

DOI: 10.5846/stxb201710271926

王丽,常锦利,周守标,王晓英,张佳期,闫少凯,张金铭,陈鑫,赵昕,王智.鹞落坪国家级自然保护区落叶阔叶林研究 I.乔木物种多样性与种间联结.生态学报,2019,39(1): - .

Wang L, Chang J L, Zhou S B, Wang X Y, Zhang J Q, Yan S K, Zhang J M, Chen X, Zhao X, Wang Z. Deciduous broad-leaved forests in the Yaoluoping Nation Nature Reserve I. Species diversity and interspecific association of trees. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(1): - .

鹞落坪国家级自然保护区落叶阔叶林研究 I.乔木物种多样性与种间联结

王 丽¹, 常锦利¹, 周守标^{1,2,*}, 王晓英³, 张佳期¹, 闫少凯¹, 张金铭¹, 陈 鑫¹, 赵 昕³, 王 智⁴

1 安徽师范大学环境科学与工程学院, 芜湖 241003

2 安徽省水土污染治理与修复工程实验室, 芜湖 241003

3 安徽师范大学生命科学学院, 芜湖 241000

4 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042

摘要:参照 CTES 技术标准在鹞落坪国家级自然保护区(以下简称鹞落坪自然保护区)建立 11.56 hm²动态监测样地,以鹞落坪自然保护区落叶阔叶林乔木树种为研究对象,探讨其区系组成、种群结构、物种多样性以及优势种种间联结性。结果表明:(1)样地内胸径 ≥ 1 cm 的乔木共有 24910 株,分属于 35 科、57 属、103 种;优势科为蔷薇科、槭树科、冬青科、樟科、杜鹃花科、虎耳草科、桦木科、壳斗科;(2)样地内乔木树种分布相对均匀,主要优势树种为茅栗、鹅耳枥、白檀和四照花;乔木树种在各个高度均有分布,但主要集中在 2—8 m 之间;(3) χ^2 检验结果显示,样地内 15 个优势种 105 个树种对中仅有 32 个树种对之间存在显著的相关性,说明群落种间关联较弱。从联结系数(AC)来看,105 个树种对中呈现显著正关联的树种对占 42.9%,显著负关联的树种对占 24.8%,但关联强度大部分集中在相对较低的水平,表明该地区群落结构整体仍处于发育阶段。

关键词:鹞落坪国家级自然保护区;落叶阔叶林;植物区系;种群结构;物种多样性;种间联结性

Deciduous broad-leaved forests in the Yaoluoping Nation Nature Reserve I. Species diversity and interspecific association of trees

WANG Li¹, CHANG Jinli¹, ZHOU Shoubiao^{1,2,*}, WANG Xiaoying³, ZHANG Jiaqi¹, YAN Shaokai¹, ZHANG Jinming¹, CHEN Xin¹, ZHAO Xin³, WANG Zhi⁴

1 College of Environmental Science and Engineering, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China

2 Anhui Provincial Engineering Laboratory of Water and Soil Pollution Control and Remediation, Wuhu 241003, China

3 College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China

4 Nanjing Institute of Environmental Science and Engineering, Nanjing 210042, China

Abstract: To study the mechanisms of succession and species coexistence in this forest type, a 11.56 hm² forest plot in the Yaoluoping Nation Nature Reserve was established according to the CTES technical standards. In this plot, all free-standing trees with DBH (diameter at breast height) ≥ 1 cm were mapped, tagged, and identified. Preliminary results on floristic characteristics, community composition, species diversity and interspecific associations were determined and discussed in this study. The results showed that: (1) There were 24910 individuals, which belonged to 103 species, 57 genera, and 35

基金项目:中央级科学事业单位修缮购置专项(831440)

收稿日期:2017-10-27; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhoushoubiao@vip.163.com

families. The eight most dominant families were Rosales, Aceraceae, Aquifoliaceae, Lauraceae, Ericaceae, Betulaceae, Saxifragaceae, and Fagaceae. (2) In the sample plot, the species diversity was distributed evenly. The four most dominant species were *Castanea seguinii*, *Carpinus turczaninowii*, *Symplocos paniculata*, and *Dendrobenthamia* var. *chinensis*. The trees were distributed at all heights, but mainly between 2 m and 8 m. (3) The χ^2 test showed there was a significant correlation among 32 species pairs of 105 species pairs. The analysis of the AC results revealed that among the 105 species pairs of the 15 dominant populations, 49.2% had significant positive correlations and 24.8% had significant negative correlations, and the association intensity was concentrated at relatively low levels, which indicated that the community structure was still in the growth stage.

Key Words: Yaoluoping National Nature Reserve; deciduous broad-leaved forest; flora; population structure; species diversity; Interspecific connectivity

物种多样性是生物多样性最直观的反映,它直接或者间接的反映了生物群落的相关特征,如物种组成结构、发展阶段、稳定程度、演替水平、生境状况等^[1-2]。研究物种多样性可以更好地认识群落的组成结构、变化情况与未来发展状况,为保护群落与利用群落提供科学依据^[3]。种间联结性是空间格局的一个重要方面,研究种间联结性可以很好的了解物种的特征,物种在群落中的分布情况,物种间的相互关系以及物种与环境的关系^[4-6]。近几十年来,许多国内外学者以动态监测样地为平台对群落动态、物种多样性与空间分布格局开展大量研究^[7-11],建设动态监测样地为深入了解物种组成与群落结构、物种共存机制与生物多样性的维持机制提供了详实的数据。

鹞落坪自然保护区被认为存在有代表性的山地落叶阔叶林生态系统。研究表明^[12],保护区内天然植被保存完好,生物多样性丰富。在其海拔较高的地区(约 1000 m 以上地区)发育着天然山地落叶阔叶林,之前虽有学者对该地区群落物种多样性进行研究^[13-14],但其空间和时间尺度较小,缺少大型的、规范的综合性观测和研究平台。本研究依照 CTFS(Centre for Tropical Forest Science)技术标准在鹞落坪自然保护区建成首个规范化的、永久性的野外动态监测样地,总面积为 11.56 hm²。通过每木调查,就物种组成、群落结构、物种多样性及优势物种的种间联结性进行了分析和总结,以期为亚热带山地落叶阔叶林群落的植物资源保护利用和森林生态系统服务价值研究提供参考;通过动态样地研究与监测为大别山地区天然落叶阔叶水源涵养林的保护和山地落叶阔叶林造林与恢复、为安徽水资源环境保护与供给提供科学依据。

1 研究区概况

鹞落坪自然保护区位于大别山东南、安徽省岳西县境内(30°57'—31°06'N, 116°02'—116°11'E;图 1),北与安徽省霍山县接壤,西与湖北省英山县毗邻,总面积 123 km²。该区位于大别山腹地,地跨长江、淮水分水岭,具有“南北过渡、襟东带西”的区域地理特征^[12],气候上属于北亚热带季风气候区与暖温带大陆气候区交界处。北亚热带常绿落叶阔叶林带是指以秦岭分水岭和淮河主流为北界与暖温带落叶阔叶林区域相毗连的地带^[15-16]。鹞落坪自然保护区森林植被类型丰富,在植物区划上属于北亚热带常绿落叶阔叶林交错带的一部分^[12-13],基部森林植被类型为北亚热带常绿阔叶林,沿海拔梯度向上植被类型呈现向暖温带落叶阔叶林变化的趋势^[17],在其海拔 1000 m 以上的区域保存有典型的山地落叶阔叶林,是天然条件下研究山地落叶阔叶林组成、结构与功能特征变化规律的理想区域。

2 研究方法

2.1 样地建设与调查方法

在鹞落坪自然保护区典型山地落叶阔叶林群落内,通过美国宇航局陆地资源卫星(Landsat Data Continuity Mission, Landsat 8)遥感影像数据,结合野外踏查结果,遵照动态监测样地选址原则,选取具有代表

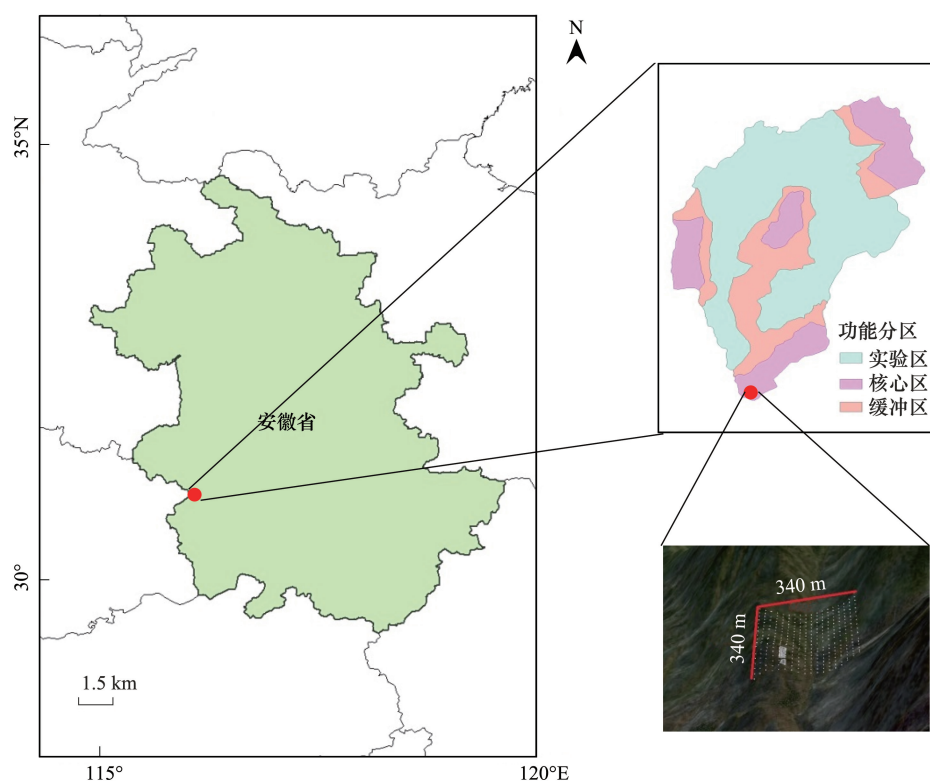


图1 研究区域示意图

Fig.1 The diagram of the study area

性、生态敏感性、调查便捷性的区域,参照 CTFS 技术标准在选定位置修建 11.56 hm^2 动态监测样地^[18-19]。目前已建成动态监测样地 ($30^\circ 57' 46.11''$ — $30^\circ 57' 47.81''\text{N}$, $116^\circ 04' 41.33''$ — $116^\circ 04' 41.08''\text{E}$; 图 2) 位于鹞落坪自然保护区核心区仰天窝。核心监测区为投影 $340 \text{ m} \times 340 \text{ m}$ 正方形,采用全站仪结合实时动态监控系统 (Real-Time Kinematic, RTK) 划分为 289 个 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的大样方,以样地东北角为原点,东西向为横轴(x),南北向为纵轴(y),对植物群落进行全面调查。动态监测样地包括山脉南北坡、山脊、峡谷、河流等具有代表性自然景观。所建成的动态监测样地首次为鹞落坪自然保护区山地落叶阔叶林群落长期有效监测提供了大型的、综合性的系统研究平台。

2016 年 7—8 月,通过样方调查方法对鹞落坪自然

保护区落叶阔叶林监测样地乔木树种进行调查:监测样地内胸径 (DBH) $\geq 1 \text{ cm}$ 的乔木个体挂金属牌标识编号,并记录其种类、相对位置、胸径、树高、枝下高等。相对位置以坐标值表示,距离 (m) 即坐标值。对于监测样地内乔木植物调查,首先通过监测样桩用皮尺围成一个 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的样方,然后对样方内所有 DBH $\geq 1 \text{ cm}$ 的乔木用标牌标记唯一标示编号。根据编号调查植物个体的名称、高度、胸径、冠幅等属性数据,之后通过四角样桩位置确定植物个体的相对位置,最后拍摄植物照片并采集标本。

2.2 植物区系分析

本研究植物物种鉴定采用恩格勒植物分类系统 (A.Engler System),通过查阅《安徽植物志》^[20] 以及《中国

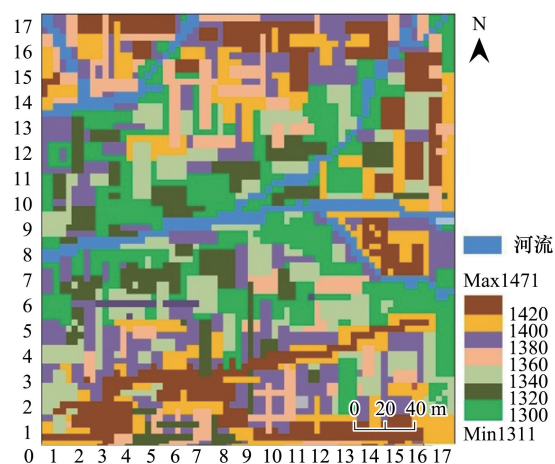


图2 鹞落坪动态监测样地地形图

Fig.2 The topographic map of the dynamics plot

植物志》在线数据库(<http://frps.eflora.cn/>)对样地内乔木进行分类、鉴定及生态类型划分。植物区系成分分析以吴征镒《中国种子植物属的分布区类型》和《世界种子植物科的分布区类型系统》为依据^[21-22],统计样地内乔木科、属的分布区类型。

2.3 物种多样性指数分析

本研究物种多样性的表征主要采用重要值(IV)、物种丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 多样性指数(DS)、Pielou 均匀度指数(JP)等指标。

(1) 重要值(IV)^[23]

重要值(IV) = (相对频度+相对优势度+相对多度)/3

其中,相对频度(RF) = (某个种在统计样方中出现的次数/所有种出现的总次数)×100%;

相对优势度(RD) = (某个种的胸高断面积/所有种的胸高断面积之和)×100%;

相对多度(RA) = (某个种的株数/所有种的总株数)×100%。

(2) 多样性指数^[24-27]

物种丰富度(S) = 样地内出现的物种数

Simpson 多样性指数(DS):

$$DS = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Shannon-Wiener 指数(H):

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$

Pielou 均匀度指数(JP):

$$JP = H/\ln S$$

式中, p_i 为第*i*种的重要值;*S*为样地内出现的物种数。

2.4 种间联结性

本研究选取样地中优势度相对较大(重要值前15位)的物种进行种间联结及相关性分析,以 χ^2 检验为基础,结合联结系数AC共同测定物种间的关联程度。

基于2×2列联表(表1) χ^2 统计量来检测物种间的联结性,当2×2列联表中任一小格期望值小于1或多于两小格的期望值小于5时, χ^2 值被认为是具有偏差的,这种偏差应用Yates的连续校正系数计算:

$$\chi^2 = \frac{n \left(|ad - bc| - \frac{n}{2} \right)^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

式中,*n*为小样方总数, χ^2 近似遵从自由度为1的 χ^2 分布,当 $\chi^2 < 3.841$ 时,种间联结独立;当 $3.841 \leq \chi^2 < 6.635$ 时,种间有一定的生态联结;当 $\chi^2 \geq 6.635$,种间有显著的生态联结。

为进一步测定种间关联程度,采用联结系数AC。其计算公式为:

$$AC = \frac{(ad - bc)}{(a+b)(b+d)} (ad > bc)$$

$$AC = \frac{(ad - bc)}{(a+d)(a+c)} (ad > bc) d \geq a$$

$$AC = \frac{(ad - bc)}{(d+b)(d+c)} (ad < bc) d < a$$

判定正、负联结的方法是若 $ad > bc$,种间具有正关联;若 $ad < bc$,种间具有负关联。为进一步测定种间关

联强度,采用种间联结系数 AC,AC 的值域为 $[-1,1]$,种对的正关联性越强,AC 值越趋近 1;种对负关联性越强,AC 值越趋近- 1;AC 值为 0,种间完全独立。

表 1 种间联结性测定 2×2 联列表
Table 1 The 2×2 contingency tables of interspecific association determination

物种 A Species A	物种 B Species B		合计
	出现 Appear	不出现 Disappear	
出现 Appear	a	b	a+b
不出现 Disappear	c	d	c+d
合计 Total	a+c	b+c	n=a+b+c+d

3 结果与分析

3.1 乔木植物区系组成

对样地内 DBH≥1 cm 的乔木进行逐株调查,结果显示样地内 DBH≥1 cm 乔木个体数 24910 株,其中包含 35 科 57 属 103 种。

3.1.1 科的分析

(1) 大小科分析

通过本次群落调查与统计分析,样地内乔木共有 35 科 57 属 103 种。其中 5 种及以上的科有 8 个,共含 55 种,分别占样地乔木总科数和总种数的 22.9%和 53.4%。这 8 科包含了样地内 > 50%的物种种类,而且蔷薇科(Rosaceae)、槭树科(Aceraceae)、冬青科(Aquifoliaceae)、樟科(Lauraceae)、杜鹃花科(Ericaceae)、虎耳草科(Saxifragaceae)、桦木科(Betulaceae)、壳斗科(Fagaceae)中的一些物种种类是样地内的优势种,说明鹧落坪自然保护区落叶阔叶林乔木植物区系中优势科明显;如表 2 所示蔷薇科包含 7 属 16 种,是样地内最明显的优势科。

2—4 种之间的科有 13 个,含 34 种,分别占样地乔木总科数和总种数的 37.1%和 33.0%;1 种的科有 14 个,含 14 种,分别占样地乔木总科数和总种数的 40.0%和 13.6%,体现了样地内植物区系的复杂性和多样性。

表 2 样地乔木科内种的组成
Table 2 The composition of species in families of tree in plot

种数 No. of species	科名(属数/种数) No. of families	种数 No. of families
≥5	蔷薇科(7/16);槭树科(1/7);冬青科(1/6);樟科(1/6);杜鹃花科(1/5);虎耳草科(3/5); 桦木科(3/5);壳斗科(3/5)	55
2—4	安息香科(2/3);大戟科(2/3);豆科(3/3);椴树科(1/3);胡桃科(2/2);金缕梅科(2/2); 木犀科(1/2);槭树科(2/2);清风藤科(1/3);忍冬科(2/4);山茱萸科(2/2);省沽油科(2/ 2);鼠李科(1/3)	34
1	14 科(1/1)(科名略)	14
合计 Total		103

(2) 科的分布区类型

样地内乔木科的分布区类型(表 3)有如下特点:

①热带成分较多,共计 15 科 35 种,分别占样地内植物总科数的 42.9%,其中泛热带分布类型最多,有 8 科。

②温带成分次之,共计 14 科 21 种,分别占样地内植物总科数的 40.0%,其中北温带和南温带间断分布类型最多,有 9 科。

③样地内乔木科分布类型呈现热带成分与温带成分并存的情况,其中热带成分较多占样地内总科数的

42.9%, 温带成分其次占样地内总科数的 40.0%, 世界广布种占样地内总科数的 17.1%。植物物种分布上热带与温带并存的现象符合该地区处于亚热带与暖温带过渡区域的特性。

表 3 样地乔木植物科的分布区类型

Table 3 The Areal-types of families of trees in plot

分布区类型 Areal type	科数 No. of families	百分比 Percentage/%
1. 世界分布 Cosmopolitan	6	17.1
2. 泛热带分布 Pantropic	8	22.8
3. 热带亚洲至热带非洲分布 Trop. Asia to Trop. Africa	1	2.9
4. 东亚 (热带、亚热带) 及热带南美间断分布 Trop. & Subtr. E. Asia & (S.) trop. Amer. disjuncted	5	14.3
5. 热带亚洲分布 Trop. Asia = Trop. SE. Asia + Indo + Malaya + Trop. S. & SW. Pacific Isl.	1	2.9
6. 北温带分布 N. Temp.	2	5.7
7. 北温带和南温带间断分布 Pan-temperate (N. Temp. & S. Temp. disjuncted)	9	25.7
8. 东亚分布 E. Asia	2	5.7
9. 东亚及北美间断分布 E. Asia & N. Amer. disjuncted	1	2.9
合计 Total	35	100

3.1.2 属的分析

(1) 大小属分析

如表 4 所示, 鹼落坪自然保护区落叶阔叶林监测样地共有乔木 57 属, 其中 5 种以上的属有 3 个, 含 19 种; 含 3 种或 3 种以上的属 10 个, 含 34 种, 小于 3 种的属有 44 个, 含 50 种。

表 4 样地乔木属内种的组成

Table 4 The composition of species in genera of trees in plot

属内含种数 No. of species in genera	属数 No. of genera	占总属数/% %/of total genera	种数 No. of species	占总种数/% %/of total species
>5	3	5.3	19	18.5
3—5	10	17.5	34	33.0
<3	44	77.2	50	48.5
总计 Total	57	100	103	100

样地内乔木大小属分析得出, 种数大于 5 的属 3 属占总属数的 5.3%, 种数目在 3 到 5 的属 10 属占总属数的 17.5%, 小于 3 属的 44 属占总属数的 77.2%。反映了本样地内属的组成较为分散, 植物成分较为复杂。

(2) 属的分布区类型

根据吴征镒关于中国种子植物属的分布区类型的划分, 将鹼落坪自然保护区山地落叶阔叶林乔木的 57 属划分为 10 种分布区类型 (表 5), 特点如下:

世界分布的属仅有 1 属, 即鼠李属 (*Rhamnus*), 占属总数的 1.8%。

热带分布的属共 11 属, 占属总数的 19.3%。其中泛热带分布的属有 5 属, 占属总数的 8.8%, 占热带分布类型的 45.5%; 热带亚洲和热带美洲间断分布的属有 2 属, 占属总数的 3.5%, 占区内热带成分的 18.1%; 旧世界热带分布的属仅有 1 属, 占属总数的 1.8%, 占区内热带成分的 9.1%; 热带亚洲分布的属有 3 属, 属占属总数的 5.2%, 占热带成分的 27.3%。

温带分布的属共 44 属, 占属总数的 77.1%。其中北温带分布的属有 21 属, 占属总数的 36.8%, 占温带成分的 46.6%, 是样地内温带分布属的最主要成分; 东亚和北美间断分布的属有 10 属, 占属总数的 17.5%, 占温带成分的 22.7%; 旧世界温带分布的属有 2 属, 占属总数的 3.5%, 占温带成分的 4.5%; 东亚分布的属有 11 属, 占属总数的 19.3%, 占温带成分的 25.0%, 在保护区内温带分布属里占较大成分。

中国特有分布的属仅有 1 属, 即青钱柳属 (*Cyclocarya*), 占属总数的 1.8%。

样地内乔木植物区系地理成分复杂, 分布区类型多样, 过渡性明显。总体上温带植物成分较多约占 77.1%, 热带植物成分其次约占 19.3%。表明该地区地处热带与温带的过渡地带, 植物区系具有明显的泛热带、亚热带和暖温带等多重性质。

表 5 样地乔木植物属的分布区类型

Table 5 The Areal-types of genera of trees in plot

分布区类型 Areal type	属数 No. of genera	占属总数/% %/of total genera
1. 世界分布 Cosmopolitan	1	1.8
2. 泛热带分布 Pantropic	5	8.8
3. 热带亚洲和热带美洲间断分布 Trop. Asia & Trop. Amer. disjuncted	2	3.5
4. 旧世界热带分布 Old world Trop.	1	1.8
5. 热带亚洲分布 Trop. Asia	3	5.2
6. 北温带分布 North Temperate	21	36.8
7. 东亚和北美洲间断分布 Asia & N. America disjuncted	10	17.5
8. 旧世界温带分布 Old world Temp.	2	3.5
9. 东亚分布 East Asia	11	19.3
10. 中国特有分布 Endemic to China	1	1.8
总计 Total	57	100

3.2 种群结构分析

3.2.1 乔木数量分析

物种数量统计最为直观有效地反应一个地区植被的组成结构, 本研究对样地内乔木的种数量进行统计, 分列出样地内乔木数量前十名物种的数量情况。

样地内乔木共计 24910 株, 其中数量最多的为壳斗科茅栗 (*Castanea seguinii*) 个体数为 2289 株, 占总数的 9.2%; 其次为鹅耳枥 (*Carpinus turczaninowii*) 个体数为 2023 株, 占总数的 8.1%; 白檀 (*Symplocos paniculata*) 个体数为 1990 株, 占总数的 8.0%; 四照花 (*Dendrobenthamia japonica* var. *chinensis*) 1913 株, 占总数的 7.7%; 映山红 (*Rhododendron simsii*) 1678 株, 占总数的 6.7%; 蜡瓣花 (*Corylopsis sinensis*) 1539 株, 占总数的 6.2%; 水榆花楸 (*Sorbus alnifolia*) 1147 株, 占总数的 4.6%; 黄山松 (*Pinus taiwanensis*) 907 株, 占总数的 3.6%; 灯台树 (*Bothrocaryum controversum*) 818 株, 占总数的 3.3%; 三桠乌药 (*Lindera obtusiloba*) 715 株, 占总数的 2.9%。数量前十位的物种个体数共有 15019 株, 占样地内乔木总数的 60.3%, 占绝对优势地位。

3.2.2 乔木高度分析

树种的高度统计直观的反映了样地内树种在垂直梯度上的分布情况, 是其对阳光的利用效率的直接体现, 本研究对样地内 DBH ≥ 1 cm 的乔木高度分 25 组别进行了统计分析。由图 4 可以看出, 样地内乔木树种在各个高度均有分布, 但主要集中在 2—8 m 内, 占植物种类总数的 65.6%, 其中 4—5 m 的树种最多, 有 3116 株; 20 m 以上的乔木数量较少, 仅占总数的 1.2%。样地内乔木并未有明显的分层现象, 符合落叶阔叶林群落特征和该地区中亚热带向暖温带过渡的植被特征。

3.2.3 重要值分析

重要值是反映树种在群落中优势度的参数, 对分析树种种群结构有重要意义。统计计算乔木层各树种的

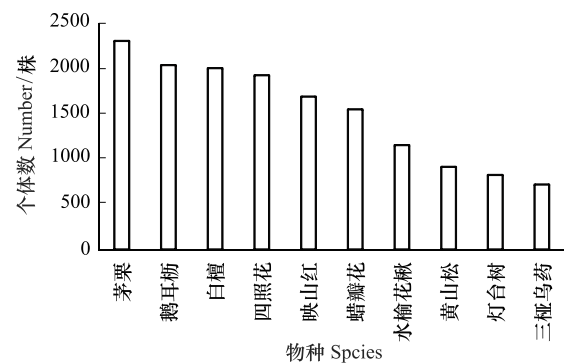


图 3 样地个体数前 10 名物种

Fig.3 Top 10 species of individuals in plot

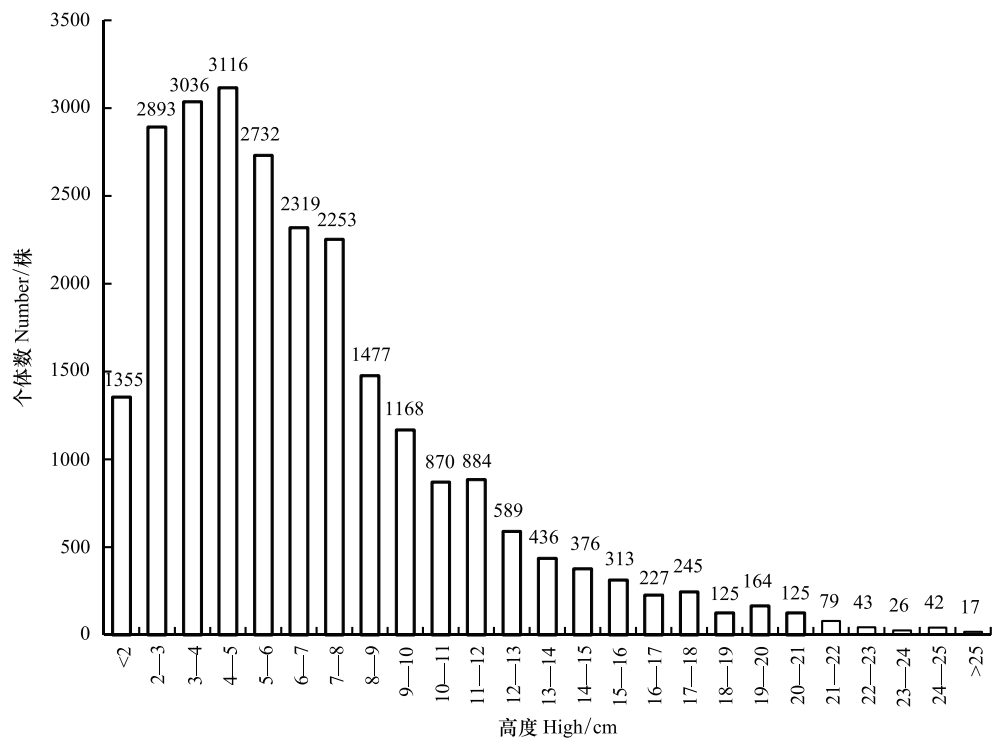


图 4 样地物种高度分布

Fig.4 Distribution of individuals with different height classes in plot

重要值并将重要值按从大到小的顺序排列如表 6 所示,由于树种太多,表中只列举了重要值位于前 10 位的乔木树种。结合个体数与重要值两个数值来看,样地内的主要优势物种为茅栗、鹅耳枥、白檀和四照花。其中,茅栗数量最多,相对频度、相对优势度和相对多度分别为 9.23%、22.86%和 12.98%,占据着乔木群落中各项重要值指标的首位,在样地中占明显优势,这也与该地区以壳斗科为建群种的植被群落结构相吻合。

表 6 样地重要值前 10 位树种

Table 6 Species with importance values in the plot

物种 Species	相对频度/% Relative frequency	相对优势度/% Relative dominance	相对多度/% Relative abundance	重要值/% Important value
茅栗 <i>Castanea seguinii</i>	9.23	22.86	12.98	15.02
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	8.16	7.83	9.19	8.39
黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	3.66	10.11	5.62	6.46
四照花 <i>Dendrobenthamia japonica</i> var. <i>chinensis</i>	7.71	4.35	6.80	6.29
白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	8.02	2.15	5.39	5.19
小叶白辛树 <i>Pterostyrax corymbosus</i>	2.56	8.00	4.74	5.10
水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i>	4.62	5.34	5.34	5.10
灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i>	3.30	5.80	4.73	4.61
蜡瓣花 <i>Corylopsis sinensis</i>	6.20	1.78	4.59	4.19
映山红 <i>Rhododendron simsii</i>	6.76	0.74	2.52	3.34
合计 Total	60.23	68.96	61.91	63.70

3.3 物种 α 多样性分析

Simpson 指数 (DS) 是反映群落优势度的重要指标,如表 7 所示,样地内乔木树种的 Simpson 指数 (DS) 为 0.94,结合重要值数值来看,所调查的群落优势种明显。Shannon-Wiener (H) 指数能够很好的反映个体密度、生境差异、群落类型和演替阶段,物种数量越多,分布越均匀,Shannon-Wiener 值越大,Pielou 均匀度指数 (JP)

反映的是群落物种分布的均匀程度^[1], 样地内乔木树种的 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数分别为 0.72 和 3.65, 由于样地内的物种的丰富度为 103, 因此两个指数值较高, 反映该群落树种分布相对均匀。

表 7 样地 α 物种多样性指数
Table 7 α diversity index of trees in the plot

多样性指数 Diversity index	计算方式 Calculation formula	数值 Value	多样性指数 Diversity index	计算方式 Calculation formula	数值 Value
物种丰富度 (S) Species richness (S)	$S = \text{count}(\ast)$	103 种	辛普森指数 (DS) Simpson (DS)	$DS = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$	0.94
香浓-维尔指数 (H) Shannon-Wiener (H)	$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$	3.65	Pielou 均匀度指数 (JP) Pielou (JP)	$JP = H / \ln S$	0.72

3.4 种间联结性

使用 χ^2 检验与联结系数 AC, 定量判断样地内优势树种的种间联结性。首先根据调查数据计算样地内树种重要值, 选择重要值位于前 15 位的树种, 利用公式分别计算两两间的 χ^2 值和 AC 值, 并据此做出种间联结星座图和半矩阵图。

运用 χ^2 检验可以客观的判断树种对之间联结的显著性, 由图 5 可知, 样地内前 15 个优势种 105 个树对间在空间分布上存在一定的关联性。有 32 个树种对之间存在着较为显著地联结性, 其中有 18 个种对呈现正相关约占总数的 56.25%, 14 个种对呈现负相关约占总数的 43.75%。其中榲桲、短柄枹栎、黄山松在空间分布上呈现极显著地正相关, 小叶白辛树、灯台树之间在空间分布上存在着明显的正相关, 说明他们有相似的生境与资源需求; 小叶白辛树、短柄枹栎和榲桲、灯台树在空间分布上存在着显著地负相关, 是因为他们对生境 (在本样地中可能是湿度) 有不同的需求和相反的反应, 即呈现相互排斥性; 映山红、山樱花、四照花在监测样地内分布比较均匀, 与其他树种联结性较弱, 可能是因为在在本样地中他们对光照和湿度的适应能力很强。所有种对中, 有 73 对树种呈现不显著相关占 69.52%, 说明群落中乔木优势树种的种间联结性比较松散, 种对间独立性较强, 反映出该群落演替仍处于发育阶段。

图 6 反映了监测样地内 15 个优势种 105 个树种对的相互关联强度 (AC 值), 其中呈现显著正关联的树种对有 45 对占总树种对的 42.9%, 显著负关联的树种对有 26 对占总树种对的 24.8%, 由此可知, 样地优势种正关联程度显著大于负关联程度。从关联强度来看, 呈现显著正关联的 45 对树种有 7 对树种关联强度较强占显著正关联总数的 15.5%; 有 13 对树种关联强度一般, 占比 28.9%, 有 25 对树种关联强度较弱, 占比 55.6%。而在呈现显著负关联的 26 对树种中, 有 5 对树种关联强度较强, 占显著负关联总数的 19.2%; 有 11 对树种关联强度一般, 占 42.3%, 有 10 对树种关联强度较弱, 占 38.5%。由此可知, 监测样地内整体关联强度较低, 显著正关联树种对虽然在数量上多于显著负关联树种, 但关联强度大部分集中在较低的水平。

4 讨论与结论

森林生物多样性永久监测样地的建设为研究物种多样性的形成和维持机制以及生物多样性的保护等提供了重要的研究平台。本文对鹧落坪落叶阔叶林 11.56 hm^2 样地的研究与王志高等^[14]对该地区 1 hm^2 永久样地相比, 在树种组成方面存在较大差异, 1 hm^2 永久样地 $\text{DBH} \geq 1 \text{ cm}$ 的乔木树种仅有 69 种, 远小于 11.56 hm^2 大样地的树种有 103 种。从优势种茅栗、鹅耳枥和四照花的个体的数量来看, 1 hm^2 样地由于取样面积的限制, 这些树种个体的数量很小, 而本样地茅栗、鹅耳枥和四照花个体的数量都大于 Hubbell 假定数量 100 个个体的标准^[28]。由此可见, 大样地的建设更能客观地反映森林群落的总体特征, 能更好地为持续开展群落生态学的动态研究提供全面的数据支持。

鹧落坪样地与东灵山样地^[9]同属落叶阔叶林, 但因地理位置与气候等方面的差异, 两者在群落特征上也存在一定的差异。调查与分析可知, 鹧落坪样地与东灵山样地从单位面积个体数量来看大致相当, 均在 2100—2700 株/ hm^2 之间; 鹧落坪样地与东灵山样地植物区系皆以温带区系成分为主, 但是东灵山 (93.75%)

相比于鹞落坪 (77.1%) 温带特征更为明显。本样地 (11.56 hm²) 树种相对较为丰富,共有乔木 103 种,远多于东灵山 (20 hm²) 58 种,这说明亚热带山地落叶阔叶林的树种丰富度与多样性明显高于典型的温带落叶阔叶林。从优势种来看,鹞落坪样地优势种为茅栗、鹅耳枥、白檀和四照花,而东灵山样地优势种辽东栎 (*Quercus wutaishanica*)、色木槭 (*Acer mono*) 和棘皮桦 (*Betula dahurica*)。由此可见,中亚热带山地落叶阔叶林与温带典型落叶阔叶林虽有共同之处,但在树种组成和多样性方面存在明显差异,为研究不同区域落叶阔叶林群落学特征的比较提供重要基础资料。本样地山地落叶阔叶林树种与长白山样地阔叶红松林树种^[8]和西双版纳样地热带雨林树种^[11]相比,单位面积个体数从南到北逐渐减少,说明气候因子是植物群落结构与组成的主要环境因子。

种间联结性表示的是不同物种在空间上的关联性以及物种对生境的适应状况,随群落演替阶段的不同而有所变化^[29-30]。本研究利用 χ^2 检验与联结系数来对 15 个优势种 105 对树种进行种间联结性检测,从测定结果来看样地内大多数乔木树种呈现联结性不显著,说明乔木层树种在种间关系上比较松散间,趋于独立分布,这可能是由群落的演替阶段和群落本身的生态学特性造成的。种间联结性能够反映群落的稳定状况^[31]。一般来讲,群落稳定性越强,种间联结越趋向于正联结;反之,群落越不稳定,群落间的排斥性就越大,种间联结越趋向于负相关^[32]。本研究样地显著正联结的物种比显著负联结的树种多,但关联强度大部分集中在相对较低的水平,树种之间以及各树种与环境之间尚未达到相对动态平衡,仍处于群落的不稳定演替阶段。

综上所述,基于鹞落坪自然保护区山地落叶阔叶林 11.56 hm² 动态监测样地的调查,表明该区的落叶阔叶林正处于演替的中期阶段,具有一定的物种组成和群落结构特征,物种相对较丰富,植物区系主要以北温带分布属占优,东亚和东亚-北美间断分布次之,植物区系的过渡性特征明显;样地内以茅栗、鹅耳枥、四照花和黄山松等形成明显的优势种;前 15 个优势种中有 32 个树种对之间存在着较为显著地相关性。该样地随着后续的调查分析和基础资料的积累,还有许多科学问题值得进一步深入探讨与研究。

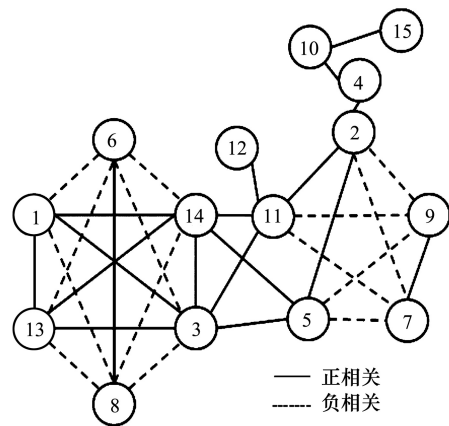


图 5 落叶阔叶林群落 15 种乔木种群间关联星座图
Fig.5 Constellation diagrams showing associations among 15 species of the tree layer in plot

1.茅栗 (*Castanea seguinii*); 2.鹅耳枥 (*Carpinus turczaninowii*); 3.黄山松 (*Pinus taiwanensis*); 4.四照花 (*Dendrobenthamia japonica* var. *chinensis*); 5.白檀 (*Symplocos paniculata*); 6.小叶白辛树 (*Pterostyrax corymbosus*); 7.水榆花楸 (*Sorbus alnifolia*); 8.灯台树 (*Bothrocaryum controversum*); 9.蜡瓣花 (*Corylopsis sinensis*); 10.映山红 (*Rhododendron simsii*); 11.三桠乌药 (*Lindera obtusiloba*); 12.毛果槭 (*Acer nikoense*); 13.榲桲 (*Quercus aliena*); 14.短柄枹栎 (*Quercus serrata* var. *brevipetiolata*); 15.山樱花 (*Cerasus serrulata*)

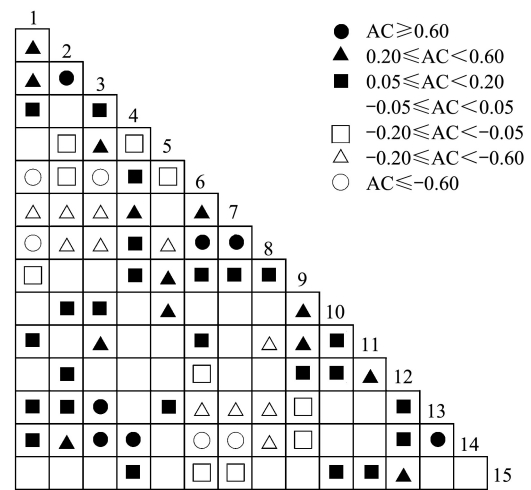


图 6 样地 15 种乔木树种种间关联半矩阵图
Fig.6 Semi-matrices of interspecific association among 15 species of the tree layer
AC: 联结系数 (Association coefficient)

参考文献 (References):

- [1] 胡淑萍, 余新晓, 刘彦, 岳永杰. 北京百花山落叶阔叶林群落的物种多样性特征. 中国水土保持科学, 2008, 6(3): 102-106.
- [2] Tilman D, Reich P B, Knops J M H. Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment. Nature, 2006, 441 (7093): 629-632.
- [3] Gondard H, Romane F, Grandjanny M, Li J Q, Aronson J. Plant species diversity changes in abandoned chestnut (*Castanea sativa*) groves in southern France. Biodiversity & Conservation, 2001, 10(2): 189-207.
- [4] 闫海冰, 韩有志, 杨秀清, 王丽艳, 项小英. 华北山地典型天然次生林群落的树种空间分布格局及其关联性. 生态学报, 2010, 30(9): 2311-2321.
- [5] Lee K, Kim S, Shin Y, Choung Y. Spatial pattern and association of tree species in a mixed *Abies holophylla*-broadleaved deciduous forest in Odaesan National Park. Journal of Plant Biology, 2012, 55(3): 242-250.
- [6] Jiang Y, Chen X B, Ma J M, Liang S C, Huang J, Liu R H, Pan Y F. Interspecific and intraspecific variation in functional traits of subtropical evergreen and deciduous broadleaved mixed forests in karst topography, Guilin, Southwest China. Tropical Conservation Science, 2016, 9(4): 1-9.
- [7] Condit R. Research in large, long-term tropical forest plots. Trends in Ecology & Evolution, 1995, 10(1): 18-22.
- [8] 郝占庆, 李步杭, 张健, 王绪高, 叶吉, 姚晓琳. 长白山阔叶红松林样地 (CBS): 群落组成与结构. 植物生态学报, 2008, 32(2): 238-250.
- [9] 刘海丰, 李亮, 桑卫国. 东灵山暖温带落叶阔叶次生林动态监测样地: 物种组成与群落结构. 生物多样性, 2011, 19(2): 232-242.
- [10] 祝燕, 赵谷风, 张儒文, 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.
- [11] 兰国玉, 胡跃华, 曹敏, 朱华, 王洪, 周仕顺, 邓晓保, 崔景云, 黄建国, 刘林云, 许海龙, 宋军平, 何有才. 西双版纳热带森林动态监测样地——树种组成与空间分布格局. 植物生态学报, 2008, 32(2): 287-298.
- [12] 李珍, 周忠泽, 汪文革, 沈三宝. 安徽鹞落坪自然保护区维管植物区系分析. 生物学杂志, 2008, 25(6): 26-30.
- [13] 谢中稳, 吴国芳. 安徽省鹞落坪自然保护区的植被类型及其分布. 华东师范大学学报: 自然科学版, 1995, (3): 93-102.
- [14] 王志高, 张中信, 汪文革, 储俊. 安徽岳西县鹞落坪国家级自然保护区森林群落结构的初步分析. 植物生态学报, 2016, 40(6): 615-619.
- [15] 周光裕. 试论“北亚热带常绿阔叶林地带”的归属问题. 山东大学学报: 自然科学版, 1980, (1): 111-122.
- [16] 韩也良. 安徽省境内亚热带常绿阔叶林带的北界问题(摘要). 植物生态学与地植物学丛刊, 1981, 5(1): 54-57.
- [17] 韩也良. 对安徽大别山南坡植被垂直带谱基带的讨论. 安徽师大学报: 自然科学版, 1981, (2): 110-125.
- [18] Burrough P A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford University Press, 1998.
- [19] Dominy N J, Duncan B. GPS and GIS methods in an African rain forest: applications to tropical ecology and conservation. Ecology and Society, 2001, 5(2): 286-313.
- [20] 安徽植物志编委会. 安徽植物志. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1992.
- [21] 吴征镒, 周浙昆, 李德铎, 彭华, 孙航. 世界种子植物科的分布区类型系统. 云南植物研究, 2003, 25(3): 245-257.
- [22] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型. 云南植物研究, 1991, 13(S4): 1-3.
- [23] 宋永昌. 植被生态学. 华东师范大学出版社, 2001.
- [24] Whittaker R H. Evolution and Measurement of Species Diversity. Taxon, 1972, 21(2/3): 213-251.
- [25] 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.
- [26] Spellerberg I F, Fedor P J. A tribute to Claude Shannon (1916-2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the 'Shannon-Wiener' Index. Global Ecology and Biogeography, 2003, 12(3): 177-179.
- [27] Veech J A, Summerville K S, Crist T O, Gering J C. The additive partitioning of species diversity: recent revival of an old idea. Oikos, 2002, 99(1): 3-9.
- [28] Hubbell S P. Two decades of research on the BCI forest dynamics plot//Losos E C J, Leigh E G, eds. Tropical Forest Diversity and Dynamism: Findings from A Large-Scale Plot Network. Chicago: University of Chicago Press, 2004: 8-30.
- [29] 叶权平, 张文辉, 于世川, 薛文艳. 桥山林区麻栎群落主要乔木种群的种间联结性. 生态学报, 2018, 38(9): 3165-3174.
- [30] 李丘霖, 宗秀虹, 邓洪平, 万海霞, 吴洪英, 梁盛, 刘邦友. 赤水桫欏群落乔木层优势物种生态位与种间联结性研究. 西北植物学报, 2017, 37(7): 1422-1428.
- [31] 王乃江, 张文辉, 陆元昌, 范少辉, 王勇. 陕西子午岭森林植物群落种间联结性. 生态学报, 2010, 30(1): 67-78.
- [32] 王加国, 李晓芳, 安明态, 袁丛军, 严令斌, 余德会. 雷公山濒危植物台湾杉群落主要乔木树种种间联结性研究. 西北林学院学报, 2015, 30(4): 78-83.