

天目山不同海拔高度柳杉瘿瘤病对柳杉健康的影响

李国会, 温国胜, 田海涛, 张利阳, 李 佳, 黄 浩

(浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 柳杉 *Cryptomeria fortunei* 是浙江天目山国家级自然保护区主要的景观树种。目前, 瘿瘤病成为引起柳杉衰退一种非常严重的病害。在调查了天目山不同海拔高度柳杉瘿瘤病害的基础上, 测定了对照柳杉和有瘤柳杉的各项生理生态指标。结果显示, 随着海拔的升高, 天目山柳杉的树龄逐渐增大, 瘿瘤病对柳杉相对叶绿素含量(SPAD 值)和叶片相对含水率的影响度逐渐增大, 对光合参数以及蒸腾速率的影响则呈减小的趋势; 随着海拔的升高, 对照柳杉的各项生理参数逐渐减小。这在一定程度上说明了柳杉自身的老龄化也是影响天目山柳杉健康进而导致种群衰退的一个重要原因。

图 2 表 3 参 18

关键词: 森林保护学; 柳杉; 瘿瘤病; 海拔; 生理生态; 天目山

中图分类号: S763.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)04-0483-06

Gall disease of *Cryptomeria fortunei* at different altitudes on Mount Tianmu, Zhejiang Province

LI Guo-hui, WEN Guo-sheng, TIAN Hai-tao, ZHANG Li-yan, LI Jia, HUANG Hao

(School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: In the recent years, the gall disease has become a kind of very serious plant diseases causing the decline of *Cryptomeria fortunei* population on Mount Tianmu of Zhejiang Province. This article separately investigated the situation of gall disease and determined degree of relative chlorophyll content (SPAD value), photosynthetic and water characteristic parameters of both *C. fortunei* with galls and the ones without galls at 640, 960 and 1 050 meters' altitudes of Mount Tianmu. The results showed that with elevation of altitudes, the tree ages of *C. fortunei* on Mount Tianmu increase gradually, the effect degrees of SPAD value and relative water content in leaves of *C. fortunei* increased gradually as well, but the effect degrees of photosynthesis parameter and transpiration rate reduced, and that each physiological parameter of *C. fortunei* without galls reduced gradually, which indicated own aging of *C. fortunei* on Mount Tianmu is also a substantial cause of affecting its health and leading its population decline to a certain extent. [Ch, 2 fig. 3 tab. 18 ref.]

Key words: forest protection; *Cryptomeria fortunei*; gall disease; altitudes; physiological and ecological; Mount Tianmu

柳杉 *Cryptomeria fortunei* 系杉科 Taxodiaceae 柳杉属 *Cryptomeria* 常绿针叶乔木, 属国家一级保护树种, 主要分布于长江以南地区。浙江天目山国家级自然保护区是世界上最大的柳杉种群聚集地, 柳杉古树群落在保护区内具有重要地位^[1]。然而, 近十几年来, 天目山的柳杉种群逐渐呈现出衰退的迹象。经调查发现, 瘿瘤病是引起保护区内柳杉衰退的一种非常严重的病害, 该病最早见报道于日本,

收稿日期: 2009-09-14; 修回日期: 2009-11-17

基金项目: 浙江省科学技术重点项目(2006C22062); 浙江林学院科研创新基金资助项目(2112008003)

作者简介: 李国会, 从事植物生理生态研究。E-mail: liguohuiwyc@126.com。通信作者: 温国胜, 教授, 博士, 从事林木生理生态学等研究。E-mail: wgs@zjfc.edu.cn

是日本柳杉 *Cryptomeria japonica* 上的一种病害。该病害主要出现在柳杉树干、枝条和嫩枝上, 可导致落叶、枝条枯萎, 甚至整株大树死亡^[2-3]。瘿瘤病病原菌最初被鉴定为冠囊菌目凹球壳属 *Nitschkea tuberculifera* Kusano^[4-5], 后日本学者福田健二等^[2]认为它与葡萄座腔菌属 *Botryosphaeria* 较为相近, 中国学者张昕等^[6]观察到的病原菌的部分特征与福田健二等的描述较为接近, 由于相关研究资料缺乏, 故其真正定名还有待进一步的研究。目前, 国内外针对柳杉的研究较多地集中于柳杉的病虫害防治^[7]、蓄积量^[8-9]、繁殖技术^[10]、土壤种子库^[11]、群落结构及其更新类型^[12]、酸雨对柳杉的影响^[13]以及柳杉生理生态的研究^[14-16]等方面。瘿瘤病对天目山柳杉健康影响方面的研究还未见报道。作者研究天目山不同海拔高度柳杉瘿瘤病现状及其对柳杉生理生态指标的影响, 旨在为柳杉瘿瘤病的防治和柳杉种群的生态保护提供科学依据。

1 研究区概况

研究区域为天目山国家级自然保护区, 位于浙江省西北部临安市境内。地理位置为 30°18'30" ~ 30°25'37"N, 119°23'11" ~ 119°29'11"E, 主峰仙人顶海拔为 1 506 m。天目山处于中亚热带北缘至北亚热带的过渡带中, 受海洋暖湿气候的影响较大。气候温暖湿润, 年降水量为 1 390 ~ 1 870 mm, 年平均气温为 15.8 ~ 8.9 °C(从山麓到山顶)^[17]。天然植被分布, 1 100 m 以下为常绿落叶林, 1 100 ~ 1 400 m 为落叶常绿阔叶林和针叶混交林, 1 400 m 以上为灌木林。世界罕见的大柳杉群落集中分布在海拔 1 100 m 以下区域。

2 研究材料与方法

2.1 样点与样株选定

在天目山国家级自然保护区柳杉集中分布的区域(海拔 350 ~ 1 100 m)选择有代表性的 3 个点: 三里亭(海拔 640 m), 七里亭(海拔 960 m)和大树王(海拔 1 050 m), 分别在其附近选择树龄和生长状况相近的 3 株有瘤柳杉和 3 株无瘤柳杉。在各个样株的树冠下层剪取 3 条生长方向一致的枝条带回实验室水培 24 h 后进行各生理参数的测定。

2.2 对天目山柳杉瘿瘤病发病情况的调查

用钢卷尺测量剪取枝条的长度, 并记录相应枝条上瘤的数量, 根据公式: 瘤密度 = 瘤的个数/相应枝条的长度, 计算出瘤的密度。用游标卡尺测量枝条上的各个瘤的最大直径和最小直径, 取其均值作为该瘤的直径。统计各直径区间瘤的数量, 研究瘤的频度分布。

2.3 对天目山柳杉叶绿素相对含量和光合特性的测定

使用日本产 SPAD-502 型仪器测定剪取枝条上功能叶的相对叶绿素含量, 重复测定 12 个·处理⁻¹, 取其均值作为该处理柳杉的相对叶绿素含量。

柳杉光合特性的测定利用 Li-6400 (Li-Cor, USA) 便携式红外气体分析仪。测定光响应曲线设置光强梯度依次为 2 000, 1 500, 1 000, 600, 300, 200, 100, 80, 50, 20, 0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 光响应曲线测定 3 条·处理⁻¹。

采用光合小助手 Photosyn Assistant 1.1 计算植物进行光合作用的最大净光合速率、光饱和点、光补偿点、表观量子效率、暗呼吸速率等光合生理参数的数值。

2.4 对天目山柳杉水分特性的测定

从剪取的样枝前段剪取 3 片叶片, 放入写好编号的信封内称其质量并记录。放入 80 °C 的烘箱内烘干 6 h 后称其质量并记录。相对含水率(%) = [(烘干前的质量 - 烘干后的质量)/烘干后的质量] × 100%。

试验数据的处理和作图分别在 SPSS 13.0 和 Excel 中完成。

3 结果与分析

3.1 天目山不同海拔高度柳杉瘿瘤病现状

对天目山不同海拔高度柳杉瘿瘤病染病现状的调查(表 1)显示, 瘿瘤病的染病情况随海拔的不同

而变化。三里亭附近柳杉瘿瘤的密度最大, 在 1 m 的枝条上平均分布有 18 个瘿瘤, 并且主要以直径小于 1 cm 的小瘤为主。随着海拔的升高, 瘿瘤的密度逐渐减小, 瘿瘤的直径却呈现增大的趋势。大树王附近柳杉瘿瘤的密度仅为三里亭柳杉瘿瘤密度的 1/6, 但直径比三里亭柳杉瘿瘤的大, 主要以直径为 1 ~ 2 cm 的中瘿瘤为主, 这可能与树龄大小有关。因为天目山不同海拔上柳杉的树龄不尽相同(表 1), 三里亭附近的柳杉平均树龄为 300 a。随着海拔高度的上升, 柳杉树龄逐渐增大。七里亭附近的柳杉平均树龄为 500 a, 大树王附近的柳杉平均树龄则为 800 a。

表 1 天目山不同海拔高度柳杉瘿瘤病现状

Table 1 Present situation of gall disease on *Cryptomeria fortunei* at different altitudes of Mount Tianmu

地点	平均树龄/a	瘿瘤密度/(个·m ⁻¹)	瘿瘤频度/个			
			≤1	1~2	2~3	3~4 cm
三里亭	300	18.00 ± 6.77	18(46.15)	8(20.51)	7(17.95)	6(15.38)
七里亭	500	8.00 ± 3.51	11(35.48)	11(35.48)	6(19.35)	3(9.68)
大树王	800	3.00 ± 0.88	1(9.09)	5(45.45)	3(27.27)	2(18.18)

说明: 表中括号内的数值代表该直径范围内的瘿瘤数量占瘿瘤总数的百分数(%)。

3.2 不同海拔高度柳杉瘿瘤病对柳杉相对叶绿素含量和光合特性的影响

从不同海拔高度柳杉相对叶绿素含量比较(图 1-A)看出, 不管对照柳杉还是有瘿瘤柳杉, 七里亭附近柳杉的相对叶绿素含量都最低。对照柳杉相对叶绿素含量最高的是大树王附近的柳杉, 有瘿瘤柳杉最高的则是三里亭附近的柳杉。相同海拔高度对照柳杉和有瘿瘤柳杉相对叶绿素含量比较的结果表明, 对照柳杉普遍大于有瘿瘤柳杉的相对叶绿素含量。*t* 检验的结果进一步说明, 七里亭附近柳杉的相对叶绿素含量受瘿瘤病的影响最为显著。影响度比较的结果(表 2)更进一步说明, 瘿瘤病对柳杉相对叶绿素含量的影响程度随着海拔的升高而增大, 大树王附近柳杉的相对叶绿素含量受瘿瘤病影响最大。

天目山不同海拔高度柳杉光响应曲线比较的结果(图 1-B)显示, 光照强度在 0 ~ 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的范围内, 净光合速率均随着光照强度的增强呈直线增长的趋势, 之后随着光照强度的增强, 净光合速率增大的趋势变得平缓。在相同的光照强度下, 对照柳杉的净光合速率以及对照柳杉与有瘿瘤柳杉之间净光合速率的差值都随海拔的升高而减小。

不同海拔高度天目山柳杉各光合生理参数受瘿瘤病影响度的结果如表 2 所示。大部分光合生理参数受瘿瘤病影响的程度随着海拔的升高而降低。相比较而言, 三里亭附近柳杉的光合特性受瘿瘤病影

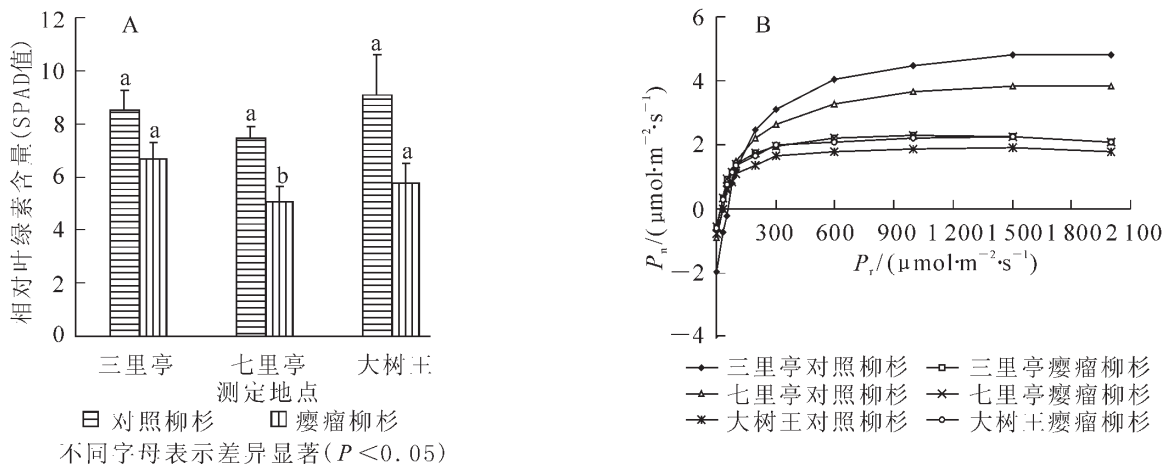


图 1 天目山不同海拔高度柳杉的相对叶绿素含量(SPAD 值)(A)和光响应曲线(B)

Figure 1 SPAD value(A) and light response curve(B) of *Cryptomeria fortunei* at different altitudes of Mount Tianmu

响最严重,而大树王附近柳杉的光合特性受瘿瘤病的影响较轻。

3.3 瘿瘤病对不同海拔高度柳杉水分特性的影响

比较天目山不同海拔高度柳杉叶片相对含水率(如图2-A)可以看出,在相同海拔高度上,对照柳杉叶片的相对含水率均高于有瘿瘤柳杉;随着海拔的升高,对照柳杉叶片的相对含水率逐渐增大,有瘿瘤柳杉的则有降低的趋势。大树王附近对照柳杉叶片的相对含水率最高为21.16%,七里亭附近有瘿瘤柳杉的相对含水量最低,只有4.84%。结合不同海拔高度对照柳杉和有瘿瘤柳杉叶片相对含水率 t 检验的结果以及瘿瘤病对柳杉叶片相对含水率影响度的结果(表3)可以看出,瘿瘤病已严重影响了七里亭和大树王附近柳杉叶片的相对含水率,并且七里亭附近柳杉受瘿瘤病的影响更严重。

天目山不同海拔高度柳杉蒸腾速率曲线如图2-B所示,随着光照强度的增强,柳杉叶片的蒸腾速率均呈递增的趋势,并且在相同海拔高度上,对照柳杉的蒸腾速率普遍大于有瘿瘤柳杉的;随着海拔高度的升高,对照柳杉和有瘿瘤柳杉之间蒸腾速率的差值逐渐增大。

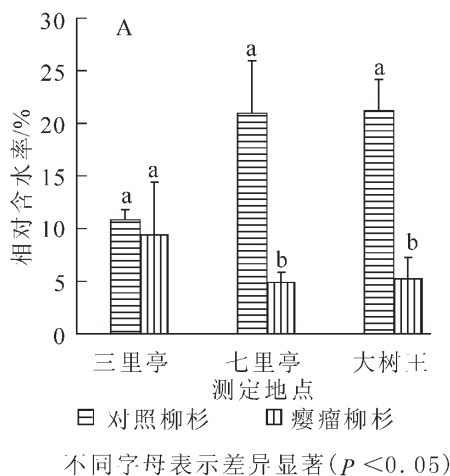


表2 瘿瘤病对天目山不同海拔高度柳杉SPAD值和光合参数的影响度

Table 2 Effect degree of photosynthetic parameters and SPAD value to *Cryptomeria fortunei* at Mount Tianmu of different altitudes by gall disease

参数	瘿瘤病在不同测定点对测定各参数的影响度/%		
	三里亭	七里亭	大树王
相对叶绿素含量	21.6	32.1	35.6
暗呼吸速率	71.0	30.0	27.9
表观量子效率	10.1	2.4	8.7
最大净光合速率	60.1	17.0	6.6
光饱和点	59.4	13.7	2.9
光补偿点	69.2	25.3	25.4

说明: 影响度 = |(对照 - 有瘿瘤)/对照| × 100%。

表3 瘿瘤病对不同海拔高度柳杉叶片相对含水率的影响度

Table 3 Effect degree of relative water content in leaves of *Cryptomeria fortunei* at different altitudes of Mount Tianmu by gall disease

参数	瘿瘤病在不同测定点对参量的影响度/%		
	三里亭	七里亭	大树王
相对含水率	13.6	76.9	75.0

说明: 影响度 = |(对照 - 有瘿瘤)/对照| × 100%。

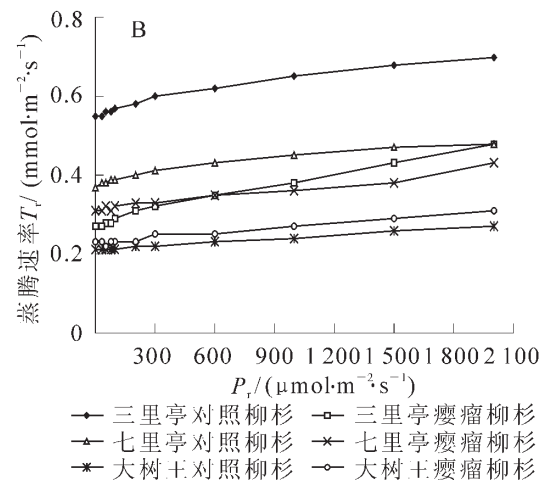


图2 不同海拔高度柳杉的相对含水率和蒸腾速率比较

Figure 2 Comparison of relative water content and transpiration rate of *Cryptomeria fortunei* at different altitudes of Mount Tianmu

4 结论与讨论

对柳杉瘿瘤病发病规律的研究发现,导致病害发生的直接原因是病原菌的侵染。该病主要借助于孢子由风雨传播,并且在病害的发生过程中,酸雨起着重要的作用。20世纪80年代以来天目山周边工业的发展以及来自杭州、宁波和台州等东南一带的工业废气造成的酸雨,使得天目山林木的生存环境急剧恶化,瘿瘤病成为了天目山古柳杉衰退的最主要原因^[6]。该病害主要出现在柳杉的树干、枝

条和嫩枝上，在天目山柳杉种群内随处可见。

对天目山不同海拔高度柳杉瘿瘤病现状的调查发现，不同海拔高度柳杉感染瘿瘤病不尽相同。三里亭附近柳杉的瘿瘤主要以生长在枝条和嫩枝上的淡绿色的小瘤状突起为主，且单位长度柳杉枝条上瘤状突起的数量较多。随着海拔的上升，柳杉的树龄逐渐增大，瘿瘤的直径呈现逐渐增大的趋势，但单位长度柳杉枝条上瘿瘤的数量逐渐减少。大树王附近柳杉的瘿瘤主要由生长在枝条和树干上并且由一定数量的小瘿瘤聚集在一起木质化后的褐色大瘤为主。根据这一现象推断，瘿瘤病的发病初期，主要以密集出现在嫩枝上的小瘤状突起为主，之后随着瘿瘤病的发展，邻近的多个小瘤状突起逐渐聚集成一个直径更大的瘤状物，瘤状物进一步木质化变成了褐色的瘿瘤。曾有研究发现，瘿瘤病在病原菌侵染初期感染处形成小突起，后突起逐渐增大，像大个的“妃子笑”荔枝 *Litchi chinensis* 挂满柳杉枝条^[6]。日本也曾有研究报道，日本柳杉的树瘤主要在 2 年生左右的嫩枝上附生，随着林木的继续生长，树瘤也会继续变大，并且树瘤组织比柳杉的健康组织更具有活跃的生长势头，从而改变了形成层、木质部和韧皮部的构造，并使得树干外皮的一部分也因此而腐烂^[2]。

柳杉感病后密生的瘿瘤截取了一部分运往枝叶的营养和水分，从而引起了树木的各项生理变化。本研究通过测定天目山柳杉的各项生理生态指标发现，瘿瘤病已不同程度地降低了天目山柳杉的各项生命活动，从而在一定程度上影响了天目山柳杉的健康。随着海拔的升高，瘿瘤病对柳杉相对叶绿素含量和叶片相对含水率的影响逐渐增大，对光合参数以及蒸腾速率的影响则呈减小的趋势。这可能与不同海拔高度柳杉瘿瘤病的染病情况相关。三里亭附近柳杉的瘿瘤主要以密集分布在嫩枝和枝条上的小瘤状突起为主，这些浅绿色的小瘤状突起不足以引起植株形成层、木质部、韧皮部构造的改变而影响植株对水分和矿质营养的吸收，也不会严重影响叶片的相对叶绿素含量，因此对柳杉叶片相对叶绿素含量和相对含水率的影响较小。但分布在嫩枝上的瘿瘤由于比较靠近叶片，会截取一部分运往叶片的营养和水分，对叶片的影响比较大，从而严重影响叶片的光合生理过程。相反，大树王附近柳杉的瘿瘤主要以分布在枝条以及树干上、由一定数量的小瘿瘤聚集在一起木质化后的褐色大瘿瘤为主。这些大瘿瘤改变了植株形成层、木质部和韧皮部的构造，并且有一部分树干外皮因此而腐烂，从而直接影响了植株对水分和矿质营养的吸收和运输过程，造成树叶枯黄、落叶、枝叶稀疏，严重影响柳杉叶片的相对含水率以及相对叶绿素含量，削弱植株的生长势，甚至导致整株大树死亡。有关研究发现，天目山柳杉古树平均死亡 $23.6 \text{ 株} \cdot \text{a}^{-1}$ ，而且树龄越大死亡率越高。

植物的衰老是导致植物自然死亡的一系列衰退过程，表现为随着植株年龄的增长，植物生长速度减慢，植株活力下降，对周围环境的改变变得敏感，抗病虫能力减弱等。衰老导致的特征性后果是植株的死亡^[18]。综合比较不同海拔高度上对照柳杉的各项生理生态指标发现，随着海拔的升高，柳杉的树龄逐渐增大，柳杉的光合特性以及水分特性等各项生理参数逐渐减小，植株的活力下降，表现出逐渐衰老的迹象。这在一定程度上说明，柳杉自身的老龄化也是影响其健康进而导致柳杉种群衰退的一个重要原因。

随着海拔高度的升高，气温、空气湿度、降水(酸雨)以及土壤特征等都会随之发生改变^[14]，环境因素复杂且呈现时空异质性，因此，目前还不确定柳杉瘿瘤病的发生、发展的机制。掌握影响柳杉瘿瘤病的影响因素，从而有效地控制它在柳杉种群的蔓延扩散，保护好天目山的柳杉群落就成为今后亟待进一步研究解决的问题。

参考文献：

- [1] 张明如, 俞益武, 赵明水, 等. 天目山国家级自然保护区柳杉群落空气负离子浓度日变化征[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26** (5): 701 - 707.
ZHANG Mingru, YU Yiwu, ZHAO Mingshui, et al. Diurnal change in the negative ion concentration of the air for two *Cryptomeria fortunei* communities of National Nature Reserve of Mount Tianmu [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26** (5): 701 - 707.
- [2] FUKUDA K, SUZUKI K. An anatomical study on galls on *Cryptomeria* [J]. *J Jpn For Soc*, 1986, **68**: 462 - 466.
- [3] KUSANO S. Reasons for galls on *Cryptomeria* [J]. *J Jpn Bot*, 1903, **17**: 147 - 148.

- [4] 邵力平, 沈瑞祥, 张素轩, 等. 真菌分类学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1983: 88 - 89.
- [5] 陆家云, 郑小波, 曹以勤, 等. 病原植物真菌学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 202 - 203.
- [6] 张昕, 张立钦, 王记祥, 等. 天目山柳杉瘿瘤病原菌观察[J]. 浙江林业科技, 2008, **28** (2): 55 - 57.
ZHANG Xin, ZHANG Liqin, WANG Jixiang, *et al.* Observation on *Pathogenetic fungi* of gall disease on *Cryptomeria fortunei* in Tianmu Mountain [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2008, **28** (2): 55 - 57.
- [7] 徐真旺, 罗松根, 林少波, 等. 柳杉毛虫预测预报虫灾级数表的研制[J]. 森林病虫通讯, 2000 (2): 12 - 14.
XU Zhenwang, LUO Songgen, LIN Shaobo, *et al.* Development of insect plague progression table of *Dendrolimus houi* forecast [J]. *For Pest Dis*, 2000 (2): 12 - 14.
- [8] 唐劲松, 钱君龙, 王国群, 等. 柳杉年轮 $\delta^{13}C$ 与气候要素的分析与应用[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2001, **25** (2): 29 - 33.
TANG Jinsong, QIAN Junlong, WANG Guoqun, *et al.* Relationship between $\delta^{13}C$ in tree rings cellulose and climatic factors [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2001, **25** (2): 29 - 33.
- [9] 王建, 钱君龙, 梁中, 等. 树轮稳定碳同位素分析的采样方法——以天目山柳杉为例[J]. 生态学报, 2008, **28** (12): 6070 - 6078.
WANG Jian, QIAN Junlong, LIANG Zhong, *et al.* Sampling strategy for carbon isotope analysis of tree rings: a case study of *Cryptomeria fortunei* from Mt. Tianmu China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28** (12): 6070 - 6078.
- [10] 邱进清, 兰贺胜, 汤亮华, 等. 柳杉扦插繁殖技术研究[J]. 林业科技开发, 1998 (6): 14 - 16.
QIU Jinqing, LAN Hesheng, TANG Lianghua, *et al.* Study on cutting propagation technique of *Cryptomeria fortunei* [J]. *China For Sci Technol*, 1998 (6): 14 - 16.
- [11] 俞飞, 侯平, 陈全明, 等. 天目山老龄柳杉林土壤种子库状态与更新[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (4): 464 - 468.
YU Fei, HOU Ping, CHEN Quanming, *et al.* Soil seed bank and natural regeneration on an old-growth *Cryptomeria fortunei* stand on Mount Tianmu [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (4): 464 - 468.
- [12] 夏爱梅, 达良俊, 朱红霞, 等. 天目山柳杉群落结构及其更新类型[J]. 浙江林学院学报, 2004, **21** (1): 44 - 50.
XIA Aimei, DA Liangjun, ZHU Hongxia, *et al.* Community structure and regeneration pattern of *Cryptomeria fortunei* in Mount Tianmu of Zhejiang, China [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2004, **21** (1): 44 - 50.
- [13] 马原. 模拟酸雨对天目山柳杉的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
MA Yuan. *Effects of Simulated Acid Rain on Cryptomeria fortunei of Tianmu Mountain* [D]. Shanghai: East China Normal University, 2007.
- [14] NAGAKURA J, AKAMA A, MIZOGUCHI T, *et al.* Effects of chronic nitrogen application on the growth and nutrient status of a Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) stand [J]. *J For Res*, 2006, **11**: 299 - 304.
- [15] YOSHIDA K, NISHIGUCHI M, HISHIYAMA S, *et al.* Generation and alteration of norlignans in a transition zone during the drying of a *Cryptomeria japonica* log [J]. *J Wood Sci*, 2006, **52**: 372 - 375.
- [16] 赵丽娟, 蒋文伟, 杨淑贞, 等. 天目山柳杉的茎干液流特征[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26** (2): 169 - 175.
ZHAO Lijuan, JIANG Wenwei, YANG Shuzhen, *et al.* Stem sap flow of *Cryptomeria fortunei* in National Nature Reserve of Mount Tianmu [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26** (2): 169 - 175.
- [17] 尤建林, 韦新良, 李东, 等. 天目山国家级自然保护区森林游憩价值评估[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26** (4): 575 - 580.
YOU Jianlin, WEI Xinliang, LI Dong, *et al.* Forest recreational value assessment of National Nature Reserve of Mount Tianmu [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26** (4): 575 - 580.
- [18] LEOPOLD A C. Senescence in plant development [J]. *Science*, 1961, **134**: 1727 - 1732.