

烟台海岸黑松防护林种群结构及其 随离岸距离的变化^{*}

韩广轩 王光美 张志东 李秋艳 薛钦昭

(中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所 烟台 264003)

摘 要: 在烟台海岸黑松防护林内设置 42 块样地(10 m ×10 m),采用样方法进行每木调查获取野外资料。以空间代替时间,以种群径级结构代替年龄结构,探讨烟台海岸黑松防护林种群的结构和动态规律;同时,分析离岸距离不等的黑松防护林的种群结构空间变化特征。结果表明:海岸黑松防护林种群径级的数量分布基本上呈倒 J 型分布,表明黑松种群处于稳定发展的时期;黑松生长与种群密度之间存在明显的相关关系,黑松胸径、单株生物量与密度的关系均符合负指数函数模型,树高与密度呈显著负相关;在距离海岸 50~500 m 范围内,黑松种群密度随离岸距离的增加而增大,平均胸径和平均冠幅均随离岸距离的增加而减小,海陆相互作用产生的环境异质化可能是造成黑松种群空间分布格局的主要原因。

关键词: 黑松;防护林;种群结构;离岸距离

中图分类号:S718.55⁺1.2

文献标识码:A

文章编号:1001-7488(2008)10-0008-06

Population Structure of the *Pinus thunbergii* Coastal Protection Forest and Its Spatial Variation at Different Distances to Coastline in Yantai

Han Guangxuan Wang Guangmei Zhang Zhidong Li Qiuyan Xue Qinzha

(Yantai Institute of Coastal Zone Research for Sustainable Development, Chinese Academy of Sciences Yantai 264003)

Abstract: In order to characterize the age structure and spatial variation of the *Pinus thunbergii* coastal protection forest, 42 plots (10 m ×10 m) were investigated in Yantai region. All the trees in the plots were identified, measured and tagged by a sampling method. By substituting for time sere with the spatial sere the structure of *Pinus thunbergii* measured to detect the age structure. According to different distances to the coastline, the spatial variation of *P. thunbergii* populations was analyzed. The *P. thunbergii* population had reverse-J shaped DBH class which suggested that the population was in stably developmental phase with sufficient recruitment. A significant correlation between the growth status of *P. thunbergii* and its population density was found. There were negative exponential relations between the population density with DBH individual biomass, respectively. The tree height was significantly and negatively correlated to population density. The density effects of *P. thunbergii* populations were determined by the regeneration difference among different stands. From 50 to 500 m distance to coastline, the population density of *P. thunbergii* increased and its mean diameter, tree crown declined with the distance to the coastline. The spatial distribution of *P. thunbergii* population would be mainly attributed to the environmental heterogeneity caused by sea-land interactions.

Key words: *Pinus thunbergii*; protection forest; population structure; distance to coastline

我国大陆海岸线长达 1.834 万 km,海岸带面积 31 亿 hm²,约占全国土地总面积的 3.2%。海岸带地区经济发达,城市化水平高,人口密度大,是带动我国经济社会快速发展的“火车头”。同时,海岸带地区又是自然灾害多发的区域,时常面临盐胁迫、海啸和风暴潮威胁。海岸防护林是森林生态网络系统的重要组成部分,不仅具有防风固沙、过滤海盐、保持水土、涵养水源的功能,还可以抵御海啸和风暴潮危害,美化人居环境,对于维护沿海地区生态安全、人民生命财产安全和工农业生产安全具有重要意义(周生贤,2005),是实现沿海区域可持续发展的重要组成部分。

海岸防护林的生态环境脆弱,造林困难,如何使现有防护林的防护效益不间断,已成为目前海岸防护林经营的一个难点(朱教君等,2002)。目前,海岸防护林的研究主要集中在防护林生物量和生产力(徐叨心

收稿日期:2008-02-27。

基金项目:中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所前沿领域项目(A3J0708BX)、山东省科技攻关计划项目(2007GC2T06019)资助。

*野外工作得到中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所刘玉虹、毛培利、刘苏静等同志的协助,在此一并致谢。

等, 2004; 许景伟等, 2005; 陈胜, 2007)、物种多样性(许景伟等, 2004)、树种筛选(李信贤, 2001; 李成等, 2002)、林分更新与改造(许景伟等, 2003a; 徐俊森, 2005)、生态环境效应(梁珍海等, 1994; 谢平等, 2001; 张金池等, 2001)、土壤理化性质(张瑜斌等, 2001; 田保状等, 2005; 李春艳等, 2007; 谭芳林等, 2007)和林业经营与管理(许景伟等, 2003b; 王贵霞等, 2004; 林奎勇, 2006)等方面, 但是关于海岸防护林种群结构及其空间变化的研究甚少。

种群数量变动是种群生态学的主要研究任务(蔡小英等, 2006)。种群动态是种群大小或数量在时间、空间上的变化规律(洪伟等, 2004), 是植物个体生存能力与外界环境相互作用的结果(Crawley, 1986)。种群结构与动态对阐明种群生态特性、更新对策乃至群落的形成及其稳定性与演替规律等都具有重要意义(Nanami *et al.*, 2004; 达良俊等, 2004)。科学地确定海岸防护林的种群结构与动态, 对于指导海岸防护林的经营与更新具有重要的理论和现实意义。另外, 海岸防护林处在海陆相互作用活跃的过渡地带, 在垂直于海岸线的方向上, 海风、土壤盐分、地下水等环境因子具有一定的空间异质性(李杨帆等, 2005; 王海梅等, 2006; 李加林等, 2007)。环境异质化过程中, 植被的组成和结构也相应地发生波动与变化(何兴东等, 2004), 进而对植物种群分布格局产生影响(李海滨等, 1998)。种群分布格局是指种群个体在水平位置的分布样式, 是种群生物学特性对环境条件长期适应和选择的结果, 是生态学中重要的研究内容之一(焦健等, 1998)。种群空间分布格局及其变化的趋势是影响种群数量发展的主要因素(徐坤等, 2006), 明确种群的分布格局有助于对该种的生态学特性进一步了解, 正确描述种群的空间分布模式对判定植物分布规律、掌握其过程演化及预测其变化趋势具有重要意义(王晓春等, 2002)。

本研究以我国烟台地区黑松(*Pinus thunbergii*)海岸防护林为对象, 分析黑松种群结构和动态, 阐明黑松种群生长的密度效应; 同时, 分析黑松种群随离岸距离的分布规律, 旨在阐明海陆相互作用对黑松种群的影响, 以期为黑松防护林的保育和更新提供理论依据。

1 研究区概况

烟台沿海防护林自然保护区是我国第一个以沿海基干林带为主要森林生态系统类型的省级沿海防护林自然保护区, 是抵御海潮、海蚀和风沙等自然灾害的第一道有效防线, 生态区位重要。黑松是烟台地区沙质海岸基干林带的主要造林树种。

研究区位于中国科学院烟台海岸带可持续发展研究所临海台站(121°41'57" E, 37°27'15" N), 属暖温带东亚季风型大陆性气候, 年均气温 11.5℃, 全年降水量 760 mm, 全年无霜期 200 d 左右, 年均相对湿度为 71%, 年均日照时数 2 642.7 h, 日照率为 60%。研究区海拔 1~2 m, 地势平坦, 坡度小于 5°, 土壤为滨海砂地土壤, 机械组成以砂为主, 有机质含量很低, 一般不超过 1%。黑松林栽植于 20 世纪 50 年代, 大多为纯林, 黑松林下植被比较简单, 灌木主要由紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、单叶蔓荆(*Vitex trifolia* var. *simplicifolia*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)和野蔷薇(*Rosa multiflora*)等组成; 草本层主要为羊胡子草(*Carex rigescens*)、虫实(*Corispermum*)、刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)、白茅(*Imperata cylindrica* var. *major*)、马齿苋(*Portulaca oleracea*)、肾叶打碗花(*Calystegia soldanella*)、毛鸭嘴草(*Ischaemum antephoroides*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris*)、鸭跖草(*Commelina communis*)、西伯利亚滨藜(*Atriplex sibirica*)和龙葵(*Solanum nigrum*)等。

2 研究方法

2.1 调查方法

在垂直于海岸线方向上, 每隔 200 m 设置 1 条样线, 共 3 条样线。沿每条样线每隔 50 m 设置 1 个 10 m × 10 m 的样地, 每条样线上设 14 个样地, 共设置 42 个样地。在每个样地中对乔木和灌木进行每木检尺, 记录乔木的高度、胸径和冠幅等数量特征, 对于低于 150 cm 的幼苗和幼树记录其高度、基径和数量, 并记录灌木的高度、基径和丛径等。同时, 在每个样地内做 5 个 1 m × 1 m 的草本样方, 调查草本层的物种名、高度和盖度。所有野外工作于 2007 年 8—11 月完成。

2.2 径级划分与数量统计

年龄结构是种群的重要特征, 它不仅反映了种群内不同年龄个体的组配情况, 也反映了种群数量动态及其发展趋势, 并在很大程度上反映了种群与环境间的相互关系(彭少麟, 1993), 因此, 种群年龄结构的分析

是探索种群动态的有效方法(刘足根等, 2007)。由于实测树木年龄比较困难, 所以本研究以树木的胸径(DBH)作为度量树木年龄大小的指标。根据黑松生活史特点及调查所得数据, 将西山北头地区的黑松种群划分7个径级: 将树高(H) < 0.33 m 的黑松幼苗定为 I 级, 将 0.33 m H < 1.5 m、DBH < 2.5 cm 的黑松幼树定为 II 级, 将 h 1.5 m、DBH < 2.5 cm 的黑松幼树定为 III 级, 其后以 2.5 cm 为步长增加一级, 即 2.5 cm DBH < 5 cm 作为 IV 级, 5 cm DBH < 7.5 cm 作为 V 级, 7.5 cm DBH < 10 cm 作为 VI 级; DBH 10 cm, 作为 VII 级。分析各径级的数量、胸径、高度和冠幅结构。

2.3 数据处理

黑松生物量(W)通过公式 $W = 0.1425(D^2 H)^{0.9181}$ 计算。式中: D 为胸径(cm), H 为树高(m)(许景伟等, 2005)。运用相关分析方法和线性回归方法分析黑松平均胸径、平均树高和单株生物量与种群密度的关系; 运用线性和非线性回归方法分析黑松种群平均密度、高度、胸径和冠幅与离岸距离的关系。采用 SPSS12.0 统计分析软件进行数据统计分析, 绘图在 Sigmaplot 9.0 软件中完成。

3 结果与分析

3.1 径级结构

种群年龄结构分析是揭示种群生存现状和更新策略的重要途径之一(郑元润等, 1997), 许多学者研究乔木种群的结构和动态时采用大小结构分析方法(刘足根等, 2007; 康华靖等, 2007; 杨慧等, 2007), 即以径级结构替代年龄结构, 本文也采用径级结构分析黑松的种群结构及其动态。从图 1A 可以看出, 在黑松林中, 幼苗和幼树占了相当大的比例, I 和 II 径级的黑松分别占了 35.4% 和 16.0%, 有足够的后备资源维持种群发展。老龄级株数缺乏, > 7.5 cm 径级的黑松不到种群的 0.01%。整个黑松种群的径级分布基本上呈倒 J 型分布, 个体数随径级的增加而减少, 总体呈现增长趋势。黑松种群 I 径级幼苗个体密度最大, 达到 228.1 株 hm^{-2} , 随径级增加, 黑松种群密度整体上减小, VII 径级黑松密度仅为 12 株 hm^{-2} 。

黑松高生长和冠幅生长较大程度上受年龄的控制(图 1B、C)。黑松在幼年时期(I ~ II 龄级)高生长较快, 当生长到一定年龄(III 龄级), 黑松高生长速度逐渐缓慢下来(图 1B), 这可能与黑松到达一定的年龄, 树体生理功能开始衰退有关。黑松冠幅在幼、中年时期(I ~ III 龄级)生长较慢, 这可能是由于这段时期黑松植株矮小, 处于林冠层下, 林下光照限制了黑松的快速生长; 当生长到一定年龄(IV 龄级), 黑松平均高度为 6.2 m, 占据了主林层, 能接受更多的光照, 冠幅生长速度逐渐加快(图 1C)。

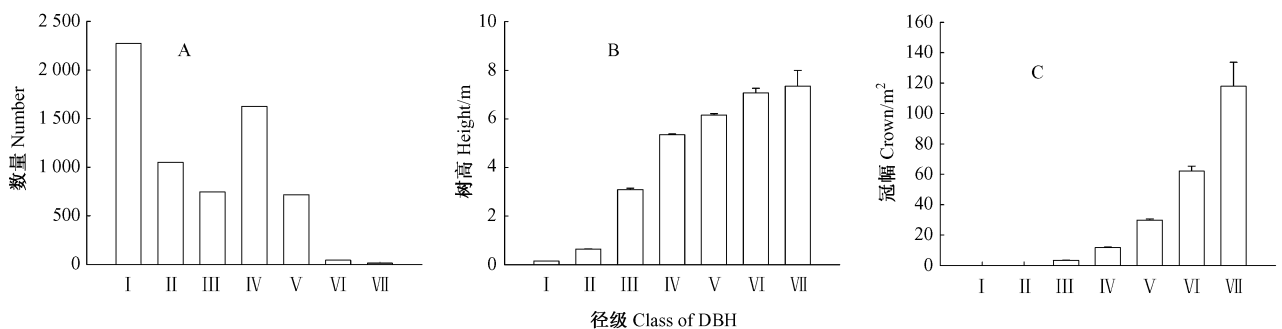


图 1 黑松种群的数量结构(A)、高度结构(B)及冠幅结构(C)

Fig. 1 Numbers structure (A), height structure (B), and crown structure (C) of *P. thunbergii* population

3.2 种群密度

不同样地黑松种群的密度在 900 ~ 6400 株 hm^{-2} 之间波动, 变异系数为 37.4%, 不同样地间的种群密度波动较大。这可能主要是由于各个样地的黑松种群所处的生境及母树数量、结实状况不同, 致使各样地在种子数量、萌发及幼苗建成等方面也不相同, 造成各样地种群密度上的较大差异(唐建维等, 2008)。

以样地中黑松密度为横坐标, 分别以黑松的平均胸径、平均树高和单株生物量为纵坐标, 绘制黑松种群不同密度下的胸径、树高和单株生物量分布图(图 2)。从平均胸径看, 不同密度下黑松胸径变动范围为 2.3 ~ 7.6 cm, 且随着黑松密度的减小而增大; 从单株生物量看, 不同密度下黑松单株生物量在 4.0 ~ 46.5 kg 之间波动, 也随着黑松密度的减小而增大。

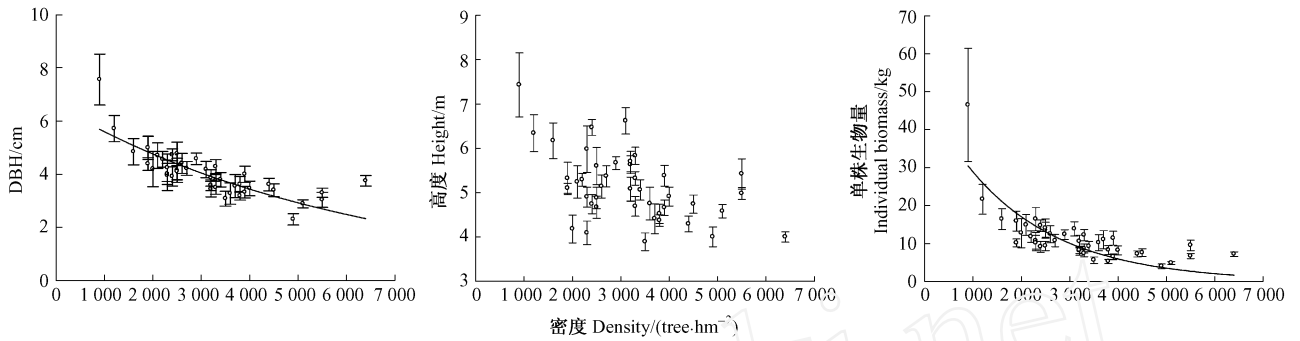


图 2 不同密度下的黑松生长参数

Fig. 2. Growth parameters of *P. thumbergii* population under different tree densities

统计分析表明,胸径、单株生物量与密度的关系均符合负指数函数模型,树高与密度显著负相关($R = -0.510$; $P < 0.01$, $n = 42$); $DBH = 6.58e^{-0.0002D}$ ($R^2 = 0.650$, $P < 0.0001$, $n = 42$); $B = 48.91e^{-0.0005D}$ ($R^2 = 0.618$, $P < 0.0001$, $n = 42$)。式中, DBH 为平均胸径(cm), B 为单株生物量(kg), D 为种群密度(株 hm^{-2})。

上述结果表明,黑松自身生长与种群密度有显著关系。在一定范围内,随黑松密度上升,黑松的平均胸径、树高和单株生物量均下降。林分密度越大,树木胸径越小,单株材积也就越小,林木个体或群体生长与林分密度的紧密关系,称为密度效应。密度效应产生的原因通常被认为:种群密度增加伴随着个体间强烈种内竞争,使植物个体生长速率下降,甚至出现死亡,种群密度下降,这个过程为种群的自疏过程。

为了阐明种群更新与种群密度之间的关系,分别分析高密度(5 500 株 hm^{-2})、中密度(3 200 株 hm^{-2})和低密度(1 200 株 hm^{-2})样方的种群径级结构。由图 3 可以看出,高密度黑松种群(5 500 株 hm^{-2})中,胸径小于 2.5 cm 的黑松占 38.5% (图 3C),说明其更新较好,幼树的大量出现使得种群密度增加,平均胸径、单株生物量均减小;而当更新不能进行时(没有径级小于 2.5 cm 的黑松幼树),种群密度降低(1 200 株 hm^{-2}),种群中成年树居多,单株生物量较大。因此,种群更新状况不同产生种群密度的差异,从而产生密度效应。

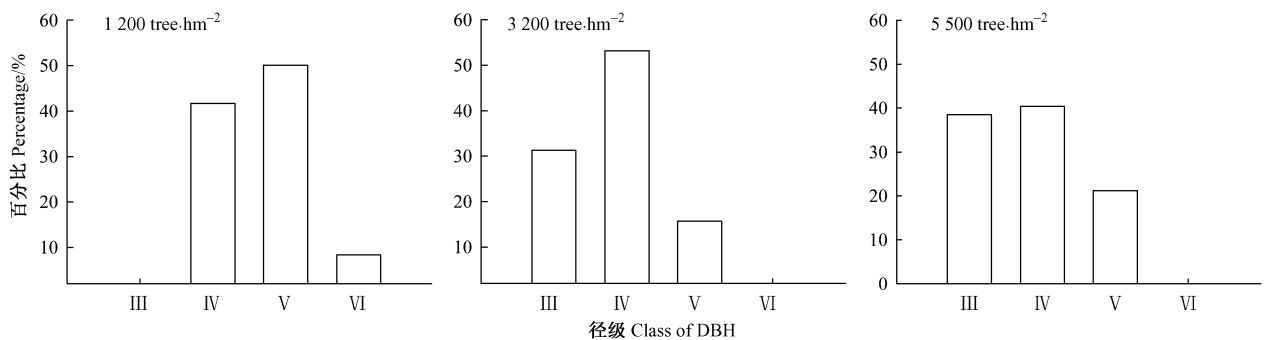


图 3 不同黑松密度下黑松径级分布

Fig. 3 Class of DBH distribution of *P. thumbergii* population under different tree densities

3.3 种群随离岸距离的变化

从图 4 可以看出,在距离海岸 50~500 m 范围内,黑松种群密度随离岸距离的增加而增大,平均胸径和平均冠幅均随离岸距离的增加而减小,而平均树高的变化不明显。距离海岸 500 m 的黑松种群密度为 4 733.3 株 hm^{-2} ,是距海岸 50 m 黑松种群的 2.5 倍,但是其平均胸径和冠幅仅为距海岸 50 m 黑松种群的 48.5% 和 30.4%。

回归分析表明,黑松种群密度与离岸距离呈幂函数关系,平均胸径与离岸距离呈负指数函数关系,平均冠幅与离岸距离的关系符合直线函数模型: $D = 844.75D_c^{0.02468}$ ($R^2 = 0.525$; $P = 0.018$; $n = 10$); $DBH = 5.231e^{-0.001D_c}$ ($R^2 = 0.570$; $P = 0.012$; $n = 10$); $C = -0.0279D_c + 23.693$ ($R^2 = 0.684$; $P = 0.003$; $n = 10$)。式中: D 为种群密度(株 hm^{-2}), DBH 为平均胸径(cm), C 为平均冠幅(m^2), D_c 为海岸距离(m)。

海岸距离不同,更新状况不同,靠近海岸的黑松种群更新较差,而随着离岸距离增加,黑松种群更新趋于良好。从图 5 可知,距海岸 50 m 的黑松种群中 $DBH < 2.5$ cm 的幼龄树只占 6.1%,而 $DBH > 7.5$ cm 的中老龄树占 23.2%,说明更新幼苗不足,种群属于衰退阶段;距海岸 250 和 350 m 的黑松种群中, $DBH < 2.5$ cm 的幼

龄树分别占 21.3% 和 21.7%，而 DBH > 7.5 cm 的中老龄树分别占 5.9% 和 5.4%，种群径级结构为钟型，属于稳定阶段；距海岸 500 m 的黑松种群中，DBH < 2.5 cm 的幼龄树占 47.0%，而 DBH > 7.5 cm 的中老龄树均占 0.9%，种群径级结构为倒 J 字型，属于增长阶段。由此可见，海岸距离不同，种群年龄结构存在差异。处于增长阶段的黑松种群，幼龄树较多，种群密度较大 (4 733.3 株 · hm⁻²)，而处于衰退阶段的黑松种群，由于缺乏幼龄树的更新和补充，种群密度较小 (1 866.6 株 · hm⁻²)。因此，海岸距离使得黑松种群密度出现了梯度变化，而密度梯度的变化导致了“密度效应”，黑松胸径、冠幅随密度的增加而降低。

4 结论与讨论

对烟台海岸黑松防护林种群结构的分析表明，黑松种群幼苗和幼树占相当大的比例，而老龄级株数缺乏。整个黑松种群径级的数量分布基本上呈倒 J 型分布，处于稳定状态。从种群保护的角度看，由于种群幼苗和幼树个体数占绝对优势，只要控制人类对森林生态系统的破坏，即可在一定时期内保持稳定状态，发挥其良好的生态功能(韩路等, 2007)。

烟台海岸黑松防护林种群中，胸径、单株生物量和树高与密度的关系均呈显著负相关，这些研究结果与前期人们的研究结果相似(石培礼等, 1997; 孙书存等, 2005)。种群密度是影响种群数量动态的重要因素之一，

密度能引起植株个体间因生长资源的强制分配而产生相互作用。密度增加导致种内竞争产生，主要表现为植物种群的拥挤效应(密度效应)(李博等, 2000; 杨娟等, 2004)。本研究发现，更新是种群密度效应产生的主要原因。更新较好的种群，幼树大量出现，种群密度增加，平均胸径、单株生物量均减小；当更新不能进行时，种群密度降低，种群中成年树居多，单株生物量较大。因此，当种群未达到自疏阶段时，种群密度的降低有可能是更新不足造成的。

在距离海岸 50 ~ 500 m 范围内，烟台海岸黑松种群密度随离岸距离的增加而增大，植株平均胸径和平均冠幅均随离岸距离的增加而减小。分析表明，黑松种群的这种空间分布模式是由离岸距离不同，种群更新状况不同造成的。靠近海岸的黑松种群更新较差，种群属于衰退阶段；而随着离岸距离增加，黑松种群更新趋于良好，黑松种群由稳定阶段逐渐过渡到增长阶段。研究种群分布格局的目的不仅在于对种群水平格局进行定量描述，更重要的是揭示格局的成因，阐述种群及群落的动态变化。海岸防护林处在海陆相互作用活跃

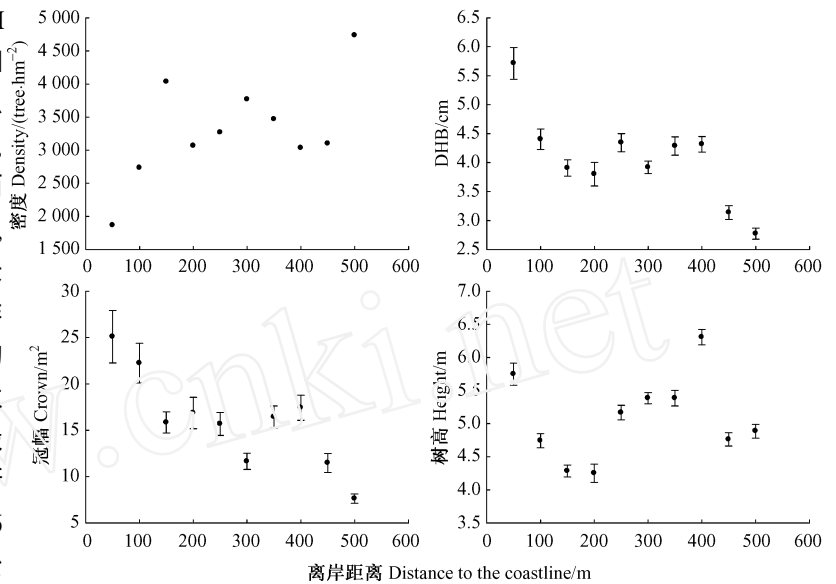


图 4 黑松种群生长随离岸距离的变化

Fig. 4 Growth parameters of *P. thumbergii* population with the increase of the distance to the coastline

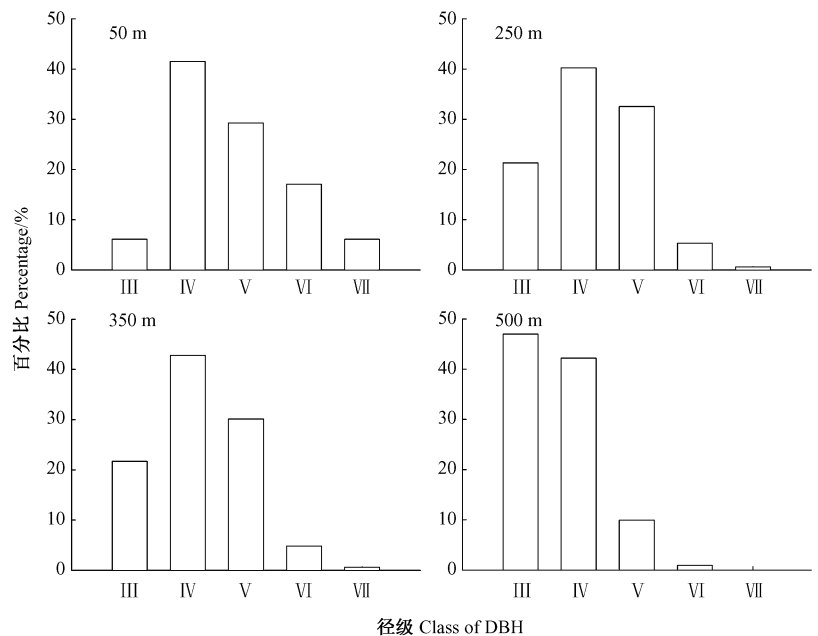


图 5 不同离岸距离下黑松径级分布

Fig. 5 Class of DBH distribution of *P. thumbergii* population under different distance to the coastline

的过渡地带,在海陆相互作用过程中会产生环境异质化(王海梅等,2006;李加林等,2007),进而对植物种群的更新、生长和分布格局产生影响。因此,垂直于海岸线方向上环境因子的空间分布格局对黑松种群更新和生长的影响还有待于进一步探讨。

参 考 文 献

- 蔡小英,范海兰,洪滔,等.2006.福州琅岐风景区景观林朴树种群生命表分析.北华大学学报:自然科学版,7(6):545-548.
- 陈胜.2007.福建沿海沙质地巨尾桉防护林生长效应.福建林学院学报,27(1):65-69.
- 达良俊,杨永川,宋永昌.2004.浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要种群结构及其更新类型研究.植物生态学报,28(2):376-384.
- 韩路,王海珍,周正立,等.2007.塔里木河上、中游胡杨种群结构与统计分析.生态学报,27(4):1315-1322.
- 何兴东,高玉葆,赵文智,等.2004.科尔沁沙地植物群落圆环状分布成因地统计学分析.应用生态学报,15(9):1512-1516.
- 洪伟,王新功,吴承祯,等.2004.濒危植物南方红豆杉种群生命表及谱分析.应用生态学报,15(6):1109-1112.
- 焦健,田波生,孙学刚.1998.甘肃文县珙桐群落优势种群分布格局及动态变化趋势.甘肃农业大学学报,33(3):266-271.
- 李博,杨持,林鹂,等.2000.生态学.北京:高等教育出版社.
- 李成,乔勇进,张敦谔.2002.山东省沿海沙质海岸防护林树种的选择.防护林科技,4:64-66.
- 李春艳,李传荣,许景伟,等.2007.泥质海岸防护林土壤微生物、酶与土壤养分的研究.水土保持学报,21(1):156-159.
- 李海滨,王政权,王庆成.1998.空间异质性定量研究理论与方法.应用生态学报,9(6):651-657.
- 李加林,杨晓平,董亿勤.2007.潮滩围垦对海岸环境的影响研究进展.地理科学进展,26(2):43-51.
- 李信贤.2001.广西海岸防护体系中防护林的作用与树种选择.广西科学院学报,17(2):82-86.
- 李杨帆,朱晓东,邹欣庆,等.2005.江苏盐城海岸湿地景观生态系统研究.海洋通报,24(4):46-51.
- 梁珍海,康立新,仇才楼,等.1994.泥质海岸防护林改善土壤理化性能的研究.南京林业大学学报,18(3):41-45.
- 林奎勇.2006.福建省沿海防护林建设与保护问题的探讨.林业勘察设计,2:170-174.
- 刘足根,朱教君,袁小兰,等.2007.辽东山区次生林主要树种种群结构和格局.北京林业大学学报,29(1):12-18.
- 彭少麟.1993.森林群落波动的探讨.应用生态学报,4:120-125.
- 石培礼,杨修,钟章成.1997.桉柏混交林种群生物量动态与密度调节.应用生态学报,8(4):341-346.
- 孙书存,高贤明,包维楷,等.2005.岷江上游油松造林密度对油松生长和群落结构的影响.应用与环境生物学报,11(1):8-13.
- 谭芳林,叶功富,王志洁,等.2007.相思树种更新木麻黄防护林对林地土壤化学性质的影响.防护林科技,1:1-3.
- 唐建维,施济普,张光明,等.2008.西双版纳不同斑块望天树种群的密度、结构和生物量.植物生态学报,32(1):40-54.
- 田保状,乔勇进,王希英.2005.沙质海岸防护林体系土壤营养分析.防护林科技,3:1-3.
- 王贵霞,李传荣,杨吉华,等.2004.山东省沿海防护林体系现状及建设对策探讨.水土保持研究,11(2):118-120.
- 王海梅,李政海,宋国宝,等.2006.黄河三角洲植被分布、土地利用类型与土壤理化性状关系的初步研究.内蒙古大学:自然科学版,37(1):69-75.
- 王晓春,韩士杰,邹春静,等.2002.长白山岳桦种群格局的地统计学分析.应用生态学报,13(7):781-784.
- 谢平,李燕.2001.海岸沙地防护林的小气候效应.中国沙漠,21(1):93-96.
- 徐明心,陈顺伟,高智慧.2004.杜英等4个沿海岩质海岸防护林树种生物量初步研究.浙江林业科技,24(5):4-6.
- 徐俊森.2005.福建海岸木麻黄防护林更新造林技术研究.防护林科技,4:5-7.
- 徐坤,谢应忠,李世忠.2006.宁南黄土丘陵区退化草地群落主要植物种群空间分布格局对比研究.西北农业学报,15(5):123-127.
- 许景伟,李传荣,李琪,等.2004.胶南沿海防护林植物群落多样性的研究.山东林业科技,6:4-7.
- 许景伟,李传荣,王卫东,等.2005.沿海沙质岸黑松防护林的生物量及生产力.东北林业大学学报,33(6):29-32.
- 许景伟,王卫东,乔勇进,等.2003a.沿海沙质岸基干林带黑松防护林的更新方式.东北林业大学学报,31(5):4-6.
- 许景伟,王卫东,王月海,等.2003b.沿海黑松防护林低产、低质、低效成因的调查报告.东北林业大学学报,31(5):96-98.
- 杨慧,姜安知,高益军,等.2007.北京东灵山地区白桦种群生活史特征与空间分布格局.植物生态学报,31(2):272-282.
- 杨娟,钟章成.2004.爆发型种群铜锤草增长的密度调节.生态学杂志,23(6):1-5.
- 张金池,臧廷亮,曾锋.2001.岩质海岸防护林树木根系对土壤抗冲性的强化效应.南京林业大学学报,25(1):9-12.
- 张瑜斌,庄铁诚,杨志伟,等.2001.海南东寨港红树林土壤微生物初探.生态学杂志,20(1):63-64.
- 郑元润,张新时,徐文铎.1997.沙地云杉种群增长预测模型研究.植物生态学报,21(2):130-137.
- 周生贤.2005.全面加强沿海防护林体系建设加快构筑我国万里海疆的绿色屏障——在全国沿海防护林体系建设座谈会上的讲话.世界林业研究,18(4):1-6.
- 朱教君,李凤芹,松崎健.2002.间伐对日本黑松海岸林更新的影响.应用生态学报,13(11):1361-1367.
- Crawley MJ. 1986. Plant ecology. London: Blackwell Scientific Publications, 97-185.
- Nanami S, Kawaguchi H, Tateno R, et al. 2004. Sprouting traits and population structure of co-occurring castanopsis species in an evergreen broad-leaved forest in southern China. Ecological Research, 19: 341-348.

(责任编辑 于静娴)