

东北地区阔叶红松林的群落结构及其 物种多样性比较

吴晓莆 朱彪 赵淑清 朴世龙 方精云

(北京大学环境学院生态学系, 北京大学生态学研究教育中心, 北京大学地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 利用在长白山、小兴安岭、张广才岭设置的 9 个样方的调查资料, 对我国东北地区阔叶红松林的群落结构及其物种多样性进行了对比分析。结果表明, 在 9 个样方共记录到物种 137 种, 隶属于 53 科 98 属。利用 TWINSpan 将 9 个样方分为 3 组 4 个类型; 同时, TWINSpan 还将 27 个乔木种划分为 7 个群落类型。不同样方的群落结构指标相差较大, 这与群落所处的环境、地理位置以及年龄有关。平均胸径与立木密度之间呈幂函数关系, 后者随前者增加而递减。群落结构特征之间存在显著的关系, 但与物种丰富度的关系不显著。对于多样性 (H') 和均匀度 (E') 来说, 一般有草本层 > 灌木层 > 乔木层的趋势; 而在各自的取样面积内, 物种丰富度 (S') 差异不大。对所有调查区域内的植物而言, 长白山的阔叶红松林在三地中拥有最高的丰富度, 并且这主要来源于草本层和灌木层的贡献, 乔木层的丰富度在三地并没有明显差异。

关键词: 二元指示种分析, 最小面积, 种-面积曲线

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1005-0094(2004)01-0174-08

Comparison of community structure and species diversity of mixed forests of deciduous broad-leaved tree and Korean pine in Northeast China

WU Xiao-Pu, ZHU Biao, ZHAO Shu-Qing, PIAO Shi-Long, FANG Jing-Yun

Department of Ecology, College of Environmental Sciences, Center for Ecological Research & Education, and Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871

Abstract: We studied community structure and species diversity of mixed forests of deciduous broad-leaved tree and Korean pine (*Pinus koraiensis*) in Mt. Changbai, Mt. Xiaoxing'anling and Mt. Zhangguangcailing, Northeast China. A total of 137 species belonging to 98 genera in 53 families were recorded in the nine plots. TWINSpan analysis of the plots identified nine plots into four community types and three groups, while the 27 tree species established seven community types. Characteristics of community structure differed greatly among the 19 plots, which may be related to environmental factors, location and age of the community. Mean DBH decreased with the increase of stem density in accordance with a power-law function. There were significant correlations among the parameters of community structure. However, tree species richness did not correlate significantly with community structure. Concerning comparison among different layers, diversity (H') and evenness (E') of herbaceous plants were the greatest, followed by those of shrubs and trees. The mixed forests of Mt. Changbai had the highest species richness, due mainly to a high richness of herbaceous plants and shrubs in Mt. Changbai.

Key words: minimum sampling area, species-area curves, TWINSpan

红松 (*Pinus koraiensis*) 是我国境内寒温带针阔混交林的主要树种, 主要分布于亚洲东北部、俄罗斯

远东地区南部、朝鲜半岛和日本北部山区。随着 20 世纪以来人类活动的严重干扰, 红松分布区面积急

剧缩小,原始的天然红松林逐渐被次生的阔叶林取代。近年来,国内就红松林的群落特征、种群结构及天然更新(阳含熙,伍业钢,1988;伍业钢,韩进轩,1992;孙中伟,赵士洞,1995;臧润国等,1998)、种群的形态特征(张恒庆等,1999)、种间竞争(邹春静等,2001)、群落最小面积(郝占庆,2000;代力民等,2002)、主要树种的分布格局(孙伟中,赵士洞,1997)等方面开展了很多工作,也有一些涉及到阔叶红松林的生物多样性的报道(郝占庆等,1994;代力民等,2002;郑景明,罗菊春,2003)。但这些研究多集中在长白山,仅有少量文献涉及到小兴安岭等其他分布区域(桑卫国等,2000;李俊清,李景文,2003),而对东北地区不同地点阔叶红松林群落结构和生物多样性的综合对比研究更是不多见。因此,本文基于长白山北坡、小兴安岭凉水自然保护区、张广才岭大秃顶子山等地区的阔叶红松林群落的调查资料,对比分析我国东北地区阔叶红松林的群落结构、物种组成、物种多样性及其地理分异,为我国东北地区阔叶红松林的物种多样性保护提供参考。

1 研究区域概况

本研究地点分别位于长白山、张广才岭的大秃顶子山以及黑龙江带岭地区凉水自然保护区。现分述如下。

长白山位于我国东北地区吉林省东南部的中朝交界处,是东北地区主要大河的发源地。由于特殊的自然条件及历史、社会原因,长白山是我国自然生态系统保存最完整的地区之一,具有保存尚好的亚洲东部典型的山地森林生态系统。本研究所选区域主要集中在长白山北坡海拔 1000 m 以下的范围内(42°19' - 42°24' N, 128°7' - 128°56' E)。本地区气候属受季风影响的温带大陆性气候。由于山体高,气候随海拔高度变化较大。气温年较差与日较差都很大,无霜期短、冰冻期长。本地区降水丰沛,降水量随海拔上升而逐渐增加。山下部平均年降水量 600 - 900 mm,山顶年降水量可达 1340 mm,降水多集中在夏季。由于蒸散量小,本地区气候非常湿润。调查区域土壤为山地暗棕色森林土。

大秃顶子山(42°19' N, 128°13' E)是张广才岭的主峰,海拔 1760 m,是小兴安岭 - 完达山地为数不多的高山之一。气候属温和半湿润区,年均温为

2°C,年降水量为 550 - 650 mm,地带性土壤为暗棕壤。

凉水自然保护区地处中国东北东部小兴安岭山脉的东南部带岭支脉的东坡。地理坐标为 128°48'30" - 128°55'50"E, 47°7'39" - 47°14'22"N,保护区总面积 6394 hm²,森林覆盖率为 91.3%,是我国目前保存下来的较大面积的原始红松林之一。保护区为典型的低山丘陵地貌,海拔高度在 280 - 707 m 之间,山地平均坡度 10 - 15°。该地区地处欧亚大陆东缘,具有明显的温带大陆性季风气候特征,年平均气温 -0.3°C,平均降水 676 mm,平均相对湿度 78%,无霜期 100 - 120 天,具有明显的温带大陆性季风气候特征。保护区地带性植被是以红松为主的针阔混交林,林下发育着以暗棕色森林土为主的地带性植被。

2 研究方法

2.1 取样方法

选取以红松为主要建群种的植物群落设置样方。在长白山北坡设置 2 个 20 m × 50 m 的样方、1 个 20 m × 30 m 的样方;在凉水自然保护区设置 5 个 20 m × 50 m 的样方。在大秃顶子山的众多群落调查样方中,仅有 1 个样方含有较多的红松个体,样方面积为 20 m × 30 m。在每个样方内,按乔木层、灌木层和草本层记录植株主要特征。其中,乔木层逐株记录胸围大于 10 cm 个体的高度和胸径;在乔木样方内设 10 m × 10 m 的灌木样方 1 个,记录物种名、株数、基围和高度;在乔木样方中随机选取 5 个 1 m × 1 m 的小样方作为草本样方,按物种记录多度、盖度和高度。此外记录内容还包括样方地理位置、海拔、坡向。各样方概况见表 1。

2.2 数据处理

2.2.1 物种多样性的计算

物种多样性采用丰富度(S)、多样性指数(Shannon-Wiener index)、均匀度指数(Pielou index)计算。

Shannon-Wiener 指数: $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ (Magurran, 1988)

Pielou 指数: $E = H' / \ln S$ (Magurran, 1988)
其中,对乔木层, P_i 为种 i 的相对胸高断面面积(relative basal area, RBA);对灌木层和草本层, P_i 为种

表 1 东北阔叶红松林各样方概况

Table 1 Topography and tree layer data of all plots for mixed forests of deciduous broad-leaved tree and Korean pine in Northeast China

样方编号 Plot No.	经度 Longitude	纬度 Latitude	面积 Area (m ²)	海拔 Altitude (m)	坡向 Aspect	立木 密度 N (no./ hm ²)	胸高断面 积之和 BA (m ² / hm ²)	平均 树高 H (m)	最大树高 H _{max} (m)	平均 胸径 DBH (cm)	最大 胸径 DBH _{max} (cm)
P1	128°05'16"E	42°24'17"N	1000	670	NW	430	33.77		28.5	26.4	58.2
P2	128°05'16"E	42°24'17"N	1000	670	NW	670	50.55		27.8	23.8	76.4
P3	128°07'23"E	42°19'14"N	600	890	NE	1067	38.54	15.8	27	17.3	54.1
P4	128°54'24"E	47°11'01"N	1000	449	SW	470	51.01	16.4	34	29.3	80.1
P5	128°54'24"E	47°11'01"N	1000	466	SW	550	55.99	14.6	32	29.4	71.4
P6	128°54'24"E	47°11'01"N	1000	429	SW	480	72.16	14.6	30	34.0	111.5
P7	128°54'24"E	47°11'01"N	1000	457	SW	500	54.16	16.1	30	31.7	82.3
P8	128°54'24"E	47°11'01"N	1000	400	SW	570	31.48	12.4	26	22.0	62.4
P9	128°13'07"E	44°21'54"N	600	1080	NE	2050	30.61	9.5	22	12.0	40

P1 - P3 为长白山样方; P4 - P8 为小兴安岭样方; P9 为张广才岭样方

P1 - P3 are the plots of Mt. Changbai; P4 - P8 are those of Mt. Xiaoxinganling, and P9 is the plot of Mt. Zhangguangcailing

i 重要值 (IV) = (相对多度 + 相对频度 + 相对盖度) / 3。

2.2.2 确定最小面积方法

采用基于种 - 面积曲线确定群落最小面积的方法。本文采用两种饱和曲线对群落的最小面积进行研究 (刘灿然等, 1998; 邓红兵等, 1999):

$$S = aA / (1 + bA) \quad (1)$$

$$S = c / (1 + ae^{-bA}) \quad (2)$$

其中: A 为面积, S 为 A 中出现的物种数, a 、 b 、 c 是待估参数。方程的拟合用 SPSS 10.0 软件完成。

对于上述种 - 面积曲线, 要得到群落总种数一定比例 P ($0 < P < 1$) 的物种所需的最小面积分别为 (刘灿然等, 1998; 代力民等, 2002):

$$A = \frac{P}{b(1-P)} \quad (3)$$

$$S = -\ln\left(\frac{1-P}{aP}\right) / b \quad (4)$$

3 结果与分析

3.1 样方与物种的分类

表 2 是各样方阔叶红松林的乔木种的组成。可以看出, 阔叶红松林的物种组成在不同地区有明显的差异。利用 27 个种在 9 个样方的相对胸高断面面积 (RBA) 矩阵, 使用 PC-ORD 4.0 软件进行 TWINS-PAN 分析, 得到阔叶红松林 9 个样方与 27 个乔木种的 TWINS-PAN 分类图 (图 1, 图 2)。

TWINS-PAN 将 9 个样方划分为 3 组、4 个类型 (图 1)。样方 P1 - P3 为长白山的阔叶红松林, 属于

第一组; 样方 P4 - P8 为凉水的阔叶红松林, 属于第二组; 样方 P9 属于大秃顶子山的阔叶红松林, 属于第三组。其中第二组的 P6 样方被指示种大青杨 (*Populus ussuriensis*) 在第 3 级从第二组中划分出来。从图 1 的结果分析, 长白山的 3 个样方 (P1、P2、P3) 最早从 9 个样方中划分出来, 说明长白山阔叶红松林在物种组成上与凉水和大秃顶子山有较大的差异。长白山由于纬度偏南, 相对于其他两地而言, 热量条件更优越, 而某些阔叶红松林的伴生阔叶树种如三花槭 (*Acer triflorum*)、白牛槭 (*A. mandshuricum*) 只能分布在夏温 15°C 等值线以南的长白山区 (王业蓬, 1994)。长白山的阔叶红松林样方 P1、P2 由于海拔较低 (670 m), 除红松占据明显的优势外, 伴生的阔叶树种主要有水曲柳 (*Fraxinus manshurica*)、紫椴 (*Tilia amurensis*)、三花槭、色木槭 (*Acer mono*)、紫花槭 (*A. pseudo-sieboldianum*)、黄榆 (*Ulmus macrocarpa*) 等。凉水的阔叶红松林样方 (P4 - P8) 被指示种色木槭在第 2 级划分出来。凉水样方仍以红松占据绝对优势, 除此之外, 臭冷杉 (*Abies nephrolepis*)、硕桦 (*Betula costata*)、紫椴、青楷槭 (*Acer tegmentosum*)、裂叶榆 (*Ulmus laciniata*) 等种类也很常见。大秃顶子山的样方 P9 中红松已不占很大优势, 鱼鳞云杉 (*Picea jezoensis*)、硕桦、花楷槭 (*Acer ukurunduense*)、青楷槭、崖柳 (*Salix floderusii*)、兴安落叶松 (*Larix gmelini*)、紫椴等树种和红松组成混交林。

TWINS-PAN 将 27 个乔木种按在群落中的地位划分为 7 个群落类型 (图 2): 类型 I 有 10 种, 包括

表 2 阔叶红松林各样方的物种组成 (数值为相对胸高断面面积 × 100)

Table 2 Species composition of each sample plot of mixed deciduous broad-leaved tree and Korean pine forests. Numbers mean Relative basal area × 100)

物种 Species	样方编号 Plot No.								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	44.24	34.42	18.22	78.52	69.37	49.55	72.26	42.63	4.59
水曲柳 <i>Fraxinus manshurica</i>	14.57	30.48				0.13		1.65	
山桃稠李 <i>Prunus sp.</i>			0.27						
山槐 <i>Maackia amurensis</i>	0.66		1.76						
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>			0.19						
三花槭 <i>Acer triflorum</i>	3.55	2.97							
紫花槭 <i>Acer pseudo-sieboldianum</i>		3.58	0.74	3.03	4.76	2.02	2.56	11.18	
黄榆 <i>Ulmus macrocarpa</i>	5.74								
黄菠萝 <i>Phellodendron amurensis</i>		0.05							
胡桃楸 <i>Juglans mandshurica</i>		0.72							
白牛槭 <i>Acer mandshuricum</i>		0.09							
紫椴 <i>Tilia amurensis</i>	23.28	12.34	19.58	3.36	0.48	0.05		0.00	2.05
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	0.09	11.63	36.53		4.85			3.85	
色木槭 <i>Acer mono</i>	6.92	2.89	4.34	3.03	4.76	2.02	2.56	11.18	
暴马丁香 <i>Syringa reticulata</i> subsp. <i>amurensis</i>	0.31					0.23	0.20		
青楷槭 <i>Acer tegmentosum</i>	0.46	0.83	0.60	0.34	1.56	0.64	2.07	3.27	12.00
花楷槭 <i>Acer ukurunduense</i>	0.12			0.15	0.04			0.20	15.09
臭冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>			17.77	4.05	4.39	4.10	5.34	15.87	13.17
鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i>					0.81	0.56		1.69	22.78
崖柳 <i>Salix floderusii</i>									8.86
兴安落叶松 <i>Larix gmelini</i>									3.14
花楸 <i>Sorbus pohuashanensis</i>				1.00					1.03
硕桦 <i>Betula costata</i>				4.80	13.74	16.30	9.92	10.19	17.30
鼠李 <i>Rhamnus davurica</i>								0.58	
大青杨 <i>Populus ussuriensis</i>						13.57			
裂叶榆 <i>Ulmus laciniata</i>	0.06			4.60		12.86	7.66	8.89	
红皮云杉 <i>Picea koraiensis</i>				0.16					

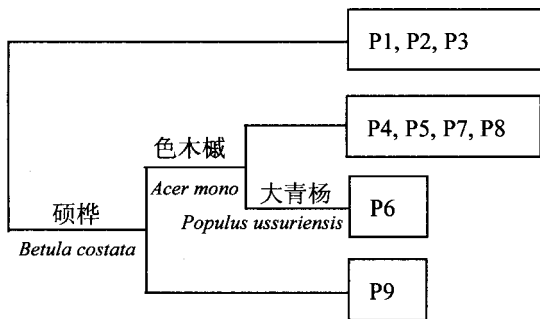


图 1 阔叶红松林 9 个样方的 TWINSpan 分类图
Fig. 1 TWINSpan classification of nine sample plots of mixed deciduous broad-leaved tree and Korean pine forests

水曲柳、山桃稠李(*Prunus sp.*)、山槐(*Maackia amurensis*)、千金榆(*Carpinus cordata*)、三花槭、紫花槭、黄榆、黄菠萝(*Phellodendron amurensis*)、胡桃楸(*Jug-*

lans mandshurica)和白牛槭,这些树种主要分布在长白山(样方 P1、P2、P3);类型 II 有 2 种,包括紫椴和蒙古栎(*Quercus mongolica*),虽然在三地都有分布,但仅在长白山占据优势;类型 III 有 3 种,包括色木槭、红松和暴马丁香(*Syringa reticulata* subsp. *amurensis*)这 3 种在三地都有分布,而且比较均匀,所不同的是红松是建群种,色木槭是常见的伴生种,而暴马丁香属于偶见种;类型 IV 有 3 种,青楷槭、花楷槭和臭冷杉;类型 V 有 4 种,鱼鳞云杉、崖柳、兴安落叶松和花楸(*Sorbus pohuashanensis*),主要分布在大秃顶子山;类型 VI 仅有硕桦 1 种,它是将长白山和凉水、大秃顶子山区分出来的指示种,仅分布在凉水和凉水、大秃顶子山;类型 VII 有 4 种,鼠李(*Rhamnus davurica*)、大青杨、裂叶榆和红皮云杉(*Picea koraiensis*),主要分布在大秃顶子山。可以看出,由

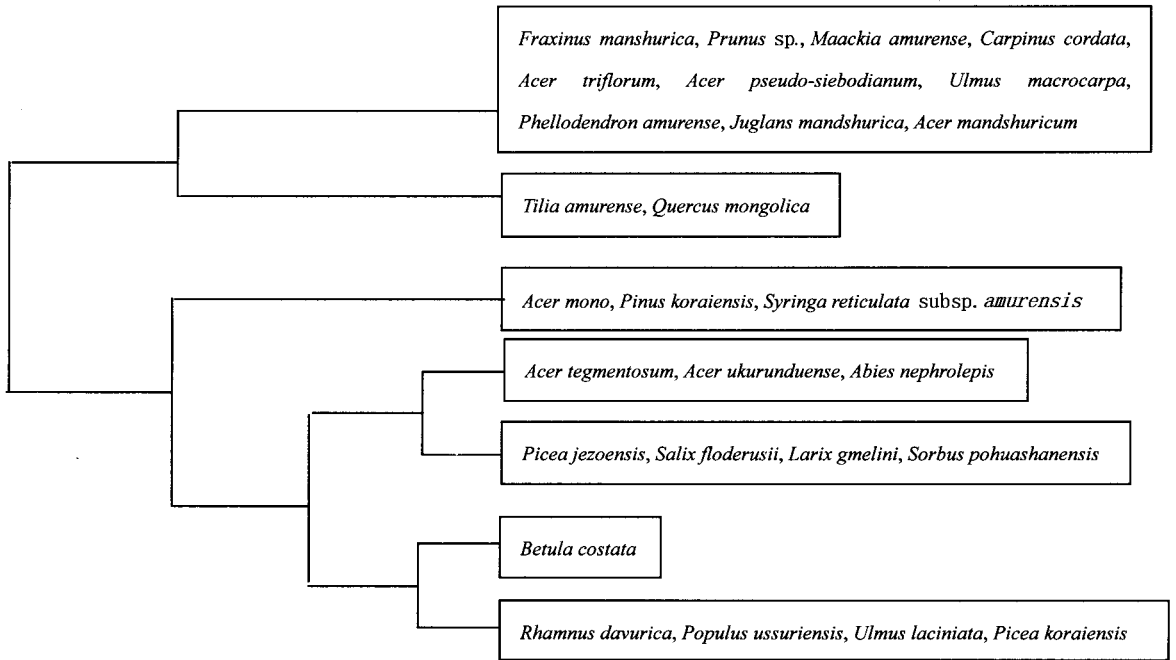


图2 阔叶红松林 27 个乔木种的 TWINSpan 分类图

Fig. 2 TWINSpan classification for 27 tree species in mixed forests of deciduous broad-leaved tree and Korean pine

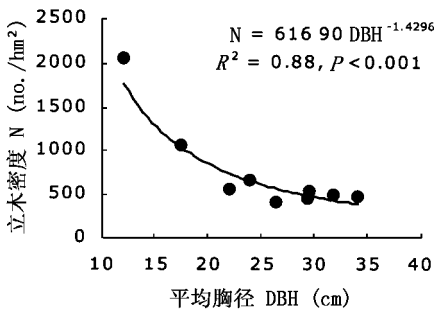


图3 阔叶红松林平均胸径和立木密度的关系

Fig. 3 Relationship between mean DBH (DBH) and stem density (N) of mixed forests of deciduous broad-leaved tree and Korean pine

($50\text{m}^2/\text{hm}^2$ 左右), 平均树高都在 15 m 左右, 属于比较典型的阔叶红松成熟林。

平均胸径与立木密度(N)之间显示了良好的幂函数关系(如下式)(图3)。这与经典的林学理论(Reineke, 1933)和植物种群密度理论(Happer, 1977)是一致的。

$$N = 61690\text{DBH}^{-1.4296} (R^2 = 0.88, F = 52.66, P < 0.001) \quad (5)$$

从表2中还可以看出, 在海拔相对较低的群落中(P1、P2、P4 - P8), 红松在乔木层中的优势度(以相对胸高断面面积RBA表示)高于海拔较高的群落(P3、P9)。优势度最高的地区为凉水自然保护区(P4 - P8), 很多群落中红松的优势度都超过0.5; 而在海拔最高(1080 m)的大秃顶子山的群落(P9)中, 红松的优势度仅为0.05, 已经不成为乔木层的优势种了。

表2中长白山3个样方(P1 - P3)的乔木种优势度显示红松、紫椴、水曲柳和蒙古栎等树种是在群落中占有优势的树种, 这与孙中伟(1995)对长白山北坡椴树-阔叶红松林的群落结构调查结果是一致的。

表3是阔叶红松林6个群落结构参数和物种丰

TWINSpan 对样方和群落主要物种的划分能够较好地揭示出阔叶红松林的物种组成及其地理分异。

3.2 群落结构

从表1中可以看出, 不同群落的立木密度(N)、胸高断面面积之和(BA)、平均树高(H)、平均胸径(DBH)等指标差异很大。大秃顶子山的样方P9海拔较高(1080 m), 立木密度很大, 平均树高和平均胸径等比较小, 属于不成熟的针阔混交林; 而其他样方群落的平均胸径较大(一般20 cm以上), 立木密度较低(400 - 600 株/ hm^2), 胸高断面面积之和较大

表3 阔叶红松林群落结构特征和物种丰富度的相关矩阵
Table 3 Correlation matrix among characteristics of community structure and species richness of mixed forests of deciduous broad-leaved tree and Korean pine

	N	BA	H	H _{max}	DBH	DBH _{max}	S
N	1.00						
BA	-0.45	1.00					
H	-0.69	0.41	1.00				
H _{max}	-0.73*	0.82*	0.76*	1.00			
DBH	-0.72*	0.90**	0.40	0.83**	1.00		
DBH _{max}	-0.55	0.83**	0.52	0.71*	0.88**	1.00	
S	-0.24	-0.33	-0.43	-0.31	-0.17	-0.12	1.00

值为 Spearman 相关系数。Values are Spearman's rank correlation, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

度(S)的相关矩阵。物种丰富度和群落结构特征的相关性均不明显 ($P > 0.05$), 而群落结构的 6 个参数之间有明显的相关。如立木密度(N)与最大树高(H_{max})以及平均胸径(DBH)存在显著的负相关关系 ($P < 0.05$); 胸高断面积之和(BA)与最大树高(H_{max})、平均胸径(DBH)以及最大胸径(DBH_{max})之间呈现显著的正相关; 最大树高(H_{max})与平均树高(H), 最大胸径(DBH_{max})与平均胸径(DBH)之间都存在显著的正相关 ($P < 0.05$, $P < 0.01$)。这些关系可以从维管植物的相关生长理论(allometric growth)得到解释。

3.3 物种多样性

对样方中出现的维管束植物的科属种统计结果表明: 在所有样方中($P1 - P9$), 共记录到物种 137 种, 隶属于 53 科 98 属。其中, 含 6 个属的优势科有百合科、毛茛科和蔷薇科; 含 5 个属的有菊科、虎耳草科和伞形科; 其次依次为松科(4 属)、蹄盖蕨科(4 属)、桦木科(3 属)等。占前几位的优势科多草本和灌木种, 而乔木层中的优势种多集中在槭树科、杨柳科、松科、榆科等。

表 4 列出了各样方乔木层、灌木层和草本层的物种多样性指数。可以看出, 虽然样方大小不同对物种丰富度有一定的影响, 但就多样性(H')和均匀度(E)来说, 一般有草本层 $>$ 灌木层 $>$ 乔木层。在各自的取样面积(乔木层 1000 m^2 或者 600 m^2 , 灌木层 100 m^2 , 草本层 1 m^2)内, 物种丰富度(S)差异不大。

对于所有科、属、种水平的植物丰富度(TF 、 TG 、

TS)而言, 在取样面积为 1000 m^2 时, 长白山样方 $P1$ 高于凉水的 5 个样方($P4 - P8$); 在取样面积为 600 m^2 时, 长白山样方 $P3$ 高于大秃顶子山的样方 $P9$ 。说明长白山的阔叶红松林在三地中拥有最高的丰富度, 并且这主要来源于灌木层和草本层的贡献, 而乔木层的丰富度在三地并没有明显差异。但就乔木层、灌木层或草本层而言, 多样性(H')和均匀度(E)在各样方间的差异不显著。郝占庆(2000)对典型阔叶红松林及其次生白桦林物种多样性的研究表明, 红松林经人工砍伐后形成的次生林物种多样性会增加, 但主要是增加了一些乔木树种。本研究中的结果则反映出在较为稳定的红松林类型中, 乔木树种的物种丰富度变化不明显, 物种丰富度的主要变化来自于林下的草本群落。

群落最小取样面积也即群落的临界抽样面积, 是在一个最小地段内, 对一个特定群落类型能提供足够的环境空间, 或者能保证展现出该群落类型的种类组成和结构的真实特征(王伯荪等, 1996), 即在该面积内群落的种类组成得以充分的表现。这一最小面积表示应该采取的样方记录或样地大小。本文利用凉水从 $0.25 \text{ m}^2 - 4096 \text{ m}^2$ 的面积梯度的基于所有物种的种 - 面积曲线, 探讨阔叶红松林的群落最小取样面积。

图 4 是凉水阔叶红松林的种 - 面积曲线。利用方程 (1)、(2), 拟合得到的方程分别为:

$$S = \frac{1.735A}{1 + 0.029A}, R^2 = 0.94$$

$$S = \frac{58.056}{1 + 3.427e^{-0.022A}}, R^2 = 0.93$$

可以发现, 拟合的回归系数 R^2 值均在 0.93 以

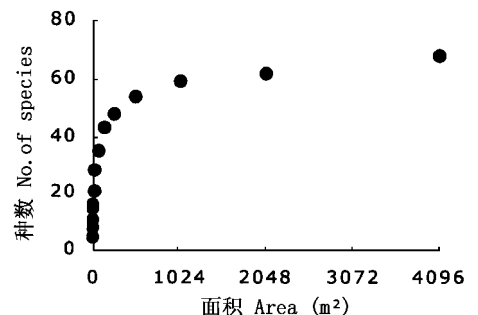


图 4 凉水阔叶红松林的种 - 面积曲线

Fig. 4 Species-area curve of mixed forests of deciduous broad-leaved tree and Korean pine in Liangshui Region

表 4 阔叶红松林各样方的物种多样性

Table 4 Species diversity indices for each sample plot of mixed forests of deciduous broad-leaved tree and Korean pine

样方编号 Plot No.	乔木层 Tree layer			灌木层 Shrub layer			草本层 Herb layer			所有植物 Total plants		
	S	E	H'	S	E	H'	S	E	H'	TF	TG	TS
P1	12	0.62	1.54	12	0.63	1.56	13.6(3.0)	0.89(0.02)*	2.30(0.22)	31	44	53
P2	11	0.69	1.65									
P3	10	0.70	1.61	13	0.57	1.46	10.8(4.4)	0.84(0.04)	1.93(0.27)	24	29	37
P4	10	0.40	0.91	13	0.57	1.46	8.0(2.7)	0.92(0.04)	1.86(0.39)	27	38	43
P5	9	0.50	1.09	16	0.78	2.15	7.6(1.8)	0.88(0.09)	1.76(0.26)	24	31	37
P6	11	0.62	1.48	8	0.70	1.45	9.6(1.7)	0.87(0.09)	1.95(0.23)	27	37	40
P7	7	0.52	1.00	7	0.83	1.62	8.4(1.8)	0.90(0.02)	1.89(0.24)	28	34	37
P8	11	0.74	1.77	8	0.65	1.35	9.4(2.1)	0.85(0.03)	1.89(0.22)	28	38	47
P9	10	0.89	2.04	4	0.88	1.22	7.4(1.8)	0.89(0.03)	1.76(0.19)	19	26	30
平均值 Mean	10.4	0.63	1.45	10.1	0.70	1.53	9.4	0.88	1.92	25.3	33.3	38.7

S 种数 Number of species ; E Pielou 指数 Pielou index ; H' Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index ; TF 所有植物科数 Number of families ; TG 所有植物属数 Number of genera ; TS 所有植物种数 Number of species

* 平均值(标准差) Mean (standard deviation)

上,拟合效果良好。取比例因子 P 为 0.9,用式(3)、(4)计算相应的最小面积为 330 m^2 和 156 m^2 ,平均为 240 m^2 左右。孙中伟(1995)对长白山北坡椴树红松林的群落的研究表明,乔木树种的抽样面积基本为 $40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$;代力民等(2002)对海拔 $800 - 1000 \text{ m}$ 之间长白山二道白河河岸带阔叶红松林群落的研究表明,包含群落 90%(即 $P = 0.9$)的植物种的平均抽样面积为 325 m^2 左右;而郝占庆(2000)对远离河岸带的森林内部的阔叶红松林群落的研究表明,包含群落 90%的植物种的平均抽样面积为 514 m^2 左右。比较发现,凉水的阔叶红松林群落的最小取样面积小于长白山河岸带及其远离河岸带的阔叶红松林群落的最小取样面积。这可能与凉水阔叶红松林群落相对较低的物种丰富度和乔木种的相对集中分布有关。

4 结论

(1)利用 TWINSpan 分类结果表明,东北地区阔叶红松林 9 个样方可分为 3 组 4 个类型。同时, TWINSpan 还将 27 个乔木种按重要程度划分为 7 个群落类型,不同类型的群落中乔木种在分布的区域及其在样方中的地位存在差异。

(2)不同样方的群落结构指标相差较大,这与群落所处的环境、地理位置以及年龄有关。平均胸径与立木密度之间呈幂函数关系,后者随前者增加而递减。在长白山和凉水地区,红松在乔木层的优势地位突出;而在大秃顶子山,红松已不成为群落中的优势种。群落结构特征之间存在显著的关系,

但与物种丰富度的关系不显著。

(3)在 9 个样方(共 0.82 hm^2)共记录到物种 137 种,隶属于 53 科 98 属。其中,丰富度最大的优势科主要是草本层和灌木层的百合科、毛茛科和蔷薇科等,而乔木层中的优势种多集中在槭树科、杨柳科、松科、榆科。

(4)在东北的阔叶红松林群落中,对于多样性(H')和均匀度(E)来说,一般有草本层 > 灌木层 > 乔木层。在各自的取样面积(乔木层 1000 m^2 或者 600 m^2 ,灌木层 100 m^2 ,草本层 1 m^2)内,物种丰富度(S)差异不大。对调查样地所有植物而言,长白山的阔叶红松林在三地中拥有最高的丰富度,并且这主要来源于灌木层和草本层的贡献,而乔木层的丰富度在三地并没有明显差异。

(5)凉水的阔叶红松林群落取样 240 m^2 基本上能取到 90%的植物种,这个面积远低于长白山河岸带以及远离河岸带的森林内部的阔叶红松林群落,原因可能与凉水阔叶红松林群落相对较低的物种丰富度和乔木种的相对集中分布有关。

致谢:参加野外调查的人员还有李晓文、宗占江、古陶、沈海花、陈阳、申松兰、王臣、孙岩等。特此致谢。

参考文献

- Dai, L. M. (代力民), Wang, Q. C. (王青春), Deng, H. B. (邓红兵), Chen, G. (陈高) and Wang, Q. L. (王庆礼). 2002. Minimum sampling area and species richness of riparian community in Erdaobaihe forested watershed.

- Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **13** (6): 641 – 645. (in Chinese)
- Deng, H. B. (邓红兵), Wu, G. (吴刚), Hao, Z. Q. (郝占庆), Wang, Q. L. (王庆礼), Dai, L. M. (代力民), Gao, L. (高林) and Wang, J. Z. (王建中). 1999. Determination of the minimum sampling area for *Pinus massoniana-Quercus* community and comparison of sampling methods. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **19**(4): 499 – 503. (in Chinese)
- Hao, Z. Q. (郝占庆). 2000. Analysis of Plant Community Diversities and Their Gradient Patterns on the Northern Slope of Changbai Mountain, Northeast China (Ph. D. dissertation). Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang. (in Chinese)
- Hao, Z. Q. (郝占庆), Zhao, S. D. (赵士洞) and Tao, D. L. (陶大力). 1994. Species diversity and its seasonal dynamics of herbs of a broad-leaved Korean pine forest on the northern slope of the Changbai Mountain. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **2**(3): 125 – 132. (in Chinese)
- Happer, J. L. 1977. *Population Biology of Plants*. Academic Press, London.
- Li, J. Q. (李俊清) and Li, J. W. (李景文). 2003. Regeneration and restoration of broad-leaved Korean pine forests in Lesser Xing'an Mountains of Northeast China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **23**(17): 1268 – 1277.
- Liu, C. R. (刘灿然), Ma, K. P. (马克平), Yu, S. L. (于顺利) and Wang, W. (王巍). 1998. Plant community diversity in Donglingshan Mountain, Beijing, China. VII. The determination of critical sampling areas for several types of plant communities. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **18**(1): 15 – 23. (in Chinese)
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research*, **46**: 627 – 638.
- Sang, W. G. (桑卫国), Chen, L. Z. (陈灵芝), Yu, S. L. (于顺利) and Ma, K. P. (马克平). 2000. Species composition and structure in Mongolian oak-Korean pine forest. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **24**(2): 231 – 237.
- Sun, W. Z. (孙伟中) and Zhao, S. D. (赵士洞). 1995. Community features of Tilia-Korean Pine forest on northern slope of Changbai Mountains. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **14**(15): 26 – 30.
- Sun, W. Z. (孙伟中) and Zhao, S. D. (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** (2): 119 – 122.
- Wang, B. S. (王伯荪), Yu, S. X. (余世孝) and Peng, S. L. (彭少麟) (eds.). 1996. *Manual of Plant Community Research* (植物群落学实验手册). Guangdong Higher Education Press, Guangzhou. (in Chinese)
- Wang, Y. Q. (王业蘧). 1994. Ecosystems of broad-leaved Korean pine forests. In: Wang, F. Y. (王凤友) (ed.), *Korean Pine Studies*. I. Northeast Forestry University Press, Harerbin, 21 – 26. (in Chinese)
- Wu, Y. G. (伍业钢) and Han, J. X. (韩进轩). 1992. Analysis on the structure of Korean pine population and its natural regeneration patterns. In: Wang, Z. (王战) (ed.), *Research of Forest Ecosystem*. Chinese Forestry Press, Beijing, 14 – 23. (in Chinese)
- Yang, H. X. (阳合熙) and Wu, Y. G. (伍业钢). 1988. Tree composition, age structure and regeneration strategy of the mixed broadleaf Korean pine forest in Changbaishan Biosphere Reserve, China. *Scientia Silvae Siniace* (林业科学), **24**: 18 – 27. (in Chinese)
- Zang, R. G. (臧润国), Liu, T. (刘涛), Guo, Z. L. (郭忠凌) and Gao, W. T. (高文韬). 1998. Gap disturbance regime in a broad-leaved Korean pine forest in the Changbai Mountain Natural Reserve. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **22**(2): 135 – 142. (in Chinese)
- Zhang, H. Q. (张恒庆), An, L. J. (安利佳) and Zu, Y. G. (祖元刚). 1999. Geographical variation of morphology characters for natural populations of *Pinus koraiensis*. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **19**(6): 932 – 938. (in Chinese)
- Zheng, J. M. (郑景明) and Luo, J. C. (罗菊春). 2003. Structural diversity of broadleaved Korean pine forest in Changbai Mountain. *Biodiversity Science* (生物多样性), **11**(4): 295 – 302.
- Zou, C. J. (邹春静), Han, S. J. (韩士杰) and Zhang, J. H. (张军辉). 2001. Competition relationship among tree species in broad-leaved Korean pine mixed forest and its significance for managing the forest. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **20**(4): 35 – 38. (in Chinese)