

• 研究报告 •

武夷山中亚热带常绿阔叶林样地的群落特征

丁 晖^{1*} 方炎明^{2*} 杨 青³ 陈 晓³ 袁发银² 徐 辉³
何立恒⁴ 严 靖² 陈婷婷^{1,5} 余朝健² 徐海根^{1**}

1 (环境保护部南京环境科学研究所自然保护与生物多样性研究中心/国家环境保护生物安全重点实验室, 南京 210042)

2 (南京林业大学南方现代林业协同创新中心/生物与环境学院, 南京 210037)

3 (福建省武夷山生物研究所, 福建武夷山 354300)

4 (南京林业大学土木工程学院, 南京 210037)

5 (南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044)

摘要: 武夷山保存了典型的中亚热带原生性森林生态系统。由于以往研究的空间和时间尺度较小, 方法规范性不强, 该地区尚缺少大型的、规范的综合性观测和研究平台。本文依托环境保护部南京环境科学研究所等单位按照CTFS调查技术规范建立的武夷山中亚热带常绿阔叶林9.6 ha动态监测样地开展植物群落调查, 从物种组成、区系特征、径级结构和空间分布格局等方面分析了其群落特征。结果表明: 样地内有维管植物68科135属232种, 其中乔木层内胸径 ≥ 1 cm的植物有44科86属171种。热带性质的科和属分别占总科数和总属数的68.58%和58.83%, 热带特征明显。珍稀濒危物种较多, 有4种国家II级重点保护野生植物、2种《中国生物多样性红色名录——高等植物卷》中的“近危”物种、1种《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录II物种以及72种中国特有物种, 具有较高的保护和研究价值。稀有种29种, 占总树种数的16.96%。重要值最大的科是壳斗科和山茶科, 二者的重要值之和大于40%。米槠(*Castanopsis carlesii*)、毛锥(*C. fordii*)、甜槠(*C. eyrei*)和少叶黄杞(*Engelhardtia fenzlii*)的重要值较大, 但没有明显的优势种。小径木较多, 所有个体的平均胸径为5.10 cm, 整体径级分布呈倒J形。乔木层可分为两个亚层, 米槠、毛锥、甜槠等在第I亚层中占优势。米槠和毛锥呈均匀分布, 甜槠、少叶黄杞、赤楠(*Syzygium buxifolium*)和木荷(*Schima superba*)呈聚集分布。

关键词: 森林动态监测样地, 中亚热带常绿阔叶林, 物种组成, 群落结构, 武夷山

Community characteristics of a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest plot in the Wuyi Mountains, Fujian Province, southeastern China

Hui Ding^{1*}, Yanming Fang^{2*}, Qing Yang³, Xiao Chen³, Fayin Yuan², Hui Xu³, Liheng He⁴, Jing Yan², Tingting Chen^{1,5}, Chaojian Yu⁵, Haigen Xu^{1**}

1 Research Center for Nature Conservation and Biodiversity/State Environmental Protection Key Laboratory on Biosafety, Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042

2 Southern Modern Forestry Collaborative Innovation Center/College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037

3 Wuyishan Biological Institute of Fujian Province, Wuyishan, Fujian 354300

4 School of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037

5 College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: Wuyi Mountains preserve the primary forest ecosystem characteristic of the mid-subtropics. We established a large-scale plots in this area according to standard international protocols (Center for Tropical Forest Science, CTFS). Community characteristics such as flora composition, floristic characteristics, DBH structure and spatial distribution patterns in a 9.6 ha plot were analyzed. The results showed that the vascular

收稿日期: 2015-01-23; 接受日期: 2015-05-28

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAC01B01)、环保公益性行业科研专项(201309039)、中央级科学事业单位修缮购置专项“全国生物多样性野外监测示范基地修缮项目一期”、环境保护部“生物多样性保护专项”、江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)、2014年福建省省属公益类科研院所基本科研专项(2014R1010-1)

* 共同第一作者 Co-first author

** 通讯作者 Authors for correspondence. E-mail: xhg@nies.org

plants in the plot belonged to 68 families, 135 genera, 232 species. Among these plants, trees ($\text{DBH} \geq 1 \text{ cm}$) belonged to 44 families, 86 genera, 171 species. For plants with tropical elements, family and genera accounted for 68.58% and 58.83% of total, respectively, which indicates a tropical feature of the ecosystem. There were many rare and endangered species, including four *State Priority Protected Wild Plant Species* at Level II, two threatened species (VU) of *Red List of China's Biodiversity*, one species of Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) (Appendix II) and 72 endemic species to China. Rare species ($N = 29$, less than 1 individuals/ha) accounted for 16.96%. Fagaceae and Theaceae, with a total importance values of greater than 40%, were most dominant. *Castanopsis carlesii*, *C. fordii*, *C. eyrei* and *Engelhardtia fenzlii* had the largest importance values but no species significantly dominated the community. Small sized trees dominated the plot, with a mean DBH of 5.10 cm and the DBH-class distribution presented an inverse "J" shape. The emergent layer was divided into two sub-layers with *C. carlesii*, *C. fordii*, *C. eyrei* dominating the first sub-layer. *Castanopsis carlesii* and *C. fordii* had an even distribution, at the same time, *C. eyrei*, *E. fenzlii*, *Syzygium buxifolium* and *Schima superba* had a clustered distribution.

Key words: forest dynamics plot, mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, species composition, community structure, Wuyi Mountains

常绿阔叶林是生长在温暖湿润的亚热带气候条件下的、以常绿阔叶树为优势种的森林植被类型。我国常绿阔叶林分布最广、面积最大、类型最为复杂多样,是全球常绿阔叶林的主体(宋永昌等, 2005, 2013)。同时,我国常绿阔叶林的分布区跨度大、气候条件南北差异明显,以中亚热带的常绿阔叶林最为典型(武吉华等, 2004),其自然资源及生物多样性丰富,在我国生物多样性保护中占有重要的位置。由于长期以来人们对常绿阔叶林的重要性认识不足,常把它当作不成材的“杂木林”而加以砍伐,在其主要分布区的中国东部、中部和西南部地区的原生林已经所剩无几(宋永昌等, 2005)。

武夷山主峰是中国大陆东南部最高峰,山脉山岭纵横,气候温润,保存了典型的中亚热带原生性森林生态系统(何东进等, 2004)。其植被有明显的垂直带谱,几乎囊括了我国中亚热带所有的植被类型。良好的生态环境和特殊的地理位置使武夷山成为地理演变过程中许多动植物的天然避难所,物种资源极其丰富。已记录植物2,762种、动物7,448种和微生物847种,被中外生物学家称为“研究两栖、爬行动物的钥匙”、“鸟类天堂”、“蛇的王国”、“昆虫世界”、“世界生物之窗”(陈昌笃, 1999; 刘剑秋等, 2012)。1987年,武夷山自然保护区被联合国教科文组织列为“人与生物圈”世界自然保护网成员,1992年被全球环境基金组织确认为具有全球保护意义的A级自然保护区。1999年,《中国生物多样性国情研究报告》将武夷山列为中国陆地11个生物

多样性保护的关键区之一。在2010年颁布的《中国生物多样性保护战略与行动计划》(2011–2030年)中,也将武夷山列为35个生物多样性保护优先区域之一。在20世纪50年代以及改革开放初期,武夷山一些地区的森林遭到两次大规模的砍伐,加上大面积营造针叶林和毛竹林以及开山种茶,使常绿阔叶林受到严重破坏(武夷山市志编纂委员会, 1994)。近年来该地区生态保护明显加强,特别是世界文化和自然遗产保护活动的开展,对武夷山常绿阔叶林的保护和恢复产生了很大的作用。

2010年10月,在日本召开的《生物多样性公约》缔约方大会第十次会议上通过了《生物多样性战略计划》(2011–2020年),确定了2020年全球生物多样性目标(徐海根等, 2012)。长期生物多样性动态监测是评估生物多样性保护进展的有效途径,但是发展中国家的监测能力明显不足,现有监测项目很难客观全面地评价2020年全球生物多样性目标的进展(马克平, 2011)。另外,许多观测计划之间缺乏一致性,需要采用“重要生物多样性变量”(essential biodiversity variables, EBVs)整合各种观测数据(Pereira *et al.*, 2013)。近年来,我国生物多样性监测明显加强。在纬度相近的广东鼎湖山(叶万辉等, 2008)、浙江古田山(祝燕等, 2008)、浙江天童山(杨庆松等, 2011)、浙江百山祖(徐敏等, 2007)、云南哀牢山(巩合德等, 2011)等地区,参照美国史密森热带研究所热带森林研究中心(Center for Tropical Forest Science, CTFS)的调查技术规范(Condit, 1998)已先后

建立了一批面积5–24 ha、以常绿阔叶林生态系统为监测对象的大型动态监测样地。但是, 由于我国常绿阔叶林分布广、类型多, 尚有许多生物多样性热点地区没有被覆盖。为此, 自2013年起, 环境保护部南京环境科学研究所等单位参照CTFS的调查技术规范先后在福建武夷山、安徽黄山、江西官山和安徽鹞落坪等地区建立了一批面积为10 ha左右的大型森林动态监测样地, 重点监测亚热带常绿阔叶林生态系统。

鉴于武夷山在我国乃至全球生物多样性保护中的重要性, 许多学者已分别从植被类型、群落结构(吴章钟等, 1998; 闫淑君等, 2002; 方燕鸿, 2005; 何建源, 2005; 雷平等, 2014)、物质循环、能量动态(林益明等, 2001)等方面开展了研究, 但这些研究的空间和时间尺度较小, 方法规范性不强, 武夷山生物多样性还缺少大型、规范的综合性观测和研究平台。2011年, 笔者在武夷山市星村镇(杨云方等, 2013; 丁晖等, 2015)和洋庄乡(杨青等, 2014; 周晓丽等, 2014)分别建立了2个小型样地。2013年, 将星村镇的样地扩建为9.6 ha的大型样地, 并以此为核心, 在周边地区设置了若干样线和样点, 陆续开展了植物、鸟类、两栖类、兽类、昆虫、土壤、水文和气象等方面的综合性观测和研究。本文主要介绍植物群落的研究结果。

1 方法

1.1 研究区概况

研究地点位于武夷山市星村镇四新村附近。该区域属中亚热带季风湿润气候, 年平均气温17.0–18.4℃, 平均相对湿度75–84%, 年降水量1,800 mm, 年平均日照时数1,910.2 h, 无霜期227–246 d。酸性岩类约占全市面积的53.8%, 其次为泥质岩类(24.6%)和砂质岩类(19.3%), 其他岩类较少。红壤为境内分布最广的一种地带性土壤, 自海拔160 m的河床到1,100 m的山地均有分布(武夷山市志编纂委员会, 1994)。常绿阔叶林是武夷山的地带性森林植被, 分布面积很大, 多分布在海拔350–1,400 m之间。乔木层主要由壳斗科、樟科和山茶科植物构成。样地所在区域原为国有四新林业采育场, 一直开展商业性采伐作业; 2000年划归武夷山风景名胜区管理委员会管理; 2001年至2002年对杉木(*Cunningh-*

amia lanceolata)等树种进行间伐, 后实施封山育林, 现属于九曲溪生态保护区。

1.2 样地概况及调查方法

样地基准点地理坐标为27°35'24.23" N, 117°45'55.43" E, 海拔约450–580 m。样地为长方形, 投影面积9.6 ha (400 m × 240 m)。样地所在的主山脊呈东北–西南走向, 长边与主山脊基本平行, 短边从主山脊向两侧的山脚延伸。东南坡的样地面积约占样地总面积的2/3, 其余在西北坡。除了主山脊, 样地内有多条较小的山脊和沟谷, 大致由北向南穿越样地。样地坡度10–50°。乔木层主要以米槠(*Castanopsis carlesii*)、毛锥(*C. fordii*)、甜槠(*C. eyrei*)、少叶黄杞(*Engelhardtia fenzlii*)和赤楠(*Syzygium buxifolium*)等常绿阔叶树种为主; 灌木层主要有赤楠、微毛柃(*Eurya hebeclados*)、杜茎山(*Maesa japonica*)、尖连蕊茶(*Camellia cuspidata*)和山血丹(*Ardisia punctata*)等; 草本层主要有中华里白(*Hicriopteris chinensis*)、狗脊(*Woodwardia japonica*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)和蕨状薹草(*Carex filicina*)等; 层间层主要有流苏子(*Coptosapelta diffusa*)、网脉酸藤子(*Embelia rudis*)和菝葜(*Smilax china*)等。样地地带性物种成分占绝对优势, 落叶成分较少, 群落高约20–30 m, 垂直结构复杂, 成层现象较明显, 近期未受较大的人为干扰, 种群天然更新状况良好。

2013年10–12月, 参照CTFS调查技术规范设置了9.6 ha (400 m × 240 m)的动态监测样地。先用全站仪结合实时动态控制系统(Real-Time Kinematic, RTK)将整个样地划分成240个20 m × 20 m的大样方, 再将每个20 m × 20 m的大样方细分为16个5 m × 5 m的小样方, 并测绘地形图(图1, 附图1)。以样地左下角为原点, 横轴(X)与主山脊大致平行, 纵轴(Y)与主山脊大致垂直, 对植物群落进行全面调查。对样方内胸径(DBH) ≥ 1 cm的乔木个体及其分枝和萌枝挂金属牌标记, 并记录其种类、相对位置、胸径、树高、枝下高等。相对位置以坐标值表示, 距离(m)即坐标值。采取系统抽样法, 对样地出现的灌木、草本植物和层间植物进行调查。即在每个大样方分别抽取1个小样方, 调查灌木种类、株数、平均高度和盖度, 草本植物种类、株数或丛数、平均高度和盖度, 层间植物的种类、基径、粗度和长度。

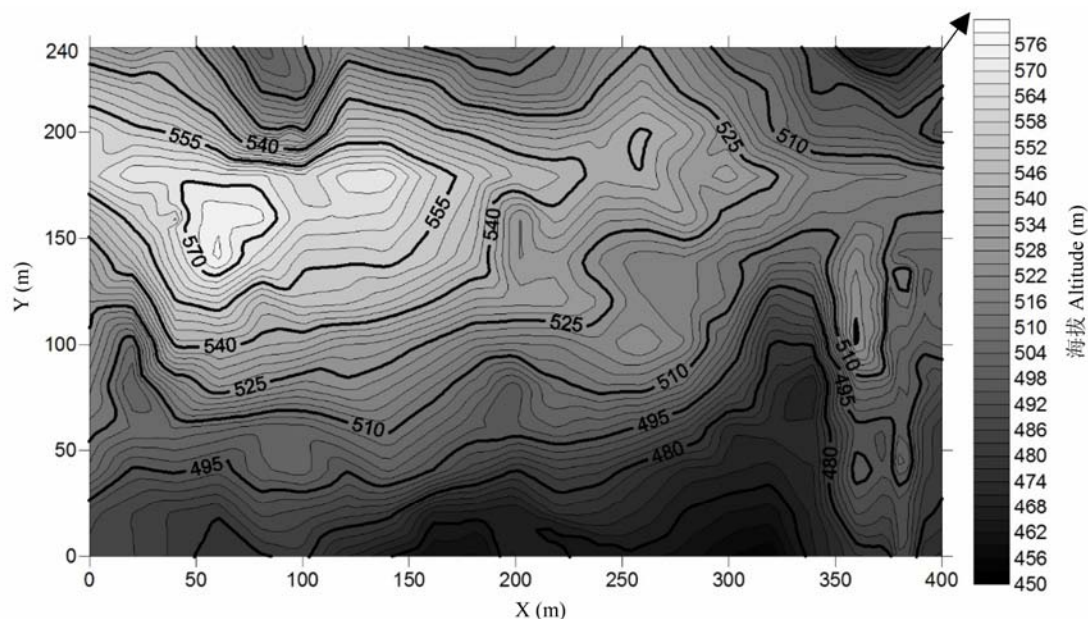


图1 武夷山森林动态监测样地地形图

Fig. 1 Contour map of the Wuyi Mountains forest dynamics plot

植物调查结束后, 在每个大样方的四个角和中心点分别埋设钢筋混凝土角桩和中心桩, 并挂金属牌标记。

1.3 数据分析

检索 *Flora of China* (<http://www.floraofchina.org/>) 和《中国植物志》在线数据库(<http://frps.eflora.cn/>), 核对样地出现的物种及其分类地位。计算物种丰富度、密度、频度和显著度, 进而得到各物种的重要值(孙儒泳等, 2002)。采用Shannon-Wiener多样性指数(H')、Margalef丰富度指数(D)和Pielou均匀度指数(J)测度样地的群落多样性(张金屯, 2011)。按世界种子植物科和中国种子植物属的分布区类型划分标准统计样地内乔木层科、属的分布区类型(吴征镒, 2003; 吴征镒等, 2003, 2011)。将每公顷个体数不多于1株的物种定义为稀有种, 1–10株的为偶见种, 多于10株的为常见种(Hubbell & Foster, 1986; He *et al.*, 1997)。采用随机取样法分析种–面积关系, 并用对数函数模型、幂函数模型以及多项式函数模型拟合种–面积曲线。采用Microsoft Excel 2013和SigmaPlot 12.5统计和作图。

2 结果

2.1 物种组成

样地内有维管植物68科135属232种, 其中裸子

植物仅2种(马尾松(*Pinus massoniana*)和杉木)。乔木层内胸径 ≥ 1 cm的木本植物有171种, 隶属于44科86属; 灌木层植物(包括乔木的幼苗和幼树) 120种, 隶属于37科69属; 草本层植物27种, 隶属于17科21属; 层间植物26种, 隶属于14科23属。乔木层胸径 ≥ 1 cm的木本植物独立个体总数(包括分枝、萌枝)为64,973株。从乔木层科的组成来看, 含有属数最多的为蔷薇科(7属)、山茶科(7属)和樟科(7属), 其次为茜草科(6属)和大戟科(5属)。从属的组成来看, 含有种数最多的为冬青属(*Ilex*) (14种), 其次为山矾属(*Symplocos*) (9种)、杜鹃属(*Rhododendron*) (8种)、锥属(*Castanopsis*) (8种)、桫欏属(*Eurya*) (6种)和润楠属(*Machilus*) (6种)。在科的水平上, 含物种数较多的有山茶科(18种)、樟科(17种)、冬青科(14种)、壳斗科(14种)、蔷薇科(11种)和杜鹃花科(10种)。乔木层Shannon-Wiener多样性指数为4.14, Margalef丰富度指数为15.34, Pielou均匀度指数为0.37。

2.2 区系特征和受威胁状况

样地内乔木植物共44科86属, 可分为9个分布型12个分布区型(表1)。在世界分布型科属未统计的情况下, 热带性质的科占总科数的68.58%, 其中泛热带分布型科数最多, 占40.00%; 温带性质的科占总科数的31.42%, 其中北温带分布型科数最多, 占25.71%。热带性质的属占总属数的58.83%, 其中热

表1 武夷山森林动态监测样地乔木植物的科属分布类型
Table 1 The areal-types of families and genera of trees in Wuyi Mountains forest dynamics plot

分布区类型 Area types	科数 No. of families	科的百分比 Percentage of families (%)	属数 No. of genera	属的百分比 Percentage of genera (%)
1. 广布 Cosmopolitan	9	—	1	—
2. 泛热带 Pantropic	14	40.00	12	14.12
3. 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断 (South)Tropical America disjuncted	6	17.14	9	10.59
4. 旧世界热带 Old World Tropic	1	2.86	9	10.59
5. 热带亚洲至热带大洋洲 Tropical Asia to Tropical Australasia Oceania	1	2.86	4	4.71
6. 热带亚洲至热带非洲 Tropical Asia to Tropical Africa	1	2.86	2	2.35
7. 热带亚洲 Tropical Asia	1	2.86	14	16.47
热带小计 Subtotal of Tropical (2–7)	24	68.58	50	58.83
8. 北温带 North Temperate	9	25.71	10	11.76
9. 东亚及北美间断 East Asia and North America disjuncted	2	5.71	11	12.94
10. 旧世界温带 Old World Temperate	0	0.00	1	1.18
14. 东亚 East Asia	0	0.00	9	10.59
温带小计 Subtotal of Temperate (8–14)	11	31.42	31	36.47
15. 中国特有 Endemic to China	0	0.00	4	4.71
合计 Total	44	100.00	86	100.00

带亚洲分布型属数最多, 占16.47%; 温带性质的属占总属数的36.47%, 其中东亚及北美间断分布型属数最多, 占12.94%。另外, 中国特有属占总属数的4.71%。

样地内珍稀濒危物种较多, 其中浙江楠(*Phoebe chekiangensis*)、天竺桂(*Cinnamomum japonicum*)、闽楠(*P. bournei*)和花榈木(*Ormosia henryi*)等4种为国家Ⅱ级重点保护野生植物。列入《中国生物多样性红色名录——高等植物卷》(环境保护部和中国科学院, 2013)中的“近危”以上等级的物种3种, 其中“易危”2种, 即建兰(*Cymbidium ensifolium*)和天竺桂。建兰还被列入《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录Ⅱ。中国特有种有包果柯(*Lithocarpus cleistocarpus*)、薄叶润楠(*Machilus leptophylla*)、大萼杨桐(*Adinandra glischroloma* var. *macrosepala*)等72种(附录2)。

2.3 种–面积格局

种–面积分析结果表明, 当取样面积小于3,000 m²时, 物种数随着面积的增加急剧增加; 取样面积为3,000–8,000 m²时, 物种数增加速率明显降低; 取样面积大于8,000 m²时, 物种数增加速率逐步趋于0 (图2)。当取样面积为6,525 m²时, 80%的物种出现; 当取样面积为13,000 m²时, 90%的物种出现; 当取

样面积为75,000 m²时, 全部物种出现。用3种模型分别拟合种–面积曲线, 对数函数模型为 $S = 23.41\ln(A) - 71.544$ ($R^2 = 0.9607$, S 为物种数, A 为取样面积, 下同), 幂函数模型为 $S = 16.122 A^{0.2406}$ ($R^2 = 0.9037$), 多项式函数模型为 $S = -4E-26A^6 + 1E-20A^5 - 1E-15A^4 + 6E-11A^3 - 2E-06A^2 + 0.02A + 63.778$ ($R^2 = 0.9473$)。

2.4 树种–多度格局

样地常见树种有85种, 占总树种数的49.71%。个体数最多的是赤楠(3,671株), 占总个体数的5.65%; 其次为毛锥(2,883株), 占4.44%; 矩叶鼠刺(*Itea oblonga*) (2,856株), 占4.40%; 格药枌(*E. muricata*) (2,851株), 占4.39%; 弯蒴杜鹃(*R. henryi*) (2,658株), 占4.09% (图3)。个体数大于1,000株的树种有19种。偶见种57种, 占总树种数的33.33%, 其中君迁子(*Diospyros lotus*) 10株、蕈树(*Altingia chinensis*) 10株、亮叶桦(*Betula luminifera*) 11株。稀有种29种, 占总树种数的16.96%, 其中水榆花楸(*Sorbus alnifolia*)、山胡椒(*Lindera glauca*), 山黄麻(*Trema tomentosa*)、常山(*Dichroa febrifuga*)和海金子(*Pittosporum illicioides*)均为1株。

2.5 优势科和优势种

样地内重要值排名前10位的科重要值合计

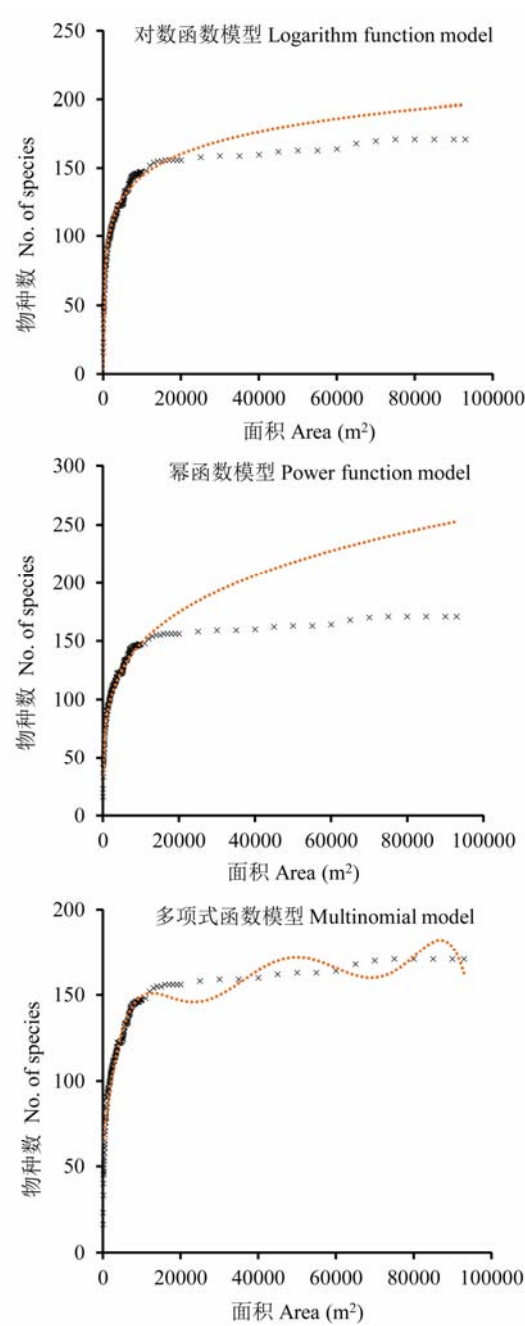


图2 武夷山森林动态监测样地的种-面积曲线。×: 实测值; ·: 模拟值。
Fig. 2 Species-area curve in Wuyi Mountains forest dynamics plot. ×: Measured values; ·: Simulated values.

79.39% (表2)。重要值最大的科是壳斗科, 为27.40%, 包括3属14种, 占绝对优势。山茶科是树种最丰富的科, 重要值为13.56%, 仅次于壳斗科。壳斗科和山茶科两个科的重要值之和大于40%, 其他科的重要值明显小于这两个科。重要值排名前10位

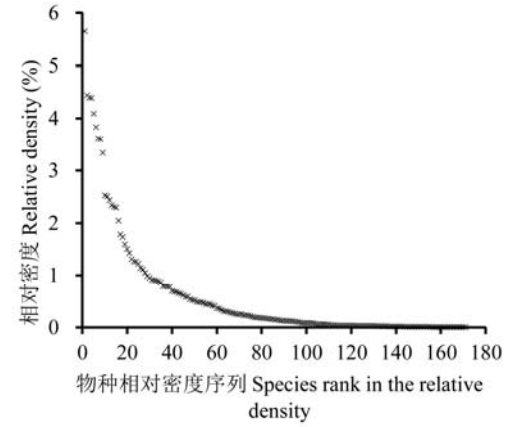


图3 武夷山森林动态监测样地物种相对密度序列
Fig. 3 Sequence curve of the relative density of species in Wuyi Mountains forest dynamics plot

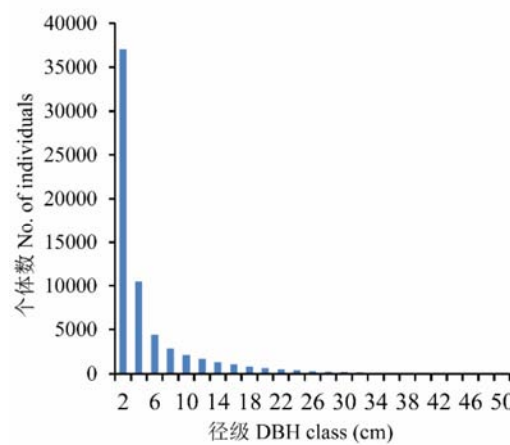


图4 武夷山森林动态监测样地不同径级(1-51cm)个体的分布
Fig. 4 Distribution of individuals with different DBH-class (1-51cm) in Wuyi Mountains forest dynamics plot

的科中, 仅壳斗科、木兰科和胡桃科为温带性质的科, 其余均为热带性质的科。米槎、毛锥、甜槠等树种的重要值排在前10位, 其胸高断面积也较大(表3), 但较其他树种优势不明显。该样地没有优势度特别高的优势种。

2.6 径级结构

所有个体的平均胸径为5.10 cm, 最大胸径为98.95 cm (小叶青冈(*Cyclobalanopsis myrsinifolia*))。样地内小径木较多, 随着径级的升高, 个体数大幅下降。胸径1-3 cm的个体有37,032株, 占总株数的57.04%; 3-5 cm的共10,493株, 占16.16% (图4)。胸径10 cm以上的大径木共8,856株, 占总株数的13.64%; 20 cm的2,644株, 占4.07%; 30 cm的772株,

表2 武夷山森林动态监测样地重要值排名前10位的科
Table 2 Top 10 families with importance values (IV) in Wuyi Mountains forest dynamics plot

科名 Family	属数 No. of genera	物种数 No. of species	个体数 No. of individuals	科重要值 IV of families (%)
壳斗科 Fagaceae	3	14	10,922	27.40
山茶科 Theaceae	7	18	11,211	13.56
杜英科 Elaeocarpaceae	2	5	2,554	6.23
杜鹃花科 Ericaceae	2	10	5,343	5.76
樟科 Lauraceae	7	17	4,284	5.40
冬青科 Aquifoliaceae	1	14	3,768	5.01
木兰科 Magnoliaceae	3	5	3,848	4.51
胡桃科 Juglandaceae	1	1	2,489	4.43
桃金娘科 Myrtaceae	1	1	3,671	3.69
山矾科 Symplocaceae	1	9	2,687	3.38

表3 武夷山森林动态监测样地重要值排位名前10位的物种及其胸高断面积
Table 3 Top 10 species with importance values (IV) and their basal area of in Wuyi Mountains forest dynamics plot

物种 Species	重要值 IV (%)	胸高断面积 Basal area (m ²)
米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>	7.21	50.19
毛锥 <i>Castanopsis fordii</i>	5.28	25.86
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	4.58	30.97
少叶黄杞 <i>Engelhardtia fenzlii</i>	4.43	21.57
赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i>	3.69	4.97
木荷 <i>Schima superba</i>	3.20	15.91
弯蒴杜鹃 <i>Rhododendron henryi</i>	2.96	4.58
矩叶鼠刺 <i>Itea oblonga</i>	2.90	2.58
格药柃 <i>Eurya muricata</i>	2.79	2.44
罗浮锥 <i>Castanopsis faberi</i>	2.79	19.04

占1.19%。米槠和甜槠的中径木和大径木比例较高,毛锥、少叶黄杞和木荷(*Schima superba*)次之,赤楠、弯蒴杜鹃、矩叶鼠刺和格药柃基本是小径木(图5)。

2.7 垂直结构

该群落乔木层可分为两个亚层。第I亚层高12–20 m, 平均高15.29 m; 第II亚层高5–12 m, 平均高7.32 m (图6)。在第I亚层中, 重要值前10位的物种有米槠、毛锥、甜槠、少叶黄杞、木荷和罗浮锥(*Castanopsis faberi*)等; 在第II亚层中, 重要值前10位的有毛锥、矩叶鼠刺、少叶黄杞、赤楠、弯蒴杜鹃、格药柃、木荷等(表4)。

2.8 空间分布格局

米槠和毛锥这两个重要值最高的物种呈均匀分布, 重要值稍低的甜槠、少叶黄杞、赤楠、木荷则呈聚集分布。甜槠和赤楠的空间分布较为接近,

均多集中在山脊。其他物种的分布较均匀(图7)。

3 讨论

3.1 区系特征和物种组成

古田山和天童样地被认为是典型的常绿阔叶林样地(宋永昌等, 2015), 其纬度和海拔与武夷山样地最接近, 最具可比性。古田山样地中热带区系和温带区系的科分别占总科数的64.86%和35.13%, 属分别占总属数的53.00%和44.00% (祝燕等, 2008)。天童样地中热带区系和温带区系的科分别占总科数的61.90%和35.71%, 属分别占总属数的52.69%和43.01% (杨庆松等, 2011)。从科属的区系特征来看, 武夷山样地较天童和古田山样地热带成分更多、温带成分相对较少。另外, 武夷山样地层间植物有14科23属26种, 较为丰富。一些大型木质藤本, 如大血藤(*Sargentodoxa cuneata*)、扁担藤(*Tetragastium planicaule*)、软枣猕猴桃(*Actinidia arguta*)和异色猕猴桃(*A. callosa* var. *discolor*)等一般可达到群落上层, 使群落垂直结构更加复杂, 突出了武夷山样地中亚热带常绿阔叶林的特点。

樟科、山茶科、壳斗科、茜草科、冬青科等是常绿落叶阔叶林的主要科(宋永昌等, 2015), 从科所含属、种的数量分析, 武夷山样地符合这个规律。古田山样地的优势种甜槠和木荷(祝燕等, 2008)也是武夷山样地的常见种和潜在的优势种。天童样地中的优势种南酸枣(*Choerospondias axillaris*)是落叶乔木, 在武夷山样地中是偶见种, 天童样地甚至没有甜槠。古田山、天童和百山祖样地乔木层的树种数分别为153、159和123, 均低于武夷山样地。尽管纬度相近, 但八大公山样地海拔1,355–1,456 m, 为

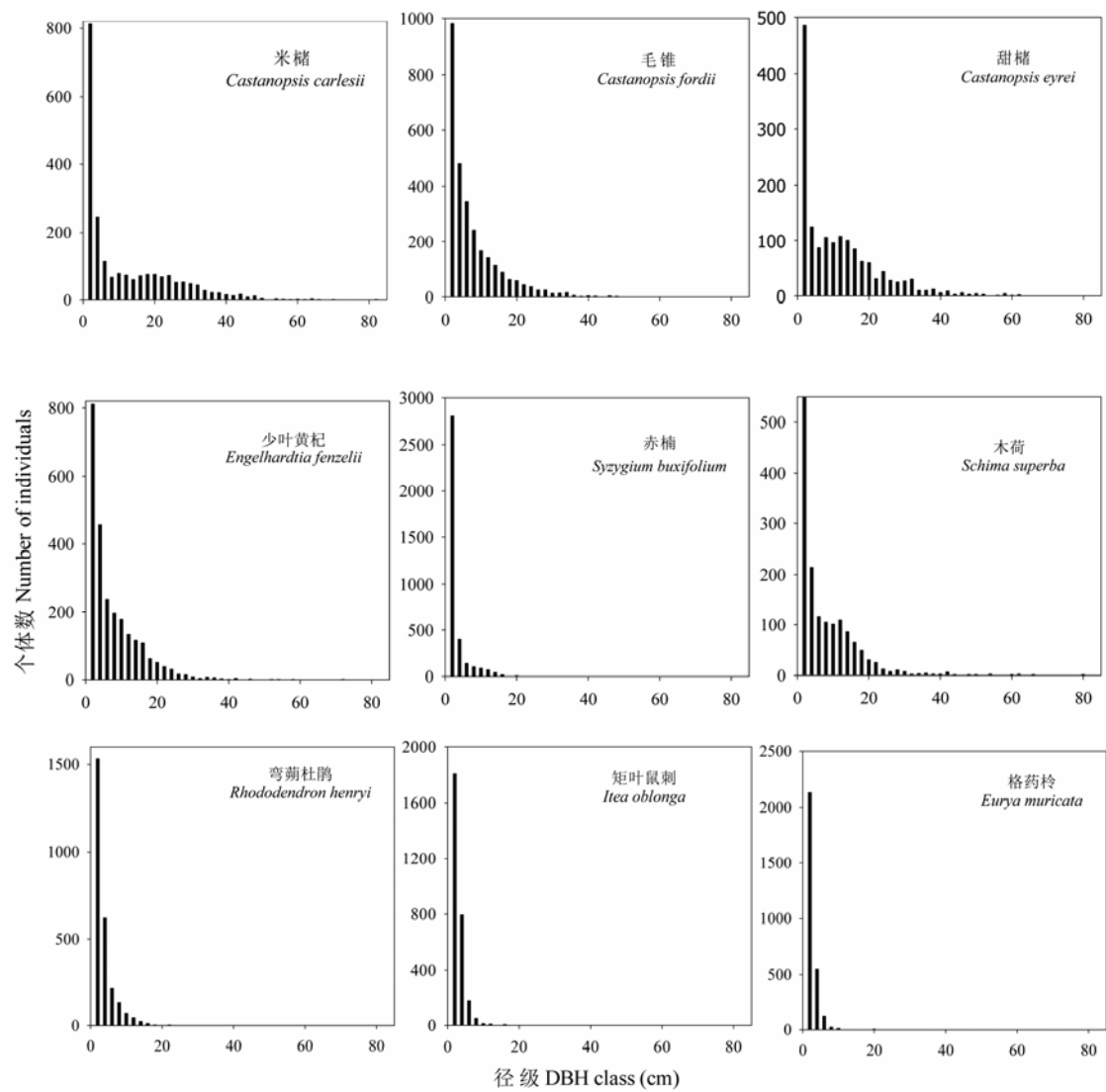


图5 武夷山森林动态监测样地重要值排名前9位的物种径级分布
Fig. 5 Distribution of DBH class of top 9 species with importance values in Wuyi Mountains forest dynamics plot

表4 武夷山森林动态监测样地不同亚层中个体数排名前10位的物种
Table 4 Top 10 species with individuals at different layers in Wuyi Mountains forest dynamics plot

第I亚层 The first sub-layer			第II亚层 The second sub-layer		
物种 Species	个体数 No. of individuals		物种 Species	个体数 No. of individuals	
米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>	776		毛锥 <i>Castanopsis fordii</i>	1,303	
毛锥 <i>Castanopsis fordii</i>	536		矩叶鼠刺 <i>Itea oblonga</i>	1,246	
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	508		少叶黄杞 <i>Engelhardtia fenzlii</i>	1,188	
日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	437		赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i>	1,128	
少叶黄杞 <i>Engelhardtia fenzlii</i>	417		弯蒴杜鹃 <i>Rhododendron henryi</i>	1,124	
木荷 <i>Schima superba</i>	378		福建含笑 <i>Michelia fujianensis</i>	776	
罗浮锥 <i>Castanopsis faberi</i>	353		格药桉 <i>Eurya muricata</i>	691	
赤杨叶 <i>Alniphyllum fortunei</i>	349		港柯 <i>Lithocarpus harlandii</i>	677	
港柯 <i>Lithocarpus harlandii</i>	274		细柄蕈树 <i>Altingia gracilipes</i>	642	
中华杜英 <i>Elaeocarpus chinensis</i>	265		木荷 <i>Schima superba</i>	626	

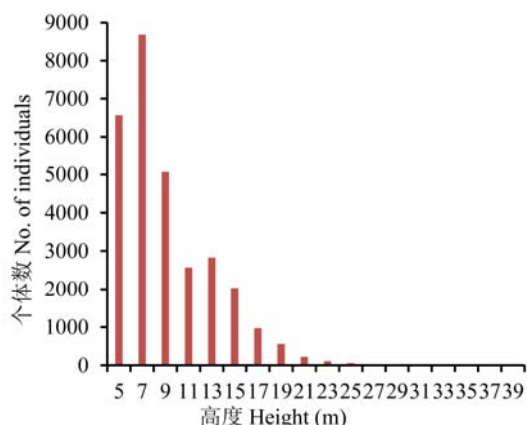


图6 武夷山森林动态监测样地物种的高度分布

Fig. 6 Distribution of individuals with different height classes in Wuyi Mountains forest dynamics plot

山地常绿落叶阔叶林, 其落叶树种丰度(144种, 占60.50%)远高于武夷山样地, 是其总物种数(238种)高于武夷山样地的主要原因。

3.2 优势种

与许多样地不同, 武夷山样地没有占明显优势的树种。从重要值、径级结构和垂直结构来看, 米槎和甜槎不仅重要值大, 而且大、中径木比例较高, 在第I亚层的个体较多, 应是优势树种。毛锥、少叶黄杞和木荷的重要值较大, 但大、中径木比例较低。另外, 毛锥、木荷、少叶黄杞、米槎在灌木层的重要值相差不大, 而甜槎相对较低, 这些种群如何演变, 尚不能作出判断。赤楠、弯蒴杜鹃、矩叶鼠刺和格药铃的重要值虽然较高, 但受其生长型的限制, 基本是小径木, 并多处于第II亚层, 不太可能成为建群种。许涵等(2015)将海南热带山地雨林没有优势种的原因解释为很难找到一片面积大于1 ha而某一物种又占据明显优势的群落。笔者认为, 武夷山样地的这种情况可能与人为干扰有关, 意味着该群落处于某个演替阶段, 而不一定是取样的面积效应造成的(见3.3节)。

3.3 群落演替进程

一些监测样地选择的是成熟林, 或受到干扰后经历了较长时期恢复的林分, 这些样地具有较大的平均胸径和较高比例的大径木。如吉林长白山阔叶红松林样地是典型的复层异龄林, 主林层林龄约300年, 所有个体的平均胸径为10.52 cm (郝占庆等, 2008a); 吉林长白山次生杨桦林样地已恢复近70年, 平均胸径为7.43 cm (郝占庆等, 2008b)。武夷山样地

整体径级的分布呈倒J形, 平均胸径仅5.10 cm, 明显小于上述样地, 但与南方的一些样地非常接近。例如, 古田山样地为5.21 cm (祝燕等, 2008), 天童样地为5.66 cm (杨庆松等, 2011), 八大公山样地为5.41 cm (卢志军等, 2013), 海南尖峰岭样地为5.22 cm (许涵等, 2015), 广西弄岗的独立个体的平均胸径为4.84 cm, 分枝和萌枝为3.18 cm (王斌等, 2014)。此外, 笔者在安徽黄山样地也观察到这种小径木比例较高的现象。这些现象似乎不是巧合, 也不能简单地归结为树种、气候或土壤的差异, 而且不能完全排除人为干扰的影响。武夷山样地原为林业采育场, 终止商业性采伐并开始较为严格的保育不过十几年, 所以幼树、小树和中树比例高。除了上文所述优势种方面的证据, 对1.44 ha范围的优势种种群点格局分析也表明, 该群落种间竞争激烈, 物种更替频繁, 群落组成和结构不稳定(杨云方等, 2013; 丁晖等, 2015), 由此可推断该群落可能处于受到一定程度干扰后的恢复演替阶段。我国近90%的天然林面临不同程度的退化, 如果没有人为干预, 次生林依靠其自身的进展演替恢复到近自然林甚至原始林的自然物种组成和径级分布结构将是一个漫长的过程(唐守正和刘世荣, 2000)。虽然没有近几十年来武夷山样地物种组成变化的分析, 但武夷山及其他样地普遍出现的“小径级化”, 说明其可能处于演替中。针对我国森林生物多样性的现状, 以处于自然恢复演替进程中的群落为研究对象开展长期定位监测研究更具代表性, 对于常绿阔叶林保育和恢复也更具有理论价值和实践意义。

3.4 稀有种和偶见种

稀有种虽然在样地个体总数中占的百分比不大, 但对群落树种多样性的贡献较大, 对中性理论的解释具有重要价值(兰国玉, 2007; 兰国玉等, 2008)。稀有种比例高的原因有几种: 物种本身的种群特征与分布特性、生境异质性、森林类型相嵌、干扰造成的镶嵌结构和区系的交汇等(Bunyavejchewi *et al.*, 2004; 叶万辉等, 2008)。武夷山样地的稀有种比例远低于古田山样地(37.10%)、天童样地(36.20%)和八大公山样地(43.28%)。这可能是由于该样地的纬度和海拔均低于这3个样地, 亚热带向热带过渡特征较强, 热带性质较明显, 落叶成分少, 温带特征较低, 亚热带和温带植被区系的交汇对稀有种的影响可能不及上述3个样地。此外, 武夷山样

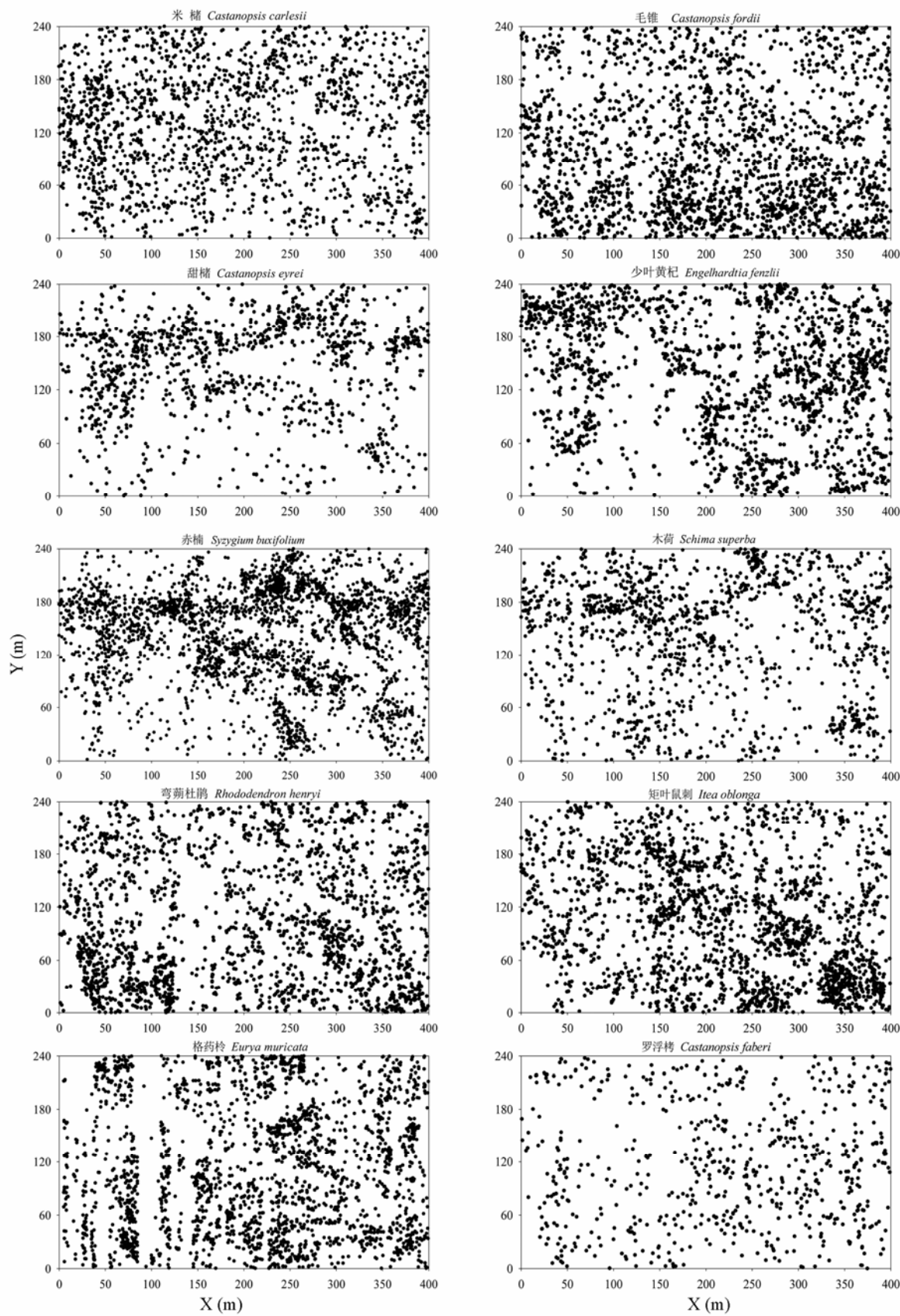


图7 武夷山森林动态监测样地重要值排名前10位的物种空间分布
Fig. 7 Spatial distribution of top 10 species with importance values in Wuyi Mountains forest dynamics plot

地的取样面积相对较小,对出现概率本身就极小的稀有种来说,无疑有一定的影响。

3.5 种-面积关系与取样面积

监测目的决定监测内容、指标和技术方法(徐海根等, 2013a)。正如前文所述,根据监测对象的不同演替进程可以选择不同的监测方法。当武夷山样地的取样面积达到6,525 m²时,80%的物种出现,几乎相当于样地常见种和偶见种种数之和。但是,正在构建的全国生物多样性观测网络的主要目标是为政府进行生物多样性保护决策提供群落的常规性基础数据,应采用高效率、低成本的标准化的监测方法(徐海根等, 2013b)。因此,需要根据监测目标制订相应的方法,根据群落类型确定合理的面积。

4 展望

武夷山样地的研究刚刚起步,大量工作亟待开展。群落演替进程的问题在本文已初见端倪,在此过程中,优势种的更新、种子的扩散、物种的共存机制以及物种多样性的形成机制都需要深入研究。红外相机在我国野生动物监测中的应用越来越多,并将成为兽类和地面活动鸟类的常规监测技术(肖治术等, 2014)。该样地已布设了数十台红外相机,开始进行兽类和鸟类数据的采集,并开展了昆虫的观测工作。研究动物行为、估算其种群及群落参数,探讨动物与植物的互作关系(如动物对种子传播、传粉的影响,花型、果型对动物传播的适应),可在样地内不同生物类群间建立联系,获得非常有趣的结果。一些土壤、水文和气象观测设施已经建立,生物多样性与生态系统功能的关系将是一个焦点。在群落演替过程中,研究物种多样性如何变化,生态系统的生产力、稳定性、可持续性如何响应(张庆等, 2009),将有助于加深人们对常绿阔叶林重要性的理解。

致谢 武夷山世界遗产监测中心提供试验场地,环境保护部南京环境科学研究所姚纲博士,福建省武夷山生物研究所江宝兴和徐鲜均老师,南京林业大学陈林、夏涛、李雪霞、温小荣和王志杰老师,周鹏、魏雅男、纪文娟、代慧、李焱、刘清亮等近百名同学,南京泛享信息技术有限公司黄红亮和于洪工程师以及几位当地民工参加野外调查,两位匿名审稿专家提供很好的意见,环境保护部南京环境科学研究所曹云博士修改英文内容。在此谨表衷心

感谢!

参考文献

- Bunyavejchewi S, Baker P, LaFrankie J, Ashton P (2004) Structure, history, and rarity in a seasonal evergreen forest in western Thailand. In: *Forest Diversity and Dynamism: Findings from a Network of Large-scale Tropical Forest Plots* (eds Losos EC, Leigh EG), pp. 145–158. University of Chicago Press, Chicago.
- Chen CD (陈昌笃) (1999) Biodiversity in the Wuyi Mountains and its importance in China. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **7**, 320–326. (in Chinese with English abstract)
- Condit R (1998) *Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and Comparison with Other Plots*. Springer, Berlin.
- Compilation Board for Chorography of Wuyishan City (武夷山市志编纂委员会) (1994) *Chorography of Wuyishan City* (武夷山市志), pp. 103–259. China Statistics Press, Beijing. (in Chinese)
- Ding H (丁晖), Yang YF (杨云方), Xu HG (徐海根), Fang YM (方炎明), Chen X (陈晓), Yang Q (杨青), Yi XG (伊贤贵), Xu H (徐辉), Wen XR (温小荣), Xu XJ (徐鲜均) (2015) Species composition and community structure of the typical evergreen broadleaved forest in the Wuyi Mountains of southeastern China. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **35**, 1142–1154. (in Chinese with English abstract)
- Fang YH (方燕鸿) (2005) Species composition and diversity of evergreen broad-leaved forest of *Castanopsis carlesii* and *C. eyrei* in Wuyishan National Nature Reserve, Fujian, China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **13**, 148–155. (in Chinese with English abstract)
- Gong HD (巩合德), Yang GP (杨国平), Lu ZY (鲁志云), Liu YH (刘玉洪) (2011) Diversity and spatial distribution patterns of trees in an evergreen broad-leaved forest in the Ailao Mountains, Yunnan. *Biodiversity Science* (生物多样性), **19**, 143–150. (in Chinese with English abstract)
- Hao ZQ (郝占庆), Li BH (李步杭), Zhang J (张健), Wang XG (王绪高), Ye J (叶吉), Yao XL (姚晓琳) (2008a) Broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest plot in Changbai Mountain (CBS) of China: community composition and structure. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)* (植物生态学报), **32**, 238–250. (in Chinese with English abstract)
- Hao ZQ (郝占庆), Zhang J (张健), Li BH (李步杭), Ye J (叶吉), Wang XG (王绪高), Yao XL (姚晓琳) (2008b) Natural secondary poplar-birch forest in Changbai Mountain: species composition and community structure. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)* (植物生态学报), **32**, 251–261. (in Chinese with English abstract)
- He DJ (何东进), Hong W (洪伟), Hu HQ (胡海清), Wu CZ (吴承祯), Chen XZ (陈先珍) (2004) Modeling landscape pattern dynamics and their effects under different distur-

- bances in Wuyishan Scenery District. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **24**, 1602–1610. (in Chinese with English abstract)
- He FL, Legendre P, LaFrankie JV (1997) Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest. *Journal of Vegetation Science*, **8**, 105–114.
- He JY (何建源) (2005) Study on the species diversity of *Castanopsis carlesii* community in Wuyishan National Nature Reserve. *Journal of Xiamen University (Natural Science)* (厦门大学学报(自然科学版)), **44**(z1), 7–10. (in Chinese with English abstract)
- Hubbell SP, Foster RB (1986) Commonness and rarity in a neotropical forest: implications for tropical tree conservation. In: *Conservation Biology: the Science of Scarcity and Diversity* (ed. Soulé ME), pp. 205–231. Sinauer Associates, Sunderland.
- Lan GY (兰国玉) (2007) Research progress on large, long-term plot of tropical forest ecosystem in the world. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **27**, 2140–2145. (in Chinese with English abstract)
- Lan GY (兰国玉), Hu YH (胡跃华), Cao M (曹敏), Zhu H (朱华), Wang H (王洪), Zhou SS (周仕顺), Deng XB (邓晓保), Cui JY (崔景云), Huang JG (黄建国), Liu LY (刘林云), Xu HL (许海龙), Song JP (宋军平), He YC (何有才) (2008) Establishment of Xishuangbanna tropical forest dynamics plot: species compositions and spatial distribution patterns. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)* (植物生态学报), **32**, 287–298. (in Chinese with English abstract)
- Lei P (雷平), Zou SC (邹思成), Lan WJ (兰文军) (2014) Structural and quantity characteristics of riparian zone broad-leaved forest communities under different disturbance intensities in Jiangxi Wuyi Mountain. *Plant Science Journal* (植物科学学报), **32**, 460–466. (in Chinese with English abstract)
- Lin YM (林益明), Yang ZW (杨志伟), Li ZJ (李振基) (2001) *Wuyishan Evergreen Broad-leaved Forest Study* (武夷山常绿林研究), pp. 32–104. Xiamen University Press, Xiamen. (in Chinese)
- Liu JQ (刘剑秋), Yang Q (杨青), Xiao GR (肖桂荣), Liu CM (刘长明) (2012) *Fujian • China Wuyi Mountain Biodiversity Research Information Platform* (中国福建武夷山生物多样性研究信息平台). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Lu ZJ (卢志军), Bao DC (鲍大川), Guo YL (郭屹立), Lu JM (路俊盟), Wang QG (王庆刚), He D (何东), Zhang KH (张奎汉), Xu YZ (徐耀粘), Liu HB (刘海波), Meng HJ (孟红杰), Huang HD (黄汉东), Wei XZ (魏新增), Liao JX (廖建雄), Qiao XJ (乔秀娟), Jiang MX (江明喜), Gu ZR (谷志容), Liao CL (廖春林) (2013) Community composition and structure of Badagongshan (BDGS) forest dynamic plot in a mid-subtropical mountain evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, Central China. *Plant Science Journal* (植物科学学报), **31**, 336–344. (in Chinese with English abstract)
- Ma KP (马克平) (2011) Assessing progress of biodiversity conservation with monitoring approach. *Biodiversity Science* (生物多样性), **19**, 125–126. (in Chinese)
- Ministry of Environmental Protection (环境保护部), Chinese Academy of Sciences (中国科学院) (2013) *Red List of China's Biodiversity: Higher Plants* (中国生物多样性红色名录——高等植物卷). <http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201309/W020130917614244055331.pdf/>. (in Chinese) (accessed February 2015)
- Pereira HM, Ferrier S, Walters M, Geller GN, Jongman RH, Scholes RJ, Bruford MW, Brummitt N, Butchart SH, Cardoso AC, Coops NC, Dulloo E, Faith DP, Freyhof J, Gregory RD, Heip C, Höft R, Hurtt G, Jetz W, Karp DS, McGeoch MA, Obura D, Onoda Y, Pettorelli N, Reyers B, Sayre R, Scharlemann JP, Stuart SN, Turak E, Walpole M, Wegmann M (2013) Essential biodiversity variables. *Science*, **339**, 277–278.
- Song YC (宋永昌), Chen XY (陈小勇), Wang XH (王希华) (2005) Studies on evergreen broad-leaved forests of China: a retrospect and prospect. *Journal of East China Normal University (Natural Science)* (华东师范大学学报(自然科学版)), **119**(1), 1–8. (in Chinese with English abstract)
- Song YC (宋永昌), Wang XH (王希华), Yan ER (阎恩荣) (2013) *Evergreen Broad-leaved Forest in China: Classification, Ecology, Conservation* (中国常绿阔叶林: 分类·生态·保育). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Song YC (宋永昌), Yan ER (阎恩荣), Song K (宋坤) (2015) Synthetic comparison of eight dynamics plots in evergreen broadleaf forests, China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **23**, 139–148. (in Chinese with English abstract)
- Sun RY (孙儒泳), Li QF (李庆芬), Niu CJ (牛翠娟), Lou AR (娄安如) (2002) *Basic Ecology* (基础生态学), pp. 140–143. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Tang SZ (唐守正), Liu SR (刘世荣) (2000) Conservation and sustainability of natural forests in China. *Review of China Agricultural Science and Technology* (中国农业科技导报), **2**(1), 42–46. (in Chinese with English abstract)
- Wang B (王斌), Huang YS (黄俞淞), Li XK (李先琨), Xiang WS (向悟生), Ding T (丁涛), Huang FZ (黄甫昭), Lu SH (陆树华), Han WH (韩文衡), Wen SJ (文淑均), He LJ (何兰军) (2014) Species composition and spatial distribution of a 15 ha northern tropical karst seasonal rain forest dynamics study plot in Nonggang, Guangxi, southern China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **22**, 141–156. (in Chinese with English abstract)
- Wu JH (武吉华), Zhang S (张绅), Jiang Y (江源), Kang MY (康慕谊), Qiu Y (邱扬) (2004) *Plant Geography*, 4th edn. (植物地理学(第四版)), pp. 272–277. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Wu ZY (吴征镒) (2003) Revision of the areal-types of the world families of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica* (云

- 南植物研究), **25**, 535–538. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZY (吴征镒), Sun H (孙航), Zhou ZK (周浙昆), Li DZ (李德铎), Peng H (彭华) (2011) *Floristics of Seed Plants from China* (中国种子植物区系地理). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wu ZY (吴征镒), Zhou ZK (周浙昆), Li DZ (李德铎), Peng H (彭华), Sun H (孙航) (2003) The areal-types of the world families of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **25**, 245–257. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZZ (吴章钟), Han RZ (韩若真), Wei SZ (魏守珍), Lin CC (林承超) (1988) The vegetation vertical distribution in the nature reserve of the Wuyi Mountain. *Journal of Fujian Teachers University (Natural Science)* (福建师范大学学报(自然科学版)), **4**(1), 87–95. (in Chinese with English abstract)
- Xiao ZS (肖治术), Li XH (李欣海), Jiang GS (姜广顺) (2014) Applications of camera trapping to wildlife surveys in China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **22**, 683–684. (in Chinese with English abstract)
- Xu H (许涵), Li YD (李意德), Lin MX (林明猷), Wu JH (吴建辉), Luo TS (骆士寿), Zhou Z (周璋), Chen DX (陈德祥), Yang H (杨怀), Li GJ (李广建), Liu SR (刘世荣) (2015) Community characteristics of 60 ha dynamics plot in the tropical montane rain forest in Jianfengling, Hainan Island. *Biodiversity Science* (生物多样性), **23**, 192–201. (in Chinese with English abstract)
- Xu HG (徐海根), Ding H (丁晖), Wu J (吴军), Cao MC (曹铭昌), Chen L (陈炼), Le ZF (乐志芳), Cui P (崔鹏) (2012) Interpretation of the 2020 global biodiversity targets and its assessment indicators. *Journal of Ecology and Rural Environment* (生态与农村环境学报), **28**(1), 1–9. (in Chinese with English abstract)
- Xu HG (徐海根), Ding H (丁晖), Wu J (吴军), Cao MC (曹铭昌), Cui P (崔鹏), Chen L (陈炼), Lei JC (雷军成), Le ZF (乐志芳), Wu Y (吴翼) (2013a) Principles, indicators and sampling methods for species monitoring. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **33**, 2013–2022. (in Chinese with English abstract)
- Xu HG (徐海根), Sun HY (孙红英), Chen XY (陈小勇), Cao MC (曹铭昌), Cui P (崔鹏), Fang LJ (房丽君) (2013b) *Introduction to the Biological Species Resources Monitor* (生物物种资源监测概论), pp. 2–10. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Xu M (徐敏), Luo ZR (骆争荣), Yu MJ (于明坚), Ding BY (丁炳扬), Wu YG (吴友贵) (2007) Floristic composition and community structure of mid-montane evergreen broad-leaved forest in north slope of Baishanzu Mountain. *Journal of Zhejiang University* (浙江大学学报), **33**, 450–457. (in Chinese with English abstract)
- Yan SJ (闫淑君), Hong W (洪伟), Wu CZ (吴承祯), Bi XL (毕晓丽) (2002) The structure and distribution pattern of dominant populations in *Castanopsis carlesii* community. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), **10**, 15–21. (in Chinese with English abstract)
- Yang Q (杨青), Ding H (丁晖), Fang YM (方炎明), Chen X (陈晓), Xu HG (徐海根), Li M (李蒙) (2014) Analyses on species composition and diversity of evergreen broad-leaved forest community of *Castanopsis eyrei* at Da'an yuan in Wuyi Mountain. *Journal of Plant Resources and Environment* (植物资源与环境学报), **23**(1), 44–50. (in Chinese with English abstract)
- Yang QS (杨庆松), Ma ZP (马遵平), Xie YB (谢玉彬), Zhang ZG (张志国), Wang ZH (王樟华), Liu HM (刘何铭), Li P (李萍), Zhang N (张娜), Wang DL (王达力), Yang HB (杨海波), Fang XF (方晓峰), Yan ER (阎恩荣), Wang XH (王希华) (2011) Community structure and species composition of an evergreen broad-leaved forest in Tiantong's 20 ha dynamic plot, Zhejiang Province, eastern China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **19**, 215–223. (in Chinese with English abstract)
- Yang YF (杨云方), Ding H (丁晖), Xu H (徐海根), Fang YM (方炎明), Chen X (陈晓), Yi XG (伊贤贵), Xu H (徐辉), Yang Q (杨青), Wen XR (温小荣), Xu XJ (徐鲜均) (2013) Point pattern analysis of four main plant populations in evergreen broad-leaved forests typical of Wuyi Mountains, Southeast China. *Journal of Ecology and Rural Environment* (生态与农村环境学报), **29**, 184–190. (in Chinese with English abstract)
- Ye WH (叶万辉), Cao HL (曹洪麟), Huang ZL (黄忠良), Lian JY (练琚愉), Wang ZG (王志高), Li L (李林), Wei SG (魏识广), Wang ZM (王章明) (2008) Community structure of a 20 hm² lower subtropical evergreen broadleaved forest plot in Dinghushan, China. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)* (植物生态学报), **32**, 274–286. (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q (张庆), Niu JM (牛建明), Wang XM (王秀梅) (2009) Research advances on the relationship between biodiversity and ecosystem function. *Bulletin of Biological* (生物学通报), **44**(1), 15–17. (in Chinese)
- Zhang JT (张金屯) (2011) *Quantitative Ecology* (数量生态学), pp. 248–249. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhou XL (周晓丽), Yang Q (杨青), Ding H (丁晖), Fang YM (方炎明), Xu HG (徐海根), Chen X (陈晓) (2014) SSR analysis on genetic diversity of different generations in *Castanopsis eyrei* from Wuyishan, Fujian Province. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), **34**, 671–677. (in Chinese with English abstract)
- Zhu Y (祝燕), Zhao GF (赵谷风), Zhang LW (张俚文), Shen GC (沈国春), Mi XC (米湘成), Ren HB (任海保), Yu MJ (于明坚), Chen JH (陈建华), Chen SW (陈声文), Fang T (方腾), Ma KP (马克平) (2008) Community composition

and structure of Gutianshan forest dynamic plot in a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, East China.

Journal of Plant Ecology (Chinese Version) (植物生态学报), **32**, 262–273. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 米湘成 责任编辑: 黄祥忠)

附录 Supplementary Material

附录1 武夷山森林动态监测样地三维地形图

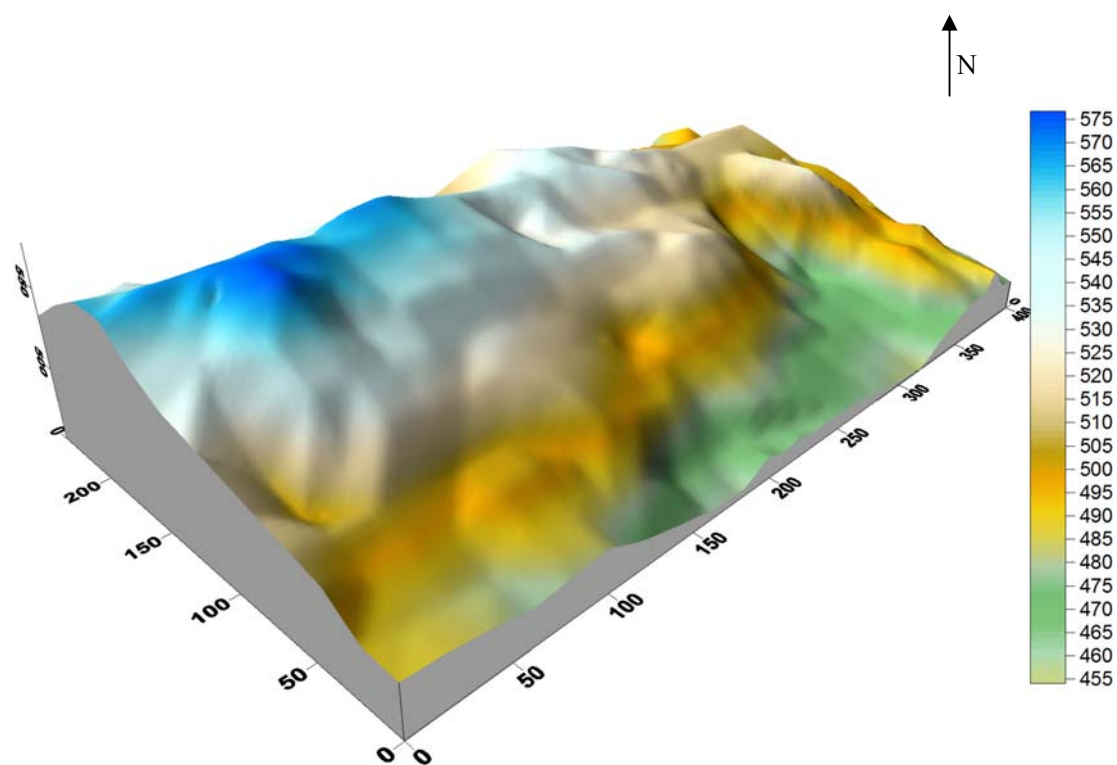
Appendix 1 3D contour map of Wuyi Mountains forest dynamics plot

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2015-021-1.pdf>

附录2 武夷山森林动态监测样地受威胁物种及中国特有物种名录

Appendix 2 The list of the species threatened or endemic to China in Wuyi Mountains forest dynamics plot

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2015-021-2.pdf>



附录1 武夷山森林动态监测样地三维地形图(单位: m)

Appendix 1 3D contour map of Wuyi Mountains forest dynamics plot (unit: m)

附录2 武夷山森林动态监测样地受威胁物种及中国特有物种名录

Appendix 2 The list of the species threatened or endemic to China in Wuyi Mountains forest dynamics plot

物种 Species	国家重点保护野生植物 名录 State Priority Pro- tected Wild Plants List	中国生物多样性红色名 录 Red List of China's Biodiversity	濒危野生动植物种国际贸易公约附录 Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora Appendix	Con-	中国特有 Endemic to China
紫果槭 <i>Acer cordatum</i>					√
南岭槭 <i>Acer metcalfei</i>					√
尖叶川杨桐 <i>Adinandra bockiana</i>					√
var. <i>acutifolia</i>					
大萼杨桐 <i>Adinandra glischroloma</i>					√
var. <i>macrosepala</i>					
细柄蕈树 <i>Altingia gracilipes</i>					√
链珠藤 <i>Alyxia sinensis</i>					√
亮叶桦 <i>Betula luminifera</i>					√
过路惊 <i>Bredia quadrangularis</i>					√
藤构 <i>Broussonetia kaempferi</i> var.					√
<i>australis</i>					
尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i>					√
毛柄连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>					√
米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>					√
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>					√
栲 <i>Castanopsis fargesii</i>					√
毛锥 <i>Castanopsis fordii</i>					√
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>					√
钩锥 <i>Castanopsis tibetana</i>					√
华南桂 <i>Cinnamomum austrosinense</i>					√
天竺桂 <i>Cinnamomum japonicum</i>	II 级 Grade 2	易危 Vulnerable (VU)			
建兰 <i>Cymbidium ensifolium</i>		易危 VU		附录II Appendix II	
虎刺 <i>Damnacanthus indicus</i>					
延平柿 <i>Diospyros tsangii</i>					√
网脉酸藤子 <i>Embelia rudis</i>					√
短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i>					√
微毛柃 <i>Eurya hebeclados</i>					√
格药柃 <i>Eurya muricata</i>					√
窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i> var.					√
<i>attenuata</i>					
岩柃 <i>Eurya saxicola</i>					√
黄毛冬青 <i>Ilex dasyphylla</i>					√
厚叶冬青 <i>Ilex elmerrilliana</i>					√
福建冬青 <i>Ilex fukienensis</i>		近危 Near threatened (NT)			√
大果冬青 <i>Ilex macrocarpa</i>					√
猫儿刺 <i>Ilex pernyi</i>					√
毛冬青 <i>Ilex pubescens</i>					√
香冬青 <i>Ilex suaveolens</i>					√
罗浮冬青 <i>Ilex tutcheri</i>					√
尾叶冬青 <i>Ilex wilsonii</i>					√
红毒茴 <i>Illicium lanceolatum</i>					√
阔叶箬竹 <i>Indocalamus latifolius</i>					√
矩叶鼠刺 <i>Itea oblonga</i>					√
南五味子 <i>Kadsura</i>					√
<i>longipedunculata</i>					
包果柯 <i>Lithocarpus cleistocarpus</i>					√
港柯 <i>Lithocarpus harlandii</i>					√
薄叶润楠 <i>Machilus leptophylla</i>					√

物种 Species	国家重点保护野生植物 名录 State Priority Pro- tected Wild Plants List	中国生物多样性红色名 录 Red List of China's Biodiversity	濒危野生动植物种国际贸易公约附录 Con- vention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora Appendix	中国特有 Endemic to China
建润楠 <i>Machilus oreophila</i>				√
刨花润楠 <i>Machilus pauhoi</i>				√
陀螺果 <i>Meliiodendron xylocarpum</i>				√
福建含笑 <i>Michelia fujianensis</i>				√
深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>				√
羊角藤 <i>Morinda umbellata</i> subsp. <i>obovata</i>				√
肿节少穗竹 <i>Oligostachyum oedogonatum</i>				√
花榈木 <i>Ormosia henryi</i>	II 级 Grade 2			
宁波木犀 <i>Osmanthus cooperi</i>				√
短丝木犀 <i>Osmanthus serrulatus</i>				√
乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>				√
闽楠 <i>Phoebe bournei</i>	II 级 Grade 2			√
浙江楠 <i>Phoebe chekiangensis</i>	II 级 Grade 2			√
小叶石楠 <i>Photinia parvifolia</i>				√
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>				√
刺毛杜鹃 <i>Rhododendron championiae</i>				√
丁香杜鹃 <i>Rhododendron farrerae</i>				√
弯蒴杜鹃 <i>Rhododendron henryi</i>				√
满山红 <i>Rhododendron mariesii</i>				√
马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>				√
深绿卷柏 <i>Selaginella doederleinii</i>				√
尾叶那藤 <i>Stauntonia obovatifoliola</i> subsp. <i>urophylla</i>				√
赛山梅 <i>Styrax confusus</i>				√
密花山矾 <i>Symplocos congesta</i>				√
福建山矾 <i>Symplocos fukienensis</i>				√
尖萼乌口树 <i>Tarenna acutisepala</i>				√
亮叶厚皮香 <i>Ternstroemia nitida</i>				√
紫花络石 <i>Trachelospermum axillare</i>				√
锐尖山香圆 <i>Turpinia arguta</i>				√
江南越桔 <i>Vaccinium mandarinorum</i>				√
球核荚蒾 <i>Viburnum propinquum</i>				√
山葡萄 <i>Vitis amurensis</i>				√