

# 黑松海岸防护林径级分布及其与球果和种子特性的关系<sup>1)</sup>

毛培利 韩广轩 张志东 王光美 于君宝 许景伟 曹帮华

(中国科学院烟台海岸带所 烟台 264003)

(山东省林业科学研究院)

(山东农业大学)

**摘要** 为探讨黑松种群的结实规律,调查了烟台海防林中黑松的径级结构,采集了不同大小植株上的球果,分析了球果和种子特性。结果表明:黑松种群径级结构为金字塔形,35.84%的植株具有生殖能力。随径级增加,球果大小(球果质量、球果长、球果宽)逐渐增加;总种鳞数逐渐增加,可育种鳞数、可育种鳞率和总种子数变化为凹形,在径级 Sc6(胸径 12.5~15.5 cm)处最低;在径级 Sc6(胸径 12.5~15.5 cm)处,球果结实率和胚珠败育率分别为最低和最高。球果大小与总种子数成正相关,与胚珠败育率成显著负相关。种子发芽率、发芽指数和活力指数随径级增加呈波浪形变化,在径级 Sc3(胸径 3.5~6.5 cm)和 Sc6(胸径 12.5~15.5 cm)处显著高于径级 Sc4(胸径 6.5~9.5 cm)和 Sc7(胸径 15.5~18.5 cm)。对球果胚珠败育率的调节是黑松保证种子质量的重要途径。

**关键词** 黑松;海防林;径级结构;结实规律;天然更新

**分类号** S791.245

**Relationship between Distribution of Diameter Size Classes and Characteristics of Cones and Seeds of *Pinus thunbergii* in a Coastal Protection Forest**/Mao Peili, Han Guangxuan, Zhang Zhidong, Wang Guangmei, Yu Junbao (Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Forestry, Yantai 264003, P. R. China); Xu Jingwei (Shandong Academy of Forestry); Cao Banghua (Shandong Agricultural University) // Journal of Northeast Forestry University. - 2010, 38(11). - 21~23

An experiment was conducted to study the diameter size structure of *Pinus thunbergii* in a coastal protection forest in Yantai in order to explore the fruiting characteristics of *P. thunbergii* population. Cones from trees of different diameter size classes were collected and then the characteristics of cones and seeds were analysed. A pyramid-style structure of the diameter size of *P. thunbergii* was found, including 35.84% of the trees with reproductive capacity. With the increase of size class, cone size (cone weight, cone length and cone width) increased and the total number of seminiferous scales increased, but fertile scales, ratio of fertile scales, the total number of seeds presented concave changes and reached the minimum when the diameter at breast height (DBH) ranged from 12.5 to 15.5 cm. However, seed productivity and ovule abortion rate revealed an undulating pattern with size class increasing, and the minimum seed productivity and the maximum ovule abortion rate were found at DBH ranging from 12.5 to 15.5 cm. Cone size was positively correlated with total number of seeds, but negatively correlated with ovule abortion rate. Germination rate, germination index and vigor index showed an undulating pattern with the increase of size class, and their values at DBH of 3.5-6.5 cm and 12.5-15.5 cm were higher than those at 6.5-9.5 cm and 15.5-18.5 cm. It is an important way to ensure the seed quality of *P. thunbergii* by increasing ovule abortion rate of cone.

**Keywords** *Pinus thunbergii*; Coastal protection forests; Size class structure; Fruiting characteristics; Natural regeneration

植物种群的更新、个体生活史的完成依赖于植物的繁殖过程。球果和种子是物种繁殖系统的重要特征,在强大的选择压力下表现出很强的适应性<sup>[1]</sup>,对植物种群的分布格局、种群动态及种群的调控等方面均有重要意义<sup>[2-3]</sup>。同时,球果和种子也是受遗传控制较强的特征,最具有区分和比较的意义<sup>[4]</sup>。由于植物个体之间在基因和生存环境等方面的差异,使得个体大小比年龄更能准确预测植物个体的生存过程<sup>[2,5-6]</sup>。大的个体往往有着高的生殖力和低的死亡率,与年龄无相关性<sup>[7]</sup>。大的植株产生的大量种子是其种群繁殖的重要种子来源,这些种子与其它较小个体产生的种子在基因组成和适应能力上的差异对种群的稳定和发展有着重要影响<sup>[8]</sup>。

沿海防护林是海岸带地区关键的生态屏障。山东省沿海防护林体系以黑松沿海防护林最为重要<sup>[9]</sup>。大部分黑松海防林是20世纪五六十年代营造的,较大林龄的林分已进入成熟、过熟阶段,防护功能和多种效益受到严重影响。大风、海潮、海雾和土壤贫瘠等恶劣的生境条件对海防林的更新带来了巨大困难。许景伟等<sup>[9]</sup>将黑松海防林划分为高生产力、中生产力和

低生产力3种生长类型,确定了合理更新年龄分别为33、32和28 a;并相应提出了人工促进天然更新、带状更新以及林冠下更新、隔行更新和留伐更新等方式<sup>[10]</sup>。对于黑松海防林的天然更新,朱教君等<sup>[11]</sup>认为50%间伐处理能够改善林内光照和降水等,提高幼苗存活率,促进幼苗生长。但有关黑松天然更新的必要条件——黑松种子的产生研究还很少<sup>[12]</sup>。笔者通过调查黑松海防林群落结构,明确黑松种群产生种子的主要母树来源,进一步分析个体大小不同的母树产生的球果和种子特性,为促进黑松海防林的天然更新提供科学依据。

## 1 研究地概况

试验地位于山东省烟台沿海防护林省级自然保护区内的牟平区姜格庄镇,北纬37°25'~37°28',东经121°35'~121°50'。该区属暖温带季风气候区,年均气温11.5℃,年均降水量750 mm,空气相对湿度为70%左右,无霜期平均为180 d。大风、暴雨、台风、海潮、海雾、干旱、低温等自然灾害频繁。土壤属滨海沙土,其基质多为疏松的中、粗沙组成,凝聚力小,降水易渗透,并含有少量的盐分,土壤贫瘠。黑松林栽植于20世纪五六十年代,多为纯林。林下植被简单,灌木主要由紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、单叶蔓荆(*Vitex trifolia* Linn. var. *simplicifolia* Cham.)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、野蔷薇(*Rosa multiflora*)等组成;草本植物主要为羊胡子草(*Carex rigescens*)、细苞虫实(*Corispermum stenolepis*)、刺沙蓬(*Salsola ruthenica* Ljin var. *ruthenica*)、白茅(*Imperata cylindrica* var. *major*)、马齿苋(*Portulaca oleracea*)、肾叶打碗花(*Calystegia sol-*

1) 烟台市科学技术发展计划项目(2008155);林业科技支撑计划项目(2009BADB2B0502-01);中国科学院烟台海岸带研究所前沿领域项目(1191100401;A3J0708BX)。

第一作者简介:毛培利,男,1979年6月生,中国科学院烟台海岸带研究所滨海湿地生态实验室,中国科学院、山东省海岸带环境过程重点实验室,助理研究员。

通信作者:于君宝,中国科学院烟台海岸带研究所,研究员。

收稿日期:2009年9月1日。

责任编辑:程红。

danella)、毛鸭嘴草(*Ischaemum antephoroides*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris* Thunb.)、鸭跖草(*Commelina communis*)、西伯利亚滨藜(*Atriplex sibirica*)、龙葵(*Solanum nigrum*)等。

### 2 研究方法

#### 2.1 球果采集及种实性状测量

垂直于海边,设置 3 条样带。在每条样带上,隔 50 m 设置一个 20 m × 20 m 样地,共设置 6 个样地。在样地群落结构调查中,将黑松苗高低于 1.5 m 的定义为幼苗,记为 Sc1。对于树木高度大于 1.5 m 的,设定径级级距为 3 cm,依次为径级 Sc2(0.5 cm ≤ 胸径 D < 3.5 cm)、Sc3(3.5 cm ≤ D < 6.5 cm)、Sc4(6.5 cm ≤ D < 9.5 cm)、Sc5(9.5 cm ≤ D < 12.5 cm)、Sc6(12.5 cm ≤ D < 15.5 cm)、Sc7(15.5 cm ≤ D < 18.5 cm)、Sc8(18.5 cm ≤ D < 21.5 cm)和 Sc9(21.5 cm ≤ D < 24.5 cm)。对于较小的植株,Sc1、Sc2 和 Sc3 通过查数轮生枝确定树龄;对于其他较大径级的植株,通过  $D = 21.37(1 - e^{-0.14})^{2.6389}$  (D 为胸径, A 为树龄)计算树龄<sup>[9]</sup>。根据样地的群落结构调查结果和结实现状,选择了 5 个结实径级,分别为径级 Sc3、Sc4、Sc5、Sc6 和 Sc7。在调查的所有样地中,每个径级随机选择 12 ~ 25 株黑松进行生殖特征记录。在球果刚成熟而种鳞尚未脱落之前及时采集球果,每个植株树冠的东、南、西、北 4 个方位共采集成熟球果 5 ~ 10 个,带回室内。在采回的球果中,根据不同径级所采的数量,随机抽取球果 30 ~ 60 个,用游标卡尺测量每个球果的球果长、球果宽(均在最长、最宽处测量)。待球果风干至种鳞分离、种子自行脱出时,用电子天平测量每个球果的质量,同时统计总种鳞数、可育种鳞数和总种子数,计算可育种鳞率、球果结实率和胚珠败育率。

#### 2.2 种子萌发试验

选取成熟的种子先消毒处理,然后进行萌发试验。试验过程中参考李晓杰黑松种子实验室发芽条件,在直径 9 cm 的培养皿中铺 2 层滤纸,将种子置于滤纸上<sup>[13]</sup>。每个径级(Sc3 ~ Sc7)的黑松种子设置 3 个重复,每个重复 50 粒种子。培养皿置于恒温培养箱中,(25 ± 0.2) °C,在无光条件下培养 21 d。当胚根突破种皮时即认为种子萌发<sup>[14]</sup>。萌发过程中每 24 h 观测一次,记录种子萌发起始时间和种子数量,并定期补充适量的清水。培养 21 d 后,将种子萌发后形成的幼苗放在烘箱内(75 °C, 24 h)烘干,用万分之一天平称取干质量。计算发芽

率( $G_r$ )、发芽指数( $G_i$ )和活力指数( $V_i$ )。其中  $G_r = G_1/N \times 100\%$  ( $G_1$  为萌发数;  $N$  为供试种子总数);  $G_i = \sum(G_j/D_j)$  ( $G_j$  为各日净发芽数;  $D_j$  为相应发芽日);  $V_i = S \times G_i$  ( $S$  为幼苗干质量;  $G_i$  为发芽指数)。

#### 2.3 数据分析

对结实的 5 个径级的球果各个种实性状指标进行统计分析。径级间差异的显著性用单因素方差分析(One-way ANOVA)进行评价,并进一步对各性状指标在处理之间的差异进行 LSD 多重比较。对各个性状之间进行相关分析,使用双尾(Two-tailed)  $t$  检验对相关的显著性进行统计检验。上述各项统计分析均在统计分析软件包 SPSS 13.0 上进行。

### 3 结果与分析

#### 3.1 黑松种群径级结构

随着径级的增加,黑松种群径级结构呈基部极宽顶部狭窄的金字塔形,为增长型种群。在调查的样地中,径级 Sc1 个体数占总样本数量的 51.68%,表明黑松种群有着大量的更新幼苗。从径级 Sc2 至 Sc7,个体数分别占总样本数量的 12.14%、9.60%、8.44%、6.36%、7.40% 和 4.05%,而 Sc8 和 Sc9 共占总样本数量的 0.35%,表明黑松种群有着较多的幼树和成龄树。对于未结实的植株,幼苗 Sc1 的树龄为(5.50 ± 4.50) a, Sc2 的树龄为(12.15 ± 2.11) a。从 Sc3 开始,黑松开始结实。因此,从 Sc3 至 Sc7,个体数占总样本数量 35.84% 的黑松是种子的主要来源,其树龄依次为(12.8 ± 2.24)、(12.62 ± 1.09)、(14.81 ± 1.27)、(19.33 ± 1.36)和(25.64 ± 2.45) a。

#### 3.2 黑松球果性状与个体大小之间的关系

由表 1 可看出,随着径级的增加,球果质量( $F = 3.87, p < 0.01$ )、球果长( $F = 7.89, p < 0.01$ )、球果宽( $F = 9.88, p < 0.01$ )显著增加,表明球果的大小随径级的增加而增加。总种鳞数随径级的增加显著增加( $F = 6.07, p < 0.01$ )。可育种鳞数( $F = 2.95, p < 0.05$ )、可育种鳞率( $F = 4.42, p < 0.01$ )和总种子数( $F = 3.83, p < 0.01$ )变化则为凹形,最低值出现在径级 Sc6。球果结实率( $F = 3.02, p < 0.05$ )和胚珠败育率( $F = 3.02, p < 0.05$ )随着径级的增加而呈波浪形变化,Sc4 与 Sc6 有着高的球果结实率和低的胚珠败育率。

表 1 不同径级的黑松球果性状

黑松径级	球果质量/g	球果长/cm	球果宽/cm	总种鳞数	可育种鳞数	可育种鳞率/%	总种子数/个	球果结实率/%	胚珠败育率/%
Sc3	11.61 ± 3.15Aa	5.01 ± 0.72Aa	2.65 ± 0.30Aa	79.75 ± 14.01Aa	37.40 ± 18.06Aa	47.37 ± 21.90Aa	33.93 ± 20.43Aa	42.00 ± 21.18ABac	58.60 ± 21.18ABac
Sc4	12.56 ± 4.16ABa	5.14 ± 0.85ABab	2.77 ± 0.34BCb	85.86 ± 11.24ABab	34.10 ± 14.62ABab	40.20 ± 17.65Aab	34.59 ± 18.45Aa	49.16 ± 16.13Ba	50.84 ± 16.13Ba
Sc5	12.10 ± 2.87Aa	5.18 ± 0.77ABab	2.75 ± 0.29ABb	80.07 ± 15.16Aa	27.85 ± 17.99Bb	35.34 ± 22.78ABbc	25.05 ± 15.08ABab	43.90 ± 18.43ABac	57.10 ± 18.43ABac
Sc6	12.12 ± 3.09Aa	5.32 ± 0.73BCb	2.81 ± 0.29BCb	89.87 ± 13.06Bb	25.90 ± 16.63Bb	27.85 ± 16.72Bc	15.20 ± 9.32Bb	29.87 ± 19.22Ab	70.13 ± 19.22Ab
Sc7	14.43 ± 4.49Bb	5.54 ± 0.88Cc	2.89 ± 0.31Cc	92.00 ± 17.64Bb	33.35 ± 16.94ABab	36.56 ± 18.18ABbc	27.80 ± 13.85ABa	39.50 ± 20.35ABbc	60.50 ± 20.35ABbc

注:表中同一列数据后不同大写字母表示在  $\alpha = 0.01$  水平差异显著,不同小写字母表示在  $\alpha = 0.05$  水平差异显著。

#### 3.3 球果性状间的相关分析

由表 2 可看出,球果质量、球果长和球果宽与总种鳞数、可育种鳞数、可育种鳞率、总种子数和球果结实率成极显著或显著正相关(球果长与可育种鳞率和球果结实率除外);球果质量、球果宽均与胚珠败育率成显著负相关。球果质量和球

果宽与其它指标的相关系数高于球果长度的,能够更好地反应球果特征。虽然总种鳞数与总种子数存在着显著正相关,但是从相关系数比较来看,可育种鳞数和可育种鳞率能够更好地反应总种子数。整体来看,球果的大小可以较好地反应产生种子的潜能。

表 2 黑松球果性状之间的相关系数矩阵

球果性状	球果质量	球果长	球果宽	总种鳞数	可育种鳞数	可育种鳞率	总种子数	球果结实率	胚珠败育率
球果质量	1.00	0.84**	0.84**	0.49**	0.37**	0.18*	0.33**	0.16*	-0.16*
球果长	0.84**	1.00	0.68**	0.35**	0.24**	0.12	0.19*	0.06	-0.06
球果宽	0.84**	0.68**	1.00	0.48**	0.38**	0.16*	0.36**	0.17*	-0.17*
总种鳞数	0.49**	0.35**	0.48**	1.00	0.25**	0.27**	0.17*	0.07	-0.07
可育种鳞数	0.37**	0.24**	0.38**	0.25**	1.00	0.81**	0.81**	0.37**	-0.37**
可育种鳞率	0.18*	0.12	0.16*	0.27**	0.81**	1.00	0.69**	0.33**	-0.33**
总种子数	0.33**	0.19*	0.36**	0.17*	0.81**	0.69**	1.00	0.78**	-0.78**
球果结实率	0.16*	0.19*	0.06	0.17*	0.07	0.37**	0.33**	1.00	-1.00
胚珠败育率	-0.16*	-0.16*	-0.06	-0.17*	-0.07	-0.37**	-0.78**	-1.00	1.00

注:\*\*为  $p < 0.01$ ; \* 为  $p < 0.05$ 。

### 3.4 种子活力与个体大小间的关系

由表 3 可看出 种子活力显著受到个体大小的影响。随着径级的增加 发芽率、发芽指数和活力指数为波浪形变化, Sc3 与 Sc6 在发芽率( $p=0.77$ )、发芽指数( $p=0.63$ )和活力指数( $p=0.75$ )上差异不显著,但显著高于 Sc4( $p<0.05$ )和 Sc7( $p<0.05$ )。

表 3 黑松种子活力随径级的变化

黑松径级	发芽率/%	发芽指数	活力指数
Sc3	84.00 ± 5.29ABa	5.31 ± 0.39ABac	3.94 ± 0.52Aa
Sc4	71.33 ± 6.43Bb	4.44 ± 0.51Bb	2.81 ± 0.62ABbc
Sc5	80.00 ± 3.46ABab	4.70 ± 0.31ABab	3.39 ± 0.53ABab
Sc6	85.33 ± 3.06ACa	5.46 ± 0.19ACc	3.82 ± 0.12ACa
Sc7	74.00 ± 7.21ABbc	4.60 ± 0.35ABb	2.50 ± 0.20Bc

注:表中同一列数据后不同大写字母表示在  $\alpha=0.01$  水平有差异,不同小写字母表示在  $\alpha=0.05$  水平有差异。

## 4 结论与讨论

野外调查表明 黑松海防林内存在着大量的幼苗 幼苗库充足。具有生殖能力的黑松个体占总样本数量的 35.84%, 这为该种群提供了稳定的、大量的种子来源。黑松的结实与其体内营养状况、生境等密切相关。黑松的结实树龄为 (12.8 ± 2.24) a, 与结实树龄接近的林内胸径为 0.5 ~ 3.5 cm 的个体没有结实,而林缘胸径为 3.5 ~ 6.5 cm 的个体已经结实,说明林内个体体内的营养状况不能满足结实的需求<sup>[15]</sup>。胸径 3.5 ~ 6.5 cm 的黑松多分布在林缘,有着充足的日照,可以快速的积累营养,在较小的树龄时开始结实,这与对栲树生殖特性的研究一致<sup>[16]</sup>。对于林内,生境稳定、群落结构稳定,黑松随着树龄的增加,体内积累的营养增加,逐渐能够满足植株的生殖需求,产生大量的种子。黑松种子有着高的发芽能力,其发芽率在 (71.33 ± 6.42)% ~ (85.33 ± 3.46)% 为大量幼苗存在提供了必要条件。朱教君等<sup>[11]</sup>通过对黑松海防林进行间伐试验,发现在不降低海防林防护功能的前提下,50% 间伐处理能够明显改善林内光照和降水等,提高幼苗存活率,促进幼苗生长。稳定的种子来源和种子高的发芽能力,保证了黑松林下大量幼苗的存在,同时结合有效的人工抚育措施,为黑松海防林的天然更新提供了可能。

黑松球果大小随径级的增加而逐渐增加,与兴安落叶松<sup>[17]</sup>、桃儿七<sup>[18]</sup>和太白红杉<sup>[19]</sup>相似。马绍宾等<sup>[18]</sup>和王孝安等<sup>[19]</sup>认为植物个体变大使得体内积累的营养物质增加,增加的生殖投入有利于果实大小增加。随着径级的增加,黑松球果的总鳞片数增加,提高了产生总胚珠的潜在能力,但是可育种鳞数、可育种鳞率和总种子数变化却是先降低后增加,在胸径 12.5 ~ 15.5 cm 时最低,并且有着最低的球果结实率和最高的胚珠败育率。黑松球果的大小虽然与总种鳞数、可育种鳞数、可育种鳞率、总种子数成正相关,但与胚珠败育率却成负相关。说明黑松在产生种子数量和质量上存在着权衡:在增加产生种子数量的同时,通过提高胚珠败育率尽量保证种子质量。胸径 12.5 ~ 15.5 cm 的黑松产生的种子高的种子发芽率、发芽指数和活力指数则说明了这一点。在对四合木的生殖对策研究中表明,四合木开花多结实少的现象除作为子房储备外,也有利于在传粉成功的情况下有选择地败育品质低劣的果实,以保证种子的质量<sup>[20]</sup>。

黑松种群中不同大小个体在球果特征和种子活力之间的差异对种群的稳定和发展具有重要影响。胸径 12.5 ~ 15.5 cm 的黑松产生高活力的种子,发芽率高、发芽迅速,有利于更好的适应恶劣环境。胸径 3.5 ~ 6.5 cm 的黑松虽然个体很小,但同样也产生了高活力的种子,这使得黑松在干扰频繁的海岸带生境下能够较短时间内产生高质量的种子,是对恶劣生境的一种适应方式,但由于结种数量有限,对黑松种群的更新贡献有限。树木种子产生规律的变化除了与植株大小或树

龄<sup>[16 21-23]</sup>有关外,还与光照强度<sup>[16 22]</sup>、土壤养分<sup>[15]</sup>、林分密度<sup>[15 24]</sup>、人为干扰<sup>[24]</sup>等密切相关。在这些因子的作用下,母树产生的种子在活力之间的差异对种群的稳定和发展具有重要影响。因此,在今后的研究中,深入研究在不同生境下黑松母树产生的球果和种子特性,对阐明黑松种群的天然更新机制、提出更新措施具有重要的意义。

## 参 考 文 献

- [1] Wheeler N C, Guries R P. Population structure, genic diversity, and morphological variation in *Pinus contorta* Dougl [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1982, 12: 595 - 606.
- [2] Harper J L. Population biology of plants [M]. London: Academic Press, 1997: 1 - 200.
- [3] De Steven D. Experiments on mechanisms of establishment in old-field succession: seedling emergence [J]. Ecology, 1991, 72: 1066 - 1075.
- [4] Ruby J L. The correspondence between genetic, morphological and climatic variation pattern in scotch pine [J]. Silvae Genetica, 1967, 16(2): 50 - 56.
- [5] Werner P A. Predictions of fate from rosette size in teasel (*Dipsacus fullonum* L.) [J]. Oecologia, 1975, 20: 197 - 201.
- [6] Gross K L. Predictions of fate from rosette size in four "biennial" plant species: *Verbascum thapsus*, *Oenothera biennis*, *Daucus carota*, and *Tragopogon dubius* [J]. Oecologia, 1981, 48: 209 - 213.
- [7] Werner P A, Caswell H. Population growth rates and age versus stage distribution models for teasel (*Dipsacus sylvestris* Huds.) [J]. Ecology, 1977, 58: 1103 - 1111.
- [8] Dodd M E, Silvertown J. Size-specific fecundity and the influence of lifetime size variation upon effective population size in *Abies balsamea* [J]. Heredity, 2000, 85(6): 604 - 609.
- [9] 许景伟, 李琪, 王卫东, 等. 沙岸黑松海防林防护成熟期及更新年龄的研究 [J]. 林业科学, 2003, 39(2): 91 - 97.
- [10] 许景伟, 王卫东, 乔勇进, 等. 沿海沙质岸基干林带黑松防护林的更新方式 [J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(5): 4 - 6.
- [11] 朱教君, 李凤芹, 松崎健, 等. 间伐对日本黑松海岸林更新的影响 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1361 - 1367.
- [12] 王光美, 韩广轩, 毛培利, 等. 烟台海防林黑松种群胸径与种实性状关系 [J]. 生态学杂志, 2009, 28(5): 858 - 863.
- [13] 李晓杰. 黑松种子实验室发芽条件研究 [J]. 种子, 1990(1): 22 - 23.
- [14] 任坚毅, 林玥, 岳明. 长白山红桦种子的萌发特性 [J]. 植物生态学报, 2008, 32(4): 883 - 890.
- [15] 何亚平, 蔡小虎, 费世民, 等. 攀枝花麻疯树生殖年龄问题的初步研究 [J]. 四川林业科技, 2009, 30(4): 1 - 8.
- [16] 陈波, 宋永昌, 达良俊. 天童常绿阔叶树种栲树生殖个体大小及其生殖构件特征 [J]. 植物研究, 2004, 24(1): 80 - 86.
- [17] 徐振邦, 陈华, 陈涛, 等. 兴安落叶松的结实及其与短枝年龄结构的关系 [J]. 应用生态学报, 1993, 4(3): 234 - 240.
- [18] 马绍宾, 姜汉侨, 黄衡宇. 药物植物桃儿七不同种群种子产量初步研究 [J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 363 - 368.
- [19] 王孝安, 王志高, 肖娅萍. 太白红杉种实数量特征 [J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 367 - 372.
- [20] 王迎春, 侯艳伟, 张颖娟, 等. 四合木种群生殖对策的研究 [J]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 699 - 703.
- [21] Espahbodi K, Hosseini S M, Mirzaie - Nodoushan H, et al. Tree age effects on seed germination in *Sorbus torminalis* [J]. Gen Appl Plant Physiology, 2007, 33(1/2): 107 - 119.
- [22] Grayson K J, Wittwer R F, Shelton M G. Cone characteristics and seed quality 10 years after an uneven - aged regeneration cut in shortleaf pine stands [C] // Proceedings of the eleventh biennial southern silvicultural research conference. Gen Tech Rep, SRS - 48. Asheville, NC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 2002: 310 - 314.
- [23] Connor K F, Lanner R M. Effects of tree age on pollen, seed, and seedling characteristics in great basin bristlecone pine [J]. Bot Gaz, 1991, 152(1): 107 - 113.
- [24] Ganatsas P, Tsakalidimi M, Thanos C. Seed and cone diversity and seed germination of *Pinus pinea* in Strofilya Site of the Natura 2000 Network [J]. Biodivers Conserv, 2008, 17: 2427 - 2439.