

## 黄土区不同密度侧柏人工林树冠二维特征的差异

王 艳<sup>1</sup>, 王迪海<sup>1\*</sup>, 张剑南<sup>2</sup>, 于泽群<sup>1</sup>, 刘金良<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院 西部环境与生态教育部重点实验室, 陕西 杨陵 712100; 2. 岚皋县国营林业总场, 陕西 岚皋 725400)

**摘 要:**以陕西省永寿县马莲滩林场 22 年生侧柏人工林为研究对象, 比较分析了林分密度具有明显差异的 2 组侧柏人工林的树冠二维特征, 以期为黄土高原地区不同密度侧柏人工林的合理修枝抚育提供理论依据。结果表明: 1) 平均冠幅和平均活枝下高均以密度较小林分(2 080~2 120 株·hm<sup>-2</sup>) 大于密度较大林分(3 560~3 760 株·hm<sup>-2</sup>), 而平均冠长和平均冠长率均以密度较大林分较大; 2) 不同密度的侧柏人工林中, 相同径阶和相同树高组林木的活枝下高、冠长和冠长率均具有极显著差异, 而冠幅只在 3 m 树高组具有显著差异。表明林分密度对林木冠幅、活枝下高、冠长和冠长率均具有显著影响。因此, 对于不同密度的侧柏人工林应采取不同的修枝强度进行人工抚育。

**关键词:**侧柏; 树冠特征; 差异分析; 黄土高原

**中图分类号:**S791.38

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2014)03-0125-04

### Differences of Crown Two-dimensional Features of *Platycladus orientalis* Plantation under Different Stand Densities in Loess Area

WANG Yan<sup>1</sup>, WANG Di-hai<sup>1\*</sup>, ZHANG Jian-nan<sup>2</sup>, YU Ze-qun<sup>1</sup>, LIU Jin-liang<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Environment and Ecology in Western China, Collage of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Langao national forest farm, Langao, Shaanxi 725400, China)

**Abstract:** Compared with diameter at breast height (DBH), tree height, canopy could be more intuitive in reflecting interaction of individual tree with its surrounding environment. In order to provide a theoretical basis for the rational pruning of *Platycladus orientalis* plantations with different densities, two-dimensional features of *P. orientalis* plantations (22 years old) with the density of 2 080~2 120 plants·hm<sup>-2</sup> and 3 560~3 760 plants·hm<sup>-2</sup>, located in Yongshou, Shaanxi were examined. Low density plantation showed higher mean crown width and mean alive under branch height, but lower mean crown length and mean crown ratio. Alive under branch height, crown length and crown ratio in same diameter class or same height class showed most significant differences between the plantations with different densities. The crown width showed significant differences only in 3 m height class. The results suggested that stand density had significant effects on crown width, alive under branch height, crown length and crown ratio. Therefore, different pruning intensities should be adopted for the plantations with different densities.

**Key words:** *Platycladus orientalis*; crown characteristic; difference analysis; Loess Plateau

树冠是林木进行光合作用、呼吸作用与蒸腾作用的主要场所, 树冠的生长、健康状况直接反映和影响着林木的生长和健康。相对于胸径、树高, 对树冠的计测数据更能反映出林木个体与周围环境的相互

作用。国内对于针叶树树冠特征的研究主要是从冠幅、树冠长度、冠长率、树冠体积和侧枝分布等方面进行分析。华北落叶松天然林林冠层的垂直、水平变化规律, 并探讨了这些规律对人工抚育的指导意

收稿日期: 2013-09-17 修回日期: 2013-11-20

基金项目: 国家“十二五”农村领域科技计划课题(2012BAD22B0302)。

作者简介: 王艳, 女, 在读硕士, 研究方向: 森林培育。E-mail: wangyanforestry@nwsuaf.edu.cn

\* 通信作者: 王迪海, 男, 副教授, 硕士生导师, 研究方向: 人工林培育理论与技术及信息技术在人工林培育中应用。E-mail: wdlhzz@nwsuaf.edu.cn

义<sup>[1]</sup>,油松、侧柏的树冠结构可作为评价种内竞争的指标之一<sup>[2]</sup>,刘平<sup>[3-4]</sup>等用 Weibull 函数拟合了油松、侧柏的树冠率分布,刘平<sup>[5]</sup>等建立了侧柏树冠复合指标模型,并对林分健康性进行评价研究;段劫<sup>[6]</sup>等研究了北京地区侧柏人工林树冠生长对密度的响应;国外对针叶树树冠特征的研究主要涉及对树冠生物量、抚育或其他措施对树冠特征影响的研究。E. C. Burkes<sup>[7]</sup>等研究了火炬松和湿地松的林分密度与树干、叶和细根生物量的关系;M. BURKES<sup>[8]</sup>等研究了美国黑松的树冠郁闭度与树高、高径比和相对密度的关系;S. F. Yu<sup>[9]</sup>等研究了抚育和施肥对幼龄火炬松树冠特征的影响。目前,对于黄土高原残垣沟壑区不同林分密度下侧柏树冠特征的研究较少。林分密度反映着林木占据空间资源和获取光照条件的能力,是影响树冠特征的主要因素之一<sup>[10]</sup>。研究不同林分密度下树冠特征,可为树木修枝抚育技术的确定提供理论依据。通过调查林分密度具有明显差异的 2 块侧柏固定样地的林分和树冠生长状况,分析不同林分密度侧柏人工林树冠特征的差异,以期对黄土高原地区不同密度侧柏人工林的合理修枝抚育提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地在陕西省永寿县马莲滩林场(108°07'E, 34°48'N),属黄土高原南部残垣沟壑区,土壤为黄土母质发育而来的黄壤土。属暖温带大陆性季风气候,多年平均降水量为 601.6 mm,降水多集中在 8—9 月,年平均气温 10.8℃,≥10℃积温 3 470.3℃,年日照时数 2 166.2 h,无霜期约 210 d。植被地带属于暖温带落叶阔叶林区。森林以人工纯林为主,树种类型主要是侧柏(*Platycladus orientalis*)、

油松(*Pinus tabulaeformis*)和刺槐(*Robinia pseud-oacacia*)。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 2012 年 8 月,在马莲滩林场 22 年生侧柏人工林内设置 10 块 25 m×25 m 的样地。10 块样地的海拔相近,坡向、坡度相同,并按密度分为 2 组,样地基本概况见表 1。

表 1 侧柏样地概况

Table 1 A survey of the *Platycladus orientalis* plantation plots

组号	密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	样地块数/块	海拔/m	坡向	坡度/(°)
I	2 080~2 120	5	1 286	S	<5
II	3 560~3 760	5	1 269	S	<5

1.2.2 林分调查 采用标准地调查方法,记录林分的海拔、坡向、坡度等环境因子;测量胸径、树高、活枝下高、冠幅等<sup>[11]</sup>。

1.2.3 数据分析 对 2 组不同密度的侧柏人工林的胸径和树高结构进行分析,在此基础上从 2 种林分中,分别选取相同径阶和相同树高组的林木,分别比较 2 种林分中相同径阶和相同树高组林木的树冠特征,并进行方差分析,研究其树冠特征的差异性。冠长率(树冠率)为冠长与树高的比值,取值在 0~1 之间。数据分析与处理使用 Excel2007 和 SPSS18.0。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同密度侧柏人工林的胸径和树高结构

由表 2 得出,2 组密度的侧柏人工林的平均胸径和平均树高表现出差异,组 I (林分密度为 2 080~2 120 株·hm<sup>-2</sup>)的平均胸径较组 II (林分密度为 3 560~3 760 株·hm<sup>-2</sup>)的大 0.8 cm,平均树高较组 II 的小 0.1 m。组 II 的胸径和树高变动幅度均大于组 I,表明组 I 的林分结构较均一。组 I 和组 II 之间的平均胸径差异极显著,平均树高差异不显著。

表 2 不同密度侧柏人工林的胸径和树高

Table 2 DBH and height statistics of different densities *P. orientalis* plantation

组号	胸径/cm				树高/m			
	最大值	最小值	平均值	标准差	最大值	最小值	平均值	标准差
I	12.2	1.5	5.5	1.74	6.9	1.6	4.1	0.93
II	14.9	1.0	4.7	2.31	8.2	1.4	4.2	1.12

分别将组 I 和组 II 林木的胸径进行径阶分组,以 2 cm 为 1 个径阶,最小径阶为 2 cm,最大径阶为 14 cm,得出各径阶林木株数的分布状况(图 1)。从图 1 可以看出,组 I 和组 II 胸径分布规律有明显不同,组 I 的胸径主要分布在 4、6 cm 和 8 cm 径阶,组 II 的胸径主要分布在 2、4 cm 和 6 cm 径阶,但组 I 和组 II 胸径分布曲线的峰值都大约在 4 cm 和 6 cm 径阶中间的位置。组 I 的平均胸径为 5.5 cm,在胸

径分布曲线上峰点在靠近 6 cm 径阶的位置;组 II 的平均胸径为 4.7 cm,在胸径分布曲线上其峰点在靠近 4 cm 径阶的位置,即组 II 中小径阶的林木占有较大比重。

将组 I 和组 II 林木的树高进行树高级分组,以 2 m 为 1 个树高组,最小树高组为 1 m,最大树高组为 9 m,得出各树高组树木株数的分布状况(图 2)。从图 2 可以看出,组 I 和组 II 的林木都主要分布在

3 m 和 5 m2 个树高组,在树高分布曲线上峰点都在 5 m 树高组附近的位置。

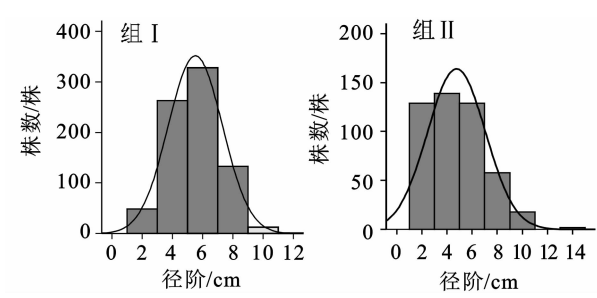


图 1 不同密度侧柏人工林的胸径分布  
Fig. 1 DBH distribution of different densities  
*P. orientalis* plantation

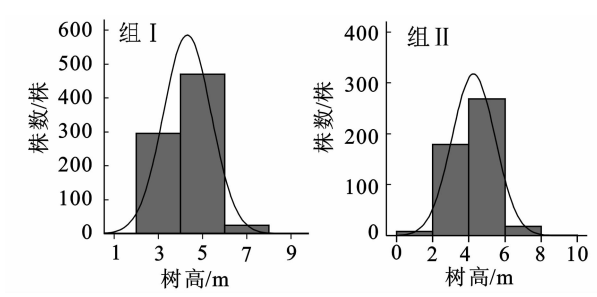


图 2 不同密度侧柏人工林的树高分布  
Fig. 2 Height distribution of different density  
*P. orientalis* plantations

2.2 不同密度侧柏人工林的树冠结构

2 组密度的侧柏人工林的树冠结构存在差异,组 I 侧柏人工林的平均活枝下高和平均冠幅分别较组 II 的大 0.4 m 和 0.04 m,组 I 侧柏人工林的平均冠长和平均冠长率分别较组 II 的小 0.5 m 和 0.09 (表 3)。方差分析结果显示,组 I 和组 II 的活枝下高( $p=2.72\times10^{-49}$ )、平均冠幅( $p=0.0019$ )、冠长( $p=2.46\times10^{-12}$ )和冠长率( $p=3.64\times10^{-31}$ )的平均值间差异均极显著。

2.3 相同径阶树木树冠特征的差异

根据林分胸径结构分析,从组 I 和组 II 林分中分别选取分布都较集中的 4 cm 和 6 cm 径阶林木,计算其活枝下高、平均冠幅、冠长和冠长率的平均值(表 4)。结果表明:在 4 cm 和 6 cm 径阶,组 I 的活枝下高均较组 II 的大 0.3 cm,组 I 的平均冠幅较组 II 的分别小 0.02 m 和 0.01 m,组 I 的冠长较组 II 的分别小 0.9 m 和 0.4 m,组 I 的冠长率较组 II 的分别小 0.12 和 0.06;方差分析显示 2 组林分的活枝下高( $p_{4\text{ cm}}=3.82\times10^{-9}$ ,  $p_{6\text{ cm}}=8.9\times10^{-11}$ )、冠长( $p_{4\text{ cm}}=1.31\times10^{-25}$ ,  $p_{6\text{ cm}}=2.79\times10^{-5}$ )和冠长率( $p_{4\text{ cm}}=3.87\times10^{-15}$ ,  $p_{6\text{ cm}}=4.56\times10^{-7}$ )都分别存在极显著差异,平均冠幅差异均不显著( $p_{4\text{ cm}}=0.19$ ,  $p_{6\text{ cm}}=0.41$ )。

表 3 不同密度侧柏人工林的树冠结构

组号	活枝下高/m		平均冠幅/m		冠长/m		冠长率	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
I	1.2	0.33	0.59	0.19	2.9	0.90	0.70	0.10
II	0.8	0.61	0.55	0.25	3.4	1.27	0.79	0.18

表 4 不同密度侧柏人工林 4 cm 和 6 cm 径阶林木的树冠特征

组号	活枝下高/m		平均冠幅/m		冠长/m		冠长率	
	4 cm	6 cm	4 cm	6 cm	4 cm	6 cm	4 cm	6 cm
I	1.1a	1.2a	0.48a	0.62a	2.4a	3.1a	0.67a	0.72a
II	0.8b	0.9b	0.50a	0.63a	3.3b	3.5b	0.79b	0.78b

注:同列不同字母表示组 I 和组 II 间差异显著( $p<0.05$ )。

2.4 相同树高组林木树冠特征的差异

根据侧柏人工林树高结构分析结果,从组 I 和组 II 林分中分别选取分布都较集中的 3 m 和 5 m 树高组,计算林木的活枝下高、平均冠幅、冠长和冠长率的平均值(表 5)并进行方差分析。结果表明:在 3 m 和 5 m 树高组,组 I 的活枝下高均较组 II 的分别大 0.3 cm 和 0.4 cm,组 I 的平均冠幅较组 II 的分别大 0.08 m 和 0.01 m,组 I 的冠长较组 II 的分别小 0.3 m 和 0.5 m,组 I 的冠长率较组 II 的均小 0.09;2 组林分的活枝下高( $p_{3\text{ m}}=5.01\times10^{-16}$ ,  $p_{5\text{ m}}=6.66\times10^{-31}$ )、冠长( $p_{3\text{ m}}=8.12\times10^{-6}$ ,  $p_{5\text{ m}}$

$=1.35\times10^{-23}$ )和冠长率( $p_{3\text{ m}}=1.36\times10^{-10}$ ,  $p_{5\text{ m}}=2.52\times10^{-33}$ )都分别存在极显著差异。在 3 m 树高组下,2 组林分的平均冠幅差异极显著( $p_{3\text{ m}}=2.53\times10^{-6}$ );而在 5 m 树高组下,2 组林分的平均冠幅无显著差异( $p_{5\text{ m}}=0.53$ )。

3 结论与讨论

3.1 不同密度侧柏人工林的树冠结构

林分密度具有明显差异的 2 组侧柏人工林比较而言,平均冠幅和平均活枝下高均以密度较小的林分(2 080~2 120 株·hm<sup>-2</sup>)较大,而密度较大林分

表 5 不同密度侧柏人工林 3 m 和 5 m 树高组林木树冠特征

Table 5 Crown characteristics of 3 m and 5 m height class trees of these two groups

组号	活枝下高/m		平均冠幅/m		冠长/m		冠长率	
	3 m	5 m	3 m	5 m	3 m	5 m	3 m	5 m
I	1.1a	1.2a	0.50a	0.63a	2.1a	3.4a	0.65a	0.73a
II	0.8b	0.8b	0.42b	0.62a	2.4b	3.9b	0.74b	0.82b

注:同列不同字母表示组 I 和组 II 间差异显著 ( $p < 0.05$ )。

(3 560~3 760 株·hm<sup>-2</sup>)的平均冠长和平均冠长率均较大。

林分的胸径、树高及生物量等随林分密度的增大均会减小,但也有相反结论<sup>[7,10,12-13]</sup>。北京地区侧柏人工林林分平均胸径、平均树高和平均冠幅生长均随密度增大而减小,林分密度>3 000 株·hm<sup>-2</sup>时各指标减小的趋势变缓<sup>[6]</sup>。北京地区油松人工林林分密度与冠幅、树冠长度、树冠密度、树冠透光率呈显著负相关<sup>[12]</sup>。本研究表明,林分密度对树木冠幅、活枝下高、冠长和冠长率均具显著影响。

### 3.2 不同密度侧柏人工林中相同径阶和相同树高组林木树冠特征的差异

不同密度的 2 组侧柏人工林中,相同径阶和相同树高组林木的活枝下高、冠长和冠长率均具有极显著差异,平均冠幅在 3 m 树高组具有显著差异。山桃树高密度(>3 000 株·hm<sup>-2</sup>)林分中活枝下高相对较高,而冠幅、树冠率相对较小<sup>[10]</sup>。侧柏树冠生长受到林分密度的影响,在高林分密度下表现为树冠二维水平方向生长及垂直方向生长均受到抑制<sup>[6]</sup>。本研究结果表明,不同密度侧柏人工林的树冠特征具有显著差异,但林分密度对树冠二维方向生长的影响与前人结果不尽相同,这可能是受所研究林分的林龄、密度、郁闭度、人为干扰情况等不同的影响。

修枝对促进树木生长、优化树木冠形、改善林分卫生状况、提高木材质量等方面具有重要作用,同时也是人工林经营培育中的一项基础措施<sup>[14]</sup>。抚育后火炬松林分的活冠长和冠长率明显大于未抚育林分的<sup>[9]</sup>。修枝强度的确定方法主要有主杆高度指标法、主杆直径指标法和枝条直径指标法等<sup>[15]</sup>。白冷杉树冠覆盖度与胸高断面面积显著相关<sup>[16]</sup>,而胸高断面面积一般采用圆面积的计算公式来求算,由此可以推断冠幅与胸径具有相关关系。本研究表明,不同密度侧柏人工林中相同径阶和相同树高组林木活枝下高、冠长和冠长率均具有极显著差异,平均冠幅在 3 m 树高组具有显著差异。因此,在确定黄土高原侧柏水土保持林的修枝强度时,针对不同密度的林分,应采取不同的修枝强度以达到理想的抚育效果。如果不考虑林分密度的不同,而采取统一的修枝强度,那么对于不同密度侧柏人工林中相同径阶和相

同树高组林木的树冠就会产生不同的修枝效果。

不同密度的秦岭锐齿栎林树冠和树干生物量及营养元素积累量的分配比例不同<sup>[17]</sup>。杨树人工林修枝机理及修枝技术体系的研究中,分析、比较了 2 种密度杨树人工林不同冠层的营养元素分布状况,提出了修枝的依据<sup>[15]</sup>。黄土高原地区人工林的主要功能是水土保持、绿化荒山、美化环境,如何通过修枝技术使该地区的人工林更好地发挥效益,对于不同密度人工林如何确定合理的修枝强度都还有待深入研究。

### 参考文献:

- [1] 刘世芳. 华北落叶松天然林林冠层变化规律的研究[J]. 西北林学院学报, 1994, 9(1): 22-26.  
LIU S F. Studies on variations in the canopy-layer of prince rupprecht's larch forest[J]. Journal of Northwest Forestry College, 1994, 9(1): 22-26. (in Chinese)
- [2] 王希群, 马履一. 油松、侧柏林种内竞争特点的对比研究[J]. 生态科学, 2006, 25(6): 481-484.  
WANG X Q, MA L Y. Intraspecific competition characteristics between *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* forests[J]. Ecologic Science, 2006, 25(6): 481-484. (in Chinese)
- [3] 刘平, 马履一, 贾黎明, 等. 油松、侧柏人工林树冠率的 Weibull 分布及动态预测[J]. 福建林业科技, 2008, 35(3): 19-25.
- [4] 刘平, 马履一, 贾黎明, 等. 侧柏(*Platycladus orientalis*)人工林树冠率的 Weibull 分布及动态预测[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6): 194-198.  
LIU P, MA L Y, JIA L M, et al. Weibull distribution and dynamics prediction of crown ratio for *Platycladus orientalis* plantation[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(6): 194-198. (in Chinese)
- [5] 刘平, 马履一, 贾黎明, 等. 油松、侧柏树冠复合指标模型的建立及其对林分健康性的评价[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(3): 32-35.  
LIU P, MA L Y, JIA L M, et al. Model of crown composite index and health appraisal of *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* plantations[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(3): 32-35. (in Chinese)
- [6] 段劼, 马履一, 贾黎明, 等. 北京地区侧柏人工林密度效应[J]. 生态学报, 2010, 30(12): 3206-3214.  
DUAN J, MA L Y, JIA L M, et al. The density effect of *Platycladus orientalis* plantation in Beijing area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(12): 3206-3214. (in Chinese)

(下转第 135 页)

- K 营养状况分析[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2004, 32(10): 20-24.
- WANG J X, ZHANG X P, GAO B S, *et al.* N and K nutrient status of dwarfing red fuji apple young tree under different fertilizer and irrigation conditions[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Nat. Sci. Ed., 2004, 32(10): 20-24. (in Chinese)
- [20] 周再知, 梁坤南, 徐大平, 等. 钙与硼、氮配施对酸性土壤上柚木无性系苗期生长的影响[J]. 林业科学, 2010, 46(5): 102-108.
- ZHOU Z Z, LIANG K N, XU D P, *et al.* Growth response of teak clone seedlings to calcium, boron and nitrogen supply in acid soil[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(5): 102-108. (in Chinese)
- [21] 张平平, 苗果园. 生土条件下冬小麦对氮、磷、钾的原始响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 156-161.
- ZHANG P P, MIAO G Y. Triggering response of winter wheat to nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition in raw soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(2): 156-161. (in Chinese)
- [22] 蔡泽江, 孙楠, 王伯仁, 等. 长期施肥对红壤 pH、作物产量及氮、磷、钾养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 71-78.
- CAI Z J, SUN N, WANG B R, *et al.* Effects of long-term fertilization on pH of red soil, crop yields and uptakes of nitrogen, phosphorous and potassium[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(1): 71-78. (in Chinese)
- [23] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
- ZHANG F S, WANG J Q, ZHANG W F, *et al.* Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 915-924. (in Chinese)
- [24] ZENG S C, SU Z Y, CHEN B G, *et al.* Nitrogen and phosphorus runoff losses from orchard soils in south China as affected by fertilization depths and rates[J]. Pedosphere, 2008, 18(1): 45-53.
- [25] CUI Z L, CHEN X P, LI J L, *et al.* Effect of N fertilization on grain yield of winter wheat and apparent N losses[J]. Pedosphere, 2006, 16(6): 806-812.
- [26] ZHANG W F, DOU Z X, HE P, *et al.* New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(21): 8375-8380.
- (上接第 128 页)
- [7] BURKES E C, WILL R E, BARRON-GAFFORD G A, *et al.* Biomass partitioning and growth efficiency of intensively managed *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stands of different planting densities[J]. Forest Science, 2003, 49(2): 224-234.
- [8] RUDNICKI M, SILINS U, LIEFFERS V J. Crown cover is correlated with relative density, tree slenderness, and tree height in Lodgepole pine[J]. Forest Science, 2004, 50(3): 356-363.
- [9] YU S F, CHAMBERS J L, TANG Z M, *et al.* Crown characteristics of juvenile loblolly pine 6 years after application of thinning and fertilization[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 180(1): 345-352.
- [10] 章志都, 徐程扬, 蔡宝军, 等. 林分密度对山桃树冠结构的影响研究[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(6): 187-192.
- ZHANG Z D, XU C Y, CAI B J, *et al.* Influence of stock density on crown structure of *Prunus davidiana* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2009, 31(6): 187-192. (in Chinese)
- [11] 孟宪宇. 测树学[M]. 3 版. 北京: 中国林业出版社, 2006: 49.
- [12] 公宁宁, 马履一, 贾黎明, 等. 不同密度和立地条件对北京山区油松人工林树冠的影响[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(5): 9-12.
- GONG N N, MA L Y, JIA L M, *et al.* Effects of different stand densities and site conditions on crown of *Pinus tabulaeformis* plantations in Beijing mountain area[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(5): 9-12. (in Chinese)
- [13] 吴际友, 龙应忠, 童方平, 等. 湿地松人工林间伐效果初评研究[J]. 林业科学研究, 1995, 8(6): 630-633.
- [14] 毛斌, 徐程扬, 李翠翠, 等. 不同修枝强度对侧柏、油松人工林内景观美景度的影响[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(3): 123-125.
- MAO B, XU C Y, LI C C, *et al.* Effects of pruning intensity on in-forest landscape of *Platycladus orientalis* and *Pinus tabulaeformis* plantations [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(3): 123-125. (in Chinese)
- [15] 马永春. 杨树人工林修枝机理及修枝技术体系的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
- [16] VAUGHN N, RITCHIE M W. Estimation of crown cover in interior Ponderosa pine stand: effects of thinning and prescribed fire[J]. Western Journal of Applied Forestry, 2005, 20(7): 240-246.
- [17] 土晓宁, 刘广全. 秦岭主要林区锐齿栎林营养积累和分布的特点[J]. 西北林学院学报, 2000, 15(1): 1-8.
- TU X N, LIU G Q. The properties of nutrient accumulation and distribution of sharp tooth oak stands in main forest regions of Qinling Mts. [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2000, 15(1): 1-8. (in Chinese)