

DOI: 10.11929/j.swfu.201903115

引文格式: 杜秀芳, 汤孟平, 郦青, 等. 临安不同森林类型混交度的对比研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2019, 39(3): 101–108.

临安不同森林类型混交度的对比研究

杜秀芳^{1,2} 汤孟平^{1,2} 郦青^{1,2} 沈钱勇^{1,2} 杨帆^{1,2}

(1. 浙江农林大学省部共建亚热带森林培育国家重点实验室, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江农林大学环境与资源学院, 浙江 杭州 311300)

摘要: 根据 2004 年临安区森林资源监测的样地数据, 采用基于 Voronoi 图的混交度, 并结合方差分析, 对临安区不同森林类型的混交度进行比较。结果表明: 在单木水平上, 人工林和天然林混交度等级从低到高依次为针叶林、阔叶林、针阔混交林。天然针叶林中, 由于存在杉木和马尾松同种聚集现象, 杉木和马尾松在单木零度和低度混交的比例较大为 71.9%; 人工针叶林中, 杉木在单木零度混交占 91.14%; 人工阔叶林中, 存在山核桃纯林, 山核桃在单木零度混交中占的比例高达 95.56%。在林分水平上, 各森林类型不存在极强混交现象。天然林和人工林中, 针阔混交林比针叶林和阔叶林有更高的林分混交度, 而且混交度值域范围比较集中, 说明针阔混交林树种相互隔离程度较高。人工阔叶林中, 林分的零度混交全部出现在山核桃纯林; 人工针叶林中, 林分的低度混交则以杉木纯林为主; 人工针阔混交林的林分中度混交比例最大为 80%, 主要是黄山松、马尾松、杉木和其他软阔叶树种等组成的混交林。

关键词: 临安; 针阔混交林; 阔叶林; 针叶林; 混交度

中图分类号: S758

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2019)03-0101-08

Comparative Study on the Mixed Degree of Different Forest Types in Linan

Du Xiufang^{1,2}, Tang Mengping^{1,2}, Li Qing^{1,2}, Shen Qianyong^{1,2}, Yang Fan^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Hangzhou Zhejiang 311300, China;

2. College of Environmental and Resources Science, Zhejiang A & F University, Hangzhou Zhejiang 311300, China)

Abstract: According to the plot data of forest resources monitoring in Linan District in 2004, the mixed degree based on Voronoi diagram was combined with variance analysis to compare the mixed degree of different forest types in Lin'an District. Results show that at the individual level, the mixed grades of plantation and natural forest are from coniferous forest, broad-leaved forest and coniferous and broad-leaved mixed forest. In the natural coniferous forest, due to the same species aggregation of *Cunninghamia lanceolata* and *Pinus massoniana*, the proportion of *Cunninghamia lanceolata* and *Pinus massoniana* mixed at zero and low in single wood is 71.9%. In the artificial coniferous forest, *Cunninghamia lanceolata* mixed in the single wood accounts for 91.14%; in the artificial broad-leaved forest, there existed pure *Carya cathayensis* forest, and the proportion of *Carya cathayensis* in the single-wood zero-degree mixed is as high as 95.56%. At the forest level, there is no strong mixed phenomenon in each forest type. Among the natural forests and plantations, coniferous and broad-leaved forests have higher forest standpoints than coniferous and broad-leaved forests, and the range of mixed degree ranges is relatively concentrated, indicating that the mixed species of coniferous and broad-leaved mixed forests are highly isol-

收稿日期: 2018-11-01; 修回日期: 2019-04-07

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31870617) 资助; 国家林业局林业公益性行业科研专项 (20150430303) 资助。

第 1 作者: 杜秀芳 (1993—), 女, 硕士研究生。研究方向: 森林可持续经营理论与技术。Email: 623999045@qq.com。

通信作者: 汤孟平 (1964—), 男, 博士, 教授。研究方向: 森林可持续经营理论与技术。Email: tmpzafu@163.com。

ated. In the artificial broad-leaved forest, the zero-degree mixed forest stands all in the pure *Carya cathayensis* forest; in the artificial coniferous forest, the low-degree mixed forest stands are mainly pure *Cunninghamia lanceolata*; the mixed mixed proportion of artificial coniferous and broad-leaved mixed forest is 80%. It is mainly a mixed forest composed of *Pinus taiwanensis*, *Pinus massoniana*, *Cunninghamia lanceolata* and other soft broad-leaved tree species.

Key words: Linan; coniferous and broadleaved mixed forest; broadleaved forest; coniferous forest; mixed degree

混交度是对象木与对象木周围的最近邻木为不同树种时的个体占总体的比例^[1-3], 是描述林分树种相互隔离程度的指数^[4]。混交度作为反映混交林中树种空间隔离程度的指数, 在一定程度上体现了树木的分布格局, 决定了林分的稳定性、发展的可能性^[4-5]。近年来, 混交度是国内外森林空间结构研究的热点^[6-11], 通常采用大型固定样地, 分析某种典型森林类型的混交度特征。惠刚盈等^[4]首次将混交度概念引入国内, 并采用 100 m×30 m 的大样地, 研究了海南岛尖峰岭热带林的混交度, 平均混交度为 0.98, 说明海南岛尖峰岭的热带森林具有种类异常复杂的特点。方国景等^[12]在天目山自然保护区, 采用 100 m×100 m 大型固定样地, 研究常绿阔叶林的混交度特征。汤孟平等^[13]在此基础上提出基于 Voronoi 图的混交度来研究混交度特征。彭辉等^[14-15]以巴拿马 BCI 50 hm² 热带森林大样地第 7 次调查的活立木数据为依据研究空间结构, 结果表明 74.7% 的林木处于极强混交状态。陈婷婷等^[16]在武夷山典型常绿阔叶林中设立 9.6 hm² 大型固定动态监测样地, 分析其空间结构特征。Bettinger 等^[17]则采用 1 个 1 hm² 大型样地, 研究美国东部橡树 (*Quercus palustris*) - 山核桃 (*Carya cathayensis*) 混交林的混交度特征, 并建立了以混交度为目标的优化模型。一些学者也采用少量小型临时样地研究某种森林类型的混交度特征。刘德洲等^[18]在凉山自然保护区设置 4 个 30 m×30 m 的红松 (*Pinus koraiensis*) 针阔混交林样地进行空间结构研究, 结果表明红松针阔混交林以团状分布为主, 呈现强度、极强度混交。李际平等^[19]在福寿国有林场 24 年生杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 生态林设置 6 个 20 m×30 m 的样地, 杉木的平均混交度最低。王敬等^[20]在临安天目山设置了 15 个 30 m×30 m 的针阔混交林样地, 林木中度混交和强度、极强度混交所占比例较大, 平均混交度为 0.712。

目前森林混交度的研究主要采用大型固定样地或少量小型临时样地, 分析典型森林类型的混

交度特征, 较少对区域尺度上不同森林类型的混交度进行比较。本研究以杭州市临安区为研究对象, 根据临安区 2004 年森林资源监测样地数据, 采用基于 Voronoi 图的全混交度^[21], 以及方差分析方法, 比较研究不同森林类型的混交度特征, 旨在为该区域森林空间结构优化调控提供参考。

1 研究区概况

临安区位于浙江省杭州市西部, 地处天目山脉南麓, 地处北纬 29°56′~30°23′, 东经 118°51′~119°52′, 东西长约 100 km, 南北宽约 50 km, 土地总面积 3 134.78 km²。该区属中亚热带北部季风气候区, 四季分明, 降水充裕, 全区年均气温 16 ℃, 年均降雨量 1 614 mm。临安区森林植被属于亚热带常绿阔叶林分布区。全区植被类型和植物区系复杂, 可分常绿阔叶林、针阔混交林、针叶林等主要森林类型和 40 个植被群系^[22]。

2 研究方法

2.1 样地调查

于 1999 年在浙江省临安区, 建立 1 007 个大小为 28.28 m×28.28 m 的固定监测样地, 其中乔木林样地为 367 块 (图 1)。对乔木林样地的树木进行每木调查, 测定每株树木的坐标、胸径等数据, 于 2004 年对固定监测样地进行复查。本研究采用 2004 年复查数据, 对复查数据进行整理, 建立样地数据表, 共 367 个样地, 34 510 株树木。

2.2 基于 Voronoi 图的全混交度

本研究混交度的计算采用汤孟平等^[21]提出的基于 Voronoi 图的全混交度指数, 利用 Voronoi 图确定竞争单元, 采用八邻域边缘校正, 通过 Python 和 ArcGIS 相结合的编程, 实现对象木的最近邻木株数确定, 以及对象木混交度和林分混交度的计算。全混交度计算公式:

$$M_i = \frac{1}{2} \times \left(D_i + \frac{c_i}{n_i} \right) \times \left(\frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} v_{ij} \right) \quad (1)$$

$$D_i = 1 - \sum_{j=1}^{s_i} P_j^2 \quad (2)$$

式中： M_i 表示对象木 i 的全混交度； n_i 表示基于 Voronoi 图的最近邻木株数； c_i 表示最近邻木中两两相邻非同种的个数； v_{ij} 表示当对象木 i 与第 j 株相邻木非同种时 $v_{ij}=1$ ，反之， $v_{ij}=0$ ； D_i 表示 Simpson

指数，体现树种分布的均匀度，当树种有无限多个且比例相等时， D_i 等于 1；当只有一个树种时，则 $D_i=0$ ， p_j 表示空间结构单元中第 j 树种的株数比例； s_i 为空间结构单元的树种数。

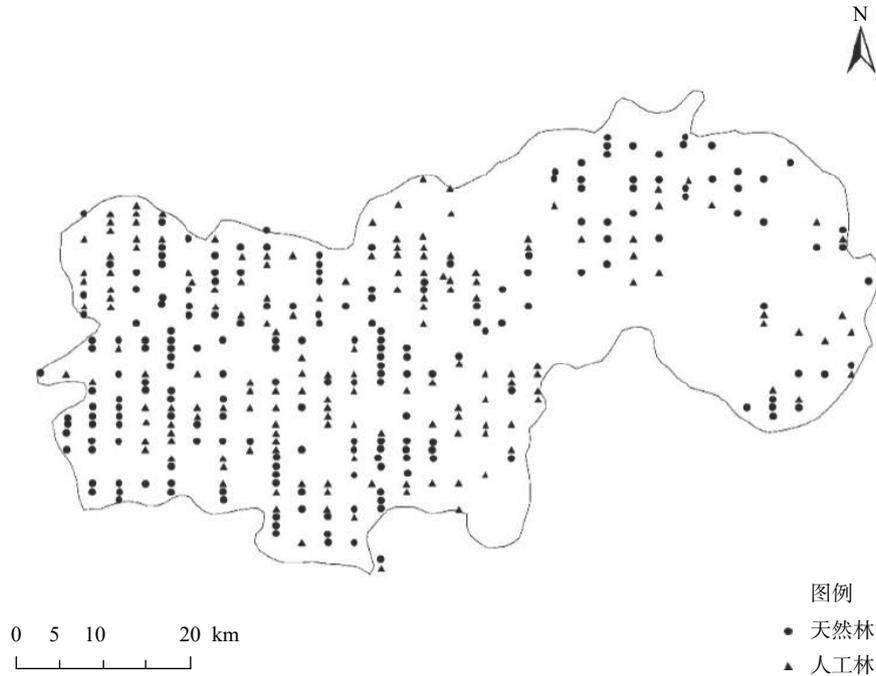


图 1 样地分布

Fig. 1 Distribution of sample plots

式 (1) ~ (2) 计算的混交度是单木的混交度，对于样地还需要计算林分平均混交度，简称林分混交度。林分混交度计算方法：

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M_i \quad (3)$$

式中： \bar{M} 为林分混交度， M_i 为对象木 i 的混交度， N 为样地中对象木的总株数。

混交度范围为 0~1，可分为 5 个等级，即零度混交、低度混交 (0, 0.25]、中度混交 (0.25, 0.5]、强度混交 (0.5, 0.75] 和极强混交 (0.75, 1]^[19]。

2.3 分析方法

通过 Python 和 ArcGIS 相结合的编程处理数据，采用 Excel 2013 作图。使用 SPSS 20 软件进行不同森林类型之间的差异显著性分析，首先进行单因素方差分析，当方差分析结果表明差异显著时，再进行多重比较分析^[23]。

3 结果与分析

3.1 不同森林类型单木混交度分析

3.1.1 天然林单木混交度

从图 2 可以看出，不同天然林占优势的单木混交度等级有明显的差异。天然针叶林中，单木

的零度混交和低度混交所占比例较大，分别为 31.42%、33.16%。由此表明：天然针叶林存在明显的同种聚集现象，天然针叶林中零度混交和低度混交的总株数为 3 237 株，其中杉木和马尾松 (*Pinus massoniana*) 分别为 963、1 358 株，杉木和马尾松聚集占 71.70%；在天然阔叶林中，以单木的低度混交和中度混交为主，分别占 30.68% 和 28.45%；在天然针阔混交林中，单木的中度混交和强度混交占优势，比例分别为 37.50%、27.70%。因此，天然林占优势的单木混交度等级由低到高的顺序为：天然针叶林、天然阔叶林、天然针阔混交林。

对以上 3 种天然林的单木混交度进行差异显著性分析，见表 1。由表 1 可知，天然针叶林、天然阔叶林和天然针阔混交林之间的混交度差异极显著。需要进行多重比较，以确定两两之间的差异性。森林类型多重比较的结果见表 2。由表 2 可知，天然针叶林、天然阔叶林和天然针阔混交林的单木混交度两两之间差异极显著 ($P<0.01$)。天然针阔混交林的混交度比天然针叶林的混交度高 86.51%，比天然阔叶林高 24.96%；天然阔叶林的混交度比天然针叶林的混交度高 49.23%。

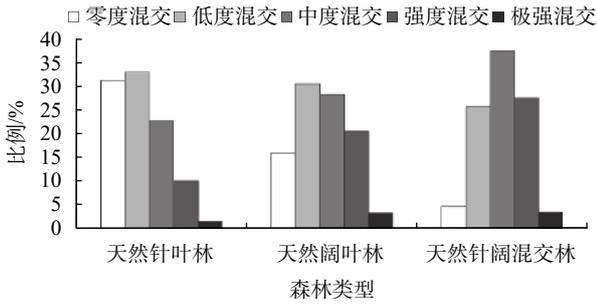


图 2 天然林单木混交度分布

Fig. 2 Single wood mixed degree distribution in natural forest

表 1 天然林样木单因素方差分析
Table 1 One-way analysis of variance of natural forest wood

误差来源	平方和	df	均方	F	P
组间	23.808 0	2	11.904 0	434.248 0	0
组内	476.463 0	17 381	0.027 0		
总数	500.271 0	17 383			

表 2 天然林单木多重比较

Table 2 Multiple comparison of single wood in natural forest

森林类型 (I)	森林类型 (II)	均值差 (I - II)	标准误	P	95% 置信区间下限	95% 置信区间上限
天然针叶林	天然阔叶林	-0.099 6	0.004 1	0.000 0	-0.107 7	-0.091 7
	天然针阔混交林	-0.175 0	0.005 5	0.000 0	-0.185 8	-0.164 2
天然阔叶林	天然针阔混交林	-0.075 3	0.005 0	0.000 0	-0.085 2	-0.065 5

3.1.2 人工林单木混交度

由图 3 可知，人工针叶林和人工阔叶林中单木的混交等级越高，所占比例越小，零度混交所占比例均超过 50%。这可能是因为人工针叶林以杉木纯林为主，总株数为 15 666 株，杉木株数为 12 676 株，杉木占 80.91%，人工针叶林零度混交的单木有 9 054 株，其中杉木为 8 523 株，占 94.14%。在人工阔叶林中，混交度为零度的单木主要是山核桃，总株数为 675 株，山核桃占总株数的 95.56%，这符合临安区山核桃是主要经济林树种的实际。人工针阔混交林中，单木的混交度等级特征明显不同于其他 2 种森林类型，低度混交和中度混交占的比例较大，分别为 38.94%、28.14%。可见，人工林单木不同混交度等级从低到高的顺序为：针叶林、阔叶林、针阔混交林。

进一步对 3 种人工林的单木混交度进行差异显著性分析，结果见表 3。由表 3 可知，人工针叶林、人工阔叶和人工针阔混交林单木混交度之间差异极显著 ($P < 0.01$)。通过森林类型之间的多重比较，结果见表 4。由表 4 可知，人工针叶林、

人工阔叶林和人工针阔混交林两两之间差异极显著。人工针阔混交林的混交度比人工针叶林、人工阔叶林的混交度分别高 227%、68.87%，人工阔叶林的混交度比人工针叶林的混交度高 93.97%。

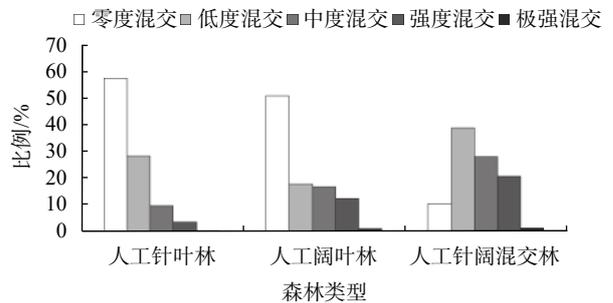


图 3 人工林单木混交度分布

Fig. 3 Distribution of mixed degree of single wood in plantation

表 3 人工林样木单因素方差分析
Table 3 One-way analysis of variance of plantation wood

误差来源	平方和	df	均方	F	P
组间	23.808 0	2.000 0	11.904 0	434.248 0	0
组内	476.463 0	17 381.000 0	0.027 0		
总数	500.271 0	17 383.000 0			

表 4 人工林单木混交度多重比较

Table 4 Multiple comparisons of single wood mixed degree in plantation

森林类型 (I)	森林类型 (II)	均值差 (I - II)	标准误	P	95% 置信区间下限	95% 置信区间上限
人工针叶林	人工阔叶林	-0.084 2	0.004 7	0.000 0	-0.093 6	-0.075 0
	人工针阔混交林	-0.204 0	0.008 4	0.000 0	-0.220 5	-0.187 5
人工阔叶林	人工针阔混交林	-0.119 7	0.009 5	0.000 0	-0.138 3	-0.101 2

3.1.3 天然林和人工林单木混交度比较

对3种森林类型之间单木混交度进行两两比较，结果见表5。由表5可知，天然针叶林和人工针叶林、天然阔叶林和人工针叶林、天然针阔混交林和人工针阔混交林之间的单木混交度差异极显著 ($P < 0.01$)。而且，均表现为天然林的单

木混交度大于人工林的单木混交度。天然针叶林的混交度比人工针叶林的混交度高 56.4%，天然针阔混交林的混交度比人工针阔混交林的混交度高 34.34%，天然阔叶林的混交度比人工阔叶林的混交度高 28.21%。

表5 人工林和天然林单木多重比较

Table 5 Multiple comparisons of single wood between plantations and natural forests

森林类型 (I)	森林类型 (II)	均值差 (I - II)	标准误	P	95% 置信区间下限	95% 置信区间上限
天然针叶林	人工针叶林	0.114 1	0.003 3	0.000 0	0.107 7	0.120 6
天然阔叶林	人工阔叶林	0.129 5	0.005 9	0.000 0	0.117 9	0.141 1
天然针阔混交林	人工针阔混交林	0.085 1	0.010 8	0.000 0	0.063 9	0.106 3

3.2 不同森林类型林分混交度分析

3.2.1 天然林林分混交度

由图4可知，天然阔叶林、天然针叶林和天然针阔混交林林分混交度集中于低度混交和中度混交水平，均没有极强混交现象。天然针阔混交林主要呈中度混交，样地数占 79.31%；天然阔叶林和天然针叶林则集中于低度混交和中度混交。天然针叶林中，零度混交所占比例 13.51%，明显高于天然阔叶林，而天然针阔混交林不存在零度混交。

对天然林中3种森林类型的林分混交度进行统计分析，结果见表6。天然针阔混交林的林分混交度均值最高，为 0.365 1，天然阔叶林次之，天然针叶林最低。天然针阔混交林的林分混交度值域范围最小。表明天然针阔混交林比天然针叶林和天然阔叶林有更高的林分混交度，而且混交度值域范围比较集中，反映树种相互隔离程度相对较高。

对不同森林类型的林分平均混交度差异性进行分析，结果见表7。天然针叶林、天然阔叶林和天然针阔混交林林分混交度之间存在显著差异 ($P < 0.01$)。进一步对3种森林类型林分平均混交度进行两两比较，结果见表8。由表8可知，天然针叶林和天然针阔混交林、天然针叶林和天然阔叶林的林分平均混交度存在极显著差异 ($P < 0.01$)，天然针阔混交林和天然阔叶林的林分平均混交度差异显著 ($P < 0.05$)。天然针阔混交林的混交度比天然针叶林的混交度高 80.96%，比天然阔叶林高 28.03%；天然阔叶林的混交度比天然针叶林的混交度高 41.35%。

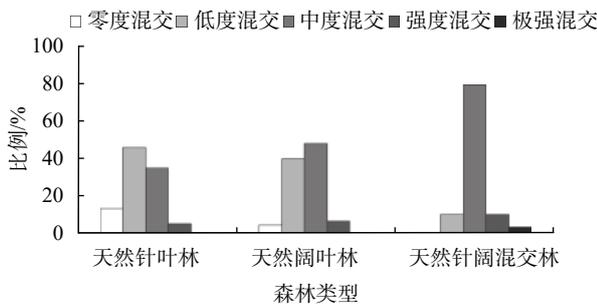


图4 天然林林分混交度分布
Fig. 4 Natural forest stand distribution

表6 天然林林分混交度描述性统计分析

Table 6 Descriptive statistical analysis of the mixed degree of natural forest stands

森林类型	样地数	极小值	极大值	均值	均值的标准误	标准差	方差	偏度	偏度的标准误
天然针叶林	74	0.000 0	0.571 0	0.201 7	0.018 2	0.156 9	0.025 0	0.480 0	0.279 0
天然针阔混交林	29	0.098 0	0.568 8	0.365 1	0.019 1	0.103 0	0.011 0	-0.423 0	0.434 0
天然阔叶林	100	0.000 0	0.700 0	0.285 1	0.015 9	0.159 0	0.025 0	-0.104 0	0.241 0

表 7 天然林单因素方差分析

Table 7 One-way analysis of variance of natural forests

误差来源	平方和	df	均方	F	P
组间	0.627	2	0.313	13.639	0
组内	4.596	200	0.023		
总数	5.223	202			

表 8 天然林林分混交度多重比较

Table 8 Multiple comparisons of natural forest stands

森林类型 (I)	森林类型 (II)	均值差 (I-II)	标准误	P	95% 置信区间下限	95% 置信区间上限
天然针叶林	天然针阔混交林	-0.163 3	0.033 2	0.000 0	-0.228 8	-0.097 9
	天然阔叶林	-0.083 4	0.023 2	0.000 0	-0.129 2	-0.037 6
天然针阔混交林	天然阔叶林	0.079 9	0.032 0	0.013 0	0.016 9	0.143 0

3.2.2 人工林林分混交度

由图 5 可知, 人工阔叶林的林分零度混交占 54.35%, 全部是山核桃纯林; 人工针叶林的林分低度混交样地数占 77.88%, 其中杉木纯林样地数占 89.77%。杉木林分混交度低, 林分稳定性差, 需要通过引进阔叶树种增加林分的混交度。人工针阔混交林的林分中度混交占 80%, 主要是黄山松 (*Pinus taiwanensis*)、马尾松、杉木和其他软阔叶树种等组成的混交林。说明人工针阔混交林比人工针叶林和人工阔叶林的林分混交度高。

对 3 种人工林的林分混交度进行统计分析, 结果见表 9。人工林描述性统计特征与天然林近似, 人工针阔混交林的混交度均值明显大于其他 2 种人工林且值域范围小。由表 10 可知, 人工针叶林、人工阔叶林、人工针阔混交林之间的林分混交度差异极显著 ($P < 0.01$)。多重比较结果见表 11。由表 11 可知, 人工针叶林和人工针阔混

交林的林分平均混交度差异极显著 ($P < 0.01$), 人工阔叶林和人工针阔混交林的林分平均混交度差异显著 ($P < 0.05$), 人工针叶林和人工阔叶林的林分平均混交度差异不显著。人工针阔混交林的混交度比人工针叶林、人工阔叶林的混交度分别高 177%、160.79%, 人工阔叶林的混交度比人工针叶林的混交度高 16.44%。

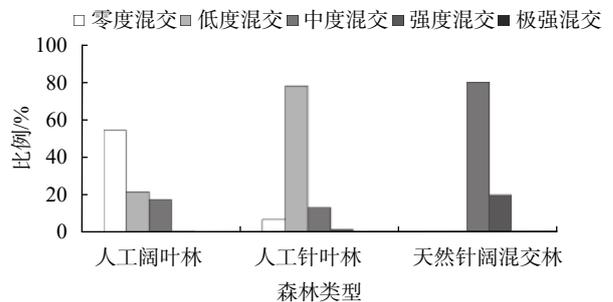


图 5 人工林林分混交度分布

Fig. 5 Distribution of mixed degree in plantation

表 9 人工林样地混交度描述性统计分析

Table 9 Descriptive statistical analysis of the mixed degree of plantation plots

森林类型	样地数	极小值	极大值	均值	均值的标准误	标准差	方差	偏度	偏度的标准误
人工针叶林	113	0.000 0	0.509 8	0.118 6	0.011 9	0.126 5	0.016 0	1.386 0	0.227 0
人工针阔混交林	5	0.254 6	0.524 0	0.328 8	0.051 8	0.115 7	0.013 0	1.710 0	0.913 0
人工阔叶林	46	0.000 0	0.683 6	0.138 1	0.028 5	0.193 3	0.037 0	1.187 0	0.350 0

表 10 人工林单因素方差分析

Table 10 One-way analysis of variance of plantation

误差来源	平方和	df	均方	F	P
组间	0.215	2	0.108	4.912	0.008
组内	3.526	161	0.022		
总数	3.741	163			

表 11 人工林样地多重比较

Table 11 Multiple comparison of plantation plots

森林类型 (I)	森林类型 (II)	均值差 (I-II)	标准误	P	95% 置信区间下限	95% 置信区间上限
人工针叶林	人工针阔混交林	-0.210 1	0.067 6	0.002 0	-0.343 7	-0.076 6
	人工阔叶林	-0.019 5	0.025 9	0.452 0	-0.070 6	0.031 6
人工针阔混交林	人工阔叶林	0.190 7	0.069 7	0.036 0	0.053 0	0.328 3

3.2.3 天然林和人工林林分混交度比较

由表 12 可知,天然针叶林与人工针叶林、天然阔叶林与人工阔叶林之间林分平均混交度存在极显著差异 ($P<0.01$);天然针阔混交林与人工针阔混交林的林分平均混交度差异不显著。天然

针叶林的混交度比人工针叶林的混交度高 41.20%,天然针阔混交林的混交度比人工针阔混交林的混交度高 19.88%,天然阔叶林的混交度比人工阔叶林的混交度高 51.56%。

表 12 人工林和天然林样地多重比较

Table 12 Multiple comparisons between plantations and natural forest plots

森林类型 (I)	森林类型 (J)	均值差 (I-J)	标准误	P	95% 置信区间下限	95% 置信区间上限
天然针叶林	人工针叶林	0.083 1	0.022 4	0.000 0	0.039 0	0.127 2
天然针阔混交林	人工针阔混交林	0.036 3	0.072 6	0.618 0	-0.106 6	0.179 1
天然阔叶林	人工阔叶林	0.147 0	0.026 7	0.000 0	0.094 4	0.199 5

4 结论与讨论

本研究对临安区的针叶林、针阔混交林、阔叶林的混交度进行比较研究,得出以下结论:

1) 在单木水平上。不同类型天然林的混交度差异极显著,单木混交度等级由低到高的顺序为:天然针叶林、天然阔叶林、天然针阔混交林。不同类型人工林的混交度差异也极显著,人工林单木不同混交度等级从低到高的顺序为:针叶林、阔叶林、针阔混交林。天然针叶林和人工针叶林、天然阔叶林和人工针叶林、天然针阔混交林和人工针阔混交林之间单木混交度差异显著。

2) 在林分水平上。不同类型天然林的林分平均混交度差异显著。天然针阔混交林比天然针叶林、天然阔叶林有更高的林分混交度。人工针叶林和人工针阔混交林、人工阔叶林和人工针阔混交林的林分平均混交度差异显著,人工针叶林和人工阔叶林之间差异不显著,人工针阔混交林比人工针叶林和人工阔叶林的林分混交度高。天然针叶林与人工针叶林、天然阔叶林与人工阔叶林的林分平均混交度差异显著,天然针阔混交林与人工针阔混交林差异不显著。

在单木水平上,人工针叶林和人工阔叶林大多集中在零度混交和低度混交,零度混交所占比例超过 50%,表明人工起源的森林通常树种较

少,树种隔离程度较低,空间结构较为简单,不利于森林可持续发展。其中,人工针叶林零度混交中杉木所占比例为 91.14%,人工阔叶林零度混交中山核桃纯林所占比例高达 95.56%。因杉木具有生长迅速、适应性强、材质好等特点,在临安区是重要的商品材树种。由于临安区的杉木林多代连栽,林分树种结构单一,会导致地力衰退,病虫害多发,影响林分的可持续经营。建议在杉木林分中补植其他树种,提高混交度,同时开展林下种植、养殖等立体复合生产经营。山核桃作为临安区的重要经济树种,林农为了追求经济效益的最大化和方便管理采收,通过人为的经营活动使得林分纯化,林分的生物多样性遭到严重破坏^[24],生态环境平衡被打破,导致山核桃干腐病发病严重,不利于临安区山核桃产业的可持续发展。针对这一问题,可在山核桃林林下布设截、排水沟等措施,结合套种杨桐 (*Adinandra millettii*)、栽植茶树缓冲带等经济作物,提高山核桃林的混交度^[25]。

在区域尺度上研究多种森林类型的混交度,需要有大量的样地调查数据作为基础。考虑人力和费用成本问题,充分利用现有各类森林资源调查数据是研究混交度的一条有效途径。本研究采用了 2004 年临安区的森林资源监测样地数据,在样地数据中,部分树木的树种仅记录到大类如其他硬阔、其他软阔等,这在一定程度上影响了混

交度的分析。为提高混交度计算的准确性,建议林业调查部门在今后的森林资源监测样地调查中,详细记录每株树木的树种等信息,以便提取更多的森林空间结构信息,为森林经营决策提供参考。

[参 考 文 献]

- [1] Pielou E C. Segregation and symmetry in two-species populations as studied by nearest-neighbour relationships [J]. *Journal of Ecology*, 1961, 49(2): 255–269.
- [2] 宁杨翠, 郑小贤, 梁雨, 等. 北京八达岭油松人工林结构分析 [J]. *林业科技开发*, 2008, 22(1): 47–49.
- [3] 郝月兰. 基于林分空间结构优化的采伐木确定方法研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.
- [4] 惠刚盈, 胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究 [J]. *林业科学研究*, 2001, 14(1): 23–27.
- [5] 贾秀红, 周志翔, 刘刚, 等. 亮叶水青冈次生林种间分离特征的研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2012, 34(3): 8–14.
- [6] Mason W L, Connolly T, Pommerening A, et al. Spatial structure of semi-natural and plantation stands of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in northern Scotland [J]. *Forestry*, 2007, 80(5): 567–586.
- [7] 岳永杰, 余新晓, 李钢铁, 等. 北京松山自然保护区蒙古栎林的空间结构特征 [J]. *应用生态学报*, 2009, 20(8): 1811–1816.
- [8] 汪平, 贾黎明, 魏松坡, 等. 基于 Voronoi 图的侧柏游憩林空间结构分析 [J]. *北京林业大学学报*, 2013, 35(2): 39–44.
- [9] 曹小玉, 李际平, 封尧, 等. 杉木生态公益林林分空间结构分析及评价 [J]. *林业科学*, 2015, 51(7): 37–48.
- [10] 李建, 彭鹏, 何怀江, 等. 采伐对吉林蛟河针阔混交林空间结构的影响 [J]. *北京林业大学学报*, 2017, 39(9): 48–57.
- [11] 孙宇晗, 王士博, 王润涵, 等. 利用 Voronoi 图评价油松人工林空间结构 [J]. *浙江农林大学学报*, 2018, 35(5): 877–884.
- [12] 方国景, 汤孟平. 天目山常绿阔叶林优势种群胸径的空间连续性分析 [J]. *浙江农林大学学报*, 2014, 31(5): 663–667.
- [13] 汤孟平, 周国模, 陈永刚, 等. 基于 Voronoi 图的天目山常绿阔叶林混交度 [J]. *林业科学*, 2009, 45(6): 1–5.
- [14] 彭辉, 周红敏, 王宏翔, 等. BCI 50 hm² 森林大样地 2010 年活立木空间结构分析 [J]. *林业科学研究*, 2017, 30(6): 895–901.
- [15] 彭辉. 基于 BCI 50 公顷大样地的森林空间结构特征研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017.
- [16] 陈婷婷, 徐辉, 杨青, 等. 武夷山常绿阔叶林空间结构参数分布特征 [J]. *生态学报*, 2018, 38(5): 1817–1825.
- [17] Bettinger P, Tang M P. Tree-level harvest optimization for structure-based forest management based on the species mingling index [J]. *Forests*, 2015, 6(12): 1121–1144.
- [18] 刘德洲, 王立海, 侯红亚, 等. 凉山自然保护区平缓地带红松针阔混交林空间结构分析 [J]. *林业科技*, 2013, 38(3): 30–33.
- [19] 李际平, 封尧, 赵春燕, 等. 基于 Voronoi 图的杉木生态公益林空间结构量化分析 [J]. *北京林业大学学报*, 2014, 36(4): 1–7.
- [20] 王敬, 韦新良, 徐建, 等. 天目山针阔混交林林木空间分布格局特征 [J]. *浙江农林大学学报*, 2014, 31(5): 668–675.
- [21] 汤孟平, 娄明华, 陈永刚, 等. 不同混交度指数的比较分析 [J]. *林业科学*, 2012, 48(8): 46–53.
- [22] 赵伟明, 汪雪飞, 万刚, 等. 浅谈临安市资源植物的保护与开发利用 [J]. *华东森林经理*, 2003, 17(2): 40–42, 55.
- [23] 袁卫, 庞皓, 贾俊平, 等. *统计学* [M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [24] 张璐璐, 贾桂民, 叶建丰, 等. 浙江临安山核桃干腐病发生发展规律 [J]. *浙江农林大学学报*, 2013, 30(1): 148–152.
- [25] 颜勇, 刘强, 赵淦, 等. 红壤丘陵区坚果林不同水土保持措施的效益: 以浙江省临安山核桃林为例 [J]. *水土保持通报*, 2016, 36(6): 200–203.

(责任编辑 陆 驰)

