

DOI: 10.5846/stxb202007261957

王婷, 习靓靓, 杨柳, 孙怡洁, 李哲静, 肖治术, 任迎丰, 陈云, 董娜琳. 太行山猕猴国家自然保护区木本植物群落结构和空间分布特征. 生态学报, 2023, 43(13): 5525-5535.

Wang T, Xi J J, Yang L, Sun Y J, Li Z J, Xiao Z S, Ren Y F, Chen Y, Dong N L. Community structure and spatial distribution characteristics of woody plants in Taihang Mountain Macaque National Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(13): 5525-5535.

太行山猕猴国家自然保护区木本植物群落结构和空间分布特征

王 婷¹, 习靓靓^{2,3}, 杨 柳¹, 孙怡洁¹, 李哲静¹, 肖治术⁴, 任迎丰⁵, 陈 云³, 董娜琳^{6,*}

1 河南农业大学林学院, 郑州 450002

2 中山大学生态学院, 深圳 518107

3 河南农业大学生命科学学院, 郑州 450002

4 中国科学院动物研究所, 北京 100020

5 济源市愚公林场, 济源 459000

6 河南农业大学风景园林与艺术学院, 郑州 450002

摘要:多样化的森林群落为植物生长提供了不同的微生境。然而,物种在不同类型森林群落中是呈随机分布还是生态专化仍有待阐明。基于不同优势物种群落在太行山猕猴国家自然保护区建立了 4 个 1 hm² (100 m×100 m) 森林动态监测样地,采用 Kruskal-Wallis 方法、Betadisper 检验分析不同群落间的物种组成和结构差异,利用相关网络和指示种分析探索物种-群落间的关系。结果表明,不同群落间木本植物的多度、丰富度和物种组成存在显著差异;共有 5 种物种同时出现在四个群落中,有 43.82% (39/89) 的物种分布在两个或两个以上的群落中;网络分析结果显示,物种与群落之间的连接指数为 41.29%,专化指数为 60.89%;指示种分析显示不同植物群落间指示物种不同。了解了太行山猕猴国家自然保护区不同群落的物种组成和群落结构特征。研究结果同时表明,木本植物在不同群落中的分布具有较高的专化特征。希望本研究能为该区域木本植物多样性维持机制的理解和物种保护提供一定参考。

关键词:木本植物;多样性;群落结构;专化特征;太行山

Community structure and spatial distribution characteristics of woody plants in Taihang Mountain Macaque National Nature Reserve

WANG Ting¹, XI Jingjing^{2,3}, YANG Liu¹, SUN Yijie¹, LI Zhejing¹, XIAO Zhishu⁴, REN Yingfeng⁵, CHEN Yun³, DONG Nalin^{6,*}

1 College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2 Institute of ecological, Sun Yat-Sen University, Shenzhen 518107, China

3 College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

4 Institute of zoology, Chinese academy of sciences, Beijing 100020, China

5 Yugong forest farm, Jiyuan, Jiyuan 459000, China

6 College of Landscape Architecture and Art, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

基金项目:国家自然科学基金(31270493);河南农业大学青年英才项目(111/30500744);河南南太行山水林田湖草生态保护修复试点工程(济源项目)(JGZJ-采-2019125)

收稿日期:2020-07-26; **网络出版日期:**2023-03-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dongnalin@henau.edu.cn

Abstract: The diversified forest communities provide different microhabitats for plant growth. However, whether the species are randomly distributed or ecologically specialized in different forest communities remains to be elucidated. In this study, four 1 hm² (100 m × 100 m) forest dynamic monitoring plots based on different dominant species communities were established in Taihang Mountain Macaque National Nature Reserve. We analyzed species composition and structure differences by Kruskal-wallis method and betadisper test in different communities, and then analyzed the plant-community relations by correlation network approach and indicator species analysis. Results showed that the abundance, richness, and species composition of woody plants exhibited significant differences in different communities. A total of 5 species were recorded in each of the four communities, and a total of 43.82% (39/89) species distributed in two or more communities. The results of network analysis showed that the linkage index between species and communities was 41.29%, and the specialization index was 60.89%. Indicator species analysis showed that the indicator species were different among different plant communities. Through this study, we understood the species composition and community structure characteristics of different communities in Taihang Mountain Macaque National Nature Reserve. The results also suggest that the distribution of woody plants in different communities showed high specialization characteristics. It is hoped that this study can provide some references for understanding of the mechanism of woody plant diversity maintenance and species conservation in this region.

Key Words: woody plants; diversity; community structure; specialization characteristics; Taihang Mountain

群落中的优势种对生态系统生产力、群落稳定和物种入侵等都起着至关重要的作用^[1]。不同优势种群落在群落结构、林下植被、林下光照资源、土壤结构等方面都存在一定差异,从而为动物、植物和微生物的生长提供了不同的微生境^[1-2]。Grime 研究表明优势种对于植被结构和动态变化具有强大的推动力,并决定着林下植被的命运。优势种决定了光照条件和土壤肥沃程度,并反映了群落环境状况以及干扰事件^[2]。不同的优势种群落之间往往形成差异较大的微生境^[1]。因此,基于不同优势种群研究一个区域的群落结构和空间分布特征对森林管理和生物多样性保护有着重要的生态意义。

正是因为优势种在生态系统中扮演的重要角色,以往的研究往往也多关注于群落的优势物种^[3-6]。生物群落中,除了对群落具有明显控制作用的优势物种外,还存在有常见种、偶见种和稀有种等非优势物种^[7]。相对于优势物种,人们对群落中非优势物种的关注较少。大部分常见种往往生长繁殖稳定,具有很好的环境适应性,在不同环境的群落中都有可能出现^[8]。部分偶见种或稀有种对其生长的环境条件也十分苛刻^[9]。在不同植物群落中,物种分布是随机分布还是生态专化,仍有待研究。

有关木本植物空间分布和影响因素的研究已经有很多,特别是地形^[10-12]、光照^[13-14]、土壤^[15-16]等非生物环境对木本植物的影响。生物环境对木本植物的影响,例如竞争^[17-18]、物种演替^[19-20]等,人们也有所关注。人们对木本植物的多样性维持机制的研究也越来越深入,越来越全面。以往的相关研究指出,森林生态系统中的大多数木本植物具有明显的生境分布偏好^[21],并强调了微生境特征对物种共存的重要性^[12,22-24]。然而,这些研究主要集中在非生物环境^[12,22-24],而由群落类型形成的微生境对木本植物物种分布的影响尚不清楚。

本研究基于不同优势种群落在济源太行山猕猴自然保护区建立 4 个 1 hm² (100 m×100 m) 森林动态监测样地,初步探讨以下几个科学问题:(1)样地内不同群落的物种组成和群落结构特征。(2)物种在不同植物群落类型内的分布是随机分布还是生态专化?希望通过本研究揭示不同群落类型对木本植物分布的影响,为该区域木本植物多样性保护提供一定参考。

1 研究区域概况

济源太行山自然保护区位于河南省西北部,地理坐标为北纬 34°53′—35°17′,东经 112°02′—112°45′,地

势南低北高^[25-26]。保护区属于暖温带山地地区,具有明显的暖温带大陆性季风气候特征^[27],冬冷夏热,四季分明。该区域年平均气温为 14.3℃,极端最低气温-20℃,极端最高气温 43.4℃^[26,28];年降水量为 641.7 mm,降雨量多集中在 7—9 月,占全年总降水量的 54.25%^[29];全年无霜期 223 d^[25,30]。区域内土壤质地多为褐土,pH 值为 7.0—7.5,腐殖质厚度一般为 5—10 cm^[31]。

保护区内地势复杂,植物资源丰富^[32-35]。乔木层主要由锐齿槲栎 (*Quercus aliena* var. *acutiserrata*)、栓皮栎 (*Quercus variabilis*)、黄连木 (*Pistacia chinensis*)、鹅耳枥 (*Carpinus turczaninowii*) 等组成;灌木层主要由连翘 (*Forsythia suspense*)、牡荆 (*Vitex negundo* var. *cannabifolia*)、荚蒾 (*Viburnum dilatatum*)、绣线菊 (*Spiraea salicifolia*) 等组成。此外,还有领春木 (*Euptelea pleiosperma*)、蜡实 (*Kolkwitzia amabilis*)、四照花 (*Cornus kousa* subsp. *Chinensis*) 等一些稀有植物^[36]。

2 研究方法

2.1 样方调查

在对保护区进行全面调查的基础上,参照 CTFS (Centre for Tropic Forest Sciences) 样地建设技术规范^[37-39],在太行山自然保护区建立了 4 个不同植被类型的 1 hm² 固定样地 (100 m×100 m) (图 1),分别是锐齿槲栎林群落、栓皮栎林群落、栓皮栎、油松-黄栌群落和油松林群落。用全站仪将每个样地划分成 100 个 10 m×10 m 的子样方。调查并标定样方中所有胸径 (DBH) ≥1cm 的木本植物个体,记录物种名称、坐标和胸径,挂牌并涂漆标记。

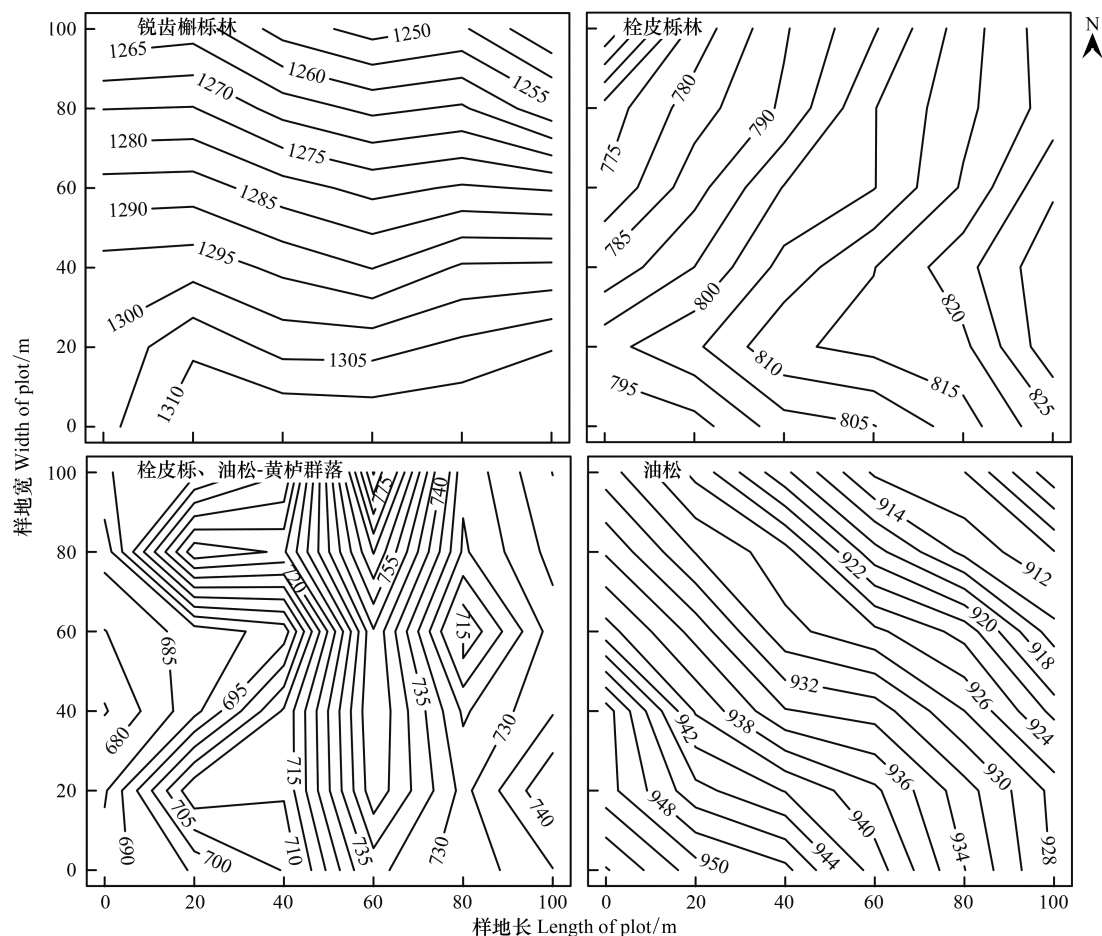


图 1 太行山 4 hm² 固定监测样地等高线地形图

Fig.1 The contour topography map of Taihangshan plot

2.2 数据分析

根据重要值(IV)对样地内优势种进行统计分析。重要值计算如下:重要值=(相对多度(%)+相对频率(%)+相对胸高截面积(%))/3^[40]。利用 R 软件的“specaccum”函数绘制了 4 个群落木本植物的种面积曲线。

采用 Kruskal-Wallis 方法测定了四个群落中木本植物多度和丰富度的差异。通过“betadisper”函数分析群落类型对木本植物β多样性的影响。通过 ANOVA 检验不同群落类型间β多样性差异。Betadisper 检验通过“Betadisper”函数在 R 语言软件中实现。

采用相关网络分析,对木本植物与群落类型之间的关系进行可视化。本研究用 H2' 专化度和连接度指数来评价植物-群落网络的结构^[41]。植物-群落网络可视化通过 R 语言中“bi”程序实现^[42]。

通过指示种分析,分析不同群落类型中木本植物的指示物种。指示种分析中的因变量为木本植物多度矩阵。指示种分析通过 R 语言“indicspecies”软件包实现^[43]。

3 结果

3.1 不同群落间物种组成特征

通过调查,四个群落共有 89 种木本植物。四个群落中,锐齿槲栎林群落物种多样性最高,共有 51 种木本植物,其中锐齿槲栎(*Quercus aliena* var. *acutiserrata*)为优势种(IV=35.85)。栓皮栎林群落有木本植物 31 种,其中栓皮栎为优势种(IV=63.39)。四个群落中,栓皮栎、油松-黄栌群落的物种多样性最低,共有 28 种木本植物,该群落没有明显的优势物种。栓皮栎、油松-黄栌群落中重要值大于 9 的物种有栓皮栎(IV=34.55)、油松(IV=11.50)、黄栌(IV=10.26)和锐齿槲栎(IV=9.16),它们的重要值总和高达 65.47%。油松林群落有木本植物 37 种,以油松(*Pinus tabuliformis*)占优势(IV=47.46)(表 1)。

表 1 四个群落主要优势物种
Table 1 Dominant species in four communities

物种 Species	多度 Abundance	平均胸径 Mean DBH	胸高断面积 Basal area at breast height/cm ²	重要值 Importance value
锐齿槲栎林群落 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acutiserrata</i> forest				
锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acutiserrata</i>	630.00	16.51	22.35	35.85
连翘 <i>Forsythia suspense</i>	724.00	3.51	0.86	13.26
枹栎 <i>Quercus glandulifera</i>	331.00	6.51	1.93	8.25
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	215.00	5.20	0.65	4.45
青楷槭 <i>Acer tegmentosum</i>	101.00	7.75	0.68	4.28
榆树 <i>Ulmus pumila</i>	103.00	9.30	1.03	3.36
栓皮栎林群落 <i>Quercus variabilis</i> forest				
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	1732.00	11.15	21.44	63.39
黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	81.00	10.84	0.86	7.55
板栗 <i>Castanea mollissima</i>	74.00	12.09	0.99	4.06
榧子栎 <i>Quercus baronii</i>	38.00	6.47	0.23	3.72
牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	12.00	2.54	0.02	2.66
五角枫 <i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	15.00	12.01	0.19	1.77
栓皮栎、油松-黄栌群落 <i>Quercus variabilis</i> - <i>Pinus tabuliformis</i> - <i>Cotinus coggygia</i> forest				
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	1283.00	9.31	11.07	34.55
油松 <i>Pinus tabuliformis</i>	358.00	10.45	3.65	11.50
黄栌 <i>Cotinus coggygia</i>	530.00	4.01	0.84	10.26
锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acutiserrata</i>	226.00	9.36	2.07	9.16
板栗 <i>Castanea mollissima</i>	171.00	8.44	1.29	5.94

续表

物种 Species	多度 Abundance	平均胸径 Mean DBH	胸高断面积 Basal area at breast height/cm ²	重要值 Importance value
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	41.00	18.16	1.24	4.24
油松林群落 <i>Pinus tabulaeformis</i> forest				
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	837.00	18.30	23.91	47.46
黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i>	232.00	2.14	0.13	6.70
牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	204.00	3.61	0.25	6.70
蒙古荚蒾 <i>Viburnum mongolicum</i>	182.00	2.78	0.15	4.83
荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i>	132.00	2.74	0.09	3.98
绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i>	159.00	1.76	0.04	3.92

重要值计算公式为:重要值=(相对多度(%)+相对频度(%)+相对胸高断面积(%))/3;DBH:胸径 Diameter at breast height

四个群落物种的空间散点图如图 2 所示,栓皮栎、油松-黄栌群落物种密度最大(2990 株);锐齿槲栎林群落物种密度次之(2692 株);栓皮栎林群落和油松林群落的物种密度分别为 2086 株和 2147 株。四个群落的种面积曲线结果显示,在取样面积较小时,物种数增长较快;当取样面积达到 2000 m²时,四个群落随取样面积的增加物种数上升速率都逐渐变缓(图 3)。

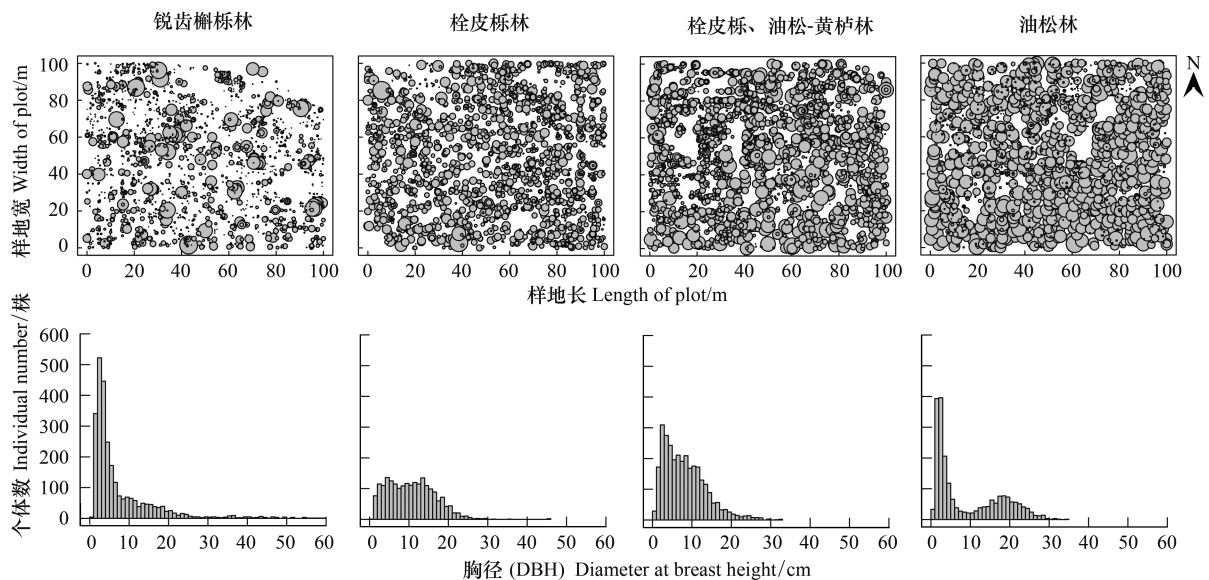


图 2 不同群落木本植物空间散点图和 DBH 图

Fig.2 Spatial scatter plots and DBH plots of woody plants in different communities

3.2 不同群落间结构差异

Kruskal-Wallis 检验结果显示,四个群落间物种多度和物种丰富度存在显著差异(图 4)。Betadisper 分析和方差分析结果表明,不同群落间物种分布存在显著差异($F=73.717$, $P=0.001$)。栓皮栎林群落与栓皮栎、油松-黄栌群落物种组成更为相似,锐齿槲栎林群落和油松林群落之间物种组成差异相对较大(图 5)。

3.3 不同群落间物种分布的专化特征

在锐齿槲栎林群落、栓皮栎林群落、栓皮栎、油松-黄栌群落和油松林群落中,分别有 25,9,6 和 10 种木本植物只出现在一种群落内。一共有 5 种物种同时出现在四个群落中。一共有 43.82% (39/89) 的物种出现在两个及两个以上的群落中(图 6)。在网络分析中,连接指数显示,物种与群落之间的潜在关联率为 41.29%;专化指数显示,60.89% 的物种对不同群落具有分布专化特征(图 7)。

指示种分析表明,四个群落的指示物种不同。锐齿槲栎林群落主要由杜鹃(*Rhododendron simsii*)、鹅耳枥、栲栎(*Quercus glandulifera*)等指示种组成;栓皮栎林群落主要由海州常山(*Clerodendrum trichotomum*)、黄连木、槲子栎(*Quercus baronii*)等指示种组成;栓皮栎、油松-黄栌群落主要由板栗(*Castanea mollissima*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)等指示种组成;油松林群落主要由大果刺篱木(*Flacourtia ramontchi*)、豆梨(*Pyrus calleryana*)、黄刺玫(*Rosa xanthina*)等指示种组成(表2)。

4 讨论

本研究选取的4个1 hm²固定样地,包括锐齿槲栎林群落、栓皮栎林群落、栓皮栎、油松-黄栌群落和油松林群落,涵盖了该区域主要的森林群落类型,较好的反应了该区域木本植物的群落结构和分布特征。样地中栓皮栎、槲子栎、山楂、柿和黄栌同时出现在四个群落中,这5种植物在该研究区域内具有较强的适应性及生存能力。在森林植被恢复和管理过程中,这5种树种应该被广泛推广和应用。样地中还发现了一些稀有种,稀有种对物种多样性的研究和保护具有重要的意义^[44-45]。样地中稀有种有31种,占总种数的34.83%,低于白云山样地稀有种占总种数的36.56%^[44],低于鼎湖山样地稀有种占总种数的52.38%^[46]。这可能与区系交

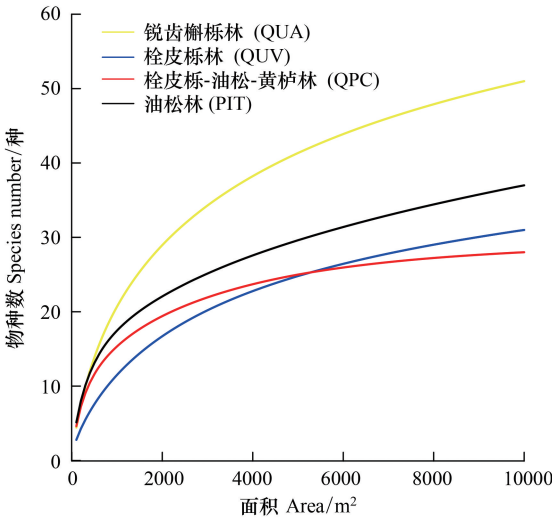


图3 四个群落的种面积曲线
Fig.3 Species area curves of four communities

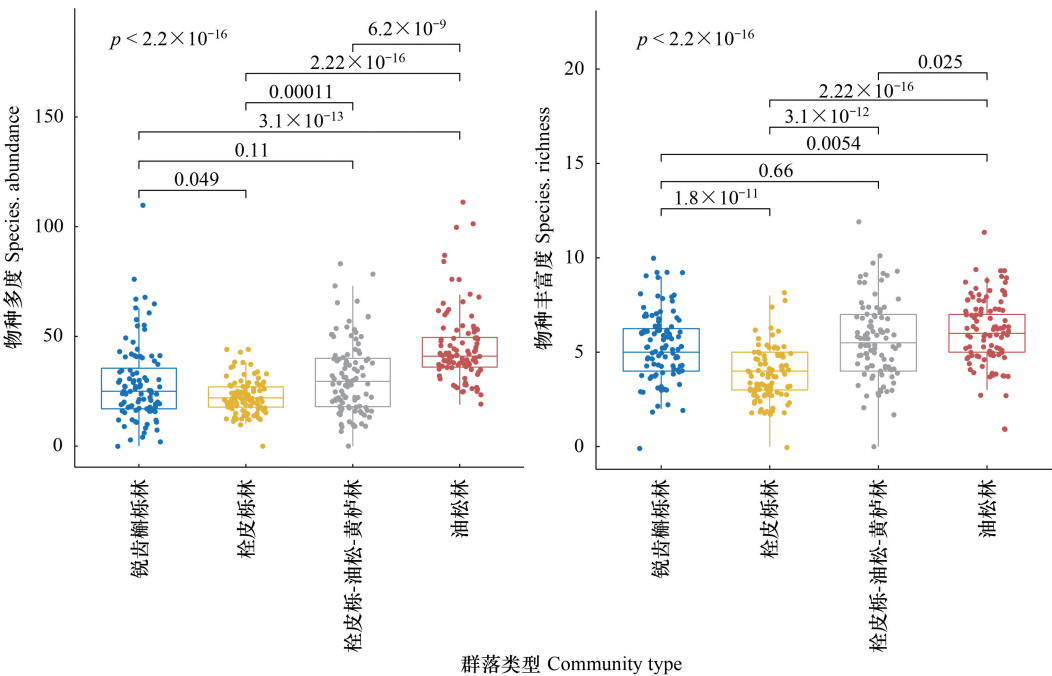


图4 基于Kruskal-Wallis方法检测群落间木本植物物种多度和丰富度差异

Fig.4 Differences in woody plant species abundance and richness among communities were detected based on kruskal-wallis method
 $P \leq 0.05$ 显著性水平

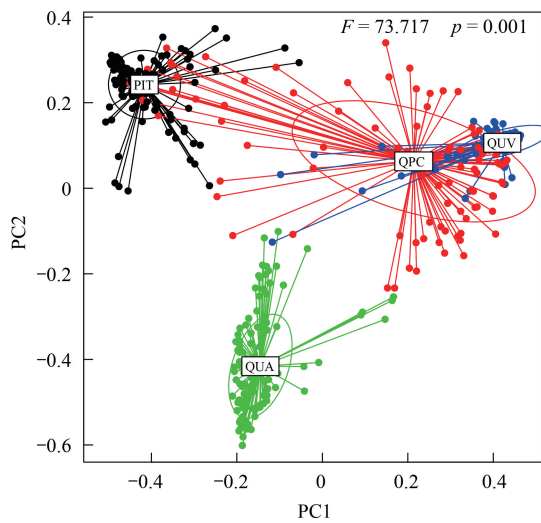


图5 群落类型对木本植物 β 多样性的影响。

Fig.5 Effect of community types on beta diversity of the woody plant by running the betadisper function

方差分析用来检验群落间物种差异; PC1 和 PC2 分别是“betadisper”分析中的第一排序轴和第二排序轴

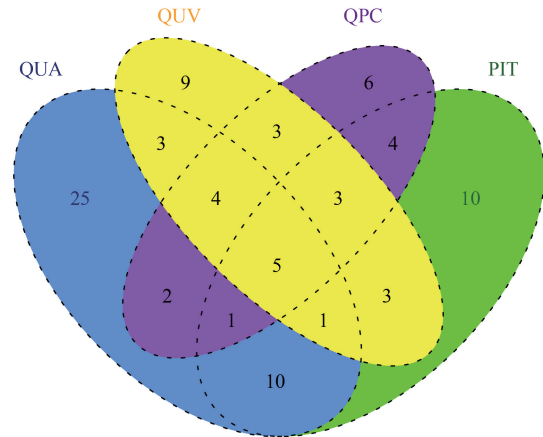


图6 四个群落物种组成差异。

Fig.6 Differences of the species composition in four communities

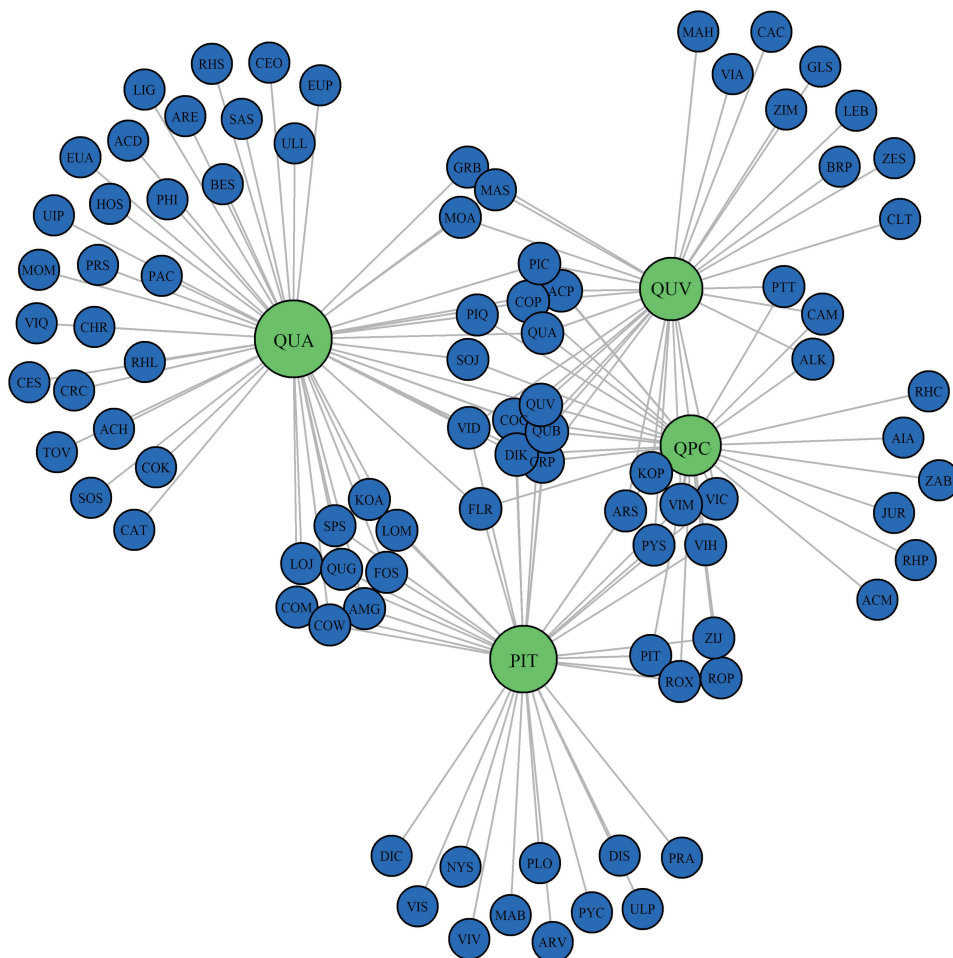


图7 四种木本植物群落的物种组成网络结构

Fig.7 Network analysis of species composition of woody plants among four communities

圆点的大小表示物种的丰富程度;图中字母为木本植物物种名称缩写,缩写所代表物种如附录1所示

表 2 四个木本植物群落指标种分析

Table 2 Indicator species analysis of woody plants in four community

物种 Species	群落 Community	P	物种 Species	群落 Community	P
杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	QUA	0.01	臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	QPC	0.01
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	QUA	0.01	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	QPC	0.01
栎 <i>Quercus glandulifera</i>	QUA	0.01	胡桃 <i>Juglans regia</i>	QPC	0.01
锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acutiserrata</i>	QUA	0.01	花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i>	QPC	0.04
连翘 <i>Forsythia suspense</i>	QUA	0.01	黄栌 <i>Cotinus coggygia</i>	QPC	0.01
领春木 <i>Euptelea pleiosperma</i>	QUA	0.01	苦树(黄楝树) <i>Picrasma quassioides</i>	QPC	0.01
蒙桑 <i>Morus mongolica</i>	QUA	0.03	栎木 <i>Cornus macrophylla</i>	QPC	0.01
青楷槭 <i>Acer tegmentosum</i>	QUA	0.01	五角枫 <i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	QPC	0.01
青榨槭 <i>Acer davidii</i>	QUA	0.03	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	QPC	0.02
山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	QUA	0.05	大果刺篱木(棠梨) <i>Flacourtia ramontchi</i>	PIT	0.01
山梅花 <i>Philadelphus incanus</i>	QUA	0.01	豆梨(糖梨) <i>Pyrus calleryana</i>	PIT	0.02
山楂 <i>Crataegus pinnatifida</i>	QUA	0.01	黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i>	PIT	0.01
卫矛 <i>Euonymus alatus</i>	QUA	0.01	荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i>	PIT	0.01
乌柏 <i>Sapium sebiferum</i>	QUA	0.05	荆条 <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>	PIT	0.03
野山楂 <i>Crataegus cuneata</i>	QUA	0.01	蒙古荚蒾 <i>Viburnum mongolicum</i>	PIT	0.01
榆树 <i>Ulmus pumila</i>	QUA	0.01	牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	PIT	0.01
珍珠梅 <i>Sorbaria sorbifolia</i>	QUA	0.01	蜡实 <i>Kolkwitzia amabilis</i>	PIT	0.05
海州常山 <i>Clerodendrum trichotomum</i>	QUV	0.04	蛇葡萄 <i>Ampelopsis glandulosa</i>	PIT	0.02
黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	QUV	0.01	柿 <i>Diospyros kaki</i>	PIT	0.01
槲子栎 <i>Quercus baronii</i>	QUV	0.02	杏 <i>Armeniaca vulgaris</i>	PIT	0.01
栎 <i>Koelreuteria paniculata</i>	QUV	0.01	绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i>	PIT	0.01
栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	QUV	0.01	野柿 <i>Diospyros kaki</i> var. <i>silvestris</i>	PIT	0.01
板栗 <i>Castanea mollissima</i>	QPC	0.01	油松 <i>Pinus tabuliformis</i>	PIT	0.01

$P \leq 0.05$ 显著性水平;QUA: 锐齿槲栎林群落 were the *Quercus aliena* var. *acutiserrata* forest;QUV: 栓皮栎林群落 *Quercus variabilis* forest;QPC: 栓皮栎 *Quercus variabilis*-*Pinus tabuliformis*-*Cotinus coggygia* forest ;PIT 油松-黄栌群落和油松林群落 *Pinus tabuliformis* forest

汇、人为干扰或自然干扰有关。从径级结构来看,四个群落中幼苗数量丰富,群落更新状况良好。从物种多样性来看,本研究中四个 1 hm²样地,含木本植物 89 种,而北京东灵山 20 hm²样地有木本植物 58 种^[47],浙江百祖山 5 hm²样地有木本植物 123 种^[48],说明本研究区域物种多样性较高,反映出了太行山区域植物群落暖温带山地森林的群落特征。

群落中的优势物种一定程度上决定了其所在群落的内部环境^[1]。不同的优势物种其叶面积、树冠、根系等都存在很大差异,从而造成不同优势种群落内部不同的生境^[1,6]。因而在同一个区域的群落内亚优势种、伴生种及偶见种物种组成和个体数量既存在一定的差异,也存在一定的相似性。本研究中,Kruskal-Wallis 和 Betadisper 分析的结果表明,四个群落间的木本植物多度、丰富度以及物种组成存在显著差异,这就表明四种群落的群落结构存在一定差异。

本研究中,尽管四个群落的群落结构和内部环境存在着一定差异,但是仍有 43.82%的物种出现在两个及两个以上的群落中。木本植物的分布在四种群落间存在着一定的相似性。这些物种在不同群落中的分布是随机分布还是生态专化呢?网络分析结果显示,木本植物对不同群落类型的专化指数为 0.609,远高于之前报道的植物-真菌网络(0.265)^[49]、植物-种子扩散网络(0.354)^[50]和植物-传粉网络(0.533)^[51]。这表明木本植物在不同群落内的分布呈现较大的分布专化特征。

植物群落的特征网络结构可能由物种与环境的生物学关系和种间关系决定。在生物因素方面,四个群落间的木本植物多度、丰富度以及物种组成差异显著。在非生物因素方面,不同的植物群落可以重塑土壤理化性质、湿度、凋落物组成和光照有效性^[5,1]。因此,群落内的环境条件在不同类型的植物群落之间存在显著差

异。这种现象可能是木本植物对不同群落类型表现出生态偏好的重要原因。然而,由于缺乏土壤数据、光照数据等,群落类型在决定物种分布偏好中的作用尚未直接量化。

有关木本植物空间分布和驱动因素的研究很多,如地形^[10-12]、土壤^[15-16]和光照^[13-14]等非生物因素,以及竞争^[17-18]、演替^[19-20]等生物因素对木本植物分布的影响。本研究发现,不同群落中木本植物组成特征不同,不同的木本植物与不同的群落类型相关联(表2)。由于不同优势种属性的因素,不同的优势种群落在林下光照资源、土壤结构等方面存在较大差异,从而造就不同的群落微生境^[1,15]。这一结果表明不同的木本植物可能具有不同的群落分布偏好。

总之,通过本研究了解了太行山保护区不同群落的物种组成和群落结构特征,研究结果同时表明,木本植物在不同群落中的分布具有较高的专化特征。因此,在今后物种多样性保护过程中,应充分考虑群落多样性的保护,不同的木本植物群落可为不同的植物生长提供多样化的微生境。然而本研究中没有考虑地形、土壤、光照等环境因素对物种分布的影响,在今后研究中,将进一步区分生物因素与非生物因素对不同群落的影响。

参考文献(References):

- [1] Jia H R, Chen Y, Wang X Y, Li P K, Yuan Z L, Ye Y Z. The relationships among topographically-driven habitats, dominant species and vertical layers in temperate forest in China. *Russian Journal of Ecology*, 2019, 50(2): 172-186.
- [2] Yuan Z Q, Gazol A, Wang X G, Xing D L, Lin F, Bai X J, Zhao Y Q, Li B H, Hao Z Q. What happens below the canopy? Direct and indirect influences of the dominant species on forest vertical layers. *Oikos*, 2012, 121(7): 1145-1153.
- [3] Smith M D, Knapp A K. Dominant species maintain ecosystem function with non-random species loss. *Ecology Letters*, 2003, 6(6): 509-517.
- [4] Hao Z Q, Zhang J, Song B, Ye J, Li B H. Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old-growth temperate forest. *Forest Ecology and Management*, 2007, 252(1/3): 1-11.
- [5] Niu F R, Duan D P, Chen J, Xiong P F, Zhang H, Wang Z, Xu B C. Eco-physiological responses of dominant species to watering in a natural grassland community on the semi-arid Loess Plateau of China. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7: 663.
- [6] Jiao L, Jiang Y, Zhang W T, Wang M C, Wang S J, Liu X R. Assessing the stability of radial growth responses to climate change by two dominant conifer trees species in the Tianshan Mountains, Northwest China. *Forest Ecology and Management*, 2019, 433: 667-677.
- [7] Crawford K M, Rudgers J A. Plant species diversity and genetic diversity within a dominant species interactively affect plant community biomass. *Journal of Ecology*, 2012, 100(6): 1512-1521.
- [8] Bevill R L, Louda S M. Comparisons of related rare and common species in the study of plant rarity. *Conservation Biology*, 1999, 13(3): 493-498.
- [9] Barlow J, Gardner T A, Louzada J, Peres C A. Measuring the conservation value of tropical primary forests: the effect of occasional species on estimates of biodiversity uniqueness. *PLoS One*, 2010, 5(3): e9609.
- [10] Lan G Y, Hu Y H, Cao M, Zhu H. Topography related spatial distribution of dominant tree species in a tropical seasonal rain forest in China. *Forest Ecology and Management*, 2011, 262(8): 1507-1513.
- [11] Wangda P, Ohsawa M. Structure and regeneration dynamics of dominant tree species along altitudinal gradient in a dry valley slopes of the Bhutan Himalaya. *Forest Ecology and Management*, 2006, 230(1/3): 136-150.
- [12] Svenning J C. Microhabitat specialization in a species-rich palm community in Amazonian Ecuador. *Journal of Ecology*, 1999, 87(1): 55-65.
- [13] Han B C, Umaña M N, Mi X C, Liu X J, Chen L, Wang Y Q, Liang Y, Wei W, Ma K P. The role of transcriptomes linked with responses to light environment on seedling mortality in a subtropical forest, China. *Journal of Ecology*, 2017, 105(3): 592-601.
- [14] Gallé Á, Czékus Z, Bela K, Horváth E, Ördög A, Csiszár J, Poór P. Plant glutathione transferases and light. *Frontiers in Plant Science*, 2019, 9: 1944.
- [15] Gao C, Shi N N, Chen L, Ji N N, Wu B W, Wang Y L, Xu Y, Zheng Y, Mi X C, Ma K P, Guo L D. Relationships between soil fungal and woody plant assemblages differ between ridge and valley habitats in a subtropical mountain forest. *New Phytologist*, 2017, 213(4): 1874-1885.
- [16] Song P, Ren H B, Jia Q, Guo J X, Zhang N L, Ma K P. Effects of historical logging on soil microbial communities in a subtropical forest in Southern China. *Plant and Soil*, 2015, 397(1/2): 115-126.
- [17] Zhu Y, Comita L S, Hubbell S P, Ma K P. Conspecific and phylogenetic density-dependent survival differs across life stages in a tropical forest. *Journal of Ecology*, 2015, 103(4): 957-966.
- [18] Zhu Y, Queenborough S A, Condit R, Hubbell S P, Ma K P, Comita L S. Density-dependent survival varies with species life-history strategy in a tropical forest. *Ecology Letters*, 2018, 21(4): 506-515.

- [19] Mi X C, Swenson N G, Jia Q, Rao M D, Feng G, Ren H B, Bebbler D P, Ma K P. Stochastic assembly in a subtropical forest chronosequence: evidence from contrasting changes of species, phylogenetic and functional dissimilarity over succession. *Scientific Reports*, 2016, 6: 32596.
- [20] Sun C L, Chai Z Z, Liu G B, Xue S. Changes in species diversity patterns and spatial heterogeneity during the secondary succession of grassland vegetation on the Loess Plateau, China. *Frontiers in Plant Science*, 2017, 8: 1465.
- [21] 祝燕, 赵谷风, 张俪文, 沈国春, 米湘成, 任海保, 于明坚, 陈建华, 陈声文, 方腾, 马克平. 古田山中亚热带常绿阔叶林动态监测样地——群落组成与结构. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 262-273.
- [22] Harms K E, Condit R, Hubbell S P, Foster R B. Habitat associations of trees and shrubs in a 50-ha neotropical forest plot. *Journal of Ecology*, 2001, 89(6): 947-959.
- [23] Comita L S, Condit R, Hubbell S P. Developmental changes in habitat associations of tropical trees. *Journal of Ecology*, 2007, 95(3): 482-492.
- [24] Lai J S, Mi X C, Ren H B, Ma K P. Species-habitat associations change in a subtropical forest of China. *Journal of Vegetation Science*, 2009, 20(3): 415-423.
- [25] 万猛, 田大伦, 樊巍. 太行山南麓栓皮栎群落结构特征分析. *河南农业大学学报*, 2009, 43(2): 139-144, 150-150.
- [26] 侯卫锋, 党明浩, 翟立海, 李文修, 李丽. 太行山猕猴自然保护区植物资源调查. *现代农业科技*, 2017, (23): 120-121, 125-125.
- [27] 张月琴, 赵云荣. 焦作太行山药用蕨类植物资源及开发利用初探. *湖北农业科学*, 2011, 50(4): 780-782.
- [28] 郭相保, 王振龙, 陈菊荣, 田军东, 王白石, 路纪琪. 河南太行山自然保护区猕猴冬春季食性分析. *生态学杂志*, 2011, 30(3): 483-488.
- [29] 李剑侠, 刘旭升, 李妍霞, 王原, 李朋兴. 太行山地区原生红豆杉扦插繁育技术研究. *河南林业科技*, 2017, 37(4): 23-25.
- [30] 刘莹, 张安世, 郭瑞霞. 太行山猕猴自然保护区野生草本有毒植物资源调查研究. *北方园艺*, 2010, (11): 83-86.
- [31] 侯娜, 李昕, 赵勇, 田向宇, 樊巍, 王谦, 杨喜田. 太行山低山丘陵区典型植物群落土壤种子库研究. *河南农业大学学报*, 2011, 45(5): 534-541.
- [32] 郭振锋, 董利萍, 陈莉, 申洁梅. 河南省太行山区四照花的区系分布及保护. *绿色科技*, 2019, (5): 93-94.
- [33] 许桂芳, 孟丽, 巩银瑞. 河南太行山区野生蔷薇科中草药资源及其评价. *中国林副特产*, 2006, (2): 57-59.
- [34] 姚连芳, 刘会超, 杜晓华. 济源太行山区濒危植物矮牡丹生存状况调查研究. *北方园艺*, 2010, (1): 139-141.
- [35] 姚连芳, 赵一鹏. 矮牡丹濒危机制分析与保护对策. *中国农学通报*, 2005, 21(5): 156-158.
- [36] 职法清, 刘君臣, 姜春霞. 太行山野生珍稀濒危动植物研究与对策. *河南林业科技*, 2008, 28(3): 66-67.
- [37] 马晓勇, 李鑫. 灵空山油松林内凋落物与油松幼苗空间分布相关关系研究. *山西师范大学学报: 自然科学版*, 2019, 33(3): 79-85.
- [38] Condit R. Research in large, long-term tropical forest plots. *Trends in Ecology & Evolution*, 1995, 10(1): 18-22.
- [39] Condit R. *Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison with Other Plots*. Berlin: Springer, 1998.
- [40] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 陈灵芝. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数. *生态学报*, 1995, 15(3): 268-277.
- [41] Blüthgen N, Menzel F, Hovestadt T, Fiala B, Blüthgen N. Specialization, constraints, and conflicting interests in mutualistic networks. *Current Biology*, 2007, 17(4): 341-346.
- [42] Dormann C F, Fründ J, Blüthgen N, Gruber B. Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. *The Open Ecology Journal*, 2009, 2(1): 7-24.
- [43] De Cáceres M. How to Use the Indicspecies Package (Ver. 1.7.1). Solsona: Centre Tecnològic Forestal de Catalunya, 2013.
- [44] 陈云, 郭凌, 姚成亮, 韦博良, 袁志良, 叶永忠. 暖温带-北亚热带过渡区落叶阔叶林群落特征. *生态学报*, 2017, 37(17): 5602-5611.
- [45] 丁晖, 方炎明, 杨青, 陈晓, 袁发银, 徐辉, 何立恒, 严靖, 陈婷婷, 余朝健, 徐海根. 武夷山中亚热带常绿阔叶林样地的群落特征. *生物多样性*, 2015, 23(4): 479-492.
- [46] 叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 练琚愉, 王志高, 李林, 魏识广, 王章明. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林 20 公顷样地群落特征研究. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 274-286.
- [47] 刘海丰, 桑卫国, 薛达元. 暖温带森林优势种群的地形生境变异性. *生态学杂志*, 2013, 32(4): 795-801.
- [48] 宋永昌, 阎恩荣, 宋坤. 中国常绿阔叶林 8 大动态监测样地植被的综合比较. *生物多样性*, 2015, 23(2): 139-148.
- [49] Toju H, Guimarães P R, Olesen J M, Thompson J N. Assembly of complex plant-fungus networks. *Nature Communications*, 2014, 5: 5273.
- [50] Dicks L V, Corbet S A, Pywell R F. Compartmentalization in plant-insect flower visitor webs. *Journal of Animal Ecology*, 2002, 71(1): 32-43.
- [51] Bartomeus I, Vilà M, Santamaría L. Contrasting effects of invasive plants in plant-pollinator networks. *Oecologia*, 2008, 155(4): 761-770.

附表 1 木本植物名称及缩写

Appendix table 1 Woody Plant Names and abbreviations

物种 Species	缩写 Abbreviation	物种 Species	缩写 Abbreviation
青榨槭 <i>Acer davidii</i>	ACD	海棠花 <i>Malus spectabilis</i>	MAS
青楷槭 <i>Acer tegmentosum</i>	ACH	桑 <i>Morus alba</i>	MOA
槭树 <i>Acer miyabei</i>	ACM	蒙桑 <i>Morus mongolica</i>	MOM
五角枫 <i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	ACP	蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i>	NYS
臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	AIA	鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	PAC
山槐 (山合欢) <i>Albizia kalkora</i>	ALK	山梅花 <i>Philadelphus incanus</i>	PHI
蛇葡萄 <i>Ampelopsis glandulosa</i>	AMG	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	PIC
楸木 <i>Aralia elata</i>	ARE	苦树 <i>Picrasma quassioides</i>	PIQ
山杏 <i>Armeniaca sibirica</i>	ARS	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	PIT
杏 <i>Armeniaca vulgaris</i>	ARV	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	PLO
勾儿茶 <i>Berchemia sinica</i>	BES	野杏 <i>Prunus armeniaca</i> var. <i>ansu</i>	PRA
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	BRP	李 <i>Prunus salicina</i>	PRS
山核桃 <i>Carya cathayensis</i>	CAC	青檀 <i>Pteroceltis tatarinowii</i>	PTT
板栗 <i>Castanea mollissima</i>	CAM	豆梨 <i>Pyrus calleryana</i>	PYC
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	CAT	沙梨 <i>Pyrus serotina</i>	PYS
南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i>	CEO	锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acutiserrata</i>	QUA
朴树 <i>Celtis sinensis</i>	CES	槲子栎 <i>Quercus baronii</i>	QUB
流苏树 <i>Chionanthus retusus</i>	CHR	枹栎 <i>Quercus glandulifera</i>	QUG
海州常山 <i>Clerodendrum trichotomum</i>	CLT	栓皮栎 <i>Quercus variabilis</i>	QUV
黄栌 <i>Cotinus coggygia</i>	COC	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	RHC
四照花 <i>Cornus kousa</i> subsp. <i>Chinensis</i>	COK	薄叶鼠李 <i>Rhamnus leptophylla</i>	RHL
栒子 <i>Cotoneaster hissaricus</i>	COM	小叶鼠李 <i>Rhamnus parvifolia</i>	RHP
株木 <i>Cornus poliohylla</i>	COP	杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	RHS
毛茛 <i>Cornus walteri</i>	COW	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	ROP
野山楂 <i>Crataegus cuneata</i>	CRC	黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i>	ROX
山楂 <i>Crataegus pinnatifida</i>	CRP	乌柏 <i>Sapium sebiferum</i>	SAS
乌桕 <i>Diospyros cathayensis</i>	DIC	槐 <i>Sophora japonica</i>	SOJ
柿 <i>Diospyros kaki</i>	DIK	珍珠梅 <i>Sorbaria sorbifolia</i>	SOS
野柿 <i>Diospyros kaki</i> var. <i>silvestris</i>	DIS	绣线菊 <i>Spiraea salicifolia</i>	SPS
卫矛 <i>Euonymus alatus</i>	EUA	漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	TOV
领春木 <i>Euptelea pleiosperma</i>	EUP	榆树 <i>Ulmus pumila</i>	UIP
大果刺篱木 <i>Flacourtia ramontchi</i>	FLR	脱皮榆 <i>Ulmus lamellosa</i>	ULL
连翘 <i>Forsythia suspense</i>	FOS	山葡萄 <i>Vitis amurensis</i>	VIA
皂荚 <i>Gleditsia sinensis</i>	GLS	牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	VIC
扁担杆 <i>Grewia biloba</i>	GRB	荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i>	VID
冬红 <i>Holmskioldia sanguinea</i>	HOS	荆条 <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>	VIH
胡桃 <i>Juglans regia</i>	JUR	蒙古荚蒾 <i>Viburnum mongolicum</i>	VIM
蝟实 <i>Kolkwitzia amabilis</i>	KOA	山牡荆 <i>Vitex quinata</i>	VIQ
栎树 <i>Koeleruteria paniculata</i>	KOP	槲寄生 <i>Viscum coloratum</i>	VIS
胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	LEB	葡萄 <i>Vitis vinifera</i>	VIV
山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	LIG	花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i>	ZAB
忍冬 <i>Lonicera japonica</i>	LOJ	榉树 <i>Zelkova serrata</i>	ZES
金银忍冬 <i>Lonicera maackii</i>	LOM	榉树 <i>Zelkova serrata</i>	ZES
山荆子 <i>Malus baccata</i>	MAB	山枣 <i>Ziziphus montana</i>	ZIM
湖北海棠 <i>Malus hupehensis</i>	MAH		