

北京西山地区侧柏游憩林群落结构及植物多样性

汪平¹, 贾黎明¹, 李效文^{1,2}, 李江婧¹

(1. 北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 浙江省亚热带作物研究所 森林资源与生态环境研究室, 浙江 温州 325005)

摘要: 为了从群落生态学角度科学经营北京西山地区侧柏 *Platycladus orientalis* 游憩林, 采用区系成分分析法、系统聚类法、方差均值比率法及物种丰富度指数 (R , D_{gl} , D_{ma}), 多样性指数 (D_{si} , D_{sh} , D_{mc}), 均匀度指数 (J_{si} , J_{sh} , E_a), 群落总体多样性指数分别对其植物组成与区系、群落垂直结构、种群空间分布格局及植物多样性进行了系统研究。结果表明: 侧柏游憩林群落植物种类较为丰富, 包括 32 科 59 属 63 种高等维管束植物, 且反映出以温带成分为主的植物区系特点。群落垂直层次分化明显, 理论上可定量划分为乔木层、灌木层和草本层 3 个层次, 且各层优势种群突出。建群种侧柏趋于随机分布 ($C < 1$, $t < t_{0.05}$), 而林下植被 (荆条 *Vitex negundo* var. *heterophylla*, 孩儿拳头 *Grewia biloba*, 求米草 *Oplismenus undulatifolius* 等) 则呈不同程度的聚集分布 ($C > 1$, $t > t_{0.01}$)。不同生长型间物种丰富度及多样性大小规律为: 灌木 > 乔木 > 草本 ($P < 0.05$), 乔木和灌木均匀度均大于草本 ($P < 0.05$)。不同生长型对群落总体多样性的贡献率分别为乔木 0.696, 灌木 0.204 和草本 0.100。低山阴坡厚土可作为营建侧柏游憩林的优先选择立地类型, 同时建议营建相对低密度的群落以满足游客对游憩空间及生物多样性的需求。图 2 表 4 参 22

关键词: 森林生态学; 侧柏; 游憩林; 优势种群; 空间分布格局; 群落总体多样性; 生长型

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)04-0565-07

Community structure and plant diversity of a *Platycladus orientalis* recreational plantation in West Mountain area of Beijing

WANG Ping¹, JIA Li-ming¹, LI Xiao-wen^{1,2}, LI Jiang-jing¹

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Laboratory of Forest Resources and Ecological Environment, Zhejiang Institute of Subtropical Crops, Wenzhou 325005, Zhejiang, China)

Abstract: To scientifically manage *Platycladus orientalis* recreational plantations using principles of community ecology in West Mountain area of Beijing, characteristics of plant composition, vertical structure, spatial distribution patterns, and plant diversity were systematically studied using componential analysis, hierarchical clustering, the variance to mean method, richness indices (R , D_{gl} , D_{ma}), diversity indices (D_{si} , D_{sh} , D_{mc}), evenness indices (J_{si} , J_{sh} , E_a), and total community diversity indices. Higher vascular plants in this community revealed 32 families, 59 genera, and 63 species reflecting the floral features of a temperate zone. Community stratification was distinct and quantitatively divided into three major theoretical layers: tree, shrub, and herb, with dominant populations in each layer. *P. orientalis* tended to a random distribution ($C < 1$, $t < t_{0.05}$), whereas undergrowth, such as *Vitex negundo* var. *heterophylla*, *Grewia biloba*, and *Oplismenus undulatifolius*, clumped ($C > 1$, $t > t_{0.01}$) with unification of various degrees. Species richness and diversity by layer were: shrub > tree > herb ($P < 0.05$) with species evenness of: tree and shrub >

收稿日期: 2009-09-30; 修回日期: 2009-11-03

基金项目: 北京市科技计划项目(Z00060660000701); 北京市教育委员会科学研究与科研基地建设项目(SYSBL2009); 北京市教育委员会学科建设与研究生教育建设项目产学研联合培养研究生基地(CXYBL2008-2010)

作者简介: 汪平, 从事森林培育与生物多样性研究。E-mail: wangpingsino@126.com。通信作者: 贾黎明, 教授, 从事森林培育和城市林业研究。E-mail: jlm@bjfu.edu.cn

herb ($P < 0.05$). Contribution rates to general community diversity were: tree: 0.696, shrub: 0.204, and herb: 0.100. For the development of plant species diversity, shady slope was a priority. Also, to create recreational space in plantations with biodiversity, a low density (756–933 plants·hm⁻²), which helped maintain a higher plant species diversity, was recommended. [Ch, 2 fig. 4 tab. 22 ref.]

Key words: forest ecology; *Platycladus orientalis*; recreational plantation; dominant population; spatial distribution pattern; total community diversity; growth form

游憩林是指具有适合开展游憩活动的自然条件及相应的人工设施,以满足人们娱乐、健身、疗养、休息和观赏等各种游憩需求为目标的森林^[1]。目前,有关国内外游憩林的构建基础及技术^[2]、抚育管理理论与技术^[3]、景观质量评价^[4]、保健功能开发^[5]等方面的研究,前人已作过相关综述。群落结构及植物多样性对森林游憩功能的发挥至关重要,同时游憩活动又会对群落结构及植物多样性产生深刻影响^[6-7]。北京西山是北京市民开展休闲游憩活动的重要区域,而侧柏 *Platycladus orientalis* 人工林作为该地区典型的游憩林群落,其主导功能的充分发挥不仅能够保障首都市民的综合游憩需求,而且对于区域生态环境建设也将发挥积极作用。长期以来,该地区风景游憩林建设及经营管理缺乏科学指导,森林的游憩功能没有得到最佳发挥。前人已对该地区人工林群落物种多样性开展过研究^[8],但从植物组成及区系、群落水平结构、垂直结构、物种多样性以及群落总体多样性等方面针对典型游憩林群落进行系统研究的尚未见报道。笔者对北京西山地区典型游憩林群落结构及植物多样性的研究,不仅可为该地区及类似地区游憩林的营建、抚育管理及林分结构定向改造等措施提供科学的理论支撑,而且对于区域物种多样性的保护与可持续利用也具有重要意义。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

北京西山地区位于北京市西南郊(39°34'N, 116°28'E),属太行山余脉,地形为低山丘陵,平均海拔高度为 300 ~ 400 m,最高海拔 800 m,坡度 15° ~ 35°。属典型暖温带半湿润大陆性季风气候,年均温为 11.6 °C,年降水量 500 ~ 700 mm,多集中于 6 - 8 月。土壤为含石砾较多的山地褐土,平均厚度为 40 cm。暖温带落叶阔叶林为该区地带性植被,但原始植被已破坏殆尽,现存主要植被类型多为 20 世纪 50 - 60 年代营造的人工林,主要包括油松 *Pinus tabulaeformis*, 侧柏, 刺槐 *Robinia pseudoacacia*, 元宝枫 *Acer truncatum*, 栓皮栎 *Quercus variabilis*, 黄栌 *Cotinus coggygria* var. *cinerea* 等,自然生长的仅有臭椿 *Ailanthus altissima*, 山桃 *Prunus davidiana*, 栎树 *Koelreuteria paniculata*, 蒙桑 *Morus mongolica* 等^[9]。笔者的研究对象侧柏游憩林为人工林,林龄为 57 a,林分密度为 756 ~ 1 822 株·hm⁻²,林分郁闭度 0.55 ~ 0.80,平均胸径 14.6 cm,平均树高 9.6 m。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查 2008 年 7 月在北京市西山试验林场魏家村及卧佛寺分场共设置 21 块典型侧柏游憩林样地,其中阴坡 14 块,阳坡 7 块,样地面积均为 225 m²。野外调查采用分层样方法,在每块样地设置 4 个 7.5 m × 7.5 m 的乔木样方,样地四角设置 4 个 5.0 m × 5.0 m 灌木样方,再在每个灌木样方四角设置 4 个 1.0 m × 1.0 m 草本样方。共调查乔木样方 84 个,灌木样方 84 个,草本样方 336 个。调查乔木样方中胸径 ≥ 3 cm 个体的种类、株数、胸径、树高、冠幅及枝下高,灌木样方中所有灌木(包括木质藤本及乔木更新幼苗、幼树)、草本样方中所有草本(包括草质藤本)植物的种类、株数、盖度和平均高等指标^[10-12]。同时,详细记录各样地海拔、坡向、坡度、坡位及土壤条件等环境因子。

1.2.2 数据处理方法 ①群落垂直层次划分。以物种自然平均高度为基础,采用 Q 型系统聚类法对群落垂直层次进行定量划分^[13-14],并结合物种生长习性加以定性分析。群落所有样地内物种的系统聚类采用欧式距离计算组间距,组间聚类方法采用最短距离法,对聚类结果进行单因素方差分析,检验其合理性。运用 SPSS 13.0 软件完成统计分析。②优势种群界定。采用物种重要值作为界定群落各层次优势种群的依据^[15],运用 Curtis 公式计算物种重要值。③种群空间分布格局。采用方差均值比率法

分析群落各层次种群空间分布格局, 并选择丛生指数 I , Cassie 指数 C_A , 扩散性指数 I_δ , 平均拥挤度 M^* , 聚块性指数 I_{PA} , 聚集度指数 K 等 6 种典型聚集强度指标进行验证^[16-17]。④植物多样性。选取 Patrick 指数 R , Gleason 指数 D_{gl} 及 Margalef 指数 D_{m} 等 3 个丰富度指数, Simpson 指数 D_{si} , Shannon 指数 D_{sh} 及 McIntosh 指数 D_{mc} 等 3 个多样性指数, Pielou 指数 J_{si} , Pielou 指数 J_{sh} 及 Alatalo 指数 E_a 等 3 个均匀度指数表征群落物种多样性^[18-19]。为强调各生长型空间生态位差异对群落物种多样性的作用^[20], 本研究采用能够在一定程度上反映物种空间生态位利用能力的生长型相对高度与相对盖度的均值作为加权参数(即各生长型对群落总体多样性的贡献率), 对各多样性指数进行加权求和计算群落总体多样性指数。计算公式如下: $W_t = (H_{Rt} + C_{Rt})/2$, $W_s = (H_{Rs} + C_{Rs})/2$, $W_h = H_{Rh} + C_{Rh}/2$, $D_g = D_t W_t + D_s W_s + D_h W_h$ 。其中, W_t , W_s 和 W_h 分别表示乔木层、灌木层和草本层的加权参数; D_t , D_s , D_h 和 D_g 分别表示乔木层、灌木层、草本层和群落总体多样性指数; H_{Rt} , H_{Rs} , H_{Rh} , C_{Rt} , C_{Rs} 和 C_{Rh} 分别表示各生长型的相对高度与相对盖度。

2 结果与分析

2.1 植物组成与区系分析

据统计, 该区侧柏游憩林群落共有高等维管植物 63 种, 分属 32 科 59 属; 按植物生长习性统计, 共有乔木 17 种, 灌木 14 种, 草本 28 种, 木质及草质藤本各 2 种; 从科属分布来看, 菊科 Compositae 和豆科 Leguminosae 为优势科, 各包含 7 种植物, 其次为蔷薇科 Rosaceae 和禾本科 Gramineae 各 5 种, 榆科 Ulmaceae 和桑科 Moraceae 各 3 种, 它们共占到总种数的 47.6%, 而其他绝大多数科仅含 1 种。侧柏游憩林群落共有热带至温带分布科 15 个, 属 17 个(其余为世界广布型), 分别占到总体的 46.9% 和 28.8%, 反映出以温带成分为主的植物区系特点^[21]。

2.2 群落垂直结构特征分析

系统聚类分析表明: 群落垂直结构层次分化明显, 可初步划分为乔木层和林下层 2 个主要层次。单因素方差分析(表 1)表明, 层次间平均高度差异极显著($P < 0.01$)。综合考虑物种生长特性, 再将林下层划分为灌木层和草本层 2 个层次。综上所述, 侧柏游憩林群落划分为乔木层、灌木层及草本层 3 个层次更为合理, 能够真实反映自然群落的垂直结构特征。

侧柏游憩林群落乔木层主要由侧柏和刺槐 2

个树种构成, 形成较连续的主林层, 郁闭度 0.7 左右, 层平均高 9.5 m 左右; 其中, 侧柏占绝对优势, 个体数占该层总株数的 68.8%, 平均树高 9.7 m, 平均胸径 14.7 cm; 伴生树种由栎树、蒙桑、黄栌等 6 种阔叶树构成, 但物种个体数量均较少。林下层组成成分复杂, 包括上层乔木更新幼树(苗)、灌木树种以及大量的草本植物, 高度为 0.1 ~ 1.6 m。灌木层以荆条 *Vitex negundo* var. *heterophylla*, 孩儿拳头 *Grewia biloba* 等耐旱灌木为主, 层平均高 0.5 m 左右, 层盖度约为 57%。草本层物种组成丰富, 层平均高 0.2 m 左右, 层盖度约为 29%。

2.3 优势种群界定

北京西山地区侧柏游憩林群落各层次物种重要值排序结果如表 2 所示(限于篇幅, 仅列出前 5 位)。由表 2 可知, 乔木层侧柏和草本层求米草重要值百分率分别达到 61.1% 和 77.2%, 在各自层次中占据绝对优势; 灌木层荆条、孩儿拳头和侧柏幼树重要值累计百分率为 59.6%, 且侧柏幼树重要值大于蒙桑的 2 倍。因此, 侧柏游憩林群落乔木层以侧柏为优势种群, 灌木层以荆条、孩儿拳头和侧柏幼树为优势种群, 草本层则以求米草为优势种群。

2.4 种群空间分布格局分析

由表 3 可知, 在本研究尺度上除乔木层侧柏外, 其他优势种群均呈现明显的聚集分布($C > 1$, $t >$

表 1 侧柏游憩林群落垂直层次方差分析结果

Table 1 One-way ANOVA on the vertical layers of *P. orientalis* recreational plantation

方差来源	离差平方和	自由度	均方	F 值	显著度
组间方差	433.995	1	433.995	2 210.097	0.000
组内方差	12.960	66	0.196		
总计	446.955	67			

表2 北京西山地区侧柏游憩林群落物种重要值排序

Table 2 Species important value of *P. orientalis* recreational plantation in the mountains of Western Beijing

序号	乔木层	物种重要值	灌木层	物种重要值	草本层	物种重要值
1	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	1.831 9	荆条 <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>	0.646 6	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	2.316 8
2	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	0.607 5	孩儿拳头 <i>Grewia biloba</i>	0.635 9	早开堇菜 <i>Viola prionantha</i>	0.158 5
3	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	0.315 4	侧柏* <i>Platycladus orientalis</i>	0.505 3	披针叶薹草 <i>Carex lanceolata</i>	0.112 9
4	蒙桑 <i>Morus mongolica</i>	0.106 5	蒙桑* <i>Morus mongolica</i>	0.245 7	丛生隐子草 <i>Cleistogenes caespitosa</i>	0.087 6
5	栎树 <i>Koelreuteria paniculata</i>	0.057 7	栎树* <i>Koelreuteria paniculata</i>	0.173 0	半夏 <i>Rhizoma pinelliae</i>	0.076 5

说明：*表示该物种的幼苗或幼树。

表3 侧柏游憩林群落优势种群空间分布格局指数

Table 3 Spatial distribution pattern indices of dominant populations in *P. orientalis* recreational plantation

层次	种群	方差均值比 C	t 检验	丛生指数 I	平均拥挤度 M^*	聚块性指数 I_{PA}	Cassie 指数 C_A	聚集度指数 K	扩散性指数 I_6	分布型
乔木层	侧柏	0.75	1.635	-0.25	4.47	0.95	-0.05	-18.62	0.95	随机型
	荆条	11.45	67.344**	10.45	28.31	1.59	0.59	1.71	1.58	聚集型
灌木层	孩儿拳头	6.86	37.724**	5.86	21.89	1.37	0.37	2.74	1.36	聚集型
	侧柏*	42.59	267.953**	41.59	77.84	2.15	1.15	0.87	2.13	聚集型
草本层	求米草	26.23	326.572**	25.23	44.45	2.31	1.31	0.76	2.31	聚集型

说明：*表示该物种的幼苗或幼树。+表示 $t > t_{0.05}$ ；++表示 $t > t_{0.01}$ 。

$t_{0.01}$)；6种聚集强度指数表现一致，即 $I > 0$ ， $M^* > \bar{x}$ ， $I_{PA} > 1$ ， $C_A > 0$ ， $K > 0$ ， $I_6 > 1$ ，验证了方差均值比率法的判定结果；侧柏种群 $C < 1$ ，但 $t < t_{0.05}$ ，即 C 值与 1 的差异并不显著，故认为其趋于随机分布。从最能反映种群聚集强度的聚集度指数 K 来看，草本层求米草种群聚集强度最大，灌木层侧柏幼树、荆条和孩儿拳头次之，乔木层侧柏种群聚集强度最小，且已呈现随机分散状态。

2.5 群落植物多样性特征分析

2.5.1 不同生长型物种多样性特征 本研究参照 Whittaker 生长型分类系统结合群落垂直结构特征，将北京西山地区侧柏游憩林群落划分为乔木、灌木和草本 3 个生长型(即群落最主要的 3 个层次)，采用 3 类 9 种多样性指数表征其物种多样性特征。由图 1-A 可知，3 种丰富度指数一致呈现出灌木 > 草本 > 乔木的趋势； R 和 D_{gl} 在 3 种生长型间差异均达显著水平，灌木 D_{ma} 显著高于乔木和草本 ($P < 0.05$)。由图 1-B 可知，3 种多样性指数一致呈现出灌木 > 乔木 > 草本的趋势； D_{si} 与 D_{mc} 在 3 种生长型间差异均达显著水平 ($P < 0.05$)，灌木 D_{sh} 显著高于乔木和草本。由图 1-C 可知：不同生长型间 3 种均匀度指数表现不尽一致，但呈现出乔木和灌木均大于草本的趋势；乔木和灌木 J_{sh} 显著大于草本， J_{si} 与 E_a 在 3

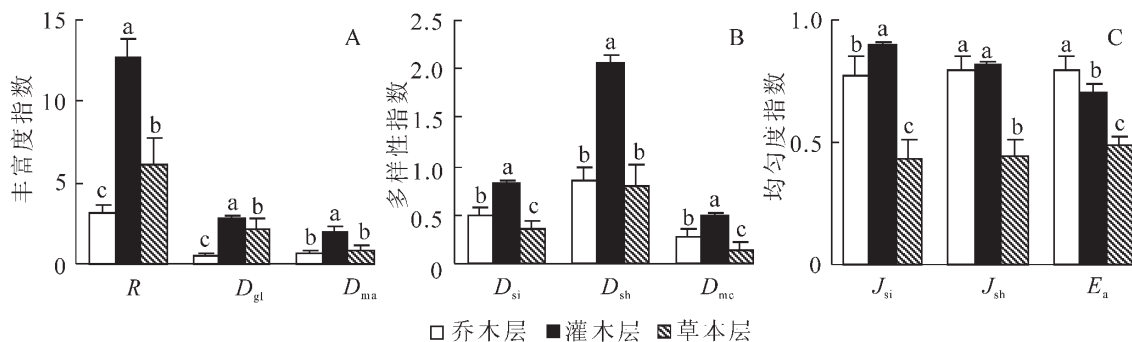


图1 侧柏游憩林群落不同生长型物种多样性指数比较

Figure 1 Comparison of three types of species diversity indices among different growth forms in *P. orientalis* recreational plantation

种生长型间差异均达显著水平($P < 0.05$)。综上可知,对于和来说,不同生长型间物种丰富度表现出灌木 > 草本 > 乔木的规律;物种多样性表现出灌木 > 乔木 > 草本的规律;不同生长型间均匀度表现出多元化的趋势,但仍呈现出乔木和灌木均大于草本的规律。

2.5.2 不同坡向群落总体多样性特征 本研究所选侧柏游憩林群落生长在北京西山地区典型立地上,立地因子中除坡向外其余差异均不大,因此我们对以不同坡向为代表的立地条件上的侧柏游憩林群落总体多样性特征展开分析。根据本研究的群落总体多样性测度方法,计算出不同生长型的加权参数如下:乔木层 $\bar{W}_t = 0.696$, 灌木层 $\bar{W}_s = 0.204$, 草本层 $\bar{W}_h = 0.100$ 。利用该参数对 3 类 9 种多样性指数进行加权,计算不同坡向上侧柏游憩林群落总体多样性指数(表 4)。由表可知:群落各总体丰富度

表 4 不同坡向侧柏游憩林群落总体多样性指数

Table 4 General diversity indices of *Platycladus orientalis* recreational plantation in different aspects

坡向	群落总体多样性指数								
	R	D_{gl}	D_{mn}	D_{si}	D_{sh}	D_{mc}	J_{si}	J_{sh}	E_a
阴坡	21.9 ± 2.8 a	1.52 ± 0.18 a	1.02 ± 0.19 a	0.56 ± 0.08 a	1.14 ± 0.16 a	0.32 ± 0.07 a	0.75 ± 0.08 a	0.75 ± 0.06 a	0.72 ± 0.05 a
阳坡	22.0 ± 5.2 a	1.75 ± 0.78 a	0.81 ± 0.16 a	0.52 ± 0.07 a	0.99 ± 0.15 a	0.29 ± 0.07 a	0.79 ± 0.10 a	0.78 ± 0.08 a	0.78 ± 0.07 a

指数表现不尽一致,阴坡 R 和 D_{gl} 小于阳坡,而 D_{mn} 则大于阳坡;总体多样性指数一致呈现出阴坡大于阳坡的趋势,阴坡 D_{si} , D_{sh} , D_{mc} 分别比阳坡平均高出 7.7%, 15.2% 和 10.3%;而总体均匀度指数表现出与总体多样性指数相反的趋势。总的来说,阴坡侧柏游憩林群落总体多样性高于阳坡,因而低山阴坡厚土为较适宜北京西山地区侧柏游憩林群落物种多样性发育的典型立地类型。

2.5.3 不同密度群落总体多样性特征 根据北京西山地区侧柏游憩林现实林分密度范围,将其群落划分为 4 个密度组,对不同密度群落总体多样性指数展开分析(图 2)。由图 2 可知:3 种总体多样性指数(D_{si} , D_{sh} , D_{mc})在不同密度侧柏游憩林群落间表现出一致的趋势,即:在 756 ~ 1 822 株·hm⁻² 密度范围内,群落总体多样性指数与林分密度呈负相关关系,总体多样性指数随着密度的增大逐渐减小,3 条幂函数曲线均能很好地拟合该趋势($R^2 > 0.88$)。因此认为,密度相对低的侧柏游憩林群落更有利于较高总体多样性的维持。

3 结论与建议

侧柏游憩林群落植物种类丰富,包括 32 科 59 属 63 种植物,以菊科和豆科植物居多,且反映出以温带成分为主的植物区系特点。群落垂直层次分化明显,理论上可划分为:乔木层、灌木层及草本层 3 个层次。各层次优势种群明显,乔木层以侧柏为优势种群,灌木层优势种群包括荆条、孩儿拳头和侧柏幼树,草本层则为求米草。侧柏种群趋于随机分布($C < 1$, $t < t_{0.05}$),林下层(荆条、孩儿拳头、求米草等)呈不同强度的聚集分布($C > 1$, $t > t_{0.01}$)。不同生长型间物种丰富度大小规律为:灌木 > 草本 > 乔木($P < 0.05$),多样性大小规律为:灌木 > 乔木 > 草本($P < 0.05$),乔木和灌木均匀度均大于草本($P < 0.05$)。不同生长型对群落总体多样性的贡献率分别为乔木 0.696, 灌木 0.204 和草本 0.100。本研究基于物种空间生态位利用能力的不同生长型加权参数的群落总体多样性测度方法,反映了群落

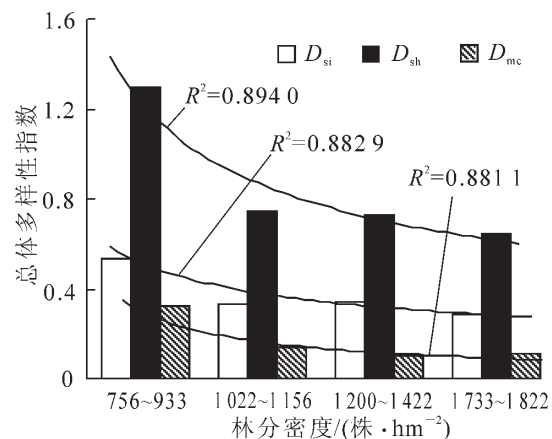


图 2 不同密度侧柏游憩林群落总体多样性指数比较

Figure 2 Comparison of general diversity indices among different stand density in *P. orientalis* recreational plantation

不同结构对于群落总体多样性的功能差异,从本质上揭示了群落总体多样性特征^[22],能够为不同区域不同类型群落间多样性的合理比较提供有益借鉴。低山阴坡厚土是较为适宜北京西山地区侧柏游憩林群落物种多样性发育的典型立地类型,同时相对低密度的侧柏游憩林更有利于较高群落总体多样性的维持。

综上所述,本研究对于北京西山地区及类似区域游憩林的建设、管理及森林游憩的开展有以下建议:侧柏林作为拥有丰富植物组成的典型地带性植被,适合作为乡土游憩林进行大规模营建;低山阴坡厚土可作为营建侧柏游憩林的优先选择立地类型,同时建议营建低密度的群落以满足林下植物多样性的发育需求;可引导游人在植物多样性较高的群落中开展游憩活动,而对于多样性较低的群落可采取自然恢复、林下种植等措施进行生物多样性资源的保护与维持;建议以现实群落结构为基础,实施清死枝、修活枝、割灌木等抚育措施逐步进行群落结构的定向改造,引导其形成通透度较大、林下层统一度变化较大的空间结构,从而充分发挥其游憩功能和特色。

致谢:得到北京市西山试验林场阎海平、李涛、王敏增、王奇峰等的大力协助。除作者外,吴见、王冠明、张海成、丁昌俊、李春荣、刘寅、肖随丽等14人也参加了外业调查,特此谢意!

参考文献:

- [1] 陈鑫峰,沈国舫.森林游憩的几个重要概念辨析[J].世界林业研究,2000,13(1):69-76.
CHEN Xinfeng, SHEN Guofang. Dissection of some concepts about forest recreation [J]. *World For Res*, 2000, 13(1): 69-76.
- [2] 董建文.福建中、南亚热带风景游憩林构建基础研究[D].北京:北京林业大学,2006.
DONG Jianwen. *Study on the Infrastructure of Scenic-recreational Forest in Mid-subtropics and Lower Subtropics of Fujian Province* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006.
- [3] 张荣,翟明普,阎海平.国内外风景游憩林抚育研究进展[J].北京林业大学学报,2004,26(2):109-113.
ZHANG Rong, ZHAI Mingpu, Yan Haiping. Advances of scenic recreational forest tending at home and abroad [J]. *J Beijing For Univ*, 2004, 26(2): 109-113.
- [4] 李效文.北京低山主要风景游憩林抚育技术模式研究[D].北京:北京林业大学,2008.
LI Xiaowen. *Studies on Tending Technology Model of the Main Scenic and Recreation Forests in Beijing Lower Mountainous Area* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2008.
- [5] 郭二果.北京西山典型游憩林生态保健功能研究[D].北京:中国林业科学研究院,2008.
GUO Erguo. *Ecological Health Effects of Typical Recreation Forests in West Mountain of Beijing* [D]. Beijing: The Chinese Academy of Forestry, 2008.
- [6] 巩劫,陆林,晋秀龙,等.黄山风景区旅游干扰对植物群落及其土壤性质的影响[J].生态学报,2009,29(5):2239-2251.
GONG Jie, LU Lin, JIN Xiulong, et al. Impacts of tourist disturbance on plant communities and soil properties in Huangshan Mountain scenic area [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, 29(5): 2239-2251.
- [7] 付裕,李传荣,申卫星,等.旅游活动对泰山登山中路植物群落种类组成及多样性的影响[J].中国农学通报,2009,25(6):215-219.
FU Yu, LI Chuanrong, SHEN Weixing, et al. Tourist effect on species composition and diversity of plant community in the middle way of Mountain Taishan [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2009, 25(6): 215-219.
- [8] 阎海平,谭笑,孙向阳,等.北京西山人工林群落物种多样性的研究[J].北京林业大学学报,2001,23(2):16-19.
YAN Haiping, TAN Xiao, SUN Xiangyang, et al. Studies on species diversity of plantation community on Beijing Xishan [J]. *J Beijing For Univ*, 2001, 23(2): 16-19.
- [9] 陈鑫峰,贾黎明,王雁,等.京西山区风景游憩林季相景观评价及经营技术原则[J].北京林业大学学报,2008,30(4):39-45.
CHEN Xinfeng, JIA Liming, WANG Yan, et al. Landscape estimation and management technique principles of different seasonal scenic and recreational forests in West Mountain, Beijing [J]. *J Beijing For Univ*, 2008, 30(4): 39-45.

- [10] 高贤明, 马克平, 陈灵芝. 暖温带若干落叶阔叶林群落物种多样性及其与群落动态的关系[J]. 植物生态学报, 2001, **25** (3): 283 - 290.
GAO Xianming, MA Keping, CHEN Lingzhi. Species diversity of some deciduous broad-leaved forests in the warm-temperate zone and its relations to community stability [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2001, **25** (3): 283 - 290.
- [11] 方精云, 沈泽昊, 唐志尧, 等. “中国山地植物物种多样性调查计划”及若干技术规范[J]. 生物多样性, 2004, **12** (1): 5 - 9.
FANG Jingyun, SHEN Zehao, TANG Zhiyao, *et al.* The protocol for the survey plan for plant species diversity of China's mountains [J]. *Biodiver Sci*, 2004, **12** (1): 5 - 9.
- [12] 沈年华, 万志洲, 汤庚国, 等. 紫金山栓皮栎群落结构及物种多样性[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26** (5): 696 - 700.
SHEN Nianhua, WAN Zhizhou, TANG Gengguo, *et al.* Community structure and species diversity of a *Quercus variabilis* forest on Mount Zijinshan [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26** (5): 696 - 700.
- [13] LATHAM P A, ZUURING H R, COBEL D W. A method for quantifying vertical forest structure [J]. *For Ecol Manag*, 1998, **104**: 157 - 170.
- [14] 郑景明, 张春雨, 周金星, 等. 云蒙山典型森林群落垂直结构研究[J]. 林业科学研究, 2007, **20** (6): 768 - 774.
ZHENG Jingming, ZHANG Chunyu, ZHOU Jinxing, *et al.* Study on vertical structure of forest communities in Yunmengshan [J]. *For Res*, 2007, **20** (6): 768 - 774.
- [15] 李国雷, 刘勇, 徐扬, 等. 间伐强度对油松人工林植被发育的影响[J]. 北京林业大学学报, 2007, **29** (2): 70 - 75.
LI Guolei, LIU Yong, XU Yang, *et al.* Effects of thinning intensity on the development of undergrowth in *Pinus tabulaeformis* plantations [J]. *J Beijing For Univ*, 2007, **29** (2): 70 - 75.
- [16] 张文辉, 王延平, 康永祥, 等. 太白山太白红杉种群空间分布格局研究[J]. 应用生态学报, 2005, **16** (2): 207 - 212.
ZHANG Wenhui, WANG Yanping, KANG Yongxiang, *et al.* Spatial distribution pattern of *Larix chinensis* population in Taibai Mt. [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16** (2): 207 - 212.
- [17] 韩路, 王海珍, 彭杰, 等. 塔里木河上游天然胡杨林种群空间分布格局与动态研究[J]. 西北植物学报, 2007, **27** (8): 1668 - 1673.
HAN Lu, WANG Haizhen, PENG Jie, *et al.* Spatial distribution patterns and dynamics of major population in *Populus euphratica* forest in upper reaches of Tarim River [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2007, **27** (8): 1668 - 1673.
- [18] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究()丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, **15** (3): 268 - 277.
MA Keping, HUANG Jianhui, YU Shunli, *et al.* Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China() species richness, evenness and species diversities [J]. *Acta Ecol Sin*, 1995, **15** (3): 268 - 277.
- [19] 茹文明, 张金屯, 张峰, 等. 历山森林群落物种多样性与群落结构研究[J]. 应用生态学报, 2006, **17** (4): 561 - 566.
RU Wenming, ZHANG Jintun, ZHANG Feng, *et al.* Species diversity and community structure of forest communities in Lishan Mountain [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, **17** (4): 561 - 566.
- [20] 周择福, 王延平, 张光灿. 五台山林区典型人工林群落物种多样性研究[J]. 西北植物学报, 2005, **25** (2): 321 - 327.
ZHOU Zefu, WANG Yanping, ZHANG Guangcan. Biodiversity of main typical manmade communities in forest region of Mountain Wutai, Shanxi [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2005, **25** (2): 321 - 327.
- [21] 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** (S): 1 - 139.
WU Zhengyi. The generic distribution region type of spermatophyte in China [J]. *Acta Bot Yunnan*, 1991, **13** (S): 1 - 139.
- [22] 雷向东. 东北过伐林区几种典型森林类型的物种和林分结构多样性及采伐的影响研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2000.
LEI Xiangdong. *Studies on Plant Species Diversity and Stand Structural Diversity of Typical Forest Types and Cutting Effects on Them in Over-logged Forests in Northeastern China* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2000.