

DOI: 10.5846/stxb201301220125

霍萌萌, 郭东罡, 张捷, 王治明, 上官铁梁, 李润强, 刘卫华. 灵空山油松-辽东栎林乔木树种群落学特征及空间分布格局. 生态学报, 2014, 34(20): 5925-5935.

Huo M M, Guo D G, Zhang J, Wang Z M, Shangguan T L, Li R Q, Liu W H. Tree community characteristics and spatial patterns of the forms *Pinus tabulaeformis* - *Quercus wutaishanica* in Lingkong Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(20): 5925-5935.

灵空山油松-辽东栎林乔木树种群落学特征 及空间分布格局

霍萌萌¹, 郭东罡¹, 张捷², 王治明³, 上官铁梁^{1,*}, 李润强³, 刘卫华¹

(1. 山西大学环境与资源学院, 太原 030006; 2. 山西大学生命科学学院, 太原 030006;

3. 山西灵空山省级自然保护区管理局, 长治 046500)

摘要: 参照 CTFS 技术规范对灵空山自然保护区油松(*Pinus tabulaeformis*)-辽东栎(*Quercus wutaishanica*)林的乔木进行每木调查的基础上分析了不同乔木树种的群落学特征及空间分布格局。结果表明, 4hm²样地中共有乔木树种 25 种, 总计 8210 株。隶属于 12 科 18 属, 种的区系以东亚、温带亚洲及中国特有分布类型为主。油松、辽东栎是群落中的共优种, 个体占总个体的 86.81%, 杜梨(*Pyrus betulifolia*)、白蜡树(*Fraxinus chinensis*)、漆树(*Toxicodendron vernicifluum*)为群落中主要的伴生种。优势种的径级结构与所有乔木个体的径级结构相似, 近似于倒“J”形, 以小径级个体居多, 林下更新良好。主要树种的空间分布格局在小尺度上表现为聚集分布。油松小径级个体在 20 m 以内的尺度上呈聚集分布, 当空间尺度超过 60 m 时表现为随机分布, 大径级个体在所有尺度上均呈随机分布; 辽东栎不同径级个体在小尺度范围内呈现聚集分布, 随着尺度增大由随机分布趋于均匀分布。主要树种除漆树外在坡度较缓的生境下分布密度大。灵空山自然保护区油松-辽东栎林中油松种群优势地位更显著, 各个乔木种群处于相对稳定状态。

关键词: 油松-辽东栎林; 群落特征; 径级结构; 空间分布格局

Tree community characteristics and spatial patterns of the forms *Pinus tabulaeformis* - *Quercus wutaishanica* in Lingkong Mountain

HUO Mengmeng¹, GUO Donggang¹, ZHANG Jie², WANG Zhiming³, SHANGGUAN Tieliang^{1,*}, LI Runqiang³, LIU Weihua¹

1 School of Environmental Sciences and Resources, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

2 School of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

3 Shanxi Provincial Nature Reserve of Lingkong Mountain, Changzhi 046500, China

Abstract: The community characteristics and spatial distribution were analyzed for the Forms *Pinus tabulaeformis* - *Quercus wutaishanica* in the Nature Reserve of Lingkong Mountain by following the CTFS protocols, in which all free-standing trees were mapped and identified. The results showed that a total of 25 tree species in 18 genera and 12 families were recorded among the 8210 individuals. Most species are commonly found in the Temperate Asia and East Asia including the Endemic to China. The dominant species of *P. tabulaeformis* and *Q. wutaishanica* accounted for 86.81% in abundance. The main companion species were also observed as the *Pyrus betulifolia*, *Fraxinus chinensis*, *Toxicodendron vernicifluum* in the community. The diameter-class structure of dominant species was found similar to that of the whole community, roughly in

基金项目: 山西省自然科学基金(2011011030-1)

收稿日期: 2013-01-22; 网络出版日期: 2014-03-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sgtl_55@163.com

inversed “J” shape, in which most individuals were in small diameter-class, suggesting sound community renewal under wood. Meanwhile, the main species demonstrated the bottleneck phenomena to various degrees, most like due to the self-thinning effects of *P. tabuliformis* and *Q. wutaishanica*, especially among the young trees of 4 cm and 15 cm in *DBH* respectively. In comparison, *Pyrus betulifolia* showed a faultage phenomena among the trees of 2—5cm in *DBH*, probably due to the thinning effect by other species. The age structure of *Fraxinus chinensis* suggested the transition from growth to stable phase. The diameter-class structure of *Toxicodendron vernicifluum* was approximately in inversed “J” shape, showing active natural renewal as being indicated by the seedlings in high abundance. In small scale the clustered distribution was observed among the dominant species. In *P. tabuliformis* the individuals of small diameter-class demonstrated clustered distribution in the scale of less than 20m, but random distribution in scale of 60—100m that is the same as that of the individuals of big diameter-class in all scales. In comparison, the *Q. wutaishanica* showed the trend from clustered to even and random distribution along the scale gradient from small to large. The trees of *Pyrus betulifolia* of small diameter-class showed clustered distribution in the scale of less than 10m but random distribution in scale of 10—100m; and the trees of big diameter-class demonstrated random distribution in all scales. The small diameter-class individuals of *Fraxinus chinensis* showed clustered distribution in scale of 0—25m and even distribution in scale of 25—70m, demonstrating trend to random distribution with the increase of spatial scale. *Toxicodendron vernicifluum* showed clustered distribution in scale of 0—20m and even distribution over of 20m. The main species showed high density in relatively flat habitats except for *Toxicodendron vernicifluum*. The data indicated *P. tabuliformis* being dominant over *Q. wutaishanica* in the community and all tree populations being in relatively steady state in the Nature Reserve of Lingkong Mountain.

Key Words: *Pinus tabuliformis*-*Quercus wutaishanica*; community characteristics; diameter-class structure; spatial distribution

植物群落的组成与结构是植物群落生态学研究的基础,植物群落主要受控于组成群落物种的生态、生物学特性及它们的特殊配置方式^[1-2]。研究群落结构有利于理解群落的物种组成特点,功能特征,物种与环境之间的关系等,是制定植物群落多样性保护与管理措施的重要理论参考和依据^[3]。

油松-辽东栎林是暖温带落叶阔叶林地区典型的针阔叶混交林。建群种油松和辽东栎中心分布区均为我国的华北地区^[4-6],也是本研究区混交林的重要成分。以往的研究以油松林、辽东栎林为研究对象的成果颇多,关于油松林的研究集中在群落特征^[5,7]、空间结构^[8-12]、优势种生态位^[13-14]等方面,针对辽东栎林的研究主要有群落特征^[4,6]、种群生活史^[15]、径级结构^[16]等。这些研究均反映了纯林的生态学特征。近十年来针对油松-辽东栎林的研究较少,研究主要基于离散样方从单个角度对油松-辽东栎林进行分析^[17-23],而采用连续样方长期定位监测的系统研究尚未见。

油松-辽东栎林是灵空山自然保护区典型的森林类型,本研究通过野外调查,标本采集和鉴定,系

统地分析了油松-辽东栎林乔木树种的群落特征及优势树种的空间格局,为油松-辽东栎林的系统研究提供基础资料,也为灵空山自然保护区森林生态系统保护和管理提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于山西省灵空山自然保护区内,地理坐标为 36°33'28"—36°42'52"N, 111°59'27"—112°07'48"E。具有典型的暖温带大陆性季风气候特征,年均温 6.2℃,年日照 2600 h,植物生长期 110—125 d,年均降雨量 662 mm,主要集中在 7、8、9 等 3 个月,占全年的 74.8%,无霜期 145 d 左右,平均风速 2.4 m/s。地势北高南低,海拔 1583—1660 m(平均值为 1618 m),土壤为石灰岩母岩上发育而成的山地褐土、山地淋溶褐土和山地棕壤。保护区内地带性植被为典型的暖温带针叶林、落叶阔叶林和松栎针阔混交林,森林群落的主要建群种为油松、辽东栎。

1.2 样地设置与调查

热带森林科学研究中心 (Center for Tropical

Forest Science, 简称 CTFS) 是一个全球性的森林研究中心监测网络, 致力于热带和温带森林功能和多样性的研究。自 20 世纪 80 年代初以来, CTFS 在全球 21 个国家建立起超过 40 个固定监测样地。中国森林生物多样性监测网络 (Chinese Forest Biodiversity Monitoring Network, 简称 CForBio) 于 2004 年建立, 是 CTFS 的重要组成部分。截止 2012 年, CForBio 建立大型监测样地 12 个, 面积 9—30 hm² 不等, 涵盖了不同纬度带的森林植被类型。

参照 CTFS 的技术规范, 用全站仪将 4 hm² 样地分成 400 个 10 m×10 m 的样方, 样方内用插值法细分为 4 个 5 m×5 m 的小样方。以样地的西南角为坐标原点, 顺序排列 10 m×10 m 样方的行、列号作为水泥角桩的编号, 采用 GPS 测量其经纬度和海拔高度, 计算样地内每个基点的相对海拔高度, 并绘制等高线地形图 (图 1)。

野外调查以 10 m×10 m 样方为乔木测树单元, 对乔木群落 400 个样方内的所有乔木 (含高度大于 3 m 的灌木) 进行每木调查, 以独立木以及 1.3 m 以下的分枝为调查对象, 记录种名、胸径 (DBH)、坐标、树高等基本数据, 并建立数据库。详细记录样方内的物种名称、多度、样方盖度、高度、坐标等; 同时记录各样地的海拔、坡度等环境因子。

1.3 群落结构分析方法

根据在灵空山自然保护区调查所得的数据, 并参考有关种群的径级划分方法^[24-25], 对林木进行径级划分, 共划分为 5 个等级, 径级划分的标准为: I 级 (DBH<5 cm)、II 级 (5≤DBH<10 cm)、III 级 (10≤DBH<30 cm)、IV 级 (30≤DBH<50 cm)、V 级 (DBH≥50 cm)。

按物种高度和生长型, 划分群落的垂直结构: 林冠层 (≥15 m)、亚乔木层 (≥5 m, <15 m), 及灌木层 (<5 m)^[26]。

1.4 种群空间格局分析方法

采用 R2.11.1 软件对物种的空间格局划分径级进行制图。采用单变量 O-ring 函数对物种的空间格局进行分析, 用成对相关函数 $g(r)$ 来决定种群多个特定尺度上的空间格局, 即

$$g(r) = (2\pi r)^{-1} dK(r) / dr$$

如果在某一距离处, $g(r)$ 值高于置信区间上限, 则该树种在该距离是聚集分布; 若在置信区间之间,

则是随机分布; 低于置信区间的下限, 则是均匀分布^[27]。

数据分析过程使用生态学软件 Programita 完成, 采用空间尺度为 0—100 m, 99 次 Monte Carlo 模拟得到 99% 的置信区间。

1.5 数据分析方法

植物种群重要值 (IV):

$$IV = [\text{相对高度 (RHG, \%)} + \text{相对胸径 (RDBH, \%)} + \text{相对多度 (RAD, \%)}] / 3$$

$$RHG = H_i / \sum H_i,$$

其中,

$$RDBH = D_i / \sum D_i,$$

$$RAD = A_i / \sum A_i$$

式中, H_i 、 D_i 、 A_i 分别为某种植物的高度 (m)、胸径 (cm) 和多度; $\sum H_i$ 、 $\sum D_i$ 、 $\sum A_i$ 依次为所有植物的总高度 (m)、总胸径 (cm) 和总多度。

采用 EXCEL 2003 对数据进行规范, 统计区系特征、物种组成及垂直结构, 采用 R 2.11.1 软件对群落的径级结构进行分析和制图。径级结构图横坐标分别以径级为单位及以 1 cm 为单位制图, 通过比较后者能更充分的反应物种的径级结构, 故本文的径级结构图采用以 1 cm 为单位进行制图。将坡度由低到高划分为 0°—15°, 15°—30°, 30°—45° 3 个区间, 计算树种的分布密度。

2 结果与分析

2.1 区系特征

样地内活的乔木个体为 9171 株, 不包括分枝的独立个体为 8210 株, 本文所用的统计数据都是基于独立个体数。乔木植物共有 25 种, 分属于 12 科 18 属。根据吴征镒 (1991) 属级类型的区系分类标准, 样地内的乔木树种以东亚分布、温带亚洲分布及中国特有分布为主 (表 1), 占总种数的 96.00%, 其中辽东栎、白蜡树、槲栎 (*Quercus aliena*)、冻绿 (*Rhamnus utilis*)、鹅耳枥 (*Carpinus turczaninowii*) 等 9 个种属于东亚分布, 漆树、茶条槭 (*Acer ginnala*)、山楂 (*Crataegus pinnatifida*)、白桦 (*Betula platyphylla*) 等 8 个种属于温带亚洲分布, 油松、山荆子 (*Malus baccata*)、元宝槭 (*Acer truncatum*)、山桃 (*Amygdalus davidiana*) 等 7 个种属于中国特有分布。此外, 仅流苏树 (*Chionanthus retusus*) 属于东亚和北美间断分布。

2.2 物种组成

2.2.1 种-多度格局

样地中有 25 个乔木树种,从物种多度的累积分布图可以看出(图 2),个体较多的前 5 个种占总个

体的 96.43%,个体最多的两个种辽东栎、油松占总个体的 86.81%(表 2)。而个体较少的 15 个种的个体之和仅占样地总个体的 0.91%,其中有 13 个种的个体小于 10 株(表 3),流苏树、山荆子都仅有 1 株。

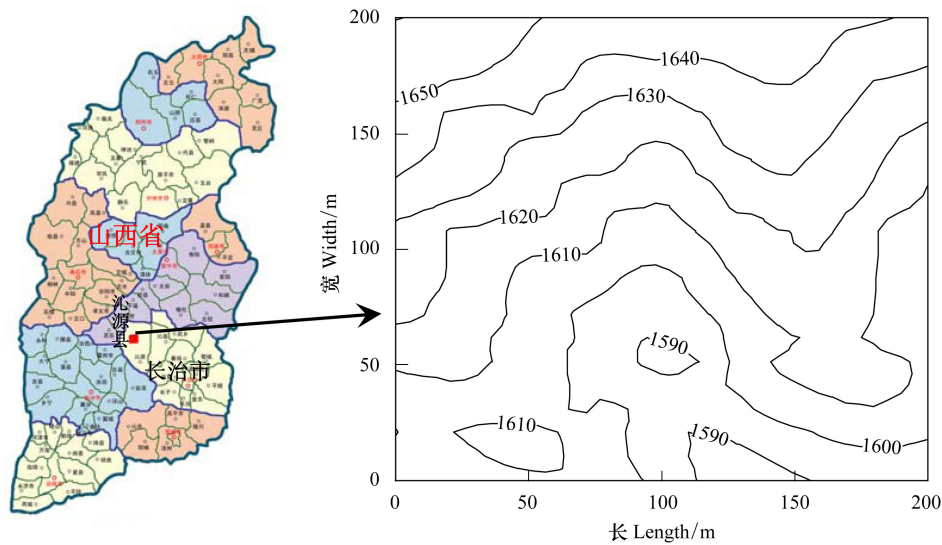


图 1 灵空山样地地形图
Fig.1 The topography map in Lingkong Mountain plot

表 1 灵空山样地乔木树种的分布区类型统计

分布区类型 Distribution area types	物种数 Number of species	占总种数比例/% Proportion
9 东亚和北美间断分布 E.Aisa&N.Amer. disjuncted (E)	1	4
11 温带亚洲分布 Temp. Asia (T)	8	32
14 东亚分布 E. Asia (E)	9	36
15 中国特有分布 Endemic to China (E)	7	28

表 2 个体数最多的 5 个树种

种名 Species	个体数与比率 Number of individuals (Proportion/%)
辽东栎 <i>Quercus wutaishanica</i>	3843 (46.81)
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	3284 (40.00)
杜梨 <i>Pyrus betulifolia</i>	571 (6.95)
白蜡树 <i>Fraxinus chinensis</i>	146 (1.78)
漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	73 (0.89)

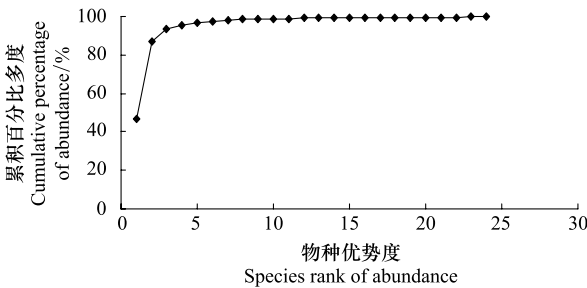


图 2 物种多度的累积分布图
Fig.2 Cumulative distribution curve of species abundance

2.2.2 优势度

按树种重要值排序,样地中重要值 ≥ 1 的树种有 3 种(表 3),分别为辽东栎、油松、杜梨,这 3 个树种的多度与胸高断面积分别占样地总多度与总胸高断面积的 93.76%与 98.36%。重要值最大的树种是油

松辽东栎次之,这两个种的个体数、胸高断面积、重要值均远远超过其它树种,是群落中的建群种。重要值较大的其它树种多为个体数量较多的树种,如白蜡树、漆树、山楂、冻绿,也有部分树种个体数量不

多但胸高断面积较大其重要值也相对较大,如甘肃山楂(*Crataegus kansuensis*)、茶条槭、槲栎。

样地内所有乔木个体的平均胸径为 9.43 cm。平均胸径大于 10 cm 的树种有 5 种(表 3),样地内胸径最大的个体为油松,胸径为 70.70 cm。平均胸径较大的树种,大部分个体较少,如白桦、槲树(*Quercus dentata*)、山荆子、鼠李(*Rhamnus davurica*)个体均少

于 10 株。在平均胸径大于 10 cm 的 5 个种中,仅有油松的重要值大于 1。对重要值较大的 3 个树种的平均胸径进行分析,油松的平均胸径大于整个样地的平均胸径,辽东栎的平均胸径略小于整个样地的平均胸径,表明油松与辽东栎进入针阔混交林的时间相对更早或生长相对更快。

表 3 灵空山样地的物种组成

Table 3 Species composition in the Lingkong Mountain plot

种名 Species	多度 Abundance	胸高断面积 Basal area/ (m ² /hm ²)	平均胸径 Mean diameter at breast height (DBH)/cm	垂直结构 Vertical structure	重要值 Important value
辽东栎 <i>Quercus wutaishanica</i>	3843	11.2918	8.90	林冠层	45.03
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	3284	16.6232	11.71	林冠层	46.02
杜梨 <i>Pyrus betulifolia</i>	571	0.6260	4.38	亚乔木层	4.54
白蜡树 <i>Fraxinus chinensis</i>	146	0.0425	2.21	亚乔木层	0.93
漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	73	0.0180	2.43	亚乔木层	0.53
甘肃山楂 <i>Crataegus kansuensis</i>	61	0.1109	7.07	亚乔木层	0.65
茶条槭 <i>Acer ginnala</i>	60	0.0805	6.51	亚乔木层	0.68
山楂 <i>Crataegus pinnatifida</i>	43	0.0073	2.34	灌木层	0.29
槲栎 <i>Quercus aliena</i>	35	0.1065	10.61	亚乔木层	0.47
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	2	0.0194	18.87	亚乔木层	0.04
暴马丁香 <i>Syringa reticulata</i> subsp. <i>amurensis</i>	9	0.0060	5.44	灌木层	0.09
冻绿 <i>Rhamnus utilis</i>	19	0.0477	9.27	亚乔木层	0.25
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	7	0.0110	6.67	亚乔木层	0.07
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	2	0.0005	3.40	灌木层	0.02
槲树 <i>Quercus dentata</i>	2	0.0072	13.50	林冠层	0.04
流苏树 <i>Chionanthus retusus</i>	1	0.0007	6.00	灌木层	0.01
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	2	0.0000	0.55	灌木层	0.01
沙棘 <i>Cornus bretschneideri</i>	2	0.0012	5.25	亚乔木层	0.02
山荆子 <i>Malus baccata</i>	1	0.0024	11.10	灌木层	0.01
山桃 <i>Amygdalus davidiana</i>	12	0.0002	0.86	灌木层	0.06
山杨 <i>Populus davidiana</i>	4	0.0033	4.85	亚乔木层	0.04
鼠李 <i>Rhamnus davurica</i>	2	0.0021	6.42	亚乔木层	0.02
小叶朴 <i>Celtis bungeana</i>	5	0.0001	0.93	灌木层	0.03
元宝槭 <i>Acer truncatum</i>	15	0.0064	2.99	灌木层	0.11
色木槭 <i>Acer mono</i>	9	0.0004	1.01	灌木层	0.05
合计 Total	8210	29.0155			

2.2.3 稀有种

Hubbell 和 Foster 把单位公顷的个体数 ≤ 1 的种定义为稀有种,1—10 株为偶见种。按此定义,样地内有 9 个稀有种,8 个偶见种,分别占总种数的 36.00%和 32.00%。稀有种个体均少于 10 株,个体总数为 18 株,仅占样地个体总数的 0.22%(表 4)。

从物种多度、胸高断面积和平均胸径 3 个指标可以看出:辽东栎、油松既有较多的个体,也有较大

的平均胸径,因此胸高断面积也大,属于主林层优势种;杜梨、白蜡树个体很多,但平均胸径很小,胸高断面积也小,属于林下层的优势种;槲树、白桦等虽然平均胸径很大,但个体很少,因此胸高断面积较小,属于主林层的稀有种;小叶朴(*Celtis bungeana*)、山桃、千金榆(*Carpinus cordata*)平均胸径很小,个体也很少,因此胸高断面积很小,属于林下层的稀有种。

表 4 样地中的稀有种

Table 4 The rare species in Lingkong Mountain plot

种名 Species	个体数/株 Abundance	个体比例/% Proportion
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	2	0.02
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	2	0.02
槲树 <i>Quercus dentata</i>	2	0.02
流苏树 <i>Chionanthus retusus</i>	1	0.01
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	2	0.02
沙棘 <i>Cornus bretschneideri</i>	2	0.02
山荆子 <i>Malus baccata</i>	1	0.01
山杨 <i>Populus davidiana</i>	4	0.05
鼠李 <i>Rhamnus davurica</i>	2	0.02
合计 Total	18	0.22

2.3 垂直结构

灵空山样地群落垂直结构复杂(表 3),林冠层的优势种显著,由油松、辽东栎等高大的阳性乔木构成,种类少,个体多;亚乔木层是群落的主要层,物种多样性高,常见的种类有杜梨、白蜡树、茶条槭等中生、耐阴树种;灌木层由于一些乔木幼树和大灌木的进入,致使该层成分较复杂,主要有山楂、元宝槭、山桃等,个体少。

2.4 径级结构

灵空山样地内所有个体的径级结构形状近似于倒“J”形(图 3)小径级个体居多随着径级增大个体数减少,Ⅰ级个体数随着径级增大而急剧减小,后又缓慢上升 DBH 在 10—20 cm 之间出现峰值,之后又缓慢下降。样地内小径级占总个体的 96.85%,其中 46.00%的个体集中在Ⅰ级,表明样地林下更新良好;Ⅲ级个体也较多,占总个体的 38.86%;大径级个体较少,Ⅳ级个体仅占 3.09%,Ⅴ级个体仅有 5 株,均为油松。

进一步对主要树种的径级结构进行分析,辽东栎与油松的径级结构相似(图 3),分别在 DBH 1—5 cm 和 1—15 cm 呈现出倒“J”形,而在较大的径级近似正态分布,分别在 10—20 cm 和 20—30 cm 出现了两个明显的峰;杜梨径级结构近似“L”形,Ⅰ级个体占总个体的 70.00%,在 DBH 2—5 cm 出现明显的断层现象;白蜡树 87.00%的个体集中在Ⅰ级,DBH ≥5 cm 的个体仅有 19 株;漆树的径级结构呈现倒“J”形的分布,无大径级个体,DBH 均小于 10 cm,个体主要集中在Ⅰ级(图 3)。

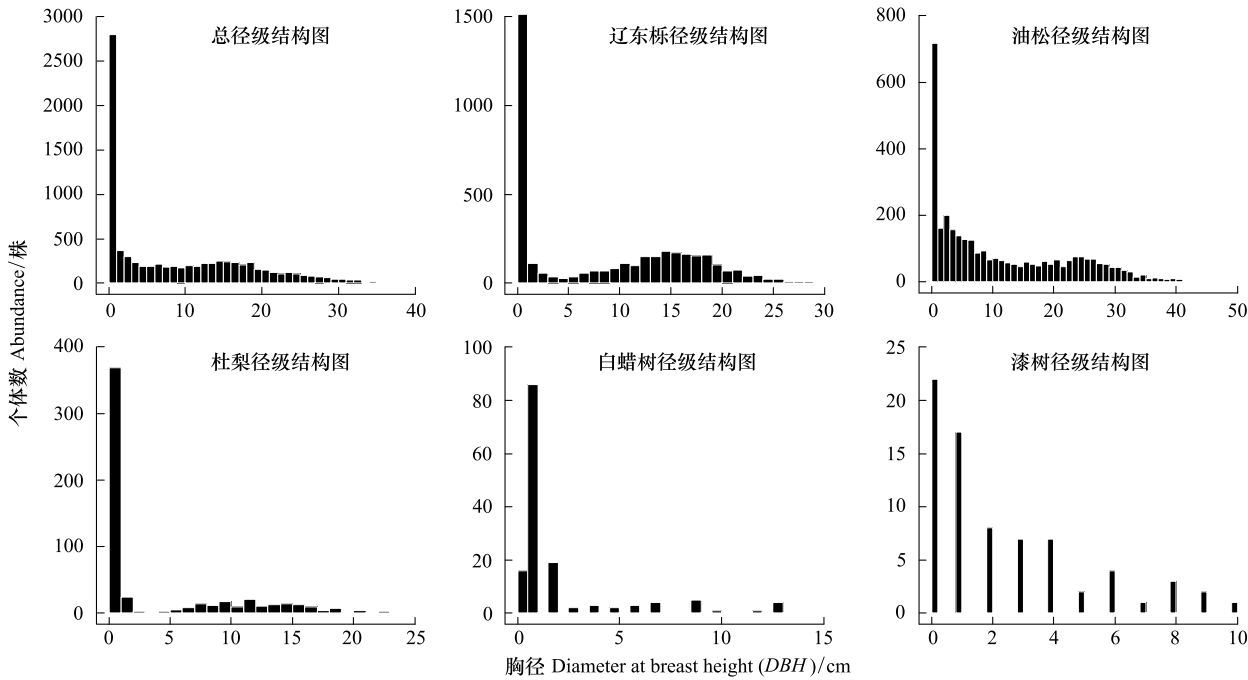


图 3 主要树种的径级结构图
Fig.3 Size-class distribution of main species

2.5 主要树种的空间分布格局

灵空山样地几个主要树种的空间分布随径级的

变化而表现出不同的格局(图 4,图 5)。辽东栎不同径级个体在样地分布区域大体相同,在样地东部的

山脊附近分布较稀疏(图4),在坡度 15° — 30° 密度最大(表5)。个体在小尺度范围内呈现聚集分布随着尺度增大由随机分布过渡至均匀分布(图5)。I级个体在0—40 m研究尺度上聚集分布,大于40 m表现为均匀分布;II级个体在0—20 m聚集分布,20—70 m随机分布,大于70 m表现为均匀分布;III级个体最多占辽东栎总个体的46.92%在0—70 m聚集分布,随着尺度增大呈均匀分布;IV级个体只有15株,分布于样地海拔较低的山谷中。

油松不同径级个体在样地的分布区域大致相同,在样地东部的山脊附近分布较多(图4),随着坡度增大密度呈减小趋势(表5)。油松I、II、III级个

体在20 m以内的尺度上均表现为在聚集分布,在大于60 m尺度上随机分布,IV级个体在样地内随机分布(图5)。V级油松个体仅有5株,主要分布在样地的东部海拔较高的山脊上。

杜梨不同径级个体在整个样地都有分布(图4),在不同坡度的分布密度近似(表5),I级个体最多占杜梨总个体的70.05%,在0—10 m聚集分布10—100 m随机分布(图5);II、III级个体在山谷及地势较复杂的区域随机分布。白蜡树随着坡度变化分布密度差异较小(表5),I级个体占总个体的86.99%,在样地东南角分布最多(图4),在0—25 m聚集分布25—70 m均匀分布随着尺度增大呈随机

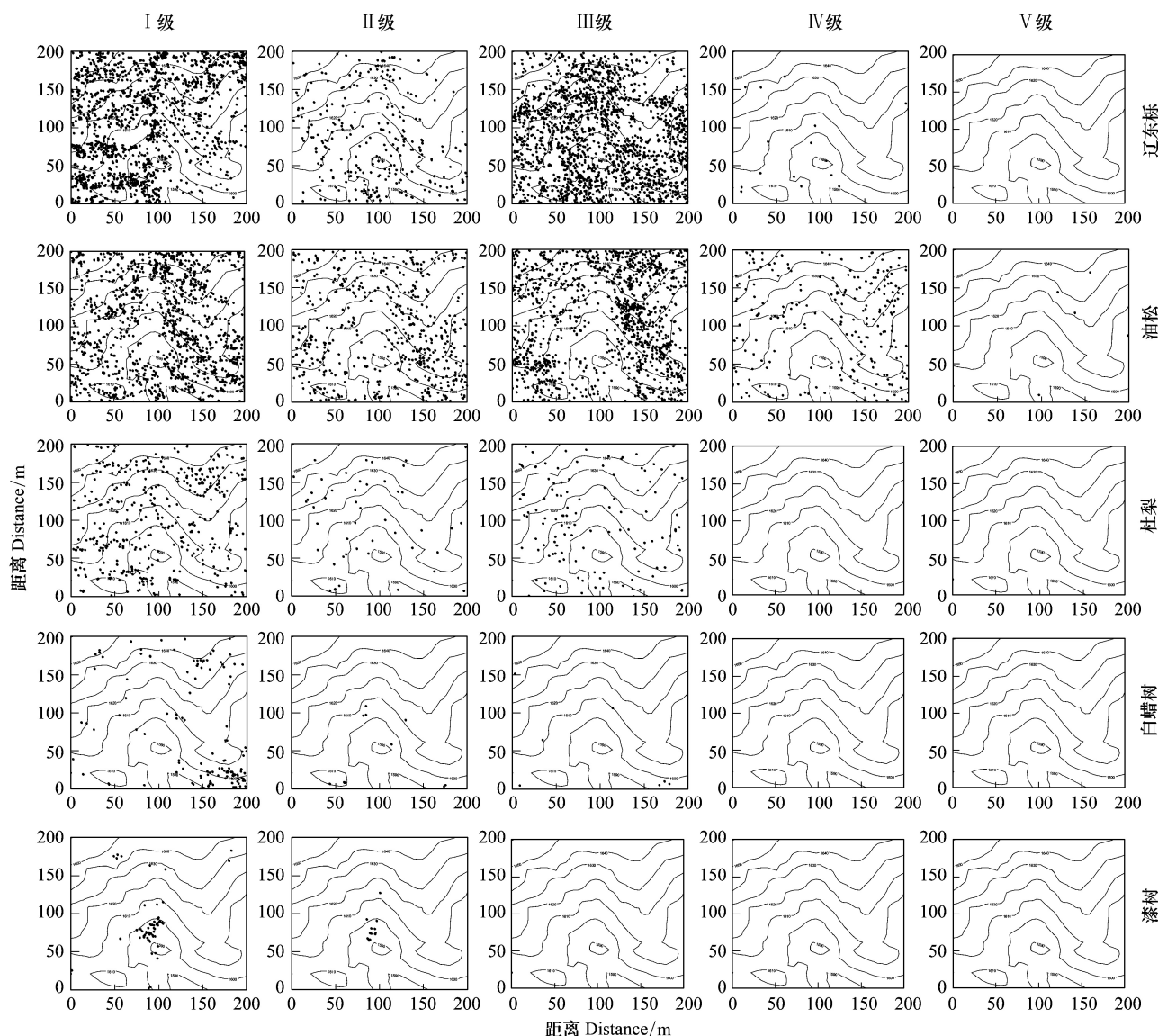


图4 主要树种的空间分布图

Fig.4 Spatial distribution of main species

表 5 不同坡度下主要树种的分布
Table 5 Distribution of main species in different slope

地形因子 Topography factor		样方数 Number of plot	密度 Density/(株/hm ²)				
			辽东栎 <i>Quercus wutaishanica</i>	油松 <i>Pinus tabuliformis</i>	杜梨 <i>Pyrus betulifolia</i>	白蜡树 <i>Fraxinus chinensis</i>	漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>
坡度 Slopegrade/(°)	0—15	66	726	1148	124	33	3
	15—30	281	1020	786	149	38	20
	30—45	53	938	598	134	34	26

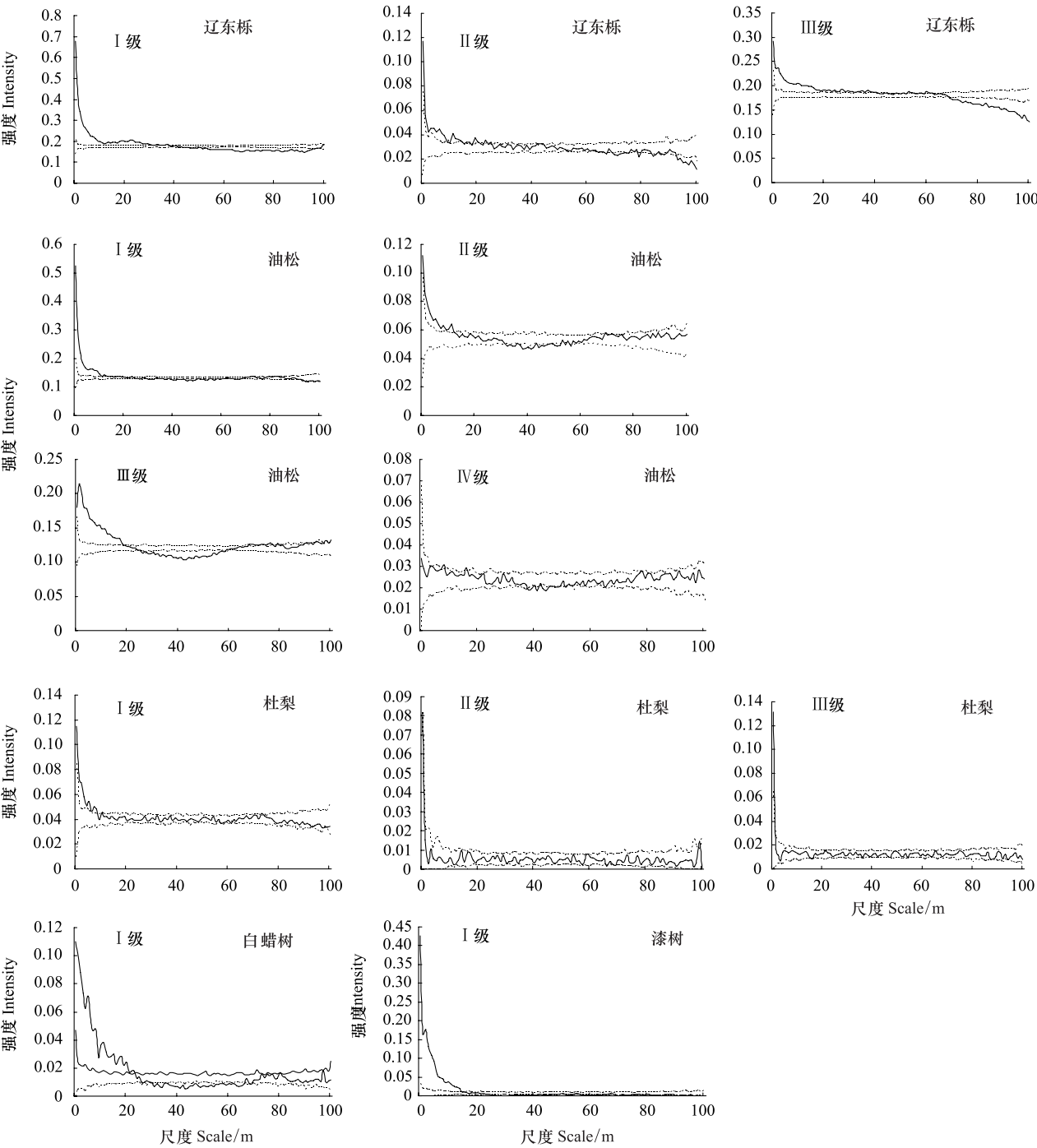


图 5 主要树种的空间格局分析
Fig.5 Spatial distribution analyses of main species
<http://www.ecologica.cn>

分布(图5)。漆树密度随着坡度增大而增大(表5),无大径级个体, *DBH* 均小于 10 cm,个体分布于样地的山谷中(图4),在 0—20 m 聚集分布,大于 20 m 均匀分布(图5)。

3 结论与讨论

(1) 灵空山温性针阔叶混交林样地乔木树种组成丰富,油松、辽东栎为群落中的优势种,杜梨、白蜡树、漆树为主要的伴生种。样地内所有乔木个体的径级结构近似于倒“J”形,个体主要分布在小径级和中径级,林下更新良好,表明群落处于稳定与正常生长状态。

(2) 优势种的径级结构与总体径级结构相似,均以小径级个体居多。辽东栎径级结构 *DBH* 在 4 cm 左右存在明显的瓶颈现象(图3),说明辽东栎 *DBH* 在 4 cm 左右的幼苗死亡率较高^[6,11,16]。产生这种现象的原因是在辽东栎种群的生长过程中幼苗个体数量增加过快,当 *DBH* 达到 4 cm 左右时种内竞争加剧,不同个体为竞争有限的生存资源如光照、水分、养分等,将遭遇一次死亡高峰。辽东栎的萌生更新力强,使种群数量能够顺利地通过瓶颈,并在瓶颈之后保持相对稳定,使辽东栎种群保持较高的稳定性^[16]。油松幼苗耐荫性强、生长好,*DBH* 在 15 cm 左右时对阳光、水分等资源的需求加大种内竞争增大,自疏作用后个体数减少,出现瓶颈现象(图3)。杜梨 *DBH* 在 2—5 cm 瓶颈现象明显(图3),杜梨幼苗分布的区域优势种的幼苗大量分布(图4),由于优势种幼苗更新能力强,他疏作用导致杜梨幼苗大量死亡。白蜡树大部分个体集中在 I 级,种群的年龄结构属于增长型,逐渐向稳定型过渡(图3)。漆树径级结构近似于倒“J”形,幼苗储备丰富,表现为典型的自然更新状态(图3)。

(3) 对油松纯林的空间格局研究表明,油松在空间上主要呈聚集分布^[8,10-12],本文的研究成果也符合这一规律(图5)。更新特性影响种群的分布格局^[8,11],油松的种子脱落后,由于种子质量大不易扩散,下落位置集中于母树周围,导致幼树聚集分布。油松小径级个体在 20 m 以内的尺度上呈聚集分布,当空间尺度超过 60 m 时表现为随机分布,IV 级个体在所有尺度上均表现为随机分布(图5),这与牛丽丽^[10]对北京松山自然保护区天然油松林的研究结

果相似,但尺度不同。

以往针对辽东栎纯林的研究表明,辽东栎种群幼树主要呈聚集分布,随着林龄增加趋向随机分布^[3,28,29]。本研究表明,辽东栎不同径级个体在小尺度范围内呈现聚集分布随着尺度增大由随机分布过渡至均匀分布(图5)。降落在母树周围的辽东栎种子以及萌芽更新常产生簇生的幼株群,加之林内有利于幼苗生长的小环境差别,导致辽东栎的聚集分布^[28]。辽东栎幼苗随着年龄增长,种内、种间竞争加剧,种群聚集强度逐渐下降,幼树分布在共优种油松种群的林窗下,随着研究尺度增大辽东栎种群表现为均匀分布。

群落种类组成和结构也是影响树种空间格局的主要因子^[28]。油松、辽东栎是群落中的共优种,且均为阳性树种,在光照比较充足的山脊上油松个体的分布较多(图4),辽东栎则分布在样地中油松种群分布较少的区域(图4),且油松 IV、V 级个体远多于辽东栎,说明油松进入该群落的时间相对较早,优势地位更为明显。造成这种分布格局的原因是群落在更新演替过程中,不同树种对光照、土壤、水分等资源进行充分合理的利用,逐渐形成相对稳定的群落结构。树种本身的生物学特性是影响分布的重要因子^[3,12,18,28,30],杜梨适应性强,在整个样地均有分布;漆树喜光,不耐干风,主要分布在样地的山谷中。

(4) 坡度是水平方向上水分、土壤养分流的驱动因子,对土壤厚度、理化性质等有显著的影响^[31],由此影响植物的分布。本研究表明,主要树种除漆树外在坡度较缓的生境下分布密度较大,坡度平缓处水、光、养分等分配较均匀,有利于植物生长。坡度大,土层薄、水分少、无机盐易淋失、土壤多呈酸性^[32],漆树不耐水湿,因此在坡度 30°—45°的生境中分布较多。

研究表明,灵空山自然保护区油松-辽东栎林乔木种群处于相对稳定状态,由此维系了稳定的群落结构。值得注意的是群落稳定结构的机制尚待深入研究,其中优势种的自我更新,种间的共存关系,不同树种的年龄组成与空间分布模式和树种的群落演替地位与作用有待通过长期的定位观测持续研究。

致谢:段毅豪教授对写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Li B. Ecology. Beijing: Higher Education Press, 2000:45-47.
- [2] Lin P. Phytocoenology. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1986:6-9.
- [3] Hu X J, Cheng J M, Yang X M, Fan W J, Meng L, Han J J. Spatial distribution pattern and the community characteristic of *Quercus liaotungensis* forest in the Ziwuling region. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(5): 1-6.
- [4] Yi L T, Han H R, Hao S Q, Kang F F. Characters and species biodiversity of *Quercus liaotungensis* community in Lingkong Mountain. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(9): 164-171.
- [5] Cui C M, Wang X A, Guo H, Li W. Structure and dynamic change of natural *Pinus tabulaeformis* populations in the Ziwuling forested area. Arid Zone Research, 2011, 28(1): 111-117.
- [6] Yi L T, Hao S Q, Xu Y, Kang F F. Research progress on characters of *Quercus liaotungensis* community. Journal of Liaoning Forestry Science & Technology, 2010, (5): 25-30, 39-39.
- [7] Zhao Q, Han H R, Kang F F. The community structure of artificial Chinese pine forest on the Taiyue Mountain in Shanxi. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2012, 33(3): 37-40.
- [8] Zhang X J, Zhao X H, Kang F F, Wang J, He Z S, Ma Q Y, Lu W M, Yao Z W. Spatial pattern of the trees in a natural *Pinus tabulaeformis* forest in Taiyue Mountain. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(18): 4821-4827.
- [9] Su W, Yue Y J, Yu X X. Analysis the *Pinus Tabulaeformis* natural forest spatial structure. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(1): 115-119.
- [10] Niu L L, Yu X X, Yue Y J. Spatial patterns of different age-class individuals in *Pinus tabulaeformis* forest in Songshan Nature Reserve of Beijing, China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(7): 1414-1418.
- [11] Zhang Y, Zhao X H, Zhang C Y. Spatial distribution pattern of *Pinus tabulaeformis* populations in North China. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(11): 43-45, 51-51.
- [12] Zhang Y, Zhang C Y, Zhao X H. Spatial distribution pattern of main tree species in *Pinus tabulaeformis* forest of Heilihe in Inner-Mongolia. Acta Botanica. Boreali.-Occidentalia. Sinica, 2009, 29(1): 167-173.
- [13] Chai Z Z, Wang D X, Zhang L N, Zhang Y, Huang Q P, Wu H. Niche characteristics of main plant populations in natural *Pinus tabulaeformis* communities in Qinling Mountains, Northwest China. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(8): 1917-1923.
- [14] Ju T Z, Zhang Y W, Ge J T, Zhang S Z, Song X W, Shi H X, Mi C Y. The niche of dominant species populations in *Pinus tabulaeformis* forest in Xiaolong Mountain National Nature Reserve. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(4): 171-175.
- [15] Feng Y, Ma K M, Zhang Y X, Qi J. Life history characteristics and spatial pattern of *Quercus liaotungensis* population in Dongling Mountain of Beijing, China. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(8): 1443-1448.
- [16] Gao X M, Wang W, Du X J, Ma K P. Size structure, ecological significance and population origin of *Quercus wutaishanica* forest in Beijing Mountainous Area. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(6): 673-678.
- [17] Cao X P, Guo Q Q, Zhang W H. Species compositions and preponderant population dynamic of the *Pinus tabulaeformis* forest and *Pinus tabulaeformis*+*Quercus liaotungensis* forest in Huanglong Mountain. Acta Botanica. Boreali.-Occidentalia. Sinica, 2010, 30(5): 1012-1019.
- [18] Zhang J T, Meng D P. Spatial distribution patterns of dominant tree species in *Pinus tabulaeformis*-*Quercus liaotungensis* forest in Luyashan Mountain, China. Acta Botanica. Boreali.-Occidentalia. Sinica, 2006, 26(8): 1682-1685.
- [19] Luo M, Zheng X X. Study of spatial structure and species diversity of *Quercus liaotungensis*-*Pinus tabulaeformis* mixed stand in Badaling forest farm. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2012, 32(9): 55-58.
- [20] Tu Y, You Y M, Sun J X. Effects of forest floor litter and nitrogen addition on soil microbial biomass C and N and microbial activity in a mixed *Pinus tabulaeformis* and *Quercus liaotungensis* forest stand in Shanxi Province of China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(9): 2325-2331.
- [21] Lu C Y, Guo D G, Zhang J, Shangguan T L, Liu W H, Hou B, Whang Z M, Li R Q. Relationship between the Abundance and Area of *Pinus tabuliformis* and *Quercus liaotungensis* in Lingkong Mountain Nature Reserve. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(27): 13456-13459.
- [22] Li H Y, Wang J C, Liang J. A comparative study about rhizosphere soil microbial community structure between *Quercus liaotungensis* and *Pinus tabulaeformis*. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(6): 1360-1364.
- [23] Lei L P, Wang X A, Guo H, Tian L, Zhu Z H. Dominant species of regeneration Niche in *Quercus liaotungensis* and *Pinus tabulaeformis* Forest in Ziwuling Mountain. Acta Botanica. Boreali.-Occidentalia. Sinica, 2007, 27(7): 1446-1453.
- [24] Hao Z Q, Li B H, Zhang J, Wang X G, Ye J, Yao X L. Broad-leaved Korean Pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest plot in Changbaishan (CBS) of China: Community composition and structure. Journal of Plant Ecology (Chinese Version), 2008, 32(2): 238-250.
- [25] Ye W H, Gao H L, Huang Z L, Lian J Y, Wang Z G, Li L, Wei S G, Wang Z M. Community structure of a 20 hm² lower subtropical evergreen broadleaved forest plot in Dinghushan, China. Journal of Plant Ecology (Chinese Version), 2008, 32(2): 274-286.
- [26] Zhu Y, Zhao G F, Zhang L W, Shen G C, Mi X C, Ren H B, Yu M J, Chen J H, Chen S W, Fang T, Ma K P. Community composition and structure of Gutianshan forest dynamic plot in a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, East China. Journal of Plant Ecology (Chinese Version), 2008, 32(2): 262-273.
- [27] Yan H B, Han Y Z, Yang X Q, Wang L Y, Xiang X Y. Spatial distribution patterns and associations of tree species in typical natural secondary mountain forest communities of Northern China. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(9): 2311-2321.
- [28] He F L, Legendre P, Lafrankie J V. Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest. Journal of Vegetation Science, 1997, 8(1): 105-114.

- [29] Yi L T, Han H R, Cheng X Q, Kang F F, Zhang Z J. Spatial distribution patterns of *Quercus liaotungensis* population in Lingkong Mountains. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28 (7): 3254-3261.
- [30] Hou J H, Mi X C, Liu C R, Ma K P. Spatial patterns and associations in a *Quercus-betula* forest in northern China. *Journal of Vegetation Science*, 2004, 15 (3): 407-414.
- [31] Qu Y D, Wang H N, Zhang L, Su Z Y. Topographic correlates of understory plant species distribution in Nanling national nature reserve, Guangdong. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2009, 27 (1): 41-46.
- [32] Zhu X Q, Liu K, Qin Y M. GIS-based study of vegetation-environment gradient relationship in Qinling Mountain. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20 (5): 192-196.
- 参考文献:
- [1] 李博. 生态学. 北京: 高等教育出版社, 2000: 45-47.
- [2] 林鹏. 植物群落学. 上海: 上海科技出版社, 1986: 6-9.
- [3] 胡秀娟, 程积民, 杨晓梅, 范文娟, 孟蕾, 韩娟娟. 黄土高原子午岭林区辽东栎种群分布格局及群落特征研究. *西北林学院学报*, 2010, 25 (5): 1-6.
- [4] 伊力塔, 韩海荣, 豪树奇, 康峰峰. 灵空山辽东栎群落特征及其物种多样性. *林业科学*, 2010, 46 (9): 164-171.
- [5] 崔长美, 王孝安, 郭华, 李伟. 子午岭林区天然油松林的种群结构与动态. *干旱区研究*, 2011, 28 (1): 111-117.
- [6] 伊力塔, 豪树奇, 徐涌, 康峰峰. 辽东栎群落特征研究及其进展. *辽宁林业科技*, 2010, (5): 25-30, 39-39.
- [7] 赵琦, 韩海荣, 康峰峰. 山西太岳山油松人工林群落结构研究. *四川林业科技*, 2012, 33 (3): 37-40.
- [8] 张笑菁, 赵秀海, 康峰峰, 王娟, 贺自书, 马钦彦, 卢文敏, 药占文. 太岳山油松天然林林木的空间格局. *生态学报*, 2010, 30 (18): 4821-4827.
- [9] 苏薇, 岳永杰, 余新晓. 北京山区油松天然林的空间结构分析. *灌溉排水学报*, 2009, 28 (1): 115-119.
- [10] 牛丽丽, 余新晓, 岳永杰. 北京松山自然保护区天然油松林不同龄级立木的空间点格局. *应用生态学报*, 2008, 19 (7): 1414-1418.
- [11] 张赞, 赵秀海, 张春雨. 华北油松林油松种群的空间分布格局. *东北林业大学学报*, 2009, 37 (11): 43-45, 51-51.
- [12] 张赞, 张春雨, 赵秀海. 内蒙古黑里河天然油松林主要树种的空間分布格局. *西北植物学报*, 2009, 29 (1): 167-173.
- [13] 柴宗政, 王得祥, 张丽楠, 张洋, 黄青平, 吴昊. 秦岭山地天然油松群落主要植物种群生态位特征. *生态学报*, 2012, 31 (8): 1917-1923.
- [14] 巨天珍, 张彦文, 葛建团, 张宋智, 宋晓伟, 师贺雄, 米彩艳. 小陇山国家级自然保护区油松群落生态位研究. *干旱区资源与环境*, 2013, 27 (4): 171-175.
- [15] 冯云, 马克明, 张育新, 祁建. 北京东灵山地区辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 种群生活史特征与空间分布. *生态学杂志*, 2009, 28 (8): 1443-1448.
- [16] 高贤明, 王巍, 杜晓军, 马克平. 北京山区辽东栎林的径级结构、种群起源及生态学意义. *植物生态学报*, 2001, 25 (6): 673-678.
- [17] 曹旭平, 郭其强, 张文辉. 黄龙山油松林和油松+辽东栎混交林物种组成及优势种群动态. *西北植物学报*, 2010, 30 (5): 1012-1019.
- [18] 张金屯, 孟东平. 芦芽山油松-辽东栎林优势树种空间分布格局研究. *西北植物学报*, 2006, 26 (8): 1682-1685.
- [19] 罗梅, 郑小贤. 八达岭辽东栎-油松混交林空间结构及其多样性. *中南林业科技大学学报*, 2012, 32 (9): 55-58.
- [20] 涂玉, 尤业明, 孙建新. 油松-辽东栎混交林地表凋落物与氮添加对土壤微生物生物量碳、氮及其活性的影响. *应用生态学报*, 2012, 23 (9): 2325-2331.
- [21] 卢辰宇, 郭东昱, 张婕, 上官铁梁, 刘卫华, 侯博, 王治明, 李润强. 灵空山自然保护区油松-辽东栎林多度-面积关系分析. *安徽农业科学*, 2012, 40 (27): 13456-13459.
- [22] 李海燕, 王金成, 梁健. 辽东栎与油松根际土壤微生物群落结构比较研究. *土壤通报*, 2010, 41 (6): 1360-1364.
- [23] 雷利平, 王孝安, 郭华, 田丽, 朱志红. 子午岭地区辽东栎和油松林建群种的更新生态位宽度分析. *西北植物学报*, 2007, 27 (7): 1446-1453.
- [24] 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.
- [25] 叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 练璐瑜, 王志高, 李林, 魏识广, 王章明. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林 20 公顷样地群落特征研究. *植物生态学报*, 2008, 32 (2): 274-286.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [29] 伊力塔, 韩海荣, 程小琴, 康峰峰, 张志杰. 灵空山林区辽东栎 (*Quercus liaotungensis*) 种群空间分布格局. *生态学报*, 2008, 28 (7): 3254-3261.
- [31] 区余端, 王华南, 张璐, 苏志尧. 南岭国家级自然保护区林下植物分布的地形相关性. *武汉植物学研究*, 2009, 27 (1): 41-46.
- [32] 朱晓勤, 刘康, 秦耀民. 基于 GIS 的秦岭山地植被类型与环境梯度的关系分析. *水土保持学报*, 2006, 20 (5): 192-196.