

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201711001

引文格式: 钱海源, 张田田, 陈声文, 等. 古田山自然保护区阔叶林与两种人工林的群落结构和生物多样性 [J]. 广西植物, 2018, 38(10): 1371–1381

QIAN HY, ZHANG TT, CHEN SW, et al. Community structures and biodiversities of broad-leaved forest and two types of plantations in Gutianshan National Nature Reserve, Zhejiang Province [J]. *Guihaia*, 2018, 38(10): 1371–1381

古田山自然保护区阔叶林与两种人工林的群落结构和生物多样性

钱海源¹, 张田田², 陈声文¹, 巫东豪², 吴初平³, 袁位高³, 金毅², 于明坚^{2*}

(1. 浙江钱江源国家公园生态资源保护中心, 浙江 开化 324300; 2. 浙江大学 生命科学学院, 杭州 310058; 3. 浙江省林业科学研究院, 杭州 310023)

摘要: 为了解天然林和人工林群落的结构、组成和物种多样性的差异, 该研究选择三种类型(天然阔叶林、人工杉木林和油茶林)的森林群落, 比较分析其不同垂直空间层次上的群落数量特征及物种多样性(物种丰富度、 α 多样性和 β 多样性)特点。结果表明:(1)总体上, 阔叶林的物种丰富度最高, 其次是油茶林。乔木层和灌木层均以阔叶林的物种丰富度最高, 其次为杉木林; 草本层以油茶林的物种丰富度最高, 其次为杉木林和阔叶林。三种类型的群落各空间层次重要值前5位物种组成上均有较大差异。(2)在单个样地水平上, 三种类型的群落 α 多样性差异主要存在于乔木层, 以阔叶林的样地间差异最大, 其次为杉木林; 灌木层的 α 多样性在类型间差异较小; 草本层的 α 多样性, 油茶林与其他两个类型差异明显, 阔叶林与杉木林之间差异较小。(3)群落类型间 β 多样性分析表明, 就所有三个层次而言, 阔叶林与油茶林之间物种组成差异最大; 就灌木层而言, 油茶林与杉木林的物种组成最相似, 其次是阔叶林与杉木林; 就草本层而言, 油茶林与杉木林的物种组成相似度最高, 其次为阔叶林与油茶林。总之, 三种森林类型在群落结构、物种多样性方面差异显著, 反映了人为干扰对森林群落的影响。

关键词: 亚热带, 阔叶林, 杉木林, 油茶林, α 多样性, β 多样性, 物种多度

中图分类号: Q948.15 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)10-1371-11

Community structures and biodiversities of broad-leaved forest and two types of plantations in Gutianshan National Nature Reserve, Zhejiang Province

QIAN Haiyuan¹, ZHANG Tiantian², CHEN Shengwen¹, WU Donghao²,
WU Chuping³, YUAN Weigao³, JIN Yi², YU Mingjian^{2*}

(1. *Ecological Resource Conservation Center, Qianjiangyuan National Park, Kaihua 324300, Zhejiang, China*; 2. *College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China*; 3. *Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023, China*)

收稿日期: 2018-03-28

基金项目: 浙江省科技计划项目(2015C02016); 浙江省自然科学基金(LY16C160003) [Supported by Science and Technology Planning Program of Zhejiang Province, China(2015C02016); Natural Science Foundation of Zhejiang Province(LY16C160003)]。

作者简介: 钱海源(1969-), 男, 浙江开化人, 学士, 研究方向为生物多样性, (E-mail) gtsqhy@126.com。

*通信作者: 于明坚, 博士, 教授, 研究方向为植物生态学, (E-mail) fishmj@zju.edu.cn。

Abstract: In order to understanding how the community structure, species composition and diversity differ between different forest types, we investigated and compared the community structure and biodiversity for one natural forest type (i.e. broad-leaved forest) and two types of plantations (i.e. *Cunninghamia lanceolata* assemblage/stand and *Camellia oleifera* assemblage/stand) in Gutianshan National Nature Reserve of Zhejiang Province. The results were as follows: (1) In general, broad-leaved forest held the highest taxonomic diversity, followed by *Camellia oleifera* stand and *Cunninghamia lanceolata* stand. With respect to different forest layers, broad-leaved forest held the highest species richness in tree and shrub layers and *Camellia oleifera* stand held the lowest; *C. oleifera* stand held the highest species richness in herb layer, followed by *Cunninghamia lanceolata* stand and broad-leaved forest. On the other hand, species composition of the top five (according to species importance value) species differed greatly both between forest types and forest layers. (2) At the single forest plot level, difference in α diversity of the three stand types was mainly in tree layer, shown as broad-leaved forest held the highest α diversity and *Camellia oleifera* stand held the lowest; no difference was detected in shrub layer; whereas *C. oleifera* stand held the higher species richness in herb layer. (3) As for β diversity between forest types, the greatest difference in species composition was between broad-leaved forest and *C. oleifera* stand, followed by between broad-leaved forest and *C. lanceolata* stand, and between *C. lanceolata* stand and *Camellia oleifera* stand, in shrub layer; species composition between broad-leaved forest and *Cunninghamia lanceolata* stand had more differences than between *C. lanceolata* stand and *Camellia oleifera* stand, in herb layer. The results imply that each of the three forest types hold its unique community structure and biodiversity, which contributes to the landscape level biodiversity, and testify the influence of human disturbance.

Key words: subtropical zone, broad-leaved forest, *Cunninghamia lanceolata* stand, *Camellia oleifera* stand, α diversity, β diversity, species abundance

森林作为陆地生态系统的主体,对地球上生物多样性维持和生态系统稳定性起到关键作用。日益频繁的人类活动正将大量天然森林生态系统改造为不同类型的人工林,势必对森林生态系统的功能和服务产生很大的影响(孟庆繁,2006)。目前,人工林已成为我国森林的重要组成部分,面积占全国森林总面积的1/3(徐济德,2014),居世界首位。以经济、用材为主要目的的人工林往往结构简单,其维持生物多样性的功能受到质疑和关注(Hartley,2002),如何对人工林进行改造以增加其物种多样性也成为林业研究的重要课题(Gonzales & Nakashizuka,2010; Hartley,2002; 方升佐和田野,2012)。

位于浙江省西部的古田山国家级自然保护区保存有我国亚热带地区典型常绿阔叶林生态系统(祝燕等,2008),同时在该保护区的实验区分布有亚热带地区常见的两种人工林,即杉木林和油茶林。阔叶林是亚热带地区占优势的生态系统类型,被认为有较高的生物多样性(杨庆松等,2011);杉木林在间伐后,由于疏于抚育和管理,已

有乡土树种恢复更新,处于向地带性植被演替的阶段;油茶林作为当地主要的经济林,受到长期、稳定的人类经营。本研究通过比较古田山保护区内上述三种森林群落及其中不同空间层次的物种组成和多样性特点,旨在了解阔叶林、杉木林和油茶林在维持生物多样性方面的特点和差异,从而为森林经营和生物多样性保护等提供理论依据。具体来说,本研究希望回答以下两个问题:(1)阔叶林、杉木林和油茶林在群落物种组成和数量特征各自有什么特点?(2)阔叶林、杉木林和油茶林在 α 和 β 物种多样性上有什么特点和差异?

1 研究地与研究方法

1.1 研究地概况

古田山国家级自然保护区(118°03'49.7"—118°11'12.2" E, 29°10'19.4"—29°17'41.4" N)位于浙江省西部的开化县境内,属于南岭山系怀玉山脉。地处中亚热带湿润季风气候区,受季风影响,四季分明,雨量丰沛,年平均温度为15.3℃,最

热月均温 28.9 °C,最冷月均温 4.1 °C,年降水量 1 963.7 mm,年降雨天数约 140 d,无霜期约 250 d (于明坚等,2001)。古田山地区的土壤类型有红壤、红黄壤、黄红壤及高山草甸土,由于地形复杂,环境多变,形成了多种多样的小气候和植被类型(金水虎和楼炉煊,2000;胡正华等,2003)。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及调查方法 根据典型性、代表性和均一性的原则,避开林缘区域,在阔叶林、杉木林和油茶林的分布区中各设置 8 个样地,共 24 个面积为 20 m × 20 m 的样地,在 20 m × 20 m 样地的中央位置记录经度、纬度和地形因子,24 个样地的基本情况如表 1 所示。将每个样地完全划分为 16 个 5 m × 5 m 小样方,每木调查乔木层结构。选择其中 8 个互不相邻的 5 m × 5 m 小样方,在每个西北角设置 1 个 2 m × 2 m 灌木样方,调查灌木层结构。在每个灌木样方的西北角设置 1 个 1 m × 1 m 的草本样方,调查草本层结构。各层次调查内容如下(1) 乔木层:以 2.5 cm 为起测胸径(离地 1.3 m 主杆直径),进行每木调查,记录种类、坐标位置、胸径和植株高度。由于油茶林为人工经济林,树种单一,没有高大乔木,为方便与其他两种群落进行比较,将胸径在 2.5 cm 以上的油茶统计为乔木,因此其乔木层只有 1 科 1 属 1 种。(2) 灌木层(含灌木种类以及乔木种类的幼树和幼苗):记录胸径 2.5 cm 以下的木本植物,记录种类、个体数、平均高度及盖度。(3) 草本层:记录草本和蕨类植物的种类、个体数、每种盖度以及平均高度。

1.2.2 数据分析

1.2.2.1 群落组成和数量特征 统计不同森林群落及其各垂直空间层次的科属种组成。采用重要值(importance value, IV)和多度衡量物种在群落中物种的数量特征分布(宋永昌,2001)。以样地调查的群落数据为基础,分别计算阔叶林、杉木林和油茶林的乔木层、灌木层和草本层的物种重要值,公式为 $IV = (Dr + Pr / Cr + Fr) / 3$ 。式中, Dr 为相对多度; Pr 为乔木层物种的相对显著度; Cr 为灌木层和草本层物种的相对盖度; Fr 为相对频度。以物种多度顺序为横坐标,多度为纵坐标做图,对不同森林类型各层次的物种以多度大小排列,反映

群落数量特征(马克明,2003)。

1.2.2.2 物种多样性 采用物种丰富度(S)、Shannon-Wiener 指数(1949)(公式为 $H' = -\sum p_i \ln p_i$, p_i 为物种相对多度)和 Pielou 均匀度指数(1969)(公式为 $J = H' / \ln S$)来描述群落 α 多样性。采用 Sørensen 相似性系数(1948) [$QS = (2|X \cap Y|) / (|X| + |Y|)$, X, Y 为两个群落的物种]度量群落间的 β 多样性。采用非度量多维尺度分析(non-metric multidimensional scaling, NMDS)了解森林类型间以及同种类型不同群落间的物种组成差异(Borcard et al, 2011)。

组间比较采用 Wilcoxon 秩和检验,多重比较的 P 值采用 Holm 法校正(Holm, 1979)。以上数据处理和分析均通过 R 3.2.4 软件进行(R Core Team, 2016)。

2 结果与分析

2.1 群落组成

24 个样地共记录到维管植物 227 种,隶属于 73 科 143 属。8 个阔叶林样地的物种丰富度最高,共含 48 科 76 属 124 种;其次是 8 个油茶林,共含 46 科 86 属 115 种;杉木林则最低,仅含 41 科 68 属 100 种。从不同空间层次上看,乔木层和灌木层均以阔叶林的多样性最高,杉木林其次,油茶林则最低,只有油茶 1 种;而草本层有相反趋势,为油茶林多样性最高,其次为杉木林和阔叶林。

各群落类型不同空间层次重要值前 5 位物种组成有较大差异。阔叶林乔木层优势种依次为木荷(*Schima superba*)、甜槠(*Castanopsis eyrei*)、虎皮楠(*Daphniphyllum oldhami*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)和红楠(*Machilus thunbergii*);灌木层以格药柃(*Eurya muricata*)、甜槠、木荷、小叶青冈(*Cyclobalanopsis gracilis*)、马银花(*Rhododendron ovatum*)为优势种;草本层优势种为阔叶箬竹(*Indocalamus latifolius*)、金星蕨(*Parathelypteris glanduligera*)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、芒萁(*Dicranopteris pedata*)、薹草(*Carex* spp.)。杉木林乔木层以杉木(*Cunninghamia lanceolata*)最占优势,随后是马尾松(*Pinus massoniana*)、欆木(*Lorope-*

表 1 24 个样地的基本概况
Table 1 Summary of the 24 study plots

样地号 Plot	经度 Longitude	纬度 Latitude	群落类型 Community type	郁闭度 Crown closure	海拔 Elevation (m)	坡度 Slope (°)	坡向 Aspect (°)
G0006	118°7'37.9" E	29°15'4.7" N	阔叶林 Broad-leaved forest	0.95	550	10	210
G1406	118°6'42.8" E	29°15'36.3" N	阔叶林 Broad-leaved forest	0.92	663	5	250
G1549	118°4'58.4" E	29°10'14.2" N	阔叶林 Broad-leaved forest	0.96	823	40	270
G1573	118°5'33.7" E	29°9'11.2" N	阔叶林 Broad-leaved forest	0.95	720	32.6	215
G1588	118°6'10.8" E	29°9'48.6" N	阔叶林 Broad-leaved forest	0.92	875	14.7	189
G1551	118°4'55.6" E	29°9'46.1" N	阔叶林 Broad-leaved forest	0.9	650	40.5	10
G1550	118°8'5.6" E	29°16'1.2" N	阔叶林 Broad-leaved forest	0.88	722	30	198
G1559	118°8'23.3" E	29°11'20.8" N	阔叶林 Broad-leaved forest	0.8	351	30	220
G1429	118°7'3.4" E	29°14'32" N	杉木林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> stand	0.85	558	37	336
G1431	118°7'8" E	29°13'34.2" N	杉木林 <i>C. lanceolata</i> stand	0.75	407	29.2	321
G1434	118°7'29.6" E	29°11'45.5" N	杉木林 <i>C. lanceolata</i> stand	0.95	317	23	341
G1448	118°7'25" E	29°10'50.7" N	杉木林 <i>C. lanceolata</i> stand	0.94	272	0	219
G1570	118°5'0.6" E	29°6'56.5" N	杉木林 <i>C. lanceolata</i> stand	0.84	300	30	166
G1572	118°5'31.2" E	29°9'40.7" N	杉木林 <i>C. lanceolata</i> stand	0.7	431	14.5	45
G1678	118°5'30.8" E	29°7'28.6" N	杉木林 <i>C. lanceolata</i> stand	0.8	323	27	31
G1679	118°5'28.7" E	29°7'26.8" N	杉木林 <i>C. lanceolata</i> stand	0.75	275	22	12
G1422	118°6'15.5" E	29°13'3.9" N	油茶林 <i>Camellia oleifera</i> stand	0.98	278	31.2	80
G1582	118°6'6.1" E	29°9'15.5" N	油茶林 <i>C. oleifera</i> stand	0.7	396	30.1	250
G1669	118°5'3.8" E	29°7'17" N	油茶林 <i>C. oleifera</i> stand	0.68	347	21	270
G1677	118°5'32.6" E	29°7'58.8" N	油茶林 <i>C. oleifera</i> stand	0.5	410	31	55
G1684	118°6'4.3" E	29°8'35.5" N	油茶林 <i>C. oleifera</i> stand	0.7	449	10	234
G1685	118°5'43.1" E	29°8'7.1" N	油茶林 <i>C. oleifera</i> stand	0.7	510	26	342
G1686	118°6'1.8" E	29°7'58.1" N	油茶林 <i>C. oleifera</i> stand	0.68	352	17	325
G1687	118°6'00" E	29°7'48.7" N	油茶林 <i>C. oleifera</i> stand	0.78	279	27	46

talum chinense)、苦槠 (*Castanopsis sclerophylla*) 和木荷;灌木层以杉木、檫木、格药桉等占优势;草本层

以芒萁、淡竹叶 (*Lophatherum gracile*) 和狗脊 (*Woodwardia japonica*) 等植物占优势。油茶林的乔

表 2 三种群落类型不同空间层次前 5 个优势种的重要值
Table 2 Information of the Top 5 dominant species in importance value
in different vertical layers of the three forest types

层次 Layer	阔叶林 Broad-leaved forest	杉木林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> stand	油茶林 <i>Camellia oleifera</i> stand
乔木层 Tree layer	木荷 <i>Schima superba</i> (0.161); 甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (0.109); 虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhami</i> (0.081); 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.057); 红楠 <i>Machilus thunbergii</i> (0.044)	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.669); 马尾松 <i>Pinus massoniana</i> (0.096); 木荷 <i>Schima superba</i> (0.029); 石栎 <i>Lithocarpus glaber</i> (0.023); 苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i> (0.022)	油茶 <i>Camellia oleifera</i> (1.000)
灌木层 Shrub layer	格药柃 <i>Eurya muricata</i> (0.099); 甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (0.089); 木荷 <i>Schima superba</i> (0.054); 小叶青冈 <i>Cyclobalanopsis myrsinaefolia</i> (0.047); 马银花 <i>Rhododendron ovatum</i> (0.046)	格药柃 <i>Eurya muricata</i> (0.089); 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.085); 槲木 <i>Loropetalum chinense</i> (0.084); 黄绒润楠 <i>Machilus grijsii</i> (0.061); 油茶 <i>Camellia oleifera</i> (0.056)	槲木 <i>Loropetalum chinense</i> (0.098); 油茶 <i>Camellia oleifera</i> (0.083); 格药柃 <i>Eurya muricata</i> (0.08); 蓬蘽 <i>Rubus hirsutus</i> (0.063); 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.052)
草本层 Herb layer	阔叶箬竹 <i>Indocalamus latifolius</i> (0.477); 金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i> (0.12); 求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i> (0.088); 芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i> (0.076); 藎草 <i>Carex</i> spp. (0.073)	芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i> (0.527); 狗脊 <i>Woodwardia japonica</i> (0.152); 淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i> (0.099); 阔鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris championii</i> (0.039); 里白 <i>Diplazium glaucum</i> (0.027)	芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i> (0.271); 淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i> (0.075); 求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i> (0.066); 乌蕨 <i>Odontosoria chinensis</i> (0.065); 过路黄 <i>Lysimachia christinae</i> (0.046)

注: 括号内为物种的重要值。

Note: Values in brackets are important values of species.

木层只有油茶一种; 灌木层优势种有槲木、油茶、格药柃等; 草本层以芒萁、淡竹叶等占优势 (表 2)。

2.2 群落多度特征

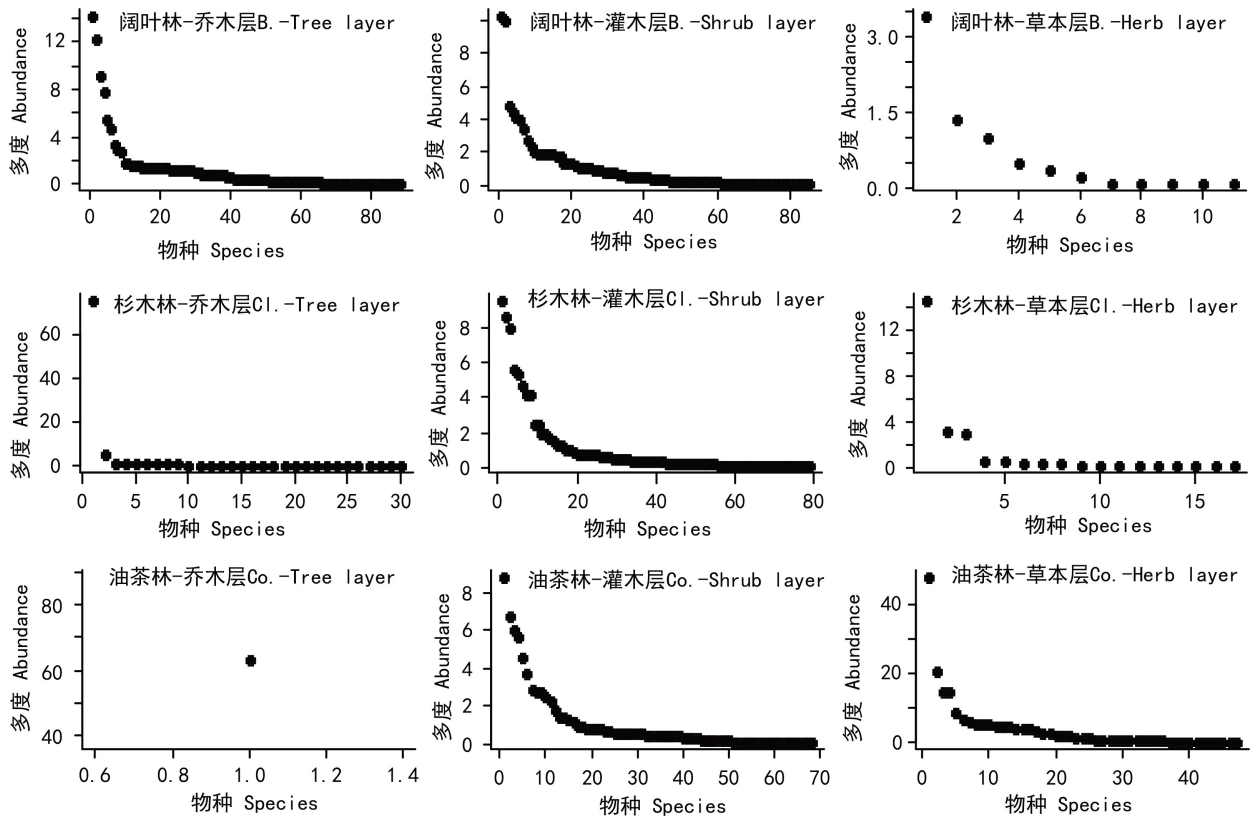
从三种森林类型不同空间层次的物种多度排序来看, 阔叶林乔木层共有 88 个物种, 相比其他两种森林类型物种多度较为均匀, 个体数较多的前 10 个物种占总多度的 58.32%, 以木荷、虎皮楠、甜槠等常绿树种为主; 杉木林乔木层有物种 30 个, 以杉木为主, 相对多度为 75.91%; 油茶林物种单一, 只有油茶一种。就灌木层而言, 阔叶林有 85 种, 甜槠、格药柃多度较大, 多度排序的前 10 个物种占总多度的 53.85%; 杉木林有物种 79 种, 杉木多度最大, 相对多度为 10.89%, 多度排序的前 10 个物种占总多度的 63.32%; 油茶林有物种 68 种, 多度排序的前 10 个物种占总多度的 60.36%。就草本层而言, 阔叶林物种数为 9 种, 其中阔叶箬竹相对多度为 45.00%; 杉木林林下草本植物有 17 种, 以芒萁为主, 相对多度为 60.42%; 油茶林草本层物种有 47 种, 多度最高

的芒萁占总多度的 25.18% (图 1, 表 3)。

2.3 物种多样性

对三种群落的乔木层 α 多样性进行比较, 阔叶林最高, 其次为杉木林, 油茶林最低; 灌木层和草本层 α 多样性在三种群落类型间的差异较小, 但值得注意的是, 油茶林草本层的物种丰富度远大于其它两种群落 (表 4)。

群落类型间 β 多样性分析显示: 从所有三个空间层次上看, 阔叶林与油茶林之间物种组成差异最大, 杉木林与其他两种森林类型两两比较的差异不显著; 油茶林和杉木林的灌木层在物种组成上最为相似, 其次是阔叶林和杉木林, 阔叶林和油茶林之间差异最大。草本层中, 油茶林和杉木林的物种组成相似度最高, 其次为阔叶林和油茶林, 而阔叶林和杉木林之间差异最大 (图 2)。非度量多维尺度分析显示: 阔叶林与油茶林的 95% 置信区间没有重叠, 二者之间物种组成差异较大, 而杉木林与其他两类均有部分重叠, 由于其处于人工林与阔叶林的



注: B. 阔叶林; Cl. 杉木林; Co. 油茶林。下同。

Note: B. Broad-leaved forest; Cl. *Cunninghamia lanceolata* stand; Co. *Camellia oleifera* stand. The same below.

图 1 三种森林群落不同空间层次物种多度排序

Fig. 1 Species abundance rank of each layer of the three forest types

过渡阶段(图3)。

3 讨论

3.1 群落物种组成和多度特征

阔叶林是古田山保护区主要的森林类型(于明坚等,2001),大部分阔叶林的林龄在50 a以上(胡正华等,2003),本研究24个样地基本情况显示郁闭度较大。调查样地均为常绿阔叶林,为亚热带地区的地带性植被,群落重要值排名前5的优势种为木荷、甜槠、虎皮楠、杉木和红楠,除了杉木,其它四个物种都是该地区常绿阔叶林的常见优势种(胡正华等,2003),优势种之间优势度差异不明显,有较高的均匀性;林下主要为格药铃、甜槠、映山红、蕙草和蕨类等较耐阴物种。另从杉木

的重要值排在前五来看,古田山保护区的实验区和缓冲区曾经也有明显的人为经营活动,但是干扰程度低于两种人工林。

杉木林的乔木层虽然仍以杉木(重要值66.9%)占绝对优势,但马尾松已作为阳性先锋树种已出现在乔木层。同时,苦槠和木荷等常绿阔叶树种也已进入其林冠层,提高林冠层郁闭度,不利于不耐阴植物(如杉木)而有利于耐阴植物(如黄绒润楠)更新(陈光水等,2001)。林开敏和黄宝龙(2001)对闽北不同林龄的杉木人工林林下植被研究发现,受到较少人工干扰的杉木林有地带性植被的优势树种进入林冠层,空间层次明显,与本研究结果一致。杉木的幼树和幼苗在灌木层内平均重要值仅为8.5%,优势较小,灌木层内优势度较高的还有槲木、格药铃等较耐阴植物。草本层

表 3 三种森林群落不同空间层次多度排名前 10 位物种
Table 3 Information of the Top 10 dominant species in abundance in different vertical layers of the three forest types

层次 Layer	阔叶林 Broad-leaved forest	杉木林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> stand	油茶林 <i>Camellia oleifera</i> stand
乔木层 Tree layer	木荷 <i>Schima superba</i> (0.128)	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.759)	油茶 <i>Camellia oleifera</i> (1.000)
	虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhami</i> (0.111)	马尾松 <i>Pinus massoniana</i> (0.058)	
	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (0.083)	榿木 <i>Loropetalum chinense</i> (0.02)	
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.07)	苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i> (0.02)	
	红楠 <i>Machilus thunbergii</i> (0.05)	木荷 <i>Schima superba</i> (0.02)	
	格药枥 <i>Eurya muricata</i> (0.042)	石栎 <i>Lithocarpus glaber</i> (0.018)	
	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (0.031)	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> (0.014)	
	鹿角杜鹃 <i>Rhododendron latoucheae</i> (0.027)	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i> (0.011)	
	小叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracillis</i> (0.025)	栲树 <i>Castanopsis fargesii</i> (0.011)	
	油茶 <i>Camellia oleifera</i> (0.017)	短柄枹 <i>Quercus serrata</i> (0.008)	
灌木层 Shrub layer	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (0.115)	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.109)	榿木 <i>Loropetalum chinense</i> (0.115)
	格药枥 <i>Eurya muricata</i> (0.112)	榿木 <i>Loropetalum chinense</i> (0.099)	蓬蘽 <i>Rubus hirsutus</i> (0.087)
	红楠 <i>Machilus thunbergii</i> (0.055)	格药枥 <i>Eurya muricata</i> (0.092)	格药枥 <i>Eurya muricata</i> (0.078)
	木荷 <i>Schima superba</i> (0.049)	四季竹 <i>Oligostachyum lubricum</i> (0.064)	长叶冻绿 <i>Rhamnus crenata</i> (0.074)
	马银花 <i>Rhododendron ovatum</i> (0.046)	矩形叶鼠刺 <i>Itea omeiensis</i> (0.062)	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.06)
	油茶 <i>Camellia oleifera</i> (0.045)	油茶 <i>Camellia oleifera</i> (0.054)	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i> (0.049)
	毛花连蕊茶 <i>C. trichoclada</i> (0.039)	黄绒润楠 <i>Machilus grijsii</i> (0.049)	油茶 <i>Camellia oleifera</i> (0.037)
	紫果槭 <i>Acer cordatum</i> (0.031)	苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i> (0.047)	美丽胡枝子 <i>Lespedeza formosa</i> (0.036)
	虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhami</i> (0.025)	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> (0.029)	乌药 <i>Lindera aggregata</i> (0.036)
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.022)	乌药 <i>Lindera aggregata</i> (0.029)	梔子 <i>Gardenia jasminoides</i> (0.032)
草本层 Herb layer	阔叶箬竹 <i>Indocalamus latifolius</i> (0.45)	芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i> (0.604)	芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i> (0.252)
	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i> (0.183)	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i> (0.13)	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i> (0.109)
	金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i> (0.133)	狗脊 <i>Woodwardia japonica</i> (0.12)	乌蕨 <i>Stenoloma chusanum</i> (0.078)
	薹草 <i>Carex</i> spp. (0.067)	金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i> (0.021)	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i> (0.076)
	芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i> (0.05)	阔鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris championii</i> (0.021)	过路黄 <i>Lysimachia christinae</i> (0.044)
	多花黄精 <i>Polygonatum cyrtonema</i> (0.033)	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (0.016)	芒 <i>Miscanthus sinensis</i> (0.036)
	早落通泉草 <i>Mazus caducifer</i> (0.017)	乌蕨 <i>Odontosoria chinensis</i> (0.016)	野苘蒿 <i>Crassocephalum crepidioides</i> (0.033)
	黄精 <i>Polygonatum sibiricum</i> (0.017)	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i> (0.016)	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> (0.028)
	心叶堇菜 <i>Viola yunnanfuensis</i> (0.017)	薹草 <i>Carex</i> spp. (0.01)	一年蓬 <i>Erigeron annuus</i> (0.028)
		狭叶香港远志 <i>Polygala hongkongensis</i> var. <i>stenophylla</i> (0.01)	粉被薹草 <i>Carex pruinosa</i> (0.027)

注: 括号内为物种的相对多度。

Note: Values in brackets are relative abundances of species.

以阳性植物芒 (*Miscanthus sinensis*) 最占优势, 反应了杉木林的郁闭程度还不够高。从三个层次的总

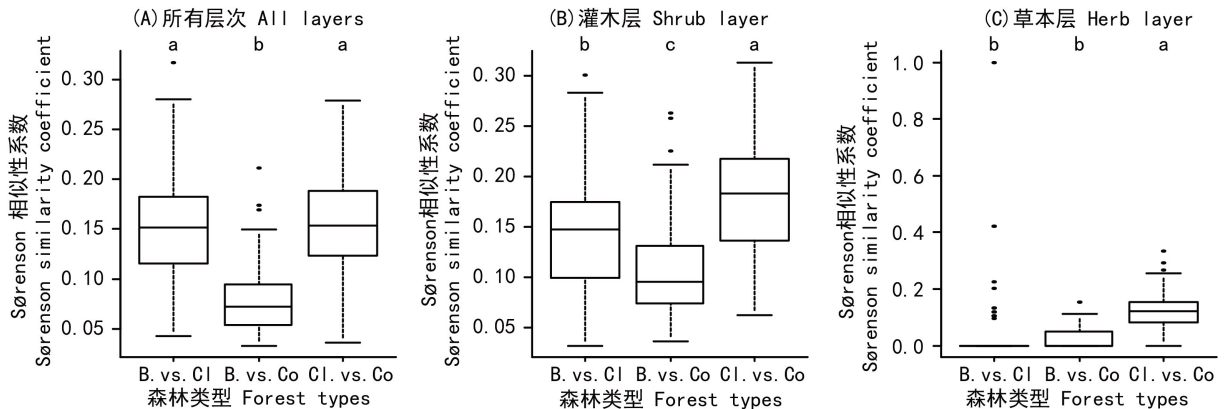
体物种组成来看, 杉木种群的优势度将难以维持, 导致群落将向针阔叶混交林乃至阔叶林演替 (林

表 4 三种森林群落各空间层次的 α 多样性指数比较Table 4 Comparison of α diversity indices between each layer of three forest types

α 多样性指数 α diversity index	乔木层 Tree layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer
物种丰富度 Species richness	20.63 ^a /9.13 ^b /1 ^c	24.63 ^a /22 ^a /20.38 ^a	3.14 ^b /4.25 ^b /17.75 ^a
Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	2.43 ^a /1.03 ^b /-	3.07 ^a /2.81 ^a /2.77 ^a	0.76 ^a /1.14 ^a /2.34 ^a
Pielou 指数 Pielou index	0.82 ^a /0.46 ^a /-	0.98 ^a /0.92 ^a /0.93 ^a	0.85 ^a /0.85 ^a /0.82 ^a

注：表中数值为每种群落类型 8 个样地 α 多样性的均值，顺序为“阔叶林/杉木林/油茶林”。“-”表示无数值。数值右上所标字母不同，则组间有显著性差异 ($P_{adj} < 0.05$, Wilcoxon 秩和检验，多重比较的 P 值通过 Holm 法校正)，否则无显著差异。

Note: Values indicate the mean diversity value of the eight forest plots of one forest type, in order of “Broad-leaved forest/*Cunninghamia lanceolata* stand/*Camellia oleifera* stand”. “-” indicates no value. Different lower-case letters on the upper right side of values in the each group indicate significant differences ($P_{adj} < 0.05$, Wilcoxon rank-sum test, P value was adjusted using the Holm method), else no significant difference.



注：由于油茶林乔木层只有一个种，三种林型群落间乔木层相似性差异无法计算，所以本图含所有层次(A)、灌木层(B)和草本层(C)。图中，若两个箱线图上方的字母若不同，则表明存在显著性差异 ($P_{adj} < 0.05$, Wilcoxon 秩和检验， P 值通过 Holm 方法校正)，否则无显著差异。B. vs. Cl. = 阔叶林 vs. 杉木林；B. vs. Co. = 阔叶林 vs. 油茶林；Cl. vs. Co. = 杉木林 vs. 油茶林。

Note: Tree layer of *Camellia oleifera* stand owns only one species, which prevented the computation of tree layer Sørensen similarity coefficients between forest types, thus only the results for all layers (A), shrub (B) and herb (C) layers are shown. Different lower-case letters above the boxes indicate significant pairwise differences ($P_{adj} < 0.05$, Wilcoxon rank-sum test, P value was adjusted using the Holm method), else no significant difference. B. vs. Cl. = Broad-leaved forest vs. *Cunninghamia lanceolata* stand; B. vs. Co. = Broad-leaved forest vs. *Camellia oleifera* stand; Cl. vs. Co. = *Cunninghamia lanceolata* stand vs. *Camellia oleifera* stand.

图 2 三种森林群落所有空间层次、灌木层和草本层的 Sørensen 相似性系数比较

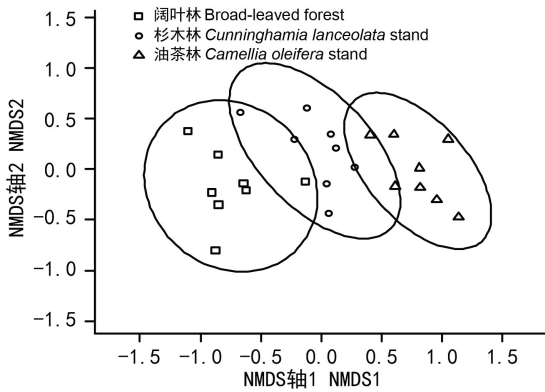
Fig. 2 Comparison of Sørensen similarity coefficients of all layers, shrub and herb layers between the three forest types

开敏和黄宝龙, 2001; 孙冬婧等, 2015)。

对于油茶林而言，人类的经营管理遏制了其他树种进入乔木层，因而油茶林乔木层仅有油茶一种；或许由于油茶林的郁闭度低，林下光照条件较好，灌木层除油茶外，出现了蓬蘽等阳性植物（张艳华等, 1999）；草本层以阳性的芒萁、淡竹叶

等物种占优势，物种丰富度明显高于另外两种群落。从中可见，油茶林对于喜光的草本植物多样性维持具有重要意义（彭姣等, 2016；张艳华等, 1999）。

本研究三种森林群落的物种多度排序结果显示，不同类型各个层次都表现为少数物种占优势，



注: 椭圆包括某种林型群落组成的 95% 置信区间。
Note: Ellipse includes the 95% confidence interval of the composition of a forest type.

图 3 三种森林群落类型物种组成的非度量多维尺度分析结果

Fig. 3 Results of non-metric multidimensional scaling of composition of the three forest types

多数物种的个体数比较少,这与其他地区普遍分布的分布规律相似(McGill et al, 2007)。本研究不同森林类型的各层次内多度排名前十的物种占总多度的比例均大于 50%,就乔木层而言,两种人工林均以单一物种明显占据优势,相比人工林,阔叶林物种丰富度高,分布也较为均匀。就灌木层和草本层而言,三种森林类型之间的差异主要体现在物种丰富度和物种组成方面。物种多度排序结合 Pielou 指数来看,在各空间层次上,不同森林类型之间的均匀度没有显著差异;结合物种丰富度和 Shannon-Wiener 指数来看,三种森林类型乔木层的物种丰富度表现为阔叶林>杉木林>油茶林;灌木层物种丰富度差异不显著,但物种组成存在一定差异,阔叶林中的灌木以常绿种为主,落叶种则主要出现在杉木林和油茶林;油茶林草本层的物种丰富度显著高于其他两种类型,油茶林由于受到人为影响,没有比较高大的草本植物,主要为淡竹叶、过路黄等一年生、二年生或多年生草本和鳞毛蕨、狗脊等蕨类植物,阔叶林则出现了阔叶箬竹。

本研究从群落物种组成和多度特征综合来看,三种森林类型群落之间存在明显差异。从油茶林-杉木林-阔叶林,古田山保护区实验区到核

心区的森林植被体现出人为干扰程度不断下降的过程。在这一过程中,亚热带地区的优势树种和耐阴植物逐渐进入林内,人工栽培物种的优势度趋于下降,阳性植物的比例也逐渐下降。

3.2 群落物种多样性

本研究三类群落总体的 α 多样性呈现出阔叶林>油茶林>杉木林的趋势。具体来说,阔叶林群落的 α 多样性垂直分布表现为灌木层 >乔木层 >草本层,符合亚热带典型阔叶林林下木本植物常拥有较高物种多样性的规律(贺金生等, 1998; 胡正华等, 2003),这可能是由于灌木层除了灌木种类外,还包含了较多的乔木树种的幼树和幼苗(黄忠良等, 2000; 刘蔚秋等, 2003)。杉木林和油茶林的 α 多样性也均表现为林下层大于乔木层。黄忠良等(2000)对鼎湖山植物群落物种多样性进行调查,胡长杏等(2012)对滇池地区人工云南松群落和人工桉树群落的物种多样性进行了调查,物种丰富度均表现为林下层>乔木层,表明亚热带地区森林林下植物多样性较高是各种群落类型的共性。

本研究就 β 多样性而言,阔叶林与油茶林物种组成差异最大。群落间灌木层物种组成的相似性差异明显,杉木林和油茶林的相似性最高,阔叶林和油茶林的相似性最低。三种群落间草本层物种组成的相似性差异明显,杉木林和油茶林之间的相似性最高,阔叶林和杉木林之间的相似性最低。从不同群落置信区间的重叠情况来看,杉木林与阔叶林重叠最多,两者的共有物种可能较多;阔叶林与油茶林没有重叠,二者间共有种可能较少。这也反映了在干扰程度的梯度上,相近干扰的群落具有更相似的物种组成相似性(徐远杰等, 2014),这与上述物种组成分析的结果是一致的。杉木林和油茶林这两种人工林,对于古田山保护区的生物多样性也有一定贡献,并且随着保护区管理的不断完善,一旦当地村民完全放弃对人工林的经营,两种人工林将会朝阔叶林或针阔混交林方向演替。

4 结论

综上所述,不同群落类型间在干扰历史、地形

以及林内环境等方面的不同,可能导致了群落组成、数量特征和生物多样性方面的差异。本研究发现古田山保护区内阔叶林、杉木林和油茶林三种森林群落各个空间层次的群落结构和生物多样性组成上各具特点,阔叶林的木本植物多样性显著高于其他两种森林类型,对区域生物多样性保护发挥主要作用;杉木林处于人工林到次生林的过渡阶段,对物种多样性保护也起到一定作用;油茶林乔木层物种单一,主要体现在对喜光草本植物物种多样性的维持。从油茶林-杉木林-阔叶林,古田山保护区实验区到核心区的森林植被体现出人为干扰程度不断下降的过程,而群落间的差异也与此过程密切相关。

杉木林由于多年疏于管理,已经在向针阔混交林方向演替,由此推断杉木林有恢复成阔叶林的潜力,一旦当地村民完全放弃对人工林的经营,两种人工林将会朝阔叶林或针阔混交林方向演替,群落结构和物种组成将发生较大变化,为古田山地区植被恢复目标的确定起到借鉴作用。考虑到人工林尤其是油茶林对当地社会经济有一定意义,保护区在制定森林管理和生态恢复策略时需要综合考虑当地生态、经济和社会效益的需求(宋永昌,2001),针对人工林和天然林的特点有目的地对其分别进行管理。

致谢 浙江大学王月霞、骆杨青等同学参与野外调查、数据录入等工作,赖正标、赖祯熙等师傅参加野外调查工作,付出辛勤劳动,特此感谢!

参考文献:

- BORCARD D, GILLET F, LEGENDRE P, 2011. Numerical Ecology with R [M]. LAI JS(translator). Beijing: Higher Education Press. [BORCARD D, GILLET F, LEGENDRE P, 2011. 数量生态学 [M]. 赖江山译. 北京:高等教育出版社.]
- CHEN GS, XIE JS, HE ZM, et al, 2001. Changes of species composition as affected by the replacement of broad-leaved community by Chinese fir community [J]. J Zhejiang For Coll, 18(4): 19-23. [陈光水, 谢锦升, 何宗明, 等, 2001. 杉木林取代杂木林后群落物种组成变化 [J]. 浙江林学院学报, 18(4):19-23.]
- FANG SZ, TIAN Y, 2012. The relationship between biodiversity and productivity in the artificial plantation ecosystem [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 36(4): 1-6. [方升佐, 田野, 2012. 人工林生态系统生物多样性与生产力的关系 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 36(4):1-6.]
- GONZALES RS, NAKASHIZUKA T, 2010. Broad-leaf species composition in *Cryptomeria japonica* plantations with respect to distance from natural forest [J]. For Ecol Manag, 259(10):2133-2140.
- HARTLEY MJ, 2002. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests [J]. For Ecol Manag, 155(1-3):81-95.
- HE JS, CHEN WL, LI LH, 1998. Community diversity of the main types of the evergreen broad-leaved forest in the eastern part of the middle subtropical China [J]. Chin J Plant Ecol, 22(4): 16-24. [贺金生, 陈伟烈, 李凌浩, 1998. 中国中亚热带东部常绿阔叶林主要类型的群落多样性特征 [J]. 植物生态学报, 22(4): 16-24.]
- HOLM S, 1979. A simple sequentially rejective multiple test procedure [J]. Scand J Stat, 6(2): 65-77.
- HU CX, PENG MC, WANG CY, et al, 2012. Community structure and soil and water conservation benefits of man-made forests in Dianchi Lake watershed, Yunnan Province of Southwest China [J]. Chin J Ecol, 31(12):3003-3010. [胡长杏, 彭明春, 王崇云, 等, 2012. 滇池流域人工林群落结构及水土保持效益 [J]. 生态学杂志, 31(12):3003-3010.]
- HU ZH, YU MJ, DING BY, et al, 2003. Types of evergreen broad-leaved forests and their species diversity in Gutian Mountain National Nature Reserve [J]. Chin J Appl Environ Biol, 9(4): 341-345. [胡正华, 于明坚, 丁炳扬, 等, 2003. 古田山国家级自然保护区常绿阔叶林类型及其群落物种多样性研究 [J]. 应用与环境生物学报, 9(4):341-345.]
- HUANG ZL, KONG GH, HE DQ, 2000. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve [J]. Acta Ecol Sin, 20(2):193-198. [黄忠良, 孔国辉, 何道泉, 2000. 鼎湖山植物群落多样性的研究 [J]. 生态学报, 20(2):193-198.]
- JIN SH, LOU LH, 2000. Spermatophyta flora of Gutainshan Nature Reserve in Zhejaing [J]. J Beijing For Univ, 22(5):33-39. [金水虎, 楼炉焕, 2000. 浙江古田山自然保护区种子植物区系分析 [J]. 北京林业大学学报, 22(5):33-39.]
- LIN KM, HAUNG BL, 2001. Studies on β -diversity index of undergrowth plant in Chinese fir plantation [J]. Biodivers Sci, 9(2): 157-161. [林开敏, 黄宝龙, 2001. 杉木人工林林下植物物种 β 多样性的研究 [J]. 生物多样性, 9(2): 157-161.]
- LIU WQ, YU SX, WANG YF, et al, 2003. A Comparison between *Cunninghamia lanceolata* plantations and secondary evergreen broadleaf forests at Heishiding Nature Reserve in Western Guangdong [J]. Acta Sci Nat Univ Neimongol, 34(3): 318-324. [刘蔚秋, 余世孝, 王永繁, 等, 2003. 粤西黑石顶自然保护区杉木林与次生常绿阔叶林群落特征比较 [J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 34(3): 318-324.]
- MA KM, 2003. Advances of the study on species abundance pat-

- tern [J]. *Chin J Plant Ecol*, 27(3):412-426. [马克明, 2003. 物种多度格局研究进展 [J]. 植物生态学报, 27(3):412-426.]
- MCGILL BJ, ETIENNE RS, GRAY JS, et al, 2007. Species abundance distributions: moving beyond single prediction theories to integration within an ecological framework [J]. *Ecol Lett*, 10:995-1015.
- MENG QF, 2006. Discussion on effects of plantation on biodiversity conservation [J]. *World For Res*, 19(5): 1-6. [孟庆繁, 2006. 人工林在生物多样性保护中的作用 [J]. 世界林业研究, 19(5):1-6.]
- PENG J, ZHAO YL, XU ZG, et al, 2016. Undergrowth vegetation species diversity survey in *Camellia* (*Camellia oleifera*) secondary forest in Changde [J]. *J Centr S Univ For & Technol*, 36(12): 68-73. [彭姣, 赵运林, 徐正刚, 等, 2016. 常德油茶次生林林下植被物种多样性调查 [J]. 中南林业科技大学学报, 36(12):68-73.]
- PIELOU EC, 1969. An introduction to mathematical ecology [M]. LU ZY (translator). Beijing: Science Press. [PIELOU EC, 1969. 数学生态学引论 [M]. 卢泽愚译. 北京: 科学出版社.]
- SONG YC, 2001. Vegetation ecology [M]. Shanghai: East China Normal University Press. [宋永昌, 2001. 植被生态学 [M]. 上海: 华东师范大学出版社]
- R Development Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, vienna, Austria [EB/OL]. <https://www.r-project.org/>.
- SØRENSEN TA, 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content [J]. *Biol Skr K danske Vidensk Selsk*, 5: 1-34.
- SIMPSON EH, 1949. Measurement of diversity [J]. *Nature*, 163:688.
- SUN DJ, WEN YG, LUO YH, et al, 2015. Effect of close-to-nature management on species diversity in a *Cunninghamia lanceolata* plantation [J]. *For Res*, 28(2): 202-208. [孙冬婧, 温远光, 罗应华, 等, 2015. 近自然化改造对杉木人工林物种多样性的影响 [J]. 林业科学研究, 28(2): 202-208.]
- XU JD, 2014. The 8th forest resources inventory results and analysis in China [J]. *For Econ*, 3: 6-8. [徐济德, 2014. 我国第八次森林资源清查结果及分析 [J]. 林业经济, 3: 6-8.]
- XU YJ, LIN DM, MI XC, et al, 2014. Recovery dynamics of secondary forests with different disturbance intensity in the Gutianshan National Nature Reserve [J]. *Biodivers Sci*, 22(3):358-365. [徐远杰, 林敦梅, 米湘成, 等, 2014. 古田山不同干扰程度森林的群落恢复动态 [J]. 生物多样性, 22(3):358-365.]
- YU MJ, HU ZH, YU JP, et al, 2001. Forest vegetation types in Gutianshan Natural Reserve in Zhejiang [J]. *J Zhejiang Univ (Agric & Life Sci Ed)*, 27(4):23-28. [于明坚, 胡正华, 余建平, 等, 2001. 浙江古田山自然保护区森林植被类型 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 27(4):23-28.]
- YANG QS, MA ZP, XIE YB, et al, 2011. Community structure and species composition of an evergreen broadleaved forest in Tiantong's 20 ha dynamic plot, Zhejiang Province, eastern China [J]. *Biodivers Sci*, 19(2): 215-223. [杨庆松, 马遵平, 谢玉彬, 等, 2011. 浙江天童20ha常绿阔叶林动态监测样地的群落特征 [J]. 生物多样性, 19(2):215-223.]
- ZHANG YH, NIE SQ, WANG ZX, 1999. The influence of gaps to the herb [J]. *Bull Bot Res*, 19(1): 94-99. [张艳华, 聂绍荃, 王志西, 1999. 林隙对草本植物的影响 [J]. 植物研究, 19(1):94-99.]
- ZHU Y, MI XC, REN HB, 2010. Density dependence is prevalent in a heterogeneous subtropical forest [J]. *Oikos*, 119: 109-119.
- ZHU Y, ZHAO GF, ZHANG LW, et al, 2008. Community composition and structure of gutianshan forest dynamic plot in a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, East China [J]. *Chin J Plant Ecol*, 32(2): 262-273. [祝燕, 赵谷风, 张俐文, 等, 2008. 古田山中亚热带常绿阔叶林动态监测样地—群落组成与结构 [J]. 植物生态学报, 32(2): 262-273.]