

Nelder 试验: 大叶相思生长与密度、年龄的相关研究*

郑海水 曾 杰 翁启杰 何克军 杨曾奖

摘要 自 1987 年以来,在贫瘠立地上开展了大叶相思 Nelder(放射型)密度试验,7 年的研究表明,大叶相思的胸径、树高以及断面积 \times 树高与初始单株面积的对数呈现向下的抛物线关系。在贫瘠立地上营造大叶相思,适当密植可促进林木胸径、树高的生长,以 $1\text{ m} \times 2\text{ m}$ 或 $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ 等较小株行距为宜。对于不同初始密度的林分,随着年龄的增长,其林木生长差异最终呈现递减趋势。林分密度越大,其轮伐期亦越短。

关键词 Nelder 试验、密度、年龄、轮伐期

大叶相思(*Acacia auriculaeformis* A. Cunn.) 是一个适应性很强的树种,原产于巴布亚新几内亚及托里斯海峡诸岛以及澳大利亚等国家和地区,60 年代初我国开始引种栽培。由于它生长迅速,根瘤发达,是优良的固氮改土树种^[1],而且能耐干旱瘠薄,目前在生产上已大面积推广和发展,最早引种的广东省推广种植面积达 1.5 万 hm^2 。

有关大叶相思的研究文献已有很多,其密度研究在薪炭林研究中有报道^[2,3],采用传统的随机区组设计方法,探讨初始密度对林木生长及单位面积产量的影响^[4,5]。然而这种方法需要相当大的面积,而且必需有缓冲带,研究的密度范围有限。Nelder 密度试验克服了这些缺陷,它为一系列初始植种密度确定最终林木大小,并估计随着生长空间变化的林木动态特征提供了一了个非常有效的方法。

1 Nelder 密度试验的基本原理

Nelder(放射型)密度试验设计是一个以单株个体为基础的系统设计。它最初应用于蔬菜作物,后来由 Van Slyke(1964)引入到林业研究中。Raitamen W E 等(1983)亦曾应用 Nelder 试验开展诸如杨树这类速生树种的密度研究^[6,7]。

Nelder 试验设计要求根据所研究的株行距或密度,设计轴线条数和圆圈个数^[6](图 1)。根据以下公式确定各圆圈半径及其单株面积:

$$R_n = R_0 a^n$$

$$A_n = R_n^2 \theta [a - a^{-1}] / 2$$

其中 R_n, A_n 分别为第 n 个圆圈的半径和单株面积; R_0, a, θ 均为参数,根据研究密度选定, R_0 并非为最内圆圈的半径, θ 为轴线夹角,单位为弧度。

1995—05—23 收稿。

郑海水副研究员,曾杰,翁启杰,杨曾奖(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520);何克军(广东省林业厅)。

* 本文系加拿大国际发展研究中心(IDRC)资助项目“薪炭林经营技术及其效益研究”的部分内容。

通过 Nelder 试验, 可以为一系列初始种植密度确定最终林木大小, 并估计其林木动态。它占用的林地面积小, 而且可以研究更多的初始密度, 从而选出适用不同经营目的和需要的经营密度。然而 Nelder 设计不能用于估计单位面积的木材产量。

2 试验地概况

试验地位于广东省花都市梯面镇民安村(23°14' N, 113°28' E), 属南亚热带季风气候区。年平均气温为 21.7℃, 全年有 7 个月平均温度在 20℃ 以上, 极端温度分别为 38.1℃ 和 -1℃。年降水量为 1 676 mm, 降水分布不均匀, 主要集中在 6、7、8 月份, 3~9 月份为雨季, 11~1 月份为旱季。年平均相对湿度为 79%。

该地属低丘陵地, 海拔高约 50 m, 坡度为 5° 左右。土壤为由花岗岩发育而成的赤红壤, 土层较薄, 厚度约为 40 cm, 土壤中含有大量的石粒和砂粒, 保水、肥性能较差, 而且容易板结, 水土流失严重。土壤有机质含量为 0.33%, 全 N 为 0.017%, 速效 P 为 0.058 mg/kg, 速效 K 为 0.35 mg/kg, 速效 N 为 1.76 mg/kg, pH 值为 4.7。

植被以桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk.), 岗松 (*Baeckea frutescens* Linn.) 和画眉草 (*Eragrostis elongata* (Willd) Jacq.) 等为主, 植被盖度约 60%~70%。

3 试验设计与研究方法

根据研究的目的和要求, 选取参数 R_0 、 a 、 θ 分别为 6.36 m、1.10 和 6° (按弧度计为 $\pi/30$)。运用前述公式计算设计结果(表 1), 据此进行规划设计。

表 1 Nelder 试验设计

圆圈号 (No.)	半径长 (m)	步距 (m)	单株面积 (m ²)	每公顷株数 (株/hm ²)	圆圈号 (No.)	半径长 (m)	步距 (m)	单株面积 (m ²)	每公顷株数 (株/hm ²)
1	7.00	0.67	0.51	19 485	12	20.95	1.95	4.62	2 166
2	7.74	0.74	0.63	15 958	13	23.20	2.25	5.64	1 774
3	8.55	0.81	0.77	13 069	14	25.63	2.43	6.88	1 453
4	9.44	0.89	0.93	10 704	15	28.33	2.70	8.40	1 190
5	10.44	1.00	1.14	8 766	16	31.30	2.97	10.26	975
6	11.53	1.09	1.39	7 179	17	34.56	3.26	12.53	798
7	12.74	1.21	1.70	5 880	18	38.22	3.66	15.30	654
8	14.08	1.39	2.08	4 815	19	42.23	4.01	18.68	535
9	15.56	1.48	2.54	3 944	20	46.66	4.43	22.81	438
10	17.19	1.63	3.10	3 230	21	51.56	4.90	27.85	359
11	19.00	1.81	3.78	2 645	22	56.98	5.42	34.00	294

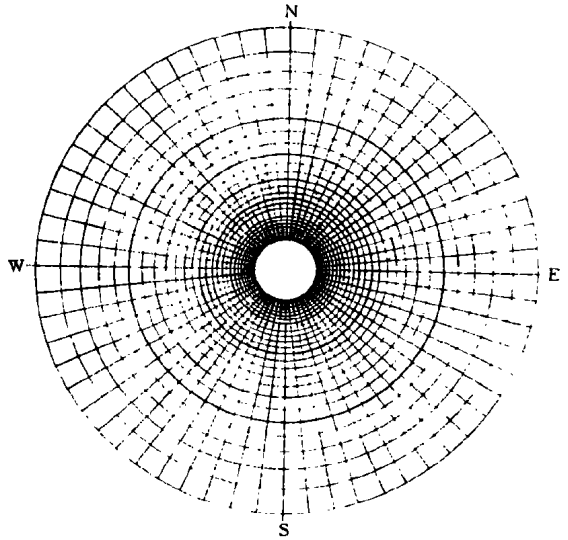


图 1 Nelder 试验设计

1987年5月按既定规划造林,半年后调查成活率,测量地径和树高,并进行补植,以后每年调查胸径、树高、枝下高和冠幅等生长因子(第一年由于林木尚小,以地径代替胸径)。

数据处理和分析时,将1和22号圆圈视为保护圈,不纳入处理和分析。

4 试验结果与分析

4.1 不同年龄林木生长与密度的关系

根据调查结果,将不同年龄林木的胸径、树高生长以及断面积×树高与单株面积进行回归分析,结果见表2~4。

表2 胸径与单株面积的回归关系

年龄(a)	回归关系	相关系数
0.5	$y = 0.959 0 + 0.910 4x - 0.624 4x^2$	0.887 8
1	$y = 1.460 2 + 1.165 2x - 0.832 8x^2$	0.836 9
3	$y = 2.334 9 + 0.745 1x - 0.927 6x^2$	0.880 9
4	$y = 3.232 + 1.772 1x - 1.465 5x^2$	0.855 8
5	$y = 3.899 0 + 2.413 9x - 1.511 3x^2$	0.856 1
6	$y = 4.271 5 + 3.074 4x - 1.788 5x^2$	0.844 0
7	$y = 5.516 9 + 1.184 3x - 0.371 1x^2$	0.696 1

注:①y为胸径,单位:cm,0.5和1年生时以地径代替;②x表示单株面积的对数(下同)。

胸径、树高与单株面积(A)的对数值均呈向下的抛物线关系(图2,3),经相关显著性检验,在0.01允许误差水平上相关极显著。这些抛物线表明,在不同的年龄阶段,林木生长均存在一个相应的适宜密度,密度过大,单株面积太小,由于林木个体间的生存竞争,影响林木的胸径和树高生长。密度太小,则由于林分郁闭晚或尚未郁闭,小气候以及土壤等条件不如较大密度的林分,因而生长

不如较大密度的林分,在贫瘠生境上尤其如此。而且年龄越大,这种适宜密度也越小,相应的单株面积越大。因此,在林木生长过程中必须适时间伐,以免林分自然稀疏,影响林木产量。随着年龄的增长,胸径和树高抛物线均趋于平缓,不同密度的胸径和树高差异越来越小。这是由于林分自然稀疏的缘故,年龄增大,林木分化严重,被压木及濒死木逐渐死亡,出现林地空隙,从而促进保留木的生长;另外,林木株数减小,不同初始密度林分的最终密度趋于一致,从而导致其胸径和树高差异减小。由这些模型推算,从3年生至7年生,林木胸径生长最佳的相应单株面积由 2.51 m^2 逐渐增至 7.24 m^2 ,树高生长最佳的相应单株面积则由 1.35 m^2 增至 3.31 m^2 ,在贫瘠地上营造大叶相思,其造林密度宜偏大些,诸如 $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$, $1 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, $1.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 以及 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 株行距营造大叶相思较为适宜,这些密度有利于胸径和树高的生长。

材积等于断面积×树高与形数的乘积。受试验条件限制,不能测定在不同年龄或密度时的林木形数,因而仅研究断面积×树高这一指标与密度间的关系,以此来间接反映林木材积生长与密度间的关系。从图4和表4可以看出,断面积×树高与单株面积的对数亦呈现向下的抛物

表3 树高与单株面积的回归关系

年龄(a)	回归关系	相关系数
0.5	$y = 0.570 4 + 0.488 2x - 0.357 0x^2$	0.883 7
1	$y = 0.777 1 + 0.465 5x - 0.357 5x^2$	0.849 7
3	$y = 3.408 2 + 0.197 4x - 0.769 4x^2$	0.955 4
4	$y = 4.606 1 + 0.784 7x - 1.387 2x^2$	0.947 9
5	$y = 5.445 2 + 1.471 4x - 1.894 1x^2$	0.938 7
6	$y = 5.491 0 + 2.533 3x - 2.426 3x^2$	0.854 6
7	$y = 7.506 9 + 1.051 5x - 1.658 1x^2$	0.892 9

注:①y为树高,单位:m,2年生数据缺失。

表4 断面积×树高与单株面积回归关系

年龄(a)	回归关系	相关系数
0.5	$y = 44 + 141x - 99x^2$	0.852 6
1	$y = 135 + 340x - 246x^2$	0.795 3
3	$y = 1492 + 723x - 1108x^2$	0.871 0
4	$y = 3856 + 4616x - 4355x^2$	0.884 1
5	$y = 6686 + 10798x - 8292x^2$	0.842 5
6	$y = 9430 + 13751x - 9991x^2$	0.695 9
7	$y = 18142 + 11391x - 7712x^2$	0.500 6

注:①y表示断面积×树高,单位为 cm^3 。

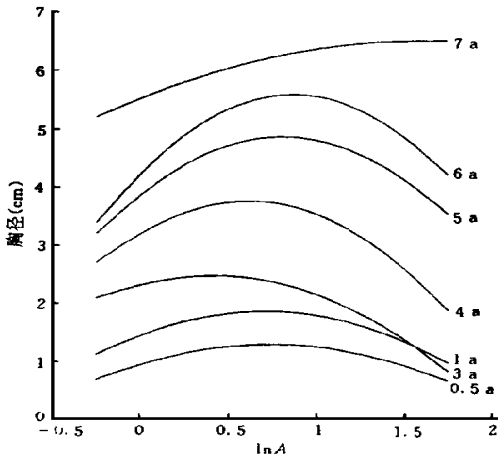


图 2 不同年龄胸径生长与密度的关系

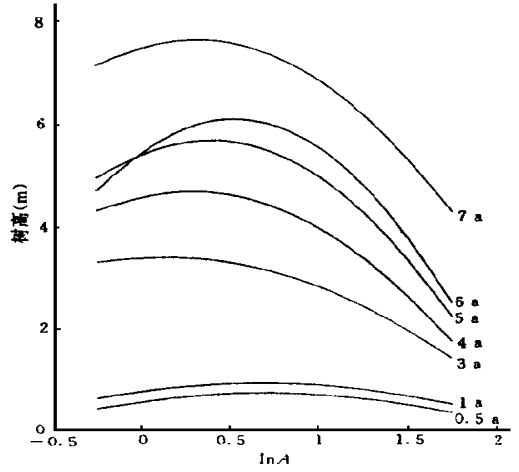


图 3 不同年龄树高生长与密度的关系

线关系,除了 7 年生时在 0.05 误差水平上相关显著,其余各年生均在 0.01 误差水平上相关极显著。从 3 年生至 7 年生,断面积 × 树高生长最佳的相应单株面积由 2.14 m² 逐渐增至 5.50 m²。材积和密度的关系与胸径、树高大致相同,其变化规律更接近胸径和密度的关系的变化规律。由于绘图比例难以兼顾较大和较小年龄时的变化规律,因此,在绘图时未将较小年龄时的情况绘出。

4.2 不同密度林木生长与年龄的关系

林分密度影响着林木的生长过程。不同密度林木的胸径、树高以及断面积 × 树高与年龄的关系见图 5 ~ 7。从图中 8 种密度的林木生长随年龄的变化情况可以看出,3 年生时最大与最小林木的胸径比值为 1.20,以后逐年增大,至 6 年生时为 1.64,7 年生时又减小为 1.32。中等密度林分随着年龄的增长,其林木胸径比较大和较小密度林分都大。年龄较小时,较大密度林分的林木胸径比较小密度林分的胸径大,而在年龄较大时,密度较小的林分的林木胸径比较大密

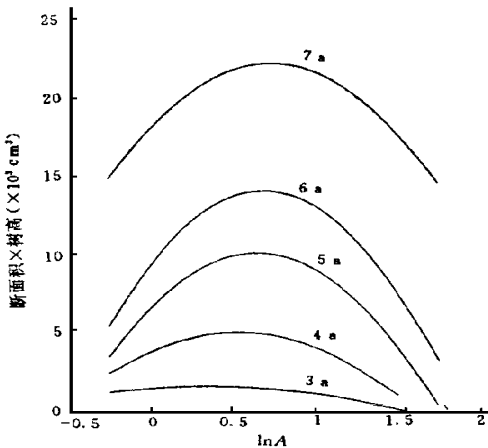


图 4 不同年龄断面积 × 树高生长与密度的关系

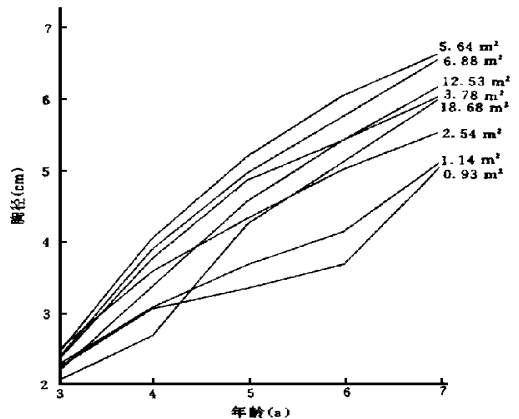


图 5 不同密度胸径生长与年龄的关系

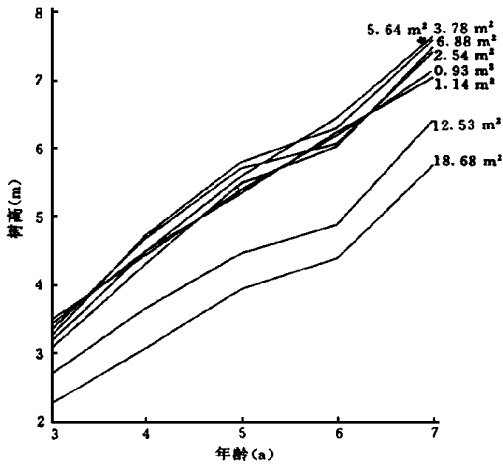


图 6 不同密度树高生长与年龄的关系

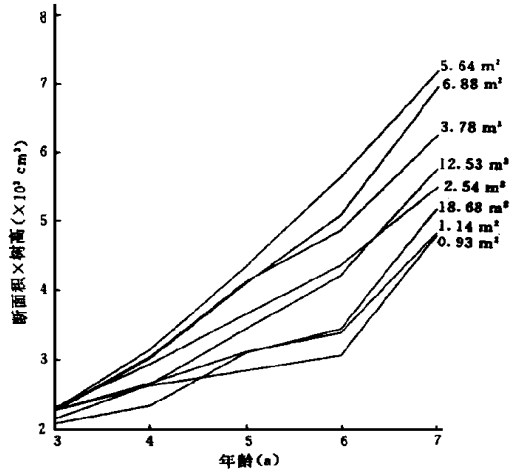


图 7 不同密度断面积 × 树高生长与年龄的关系

度林分的林木胸径大。

而树高生长与胸径有所不同。3年生时,密度越大,其树高越大,最大与最小树高的比值为1.53,以后逐渐减小,且转变为以中等密度林分的树高最大。至7年生时,这种比值减小为1.33,而且较大密度林分的树高一般比较小密度林分的大。可见,适宜密植可促进大叶相思的树高生长。

断面积 × 树高和年龄的关系与胸径和年龄的关系更为接近。3年生时,林木断面积 × 胸径即以中等密度林分为最大,较大密度林分的断面积 × 树高比较小密度林分低,至7年生时均为这种规律。从3年生至7年生,最大与最小断面积 × 树高的比值大致呈递减趋势,由3年生时的3.67降至7年生时的1.86,不同密度间断面积 × 树高的差异比其胸径、树高差异均大,特别在年龄较小时差异大得多。

4.3 轮伐期的确定

由于胸径是受密度影响最敏感的生长因子,因此,可以根据胸径连年生长量和平均生长量指标来确定轮伐期,通常以其交点对应的年龄作为轮伐期。从图8可以看出,当单株面积为 1.14 m^2 时,其轮伐期约为4 a;单株面积为 2.54 m^2 时,轮伐期约为5 a;单株面积为 $3.78 \sim 6.88 \text{ m}^2$ 时,其轮伐期约为5~5.5 a;单株面积为 12.53 m^2 时,其轮伐期约为6 a。随着单株面积的增大,其轮伐期亦相应延长。然而达到轮伐期时的平均或连年生长量以中等密度林分为最大,单株面积为 5.64 m^2 的林分,其年平均生长量约为1.03 cm,较大密度林分的平均生长量小于较小密度林分。

5 结 论

(1) 在大叶相思生长过程中,林木胸径、树高以及断面积 × 树高与单株面积的对数均呈现向下的抛物线关系,且相关多极显著。中等密度林分的林木生长状况最好,而密度过大,林木间竞争激烈,影响林木的生长;密度太小,由于林分郁闭较晚,小气候及土壤条件未能改善,亦影响林木的生长。

(2) 在贫瘠立地营造大叶相思林,适当密植可促进林木胸径、树高的生长,选择中等偏小的

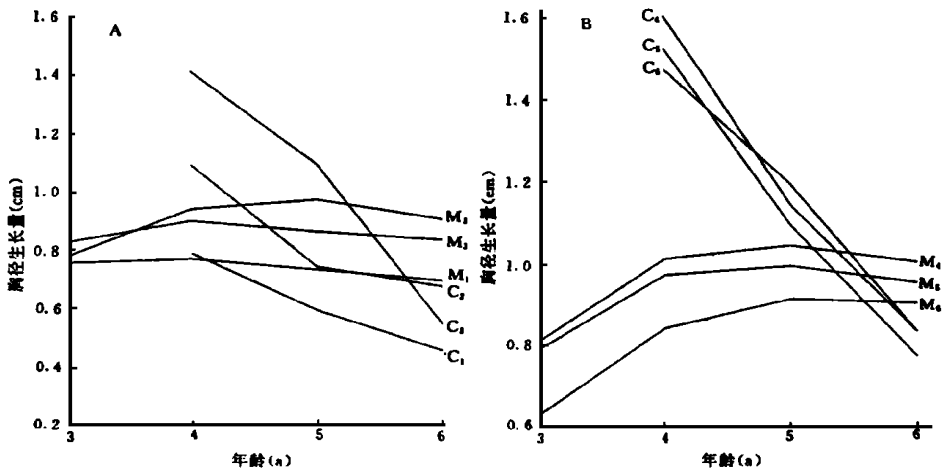


图 8 不同密度胸径连年生长量与平均生长量

(图中 C 和 M 分别表示连年生长量和平均生长量曲线, 其下标 1、2、3、4、5、6 分别表示单株面积为 1.14、2.54、3.78、5.64、6.88、12.53 m² 的林分密度)

株行距或密度, 单株面积以 2.51 ~ 3.31 m² 为宜, 诸如以 1 m × 2 m、1.5 m × 1.5 m、1.5 m × 2 m 等株行距造林较为适宜。

(3) 由于林分自然稀疏作用, 不同初始密度的林分, 随着年龄的增长, 其林木生长差异最终呈现递减趋势。胸径受林分密度的影响比树高敏感得多。

(4) 林分密度越大, 其轮伐期越短。研究表明, 株行距约为 1 m × 2 m 或 1.5 m × 2 m 时, 其轮伐期为 5 ~ 6 a。

参 考 文 献

- 1 北京林业大学主编. 测树学. 北京: 中国林业出版社, 1987. 36 ~ 43.
- 2 高尚武, 马文元. 中国主要能源树种. 北京: 中国林业出版社, 1990. 197 ~ 202.
- 3 高尚武, 马文元. 森林能源研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 105 ~ 133.
- 4 徐燕千, 霍应强. 大叶相思栽培及其利用研究. 热带林业科技, 1982, (1~2): 21 ~ 30, 1 ~ 13.
- 5 郑海水, 何克军, 蔡满堂, 等. 贫瘠地新材树种选择及栽培技术研究. 热带林业科技, 1987, (5): 21 ~ 30.
- 6 Nelder J A. New kinds of systematic designs for spacing experiments. biometrics, 1962, 18: 283 ~ 307.
- 7 Raitanen W E, Barkley B A, Evers R W. Growth, density and time. New forests in eastern Ontario hybrid poplar, Ministry of Natural Resources, Ontario, 1983. 37 ~ 62.

Nelder Trial: Study on Relation between Growth, Density and Age of *Acacia auriculaeformis*

Zheng Haishui Zeng Jie Weng Qijie He Kejun Yang Zengjiang

Abstract Nelder trial of *Acacia auriculaeformis* A. Cunn. has been undertaken for seven years in barren site since 1987. It was shown that their diameter in breast height, tree height and basal area \times height are relative to logarithm of area per tree in downward parabola. It is suitable to select smaller spacing such as 1×2 or 1.5×2 meter etc. for planting *A. auriculaeformis* because it can accelerate the growth of diameter and tree height. For different types of forests with different initial density, the thicker the forest, the shorter the rotation age.

Key words Nelder trial, density, age, rotation of crops

Zheng Haishui, Associate Professor, Zeng Jie, Weng Qijie, Yang Zengjiang (The Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520); He Kejun (Forestry Bureau of Guangdong Province).

黄公望森林公园总体规划在京通过评审

浙江省富阳市黄公望森林公园总体规划由杭州园林设计院设计,在 1996 年元月 8 日,在中国林科院熊耀国副院长主持下,经评审委员会评审通过。评审委员会由古建、森林生态、城市林业、园林、林业规划方面的 10 名专家、学者组成,罗哲文教授级高工任主任委员,盛炜彤研究员(国务院参事)、及汉才高工任副主任委员。

评审会首先由主设计张晓工程师作规划设计说明。黄公望森林公园风光优美,地理位置优越,位于富阳市东北角 8 公里处,距杭州市 30 公里,原为经营了 30 年的中国林业科学研究院亚热带林业研究所的直属林场。物种资源十分丰富,有木本植物 317 种(其中珍贵树种 29 种),鸟、兽、蛇、两栖类等动物 117 种(其中珍稀动物 9 种),昆虫 40 种,具有亚热带森林群落的特点。根据自然森林资源状况,辟有竹种园、木兰园、树木园、楠木沟、毛竹林、油茶良种园、马尾松种源林、杉木基因库、国外松引种林,还建有花木园、盆景园、果木园、茶叶园等。人文景观丰富,主要有宋代大诗人苏东坡多次观光留下《净因竹轩诗》的净因寺;元代大画家黄公望结庐隐居和归葬处,当年就地取景,精心创作了《富春山居图》、《歙岭山图》等不朽著作。

评审委员会对该总体规划进行了充分审议讨论,认为:(1)规划基础资料齐全可靠,风景资源评价客观实际,指导思想明确,功能分区和总体布局合理,规划设想可行,符合森林公园的规范要求,是个较好的规划;(2)规划中突出了自然资源和人文资源的保护,并把两者有机地组织在一起,既丰富了森林公园的内容,又可获得较好的效益;(3)规划提出按 1:1 的比例复建中华名塔于一园,并利用古塔地宫存放名人骨灰等遗物,既供游客观赏,又集中展现了中国著名古塔的风采,是弘扬中华建筑文化传统的一种新尝试;(4)黄公望森林公园的规划建设,不仅为“两江一湖”国家级风景区增加一处新景点,而且为富阳、杭州和上海提供了一个可供观光旅游、休闲度假、娱乐健身和科普科研的好场所;(5)在今后的详细规划中,希望突出对森林景区的保护、利用和管理;人文景区和森林景观区应有严格分隔与有机联系;增加主要景点的规划设想;远、近期投资概算和效益分析。

(徐梅卿)