持续发展规划》对煤炭资源型城市的污染减排效应研究[J]. 太原城市职业技术学院学报, 2022(9): 16-19.
- [21] 荆丽波. 狮脑山地质旅游资源开发与保护建议[J]. 能源与环境, 2019(5): 110-111.
- [22] CAIN S A. The species-area curve [J]. *American Midland Naturalist*, 1938, 19(3): 573-581.
- [23] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [24] PANDEY R, RAWAT M, SINGH V, et al. Large scale field-based evaluation of niche breadth, niche overlap and interspecific association of Western Himalayan temperate forest tree species[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 146: 109876.
- [25] 刘灿然, 马克平, 吕延华, 等. 生物群落多样性的测度方法VI: 与多样性测度有关的统计问题[J]. 生物多样性, 1998, 6(3): 229-239.
- [26] 王伯荪, 彭少麟. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究 I. 种间联结测试的探讨与修正[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(4): 274-285.
- [27] 戚赏, 刘占时, 牡丹, 等. 龙翔山植物群落空间异质性及其影响因子[J]. 生态学杂志, 2024, 43(1): 75-85.
- [28] 王荷生. 华北植物区系的演变和来源[J]. 地理学报, 1999, 54(3): 213-223.
- [29] GILLIAM F S. The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems [J]. *BioScience*, 2007, 57(10): 845-858.
- [30] COMPAGNONI A, LEVIN S, CHILDS D Z, et al. Herbaceous perennial plants with short generation time have stronger responses to climate anomalies than those with longer generation time [J]. *Nature Communications*, 2021, 12: 1824.
- [31] 李星, 隋莹莹, 辛智鸣, 等. 内蒙古阿拉善梭梭人工林林下主要植物的生态位特征和种间联结性[J]. 植物资源与环境学报, 2025, 34(3): 79-87.
- [32] 邓清雅, 温瑞龙, 王迎雪, 等. 福建大嵛山岛常绿阔叶林木本植物优势种的生态位和种间联结[J]. 植物资源与环境学报, 2024, 33(4): 92-100.
- [33] ZHAO Y, LI J, JIN Y, et al. Divergent growth and responses of conifer and broad-leaved trees to warming-drying climate in a semi-arid region, northern China [J]. *European Journal of Forest Research*, 2024, 143: 887-901.
- [34] 聂韡, 刘畅, 单承莺. 艾草的本草考证及资源分布[J]. 中国野生植物资源, 2019, 38(4): 93-95, 105.
- [35] YANG Q, ZHANG H, WANG L, et al. Topography and soil content contribute to plant community composition and structure in subtropical evergreen-deciduous broadleaved mixed forests [J]. *Plant Diversity*, 2021, 43(4): 264-274.
- [36] 罗伦, 旦增, 朱立平, 等. 藏东南季拉山气温和降水垂直梯度变化[J]. 高原气象, 2021, 40(1): 37-46.
- [37] 董一桥, 刘倩倩, 彭孝楠, 等. 人为践踏对南京紫金山天然次生林土壤渗透性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2022, 46(1): 163-170.
- [38] KRENZ J, GREENWOOD P, KUHN N J. Anthropogenic erosion-induced small-scale soil heterogeneity in South African rangelands [J]. *Anthropocene*, 2021, 34: 100290.
- [39] LIU Q, CHEN Z, WANG S, et al. Changes in soil hydrological retention properties and controlling factors on shaded and sunny

- slopes in semi-arid alpine woodlands [J]. *Forests*, 2024, 15 (7): 1136.
- [40] 吕 娇, SHAH M, 崔 义, 等. 土壤紧实度和凋落物覆盖对城市森林土壤持水、渗水能力的影响[J]. *北京林业大学学报*, 2020, 42(8): 102-111.
- [41] BENNIE J, HUNTLEY B, WILTSHIRE A, et al. Slope, aspect and climate: spatially explicit and implicit models of topographic microclimate in chalk grassland[J]. *Ecological Modelling*, 2008, 216: 47-59.
- [42] 叶兴状, 王妙青, 程 诺, 等. 福建天台山半枫荷天然群落的物种组成、生态位和种间关系[J]. *植物资源与环境学报*, 2021, 30(6): 19-28.
- [43] 刘 洋, 张 健, 杨万勤. 高山生物多样性对气候变化响应的研究进展[J]. *生物多样性*, 2009, 17(1): 88-96.
- [44] CHEN J, CHEN X, QIAN L, et al. Degeneration of foundation cushion species induced by ecological constraints can cause massive changes in alpine plant communities [J]. *Science China Life Sciences*, 2024, 67: 789-802.
- [45] LUO W, NI M, WANG Y, et al. Limited evidence of vertical fine-root segregation in a subtropical forest[J]. *New Phytologist*, 2021, 231(6): 2308-2318.

(责任编辑: 佟金凤)

附录 I Appendix I

- | | | | |
|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 苋科 <i>Amaranthaceae</i> | 青檀属 <i>Pteroceltis</i> | 秃疮花 <i>D. leptopodium</i> | 委陵菜属 <i>Potentilla</i> |
| 藜属 <i>Chenopodium</i> | 青檀 <i>P. tatarinowii</i> | 松科 <i>Pinaceae</i> | 委陵菜 <i>P. chinensis</i> |
| 藜 <i>C. album</i> | 忍冬科 <i>Caprifoliaceae</i> | 云杉属 <i>Picea</i> | 李属 <i>Prunus</i> |
| 漆树科 <i>Anacardiaceae</i> | 忍冬属 <i>Lonicera</i> | 云杉 <i>P. asperata</i> | 紫叶李 <i>P. cerasifera</i> |
| 黄栌属 <i>Cotinus</i> | 金银忍冬 <i>L. maackii</i> | 松属 <i>Pinus</i> | 'Atropurpurea' |
| 黄栌 <i>C. coggygria</i> | 卫矛科 <i>Celastraceae</i> | 白皮松 <i>P. bungeana</i> | 山桃 <i>P. davidiana</i> |
| 伞形科 <i>Apiaceae</i> | 卫矛属 <i>Euonymus</i> | 赤松 <i>P. densiflora</i> | 山樱花 <i>P. serrulata</i> |
| 防风属 <i>Saposhnikovia</i> | 卫矛 <i>E. alatus</i> | 油松 <i>P. tabulaeformis</i> | 杏 <i>P. sibirica</i> |
| 防风 <i>S. divaricate</i> | 白杜 <i>E. maackii</i> | 车前科 <i>Plantaginaceae</i> | 黑刺李 <i>P. spinosa</i> |
| 五加科 <i>Araliaceae</i> | 山茱萸科 <i>Cornaceae</i> | 车前属 <i>Plantago</i> | 榆叶梅 <i>P. triloba</i> |
| 天胡荽属 <i>Hydrocotyle</i> | 山茱萸属 <i>Cornus</i> | 车前 <i>P. asiatica</i> | 绣线菊属 <i>Spiraea</i> |
| 破铜钱 <i>H. sibthorpioides</i> | 红瑞木 <i>C. alba</i> | 禾本科 <i>Poaceae</i> | 珍珠绣线菊 <i>S. thunbergii</i> |
| 菊科 <i>Asteraceae</i> | 柏科 <i>Cupressaceae</i> | 短柄草属 <i>Brachypodium</i> | 三裂绣线菊 <i>S. trilobata</i> |
| 藜香蓟属 <i>Ageratum</i> | 刺柏属 <i>Juniperus</i> | 短柄草 <i>B. sylvaticum</i> | 茜草科 <i>Rubiaceae</i> |
| 藜香蓟 <i>A. conyzoides</i> | 圆柏 <i>J. chinensis</i> | 隐子草属 <i>Cleistogenes</i> | 茜草属 <i>Rubia</i> |
| 蒿属 <i>Artemisia</i> | 刺柏 <i>J. formosana</i> | 隐子草 <i>C. serotina</i> | 茜草 <i>R. cordifolia</i> |
| 艾 <i>A. argyi</i> | 侧柏属 <i>Platycladus</i> | 白茅属 <i>Imperata</i> | 杨柳科 <i>Salicaceae</i> |
| 细裂叶莲蒿 <i>A. stechmanniana</i> | 侧柏 <i>P. orientalis</i> | 白茅 <i>I. cylindrica</i> | 杨属 <i>Populus</i> |
| 青蒿 <i>A. caruifolia</i> | 豆科 <i>Fabaceae</i> | 黑麦草属 <i>Lolium</i> | 黑杨 <i>P. nigra</i> |
| 黄花蒿 <i>A. annua</i> | 刺槐属 <i>Robinia</i> | 黑麦草 <i>L. perenne</i> | 无患子科 <i>Sapindaceae</i> |
| 菊属 <i>Chrysanthemum</i> | 刺槐 <i>R. pseudoacacia</i> | 臭草属 <i>Melica</i> | 槭属 <i>Acer</i> |
| 甘菊 <i>C. lavandulifolium</i> | 苦参属 <i>Sophora</i> | 臭草 <i>M. scabrosa</i> | 元宝槭 <i>A. truncatum</i> |
| 天人菊属 <i>Gaillardia</i> | 白刺花 <i>S. davidii</i> | 粟草属 <i>Milium</i> | 苦木科 <i>Simaroubaceae</i> |
| 天人菊 <i>G. pulchella</i> | 槐属 <i>Styphnolobium</i> | 粟草 <i>M. effusum</i> | 臭椿属 <i>Ailanthus</i> |
| 苦苣菜属 <i>Ixeris</i> | 槐 <i>S. japonicum</i> | 早熟禾属 <i>Poa</i> | 臭椿 <i>A. altissima</i> |
| 中华苦苣菜 <i>I. chinensis</i> | 壳斗科 <i>Fagaceae</i> | 早熟禾 <i>P. annua</i> | 茄科 <i>Solanaceae</i> |
| 风毛菊属 <i>Saussurea</i> | 栎属 <i>Quercus</i> | 狗尾草属 <i>Setaria</i> | 曼陀罗属 <i>Datura</i> |
| 风毛菊 <i>S. japonica</i> | 蒙古栎 <i>Q. mongolica</i> | 狗尾草 <i>S. viridis</i> | 曼陀罗 <i>D. stramonium</i> |
| 一枝黄花属 <i>Solidago</i> | 唇形科 <i>Lamiaceae</i> | 结缕草属 <i>Zoysia</i> | 榆科 <i>Ulmaceae</i> |
| 一枝黄花 <i>S. decurrens</i> | 夏至草属 <i>Lagopsis</i> | 结缕草 <i>Z. sinica</i> | 榆属 <i>Ulmus</i> |
| 蒲公英属 <i>Taraxacum</i> | 夏至草 <i>L. supina</i> | 廖科 <i>Polygonaceae</i> | 榆 <i>U. pumila</i> |
| 蒲公英 <i>T. mongolicum</i> | 益母草属 <i>Leonurus</i> | 酸模属 <i>Rumex</i> | 马鞭草科 <i>Verbenaceae</i> |
| 紫草科 <i>Boraginaceae</i> | 益母草 <i>L. japonicus</i> | 皱叶酸模 <i>R. crispus</i> | 牡荆属 <i>Vitex</i> |
| 斑种草属 <i>Bothriospermum</i> | 桑科 <i>Moraceae</i> | 毛茛科 <i>Ranunculaceae</i> | 黄荆 <i>V. negundo</i> |
| 斑种草 <i>B. chinense</i> | 桑属 <i>Morus</i> | 耧斗菜属 <i>Aquilegia</i> | 英莲科 <i>Viburnaceae</i> |
| 附地菜属 <i>Trigonotis</i> | 黑桑 <i>M. nigra</i> | 耧斗菜 <i>A. viridiflora</i> | 英莲属 <i>Viburnum</i> |
| 附地菜 <i>T. peduncularis</i> | 木犀科 <i>Oleaceae</i> | 鼠李科 <i>Rhamnaceae</i> | 英莲 <i>V. dilatatum</i> |
| 十字花科 <i>Brassicaceae</i> | 连翘属 <i>Forsythia</i> | 雀梅藤属 <i>Sageretia</i> | 堇菜科 <i>Violaceae</i> |
| 芥属 <i>Capsella</i> | 连翘 <i>F. suspensa</i> | 雀梅藤 <i>S. thea</i> | 堇菜属 <i>Viola</i> |
| 芥 <i>C. bursa-pastoris</i> | 女贞属 <i>Ligustrum</i> | 蔷薇科 <i>Rosaceae</i> | 紫花地丁 <i>V. philippica</i> |
| 诸葛菜属 <i>Orychophragmus</i> | 女贞 <i>L. lucidum</i> | 龙牙草属 <i>Agrimonia</i> | 葡萄科 <i>Vitaceae</i> |
| 诸葛菜 <i>O. violaceus</i> | 丁香属 <i>Syringa</i> | 龙牙草 <i>A. pilosa</i> | 蛇葡萄属 <i>Ampelopsis</i> |
| 大麻科 <i>Cannabaceae</i> | 紫丁香 <i>S. oblata</i> | 蔷薇属 <i>Rosa</i> | 蛇葡萄 <i>A. glandulosa</i> |
| 朴属 <i>Celtis</i> | 罂粟科 <i>Papaveraceae</i> | 野蔷薇 <i>R. multiflora</i> | 地锦属 <i>Parthenocissus</i> |
| 朴树 <i>C. sinensis</i> | 秃疮花属 <i>Dicranostigma</i> | 黄刺玫 <i>R. xanthina</i> | 五叶地锦 <i>P. quinquefolia</i> |