

长白山阔叶红松林样地(CBS): 群落组成与结构^①

郝占庆¹ 李步杭^{1,2} 张健^{1,2} 王绪高¹ 叶吉^{1,2} 姚晓琳^{1,2}

(1 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016) (2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要 阔叶红松(*Pinus koraiensis*) 林是中国东北地区的地带性植被, 长白山区是阔叶红松林的核心分布区。参照巴拿马 Barro Colorado Island (BCI) 50 hm² 热带雨林样地的技术规范, 于2004年在长白山自然保护区的阔叶红松林内建立了一块 25 hm² 的固定样地(简称 CBS), 这是目前中国科学院生物多样性委员会中国森林多样性动态研究网络中最北端的一块, 也是全球温带地区最大的一块森林样地。2004 年夏的第一次调查结果表明, 样地内胸径≥1 cm 的木本植物有 52 种, 隶属于 18 科 32 属。总的独立个体数为 38 902, 包括分枝的总个体数为 59 121。植物组成上属典型的长白山植物区系, 同时混有一些亚热带和亚寒带成分。群落优势种明显, 个体数最多的前 3 个种的个体数占到总个体数的 60%, 前 14 个种占到 95%, 而其余 38 个种只占到 5%。从物种多度、胸高断面积、平均胸径和重要值来看, 群落成层现象显著, 具有比较明显的优势种。主要树种的径级结构近似于正态分布或双峰分布, 而次林层和林下层树种则表现出倒“J”形或“L”形。红松、紫椴(*Tilia amurensis*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、色木槭(*Acer mono*) 和春榆(*Ulmus japonica*) 几个主要树种的空间分布随物种、径级的变化表现出不同的分布格局, 其它一些树种的分布格局也表现出一定的空间异质性。

关键词 群落动态 空间格局 生物多样性 阔叶红松林 长白山

BROAD-LEAVED KOREAN PINE (*PINUS KORAIENSIS*) MIXED FOREST PLOT IN CHANGBAISHAN (CBS) OF CHINA: COMMUNITY COMPOSITION AND STRUCTURE

HAO Zhan-Qing¹, LI Bu-Hang^{1,2}, ZHANG Jian^{1,2}, WANG Xu-Gao¹, YE Ji^{1,2}, and YAO Xiao-Lin^{1,2}

¹Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China, and ²Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract Aims To ultimately understand of the mechanisms of species coexistence, the Chinese Academy of Sciences, in collaboration with the Center for Tropical Forest Science (CTFS) of the Smithsonian Tropical Research Institute, has recently initiated an ambitious large-scale, long-term forest dynamics and diversity plots network. Following the protocols of the CTFS forest dynamism plots, the China Network has been designed to establish four 20—25 hm² plots along the latitudinal gradient from North to South China. The Changbaishan plot (the CBS plot), the northern most plot of the China Network, is established for the benefit of understanding temperate forest ecosystem. This paper aims to address the community composition and structure of the CBS plot, serving as baseline information accessible for a wide range of future studies.

Methods Following the field protocol of the 50 hm² plot in Barro Colorado Island in Panama, a 25-hm² broad-leaved Korean pine mixed forest permanent plot of 500 m × 500 m was established in the summer of 2004 in Changbaishan. All free-standing individuals with DBH (diameter at breast height) ≥1 cm were tagged, mapped and identified to species.

Important findings There are 38 902 genotype individuals (59 121 individuals with branch), belonging to 52 species, 32 genera and 18 families. Floristic characteristics of the community belong to Changbaishan plant flora, including some tertiary relic species and subtropical species. Three species comprise 52.5% of all individuals, and 14 species comprise 95.2% of all individuals, while other 38 species comprise fewer than 5% of all individuals. The statistics of species abundance, basal area, mean DBH, and important value showed that there are obviously dominant species in the community. The size-class structure of main species in the overstory layer showed nearly normal or bimodal distribution, while the species in the midstory and understory layers

① 收稿日期: 2007-12-18 接受日期: 2008-01-03
基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-430)、国家自然科学基金项目(30570306 和 30700093) 和国家科技支撑计划项目(2006BAD03A09)
感谢中国科学院生物多样性委员会对长白山大样地工作的大力支持; 感谢加拿大 Alberta 大学何芳良教授、台湾东海大学孙义方教授、中国科学院植物研究所马克平研究员和美国 Clemson 大学宋波教授, 在样地选址、野外调查等方面给予的支持和帮助
E-mail: hzx@iae.ac.cn

showed invert “J” distribution, even “L” distribution. Spatial distribution patterns of the main species, *Pinus koraiensis*, *Tilia amurensis*, *Quercus mongolica*, *Fraxinus mandshurica*, *Acer mono* and *Ulmus japonica*, changed differently with size-class and scales. Meanwhile, spatial patterns of some other species also showed spatial heterogeneity.

Key words community dynamics, spatial pattern, biodiversity, broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest, Changbaishan

DOI: 10.3773/j.issn.1005-264x.2008.02.002

群落的组成与结构是生态系统功能和过程的基础,对群落组成与结构的分析可以为进一步揭示物种共存规律及其形成机制提供重要信息(Loreau *et al.*, 2001)。尽管人们对组成与结构的研究已有较长的历史,但客观地讲,对其中的许多问题至今依然无法给予较全面的解释,如森林生态系统结构动态和物种组成的关系、特有种种群的分布格局、稀有种的生境需求、物种共存的维持机制和生物多样性的监测和指标体系等。这些问题靠短时期、小样地上的研究是无法给予合理解答的,而建立较大面积的固定样地以进行长期的动态监测则是解答诸多问题的有效途径(Condit, 1995)。固定样地长期动态监测所获得的数据信息不仅能够为种群生态学和群落生态学理论以及模型的验证提供量化的数据,有利于判断环境变化和人为干扰对生物多样性的影响,而且可以为其它相关研究如民族植物学、生殖生态学和保护生物学提供有力支持。

为了对热带雨林的生物多样性进行长期监测,Stephen Hubbell 和 Robin Foster 等于 20 世纪 80 年代初在巴拿马 Barro Colorado Island (BCI) 的热带雨林建立了一块 50 hm² 的森林样地(Hubbell & Foster, 1986; Condit, 1995, 1998; Condit *et al.*, 2002),对样地内所有胸径 ≥ 1 cm 的木本植物的胸径、位置、种名和状态(存活、倾斜和枯立等)进行准确测量和记录,之后每五年复查 1 次,到目前为止已经完成了 6 次调查。BCI 样地的研究成果在研究生物多样性的维持机制、物种的空间分布格局和群落动态等方面体现了极其重要的价值,在相关领域产生了巨大的影响(Condit *et al.*, 2000; Condit *et al.*, 2006; Hubbell, 2001; Nathan, 2006)。在史密森热带研究所(Smithsonian Tropical Research Institute)的热带森林科学研究中心(the Center for Tropical Forest Science, CTFS)和哈佛大学阿诺德植物园(Arnold Arboretum, Harvard University)的推动下,近 20 年来已在全球热带地区的 15 个国家建立起 20 个类似的样地,形成了热带森林生物多样性监测网络,目前该网络正在监测的树木包括 300 多万个个体、6 000 多个树种,几乎是热带地

区已知树种的 10%(<http://www.ctfs.si.edu>)。虽然 CTFS 网络已经覆盖了热带地区的大部分森林类型,但在其它区域,特别是在温带地区,还没有开展类似的研究工作。因此,在温带森林用类似的方法建立固定样地,以验证和比较基于热带森林样地数据所提出或证实的诸多理论或假说(Brokaw, 1987; Condit *et al.*, 2000; Condit *et al.*, 2006; Hubbell, 2001),具有极其重要的科学意义。

长白山阔叶红松林是中国东北东部山区的地带性森林植被,是温带针阔混交林的典型代表,和全球同纬度地区的森林相比,以其建群种独特、物种多样性丰富及含有较多的亚热带成分而著称。在过去的 20 多年中,已有研究者在物种组成、生物多样性和群落动态等方面做了一些研究工作(王战等, 1980; 李文华等, 1981; 阳含熙等, 1985; 郝占庆等, 1994; 陶大力等, 1995; 孙伟中和赵士洞, 1997; 徐振邦等, 2001)。但由于研究尺度和研究方法的限制,很多的生态学现象和规律,如物种的空间分布格局、物种的共存机制、群落更新和演替的内在机制等,还无法给予合理的解释,小面积样地的调查结果甚至会提供一些不确切的信息。因此在阔叶红松林建立大面积的固定样地,进行长期动态监测与研究是十分必要的。

基于上述考虑,参照 BCI 50 hm² 样地的技术规范,2004 年在长白山阔叶红松林中建立了一块 25 hm² 的固定样地(以下简称为 CBS 样地),这是中国森林多样性监测网络(<http://www.cfbiodiv.org>)最北端的一块,也是目前全球温带地区最大的一块森林样地。本文从物种组成、区系特征、径级结构和空间分布格局等几个方面对样地做一概括性的介绍。

1 研究区及样地概况

1.1 研究区概况

长白山位于中国东北地区吉林省东南部的中朝交界处,是中国东北地区松花江、鸭绿江和图们江 3 大河流的发源地。位于中国境内的白云峰,海拔 2 691 m,是东北地区第一高峰。由于特殊的自然条件及历史、社会原因,使得长白山成为我国乃至全球

自然生态系统保存最为完整的地区之一,具有亚洲东部典型的山地森林生态系统。长白山自然保护区, $41^{\circ}43' \sim 42^{\circ}26' \text{ N}$, $127^{\circ}42' \sim 128^{\circ}17' \text{ E}$, 始建于1960年,是我国目前面积最大、自然环境和生态系统保存最为完整的森林生态系统保护区之一。1979年被联合国科教文组织纳入“人与生物圈计划”保护网(郝占庆等, 2002)。

本地区气候属于受季风影响的温带大陆性气候,冬季寒冷而漫长,夏季温暖多雨且短暂。气候随海拔高度的变化较大。山脚表现出典型的暖温带气候,山顶却表现出复杂、多变的近极地气候(王战等, 1980)。降水量随海拔的上升而逐渐增加,山下平均年降水为600~900 mm,而山顶年降水为1340 mm,最多年份曾达1809 mm。降水多集中在夏季,冬季虽然降雪期很长,但降水量并不大。水热条件及地质地貌的差异,形成了长白山北坡明显的土壤垂直带谱,从上而下依次为:高山冻原土(2000 m以上)、山地生草森林土(1800~2000 m)、山地棕色针叶林土(1100~1800 m)、山地暗棕色森林土(1100 m以下)(许广山等, 1980; 程伯容等, 1984)。

巨大的海拔差异,导致水热条件的明显不同,从而形成了长白山从下而上明显的环境梯度,造就了长白山类型多样的自然植被,特别是随海拔高度的变化,呈现出明显的垂直分布带谱,构成了独特的自然景观格局(郝占庆等, 2002)。在水平距离仅40多公里的坡面上,包罗了从温带到极地水平上数千公里的植被景观,是欧亚大陆从中温带到寒带主要植被类型的缩影。山下部的阔叶红松林(海拔1100 m以下)是世界上已为数不多的大面积原生针阔混交林,与同纬度的欧美地区相比,以其结构复杂、组成独特和生物多样性丰富而著称;以鱼鳞云杉(*Picea jezoensis* var. *komarovii*)和臭冷杉(*Abies nephrolepis*)为主要建群种的暗针叶林(海拔1100~1800 m),具有典型的北方山地森林的特点,构成了长白山北坡森林植被的主体;亚高山岳桦(*Betula ermanii*)林(海拔1800~2000 m),是一种以单一乔木树种为主的林线植被,构成了独特的亚高山地带森林景观;高山冻原(海拔2000~2600 m),是我国唯一具有典型北极冻原特征的植被(薛达元, 1997)。

1.2 材料与方法

1.2.1 样地设置与概况

CBS样地位于长白山北坡长白山自然保护区, $42^{\circ}23' \text{ N}$, $128^{\circ}05' \text{ E}$, 面积为25 hm² (500 m×500 m),

主林层林龄约300 a、平均高约为26 m,是典型的复层异龄林。样地平均海拔为801.5 m,最高海拔809.5 m,最低海拔791.8 m,最大高差17.7 m。整个样地较为平缓,但局部地区有一些小的起伏(图1)。参照BCI 50 hm²样地的技术规范,用全站仪把样地分成625个20 m×20 m的样方,每个20 m×20 m的样方又分为16个5 m×5 m的小样方。样方内所有胸径≥1 cm的木本植物的种名、胸径和坐标被准确测量并挂牌。样地群落的垂直结构层次明显:树高20 m以上为主林层,主要树种有红松(*Pinus koraiensis*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)和水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)等;次林层高约10~20 m,主要树种有色木槭(*Acer mono*)、青楷槭(*Acer tegmentosum*)、假色槭(*Acer pseudo-sieboldianum*)和怀槐(*Maackia amurensis*)等;10 m以下为林下层,主要树种有毛榛(*Corylus heterophylla*)、簇毛槭(*Acer barbinerve*)、漫荊(*Deutzia amurensis*)、刺五加(*Acanthopanax senticosus*)、东北茶藨子(*Ribes mandshuricum*)和卫矛(*Evonymus alatus*)等;草本层主要有蚊子草(*Filipendula palmate*)、分株紫萁(*Osmunda cinnamomea*)、猴腿蹄盖蕨(*Actinidia kolomikta*)、狭叶荨麻(*Urtica angustifolia*)、美汉草(*Meehanian urticifolia*)和木贼(*Hippochaete hyemale*)等(阳含熙和伍业钢, 1988; 徐化成, 2001; 代力民等, 2004; 郝占庆等, 2003)。

1.2.2 统计方法

采用R 2.6软件和EXCEL对数据进行分析、统计,种-面积曲线采用随机取样法,径级分布图采用的径级间隔大小为2 cm。

2 结果与讨论

2.1 物种组成与区系特征

CBS样地的木本植物共52种,其中乔木28种、灌木22种、藤本2种,隶属于18科32属,包括裸子植物1科2属3种、被子植物17科30属49种,涵盖了阔叶红松林中的大部分物种。针叶树种主要是红松,阔叶树种主要有紫椴、蒙古栎、水曲柳、春榆(*Ulmus japonica*)、裂叶榆(*Ulmus laciniata*)、大青杨(*Populus ussuriensis*)及槭属的色木槭和拧劲槭(*Acer triflorum*)等,这些都是长白植物区系的代表种。其中红松、水曲柳、春榆和白桦(*Betula platyphylla*)属于第三纪子遗种,表明其植物区系的古老性(郝占庆等, 2002)。此外,样地内还包括一些南鄂霍次克植物区

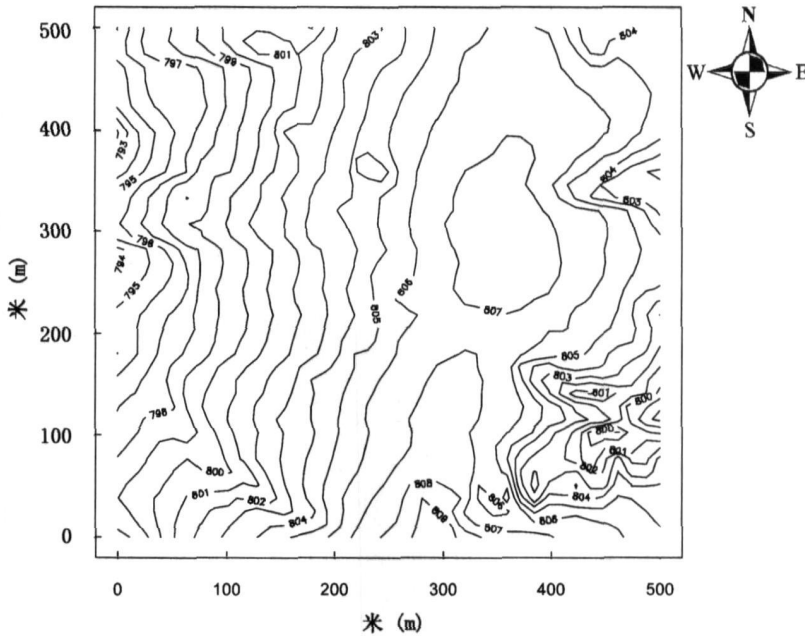


图1 长白山(CBS)样地等高线图
Fig. 1 The topography map in Changbaishan (CBS) plot

系的物种,如臭冷杉、沙松冷杉(*Abies holophylla*),以及一些典型的南方藤本植物,如山葡萄(*Vitis amurensis*)和狗枣猕猴桃(*Actinidia kolomikta*)。这些南北植物种的渗入,使该样地增添了一些亚热带和亚寒带的特色(钱宏, 1989; 傅沛云等, 1995)。

CBS 样地的活个体数为 59 121, 不包括分枝的独立个体数为 38 902(表 1), 本文所用的统计数据都是基于独立个体数。不同径级的个体数表现出巨大的差异, $DBH < 10$ cm、 $DBH \geq 10$ cm、 $DBH \geq 30$ cm、 $DBH \geq 50$ cm 的个体数分别为 28 375、10 527、4 606 和 1 680, 由此也可看出群落垂直层次的较大差异。不同物种的个体数也存在着极大差异: 个体数超过 1 000 的物种, 包括主林层物种紫椴、红松、春榆, 次林层物种色木槭、假色槭、暴马丁香(*Syringa reticulata*), 以及林下层物种毛榛、簇毛槭, 这些树种的个体数之和占到了样地总个体数的 83.38%; 个体数最多的毛榛有 7 831 个个体, 而花楸(*Sorbus pohuashanensis*)、狗枣猕猴桃、山刺玫(*Rosa davurica*) 3 个种都只有 1 个个体。从物种多度的累计分布图可以看出(图 2), 个体数最多的前 3 个物种的个体数占总个体数的 60%, 前 14 个种的个体数占总个体数的 95%, 而其它 38 个种个体数之和还不到样地总个体数的 5%。Hubbell 和 Foster (1986) 把单位公顷的个体数少于或等于 1 的种定义为稀有种, 1~10 的为偶见种。按此定义, 样地内有稀有种 18 个, 偶见种

16 个, 分别占总物种数的 34.6% 和 30.8%。

CBS 样地内 $DBH \geq 1$ cm 的个体的总胸高断面面积为 $43.23 \text{ m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其中, 胸高断面面积大于 $1 \text{ m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$ 的物种由大到小依次为紫椴、红松、蒙古栎、水曲柳、色木槭、春榆、假色槭和大青杨 8 个物种, 其胸高断面面积之和占样地总胸高断面面积的 95.29%。在这 8 个物种中, 前 6 个物种的胸高断面面积占总胸高断面面积的 89.99%, 表明这 6 个种在该群落中占据了绝对优势。胸高断面面积较高的 16 个物种均属乔木树种, 即群落中的主林层或次林层物种; 而林下层物种的胸高断面面积都比较小, 22 种灌木的总胸高断面面积仅为 $0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$, 个体数最多的毛榛也只有 $0.08 \text{ m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

样地内所有个体的平均胸径为 10.52 cm, 主林层、次林层、林下层树种的平均胸径分别为 32.2、6.8 和 1.9 cm, 主林层树种的平均胸径远大于次林层、林下层树种的平均胸径。主林层物种的个体集中分布于胸径 30~50 cm, 次林层物种的个体主要集中于胸径 4~30 cm 的较大范围内, 而林下层物种胸径主要集中于 1~3 cm。

基于物种的相对频度、相对优势度和相对多度, 我们计算了各个物种的重要值(表 1)。结果表明, 同胸高断面面积一样, 重要值最大的两个树种为紫椴和红松, 分别为 14.82 和 12.35。重要值大于 5 的物种共 8 个, 从大到小依次为紫椴、红松、色木槭、毛

表 1 CBS 样地的物种组成
Table 1 Species composition in the CBS plot

物种名 Species	科 Families	多度 Abundance	胸高断面面积 Basal area (m ² ·hm ⁻²)	平均胸径 Mean DBH (cm)	重要值 Important value
毛榛 <i>Corylus mandshurica</i>	Betulaceae	7 834	0.081 4	1.73	9.59
色木槭 <i>Acer mono</i>	Aceraceae	6 609	2.685 5	7.45	10.64
假色槭 <i>Acer pseudo-sieboldianum</i>	Aceraceae	5 984	1.095 3	6.14	8.57
簇毛槭 <i>Acer barbinerve</i>	Aceraceae	3 911	0.081 2	2.3	5.86
紫椴 <i>Tilia amurensis</i>	Tiliaceae	2 927	12.312 3	31.27	14.82
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	Pinaceae	2 468	9.788 9	32.58	12.35
暴马丁香 <i>Syringa reticulata</i>	Oleaceae	1 598	0.089 3	3.77	3.02
春榆 <i>Ulmus japonica</i>	Ulmaceae	1 109	1.811 5	14.14	4.31
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	Fagaceae	926	6.500 8	41.25	8.02
青楷槭 <i>Acer tegmentosum</i>	Aceraceae	846	0.107 5	4.62	1.99
怀槐 <i>Maackia amurensis</i>	Leguminosae	753	0.334 6	10.53	2.27
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	Oleaceae	681	5.808 4	47.94	6.71
稠李 <i>Prunus padus</i>	Rosaceae	515	0.078 4	4.85	0.94
东北山梅花 <i>Philadelphus schrenkii</i>	Saxifragaceae	470	0.002 6	1.27	1.60
糠椴 <i>Tilia mandshurica</i>	Tiliaceae	410	0.303 5	9.81	0.87
拧劲槭 <i>Acer triflorum</i>	Aceraceae	276	0.112 3	8.67	0.95
白牛槭 <i>Acer mandshuricum</i>	Aceraceae	251	0.089 6	7.07	0.84
裂叶榆 <i>Ulmus laciniata</i>	Ulmaceae	192	0.054 6	5.85	0.60
毛山楂 <i>Crataegus maximowiczii</i>	Rosaceae	121	0.002	2.08	0.35
乌苏里鼠李 <i>Rhamnus ussuriensis</i>	Rhamnaceae	118	0.035 4	7.57	0.54
茶条槭 <i>Acer ginnala</i>	Aceraceae	108	0.005 4	3.41	0.30
山丁子 <i>Malus baccata</i>	Rosaceae	106	0.037 7	6.85	0.48
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	Betulaceae	96	0.160 0	21.45	0.48
山梨 <i>Pyrus ussuriensis</i>	Rosaceae	74	0.041 4	9.08	0.34
黄檗 <i>Phellodendron amurense</i>	Rutaceae	60	0.080 9	19.85	0.34
鸡树条荚蒾 <i>Viburnum sargentii</i>	Caprifoliaceae	43	0.000 3	1.38	0.17
小楷槭 <i>Acer tschonoskii</i>	Aceraceae	39	0.002 8	4.10	0.11
卫矛 <i>Euonymus alatus</i>	Celastraceae	38	0.000 3	1.50	0.19
瘤枝卫矛 <i>Euonymus pauciflorus</i>	Celastraceae	37	0.000 3	1.49	0.18
刺五加 <i>Acanthopanax senticosus</i>	Araliaceae	35	0.000 2	1.25	0.12
大青杨 <i>Populus ussuriensis</i>	Salicaceae	30	1.194 3	104.85	1.08
单花忍冬 <i>Lonicera monantha</i>	Caprifoliaceae	27	0.000 2	1.38	0.13
山杨 <i>Populus davidiana</i>	Salicaceae	27	0.078 1	23.68	0.18
鼠李 <i>Rhamnus davurica</i>	Rhamnaceae	26	0.004 5	6.20	0.14
暖木条荚蒾 <i>Viburnum burgaetium</i>	Caprifoliaceae	23	0.000 1	1.28	0.09
接骨木 <i>Sambucus williamsii</i>	Caprifoliaceae	19	0.000 3	2.07	0.09
水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i>	Rosaceae	19	0.003 8	6.67	0.07
山樱桃 <i>Cerasus maximowiczii</i>	Rosaceae	18	0.002 7	5.44	0.10
枫桦 <i>Betula costata</i>	Betulaceae	16	0.048 4	25.33	0.13
辽东蕁木 <i>Aralia elata</i>	Araliaceae	12	0.000 2	2.01	0.05
翅卫矛 <i>Euonymus macropterus</i>	Celastraceae	10	0.000 1	1.56	0.04
花曲柳 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	Oleaceae	10	0.004 2	9.88	0.04
金刚鼠李 <i>Rhamnus diamantiaca</i>	Rhamnaceae	7	0.000 7	4.60	0.03
香杨 <i>Populus koraiana</i>	Salicaceae	5	0.154 1	91.86	0.14
臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	Pinaceae	4	0.022 1	38.10	0.03
珍珠梅 <i>Sorbaria sorbifolia</i>	Rosaceae	4	0	1.28	0.01
松杉冷杉 <i>Abies holophylla</i>	Pinaceae	3	0.016 6	35.53	0.03
东北茶藨子 <i>Ribes mandschuricum</i>	Saxifragaceae	2	0	1.35	0.01
山葡萄 <i>Vitis amurensis</i>	Vitaceae	2	0.000 1	2.50	0.01
狗枣猕猴桃 <i>Actinidia kolomikta</i>	Actinidiaceae	1	0	2.50	0.01
山刺玫 <i>Rosa davurica</i>	Rosaceae	1	0	1.00	0.01
花楸 <i>Sorbus pohuashanensis</i>	Rosaceae	1	0.000 5	13.10	0.01
总计 Total		38 902	43.235 4		

本表以不带分枝的个体数从多到少的顺序排列 Arranged by the number of individuals without branches

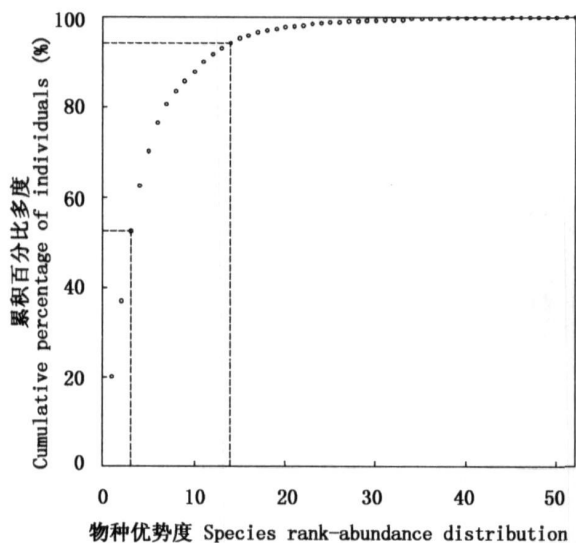


图2 物种多度的累计分布图

Fig.2 Cumulative distribution curve of species abundance

榛、假色槭、蒙古栎、水曲柳和簇毛槭。从物种多度、胸高断面积和平均胸径 3 个指标可以看出: 一些种既有较多的个体数, 也有较大的平均胸径, 因此胸高断面积也大, 这些种属主林层树种, 如紫椴、红松和蒙古栎等; 一些物种个体数很多, 但平均胸径很小, 胸高断面积也小, 这些种属林下层的优势种, 如毛榛和簇毛槭等; 还有一些物种虽然平均胸径很大, 但个体数很少, 因此胸高断面积较小, 如香杨 (*Populus koreana*) 和臭冷杉等主林层的稀有种。此外, 林下层中不同物种的个体数差异巨大, 个体数最多与最少的物种都在该层。同时, 该层包括了 10 个稀有种, 占样地总稀有种数量的 55%, 在很大程度上增加了该群落的物种多样性。

从种-面积曲线及个体数-面积曲线可以看出, 种-面积曲线的斜率开始阶段随取样面积的增加而迅速降低(图 3A), 当取样面积超过 5 hm^2 时, 曲线斜率趋于稳定, 物种数随取样面积增加缓慢; 而个体数-面积曲线的斜率基本保持恒定(图 3B), 个体数随取样面积呈线性增加。当取样面积达 5 hm^2 时, 有 41 个物种、7 940 多个个体, 约占样地总物种数的 80%、总个体数的 20%。

2.2 径级结构

CBS 样地中所有个体的总的径级分布呈明显的倒“J”形, 胸径 1~4 cm 的个体数占总个体数的 56.22%(图 4A)。主林层物种的径级分布呈偏正态分布(图 4B), 以胸径 40 cm 为峰值向两边递减, 66% 的个体集中在胸径 20~60 cm; 次林层物种的径级分

布呈倒“J”形分布(图 4C), 68% 的个体分布在胸径 1~7 cm, 另外胸径 7~25 cm 的个体数随径级增大逐渐减少, 没有出现明显的断层; 林下层物种 90% 以上的个体集中在 1~3 cm 的范围内, 而在胸径大于 3 cm 只有少量的个体, 且径级分布出现明显的断层现象, 即呈“L”形分布(图 4D)。

进一步对主要树种的径级结构分析可以看出, 红松的径级结构近似于正态分布, 53% 的个体集中在胸径 20~40 cm, 在 $DBH < 10 \text{ cm}$ 只有 25 棵, $DBH > 80 \text{ cm}$ 只有 15 棵(图 5A)。紫椴和蒙古栎的径级结构呈现出双峰现象: 在胸径 1~15 cm 呈现出倒“J”形, 而在较大的径级近似于正态分布, 分别在胸径 25~60 cm 和 30~70 cm 出现了两个明显的峰(图 5B、5C)。水曲柳的个体主要集中在胸径 40~70 cm, 约占该物种总个体数的 59%, 形成一个明显的峰, 而在胸径 1~10 cm 仅 34 棵(图 5D)。春榆和色木槭呈现倒“J”形的分布, 甚至近“L”形结构(图 5E、5F)。

样地所有个体总的径级结构呈倒“J”形, 径级较小的个体主要是一些林下层物种, 如毛榛、簇毛槭和暴马丁香等, 这些种径级普遍较小, 而数量巨大, 这就形成了群落总体小径级个体很多, 大径级个体较少的倒“J”形径级结构。从对群落组成和结构具有决定性影响的主林层树种的径级结构图可以看出, 该森林是稳定的森林群落, 符合地带性森林群落的特征。

2.3 主要树种的空间分布格局

CBS 样地几个主要树种的空间分布格局随径级的变化而表现出不同的格局(图 6)。红松在 $DBH < 10 \text{ cm}$ 只有 25 个个体, 没有表现出明显的聚集性; DBH 在 10~30 cm 的个体多主要分布在样地的中部, 表现出轻微的聚集; $DBH \geq 30 \text{ cm}$ 的个体在样地西北角分布较少, 而在其它区域有较多的分布。3 个径级的紫椴都有一定数量的个体分布于整个样地内, 且以 $DBH \geq 30 \text{ cm}$ 的个体数最多, 占该物种总个体数的 57.1%。蒙古栎 $DBH < 10 \text{ cm}$ 和 DBH 在 10~30 cm 的个体多分布在样地的西部, 并表现出明显的聚集性; $DBH \geq 30 \text{ cm}$ 的个体大多分布于样地的东部, 但样地的西部也有一定数量的个体存在。水曲柳以大径级的个体占多数, $DBH \geq 30 \text{ cm}$ 的个体达 532 棵, 占该物种总个体数的 78.1%, 且在样地的西部表现出一定的聚集性; 而 $DBH < 10 \text{ cm}$ 的个体仅有 34 个, 表现出轻微的聚集性; DBH 在 10~30 cm 的个体多分布在样地的西部。春榆在 $DBH < 10 \text{ cm}$

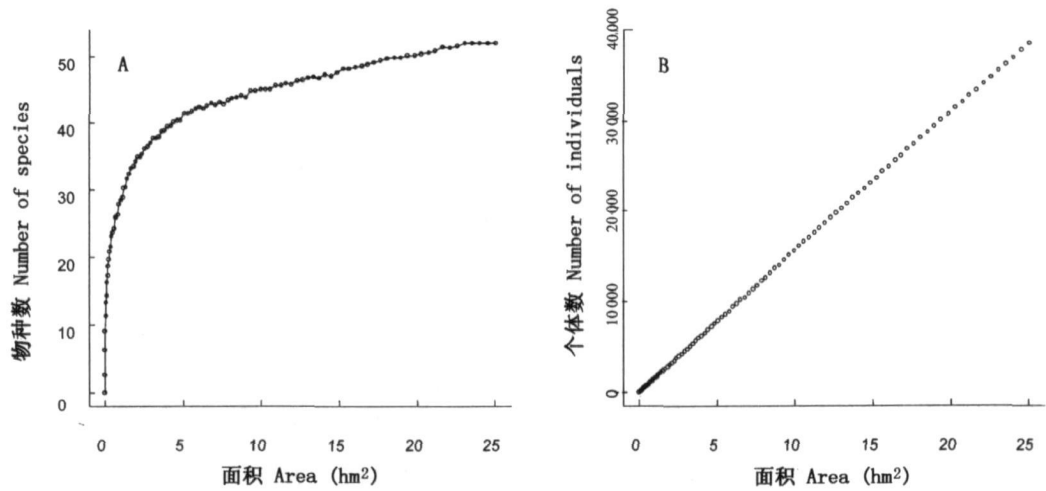


图 3 种-面积曲线和个体数-面积曲线
Fig. 3 Species-area curve and individual-area curve

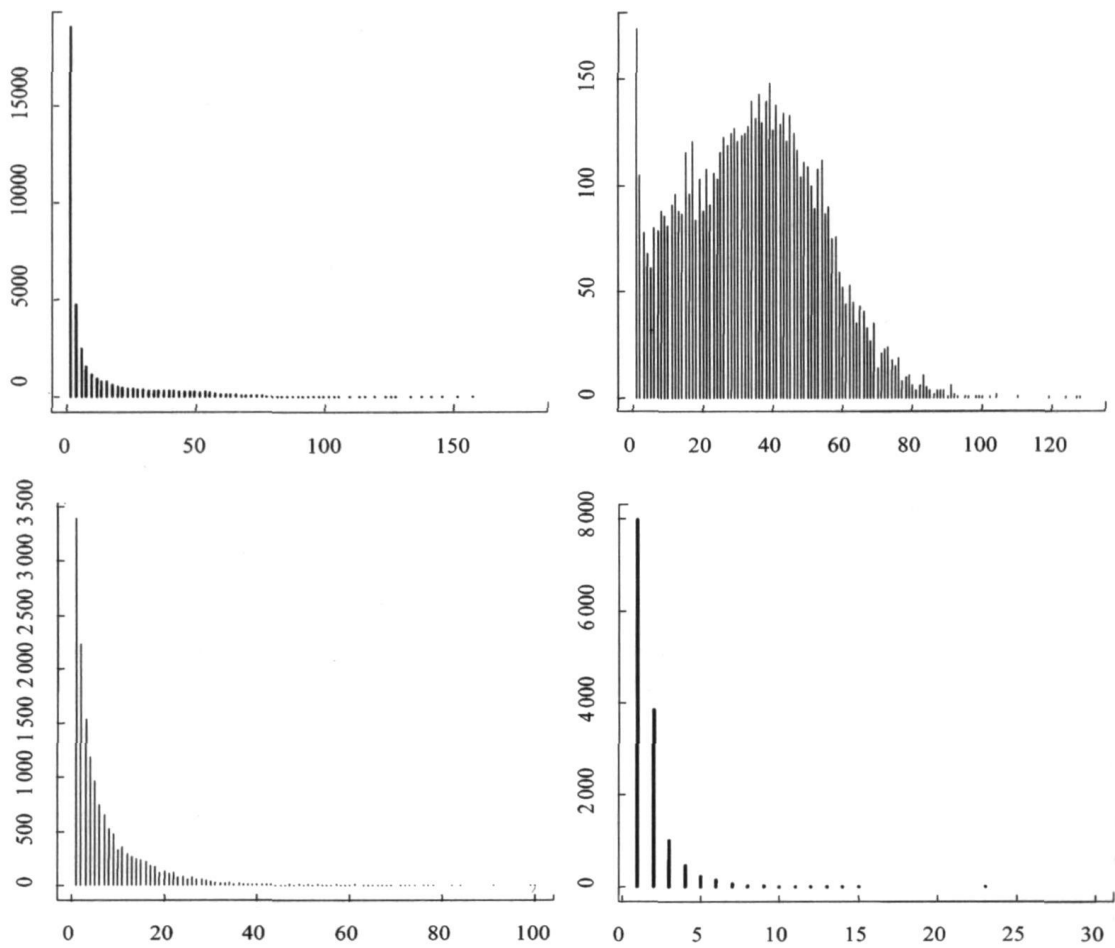


图 4 不同林层物种的径级结构图
Fig. 4 Size-class distribution of different vertical layers

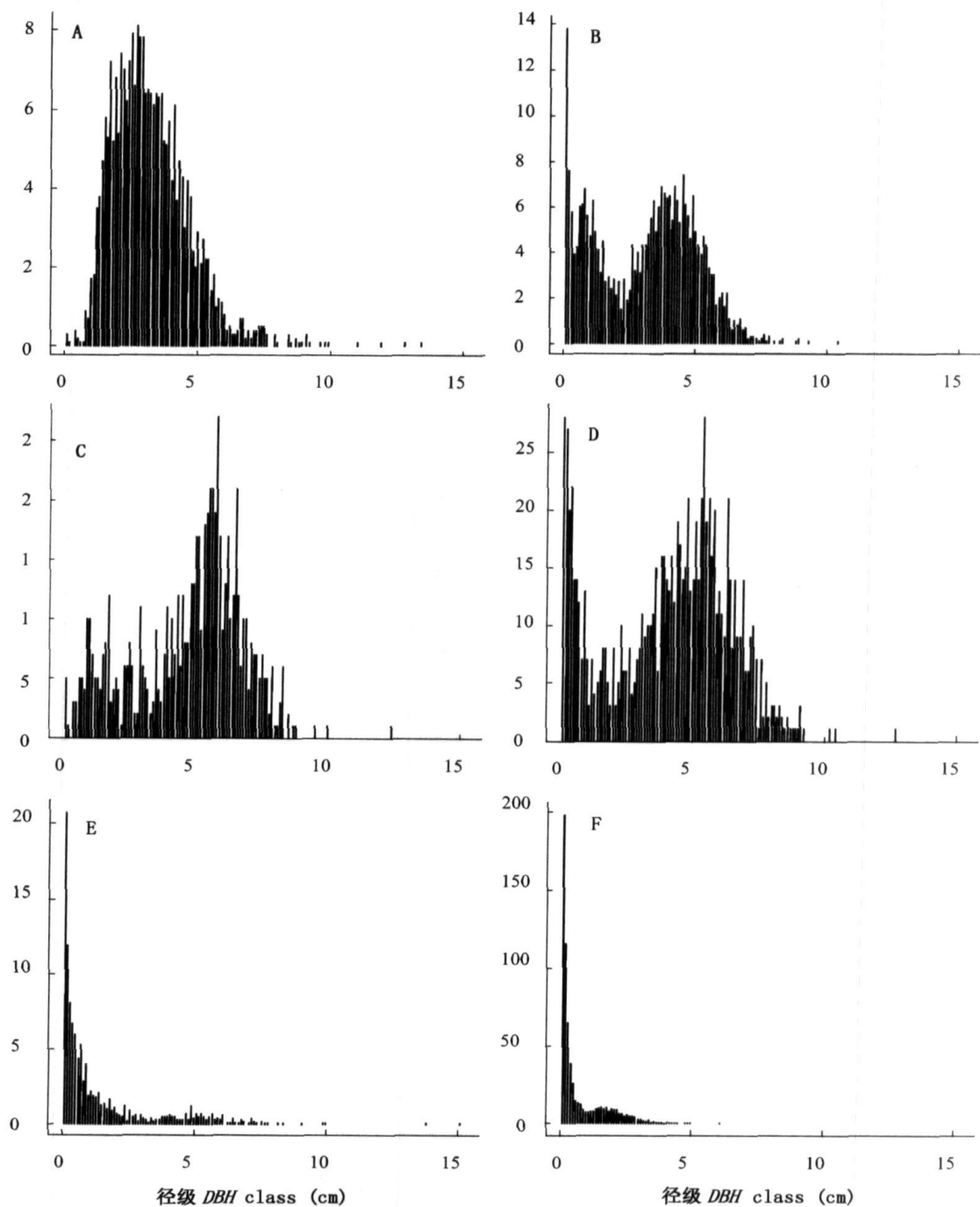


图 5 6 个主要树种的径级结构图
Fig. 5 Size class distribution of six main species

有 700 个个体, 占该物种总个体数的 63 %, 且在整个样地都有分布; DBH 在 10 ~ 30 cm 和 DBH ≥ 30 cm 的个体多分布于样地的西部, 且表现出较明显的聚集性。色木槭的分布也表现出一定的聚集性, 尤其是 DBH < 10 cm 更为明显。总之, 几个主要树种在 3 个径级的空间分布格局可归纳为 3 种形式: 一是该物种在大径级个体分布较多的区域, 小径级个体则

分布较少, 如紫椴和蒙古栎; 二是该物种大径级和小径级的个体基本上分布于同一区域, 即在大径级个体分布较多的区域, 小径级分布也较多, 如水曲柳和春榆; 三是该物种在大径级和小径级的空间分布没有表现出明显的相关性, 如红松和色木槭。

2.4 其它树种的空间分布格局

除几个主要树种外, 其它树种的分布格局也随

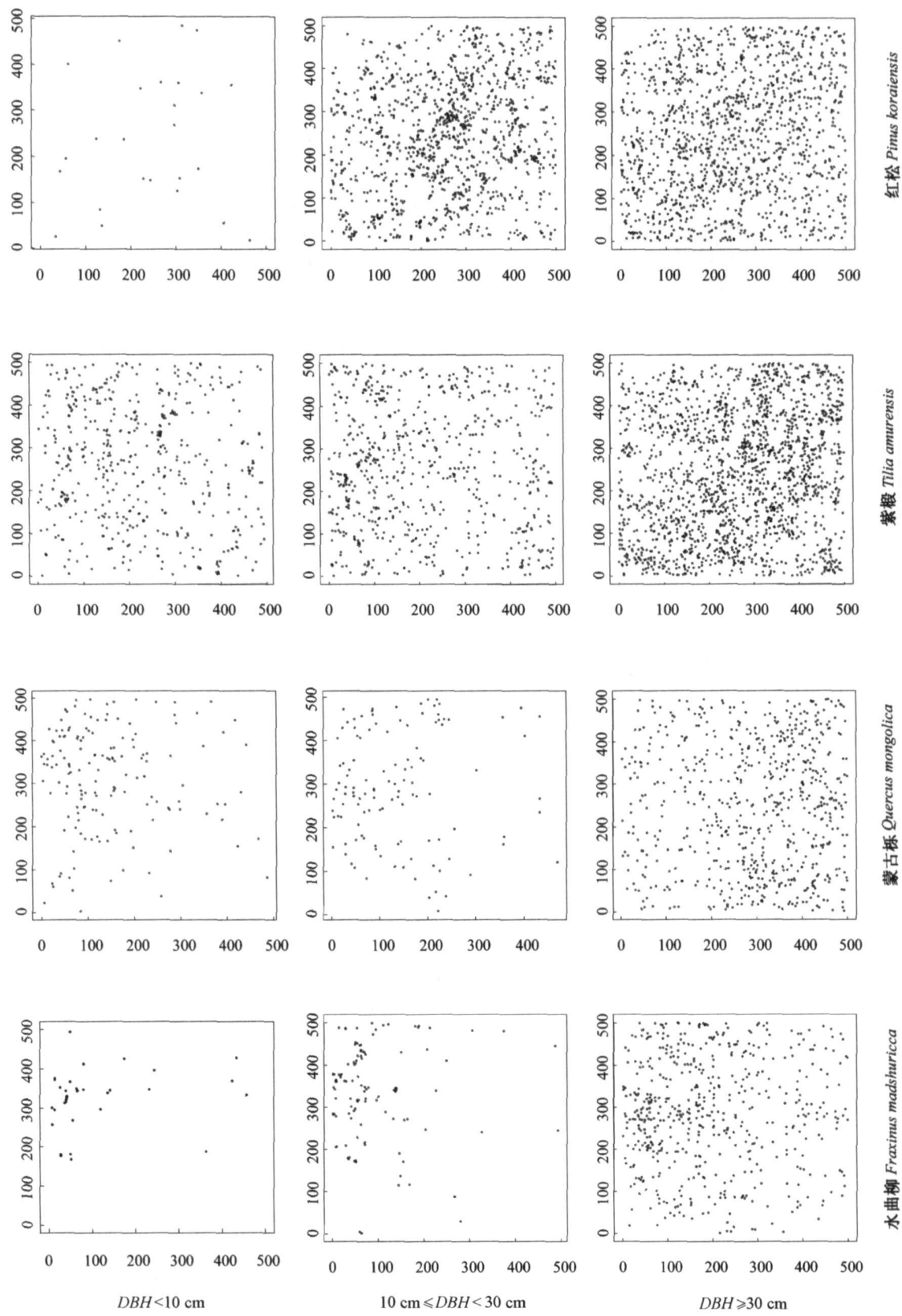


图6 6个主要树种在3个不同径级的空间分布格局
Fig. 6 Spatial distribution patterns of six main species at three DBH classes

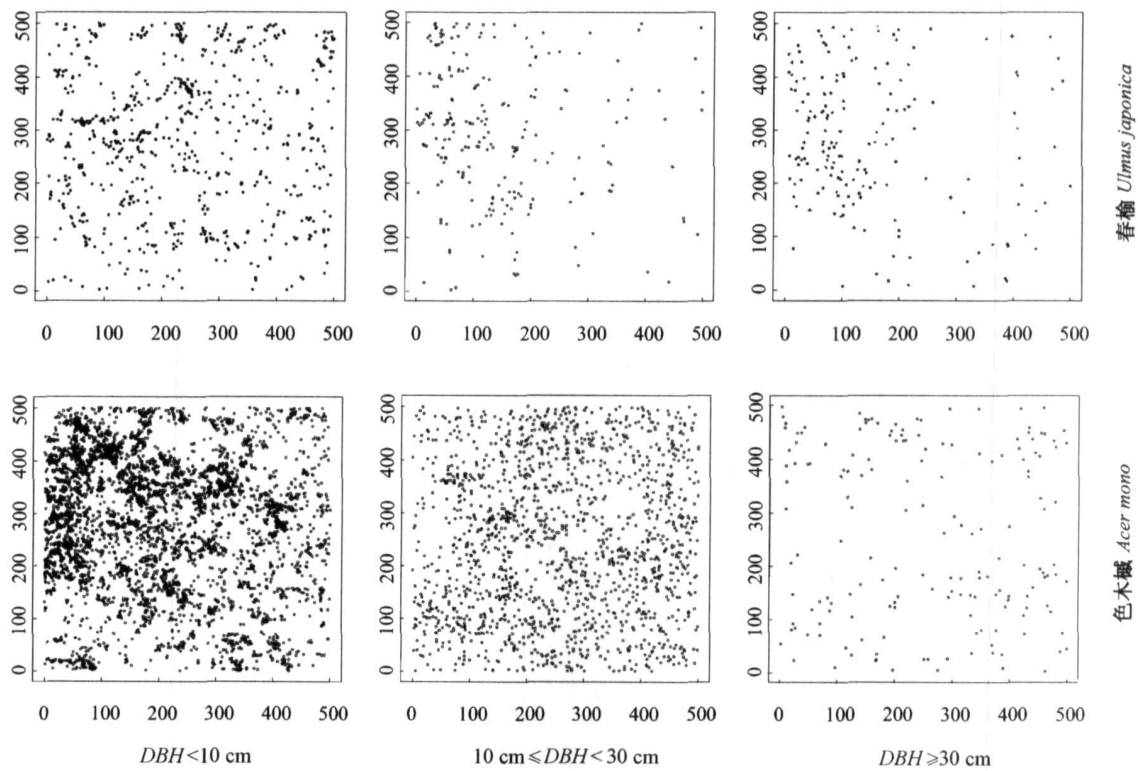


图6 (续) Fig. 6 (Continued)

物种的不同而呈现出不同的格局(图7)。在地形较复杂的区域,如样地东南角,均有糠椴、裂叶榆的分布,且大部分分布在上坡位,两个物种的分布格局基本上重叠在一起,与地形表现出明显的相关性(图7A、7B)。青楷槭、白牛槭和暴马丁香等物种的空间分布也表现出明显的空间异质性,这3个物种的个体大多数分布于地形较为复杂的东部以及西南区域(图7C、7D)。白桦和山杨等一些先锋树种个体数较少,但却集中分布在样地西北角,而在该区域的冠层中群落建群种红松、紫椴和蒙古栎分布较少,该区域初步判断是属于若干年前受到过干扰的区域,更为准确的结论有待进一步研究(图6A、6D、6G和图7E)。与以上几个树种不同的是,个体数最多的树种毛榛在整个样地都有分布(图7F)。此外,样地内一些偶见种或稀有种如小楷槭(*Acer tschonoskii*)、鸡树条英蓼(*Viburnum sargentii*)等的空间分布格局也表现出一定的空间异质性。

综上所述,CBS样地属典型的阔叶红松林,地势平缓,植物种类丰富,区系属长白植物区,同时又有一些亚热带和亚寒带成分渗入。物种多度、胸高断面面积和平均胸径这3个反映物种组成与结构特征的

指标,在物种之间存在较大差异。红松、紫椴和蒙古栎等几个物种在样地内占有绝对的优势,属于该群落的优势种,从具有明显的优势种这一特点来说,CBS样地与热带雨林是不同的(Hubbell, 1979; Condit, 1995; He *et al.*, 1997; Condit *et al.*, 1999)。径级结构的分析表明:3个林层由上到下呈现出3种不同的结构类型:偏正态分布、倒“J”形和“L”形;单个物种的径级结构也表现出与该物种所在林层相似的径级结构,但不同物种之间依然存在着极大的差异。红松、紫椴、蒙古栎、水曲柳、春榆和色木槭6个主要树种的空间分布格局随径级而变化,虽然不同物种和不同径级之间其空间分布格局也存在着明显不同,但这些物种的分布都表现出一定的聚集性,其它物种的分布格局表现出较明显的空间异质性。CBS样地的群落结构与组成的分析,给我们提供了许多基本的信息,有助于我们进一步认识其物种共存机制、群落动态以及更新演替规律等。CBS样地的建设,为温带森林生物多样性及相关生态学研究提供了很好的基础平台,对于全球森林生物多样性的对比研究具有极为重要的意义。

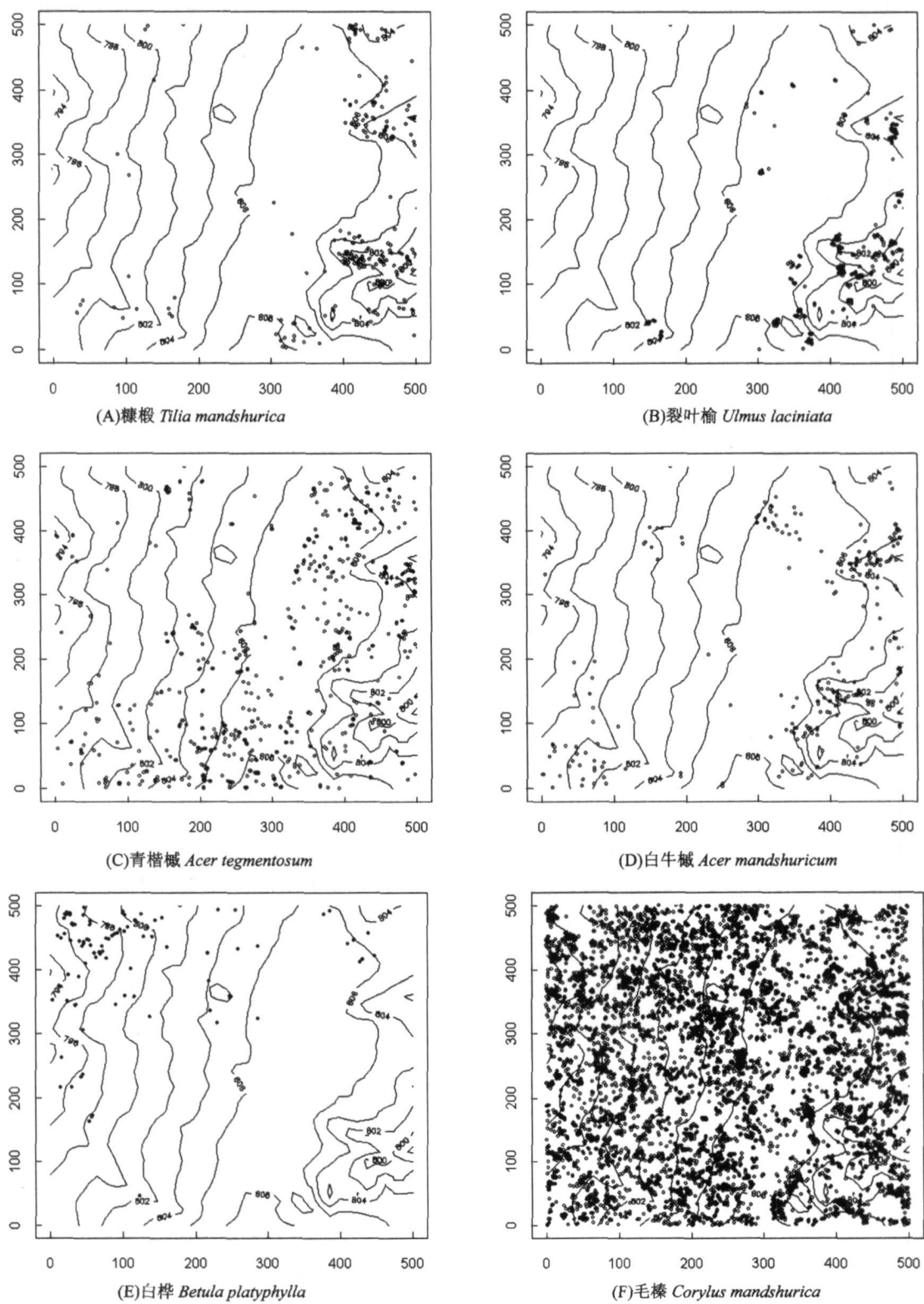


图 7 一些树种的空间分布格局
Fig.7 Spatial distribution patterns of some species

参 考 文 献

Brokaw NVL (1987). Gap-phase regeneration of tree species in a tropical forest. *Journal of Ecology*, 75, 9–19.

Cheng BR(程伯容), Xu GS(许广山), Ding GF(丁桂芳), Zhang YH(张玉华), Wang W(王伟) (1984). Litterfall and its

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

- nutrient content of dominant types of forest ecosystem in Changbai Mountain. *Forest Ecosystem Research* (森林生态系统研究), 4, 19—24. (in Chinese with English abstract)
- Condit R (1995). Research in large, long-term tropical forest plots. *Trends in Ecology & Evolution*, 10, 18—22.
- Condit R (1998). *Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison with Other Plots*. Springer, Berlin.
- Condit R, Ashton P, Baker P, Bunyavejchewin S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Hubbell SP, Foster RB, Itoh A, LaFrankie JV, Lee HS, Losos E, Manokaran N, Sukumar R, Yamakura T (2000). Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 288, 1414—1418.
- Condit R, Ashton P, Bunyavejchewin S, Dattaraja HS, Davies S, Esufali S, Ewango C, Foster R, Gunatilleke I, Gunatilleke CVS, Hall P, Hams KE, Hart T, Hernandez C, Hubbell SP, Itoh A, Kiratiprayoon S, LaFrankie J, de Lao SL, Makana JR, Noor MNS, Kassim AR, Russo S, Sukumar R, Samper C, Suresh HS, Tan S, Thomas S, Valencia R, Vallejo M, Villa G, Zillio T (2006). The importance of demographic niches to tree diversity. *Science*, 313, 98.
- Condit R, Ashton P, Manokaran N, LaFrankie JV, Hubbell SP, Foster RB (1999). Dynamics of the forest communities at Pasoh and Barro Colorado: comparing two 50-ha plots. *Philosophical Transactions of The Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 354, 1739—1748.
- Condit R, Pitman N, Leigh EG, Chave J, Terborgh J, Foster RB, Nunez P, Aguilar S, Valencia R, Villa G, Muller-Landau HC, Losos E, Hubbell SP (2002). Beta-diversity in tropical forest trees. *Science*, 295, 549—562.
- Dai LM(代力民), Gu HY(谷会岩), Shao GF(邵国凡), Wang QL(王庆礼) (2004). *The Broad-leaved Korean Pine Mixed Forest on Changbai Mountain of China* (中国长白山阔叶红松林). Liaoning Science and Technology Publishing House, Shenyang. (in Chinese)
- Fu PY(傅沛云), Li JY(李冀云), Cao W(曹伟), Yu XH(于兴华), Zhu CX(朱彩霞) (1995). Studies on the flora of seed plants from Changbai Mountain. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), 15, 491—500. (in Chinese with English abstract)
- Hao ZQ(郝占庆), Guo SL(郭水良), Cao T(曹同) (2002). *Plant Diversity and Distribution Patterns in Changbai Mountain* (长白山植物多样性及其格局). Liaoning Science and Technology Publishing House, Shenyang. (in Chinese)
- Hao ZQ(郝占庆), Guo SL(郭水良), Ye J(叶吉) (2003). Canonical correspondence analysis on relationship of herbs with their environments on northern slope of Changbai Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 23, 733—742. (in Chinese with English abstract)
- Hao ZQ(郝占庆), Zhao SD(赵士洞), Tao DL(陶大力) (1994). Species diversity and its seasonal dynamics of herbs in a broad-leaved Korean pine forest on the northern slope of Changbai Mountain. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2, 125—132. (in Chinese with English abstract)
- He F, Legendre P, LaFrankie JV (1997). Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest. *Journal of Vegetation Science*, 8, 105—114.
- Hubbell SP, Foster RB (1986). Commonness and rarity in a neotropical forest: implications for tropical tree conservation. In: Soule ME ed. *Conservation Biology: Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Press, Sunderland, 205—231.
- Hubbell SP (1979). Tree dispersion, abundance, and diversity in a tropical dry forest. *Science*, 203, 1299—1309.
- Hubbell SP (2001). *The United Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- Li WH(李文华), Deng KM(邓坤枚), Li F(李飞) (1981). Study on biomass and primary production of the main ecosystems in Changbai Mountain. *Forest Ecosystem Research* (森林生态系统研究), 2, 34—50. (in Chinese with English abstract)
- Loreau M, Naeem S, Inchausti P, Bengtsson J, Grime JP, Hector A, Hooper DU, Huston MA, Raffaelli D, Schmid B, Tilman D, Wardle DA (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenge. *Science*, 294, 804—808.
- Nathan R (2006). Long-distance dispersal of plants. *Science*, 313, 786—788.
- Qian H(钱宏) (1989). Studies on flora diversity of the seed plants in Changbai Mountain. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), 9, 75—84. (in Chinese with English abstract)
- Sun WZ(孙伟中), Zhao SD(赵士洞) (1997). Distribution patterns of main tree species in Tilia broadleaf Korean pine forest on northern slope of Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 8, 119—122. (in Chinese with English abstract)
- Tao DL(陶大力), Zhao DC(赵大昌), Zhao SD(赵士洞), Hao ZQ(郝占庆) (1995). Dependence of natural of Korean pine on animals—an outclosure experiment. *Biodiversity Science* (生物多样性), 3, 131—133.
- Wang Z(王战), Xu ZB(徐振邦), Li X(李昕), Peng YS(彭永山), Qian JJ(钱家驹), Liu ZD(刘子德), Yang Y(杨野), Wei CL(魏成录), Li YZ(李延增) (1980). The main forest types and their features of community structure in northern slope of Changbai Mountain (1). *Forest Ecosystem Research* (森林生态系统研究), 1, 25—42. (in Chinese with English abstract)

Xu GS(许广山), Ding GF(丁桂芳), Zhang YH(张玉华), Cheng BR(程伯容) (1980). A primary study on soil humus and its characteristics in the main forests on northern slope of Changbai Mountain. *Forest Ecosystem Research* (森林生态系统研究), 1, 215—220. (in Chinese with English abstract)

Xu HC(徐化成) (2001). *Natural Forests of Pinus Koraiensis in China* (中国红松天然林). China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese)

Xu ZB(徐振邦), Dai IM(代力民), Chen JQ(陈吉泉), Wang Z(王战), Dai HC(戴洪才), Li X(李昕) (2001). Natural regeneration condition in *Pinus koraiensis* broad-leaved mixed forest. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 21, 1413—1420. (in Chinese with English abstract)

Xue DY(薛达元) (1997). *Economic Valuation of Biodiversity. A Case Study on Changbaishan Mountain Biosphere Reserve in Northeast China* (生物多样性经济价值评估·长白山自然保护区案例研究). China Environmental Science Press, Beijing. (in Chinese with English abstract)

Yang HX(阳含熙), Li DJ(李鼎甲), Wang BN(王本楠), Han JX(韩进轩) (1985). Distribution patterns of dominant tree species on northern slope of Changbai Mountain. *Forest Ecosystem Research* (森林生态系统研究), 5, 1—14. (in Chinese with English abstract)

Yang HX(阳含熙), Wu YG(伍业钢) (1988). Species composition, age structure and regeneration strategies in broad-leaved Korean pine mixed forest in Changbai Mountain. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 24(1), 18—27. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 马克平 责任编辑: 姜联合