

• 研究报告 •

浙江省主要亚热带森林群落类型物种和谱系水平的 α 和 β 多样性比较

王月霞¹ 金毅¹ 吴初平^{1,2} 翁东明³ 叶立新⁴ 陈德良⁵
余建平⁶ 刘金亮¹ 仲磊¹ 于明坚^{1*}

1 (浙江大学生命科学院, 杭州 310058)

2 (浙江省林业科学研究院, 杭州 310023)

3 (浙江清凉峰国家级自然保护区管理局, 浙江临安 311300)

4 (浙江凤阳山-百山祖国家级自然保护区凤阳山管理处, 浙江龙泉 323700)

5 (浙江凤阳山-百山祖国家级自然保护区百山祖管理处, 浙江庆元 323800)

6 (浙江古田山国家级自然保护区管理局, 浙江开化 324300)

摘要: 了解不同森林群落类型的物种和谱系水平的 α 和 β 多样性, 有助于指导森林经营和生物多样性保护。本研究比较了浙江省内不同地点主要森林类型(包括常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林和针阔叶混交林)的物种 α 多样性和谱系 α 多样性, 以及物种 β 多样性和谱系 β 多样性。研究表明, 该地区主要森林类型的物种和谱系 α 多样性均存在较大差异, 但控制了空间和地形因子的作用后, 差异几乎全部消失; 森林类型内部及相互间的物种和谱系 β 多样性均存在显著差异, 同种森林类型内部的物种和谱系 β 多样性分别小于不同森林类型之间的物种和谱系 β 多样性, 且在控制了空间和地形因子的作用后, 以上差异仍然显著。本研究表明影响亚热带主要森林群落类型物种和谱系水平的 α 和 β 多样性的因素存在差异: α 多样性可能主要受到空间和地形因子等的影响, 而 β 多样性则可能受到森林类型的重要影响。

关键词: α 多样性; β 多样性; 地形; 经度; 纬度; 自然保护区

Taxonomic and phylogenetic α and β diversities of major subtropical forest community types in Zhejiang Province

Yuexia Wang¹, Yi Jin¹, Chuping Wu^{1,2}, Dongming Wong³, Lixing Ye⁴, Deliang Chen⁵, Jianping Yu⁶, Jinliang Liu¹, Lei Zhong¹, Mingjian Yu^{1*}

1 College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058

2 Zhejiang Forestry Academy, Hangzhou 310023

3 Administration Bureau of Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve, Lin'an, Zhejiang 311300

4 Management Office of Fengyangshan, Fengyangshan-Baishanzu National Nature Reserve, Longquan, Zhejiang 323800

5 Management Office of Baishanzu, Fengyangshan-Baishanzu National Nature Reserve, Qingyuan, Zhejiang 323800

6 Administration Bureau of Zhejiang Gutianshan National Nature Reserve, Kaihua, Zhejiang 324300

Abstract: Knowledge of taxonomic and phylogenetic α and β diversities of different forest types is critical to improving our understanding of forests and their structure, which can guide forest management and biodiversity conservation. In this study, we investigated the taxonomic and phylogenetic α (Shannon-Wiener index and PSV (phylogenetic species variability) diversity, respectively) and β (Chao's index and PCDp (phylogenetic community dissimilarity among nonshared species) diversity, respectively) diversities of four main forest types, including evergreen broad-leaved forest (EBLF), evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest (EDBLF), deciduous broad-leaved forest (DBLF), and coniferous and broad-leaved mixed forest

收稿日期: 2016-04-29; 接受日期: 2016-08-10

基金项目: 浙江省科技计划(2015C02016)和浙江省自然科学基金(LY16C160003)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: fishmj@zju.edu.cn

(CBLF) in Zhejiang Province. α diversity represents biodiversity within a single forest plot; β diversity is divided into two levels. One is the β diversity between forest plots within a single forest type (intra-forest type β diversity), and the other the β diversity between forest plots from different forest types (inter-forest type β diversity). We found that the taxonomic and phylogenetic α diversities differed among forest types. However, when the geographical and topographical variables were taken into account, these differences largely disappeared. We also found the intra- and inter-forest type β diversities greatly differed, and the overall intra-forest type β diversity was lower than inter-forest type β diversity, regardless of whether geographical and topographical variables were controlled. These results suggest the controlling factors of taxonomic and phylogenetic α and β diversities differ in the studied subtropical forest types. Geographical and topographical variables may play critical roles in influencing forest taxonomic and phylogenetic α diversities, whereas forest type is largely responsible for forest taxonomic and phylogenetic β diversities.

Key word: α diversity; β diversity; topography; longitude; latitude; nature reserve

我国亚热带地区地域广阔,其地带性植被为常绿阔叶林,但因纬度、海拔、地形、干扰等因素的影响,分布着多种森林类型,包括常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林以及针阔叶混交林等,它们构成了亚热带森林生物多样性的主体(吴征镒, 1995; 陈灵芝等, 1997; 宋永昌, 1999)。

森林生物多样性可能受到多种因素影响(宋凯等, 2011; Qian et al, 2014; 丁洪波等, 2015)。大量研究显示,空间距离和环境异质性可以通过影响物种形成、扩散和生态位过程等,对森林的物种和谱系水平的多样性等产生重要影响(Kembel & Hubbell, 2006; Legendre et al, 2009; Liu et al, 2013; Shen et al, 2013; Qian et al, 2014)。通常,随着空间尺度增大,生态位过程对于森林生物多样性的作用变得更明显,而扩散过程作用变得更不明显(Chave, 2009; Arellano et al, 2015; Tello et al, 2015)。相关研究大都集中在分解上述各类过程的相对作用大小(如Jones et al, 2008; López-Martínez et al, 2013; Myers et al, 2013; Arellano et al, 2015),而忽略了森林在空间尺度和环境梯度上可能快速过渡为不同的群落类型(Whittaker & Niering, 1965; 宋永昌, 1999; Beckage et al, 2008)。迄今为止,关于独立于空间和环境异质性的群落类型对于生物多样性影响的研究很少。认识不同森林群落类型的生物多样性分布格局及其影响因素,有助于加深对地区性森林生物多样性的分布情况及形成机制的了解,为生物多样性保护提供科学依据。

物种和谱系水平的多样性是森林生物多样性的两个重要维度;本研究拟从这两个维度出发,以分布于浙闽赣皖交界山地浙江境内的多个国家级

自然保护区的上述4类森林群落为对象,分析该地区主要森林群落类型物种和谱系水平的 α 和 β 多样性格局及其影响因素,探讨以下科学问题: (1)亚热带主要森林群落的物种和谱系 α 多样性是否存在差异? (2)同种森林类型内部以及不同森林类型之间的物种和谱系 β 多样性是否存在差异? (3)不同森林类型之间的物种和谱系 β 多样性是否高于同类森林的物种和谱系 β 多样性? (4)在控制了地理和地形等因素后,各森林群落类型的物种和谱系水平的 α 和 β 多样性差异是否仍然存在?

1 材料与方法

1.1 研究地点

浙闽赣皖交界山地是我国生物多样性保护的关键区域之一(中华人民共和国国家环境保护局, 1998)。本研究的森林群落样地设置在该区域的浙江省境内,涉及乌岩岭、百山祖、凤阳山、九龙山、古田山、清凉峰、天目山和龙王山等8个国家级自然保护区(图1),其中龙王山保护区已更名为浙江安吉小鲵(*Hynobius amjiensis*)保护区。该区域属亚热带季风气候,四季分明,降雨集中在3–6月;年降水量980–2,000 mm;年均气温15–18℃;年日照时数1,710–2,100 h (www.weather.com.cn)。

1.2 样地设置及调查

在各保护区的典型森林类型中,尽量按照正南–正北方向划定3个投影面积为1 ha (100 m × 100 m)的样地,在每个样地东北–西南或西北–东南角落上设置两个30 m × 30 m样方,对这两个样方进行群落调查,测量样方内所有胸径(DBH) ≥ 1 cm植株的胸径,鉴定物种,测定坐标并编号(Condit, 1998)。每

个保护区共调查6个30 m × 30 m的样方。在样地中心点使用GPS仪测定其经纬度; 使用海拔仪测定海拔; 使用罗盘仪测定坡向和坡度。再将每个30 m × 30 m的样方划分为36个5 m × 5 m的小样方, 根据物种在样方中的相对多度、相对优势度以及在小样方中出现的相对频度计算物种重要值。根据物种重要值并结合群落外貌判定群落类型, 其中16个为常绿阔叶林, 8个为常绿落叶阔叶混交林, 15个为落叶阔叶林, 9个为针阔叶混交林(附录1)。

1.3 谱系树构建

物种定名参考《中国在线植物志》(www.eflora.cn/)以及《浙江种子植物检索鉴定手册》(郑朝宗, 2005), 并根据TPL (the Plant List)网站(www.theplantlist.org/)对定名进行规范。谱系树构建参考Qian和Jin (2016)中的“scenario 3”方法, 相当于BLADJ (branch length adjuster)方法(Webb et al, 2008)。对于所研究森林中的裸子植物, 由于其谱系支长过长, 影响群落谱系结构的分析, 且其物种数(在所有森林群落类型中为3%; 在针阔叶混交林群

落中为10.7%)和个体数(在所有森林群落类型中为1.6%; 在针阔叶混交林群落中为13%)均占绝对少数, 所以与以往大多数研究(如Letcher, 2010; Jin et al, 2015)一样, 本研究去除了裸子植物。此外, 本研究中物种以下的分类单位被合并到物种水平, 最终构建的谱系树包含了369个物种。

1.4 统计方法

采用Shannon-Wiener指数估计物种的 α 多样性。采用独立于物种 α 多样性的PSV (phylogenetic species variability)指数判断谱系 α 多样性(Helmus et al, 2007)。采用Wilcoxon秩和检验分析不同森林类型的物种和谱系 α 多样性差异, 多重比较的 P 值采用错误发现率(false discovery rate, FDR)调整(Liu et al, 2012)。由于本研究的森林分布于不同空间尺度(包括保护区之间和保护区内部), 且空间及地形条件存在较大差异, 因此采用线性混合效应模型(linear mixed effects model, LMM)控制各类因素对于物种和谱系 α 多样性的影响(Bolker et al, 2009), 以分析独立于空间和地形因素的森林类型本身对于物种和谱系 α 多样性的影响。模型的固定效应因子为森林类型、经纬度、海拔、坡度和坡向(表1); 随机效应因子包括保护区以及嵌套于其内的样地。其中, 由于坡向为一个环状变量, 因此被分解为南北和东西两个分量(Legendre et al, 2009; de Cáceres et al, 2012)。

采用Chao's指数来估计各样地间森林的物种 β 多样性(Chao et al, 2006; 卢品等, 2013)。采用独立于物种 β 多样性的PCDp (phylogenetic community dissimilarity among nonshared species)指数来分析谱系 β 多样性(Ives & Helmus, 2010)。使用非度量多维标度排序(Non-metric Multidimensional Scaling, NMDS)来分析各样地森林物种和谱系 β 多样性的分布。采用Wilcoxon秩和检验来分析同种森林类型内部和不同森林类型之间的物种和谱系 β 多样性差异, 多重比较的 P 值采用错误发现率调整。采用线性混合效应模型控制空间和地形因子对物种和谱系 β 多样性的影响, 以了解森林类型本身对于物种和谱系 β 多样性的影响。包括同种森林类型内部 β 多样性的差异、不同森林类型间 β 多样性的差异, 以及同种森林类型与不同森林类型间 β 多样性的差异。其中, 模型的固定效应因子为森林类型、经纬度、海拔、坡度和坡向; 随机效应因子包括配对保护区以及嵌套

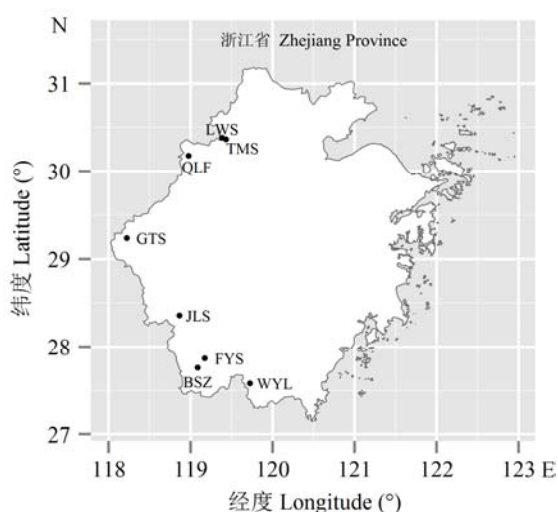


图1 研究地点的地理分布图。WYL: 乌岩岭; BSZ: 百山祖; FYS: 凤阳山; JLS: 九龙山; GTS: 古田山; QLF: 清凉峰; TMS: 天目山; LWS: 龙王山。

Fig. 1 Geographic locations of the studied reserves. WYL, Wuyanling (119.641°–119.691° E, 27.667°–27.728° N); BSZ, Baishanzu (119.129°–119.322° E, 27.629°–27.842° N); FYS, Fengyangshan (119.100°–119.250° E, 27.767°–27.967° N); JLS, Jiulongshan (118.817°–118.917° E, 28.317°–28.400° N); GTS, Gutianshan (118.064°–118.187° E, 29.172°–29.295° N); TMS, Tianmushan (119.403°–119.453° E, 30.308°–30.360° N); QLF, Qingliangfeng (118.867°–119.183° E, 30.083°–30.283° N); LWS, Longwangshan (119.404°–119.438° E, 30.375°–30.417° N).

表1 本研究所使用参数汇总
Table 1 Summary of the variables used in this study

变量类型	描述	
Variable type	Description	
分类变量	类别	
	Category	
	常绿阔叶林	Evergreen broad-leaved forest (EBLF)
	常绿落叶阔叶混交林	Evergreen deciduous broad-leaved mixed forest (EDBLF)
	落叶阔叶林	Deciduous broad-leaved forest (DBLF)
森林类型	针阔叶混交林	
	Coniferous broad-leaved mixed forest (CBLF)	
	范围	
	Range	平均值
	Mean	
连续变量	范围	
Continuous variable (unit)	Range	Mean
经度 Longitude (°)	118.06–119.67	119.63
纬度 Latitude (°)	27.54–30.40	28.95
海拔 Elevation (m)	363–1,54	974.08
坡度 Slope (°)	10.2–45	30.36
坡向 Aspect (°)	5.0–358.6	172.5

于其内的配对样地。

以上所有分析均在R 3.2.4中进行(R Core Team, 2016)。物种定名规范使用Taxonstand软件包中的TPL函数进行(Cayuela & Oksanen, 2016); 物种多样性的计算采用vegan软件包中的diversity和vegdist函数(Oksanen et al, 2016); 谱系多样性的计算采用

picante 软件包中的psv和pcd函数(Kembel et al, 2010); NMDS采用vegan软件包中的metaMDS函数(Oksanen et al, 2016); 线性混合效应模型采用lme4软件包中的lmer函数(Bates et al, 2015), 其固定效应的P值计算采用afex软件包中的mixed函数(Singmann et al, 2016)。

2 结果

不同森林类型的物种和谱系α多样性具有显著差异(图2)。其中, 常绿阔叶林的物种多样性显著高于其他3种类型(图2A); 而落叶阔叶林和常绿落叶阔叶混交林的谱系多样性则显著高于其他2种类型(图2B)。控制空间及各种地形因子作用后, 不同森林类型的物种和谱系α多样性差异几乎全部消失, 仅有落叶阔叶林的谱系α多样性仍明显高于常绿阔叶林(表2)。

NMDS分析发现, 同种森林类型内部及不同森林类型相互间的物种和谱系β多样性存在较大差异(图3)。其中, 物种β多样性分布格局大致是: 常绿阔叶林和针阔叶混交林交错且分布比较集中, 常绿落叶阔叶混交林介于前两种类型与落叶阔叶林之间, 且常绿落叶阔叶混交林与落叶阔叶林的分布较为

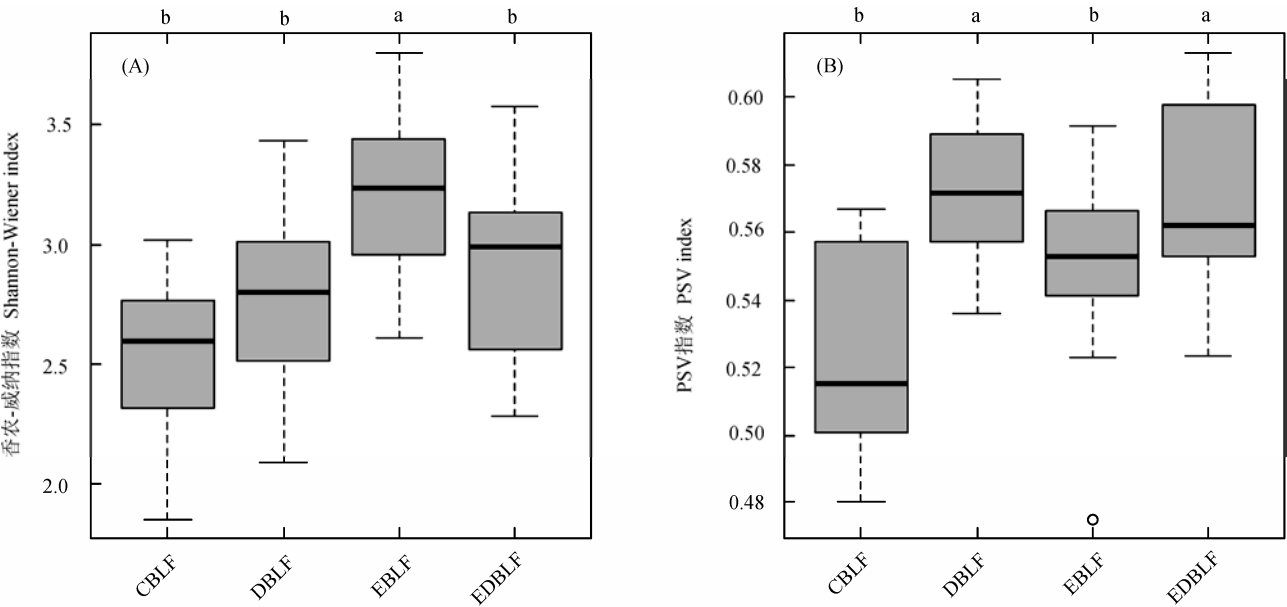


图2 不同森林类型间物种(A)与谱系(B) α多样性比较。不同小写字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。CBLF、DBLF、EBLF和EDBLF的含义见表1。

Fig. 2 Comparisons of taxonomic (A) and phylogenetic (B) α diversities among forest types. Different lower case letters indicate significant differences ($P < 0.05$). PSV, Phylogenetic species variability. See Table 1 for the key to CBLF, DBLF, EBLF and EDBLF.

表2 不同森林类型间物种和谱系 α 多样性差异的线性混合效应模型结果
Table 2 Linear mixed effects model results for the differences in taxonomic and phylogenetic α diversities among forest types

	Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index	PSV指数 PSV index
常绿阔叶林vs.常绿落叶阔叶混交林 EBLF vs. EDBLF	-0.128	-0.019
常绿阔叶林vs.落叶阔叶林 EBLF vs. DBLF	-0.042	-0.042*
常绿阔叶林vs.针阔叶混交林 EBLF vs. CBLF	0	-0.031
常绿落叶阔叶林vs.落叶阔叶林 EDBLF vs. DBLF	-0.111	0.006
常绿落叶阔叶混交林vs.针阔叶混交林 EDBLF vs. CBLF	0.278	0.027
落叶阔叶林vs.针阔叶混交林 DBLF vs. CBLF	0.328	0.019

CBLF、DBLF、EBLF和EDBLF的含义见表1。*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$.
See Table 1 for the key to CBLF, DBLF, EBLF and EDBLF. PSV, Phylogenetic species variability.

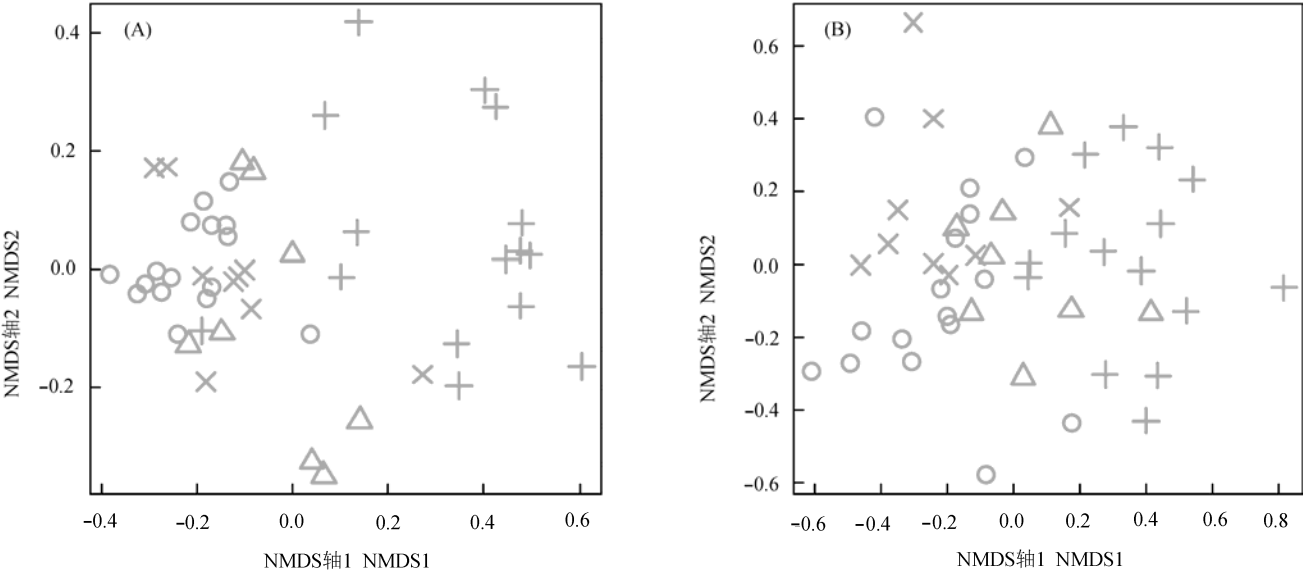


图3 研究区森林物种(A)和谱系(B) β 多样性的非度量多维标度排序(NMDS)排序结果。○表示常绿阔叶林, △表示常绿落叶阔叶混交林, ×表示针阔叶混交林, +表示落叶阔叶林。
Fig. 3 Non-metric Multidimensional Scaling (NMDS) result of taxonomic (A) and phylogenetic (B) β diversities of the studied forests. ○, Evergreen broad-leaved forest (EBLF); △, Evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest (EDBLF); ×, Coniferous and broad-leaved mixed forest (CBLF); +, Deciduous broad-leaved forest (DBLF).

发散(图3A); 谱系 β 多样性分布格局与物种 β 多样性格局很相似(图3B)。

对两个层次的 β 多样性的具体分析发现: 同种森林类型内部的物种和谱系 β 多样性大多有显著差异。其中, 落叶阔叶林内部的物种和谱系 β 多样性均最大, 其他3类森林的物种和谱系 β 多样性大小排序则有差别, 但组间大多存在显著差异(图4), 且在控制了空间和地形因素作用后, 差异仍然十分显著(表3)。不同森林类型之间的物种和谱系 β 多样性也

多具有显著差异。其中, 常绿阔叶林与落叶阔叶林之间的物种和谱系 β 多样性差异均最大; 而常绿阔叶林与针阔叶混交林之间的物种和谱系 β 多样性差异均最小; 其他群落类型间的差异则处于中间(图5)。在控制了空间和地形因子作用后, 差异更加显著, 只有较少情况例外(表4)。同种森林类型内部的物种和谱系 β 多样性显著小于不同森林类型之间, 且在控制了空间和地形因子作用后, 差异仍然显著(图6)。

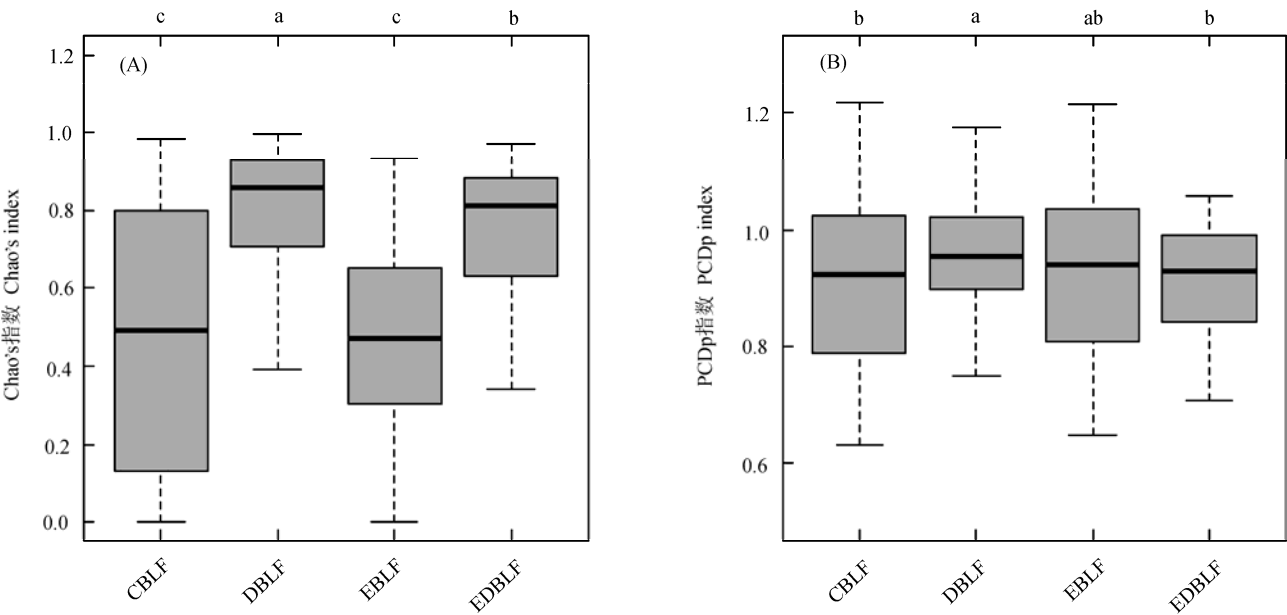


图4 同种森林类型内部的物种(A)与谱系(B) β 多样性。不同小写字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。CBLF、DBLF、EBLF和EDBLF的含义见表1。
Fig. 4 Taxonomic (A) and phylogenetic (B) β diversities within forest types. Different lower case letters indicate significant differences ($P < 0.05$). PCDp, Phylogenetic community dissimilarity among nonshared species. See Table 1 for the key to CBLF, DBLF, EBLF and EDBLF.

表3 同种森林类型内部物种和谱系 β 多样性差异的线性混合效应模型结果
Table 3 Mixed effects model results for the differences in taxonomic and phylogenetic β diversities within forest types

	Chao's指数 Chao's index	PCDp指数 PCDp index
常绿阔叶林vs.常绿落叶阔叶混交林 EBLF vs. EDBLF	-0.073	0.006
常绿阔叶林vs.落叶阔叶林 EBLF vs. DBLF	-0.256***	-0.018*
常绿阔叶林vs.针阔叶混交林 EBLF vs. CBLF	-0.038	-0.129*
常绿落叶阔叶混交林vs.落叶阔叶林 EDBLF vs. DBLF	-0.13*	-0.067**
常绿落叶阔叶混交林vs.针阔叶混交林 EDBLF vs. CBLF	0.244**	-0.044
落叶阔叶林vs.针阔叶混交林 DBLF vs. CBLF	0.315***	0.02

CBLF、DBLF、EBLF和EDBLF的含义见表1。*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$ 。
See Table 1 for the key to CBLF, DBLF, EBLF and EDBLF. PCDp, Phylogenetic community dissimilarity among nonshared species.

3 讨论

我国亚热带地区森林群落类型多样, 对于该地区自然生态系统功能的维持具有重要意义(赵同谦等, 2004)。本研究发现浙闽赣皖交界山地浙江省境内地区森林群落的物种和谱系水平的 α 及 β 多样性分布格局受到群落类型、空间和地形等因素影响。

3.1 物种及谱系 α 多样性

常绿阔叶林是我国亚热带地区最主要的森林群落类型, 生物多样性水平较高(宋永昌, 2013)。本

研究也发现常绿阔叶林的物种 α 多样性显著高于其他3类森林群落, 但其谱系 α 多样性却较低。由于PSV指数衡量的是谱系发散情况, 常绿阔叶林较低的谱系 α 多样性表示其谱系组成较聚集, 所含分类单元(即物种)间的亲缘关系较近, 揭示常绿阔叶林群落可能具有较高的分化速率(diversification rate)(Xiang et al, 2004)。相对而言, 落叶阔叶林的物种 α 多样性低而谱系 α 多样性高, 表明落叶阔叶林所含分类单元间的亲缘关系较远。这或许是由于本研究所在的亚热带区域中, 落叶阔叶林群落多处于较寒

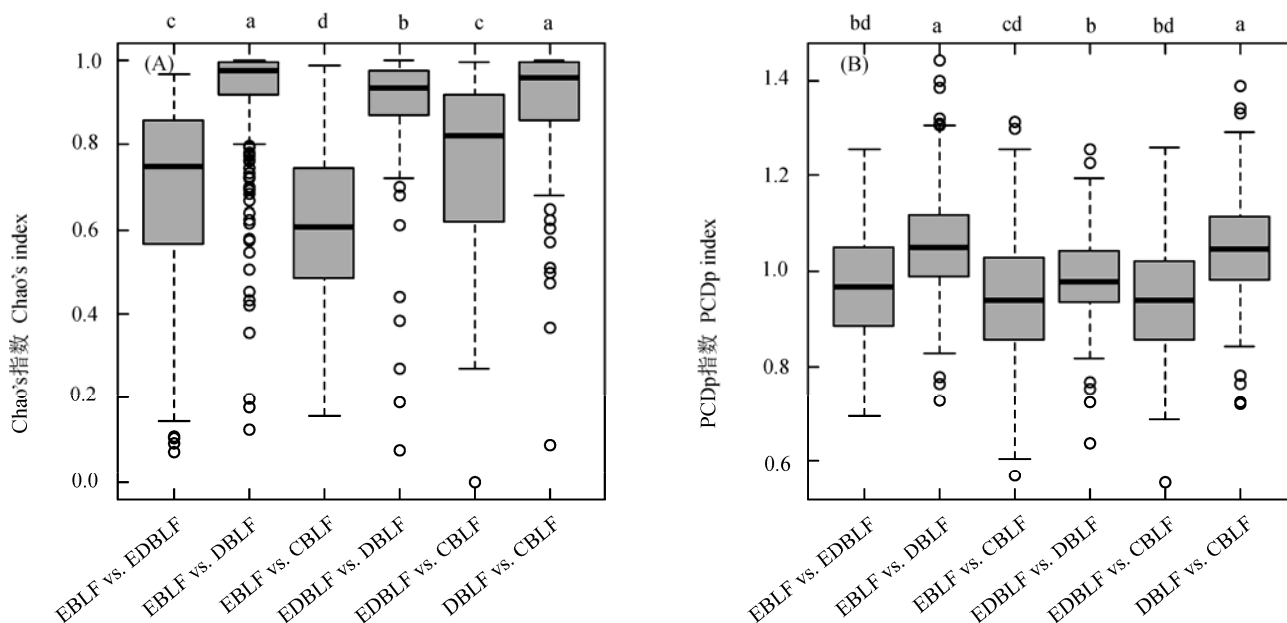


图5 不同森林类型之间的物种(A)与谱系(B) β 多样性比较。不同小写字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。“vs.”表示前后两种森林类型间的 β 多样性。CBLF、DBLF、EBLF和EDBLF的含义见表1。

Fig. 5 Comparisons of the taxonomic (A) and phylogenetic (B) β diversities between forest types. Different lower case letter indicate significant difference ($P < 0.05$). “vs.” indicates the β diversity between forest types on its both sides. See Table 1 for the key to CBLF, DBLF, EBLF and EDBLF. PCDp, Phylogenetic community dissimilarity among nonshared species.

冷、气候季节变化明显的较高纬度地区(30°N 以北)的中山地带(海拔1,000 m以上)(Fang et al, 1996; 刘亚兰等, 2010); 而广泛存在的受到气温等因素限制的 γ 生态位保守性(Wiens & Graham, 2005; Silvertown et al, 2006; Zanne et al, 2015)又导致了本地区低海拔温暖环境中的木本被子植物较难形成适应中山地带季节变化明显且冬季寒冷环境(如冬季长时间冰冻)的有效对策(Zanne et al, 2015), 因此导致了落叶阔叶林的低物种 α 多样性, 同时也造成了常绿阔叶林和落叶阔叶林在物种和谱系 α 多样性上的显著差异。

在区域尺度上, 常绿落叶阔叶混交林可能是纬度梯度上常绿阔叶林和落叶阔叶林的过渡类型(Kira, 1991; 宋永昌, 1999); 在局域尺度上, 常绿落叶阔叶林也可能是海拔和其他地形因子梯度上分别与落叶阔叶林和常绿阔叶林相关的一种特殊类型的森林群落(Fang et al, 1996; 于明坚等, 2001; 刘亚兰等, 2010); 也可能是向地带性植被常绿阔叶林演替过程中的不稳定森林类型(宋永昌, 1999)。本研究中的常绿落叶阔叶混交林分布范围在海拔500–1,100 m之间, 环境条件介于常绿阔叶林地带

和落叶阔叶林地带之间, 其物种库也许同时包含常绿阔叶林和落叶阔叶林来源, 导致其物种和谱系 α 多样性处于常绿阔叶林和落叶阔叶林之间。而针阔叶混交林的物种和谱系 α 多样性均较低, 部分原因可能是由于本研究的部分针阔叶混交林群落处于演替早期阶段, 而以往研究显示本地区演替早期阶段森林的物种和谱系 α 多样性一般较低(Bruelheide et al, 2011; Feng et al, 2014)。

当控制空间和地形等因素的影响后, 不同森林群落类型之间的物种和谱系 α 多样性差异几乎全部消失, 说明各种森林群落的物种和谱系 α 多样性受到扩散和生态位过程等的重要影响(Legendre et al, 2009)。但值得注意的是, 常绿阔叶林和落叶阔叶林间的差异仍然很显著(表2), 这反映了进化历史或者其他未知因素也对本地区某些森林群落类型的物种和谱系 α 多样性的形成发挥着重要作用。

3.2 物种及谱系 β 多样性

同种森林群落类型内部及不同森林群落间的谱系 β 多样性存在显著差异, 反映了不同森林类型各自具有独特的物种和谱系组成, 这对维持该区域森林的物种和谱系 γ 多样性具有不可替代的意义。

表4 不同森林类型之间物种和谱系β多样性差异的线性混合效应模型结果
Table 4 Linear mixed effects model results for the differences in taxonomic and phylogenetic β diversities between forest types

	Chao's指数 Chao's index	PCDp指数 PCDp index
常绿阔叶林/常绿落叶阔叶混交林vs.常绿阔叶林/落叶阔叶林 EBLF / EDBLF vs. EBLF / DBLF	-0.135***	-0.09***
常绿阔叶林/常绿落叶阔叶混交林vs.常绿阔叶林/针阔叶混交林 EBLF / EDBLF vs. EBLF / CBLF	0.06	0.063**
常绿阔叶林/常绿落叶阔叶混交林vs.常绿落叶阔叶混交林/落叶阔叶林 EBLF / EDBLF vs. EDBLF / DBLF	0.146***	-0.021
常绿阔叶林/常绿落叶阔叶混交林vs.常绿落叶阔叶混交林/针阔叶混交林 EBLF / EDBLF vs. EDBLF / CBLF	-0.052	0.033
常绿阔叶林/常绿落叶阔叶混交林vs.落叶阔叶林/针阔叶混交林 EBLF / EDBLF vs. DBLF / CBLF	-0.154***	-0.012
常绿阔叶林/落叶阔叶林vs.常绿阔叶林/针阔叶混交林 EBLF / DBLF vs. EBLF / CBLF	0.052*	0.115***
常绿阔叶林/落叶阔叶林vs.常绿落叶阔叶混交林/落叶阔叶林 EBLF / DBLF vs. EDBLF / DBLF	-0.021*	0.059***
常绿阔叶林/落叶阔叶林vs.常绿落叶阔叶混交林/针阔叶混交林 EBLF / DBLF vs. EDBLF / CBLF	0.055*	0.114***
常绿阔叶林/落叶阔叶林vs.落叶阔叶林/针阔叶混交林 EBLF / DBLF vs. DBLF / CBLF	0.019	0.01
常绿阔叶林/针阔叶混交林vs.常绿落叶阔叶混交林/落叶阔叶林 EBLF / CBLF vs. EDBLF / DBLF	-0.141***	-0.056*
常绿阔叶林/针阔叶混交林vs.常绿落叶阔叶混交林/针阔叶混交林 EBLF / CBLF vs. EDBLF / CBLF	-0.063**	-0.01
常绿阔叶林/针阔叶混交林vs.落叶阔叶林/针阔叶混交林 EBLF / CBLF vs. DBLF / CBLF	-0.192***	-0.132***
常绿落叶阔叶混交林/落叶阔叶林vs.常绿落叶阔叶混交林/针阔叶混交林 EDBLF / DBLF vs. EDBLF / CBLF	0.064*	0.067**
常绿落叶阔叶混交林/落叶阔叶林vs.落叶阔叶林/针阔叶混交林 EDBLF / DBLF vs. DBLF / CBLF	0.064*	-0.005
常绿落叶阔叶混交林/针阔叶混交林vs.落叶阔叶林/针阔叶混交林 EDBLF / CBLF vs. DBLF / CBLF	-0.079**	-0.112***

CBLF、DBLF、EBLF和EDBLF的含义见表1。*, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$.
See Table 1 for the key to CBLF, DBLF, EBLF and EDBLF. PCDp, Phylogenetic community dissimilarity among nonshared species.

同种群落类型内部的物种和谱系β多样性间的差异表现为落叶阔叶林最发散, Wilcoxon秩和检验也证实了这一点(图4); 而其他群落类型则较小(图3)。在控制了空间和地形等因素的作用后, 落叶阔叶林的物种和谱系β多样性仍然较高(表3), 原因可能是由于本研究区域的落叶阔叶林群落主要分布在较高纬度地区的中山地带及以上, 在地区性的山地景观尺度上为片断化分布, 即使是在同一空间距离上, 其物种交流也较其他类型的森林群落所受到的限制更大; 同时, 地理隔离也可能导致不同落叶阔叶林物种具有各自较为独特的进化历史(Cun & Wang, 2010)。该结果表明本研究所在亚热带区域的落叶阔叶林群落具有较大保护价值。

在图3中, 常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林到

落叶阔叶林在NMDS轴1上的分布均呈现出方向性的特点, 图6和表3证实了三者间的物种和谱系β多样性的变化趋势, 显示了该三类森林群落间在物种和谱系组成上的过渡性, 这与其森林外貌的过渡性特点是一致的, 也与其在局域环境(如地形和海拔)梯度上的分布特征一致(于明坚等, 2001; 刘亚兰等, 2010)。在温暖的低海拔地带的地形梯度上, 存在着一种群落类型梯度, 表现为山脊分布着针阔叶混交林, 沟谷地带生长着常绿落叶阔叶混交林, 而常绿阔叶林则占据着从沟谷到山脊的宽阔区域(于明坚等, 2001)。在海拔梯度上存在着另一种群落类型梯度, 表现为在低山地带以常绿阔叶林占优势, 随着海拔升高, 常绿落叶阔叶混交林开始出现, 而海拔继续升高到较寒冷的中山地带后, 落叶阔叶林和针

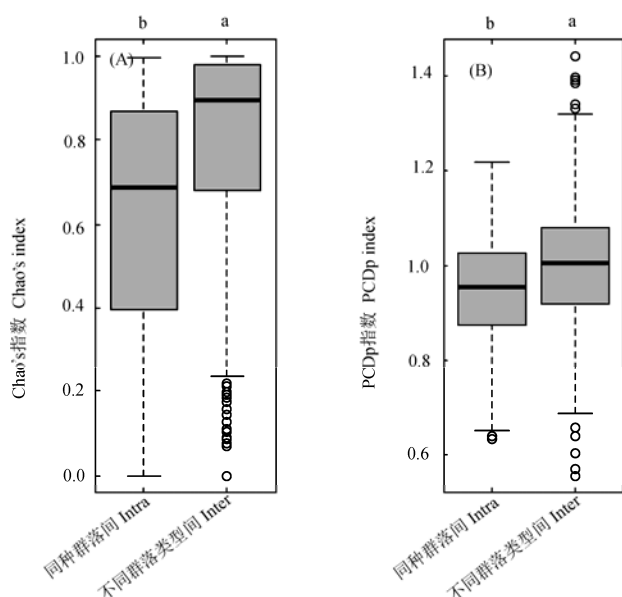


图6 森林群落类型内部及相互间的物种(A)与谱系(B) β 多样性比较。使用线性混合效应模型控制了空间和环境因素的影响后, 两个组间的差异仍然显著($P < 0.05$)。柱形上方若不存在相同英文字母, 表示组间有显著差异($P < 0.05$)。“同种群落间”指同种森林群落间的 β 多样性, “不同群落类型间”指不同森林群落类型之间的 β 多样性。

Fig. 6 Comparisons of the taxonomic (A) and phylogenetic (B) β diversities within and between forest types. When the spatial and environmental variables effects were controlled in linear mixed effects model, differences between the two paired groups were still significant ($P < 0.05$ in both cases). Boxes with different lower case letter indicate significant difference ($P < 0.05$). “Intra” represents β diversity between communities from the same forest type, “Inter” represents β diversity between communities from different forest types. PCDp, Phylogenetic community dissimilarity among nonshared species.

阔叶混交林开始成为常见的群落类型(于明坚等, 2001; 刘亚兰等, 2010)。值得注意的是, 两种系列的常绿落叶阔叶混交林在物种组成上具有较明显的差异(于明坚等, 2001)。本研究中的常绿落叶阔叶混交林广泛分布在500–1,100 m的海拔范围, 因此可能来源于上述两种梯度, 同时受到常绿阔叶林和落叶阔叶林的影响, 从而导致其在物种和谱系组成上与前两类森林群落均相似。

控制了空间和地形等因素作用后, 多个森林群落类型之间的物种和谱系 β 多样性差异仍然显著, 说明进化历史对于区域尺度的森林 β 生物多样性格局起着重要影响。值得注意的是, 常绿阔叶林和落叶阔叶林之间在物种和谱系组成上呈现出显著的差异, 表明两类森林的物种较难进行交流, 由于这

两类森林处于地区性环境梯度的两端, 该结果进一步支持与气温等因素相关的 γ 生态位保守的假说(Wiens & Graham, 2005; Zanne et al, 2015)。

图5显示常绿阔叶林与针阔叶混交林间的物种和谱系 β 多样性较低, 表明组成针阔叶混交林群落的种子植物也多出现在常绿阔叶林中, 同时Wilcoxon秩和检验结果也支持针阔叶混交林与常绿阔叶林之间的物种和谱系组成差异较小。这一现象可能是由于本研究的针阔叶混交林大多位于凤阳山保护区(附录1), 该保护区纬度低, 气候季节变化小, 区内甜槠(*Castanopsis eyeri*)-木荷(*Schima superba*)常绿阔叶林分布海拔上限可达到1,100–1,200 m(程秋波等, 1996; 刘亚兰等, 2010), 同时, 木荷和甜槠等常绿阔叶种也大量出现于凤阳山的样地中, 说明针阔叶混交林和常绿阔叶林之间的物种扩散较频繁。另一方面, 其他位于低山地带的针阔叶混交林也常与常绿阔叶林在地形梯度上毗邻存在。

从图3中可以看出, 同种类型的森林间有微弱的聚集趋势, 通过Wilcoxon秩和检验证实了同种森林类型内部的物种和谱系 β 多样性均小于不同森林类型间这一推断(图6), 表明群落类型划分能够在一定程度上反映物种和谱系组成, 也说明了传统的基于森林群落类型的森林管理对于生物多样性保护具有较大意义。

本研究结果表明, 浙江省内亚热带森林的物种和谱系 α 多样性可能主要受到扩散和生态位过程等的影响; 而物种和谱系 β 多样性可能受到进化历史, 即森林类型分化的重要影响。本研究区域的主要亚热带森林类型(常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林和针阔叶混交林)各自具有其独特的物种和谱系水平的 α 和 β 多样性, 因而也应该具有独特的生态系统功能, 对于维持该区域生态系统的稳定性发挥着不可替代的作用。

参考文献

- Arellano G, Tello JS, Jørgensen PM, Fuentes AF, Loza MI, Torrez V, Macía MJ (2015) Disentangling environmental and spatial processes of community assembly in tropical forests from local to regional scales. *Oikos*, 51, 327–335.
- Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67, 1–48.
- Beckage B, Osborne B, Gavin DG, Pucko C, Siccama T, Per-

- kins T (2008) A rapid upward shift of a forest ecotone during 40 years of warming in the green mountains of Vermont. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 105, 4197–4202.
- Bolker BM, Brooks ME, Clark CJ, Geange SW, Poulsen JR, Stevens MHH, White JSS (2009) Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 24, 127–135.
- Bruehlheide H, Böhnke M, Both S, Fang T, Assmann T, Baruffol M, Bauhus J, Buscot F, Chen XY, Ding BY, Durka W, Erfmeier A, Fischer M, Geißler C, Guo DL, Guo LD, Härdtle W, He JS, Hector A, Kröber W, Kühn P, Lang AC, Nardowski K, Pei KQ, Scherer-Lorenzen M, Shi XZ, Scholten T, Schuldt A, Trogisch S, von Oheimb G, Welk E, Wirth C, Wu YT, Yang XF, Zeng XQ, Zhang SR, Zhou HZ, Ma KP, Schmid B (2011) Community assembly during secondary forest succession in a Chinese subtropical forest. *Ecological Monographs*, 81, 25–41.
- Cayuela L, Oksanen J (2016) Taxonstand: Taxonomic Standardization of Plant Species Names. R package Version 1.8. <https://CRAN.R-project.org/package=Taxonstand> (accessed on 2016-04-14)
- Chao A, Chazdon RL, Colwell RK, Shen TJ (2006) Abundance-based similarity indices and their estimation when there are unseen species in samples. *Biometrics*, 62, 361–371.
- Chave J (2009) Spatial variation in tree species composition across tropical forests: pattern and process. In: *Tropical Forest Community Ecology* (eds Carson WP, Schnitzer S), pp. 11–30. Wiley/Blackwell, Hoboken, NJ, USA.
- Chen LZ, Chen QL, Liu WH (1997) *Forest Diversity and Its Geographical Distribution in China*. Science Press, Beijing. [陈灵芝, 陈清朗, 刘文华 (1997) 中国森林多样性及其地理分布. 科学出版社, 北京.]
- Cheng QB, Wu MX, Chen HT (1996) Comprehensive observations report on Fengyangshan-Baishanzu Nature Reserve of Zhejiang. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 16(6), 1–7. (in Chinese) [程秋波, 吴鸣翔, 陈豪庭 (1996) 浙江凤阳山–百山祖自然保护区综合考察报告. 浙江林业科技, 16(6), 1–7.]
- Condit R (1998) *Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and A Comparison with Other Plots*. Springer Science and Business Media, Berlin, Germany.
- Cun YZ, Wang XQ (2010) Plant recolonization in the Himalaya from the Southeastern Qinghai-Tibetan Plateau: geographical isolation contributed to high population differentiation. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 56, 972–982.
- de Cáceres M, Legendre P, Valencia R, Cao M, Chang LW, Chuyong G, Condit R, Hao ZQ, Hsieh CF, Hubbell S, Kenfack D, Ma KP, Mi XC, Noor MNS, Kassim AR, Ren HB, Su SH, Sun IF, Thomas D, Ye WH, He FL (2012) The variation of tree beta diversity across a global network of forest plots. *Global Ecology and Biogeography*, 21, 1191–1202.
- Ding HB, Wu ZL, Lü DP, Wu QJ, Shan MY, Bai HT, Luo K (2015) Community phylogenetic structural characteristics of various secondary forests in mountainous Eastern Yunnan. *Chinese Journal of Ecology*, 34, 2720–2726. (in Chinese with English abstract) [丁洪波, 吴兆录, 吕东蓬, 武秋君, 单梦颖, 白皓天, 罗康 (2015) 云南东部山区不同类型次生林群落谱系结构特征. 生态学杂志, 34, 2720–2726.]
- Fang JY, Ohsawa M, Kira T (1996) Vertical vegetation zones along 30° N latitude in humid East Asia. *Plant Ecology*, 126, 135–149.
- Feng G, Svenning JC, Mi XC, Jia Q, Rao MD, Ren HB, Bebbler D, Ma KP (2014) Anthropogenic disturbance shapes phylogenetic and functional tree community structure in a subtropical forest. *Forest Ecology and Management*, 313, 188–198.
- Helmus MR, Bland TJ, Williams CK, Ives AR (2007) Phylogenetic measures of biodiversity. *The American Naturalist*, 169, E68–E83.
- Ives AR, Helmus MR (2010) Phylogenetic metrics of community similarity. *The American Naturalist*, 176, 559–559.
- Jin Y, Qian H, Yu MJ (2015) Phylogenetic structure of tree species across different life stages from seedlings to canopy trees in a subtropical evergreen broad-leaved forest. *PLoS ONE*, 10, e0131162.
- Jones MM, Tuomisto H, Borcard D, Legendre P, Clark DB, Olivas PC (2008) Explaining variation in tropical plant community composition: influence of environmental and spatial data quality. *Oecologia*, 155, 593–604.
- Kembel SW, Hubbell SP (2006) The phylogenetic structure of a neotropical forest tree community. *Ecology*, 87, S86–S99.
- Kembel SW, Cowan PD, Helmus MR, Cornwell WK, Morlon H, Ackerly DD, Blomberg SP, Webb CO (2010) Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology. *Bioinformatics*, 26, 1463–1464.
- Kira T (1991) Forest ecosystems of East and Southeast Asia in a global perspective. *Ecological Research*, 6, 185–200.
- Legendre P, Mi XC, Ren HB, Ma KP, Yu MJ, Sun IF, He FL (2009) Partitioning beta diversity in a subtropical broad-leaved forest of China. *Ecology*, 90, 663–674.
- Letcher SG (2010) Phylogenetic structure of angiosperm communities during tropical forest succession. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 277, 97–104.
- Liu XJ, Swenson NG, Wright SJ, Zhang LW, Song K, Du YJ, Zhang JL, Mi XC, Ren HB, Ma KP (2012) Covariation in plant functional traits and soil fertility within two species-rich forests. *PLoS ONE*, 7, e34767.
- Liu XJ, Swenson NG, Zhang JW, Ma KP (2013) The environment and space, not phylogeny, determine trait dispersion in a subtropical forest. *Functional Ecology*, 27, 264–272.
- Liu YL, Guo RQ, Sun SC (2010) Variations in the vertical

- vegetation zonation of subtropical Chinese mountains: the importance of climatic seasonality. *Acta Ecologica Sinica*, 30, 3912–3922. (in Chinese with English abstract) [刘亚兰, 郭汝清, 孙书存 (2010) 中国亚热带山地植被垂直带分布对气候季节性的响应. *生态学报*, 30, 3912–3922.]
- López-Martínez JO, Hernández-Stefanoni JL, Dupuy JM, Meave JA (2013) Partitioning the variation of woody plant β -diversity in a landscape of secondary tropical dry forests across spatial scales. *Journal of Vegetation Science*, 24, 33–45.
- Lu P, Jin Y, Chen JH, Li MH, Yu MJ (2013) Influences of geographical distance and topographic difference on β diversity of two large-scale forest dynamics plots. *Biodiversity Science*, 21, 554–563. (in Chinese with English abstract) [卢品, 金毅, 陈建华, 李铭红, 于明坚 (2013) 地理距离和地形差异对两个大型森林动态样地 β 多样性的影响. *生物多样性*, 21, 554–563.]
- Myers JA, Chase JM, Jiménez I, Jørgensen PM, Araujo-Murakami A, Paniagua-Zambrana N, Seidel R (2013) Beta-diversity in temperate and tropical forests reflects dissimilar mechanisms of community assembly. *Ecology Letters*, 16, 151–157.
- Oksanen J, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, Simpson GL, Solymos P, Stevens MHH, Wagner H (2016) *vegan: Community Ecology Package*. R package Version 2.3-4. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan> (accessed on 2016-06-25)
- Qian H, Jin Y (2016) An updated megaphylogeny of plants, a tool for generating plant phylogenies and an analysis of phylogenetic community structure. *Journal of Plant Ecology*, 9, 233–239.
- Qian H, Hao ZQ, Zhang J (2014) Phylogenetic structure and phylogenetic diversity of angiosperm assemblages in forests along an elevational gradient in Changbaishan, China. *Journal of Plant Ecology*, 7, 154–165.
- R Core Team (2016) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Shen GC, He FL, Waagepetersen R, Sun IF, Hao ZQ, Chen ZS, Yu MJ (2013) Quantifying effects of habitat heterogeneity and other clustering processes on spatial distributions of tree species. *Ecology*, 94, 2436–2443.
- Silvertown J, Dodd M, Gowing D, Lawson C, Mcconway K (2006) Phylogeny and the hierarchical organization of plant diversity. *Ecology*, 87, S39–S49.
- Singmann H, Bolker B, Westfall J, Aust F, Højsgaard S, Fox J, Lawrence MA, Mertens U (2016) *afex: Analysis of Factorial Experiments*. R Package Version 0.16-1. <https://CRAN.R-project.org/package=afex> (accessed on 2016-04-14)
- Song K, Mi XC, Jia Q, Ren HB, Bebbier D, Ma KP (2011) Variation in phylogenetic structure of forest communities along a human disturbance gradient in Gutianshan forest, China. *Biodiversity Science*, 19, 190–196. (in Chinese with English abstract) [宋凯, 米湘成, 贾琪, 任海保, Bebbier D, 马克平 (2011) 不同程度人为干扰对古田山森林群落谱系结构的影响. *生物多样性*, 19, 190–196.]
- Song YC (1999) Perspective of the vegetation zonation of forest region in Eastern China. *Acta Botanica Sinica*, 41, 541–552. (in Chinese with English abstract) [宋永昌 (1999) 中国东部森林植被带划分之我见. *植物学报*, 41, 541–552.]
- Song YC (2013) *Evergreen Broad-leaved Forests in China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [宋永昌 (2013) 中国常绿阔叶林. 科学出版社, 北京.]
- State Environmental Protection Administration (SEPA) (1998) *China's Biodiversity: A Country Study*. China Environmental Science Press, Beijing. (in Chinese) [中华人民共和国国家环境保护局 (1998) 中国生物多样性国情研究报告. 中国环境科学出版社, 北京.]
- Tello JS, Myers JA, Macía MJ, Fuentes AF, Cayola L, Arellano G, Loza MI, Torrez V, Cornejo, Miranda TB, Jørgensen PM (2015) Elevational gradients in β -diversity reflect variation in the strength of local community assembly mechanisms across spatial scales. *PLoS ONE*, 10, e0121458.
- Webb CO, Ackerly DD, Kembel SW (2008) Phylocom: software for the analysis of phylogenetic community structure and trait evolution. *Bioinformatics*, 24, 2098–2100.
- Whittaker RH, Niering WA (1965) Vegetation of the Santa Catalina Mountains, Arizona: a gradient analysis of the south slope. *Ecology*, 46, 429–452.
- Wiens JJ, Graham CH (2005) Niche conservatism: integrating evolution, ecology, and conservation biology. *Annual Review of Ecology Evolution & Systematics*, 36, 519–539.
- Wu ZY (1995) *Vegetation of China*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒 (1995) 中国植被. 科学出版社, 北京]
- Xiang QY (Jenny), Zhang WH, Ricklefs RE, Qian H, Chen ZD, Wen J, Li JH (2004) Regional differences in rates of plant speciation and molecular evolution: a comparison between eastern Asia and eastern North America. *Evolution*, 58, 2175–2184.
- Yu MJ, Hu ZH, Yu JP, Ding BY, Fang T (2001) Forest vegetation types in Gutianshan Nature Reserve in Zhejiang. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Science)*, 27, 375–380. (in Chinese with English abstract) [于明坚, 胡正华, 余建平, 丁炳扬, 方腾 (2001) 浙江古田山自然保护区森林植被类型. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 27, 375–380.]
- Zanne AE, Tank DC, Cornwell WK, Eastman JM, Smith SA, Fitzjohn RG, McGlinn DJ, O'Meara BC, Moles AT, Reich PB, Royer DL, Soltis DE, Stevens PF, Westoby M, Wright IJ, Aarssen L, Bertin RI, Calaminus A, Govaerts R, Hemmings F, Leishman MR, Oleksyn J, Soltis PS, Swenson NG, Warman L, Beaulieu JM (2015) Three keys to the radiation

- of angiosperms into freezing environments. *Nature*, 521, 89–92.
- Zhao TQ, Ouyang ZY, Zheng H, Wang XK, Miao H (2004) Forest ecosystem services and their valuation in China. *Journal of Natural Resources*, 19, 480–491. (in Chinese with English abstract) [赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿 (2004) 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. 自然资源学报, 19, 480–491.]
- Zheng CZ (2005) Key of Seed Plants in Zhejiang Province. Zhejiang Science and Technology Press, Hangzhou. (in Chinese) [郑朝宗 (2005) 浙江种子植物检索鉴定手册. 浙江科学技术出版社, 杭州.]

(责任编辑: 米湘成 责任编辑: 黄祥忠)

附录 Supplementary Material

附录1 森林样地概况

Appendix 1 General information of the studied forest plots
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2016114-1.pdf>

王月霞, 金毅, 吴初平, 翁东明, 叶立新, 陈德良, 余建平, 刘金亮, 仲磊, 于明坚. 浙江省主要亚热带森林群落类型物种和谱系水平的 α 和 β 多样性比较. 生物多样性, 2016, **24** (8): 863–874.

<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016114>

附录1 森林样地概况

Appendix 1 General information of the studied forest plots. EBLF, Evergreen broad-leaved forest; EDBLF, Evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest; DBLF, Deciduous broad-leaved forest; CBLF, Coniferous and broad-leaved mixed forest.

保护区	森林类型	海拔	坡度	坡向	优势种(重要值)
Reserve	Forest type	Elevation (m)	Slope (°)	Aspect (°)	Dominant species (Importance value)
凤阳山	针阔叶混交林 CBLF	1,401	35	325	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i> (0.603), 甜槠 <i>Castanopsis eyrie</i> (0.262)
Fengyangshan	针阔叶混交林 CBLF	1,350	35	63	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i> (0.349), 短尾柯 <i>Lithocarpus brevipendulus</i> (0.252), 甜槠 <i>Castanopsis eyrie</i> (0.179), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.158)
	针阔叶混交林 CBLF	1,460	28	275	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i> (0.239), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.239), 甜槠 <i>Castanopsis eyrie</i> (0.192)
	针阔叶混交林 CBLF	1,470	28	275	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i> (0.343), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.275)
	针阔叶混交林 CBLF	1,544	35	180	木荷 <i>Schima superba</i> (0.144), 日本柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i> (0.138), 铁杉 <i>Tsuga chinensis</i> (0.128)
	针阔叶混交林 CBLF	1,460	35	65	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i> (0.603), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.365)
九龙山	常绿阔叶林 EBLF	625	40	335	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.198), 红楠 <i>Machilus thunbergii</i> (0.18)
Jiulongshan	常绿阔叶林 EBLF	688	38	5	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.288), 红楠 <i>Machilus thunbergii</i> (0.248)
	常绿阔叶林 EBLF	747	38	30	木荷 <i>Schima superba</i> (0.592), 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.169), 柯 <i>Lithocarpus glaber</i> (0.122)
	常绿阔叶林 EBLF	636	36	30	木荷 <i>Schima superba</i> (0.296), 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.216)
	落叶阔叶林 DBLF	971	20	315	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.458), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.136), 浙闽樱桃 <i>Prunus schneideriana</i> (0.127), 细齿稠李 <i>Prunus obtusata</i> (0.06), 枫香 <i>Liquidambar formosana</i> (0.057)
	落叶阔叶林 DBLF	983	25	48	山合欢 <i>Albizia kalkora</i> (0.379), 青榨槭 <i>Acer davidii</i> (0.31), 香槐 <i>Cladrastis wilsonii</i> (0.215)
古田山	针阔叶混交林 CBLF	363	18	340	马尾松 <i>Pinus massoniana</i> (0.518), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.255), 甜槠 <i>Castanopsis eyrie</i> (0.206)
Gutianshan	针阔叶混交林 CBLF	395	30	30	马尾松 <i>Pinus massoniana</i> (0.402), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.276), 米槠 <i>Castanopsis carlesii</i> (0.112)
	常绿落叶阔叶混交林 EDBLF	638	35	115	拟赤杨 <i>Alniphyllum fortune</i> (0.194), 山桐子 <i>Idesia polycarpa</i> (0.128)
	常绿落叶阔叶混交林 EDBLF	653	20	335	马尾松 <i>Pinus massoniana</i> (0.235), 枹栎 <i>Quercus serrata</i> (0.202), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.142), 细叶青冈 <i>Quercus ciliaris</i> (0.082), 锥栗 <i>Castanea henryi</i> (0.064)
	常绿阔叶林 EBLF	658	25	25	甜槠 <i>Castanopsis eyrie</i> (0.382), 枹栎 <i>Quercus serrata</i> (0.182), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.14), 柯 <i>Lithocarpus glaber</i> (0.095)
	常绿阔叶林 EBLF	708	45	345	甜槠 <i>Castanopsis eyrie</i> (0.348), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.308)
天目山	常绿落叶阔叶混交林 EDBLF	581	38	47	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.229), 枫香 <i>Liquidambar formosana</i> (0.086), 榧树 <i>Torreya grandis</i> (0.085), 紫楠 <i>Phoebe sheareri</i> (0.072)
Tianmushan	EDBLF				

王月霞, 金毅, 吴初平, 翁东明, 叶立新, 陈德良, 余建平, 刘金亮, 仲磊, 于明坚. 浙江省主要亚热带森林群落类型物种和谱系水平的 α 和 β 多样性比较. 生物多样性, 2016, **24** (8): 863–874.

<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016114>

保护区	森林类型	海拔	坡度	坡向	优势种(重要值)
Reserve	Forest type	Elevation (m)	Slope (°)	Aspect (°)	Dominant species (Importance value)
	常绿落叶阔叶混交林 EDBLF	597	35	78	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.228), 青钱柳 <i>Cyclocarya paliurus</i> (0.18), 柔毛泡花树 <i>Meliosma myriantha</i> (0.095), 榿树 <i>Torreya grandis</i> (0.079), 紫楠 <i>Phoebe sheareri</i> (0.068)
	落叶阔叶林 DBLF	1,063	28	117	青钱柳 <i>Cyclocarya paliurus</i> (0.448), 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.146), 细叶青冈 <i>Quercus ciliaris</i> (0.098), 天目木姜子 <i>Litsea auriculata</i> (0.058), 缺萼枫香 <i>Liquidambar acalycina</i> (0.046)
	常绿落叶阔叶混交林 EDBLF	1,069	33	168	缺萼枫香 <i>Liquidambar acalycina</i> (0.193), 蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i> (0.158), 细叶青冈 <i>Quercus ciliaris</i> (0.131), 褐叶青冈 <i>Quercus stewardiana</i> (0.125), 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (0.119)
	落叶阔叶林 DBLF	1,244	18	224	小叶白辛树 <i>Pterostyrax corymbosus</i> (0.182), 四照花 <i>Cornus kousa</i> (0.117), 大柄冬青 <i>Ilex macropoda</i> (0.11)
	针阔叶混交林 CBLF	1,214	23	262	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i> (0.363), 细叶青冈 <i>Quercus ciliaris</i> (0.285), 马鞍树 <i>Maackia hupehensis</i> (0.084), 交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i> (0.067), 紫楠 <i>Phoebe sheareri</i> (0.061)
百山祖 Baishanzu	常绿阔叶林 EBLF	733	32	325	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (0.151), 米槠 <i>Castanopsis carlesii</i> (0.121), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.111), 小叶青冈 <i>Quercus myrsinifolia</i> (0.079), 短尾柯 <i>Lithocarpus brevipendulus</i> (0.073)
	常绿阔叶林 EBLF	677	27	82	米槠 <i>Castanopsis carlesii</i> (0.29), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.147), 栲 <i>Castanopsis fargesii</i> (0.1), 猴欢喜 <i>Sloanea sinensis</i> (0.073)
	常绿阔叶林 EBLF	808	30	345	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (0.359), 厚皮香 <i>Ternstroemia gymnanthera</i> (0.105), 小叶青冈 <i>Quercus myrsinifolia</i> (0.075), 乳源木莲 <i>Magnolia yuyuanensis</i> (0.067)
	常绿阔叶林 EBLF	847	25	17	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (0.455), 虎皮楠 <i>Daphniphyllum pentandrum</i> (0.139), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.122)
	常绿阔叶林 EBLF	967	35	90	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (0.535), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.13)
	常绿阔叶林 EBLF	981	25	95	短尾柯 <i>Lithocarpus brevipendulus</i> (0.309), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.292), 甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (0.159)
龙王山	落叶阔叶林 DBLF	1,303	17	354	杜梨 <i>Pyrus betulifolia</i> (0.241), 小叶白辛树 <i>Pterostyrax corymbosus</i> (0.164), 锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> (0.143)
Longwangshan	落叶阔叶林 DBLF	1,326	27	359	锥栗 <i>Castanea henryi</i> (0.355), 青钱柳 <i>Cyclocarya paliurus</i> (0.092), 小叶白辛树 <i>Pterostyrax corymbosus</i> (0.091), 雷公鹅耳枥 <i>Carpinus viminea</i> (0.087)
	落叶阔叶林 DBLF	1,057	13	321	小叶白辛树 <i>Pterostyrax corymbosus</i> (0.471), 锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> (0.197)
	落叶阔叶林 DBLF	1,062	23	299	小叶白辛树 <i>Pterostyrax corymbosus</i> (0.422), 锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> (0.208)
	落叶阔叶林 DBLF	1,190	16	75	锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> (0.451), 小叶白辛树 <i>Pterostyrax corymbosus</i> (0.219)
	落叶阔叶林 DBLF	1,124	10	107	锐齿槲栎 <i>Quercus aliena</i> (0.472), 小叶白辛树 <i>Pterostyrax corymbosus</i> (0.221)
乌岩岭	常绿阔叶林 EBLF	1,073	35	145	短尾柯 <i>Lithocarpus brevipendulus</i> (0.316), 甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (0.228), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.202)
Wuyangling	常绿落叶阔叶混交林	1,020	40	180	短尾柯 <i>Lithocarpus brevipendulus</i> (0.188), 拟赤杨 <i>Alniphyllum fortune</i> (0.113), 亮叶水青冈 <i>Fagus lucida</i> (0.095), 蓝果树

王月霞, 金毅, 吴初平, 翁东明, 叶立新, 陈德良, 余建平, 刘金亮, 仲磊, 于明坚. 浙江省主要亚热带森林群落类型物种和谱系水平的 α 和 β 多样性比较. 生物多样性, 2016, **24** (8): 863–874.

<http://www.biodiversity-science.net/CN/10.17520/biods.2016114>

保护区	森林类型	海拔	坡度	坡向	优势种(重要值)
Reserve	Forest type	Elevation (m)	Slope (°)	Aspect (°)	Dominant species (Importance value)
	EDBLF				<i>Nyssa sinensis</i> (0.089), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.082)
	常绿阔叶林 EBLF	960	30	130	褐叶青冈 <i>Quercus stewardiana</i> (0.239), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.23)
	落叶阔叶林 DBLF	960	30	130	拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i> (0.154), 缺萼枫香 <i>Liquidambar acalycina</i> (0.149)
	常绿落叶阔叶混交林	1,020	35	130	蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i> (0.099), 黄丹木姜子 <i>Litsea elongate</i> (0.089), 短尾柯 <i>Lithocarpus brevipendulus</i> (0.071)
	EDBLF				
	常绿阔叶林 EBLF	971	45	175	木荷 <i>Schima superba</i> (0.166), 短尾柯 <i>Lithocarpus brevipendulus</i> (0.127), 大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i> (0.123), 深山含笑 <i>Magnolia maudiae</i> (0.108)
清凉峰	落叶阔叶林 DBLF	1,121	41	10	华东野核桃 <i>Juglans cathayensis</i> (0.547), 灯台树 <i>Cornus controversa</i> (0.305)
Qingliangfeng	落叶阔叶林 DBLF	1,211	35	350	灯台树 <i>Cornus controversa</i> (0.394), 细齿稠李 <i>Prunus obtusata</i> (0.075)
	落叶阔叶林 DBLF	926	37	80	化香 <i>Platycarya strobilacea</i> (0.193), 黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i> (0.19), 锥栗 <i>Castanea henryi</i> (0.113), 蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i> (0.07), 缺萼枫香 <i>Liquidambar acalycina</i> (0.058)
	落叶阔叶林 DBLF	949	35	110	昌化鹅耳枥 <i>Carpinus tschonoskii</i> (0.169), 臭辣树 <i>Evodia fargesii</i> (0.118), 檫木 <i>Sassafras tzumu</i> (0.1)
	常绿阔叶林 EBLF	975	37	160	褐叶青冈 <i>Quercus stewardiana</i> (0.242), 木荷 <i>Schima superba</i> (0.24)
	常绿落叶阔叶混交林	978	40	180	木荷 <i>Schima superba</i> (0.133), 枹栎 <i>Quercus serrata</i> (0.109)
	EDBLF				