

北京东灵山海拔梯度上辽东栎种群结构和空间分布

张育新, 马克明*, 祁 建, 冯 云, 张洁瑜

(中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要: 种群年龄结构和空间分布格局是种群生态学的核心研究内容。为了阐明辽东栎种群海拔梯度分布特点, 在北京东灵山区辽东栎海拔分布范围(1000 ~ 1800m)内调查 10 条样带, 研究种群大小级结构和空间分布的变异。种群的平均胸径在海拔梯度上表现出两段式的分布特征, 海拔 1480m 为两段分布的分界点, 在每一段内随海拔增加平均胸径也增加, 这反映了海拔梯度上种群的不同发育历史。种群密度、种群的聚集程度、种群的结构在海拔梯度上的分布特征都与平均胸径分布相似, 种群密度和聚集程度与平均胸径为负相关关系, 其分布趋势与平均胸径相反。总体上, 东灵山海拔梯度上辽东栎种群还是比较稳定的。辽东栎种群结构和空间分布在海拔梯度上的分布特征是种群发育历史、物种特性、环境、干扰等因素在海拔梯度上综合作用的结果。

关键词: 种群大小结构; 海拔梯度; 种群分布格局; 辽东栎种群

文章编号: 1000-0933(2009)06-2789-08 中图分类号: Q145, Q948, S718.5 文献标识码: A

Size structure and spatial pattern of *Quercus liaotungensis* population along elevation gradient in Dongling Mountain, Beijing

ZHANG Yu-Xin, MA Ke-Ming*, QI Jian, FENG Yun, ZHANG Jie-Yu

State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(6): 2789 ~ 2796.

Abstract: Population age structure and spatial pattern are central issues in population ecology. In this study, 10 transects were investigated along altitudinal gradient (1000 — 1800m) within the distribution range of *Quercus liaotungensis* in Donglin Mountain to analyzing the altitudinal variation of the population size structure and spatial pattern of *Quercus liaotungensis*. The results showed that the mean diameter at breast height (DBH) of the population has two variation range along the altitudinal gradient, altitude 1480m is the border of these range. In each altitudinal range, mean DBH increase with altitudinal gradient. This is due to different developing history of each population along altitudinal gradient. Population density, population spatial cluster and population structure are similar with mean DBH along altitudinal gradient. Population density and population spatial cluster are negative related to mean DBH and has decrease trend along altitudinal gradient. The populations along the altitudinal gradient are in stable state in Dongling Mountain, Beijing, China. The paper argued that the altitudinal variation of the population size structure and spatial pattern of *Quercus liaotungensis* are the synthesis of population history, species traits, environmental, and disturbance along the altitudinal gradient.

Key Words: population size structure; elevation gradient; population spatial pattern; *Quercus liaotungensis* population

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30870459); 国家自然科学基金委创新研究群体基金资助项目(40621601); 中国科学院野外台站基金资助项目

收稿日期: 2008-04-09; **修订日期:** 2008-05-09

致谢: 在野外调查中, 得到了天津师范大学刘新成老师, 北京林业大学夏兵、周亮、金明、唐厚军、庄建磊、黄莎、中国环境科学研究院王海华的帮助, 在此一并致谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mkm@rcees.ac.cn

种群是生态学各个层次中的最重要的一个层次,它是群落结构和功能的最基本单位,也是物种适应的单位,其中种群年龄结构和空间分布是其核心研究内容^[1]。种群年龄结构是种群内不同年龄个体数量的分布情况。在森林种群研究中,物种大小级结构能够有效而合理的代表年龄结构,因而得到广泛应用^[2, 3]。研究森林群落优势种群的大小级结构,能反映优势种群数量动态、发展趋势及与环境间的相互关系^[4]。种群空间分布格局是指种群个体在空间上的配置方式,是物种生物学特征、种间关系及其环境条件综合作用的体现,是种群的重要属性^[5]。种群在一定的空间内都会呈现出特有的分布格局,它能够反映出种内种间关系、环境适应机制、空间异质性等,有助于对种群生态学特性的进一步了解。通过对森林中优势种群的结构和空间分布格局的研究,对阐明森林生态系统的形成与维持、群落的稳定性与演替规律、种群的生态特征和更新具有极为重要的意义^[1~3, 6, 7]。

辽东栎(*Quercus liaotungensis* Koidz.)是壳斗科栎属(*Quercus* L.)的落叶树种,是我国暖温带阔叶落叶林主要优势种之一。它对暖温带落叶阔叶林的外貌、结构、动态、甚至种类组成都有重要作用^[8]。在东灵山地区辽东栎林是分布最广的林型,是该地区的地带性植被^[9],由于人类活动的破坏,使其在该地区退化明显。辽东栎作为优势种开展其种群结构和空间分布的研究对区域森林生态系统恢复和物种多样性保护具有重要的意义。因而,对于东灵山辽东栎种群的结构、空间分布、动态、更新和功能已经有了大量报道^[10~17]。对种群年龄结构和空间分布的研究表明东灵山地区辽东栎种群增长型种群,并处于稳定状态^[10, 11, 14~16],在空间分布上呈聚集分布^[10, 11, 16]。然而,这些研究的尺度基本以局域尺度为主,对东灵山地区海拔梯度上辽东栎种群的大小级结构和空间分布的区域性分布特点的研究还未见报道。

东灵山地区的辽东栎林分布于海拔 1000 ~ 1800m 之间^[9],在这一海拔梯度上形成的气候梯度、环境梯度、干扰梯度的综合作用必然导致辽东栎林的种群特征、物种组成、适应特征等的变化。已有研究表明辽东栎林物种多度分布和群落结构在这一海拔梯度上存在的明显变异^[18~20],同时辽东栎的物种生理特征也存在变异规律^[21, 22]。因此,本项研究的目的是在东灵山辽东栎分布的整个海拔梯度范围内研究辽东栎种群的大小级结构和空间分布类型的空间变异情况,这将会为区域森林生态系统恢复和多样性保护提供更为详细的信息,具有重要的指导意义。

1 研究方法

1.1 研究区概况

北京东灵山(40°00' ~ 40°03'N, 115°26' ~ 15°30'E)位于北京市西郊的门头沟区,与河北省毗邻,距市区约 100km。东灵山为小五台山余脉,属太行山系。海拔高度多在 1000m 以上,最高峰为 2303m。地带性土壤类型为肥沃褐色土和棕色森林土^[23]。该区域属于暖温带半湿润大陆季风气候,年降雨量 500 ~ 650mm。植被为暖温带落叶阔叶林区,辽东栎林为该区的地带性植被,主要分布在海拔 800 ~ 1800m 范围内,但由于人类活动的影响,辽东栎林在海拔 1000m 以下已不多见。本区植物区系丰富,共计 127 科、476 属、997 种(包括亚种、变种、变型等种以下单位),其主要来源是第三纪植物区系后裔,温带性成分最为突出^[9]。

1.2 取样方法和数据收集

本研究采用样带调查法,在西坡沿着海拔梯度选择有辽东栎分布的若干山体进行群落调查,范围为 1020 ~ 1770 m。总共调查了 10 条样带,每条样带宽度为 10m,长度 80 ~ 180m(0.08 ~ 0.18hm²)不等。每个样带以 10m × 10m 为单位记录每个乔木的高度、冠幅、胸径(DBH,树高 $H > 2\text{m}$)、空间位置。计算每个乔木物种的重要值($IV = (\text{相对密度} + \text{相对显著度})/2 \times 100$)。样带的基本情况见表 1。

1.3 种群结构

种群结构一般通过大小级结构(size class)来表征,即通过个体高度以及胸径的大小为标准进行划分,将辽东栎的大小级分为 10 级,具体如下^[14]: I $H \leq 50\text{cm}$; II $100\text{cm} \geq H \geq 50$; III $H > 100\text{cm}$, $DBH < 4\text{cm}$; IV $8\text{cm} > DBH \geq 4\text{cm}$; V $12\text{cm} > DBH \geq 8\text{cm}$; VI $16\text{cm} > DBH \geq 12\text{cm}$; VII $20\text{cm} > DBH \geq 16\text{cm}$; VIII $24\text{cm} > DBH \geq 20\text{cm}$; IX $28\text{cm} > DBH \geq 24\text{cm}$; X $DBH \geq 28\text{cm}$ 。其中 I 为幼苗(Seedling), II 为幼树(Sampling), III 大幼树(Tall

sampling),其余为成体。

表 1 海拔梯度上辽东栎群落的基本特征

Table 1 Basic characteristics of *Quercus liaotungensis* dominated communities along elevation gradient

样带编号 TransectNo.	面积 Area (hm ²)	海拔范围 Elevation range(m)	辽东栎重要值 <i>Q. important</i> value (%)	主要伴生种 Main company species
T01	0.08	1020 ~ 1055	70.1	Fc _{15.9} -Sr _{3.2} -Pa _{3.2}
T02	0.18	1060 ~ 1160	80.6	Fc _{13.8} -Pa _{2.7} -Ta _{2.5}
T03	0.09	1170 ~ 1240	48.4	Fc _{18.8} -Am _{17.9} -Ta _{8.1}
T04	0.13	1250 ~ 1320	81.0	Fc _{9.0} -Am _{5.6} -Pd _{2.3}
T05	0.10	1330 ~ 1395	71.8	Fc _{9.1} -Jm _{8.7} -Am _{2.9}
T06	0.14	1400 ~ 1480	74.8	Fc _{13.5} -Am _{7.8} -Bd _{2.1}
T07	0.08	1490 ~ 1540	84.3	Ct _{6.2} -Bd _{4.5} -Am _{1.0}
T08	0.10	1546 ~ 1600	86.1	Ct _{10.0} -Bd _{1.0} -Sr _{0.5}
T09	0.11	1610 ~ 1670	95.1	Ct _{2.9} -Am _{1.3} -Bd _{0.7}
T10	0.17	1676 ~ 1770	98.6	Bd _{1.4}

T01 ~ T10 表示海拔的增加 means increasing elevation; Q.: 辽东栎 *Quercus liaotungensis* Koidz.; Am: 五角枫 *Acer mono* Maxim.; Fc: 白蜡 *Fraxinus chinensis* Roxb.; Sr: 暴马丁香 *Syringa reticulata* var. *mandshurica* Hara.; Bd: 棘皮桦 *Betula dahurica* Pall. Fl. Ross; Ct: 鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii* Hee.; Jm 核桃秋 *Juglans mandshurica* Maxim; Pd: 山杨 *Populus davidiana* Dode; Pa: 山杏 *Prunus armeniaca* var. *ansu* 主要伴生种一栏中的下标代表该种的重要值 The subscripts of the main company species represent the important value of that species

1.4 种群空间分布格局

根据群落调查数据中辽东栎在各样带上的空间位置信息,以 5m × 5m 为标准分别对辽东栎幼苗和幼树、成体、以及全部个体在空间上的分布格局类型及聚集程度进行判定。主要采取以下方法^[24]: (1) 方差/均值比率法 (V/m), 当比值为 1 时为随机分布; 比值大于 1 时趋于聚集分布, 比值小于 1 时趋于均匀分布, 此方法可通过 t 检验来表明其格局强度; (2) 丛生指标 (Index of clumping, I), $I = 0$ 时为随机分布, $I > 0$ 时为聚集分布, 值越大聚集强度越大, $I < 0$ 时则为均匀分布, 值越小强度越大; (3) 负二项式 (Negative binomial parameter, K), K 值越小聚集程度越大, 如果 K 值无限大则分布趋于泊松分布; (4) Cassie 指标 (Cassie index, C), $C = 0$ 为随机分布, $C > 0$ 为聚集分布, $C < 0$ 为均匀分布; (5) 平均拥挤指数 (Index of mean crowding, M), 值越大拥挤程度越大; (6) Lloyd 聚块性指标 (Lloyd index of patchiness, P), 其值为 1 时为随机分布, 小于 1 时为均匀分布, 大于 1 时为聚集分布, 值越大聚集强度越大。

2 研究结果

2.1 海拔梯度上辽东种群基本特征

辽东栎种群的总体密度在海拔梯度上具有两段式特点,在图 1A 中,随着海拔的增加其种群的密度逐渐减小(1020 ~ 1480m, T01 ~ T06),到 T07 种群密度突变至最高,之后种群密度随海拔增加递减(T08 ~ T10),但其在群落中的重要值却增加(表 1)。种群的幼苗和幼树、成体的分布规律也基本上与种群总体的一致(图 1A)。种群的平均胸径在海拔梯度上也呈两段式的分布特点,但趋势与密度相反(图 1B)。种群平均胸径与密度(成体、幼苗和幼树、总体)间表现为负相关(图 2)。种群最大胸径的在海拔梯度上变化不明显,最大胸径出现在 T06 中,最小出现在 T01 中(图 1C)。与平均胸径相比,最大胸径变化趋势不是很明显,但也表现出与平均胸径相似的趋势。随着海拔的增加辽东栎在群落中的重要值基本呈现出逐渐增加的趋势,同时辽东栎种群的主要伴生种也有一定的变化:白蜡(T01 ~ T02)、白蜡和五角枫(T03 ~ T06)、鹅耳枥和棘皮桦(T07 ~ T09)、棘皮桦(T10)。

2.2 海拔梯度上辽东栎种群的大小级结构

在低海拔段种群表现为增长型种群(图 3 T01 ~ T03),但都相应的出现径级缺失现象。随海拔增加种群表现出稳定型格局(图 3 T04),到中海拔段种群表现为下降型(图 3 T05, T06),T05 下降特征尤为明显。在高

海拔段种群均表现为增长型(图 3 T07 ~ T10),但在 T07 和 T08 出现大径级缺失。在增长型的种群中(图 2 T01 ~ T03, T07 ~ T10)中大幼树(Ⅲ)的数量通常要大于小幼树(Ⅱ)和幼苗(Ⅰ)。将图 2 与图 1 B 辽东栎的平均胸径相结合可以看出随着胸径的增大辽东栎种群首先表现为增长型,然后为稳定型,最后过渡为下降型。

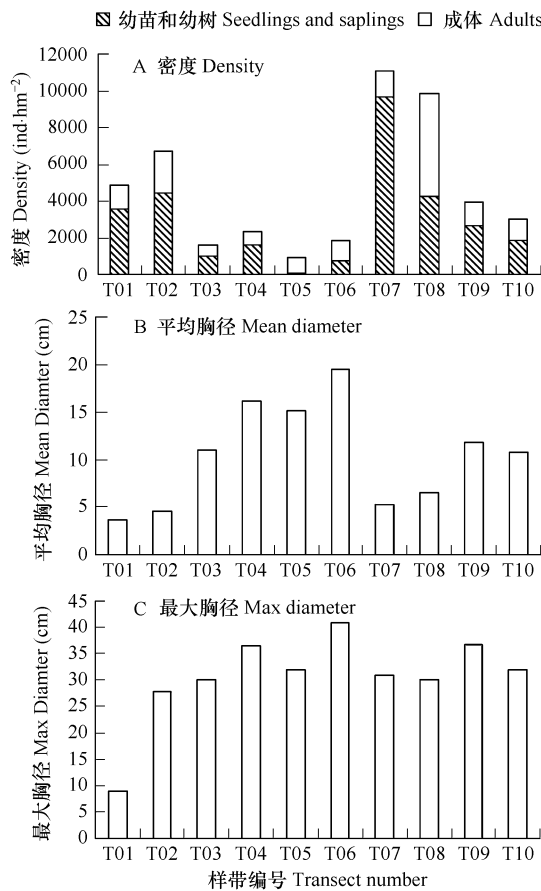


图 1 海拔梯度上辽东栎种群基本特征

Fig. 1 Basic characteristics of *Quercus liaotungensis* population along elevation gradient

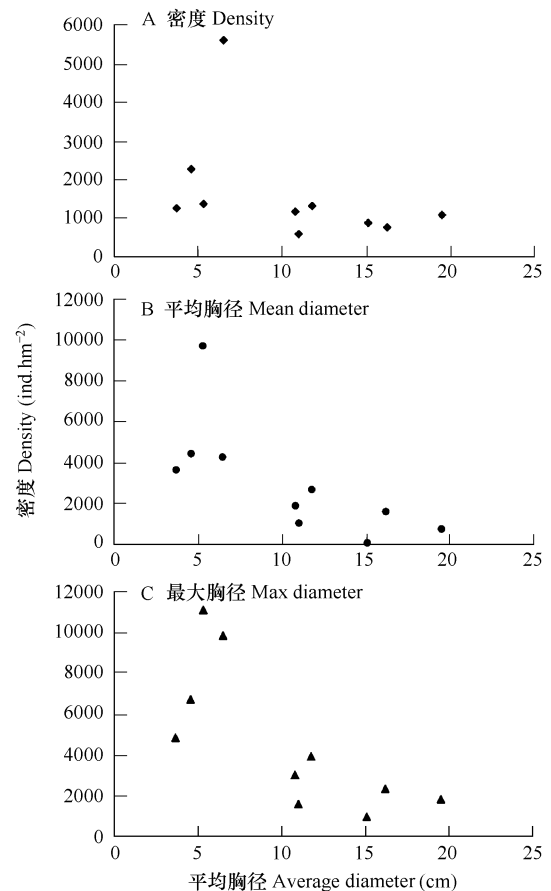


图 2 平均胸径与种群密度的关系

Fig. 2 Average diameter and population density

2.3 海拔梯度上辽东栎种群的空间分布

在整个海拔梯度上,通过不同指标的综合比较和检验,辽东栎种群全部个体都表现出聚集分布的特点,而成体在 T03 和 T04 的分布类型为随机分布,而在 T05 中幼苗和幼树则表现为均匀分布,其他种群成体、幼苗和幼树均表现为聚集分布,并且几种格局判定指标的判定结果一致(表 2)。种群的聚集程度最大种群为 T07 种群,最小的为 T05 种群。聚集程度与种群平均胸径分布特点相似,趋势相反(表 2,图 1 A,B)。

3 讨论

在东灵山地区辽东栎种群在海拔梯度上平均胸径(即平均年龄)的两段式分布规律与自然环境和人类活动在海拔梯度上的分布相关,它能在一定程度上反映出海拔梯度上各种群的发育历史。另外,发现辽东栎种群的密度(全部个体、成体、以及幼苗和幼树)与种群平均胸径间均存在负相关关系,因此在海拔梯度上也呈现出两段式的分布特点。辽东栎种群密度与平均胸径间的这种关系体现了辽东栎种群的自疏特征。这是因为随着辽东栎种群发育,平均个体大小不断增加,进而需要更多的资源(如水、温、土、气等)来维持其生长,生态位空间进一步减少。种群个体间为争夺有限的生态位而展开激烈的竞争,从而引起自然稀疏^[10],因此种群密度在平均胸径(即平均年龄)种群要小于平均胸径小的种群。

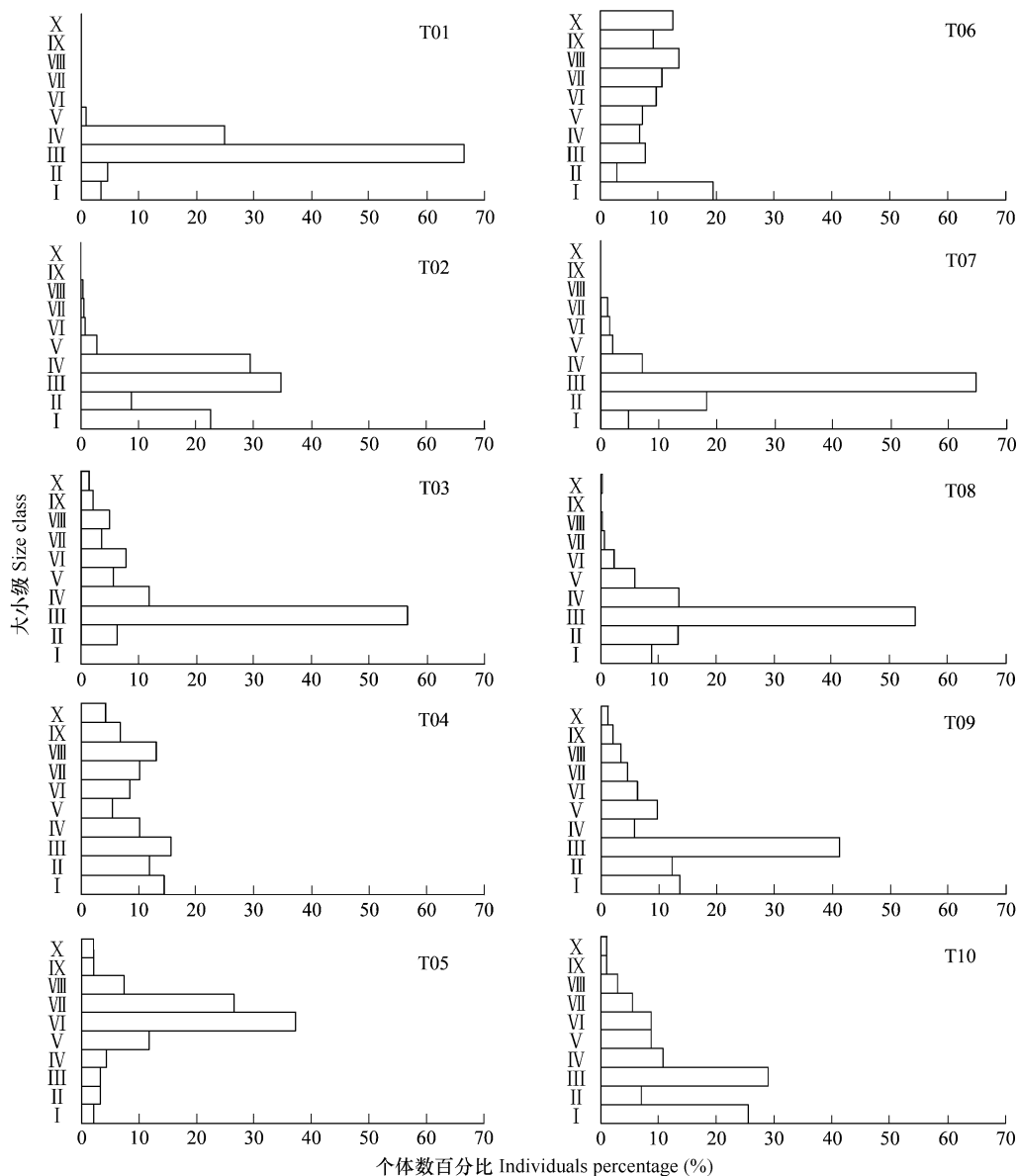


图3 海拔梯度上辽东栎种群大小结构

Fig. 3 Size structure of *Quercus liaotungensis* Population along elevation gradient

辽东栎种群平均胸径的海拔分布规律同样在种群结构的海拔梯度分布上有所反映。研究表明,辽东栎种群结构随着平均胸径的增大会由增长型种群逐渐过渡为下降型种群。这说明在辽东栎林中随辽东栎种群的发育而形成进展型演替,群落将进一步向成熟林方向发展,形成更稳定的、能充分利用环境资源的顶级群落结构^[13, 15, 16]。在增长型种群中普遍存在辽东栎种群幼苗(I)和幼树(II)明显少于大幼树(III)的而形成的“瓶颈”现象,这与王巍等^[10]和高贤明等^[14]的研究结果一致,造成这种现象的主要原因是幼苗中实生苗比例较多,但存活率较小,因此在幼树阶段实生苗大量减少,萌生苗由于生长快而迅速转为大幼树,因此造成这中辽东栎更新苗匮乏的假象,但在大幼树之后种群结构呈现出增长的结构类型,因此自然状态下还是比较稳定的^[14]。另外,在部分种群中出现的大径级缺失的情况可能是受到较大的非随机干扰的结果,缺失的程度也在一定程度上反映了干扰的强度^[15],因此其海拔分布特点也一定程度上反映了前期干扰强度的海拔分布特点。

表2 不同样带辽东栎种群分布格局类型的判定

Table 2 Distribution types of *Quercus liaotungensis* populations in different transects

样带号 Transect No.	类别 Class	方差/均值 V/m	t 检验 t-test	分布类型 Distribution type	I	K	C	M	P
T01	All	4.60	14.17	聚集 Clump	3.60	3.36	0.30	15.69	1.30
	Adu	2.72	6.77	聚集 Clump	1.72	1.80	0.56	4.81	1.56
	S&S	4.97	15.65	聚集 Clump	3.97	2.26	0.44	12.97	1.44
T02	All	6.68	33.82	聚集 Clump	5.68	2.95	0.34	22.43	1.34
	Adu	2.33	7.92	聚集 Clump	1.33	4.27	0.23	7.01	1.23
	S&S	7.79	40.43	聚集 Clump	6.79	1.63	0.61	17.85	1.61
T03	All	3.24	9.39	聚集 Clump	2.24	1.77	0.56	6.22	1.56
	Adu	1.30	1.25	随机 Random	0.30	4.91	0.20	1.77	1.20
	S&S	4.61	15.08	聚集 Clump	3.61	0.69	1.44	6.11	2.44
T04	All	2.44	7.26	聚集 Clump	1.44	3.17	0.32	6.00	1.32
	Adu	1.03	0.17	随机 Random	0.03	81.21	0.01	2.69	1.01
	S&S	5.28	21.61	聚集 Clump	4.28	0.44	2.25	6.18	3.25
T05	All	2.30	5.76	聚集 Clump	1.30	1.80	0.55	3.65	1.55
	Adu	2.59	7.02	聚集 Clump	1.59	1.35	0.74	3.74	1.74
	S&S	0.82	-0.79	均匀 Even	-0.18	-1.11	-0.90	0.02	0.10
T06	All	3.11	11.09	聚集 Clump	2.11	1.74	0.57	5.79	1.57
	Adu	1.98	5.13	聚集 Clump	0.98	2.63	0.38	3.55	1.38
	S&S	7.28	32.94	聚集 Clump	6.28	0.18	5.67	7.39	6.67
T07	All	21.62	81.18	聚集 Clump	20.62	1.34	0.75	48.28	1.75
	Adu	2.12	4.41	聚集 Clump	1.12	3.07	0.33	4.56	1.33
	S&S	22.32	83.93	聚集 Clump	21.32	1.14	0.88	45.54	1.88
T08	All	10.48	41.86	聚集 Clump	9.48	1.47	0.68	23.40	1.68
	Adu	3.14	9.43	聚集 Clump	2.14	1.52	0.66	5.39	1.66
	S&S	10.46	41.75	聚集 Clump	9.46	1.13	0.89	20.13	1.89
T09	All	10.30	43.13	聚集 Clump	9.30	1.06	0.94	19.16	1.94
	Adu	1.78	3.60	聚集 Clump	0.78	4.19	0.24	4.03	1.24
	S&S	12.21	51.98	聚集 Clump	11.21	0.59	1.70	17.82	2.70
T10	All	6.67	32.81	聚集 Clump	5.67	1.34	0.75	13.26	1.75
	Adu	4.19	18.44	聚集 Clump	3.19	0.92	1.09	6.11	2.09
	S&S	7.05	35.00	聚集 Clump	6.05	0.77	1.30	10.71	2.30

All:全部个体 All individuals; Adu:成体 Adults; S&S:幼苗及幼树 Seedlings & samplings; V:方差 Variance; m:均值 average; I:丛生指标 Index of clumping; K:负二项式参数 K Negative binomial parameter K; C:Cassie 指数 Cassie index; M:平均拥挤指数 Index of mean crowding; P:Lloyd 聚块性指标 Lloyd index of patchiness

辽东栎种群的空间分布格局为聚集分布^[10,11,16],研究也表明在海拔梯度上辽东栎种群分布基本呈聚集分布。但种群成体、幼苗和幼树在个别样地(T04, T05)中表现出随机分布的特点。实际上,辽东栎种群格局规模也是随种群的发育变化的^[10],因此在辽东栎种群成体、幼苗和幼树中偶然出现的这种随机分布是演替过程的一个瞬态,辽东栎种群的聚集分布特征是普遍的规律。在海拔梯度上辽东栎种群格局的聚集程度的分布与平均胸径分布特点相似,但趋势相反,这说明平均胸径与种群聚集程度间存在一定的负相关关系。种群格局强度决定于物种自身特性和环境因子的耦合作用^[10],在种群发育初期种群的格局强度由于辽东栎强烈的萌生特性而呈现较强的聚集程度。随着发育的进展,格局强度随平均胸径的增大而变弱,主要是由于随种群平均胸径增大种群内个体的自疏、它疏和环境因子的改变等作用的结果。这是因为,随着平均胸径的增大,成熟个体增加,为了争夺有限的资源,占领更多生态位空间,一方面大个体可能会通过自毒和其它种的它感作用^[10],另一方面局域环境也会发生变化,如水、热条件,这些都不利于小个体的生存,因此其被淘汰的概率逐

渐增大,种群聚集程度会随之降低。因而,辽东栎种群格局强度随平均胸径增加而变弱的趋势可能是生物因子(如物种特性、种间竞争、种内竞争等)和非生物因子(如水热等条件)在种群不同发育阶段的综合作用的结果,这一问题值得进一步研究。

References:

- [1] Li B, Yang C, Lin P eds. Ecology. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [2] Harper J L. Population biology of plants. New York: Academic Press, 1997.
- [3] Johnson J B. Stand structure and vegetation dynamics of a subalpine treed fen in Rocky Mountain National Park, Colorado. *Journal of Vegetation Science*, 8: 337—342.
- [4] Peng S L. Fluctuation of forest community. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1993, 4(2): 120—125.
- [5] Ma S J. Estimation of ecological development trend. *Advances in Ecology*, 1988, 5(1): 1—2.
- [6] Xu X H, Yu M J, Hu Z H, *et al.* The structure and dynamics of *Castanopsis eyrei* population in Gutian Mountain Natural Reserve in Zhejiang, East China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 645—653.
- [7] Yang Y C, Da L J, Chen B. Population structure and spatial patterns for the main tree species in *Castanopsis carlesii-Schima superba* community in Tiantong, Zhejiang Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 26(9): 2927—2938.
- [8] Chen L Z, Bao X C, Chen Q L, *et al.* Study on vegetation ecology in Tianjin and Beijing region. In: Institute of Botany and Institute of Zoology ed. Study on the biology and ecology in Tianjin and Beijing region. Beijing: China Oceanography Press, 1990. 1—42.
- [9] Ma K P, Chen L Z, Yu S L, *et al.* The major community types in Donglingshan mountain region. In: Chen L Z ed. Study on the structure and function of the forest ecosystem in warm temperate zone. Beijing: Science Press, 1997. 56—75.
- [10] Wang W, Liu C R, Ma K P, *et al.* Population structure and dynamics of *Quercus liaotungensis* in two broad-leaved Deciduous forests in Dongling Mountain, Northern China. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(4): 425—432.
- [11] Wu X P, Zheng Y, Ma K P. Population distribution and dynamics of *Quercus liaotungensis*, *Fraxinus rhynchophylla* and *Acer mono* in Dongling Mountain, Beijing. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(2): 212—223.
- [12] Zu Y G, Zhao Z H, Cong P T, *et al.* Fractal analysis on spatial distribution patterns of population from *Quercus liaotungensis* forest in Dongling Mountain, Beijing China. *Bulletin of Botanical Research*, 2000, 20(1): 112—119.
- [13] Cong P T, Zhao Z H, Zhang W H, *et al.* The research of succession process of *Quercus liaotungensis* community on Dongling Mountain with Continuous Time Markov Approach. *Bulletin of Botanical Research*, 2000, 20(4): 438—443.
- [14] Gao X M, Wang W, Du X J, *et al.* Size structure, ecological significance and population origin of *Quercus Wutaishanica* forest in Beijing monountainous area. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(6): 673—678.
- [15] Zhao Z H, Cong P T, Zu Y G, *et al.* Quantizing analysis on dynamic of age-class structure of arbor populations in *Quercus liaotungensis* forest. *Bulletin of Botanical Research*, 2001, 21(1): 157—160.
- [16] Zhang W H, Zhao Z H, Sun H Q, *et al.* Study on population diameter structures of tree and shrub dominant plants in *Quercus liaotungensis* Forest in Dongling Mountain in Beijing. *Bulletin of Botanical Research*, 2002, 22(1): 84—90.
- [17] Hou J H, Huang J H, Ma K P. Eleven-year population growth dynamics of major species in a *Quercus liaotungensis* forest in the Dongling Mountains, Northern China. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5): 609—615.
- [18] Zhang Y X, Ma K M, Anand M, *et al.* Do generalized scaling laws exist for species abundance distribution in mountains? *Oikos*, 2006, 115: 81—88.
- [19] Feng Y, Ma K M, Zhang Y X, *et al.* Species abundance distribution of *Quercus liaotungensis* community along altitudinal gradient in Dongling Mountain, Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4743—4750.
- [20] Feng Y, Ma K M, Zhang Y X, *et al.* DCCA analysis of plant species distributions along altitudinal gradient in different Oak (*Quercus liaotungensis*) forest layers. *Acta Phytocologica Sinica*, 2008, 32(3): 568—573.
- [21] Qi J, Ma K M, Zhang Y X. The altitudinal variation of *Quercus liaotungensis* and associated environmental explanations. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 930—937.
- [22] Qi J, Ma K M, Zhang Y X. Comparisons of leaf traits of *Quercus liaotungensis* Koidz. on different slope positions in Dongling Mountains of Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 122—128.
- [23] Sun S Z. The characteristics of the geology, geomorphology and soils in Donglingshan mountain region. In: Chen L Z ed. Study on the structure and function of the forest ecosystem in warm temperate zone. Beijing: Science Press, 1997. 10—27.
- [24] Zheng Y R. The applicability of various methods in analysis of *Picea Mongolica* population spatial distribution pattern. *Acta Phytocologica Sinica*,

1997, 21(5): 480-484.

参考文献:

- [1] 李博, 杨持, 林鹏 编. 生态学. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [4] 彭少麟. 森林群落波动的探讨. 应用生态学报, 1993, 4(2): 120~125.
- [5] 马世骏. 生态学发展趋势. 生态学进展, 1988, 5(1): 1~2.
- [6] 徐学红, 于明坚, 胡正华, 等. 浙江古田山自然保护区甜槠种群结构与动态. 生态学报, 2005, 25(3): 645~653.
- [7] 杨永川, 达良俊, 陈波. 天童米槠-木荷群落主要树种的结构及空间格局. 生态学报, 26(9): 2927~2938.
- [8] 陈灵芝, 鲍显诚, 陈清朗, 等. 天津和北京地区植被生态学研究. 见: 中国科学院植物研究所与动物研究所编. 天津和北京地区生物学与生态学研究. 北京: 海洋出版社, 1990. 1~42.
- [9] 马克平, 陈灵芝, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落的基本类型. 见: 陈灵芝主编. 暖温带森林生态系统结构与功能研究. 北京: 科学出版社, 1997. 56~75.
- [10] 王巍, 刘灿然, 马克平, 等. 东灵山两个落叶阔叶林中辽东栎种群结构和动态. 植物学报, 1999, 41(4): 425~432.
- [12] 祖元刚, 赵则海, 丛沛桐, 等. 北京东灵山地区辽东栎林种群空间分布分形分析. 植物研究, 2000, 20(1): 112~119.
- [13] 丛沛桐, 赵则海, 张文辉, 等. 东灵山辽东栎群落演替的连续时间马尔可夫过程研究. 植物研究, 2000, 20(4): 438~443.
- [14] 高贤明, 王巍, 杜晓军, 等. 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.
- [15] 赵则海, 丛沛桐, 祖元刚, 等. 辽东栎林乔木种群龄级结构动态的量化分析. 植物研究, 2001, 21(1): 157~160.
- [16] 张文辉, 赵则海, 孙海芹, 等. 东灵山辽东栎林优势林木种群直径结构的研究. 植物研究, 2002, 22(1): 84~90.
- [17] 侯继华, 黄建辉, 马克平. 东灵山辽东栎林主要树种种群 11 年动态变化. 植物生态学报, 2004, 28(5): 609~615.
- [19] 冯云, 马克明, 张育新, 等. 北京东灵山辽东栎林沿海拔梯度的物种多度分布. 生态学报, 2007, 27(11): 4743~4750.
- [20] 冯云, 马克明, 张育新, 等. 辽东栎林不同层植物沿海拔梯度分布的 DCCA 分析. 植物生态学报, 2008, 32(3): 568~573.
- [21] 祁建, 马克明, 张育新. 辽东栎叶特性沿海拔梯度变异及其环境解释. 生态学报, 2007, 27(3): 930~937.
- [22] 祁建, 马克明, 张育新. 北京东灵山不同坡位辽东栎叶属性的比较研究. 生态学报, 2008, 28(1): 122~128.
- [23] 孙世洲. 东灵山地区的地质、地貌和土壤. 见: 陈灵芝主编. 暖温带森林生态系统结构与功能研究. 北京: 科学出版社, 1997. 10~27.
- [24] 郑元润. 不同方法在沙地云杉种群分布格局分析中的适用性研究. 植物生态学报, 1997, 21(5): 480~484.