

文章编号: 1000-5692(2004)01-0044-07

# 天目山柳杉群落结构及其更新类型

夏爱梅<sup>1</sup>, 达良俊<sup>1</sup>, 朱虹霞<sup>2</sup>, 赵明水<sup>3</sup>

(1. 华东师范大学 资源与环境科学学院, 上海 200062; 2. 浙江大学 农业与生物技术学院, 浙江杭州 310029; 3. 浙江省天目山国家级自然保护区 管理局, 浙江 临安 311311)

**摘要:** 运用系统的群落学调查方法对天目山分布于海拔 1 100 m 处的柳杉 *Cryptomeria fortunei* 群落进行调查, 分析其种类组成和群落结构特征, 并对柳杉的种群结构和分布格局进行了探讨。调查结果表明: 柳杉群落种类组成丰富, 柳杉优势明显, 为单优势种群落类型。柳杉种群呈典型的集群分布, 并随个体的增大, 由集群分布向随机分布发展的趋势, 为间歇型 (sporadictype) 的种群结构。通过对天目山柳杉的起源及其更新类型的探讨表明: 天目山柳杉林属天然林与人工林共存状态, 并可通过幼苗库进行天然更新, 但具有机会性和波动性, 需林窗和林内倒木等条件。图 3 表 2 参 25

**关键词:** 植物学; 柳杉; 种群结构; 空间分布; 垂直结构; 更新; 天目山

**中图分类号:** Q968.1 **文献标识码:** A

柳杉 *Cryptomeria fortunei* 系杉科 Taxodiaceae 柳杉属植物, 为我国特有种, 常绿针叶乔木, 高可达 54 m。产自长江流域以南至广东、广西、贵州等地, 除天目山外, 在浙江的龙泉, 福建南屏、沙县、泰宁、崇安, 江西庐山及云南昆明都有数百年的古树。在东部, 垂直分布在海拔 1 000~1 500 m 以下, 在西部可达海拔 2 000~2 500 m<sup>[1]</sup>。由于天目山的生境条件适合柳杉的生长, 其植株高大, 成为此地个体最大的建群树种, 为天目山最具特色的森林植被之一。以老殿附近为中心, 分布有较大面积, 天然林与人工林并存。天目山也由此而以“大树华盖闻九州”而驰名中外<sup>[2]</sup>。针对天目山柳杉林的研究较多, 但主要集中于柳杉的病虫害防治<sup>[3~6]</sup>、蓄积量<sup>[7~12]</sup>及繁殖技术研究等方面<sup>[13]</sup>, 尚缺乏详细的包括柳杉种类组成、群落结构以及更新机制等有关生态学的研究。

## 1 研究区域与对象

研究区域天目山国家级自然保护区, 位于浙江省西北部临安市境内, 30°18'30"~30°21'37"N, 119°24'11"~119°27'11"E, 总面积 1 050 hm<sup>2</sup>。主峰为仙人顶, 海拔 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。据仙人顶和山麓禅源寺气象观测站资料分析: 保护区自山麓至山顶, 年平均气温为 14.8~8.8 °C; 最冷月 1 月平均气温 3.4~2.6 °C, 极端最低气温 -13.1~20.2 °C, 年降水量 1 390~1 870 mm<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2003-08-26; 修回日期: 2003-12-24

基金项目: 国家重点基础研究规划项目(G2000046801); 国家自然科学基金重点项目(30130060); “十五”“211工程”重点学科建设子项目; 日本自然保护协会国际研究合作基金资助项目

作者简介: 夏爱梅(1975-), 女, 安徽桐城人, 硕士生, 从事植被生态学研究。E-mail: xiaam@sina.com。通讯作者: 达良俊(1962-), 男, 上海人, 副教授, 博士, 从事植被生态学和城市生态学等研究。E-mail: dalj@sh163.net

研究对象柳杉在天目山分布的海拔高度为 350 m ~ 1 100 m<sup>[2]</sup>, 1 100 m 附近有大量分布。

## 2 研究方法

### 2.1 野外调查方法

在柳杉分布集中的老殿 (海拔 1 100 m) 附近, 以典型的柳杉群落为对象, 选取标准样地进行了系统的群落学调查。样方面积为 50 m × 50 m。样地为前庙基地, 地势平缓, 坡度约为 5°, 坡向为南偏东方向。为便于调查, 将样方划分为 25 个 10 m × 10 m 的小样格, 对每个样格内所有高于 1.5 m 的木本植物进行每木调查。首先鉴别植物种类, 测定记录每株植物的高度 ( $h$ , m) 和胸径 ( $d_{BH}$ , cm), 并对柳杉植株进行定位, 具体的方法是以样地的两条相互垂直的边为坐标轴, 记录柳杉个体在样地中的坐标 ( $x, y$ ), 根据坐标绘制柳杉位置分布图。对高度 1.5 m 以下的草本层, 测定每个种类的最大高度, 并目测其盖度。为了考察讨论柳杉的更新机制, 又对林内柳杉倒木群落进行了调查, 调查面积为 2 m × 5 m, 对分布在倒木上的乔木树种幼苗的高度、盖度和年龄逐一进行了测定。

### 2.2 数据分析方法

木本层的优势种由优势度分析法<sup>[14]</sup>确定。公式如下:

$$d = 1/N \left\{ \sum_{i \in T} (x_i - x)^2 + \sum_{j \in U} x_j^2 \right\}$$

其中:  $x_i$  为前位树种 (top species) 的相对基部面积 (%),  $x$  为以优势种 (dominant species) 数量确定的优势种理想百分比 (ideal percentage share),  $x_j$  为剩余种 (remaining species) 的百分比。  $N$  为总种数。如果群落只有一个优势种, 则优势种的理想百分比为 100%。如果有 2 个优势种, 则它们的理想百分比为 50%, 如果有 3 个优势种, 则理想百分比为 33.3%, 依次类推。用相对基部面积的百分比值 (%) 来表征每个种的优势度。

草本层的优势种确定方法<sup>[15~17]</sup>: (单个物种的最大高度 × 盖度) ÷ (所有物种的最大高度 × 盖度之和) × 100%。

多样性指数采用 Shannon-Wiener 指数:

$$D_{sw} = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

其中  $P_i$  为第  $i$  种的相对数量,  $S$  是群落的物种数。

### 2.3 种群的空间分布格局分析

选用方差均值比法分析柳杉种群的分布格局, 公式为  $s^2/m$ 。式中:

$$s^2 = \frac{\sum (fx^2) - [(\sum fx)^2/M]}{N-1}, m = \sum fx/N$$

其中:  $\sum$  表示总和,  $x$  为样方中的个体数,  $f$  为出现频率,  $N$  为样本总数。

该比值的含义是, 如果  $s^2/m = 1$ , 则个体分布符合 Poisson 分布, 是随机分布; 如果  $s^2/m > 1$ , 则个体分布趋向于聚集分布; 若  $s^2/m < 1$ , 则趋向于均匀分布, 该值的显著性可用  $t$  检验<sup>[18, 19]</sup>。

### 2.4 种群年龄结构分析

采用径级结构代替年龄结构的方法分析种群结构和动态特性。柳杉种群的径级结构按胸径划分, 每 5 cm 为一个胸径级, 并绘制胸径级频度分布结构图<sup>[19]</sup>。

## 3 结果

### 3.1 群落特征

3.1.1 种类组成 柳杉群落内有种子植物 72 种, 分属 55 属 37 科。从生活型区分来看, 常绿针叶乔木有 3 种, 由杉科的柳杉和杉木 *Cunninghamia lanceolata* 和三尖杉科 *Cephalotaxaceae* 的三尖杉

*Cephalotaxus fortunei* 组成; 常绿阔叶乔木 6 种, 由壳斗科 Fagaceae 的小叶青冈 *Cyclobalanopsis gracilis*, 短尾柯 *Lithocarpus harlandii*, 褐叶青冈 *Cyclobalanopsis stewardiana*, 青栲 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*, 虎皮楠科 Daphniphyllaceae 的交让木 *Daphniphyllum macropodum* 和樟科 Lauraceae 的豹皮樟 *Litsea coreana* var. *sinensis* 组成; 落叶阔叶乔木 16 种, 主要由茜草科 Rubiaceae 的香果树 *Emmenopterys henryi*, 胡桃科 Juglandaceae 的青钱柳 *Cyclocarya paliurus* 和华东野胡桃 *Juglans cathayensis* var. *formosana*, 樟科的天目木姜子 *Listea auriculata* 等组成; 常绿灌木 3 种, 主要由微毛柃 *Eurya hebeclados* 等组成; 落叶灌木 37 种, 主要有红果钓樟 *Lindera erythrocarpa*, 红脉钓樟 *Lindera rubronervia* 和山胡椒 *Lindera glauca* 等组成 (表 1)。72 种木本植物中, 常绿的 12 种, 占总种数的 16.7%, 落叶的 60 种, 占总种数的 83.3%。群落多样性指数 (Shannon-Wiener) 为 1.938。优势种为柳杉, 其优势度为 89%, 群落为单种优势类型。

表 1 柳杉群落种类组成

Table 1 The floristic composition of *Cryptomeria fortunei* communities

树种	基部面积/cm <sup>2</sup>	相对基部 面积/%	最大胸径/ cm	平均胸径/ cm	种数
常绿针叶乔木					
柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i>	250 370.0	89.0 <sup>*</sup>	214.0	43.2	59
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	2 616.3	0.9	29.0	8.3	24
三尖杉 <i>Cephalotaxus fortunei</i>	138.1	<0.1	13.6	13.6	1
落叶针叶乔木					
金钱松 <i>Pseudolarix kaempferi</i>	23.8	<0.1	5.5	5.5	1
常绿阔叶乔木					
小叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>	2 794.9	1.0	28.0	3.6	123
短尾柯 <i>Lithocarpus harlandii</i>	2 697.7	1.0	39.5	3.8	79
交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	872.4	0.3	17.5	3.6	48
褐叶青冈 <i>Cyclobalanopsis stewardiana</i>	623.4	0.2	19.0	4.4	20
豹皮樟 <i>Litsea coreana</i> var. <i>sinensis</i>	222.5	0.1	9.5	3.1	18
青栲 <i>Cyclobalanopsis myrsinaefolia</i>	0.3	<0.1	0.6	0.6	1
落叶阔叶乔木					
青钱柳 <i>Cyclocarya paliurus</i>	6 317.6	2.2	85.0	10.5	14
香果树 <i>Emmenopterys henryi</i>	5 817.6	2.1	55.5	10.7	19
华东野核桃 <i>Juglans cathayensis</i> var. <i>formosana</i>	2 000.6	0.7	35.5	17.2	6
灯台树 <i>Cornus controversa</i>	709.6	0.3	20.0	8.7	8
天目木姜子 <i>Listea auriculata</i>	441.8	0.2	22.5	15.0	2
黄山木兰 <i>Magnolia cylindrica</i>	187.3	0.1	11.5	8.0	3
锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	145.3	0.1	13.6	13.6	1
红枝柴 <i>Meliosma oldhamii</i>	66.2	<0.1	5.5	3.2	6
茅栗 <i>Castanea seguinii</i>	50.3	<0.1	8.0	8.0	1
苦枥木 <i>Fraxinus championii</i>	41.6	<0.1	7.0	4.5	2
山拐枣 <i>Paliurus sinensis</i>	40.6	<0.1	7.0	1.7	6
秀丽槭 <i>Acer elegantulum</i>	24.7	<0.1	5.0	2.7	3
拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>	18.0	<0.1	3.5	1.5	7
雷公鹅耳枥 <i>Carpinus viminea</i>	9.7	<0.1	3.5	1.3	3
山桐子 <i>Idesia polycarpa</i>	5.7	<0.1	2.5	1.8	2
黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	3.1	<0.1	1.7	1.4	2
常绿阔叶灌木					
微毛柃 <i>Eurya hebeclados</i>	176.2	0.1	9.5	3.5	12
胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i>	20.9	<0.1	3.0	1.2	14
崖花海桐 <i>Pittosporum illicioides</i>	5.1	<0.1	2.5	1.0	3
半常绿或落叶乔木					
肉花卫矛 <i>Euonymus alatus</i>	17.9	<0.1	4.0	2.4	3
蜡子树 <i>Ligustrum molliculum</i>	6.4	<0.1	1.5	1.1	6
落叶阔叶灌木					
红果钓樟 <i>Lindera erythrocarpa</i>	970.9	0.3	17.5	3.6	48

续表 1

树种	基部面积/cm <sup>2</sup>	相对基部 面积/%	最大胸径/ cm	平均胸径/ cm	种数
柘树 <i>Cudrania tricuspidata</i>	809.0	0.3	25.5	5.1	16
红脉钓樟 <i>Lindera rubronervia</i>	802.1	0.3	10.5	2.5	111
山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	677.7	0.2	7.5	2.2	111
野桐 <i>Mallotus tenuifolius</i>	228.4	0.1	11.5	4.7	9
野漆树 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	216.2	0.1	10.0	2.3	24
白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	199.2	0.1	5.5	2.0	49
瓜木 <i>Alangium platanifolium</i>	134.3	<0.1	13.0	5.0	3
荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i>	123.3	<0.1	5.5	1.6	46
紫珠 <i>Callicarpa bodinieri</i>	114.7	<0.1	5.5	1.5	41
倒卵叶忍冬 <i>Lonicera hemsleyana</i>	107.3	<0.1	4.0	1.9	30
满山红 <i>Rhododendron mariesii</i>	72.1	<0.1	5.0	3.8	6
薄叶野桐 <i>Mallotus stewardii</i>	71.7	<0.1	6.0	5.5	3
绿叶甘櫚 <i>Lindera fruiicosa</i>	68.1	<0.1	2.0	0.9	90
野珠兰 <i>Stephanandra chinensis</i>	51.1	<0.1	3.0	1.0	44
日本常山 <i>Orixa japonica</i>	47.7	<0.1	1.2	0.9	76
伞形绣球 <i>Hydrangea angustipetala</i>	40.0	<0.1	2.0	0.9	49
垂枝泡花树 <i>Meliosma flexuosa</i>	37.5	<0.1	4.5	3.1	4
蝴蝶荚蒾 <i>Viburnum plicatum</i> var. <i>tomentosum</i>	31.2	<0.1	3.0	1.6	13
青灰叶下珠 <i>Phyllanthus glaucus</i>	25.4	<0.1	3.2	1.6	10
盾叶莓 <i>Rubus peltatus</i>	21.0	<0.1	1.1	1.0	27
川榛 <i>Corylus heterophylla</i> var. <i>stuehuenensis</i>	14.9	<0.1	2.0	1.6	7
灰叶稠李 <i>Padus grayana</i>	12.6	<0.1	2.5	1.5	6
牡荆 <i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>	8.1	<0.1	2.5	2.3	2
茶荚蒾 <i>Viburnum setigerum</i>	7.2	<0.1	2.0	1.4	4
楤木 <i>Aralia chinensis</i>	6.8	<0.1	1.5	0.9	9
大青 <i>Clerodendron cyrtophyllum</i>	6.3	<0.1	2.0	2.0	2
下江忍冬 <i>Lonicera modesta</i>	6.1	<0.1	2.0	1.3	4
中华蜡瓣花 <i>Corylopsis sinensis</i>	4.9	<0.1	2.0	1.8	2
野鸦椿 <i>Euscaphis japonica</i>	3.5	<0.1	1.5	1.5	2
山莓花 <i>Rubus corchorifolius</i>	3.1	<0.1	2.0	2.0	1
中国旌节花 <i>Stachyurus chinensis</i>	2.5	<0.1	1.8	1.8	1
臭牡丹 <i>Clerodendrum burgei</i>	2.1	<0.1	1.1	0.9	3
老鸦糊 <i>Callicarpa giraldii</i>	2.0	<0.1	1.6	1.6	1
山茱萸 <i>Cornus officinalis</i>	1.0	<0.1	1.0	0.8	2
野山楂 <i>Crataegus cuneata</i>	0.8	<0.1	1.0	1.0	1
青荚叶 <i>Helwingia japonica</i>	0.5	<0.1	0.8	0.8	1
藤状灌木					
哥兰叶 <i>Celastrus gemmatus</i>	3.3	<0.1	1.1	1.0	4

Dominant species (\*) calculated by the dominant analysis (Ohsawa 1984)

3.1.2 群落垂直结构 样地全部植株的高度级频率分布反映群落的分层结构<sup>[20]</sup>。由图 1 可以看出, 所调查的群落除草本层外, 林木层可分为 4 层, 由上至下分别为乔木 I 层、乔木 II 层、灌木 I 层和灌木 II 层。乔木 I 层之上另有不连续的超高层 (emergent-layer) 存在, 由柳杉和杉木组成, 高度多在 28 ~ 36 m, 盖度为 30%。乔木 I 层除柳杉、杉木外, 还有香果树、黄山木兰 *Magnolia cylindrica* 等 7 种植物组成, 高度在 20 ~ 25 m, 盖度为 50%; 乔木 II 层植物种类丰富, 除上层木外, 还有小叶青冈、天目木姜子、红果钓樟 *Lindera erythocarpa* 等 13 种植物组成, 高度为 12 ~ 20 m, 盖度为 60%; 灌木 I 层由山胡椒 *Lindera glauca*、红果钓樟、豹皮樟、交让木等 25 种植物组成, 高为 5 ~ 10 m, 盖度为 50%; 灌木 II 层由豹皮樟、红果钓樟等 30 种植物组成, 高为 1.5 ~ 5.0 m, 盖度为 20%。林下草本丰富, 成分复杂, 主要包括短毛金线蓼 *Antenoron neofiliforme*, 楼梯草 *Elatostema involucreatum*, 荩草 *Arthraxon hispidus* 和牛膝 *Achyranthes bidentata* 等组成。草本层还有一些乔木幼苗, 如, 香果树、杉木、小叶青

冈、豹皮樟和交让木等, 高度小于 1.5 m, 盖度为 20%。

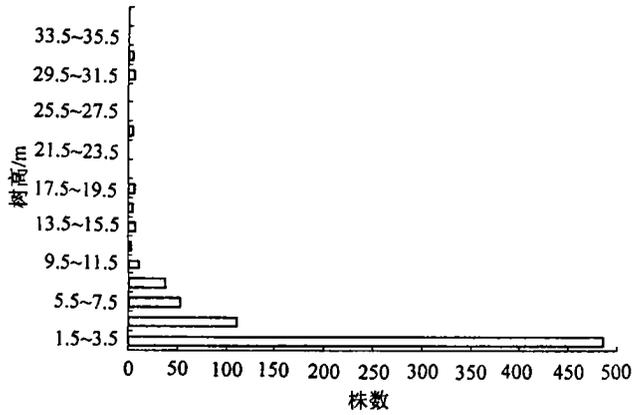


图 1 柳杉林样地所有高于 1.5 m 的木本植物的高度级频率分布图

Figure 1 Tree height-class frequency distribution for all the woody plants which is  $h \geq 1.5$  m in the *Cryptomeria fortunei* woods

### 3.2 柳杉种群结构特征

3.2.1 柳杉径级结构 从柳杉的胸径级频度分布看, 径阶呈不连续状分布, 属于间歇型 (sporadic type)<sup>[21~23]</sup> 分布类型, 并存在 3 个明显的径阶分布中心, 分别为 0~30 cm, 45~115 cm 和 150~215 cm (图 2)。具有此种种群结构的种类, 小径阶分布区有较多的个体, 其后的大径级分布区, 每个胸径级只有一株个体。从更新角度看, 柳杉种群幼树的储备极其丰富, 有较多后继更新个体, 种群能够自然更新, 但从其分布的不连续性看, 具有机会性, 其更新需要一定的生境条件, 如林内倒木上或林窗。

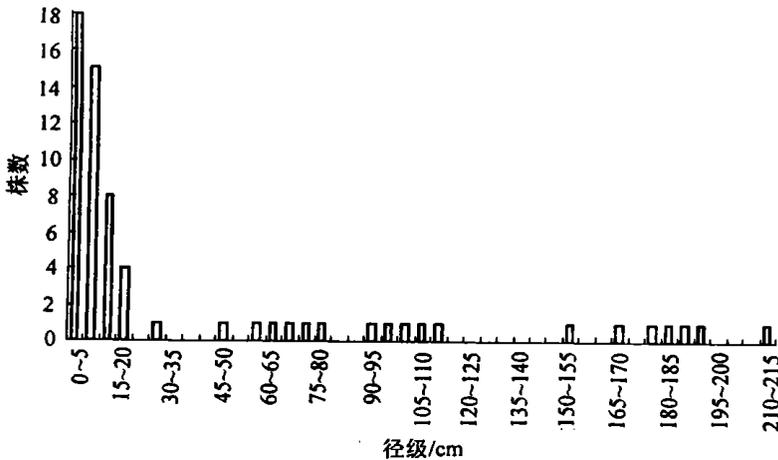


图 2 柳杉群落径级频度分布图

Figure 2 Frequency distribution of diameter class of *Cryptomeria fortunei* community (The diameter class were classified according to the diameter at breast height)

3.2.2 种群内分布型 柳杉种群空间分布如图 3 所示。从整体看, 属典型的集群分布, 方差值比法分析的结果也证明了这一点, 其  $s^2/m$  值为 2.771。3 个不连续径阶分布区的方差均值比  $s^2/m$  值分别为 3.131, 1.857 和 1.007, 随植株个体大小的增加,  $s^2/m$  值呈递减趋势, 即种群由集群分布向随机分布变化。从样地观察到柳杉的幼树主要集中分布于林内倒木、林窗等一些特殊生境中, 但随着植株的生长, 通过个体间的自疏机制, 一些幼苗幼树逐渐被淘汰, 最终大个体植株形成随机分布类型。

## 4 讨论

### 4.1 柳杉种群的更新类型

种群结构属间歇型分布的植物一般为林冠层的主要构成种。从生态特征看, 这些种类具有中等程度耐荫的特性, 幼苗的耐荫性较好, 但中、高大个体的耐荫性有一定程度的降低, 经常出现在干扰适度、面积较大(枯死、倒木或倒伏个体达数十株程度)的林窗内或林缘部, 其更新具有机会性和波动性特征。从在演替过程中的位置来看, 一些种类具有介于先锋种与顶级种之间的性质, 如木荷 *Schima superba*<sup>[24]</sup> 和 红楠 *Machilus thunbergii*<sup>[25]</sup> 是演替系列群落的优势种。但由于一些树种寿命可达数百年, 可以延续至顶级群落并成为优势种, 因此大多数的间歇型树种可以被认为林冠组成种中尚未分化完全的顶级性先锋种<sup>[21~23]</sup>, 我们认为柳杉林是天目山海拔 1 000 m 附近的顶级群落或演替的后期群落。由于柳杉的枯枝落叶在天然条件下很难分解, 加上海拔 1 100 m 处气温较低, 更延缓了其分解速度, 致使柳杉的幼苗由于无法扎根于地上而不能成活, 因此样方内没有发现柳杉幼苗。倒木或伐桩凸出地表, 给幼苗提供了扎根条件。对柳杉倒木群落的调查发现有 28 株 1~5 年生柳杉幼苗正基于此因(表 2), 所以柳杉在天目山可以进行幼苗库更新, 但具有机会性和不连续性。

表 2 柳杉倒木群落特征

Table 2 The floristic composition of *Cryptomeria fortunei* community

树 种	锥状势度/ % (幼苗株数)
蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i>	42 0
柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i>	5 0(28)
金钱松 <i>Pseudolarix kaempferi</i>	1 5(7)
香果树 <i>Emmenopterys henryi</i>	0 5(2)
短毛金钱蓼 <i>Antennaria neofiliforme</i>	39 7
冷水花 <i>Pilea notata</i>	9 9

说明: 优势度是每种植物的最大高度乘以多盖度值除以全体植物的最大高度乘以多盖度的和所得的百分比<sup>[15~17]</sup>

生的柳杉实生苗(表 2), 说明在一些能够扎根生长的特殊的生境(如倒木、伐桩等)中, 柳杉幼苗能够成活, 并进行自然更新。而天目山游道边整齐排列的柳杉绝大多数是人工栽培的, 然而也不排除有个别野生植株的存在。据此, 我们认为, 天目山柳杉为人工林与自然林共存状态, 林内倒木、伐桩等的保留, 幼树的种植等措施的实施, 可大大促进和改善柳杉的更新。

致谢: 在野外调查工作中, 得到浙江省天目山国家级自然保护区管理局的支持, 还得到了东京大学大沢雅彦教授、美国唐勤博士、华东师范大学李宏庆副教授、秦祥坤研究员、杨永川博士及陈鸣先生等的帮助。在此一并表示诚挚的感谢。

#### 参考文献:

- [1] 路安民. 种子植物科属地理[M]. 北京: 科学出版社, 1999. 41-42.
- [2] 杨逢春. 天目山自然保护区自然资源综合考察报告[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1992. 39-54.
- [3] 杨少丽, 陈慧珍, 陈绯, 等. 柳杉大痣小蜂的寄生及防治[J]. 浙江林业科技, 17(4): 30-33.
- [4] 赵仁友, 徐真旺, 罗松根, 等. 柳杉毛虫空间分布型的研究[J]. 江西植保, 1999, 21(4): 9-12.
- [5] 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]. 森林病虫害通讯, 2000(2): 12-14.

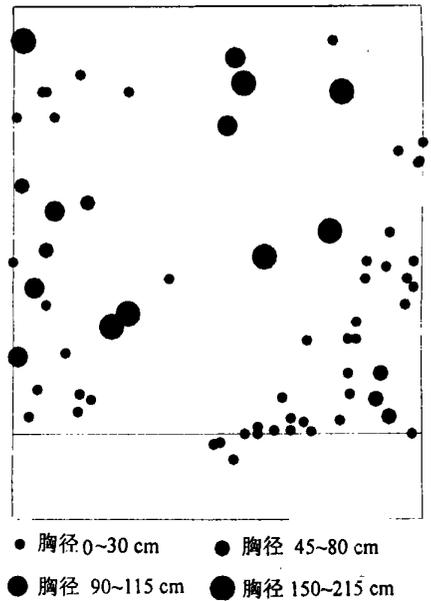


图 3 柳杉空间分布图

Figure 3 The distribution of *Cryptomeria fortunei*

#### 4.2 天目山柳杉林起源和保护

天目山为中国柳杉的分布中心之一, 在陡峭的悬崖边, 可看见成片的柳杉天然林分布。据访问调查, 样方内的大柳杉是寺院的僧人所栽, 而柳杉的空间分布图(图 3)显示: 样方内柳杉中小个体没有成行成列或其他有规则的排列方式, 说明样方内的柳杉是自然更新群落。虽然样方内未发现柳杉幼苗, 但调查的柳杉倒木群落中有 28 株 1~5 年

- [6] 王瑞亮. 浙江省柳杉害虫记述[J]. 浙江林学院学报, 1997, 14(3): 277-280.
- [7] 魏招云. 柳杉人工林蓄积量预测模型及其在资源管理中应用研究[J]. 福建林业科技, 1999, 26(3): 17-20.
- [8] 唐劲松, 钱君龙, 王国群, 等. 柳杉树轮  $\delta^{13}\text{C}$  与气候要素的分析与应用[J]. 南京林业大学学报, 2001, 25(2): 29-33.
- [9] 黄焱增, 王素萍, 江希钿. 柳杉削度方程及材种出材率的研究[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(1): 1-3.
- [10] 钱君龙, 邓自旺, 屠其璞, 等. 天目山柳杉树轮  $\delta\text{D}$  年序列及其气候含义[J]. 中国科学, 2001, 31(5): 372-376.
- [11] 黄焱增, 谢世波, 谢瑞基, 等. 用回归正交设计建立柳杉人工林单木生长模型[J]. 福建林业科技, 2000, 27(3): 38-42.
- [12] 钱君龙, 吕军, 屠其璞, 等. 用树轮  $\alpha$ -纤维素  $\delta^{13}\text{C}$  重建天目山地区近 160 年气候[J]. 中国科学, 2001, 31(4): 333-341.
- [13] 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.
- [14] Ohsawa M. Difference of vegetation zones and species strategies in the subalpine region of Mt. Fuji [J]. *Vegetatio*, 1984, 57: 15-52.
- [15] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001.
- [16] Ohtsuka T, Sakura T, Ohsawa M. Early herbaceous succession along a topographical gradient on forest clear-felling sites in mountainous terrain, central Japan [J]. *Ecol Res*, 1992, 8: 329-340.
- [17] Ohtsuka T, Ohsawa M. Accumulation of buried seeds and establishment of ruderal therophytic communities in disturbed habitat, central Japan [J]. *Vegetatio*, 1994, 110: 83-96.
- [18] 周纪纶. 植物种群生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.
- [19] 孙儒泳, 李博. 普通生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.
- [20] Ohsawa M, Wildpret W, Acro M D. A comparative study on evergreen broad-leaved forests and trees of the Canary islands and Japan [R]. Laboratory of Ecology, Chiba University, 1999.
- [21] Ohsawa M. Structure comparison of tropical montane rain forest along latitudinal and altitudinal gradients in south and east Asia [J]. *Vegetatio*, 1991a, 97: 1-10.
- [22] Ohsawa M. Montane evergreen broadleaved forest of the Bhutan Himalaya [A]. Ohsawa M. *Life Zone Ecology of the Bhutan Himalaya* II [C]. Chiba University, 1991b. 89-156.
- [23] Da L J, Ohsawa M. A abandoned pine-plantation succession and influence of pine mass-dieback in the urban landscape of Chiba, Central Japan [J]. *Jpn J Ecol*, 1992, 42: 81-93.
- [24] Song Y C (宋永昌), Wang X R (王祥荣). 浙江天童国家森林公园的植被和种类组成 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1995.
- [25] Kamijo T, Ohsawa M, Okutomi K. Seedlings establishment of *Castanopsis cuspidate* var. *siebold* and *Persa (Machilus) thunbergii* on lava and scoria of the 1962 eruption on Miyake-jima Island, the Izn Island [J]. *Ecol Res*, 1995, 10: 235-242.

## Community structure and regeneration pattern of *Cryptomeria fortunei* in Mount Tianmu of Zhejiang, China

XIA Ai-mei<sup>1</sup>, DA Liang-jun<sup>1</sup>, ZHU Hong-xia<sup>2</sup>, ZHAO Ming-shui<sup>3</sup>

(1. School of Resources and Environment Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, Zhejiang, China; 3. Management Bureau, National Nature Reserve of Mount Tianmu, Lin'an 311311, Zhejiang, China)

**Abstract:** In the present paper, the floristic characteristics, community structure, population structure, spatial distribution and regeneration pattern of *Cryptomeria fortunei* were analyzed and discussed at 1 100 m on Mt. Tianmu (1 506 m) of Zhejiang, China. According to the data of the analyses, revealed the population of *Cryptomeria fortunei* exhibited clump distribution pattern, single-dominant community type, sporadic type population structure and is able to natural regenerate. Moreover, the basic properties of the community of *Cryptomeria fortunei* is also discussed. All the above show us the regeneration type of *Cryptomeria fortunei* is dominant species of seral stage or climax community and regeneration in large gap. [Ch, 3 fig. 2 tab. 25 ref.]

**Key words:** botany; *Cryptomeria fortunei*; population structure; spatial distribution; vertical structure; regeneration; Mount Tianmu