

## 塞罕坝植物物种丰富度海拔分布格局

袁 业<sup>1</sup>, 孙国龙<sup>2</sup>, 苑美燕<sup>1</sup>, 张志东<sup>1\*</sup>

(1. 河北农业大学林学院, 保定 071000; 2. 河北省塞罕坝机械林场, 围场 068466)

**摘 要:** 物种多样性一直是生态研究的热点, 而物种丰富度的海拔分布格局是物种多样性研究的一个重要内容。以塞罕坝机械林场的天然植被为研究对象, 探讨塞罕坝地区植物的物种组成以及物种丰富度的海拔分布格局。结果表明: (1) 在研究区调查的 184 块样地中, 共有维管植物 53 科、197 属、365 种, 分别占该地区总数的 65.4%、63.1% 和 59.1%。其中乔木 8 科、12 属、16 种; 灌木 11 科、23 属、43 种; 藤本 1 科、1 属、2 种; 草本 41 科、108 属、304 种。该区优势科、属明显, 优势科主要有菊科、禾本科、蔷薇科、豆科、唇形科。大部分的科内, 属、种缺少, 区域单属科以及单种科比例高, 体现出该区地理环境复杂的特点。(2) 物种丰富度为草本层 > 灌木层 > 乔木层; 随着海拔的升高, 科、属、种以及乔木的变化不显著; 灌木丰富度随海拔的变化出现先升高后降低的单峰格局, 即中度海拔物种丰富度最高。草本层丰富度总体趋势是随海拔升高而升高。

**关键词:** 物种组成; 物种多样性; 天然植被; 海拔梯度; 塞罕坝

中图分类号: Q948.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)03-0496-06

### Distributional patterns of plant species richness along an elevational gradient in Saihanba

YUAN Ye<sup>1</sup>, SUN Guolong<sup>2</sup>, YUAN Meiyuan<sup>1</sup>, ZHANG Zhidong<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding 071000;

2. Saihanba Mechanized Forestry Centre of Hebei, Weichang 068466)

**Abstract:** Species diversity has always been a hot spot in ecological research, and the altitudinal distribution pattern of species richness is an important part. In this study, we discussed elevational distribution patterns of plant species composition and richness using the method of stratified random sampling in the Saihanba area. The results showed that: (1) a total of 53 families, 197 genera, and 365 species of vascular plants were identified, accounting for 65.4%, 63.1% and 59.1% of the total in the study area, respectively. Of which, trees had 8 families, 12 genera and 16 species; shrubs had 1 family, 23 genera and 43 species; vines had 1 family, 1 genus and 2 species; herbs had 41 families, 108 genera and 108 species. The dominant families included Compositae, Gramineae, Rosaceae, Leguminosae and Labiatae in the sampled plots. There were very few genera and species found in the most of the families. A high proportion of families with one genus and one species were found in the study area. The above results reflected the characteristics of the complex geographical environment in the study region; (2) the order for the species richness in the vegetation type was: herb layer > shrub layer > tree layer. The number of families, genera and species showed no significant differences among different elevational gradients. The distribution of shrubs showed a unimodal pattern with the highest species richness found in the moderate elevation. Generally, Herb species richness followed an increasing trend with altitude.

**Key words:** species composition; species diversity; natural vegetation; elevational gradient; Saihanba

植物多样性随环境梯度的分布格局是物种多样性研究的一个重要内容<sup>[1]</sup>。许多学者认为海拔是温度、湿度和光照等多种环境因子的综合, 从而成为

影响植物多样性的决定性因素之一<sup>[2-6]</sup>。大量研究表明植物多样性随海拔梯度的分布格局是研究最多的一个方向<sup>[7]</sup>。关于物种丰富度随海拔变化大致有以

收稿日期: 2016-10-28

基金项目: 林业公益性行业科研专项 (201504303) 资助。

作者简介: 袁 业, 硕士研究生。E-mail: 1294597695@qq.com

\* 通信作者: 张志东, 博士, 副教授。E-mail: zhzhido@163.com

下模式: 最为广泛的分布格局为中间隆起的单峰格局, 也有研究表明单调递减或递增、先增后减等其他类型, 大量的研究支持这些模式, 但是没有形成一致的结论<sup>[8-12]</sup>。不同区域的环境条件, 山地相对高度以及地质地貌等因素会导致不同山地和不同生活型的物种多样性海拔分布格局的不同<sup>[6]</sup>。因此对于不同的地域、山体以及生物类群多样性海拔分布格局的个案研究, 对于阐明植物多样性和海拔的关系很重要<sup>[13]</sup>。

物种多样性是了解生态系统的首先需要研究的内容, 海拔是影响同一区域内物种分布格局的决定因素<sup>[8]</sup>。山地的温度、湿度和光照等环境因子变化极其复杂, 从而成为了研究生物多样性分布格局的理想场所<sup>[7]</sup>。山地区域反映和浓缩了水平地带性的自然地理特点和生物地理特征<sup>[14]</sup>, 因此海拔是控制不同物种分布格局的主要因素。植物多样性随海拔梯度的变化格局, 是研究山区生态系统并对其进行合理开发和利用的重要依据。

塞罕坝地区属于典型的山地接坝地形, 其海拔在 1 010~1 940 m。由于海拔梯度反映的微气候、水热状况的不同以及土壤养分的变化在较大程度上影响山地的物种组成和群落结构<sup>[15-17]</sup>, 而且塞罕坝地区有着丰富的物种, 为研究生物多样性海拔分布格局提供了良好的平台。进行该地区植物及其多样性的研究, 对合理开发利用和保护植物资源、因地制宜制定林业生产和发展规划具有重要的意义。

## 1 研究区概况

塞罕坝位于河北省最北部, 地处 42°02'~42°36'N, 116°51'~117°39'E。该区有 2 个地貌单元, 包括坝上和接坝山区。坝上属于内蒙古高原东南边缘, 以丘陵, 曼甸为主海拔在 1 500 m 以上, 最高是 1 940 m。坝下是阴山山脉与大兴安岭余脉交汇处, 典型的山地地形, 海拔 1 010~1 500 m。坝内是滦河、辽河的发源地之一。地质上属于内蒙古台背斜。本区地跨坝上干旱半草原地带水文地质区和高原低山丘陵水文地质区。

本区属于寒温带半干旱半湿润季风气候区, 年均气温-1.40℃, 极端最高、最低气温分别为 30.9℃和-42.8℃。年均降水量 438 mm, 蒸发量 1 230 mm。土壤的垂直地带性分布顺序为棕壤-灰色森林土-黑土, 水平分布为坝上的土壤主要是风沙土, 还有草甸土和沼泽土, 接坝山区主要是灰色土和棕色土, 也有褐色土。

塞罕坝机械林场植物区系为东北区系、内蒙古

区系和华北区系的交汇带, 根据本林区的实际情况, 可以划分为 7 个植被类型 25 个群系, 有维管植物 81 科 312 属 659 种。乔木树种主要有油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.)、华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii* Mayr.)、云杉 (*Picea asperata* Mast.)、白桦 (*Betula platyphylla* Suk.)、山杨 (*Populus davidiana* Dode.)、柞 (*Quercus* L.)、榆 (*Ulmus pumila* L.) 等; 灌木主要有榛子 (*Corylus heterophylla* Fisch.)、胡枝子 (*Lespedeza bicolor* Turcz.)、沙棘 (*Hippophae rhamnoides* L.)、土庄绣线菊 (*Spiraea pubescens* Turcz.) 等; 草本植物主要乌苏里苔草 (*Carex ussuriensis*)、小红菊 (*Dendranthema chanelii* Shih.)、歪头菜 (*Vicia unijuga*)、披针叶苔草 (*Carex lanceolata* Boott.)、宽叶苔草 (*Carex siderosticta*)、小花油点草 (*Tricyrtis macropoda* Miq.)、阴地蒿 (*Artemisia sylvatica* Maxim.) 和野艾蒿 (*Artemisia lavandulaefolia* DC.) 等。

## 2 研究方法

### 2.1 调查方法

通过对 2012 年航片数据的解译, 在分类后的影像上随机选取 38 个典型植物群落片断(考虑植被类型、恢复阶段、片断大小、形状、干扰历史及重复性等因素) 其中包括 12 个草本植被, 11 个灌木植被和 15 个天然林植被片断, 记录各植物群落相应的中心点和边界各主要拐点地理坐标, 进行野外调查。野外调查于 2014 年 8 月在塞罕坝机械林场进行, 调查范围涵盖了阴河林场、千层板林场、北曼甸林场、第三乡林场和大唤起林场的大部分地区。将塞罕坝地区由低到高分成若干个海拔段。本次调查海拔跨度为 1 257.0~1 895.3 m, 共分为 7 个海拔梯度, 第 1 梯度为海拔 < 1 300 m, 第 7 梯度为海拔 > 1 800 m, 中间每隔 100 m 为一个梯度。根据不同的海拔梯度, 采取分层随机取样的方法, 共设置 184 块样地。根据调查区群落类型不同设置不同的样方, 在天然乔木林中, 每个样地中心设置一个 20 m×20 m 的乔木样方, 并在乔木样方中对角线方向上设置灌木 5 m×5 m 和草本 1 m×1 m 样方各 1 个; 在灌木林中, 每个样地中心设置一个 5 m×5 m 灌木样方, 并在灌木样方中设置草本 1 m×1 m 样方 1 个。在荒山草地和湿地样地中心设置一个 1 m×1 m 的草本样方。用手持 GPS 记录所调查样地的经纬度坐标。测量记录每个样地的海拔、坡度和坡位(将样地所在坡位分成 1~6 共 6 个等级, 1 级为坡底, 6 级为坡顶) 以及植被类型; 乔、灌木 ( $DBH \geq 1$  cm)

记录种类、高度、胸径和个体数；草本记录物种名、多度、平均高度和最大高度（表1）。

## 2.2 数据整理

根据调查数据，统计所有植物的科、属情况以

及生长型；统计每一个海拔段每个样地内种子植物的科、属、种的数量及其乔木、灌木和草本3种不同生长型植物的种数，丰富度取各个海拔段内样地的平均值。

表1 样地基本概况

Table 1 Basic information of each plot

因子 Factor	极小值 Minimum	极大值 Maximum	平均值 Mean	标准误 Standard error	标准差 Standard deviation
海拔 Altitude/m	1 257.89	1 895.30	1 565.99	11.05	135.75
坡位 Slope position	1.00	6.00	3.64	0.12	1.47
坡度 Slope/°	2.00	40.00	14.62	0.62	7.62
土壤厚度 Soil thickness/cm	25.00	78.00	60.27	1.69	20.77
灌木胸径 Shrubs DBH/cm	0.10	6.90	1.17	0.10	1.22
乔木胸径 Trees DBH/cm	1.00	10.80	4.74	0.17	2.11
灌木树高 Shrubs height/m	0.11	6.70	1.52	0.11	1.40
乔木树高 Trees height/m	1.20	12.30	5.37	0.22	2.73

## 2.3 数据分析

所有数据在 Excel 表格进行整理，利用 SPSS21.0 对数据进行统计分析。分科、属、种和乔、灌、草2种分类形式对数据进行物种丰富度和海拔之间的显著性检验采用单因子方差分析（ANOVA）的最小显著差异法（LSD），显著水平设定为  $\alpha < 0.05$ 。检验之前所有数据进行了标准化（对数变换），以满足正态、方差齐性要求。用 Sigmaplot 绘制物种丰富度随海拔的变化趋势图。

## 3 结果与分析

### 3.1 物种多样性分类群统计与分析

**3.1.1 生长型统计与分析** 本次调查共有维管植物53科、197属、365种，分别占该地区总数的65.4%、63.1%和59.1%。其中乔木8科、12属、16种；灌木11科、23属、43种；藤本1科、1属、2种；草本41科、108属、304种。

植物的生长型是植物对生活环境长期适应而形成的一定的形态外貌、结构和习性<sup>[18]</sup>。它反映了当地的自然地理条件。调查结果显示，塞罕坝地区草本植物占有绝对的优势，共有304种，占有所有物种的83.3%，其中以菊科（Compositae）、禾本科（Gramineae）为主；其次是灌木，占有所有物种的11.8%，调查区内的灌木物种主要有山杏（*Armeniaca sibirica*）、毛榛（*Corylus heterophylla*）和黄柳（*Salix gordejewii*）等；该区乔木较少，有16种，仅占4.4%，主要以华北落叶松（*Larix principis-rupprechtii*）、山杨（*Populus davidiana*）和蒙古栎（*Xylosma ra-*

*cemosum*）为主，它们是构成该地区森林群落的建群种；藤本植物最少，本次调查中，仅出现了2种，据塞罕坝植物志记载，塞罕坝一共有9种，主要是草质或半草质藤本。通过以上调查可以反映出塞罕坝北温带的性质，以及本地区寒冷且干燥的气候特点。

**3.1.2 植物科、属、种统计与分析** 由表2可知，含有20种以上的较大科有5科，占总种数的46.58%。含有10~19种的多种科有6个科，占总数的23.01%。含有5~9种的科有7种，含有2~4种的小型科有16科。仅含有1种的科有19科，占总科数的35.85%。5个较大科和6个多种科，共计11科，仅占总科数的20.75%，但占总种数的69.59%，可见该区植物种类分布在少数科内，优势科明显。优势科包括菊科、禾本科、蔷薇科、豆科和唇形科等。

从科内属一级来看，该区包含1个属的科有31科，占总科数的58.49%，占总种数的13.15%；从科内种一级来看，该区包含一个种的科有21科，占总科数的39.62%，总种数的5.7%。由此可见该区大部分的科内，属、种缺少，区域单属科以及单种科比例高，体现出该区地理环境复杂的特点<sup>[19]</sup>。

### 3.2 物种丰富度海拔格局

塞罕坝地区科、属和种随海拔的变化趋势见图1。在一定海拔范围内科、属在数量上呈现出有先降低后升高又降低的趋势，而种在数量上呈现出在中间略微降低的趋势，但是差异不显著（ $P > 0.05$ ）。

表 2 塞罕坝植物科、属和种的统计

Table 2 Statistics of species, genera and families in Saihanba

科名 Family name	属数 Number of genera	物种数 Number of species	科名 Family name	属数 Number of genera	物种数 Number of species
菊科 Compositae	28	58	禾本科 Gramineae	21	34
蔷薇科 Rosaceae	15	33	豆科 Leguminosae	9	25
唇形科 Labiatae	14	20	百合科 Liliaceae	8	15
毛茛科 Ranunculaceae	9	17	伞形科 Umbelliferae	14	16
莎草科 Cyperaceae	3	14	玄参科 Scrop hulariaceae	5	12
蓼科 Polygonaceae	3	10	桦木科 Betulaceae	3	8
十字花科 Cruciferae	6	7	石竹科 Caryophyllaceae	5	8
忍冬科 Caprifoliaceae	3	8	木贼科 Equisetaceae	1	5
虎耳草科 Saxifragaceae	5	5	杨柳科 Salicaceae	2	4
松科 Pinaceae	3	4	牻牛儿苗科 Geraniaceae	1	4
柳叶菜科 Onagraceae	3	3	景天科 Crassulaceae	2	3
龙胆科 Gentianaceae	3	3	鼠李科 Rhamnaceae	1	3
鼠李科 Rhamnaceae	1	3	桔梗科 Campanulaceae	1	5
藜科 Chenopodiaceae	2	2	山茱萸科 Cornaceae	1	2
紫草科 Boraginaceae	1	2	远志科 Polygalaceae	1	2
堇菜科 Violaceae	1	3	榆科 Ulmaceae	1	1
鸢尾科 Iridaceae	1	1	蹄盖蕨科 Athyriaceae	1	1
铁线蕨科 Adiantaceae	1	1	薯蓣科 Dioscoreaceae	1	1
小檗科 Berberidaceae	1	2	藤黄科 Guttiferae	1	1
瑞香科 Thymelaeaceae	1	1	芍药科 Paeoniaceae	1	1
槭树科 Aceraceae	1	1	鹿蹄草科 Pyrolaceae	1	1
檀香科 Santalaceae	1	1	蕨科 Pteridiaceae	1	1
花荵科 Polemoniaceae	1	1	椴树科 Tiliaceae	1	1
大戟科 Euphorbiaceae	1	1	蝶形花科 Fabaceae	1	1
壳斗科 Fagaceae	1	1	败酱科 Valerianaceae	1	1
杜鹃花科 Ericaceae	1	1	车前科 Plantaginaceae	1	1
续断科 Dipsacaceae	1	1	茜草科 Rubiaceae	1	2

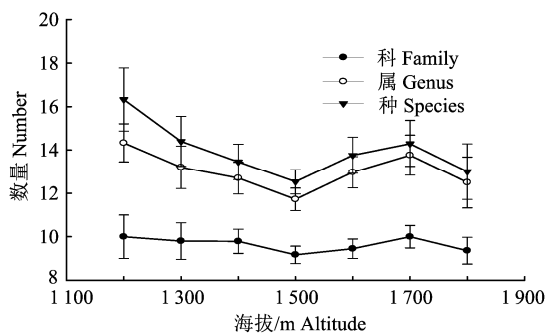


图 1 科、属、种丰富度随海拔梯度的变化

Figure 1 Families, genera and species richness along elevational gradients

生活形态类型是植物在长期的生长演化过程中对环境的一种适应甚至是改变, 而且不同的生长型植物对海拔要求也不同, 因此通过不同生长型植物的分布状况, 可以综合反映当地自然地理条件。塞罕坝地区乔、灌和草 3 种生长型植物物种在每个海

拔段的丰富度和不同海拔段间乔木、灌木和草本的显著差异程度见图 2。在每个海拔范围内, 草本丰富度最大, 且明显高于乔木和灌木; 乔木最小, 灌木居中。乔木随着海拔的变化, 有先升高后降低趋势, 但是差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 即海拔对于乔木的丰富度没有显著影响。

灌木的丰富度随着海拔的升高有先升高后降低的趋势, 丰富度最高海拔范围是 1 300~1 400 m, 最低丰富度海拔范围是 1 800 m 以上 ( $P < 0.01$ )。自 1 400 m 以后, 灌木丰富度整体呈下降的趋势, 且以后的各个海拔段均和 1 300~1 400 m 海拔段内灌木物种丰富度差异显著 ( $P < 0.05$ ), 其他海拔段之间物种丰富度差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

草本在 1 300~1 500 m 海拔范围内, 虽然草本有降低的趋势, 但是差异不显著 ( $P < 0.05$ ); 1 500 m 以上, 草本物种丰富度逐渐升高, 且 1 500~

1 600 m 海拔范围与其他海拔范围内物种丰富度差异显著 ( $P < 0.05$ )。其他海拔段之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

各个海拔段范围, 乔、灌、草 3 种生长型植物占该海拔段内所有植物的比例 (见图 3) 显示了草本植物在塞罕坝植物中占绝对优势, 其次是灌木、乔木, 而且乔木和灌木的整体变化趋势是相同的。由图 3 还可以看出, 在海拔起始点草本所占的比例是极高的, 之后草本比例基本处于上升的趋势。在 1 500 m 以内的海拔区域内, 乔木、灌木比例变化不太明显, 而在 1 500 m 以上的区域内, 乔木、灌木比例明显下降, 草本比例明显上升。

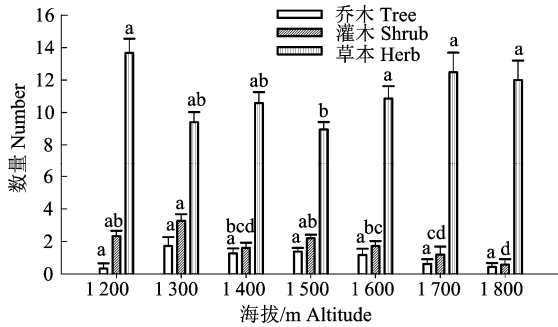


图 2 乔、灌、草 3 种生长型植物物种丰富度随海拔的变化  
Figure 2 Changes in richness of trees, shrubs and herbs

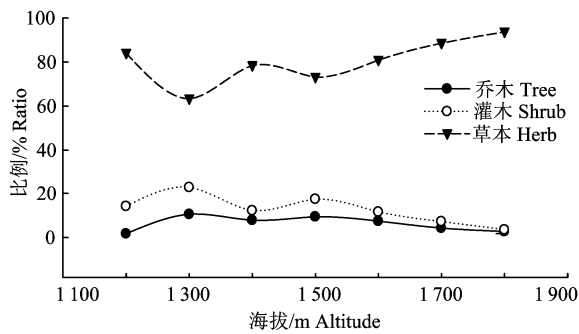


图 3 乔、灌、草 3 种生长型植物比例沿海拔梯度的变化  
Figure 3 Changes in ratios of trees, shrubs and herbs along elevational gradients

## 4 讨论

### 4.1 科、属、种丰富度随海拔梯度的变化

海拔梯度反应的微气候、水热状况的不同以及土壤养分的变化可在较大程度上影响山地的物种组成和群落结构。有研究表明, 物种丰富度随海拔升高表现为先增加后减少的单峰趋势, 即中间海拔膨胀; 也有研究表明, 物种丰富度随海拔升高呈单调递减趋势<sup>[20]</sup>。本研究结果显示: 科、属、种的丰富度随海拔的升高呈现先降低后略微升高的趋势, 总体呈现递减趋势, 但差异性不显著, 研究结果总体上与池秀莲和唐志尧研究结果物种丰富度在一定海

拔高度上呈现递减趋势<sup>[21]</sup>相符, 并与杨阳等的研究相同<sup>[22]</sup>。但与任学敏等对太白山高山植被沿海拔梯度分布格局的结果相反<sup>[23]</sup>, 他们还发现物种丰富度还会随海拔的升高呈现单调递增趋势。本研究结果可能在于物种丰富度海拔格局的形成往往同时受到多种因素影响, 简单描述丰富度随海拔梯度的变化难以体现其他因素的相对影响。另外塞罕坝地区的地貌特征和植被类型有很大关系的, 塞罕坝地区是森林-草原交错带, 地貌特征复杂、植被类型多样, 其中科、属、种数量分别约占河北相应区系科数的 55%, 属数的 39%, 种数的 27%, 是河北多样性比较丰富的区域之一。该地区垂直高差仅 700 m 左右, 较低海拔 (<1 200 m) 和较高海拔 (>1 900 m) 本研究均未涉及, 所以科、属、种的丰富度总体来说随海拔变化是不明显的。

### 4.2 不同生长型植物沿海拔梯度的变化

研究结果显示 3 种生长型植物丰富度沿海拔梯度分布趋势不同, 可能是不同层次植物对环境因子的响应存在差异, 这和张子良等<sup>[24]</sup>, 袁铁象等<sup>[25]</sup>研究结果相同。相同海拔梯度下, 草本的丰富度明显大于灌木和乔木, 可能是由于草本植物适应性强, 种类相对丰富导致, 这与王晶等<sup>[26]</sup>, 金慧等<sup>[27]</sup>研究结果相同。塞罕坝各植被类型交差较大, 例如阔叶林在 1 400~1 700 m 均有分布, 针、阔混交林在 1 300~1 600 m 均有分布, 落叶针叶林在 1 500~1 900 m 均有分布, 常绿针叶林除了在高海拔 1 700~1 800 m 有分布外, 在 1 400 m 也有分布。这种特殊的植被类型分布导致了本研究结果乔木的丰富度随海拔升高变化不显著。灌木的丰富度随海拔的变化呈现了以 1 300~1 400 m 海拔段为峰值的偏峰格局。海拔梯度实际上反映了水热状况的梯度变化<sup>[27]</sup>。所以研究结果表明了低海拔地段被认为干扰严重、土层薄、降水也少, 不利于灌木生长。而在 1 300~1 500 m 中度海拔范围内, 土层加厚, 水、热状况良好, 人为活动减少、乔木层林分类型增多, 灌木层物种丰富度升高; 而随着海拔升高, 温度降低成为一个限制因子, 尤其是在 1 800 m 以上的高海拔区域, 水分充足但是热量不足, 乔木层植被类型单一, 仅分布一些常绿针叶林, 如白杆群系 (Form. *Picea meyeri*), 还有一些草甸、灌草丛等。草本层物种丰富度总体趋势是随海拔变化逐渐升高的, 1 200 m 处出现最高值, 与本次在该海拔段取样少、分布不合理有关系。1 500~1 600 m 处出现了最低值, 其原因是在该海拔地段塞罕坝地区乔木层只要是阔叶林和针阔混交林, 郁闭度比较大, 造成

草本丰富度降低, 随着海拔的升高, 落叶针叶林和常绿针叶林占主要优势, 郁闭度较低, 造成草本升高的趋势。

## 5 结论

在塞罕坝机械林场调查的 184 块样地中, 共有维管植物 53 科、197 属、365 种, 分别占该地区总数的 65.4%、63.1%和 59.1%。其中乔木 8 科、12 属、16 种; 灌木 11 科、23 属、43 种; 藤本 1 科、1 属、2 种; 草本 41 科、108 属、304 种。该区优势科、属明显, 优势科主要有菊科、禾本科、蔷薇科、豆科、唇形科。大部分的科内, 属、种缺少, 区域单属科以及单种科比例高, 体现出该区地理环境复杂的特点。

物种丰富度为草本层>灌木层>乔木层; 随着海拔的升高, 科、属、种以及乔木的变化是不显著的, 这与塞罕坝地区植被类型分布交叉大有很大关系; 灌木丰富度随海拔的变化出现先升高后降低的单峰格局, 即中度海拔物种丰富度最高, 这与随着海拔升高水热状况、土层厚度以及人为活动有重要的关系; 草本层丰富度总体趋势是随海拔升高而升高, 除了受海拔的格局影响外, 主要原因是林分郁闭度、林下的土壤和小生境等。研究区物种多样性海拔分布格局除了受海拔引起的水、温和土壤状态的影响, 还与研究区人为活动有重要的关系。

## 参考文献:

- [1] 高远, 慈海鑫, 邱振鲁, 等. 山东蒙山植物多样性及其海拔梯度格局[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6377-6384.
- [2] 赵淑清, 方精云, 宗占江, 等. 长白山北坡植物群落组成、结构及物种多样性的垂直分布[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 164-173.
- [3] 何艳华, 闫明, 张钦弟, 等. 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2452-2462.
- [4] 刘兴良, 史作民, 杨冬生, 等. 山地植物群落生物多样性与生物生产力海拔梯度变化研究进展[J]. 世界林业研究, 2005, 18(4): 27-34.
- [5] 刘增力, 郑成洋, 方精云. 河北小五台山北坡植物物种多样性的垂直梯度变化[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 137-145.
- [6] 朱源, 康慕谊, 江源, 等. 贺兰山木本植物群落物种多样性的海拔格局[J]. 植物生态学报, 2008, 32(3): 574-581.
- [7] 井学辉, 曹磊, 臧润国. 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律[J]. 生态学报, 2013, 33(9): 2886-2895.
- [8] 井学辉, 臧润国, 丁易, 等. 新疆阿尔泰山小东沟北坡植物多样性沿海拔梯度分布格局[J]. 林业科学, 2010, 46(1): 23-28.
- [9] LOMOLINO M. Elevation gradients of species - density: historical and prospective views[J]. Global Ecol Biogeogr, 2001, 10(1): 3-13.
- [10] 段文军, 王金叶. 猫儿山自然保护区森林群落垂直格局与主导因素分析[J]. 生态环境学报, 2013, 22(4): 563-566.
- [11] OHSAWA M. Latitudinal comparison of altitudinal changes in forest structure, leaf 2 type, and species richness in humid monsoon Asia[J]. Vegetatio, 1995, 121(1/2): 3-10.
- [12] 冯建孟, 王襄平, 徐成东, 等. 玉龙雪山植物物种多样性和群落结构沿海拔梯度的分布格局[J]. 山地学报, 2006, 24(1): 110-116.
- [13] 王志恒, 陈安平, 朴世龙, 等. 高黎贡山种子植物物种丰富度沿海拔梯度的变化[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 82-88.
- [14] 方精云. 探索中国山地植物多样性的分布规律[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 1-4.
- [15] 张婉君, 卢绮妍, 梁军, 等. 台湾维管束植物物种丰富度和种域宽度的海拔格局及对 Rapoport 法则的检验[J]. 生物多样性, 2010, 18(3): 312-322.
- [16] 唐志尧, 方精云, 张玲. 秦岭太白山木本植物物种多样性的梯度格局及环境解释[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 115-122.
- [17] 朱源, 康慕谊, 江源. 贺兰山针叶林结构与多样性的海拔格局[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(9): 44-49.
- [18] 王全波, 张淑兰, 张海军, 等. 大亮子河国家森林公园林乔灌草不同层次植物物种组成分析[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(3): 24-26.
- [19] 吴裕鹏, 许涵, 李意德, 等. 海南尖峰岭热带林乔灌木层物种多样性沿海拔梯度分布格局[J]. 林业科学, 2013, 49(4): 16-23.
- [20] 张大才, 孙航. 大尺度空间上植物物种丰富度沿海拔梯度分布格局的研究进展[J]. 西南林学院学报, 2009, 29(2): 74-80.
- [21] 池秀莲, 唐志尧. 面积、温度及分布区限制对物种丰富度海拔格局的影响: 以秦岭太白山为例[J]. 植物生态学报, 2011, 35(4): 362-370.
- [22] 杨阳, 韩杰, 刘晔, 等. 三江并流地区干旱河谷植物物种多样性海拔梯度格局比较[J]. 生物多样性, 2016, 24(4): 440-452.
- [23] 任学敏, 杨改河, 朱雅, 等. 环境因子对太白山高山植被物种组成和丰富度的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(23): 6993-7003.
- [24] 张子良, 于飞, 王得祥. 环境因子对秦岭 3 种典型次生林群落物种组成的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(8): 69-78.
- [25] 袁铁象, 张合平, 欧芷阳, 等. 地形对桂西南喀斯特山地森林地表植物多样性及分布格局的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(10): 2803-2810.
- [26] 王晶, 张钦弟, 许强, 等. 山西庞泉沟银露梅群落物种多样性的海拔格局[J]. 植物学报, 2016, 51(3): 335-342.
- [27] 金慧, 赵莹, 赵伟, 等. 长白山牛皮杜鹃群落物种多样性的海拔梯度变化及相似性[J]. 生态学报, 2015, 35(1): 125-133.
- [28] 拉琼, 扎西次仁, 朱卫东, 等. 雅鲁藏布江河岸植物物种丰富度分布格局及其环境解释[J]. 生物多样性, 2014, 22(3): 337-347.