

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2019.50583

杜燕, 刘鑫, 张瀚曰, 李辉, 包维楷. 红灵山亚热带常绿阔叶林维管植物组成与群落结构特征[J]. 植物科学学报, 2019, 37(5): 583-592
Du Y, Liu X, Zhang HY, Li H, Bao WK. Species composition and community structure of the subtropical evergreen broad-leaved forest in Hongling Mountain, Tianquan County, Sichuan Province, China[J]. *Plant Science Journal*, 2019, 37(5): 583-592

红灵山亚热带常绿阔叶林维管植物组成与群落结构特征

杜燕^{1,2}, 刘鑫¹, 张瀚曰^{1,2}, 李辉^{1,2}, 包维楷^{1*}

(1. 中国科学院山地生态恢复与生物资源利用重点实验室, 生态恢复与生物多样性保育四川省重点实验室, 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为了弄清四川天全县红灵山亚热带常绿阔叶林的群落类型及结构特征, 在红灵山中山地段(海拔 1700 ~ 2000 m)设置 6 个 20 m × 30 m 的代表性样地, 采用典型群落调查法, 对其物种组成、群落结构、生物量和自然更新能力等进行研究。结果显示: (1) 样地内调查到 182 个物种, 属 72 科 117 属, 显示出典型亚热带常绿阔叶林的植物区系组成特征; (2) 以扁刺栲群系为主, 可分为 3 个群丛组、5 个群丛; (3) 乔木层密度为 2583 ~ 5383 株/hm², 生物量为 2.42 × 10⁵ ~ 4.26 × 10⁵ kg/hm², 冠层藤本植物地上生物量为 1.01 × 10³ kg/hm², 死木质残体生物量为 1.65 × 10⁵ kg/hm², 次生性特征明显; (4) 幼苗丰富, 其种类组成与乔木层的相似度为 88.89%, 说明其自然更新良好, 群落结构正渐趋稳定。综合分析表明, 红灵山的常绿阔叶林以扁刺栲群系为主, 虽次生性明显, 但目前保存较为完好, 值得进一步强化生态保育。

关键词: 亚热带常绿阔叶林; 群落分类; 群落结构; 更新能力

中图分类号: Q948.15

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2019)05-0583-10

Species composition and community structure of the subtropical evergreen broad-leaved forest in Hongling Mountain, Tianquan County, Sichuan Province, China

Du Yan^{1,2}, Liu Xin¹, Zhang Han-Yue^{1,2}, Li Hui^{1,2}, Bao Wei-Kai^{1*}

(1. Chinese Academy of Sciences Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Bioresource Utilization, Ecological Restoration and Biodiversity Conservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To understand the community types and structural characteristics of the subtropical evergreen broad-leaved forest in Hongling Mountain, Tianquan County, Sichuan Province, China, we established six 20 m × 30 m sample plots between an elevation of 1700 m to 2000 m. We then analyzed species composition, community structure, biomass, and regeneration ability. Results showed that: (1) There were 182 species, belonging to 117 genera and 72 families, which demonstrated the flora characteristics of a typical subtropical evergreen broad-leaved forest; (2) The forest could be classified into three association groups and five associations; (3) The density of the tree layer was 2583-5383 plants/hm², biomass was 2.42 × 10⁵ - 4.26 × 10⁵ kg/hm², aboveground biomass of canopy lianas was 1.01 × 10³ kg/hm², biomass of woody debris (WD) was 1.65 × 10⁵ kg/hm², and the forest was secondary forest; (4) Seedlings were abundant, and the species similarity between seedlings and tree species

收稿日期: 2018-12-18, 退修日期: 2019-01-30。

基金项目: 科技部基础工作专项(2015FY210200)。

This work was supported by a grant from the Basic Work of the Ministry of Science and Technology of China (2015FY210200)。

作者简介: 杜燕(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物群落生态学(E-mail: duyuan@cib.ac.cn)。

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: baowk@cib.ac.cn)。

was 88.89%, indicating good natural forest regeneration ability and stabilized community structure. Comprehensive analysis showed that the evergreen broad-leaved forest was dominated by *Castanopsis platyacantha* formation. Furthermore, although it appears to be a well-preserved secondary forest, further ecological conservation is warranted.

Key words: Subtropical evergreen broad-leaved forest; Community classification; Community structure; Regeneration ability

亚热带常绿阔叶林以东亚地区发育最为典型，而我国亚热带常绿阔叶林分布最广、面积最大，类型最为复杂多样，在维持全球性碳循环的平衡和人类可持续发展等方面具有重要的作用^[1, 2]。我国亚热带常绿阔叶林在其分布区的留存面积已不到总面积的 4%^[3]，不少区域尚未深入调查研究就因破坏而消失。因此，常绿阔叶林整体已成为我国亚热带地区的珍稀森林类型，亟待保护与恢复，而强化植被类型与多样性、结构与功能以及对生态系统服务功能的科学认识成为当前我国生态建设与森林持续管理实践的重大科技需求。

亚热带常绿阔叶林是四川水平地带性最重要的森林植被，也是垂直地带性的基带植被^[4]，但目前只有交通不便的盆地边缘山地常绿阔叶林得以保存下来或处于自然恢复状态^[5]。近 40 年来，研究人员^[6-8]已对四川峨眉山、瓦屋山、青城山等地的常绿阔叶林开展了大量的调查研究，但目前仍有不少空白区域未研究。如位于二郎山东坡的红灵山，其常绿阔叶林现状至今缺乏调查研究，相关常绿阔叶林类型、结构与植物多样性特征尚不清楚。到目前为止，仅见少数文献^[9-12]对二郎山地区的常绿阔叶林有粗略的考察记述。

二郎山东坡的常绿阔叶林分布在海拔 1200 ~ 1600 m 的区域，在中国植被区划上属中亚热带常绿阔叶林东部类型^[9]，在四川植被区划上属四川盆地西部边缘山地常绿阔叶林，主要有扁刺栲 (*Castanopsis platyacantha* Rehder & E. H. Wilson)、华木荷 (*Schima sinensis* (Hemsley & E. H. Wilson) Airy Shaw) 林和包果柯 (*Lithocarpus cleistocarpus* (Seemen) Rehder & E. H. Wilson) 林这两种群落类型^[5]。林下土壤为黄壤和黄棕壤，其有机质和全氮含量普遍处于高水平状态^[11, 12]。我们于 2016 年对红灵山常绿阔叶林开展调查研究，目的在于：(1) 揭示红灵山常绿阔叶林的群落类型、结构和物种组成等群落学特

征；(2) 评估该区域常绿阔叶林的自然更新能力，为这一珍稀常绿阔叶林的保护和持续管理提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

红灵山位于四川省雅安市天全县，植被垂直带基本完整，海拔更替清晰(图 1)。本次调查区域位于红灵山万灵寺附近(30°02' ~ 30°04'N、102°33' ~ 102°35'E)，地处四川盆地西缘华西雨屏带^[13]，属亚热带大陆性季风气候。平均雨日大于 220 d，年均降水量 1732.0 mm，平均蒸发量 924.2 mm，年均相对湿度 83%；年均气温 15.1℃，极端最高温 33.9℃、最低温 -6.3℃；无霜期 285 d，年均积温 4649.3℃；平均日照时数 862.2 h，平均总辐射量为 77467.5 Cal · cm⁻² · a⁻¹；平均风速 0.9 m/s，最大风速 9.0 m/s^[14, 15]。

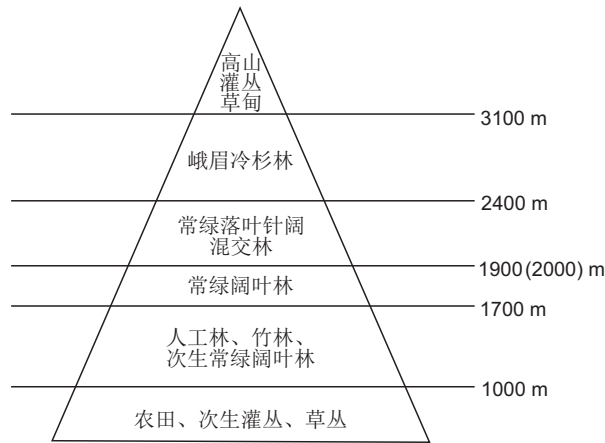


图 1 红灵山植被垂直分布示意图
Fig. 1 Current vertical distribution pattern of vegetation in Hongling Mountain, Sichuan Province

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及野外调查内容和方法

在初步踏查的基础上，在扁刺栲和华木荷集中分布的中山带(1700 ~ 2000 m)，选择典型地段设

置代表性样地(图 2)。根据海拔与植被外貌变化,参考地形地貌设置 6 个样地(表 1),采用典型群落调查法进行调查^[16]。样地面积为 20 m × 30 m,划分为 6 个 10 m × 10 m 乔木样方,在每个乔木样方的四个角及中心设置 5 个 2 m × 2 m 灌木样方,在每个灌木样方左上角和右下角各设 1 个 1 m × 1 m 草本样方。调查中将树高 $H \geq 3$ m 的植物划归乔木层, $H < 3$ m 则划归灌木层。本次共调查乔木样方 36 个、灌木样方 180 个、草本样方 360 个。野外样地调查于 2016 年 7 月进行。

1.2.2 数据统计分析方法

以《中国植物志》英文修订版(FOC)和《四川植物志》为依据,对野外采集的疑难标本进行分类鉴定,建立数据库。以样地为单元,分别计算乔木层、灌木层和草本层的重要值,计算公式为: $IV =$

$(\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对优势度})/3 \times 100\%$ 。其中,乔木层相对优势度 = 某个体胸高断面积/总胸高断面积;灌木层(或草本层)相对优势度 = 某个体盖度/总盖度。

植物群落类型划分采用除趋势对应分析法(DCA)进行。构建 6 个样地中出现的所有物种的重要值矩阵,然后进行数量分类。

汇总已有生物量的估算方程和立木材积表^[17-21],对样地内乔木层、冠层藤本和死木质残体(woody debris, WD)的生物量以及立木材积进行估算(计算公式见附表 1、附表 2)。

重要值、生物量和立木材积等的计算在 Excel 2010 中完成。利用 R 3.4.2 软件及其 Vegan 软件包进行群落数量分类和绘图,利用 Origin 9.0 进行种群自然更新能力分析和绘图。

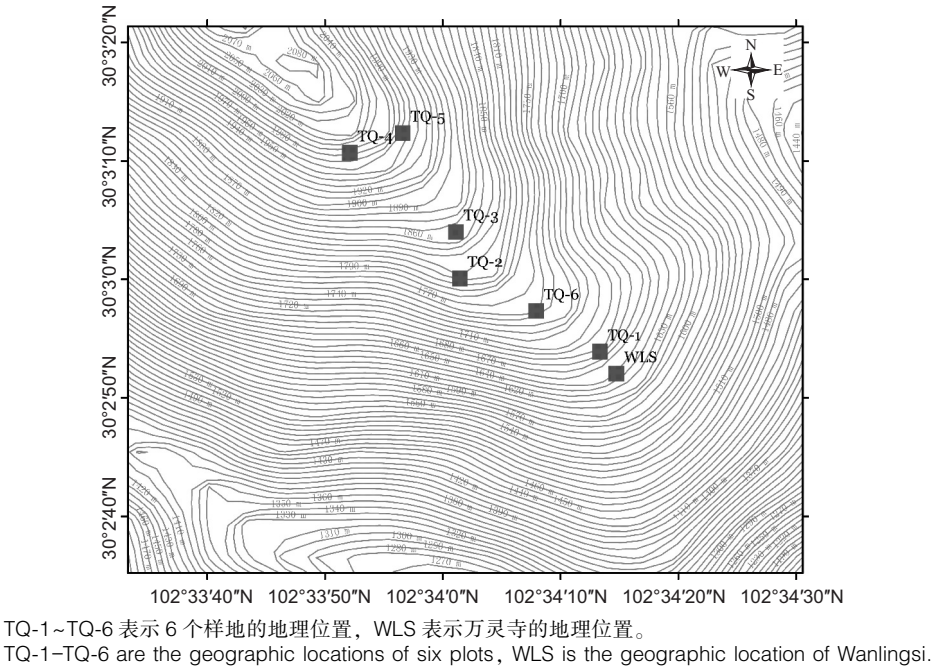


图 2 四川红灵山样地分布示意图
Fig. 2 Illustration of plots in Hongling Mountain, Sichuan Province

表 1 四川红灵山调查样地基本信息
Table 1 Basic information of plots in Hongling Mountain, Sichuan Province

样地编号 No. of plot	经纬度 Latitude/Longitude	海拔(m) Elevation	坡向 Aspect	坡度 Slope
TQ-1	30°02'53.892"N, 102°34'13.356"E	1729	南偏东 39°	22°
TQ-2	30°03'00.090"N, 102°34'01.446"E	1845	北偏东 51°	22°
TQ-3	30°03'04.014"N, 102°34'01.122"E	1898	南偏西 62°	23°
TQ-4	30°03'04.014"N, 102°34'01.122"E	1985	南偏东 29°	29°
TQ-5	30°03'12.360"N, 102°33'56.598"E	1965	北偏东 82°	27°
TQ-6	30°02'57.330"N, 102°34'07.920"E	1811	南偏西 37°	30°

2 结果与分析

2.1 物种组成

红灵山 6 个样地共记录到维管植物 72 科 117 属 182 种。乔木层树种有 63 种, 以壳斗科 (Fagaceae)、山矾科 (Symplocaceae)、山茶科 (Theaceae)、樟科 (Lauraceae) 和杜鹃花科 (Ericaceae) 为主 (共计 28 种)。其中常绿树种 37 种, 落叶树种 26 种, 株数占比分别为 77.07% 和 22.93%, 胸高断面积占比分别为 86.16% 和 13.84%, 是典型的以常绿树种为主的常绿阔叶混交林。灌木层组成种类最丰富, 共计有 44 科 68 属 116 种, 其中藤本植物 21 种。草本层植物 62 种, 其中种子植物 20 科 30 属 37 种, 蕨类植物 8 科 12 属 25 种。

从种子植物的区系地理成分来看, 除与热带亚洲至热带非洲分布、中亚分布和地中海、西亚至东亚分布 3 个类型无联系外, 与其他 12 个地理成分均有联系。温带成分较热带成分占优势, 分别为 53 属和 31 属; 北温带成分与东亚成分分别占温带成分的 39.62% 和 37.74%, 热带亚洲成分与泛热带亚洲成分分别占热带成分的 41.94% 和 25.81%。

2.2 群落结构

红灵山植物群落层次结构明显, 地上层片分层明显, 各层次优势种明显。

乔木层的建群种和第一优势种为扁刺栲, 次优势种为青冈 (*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.) 和山矾 (*Symplocos sumuntia* Buch.-Ham. ex D. Don)。乔木层可分为 4 个亚层, 第一亚层 $H \geq 15$ m, 由扁刺栲、华木荷、白柯 (*Lithocarpus dealbatus* (J. D. Hooker & Thomson ex Miquel) Rehder)、四川大头茶 (*Polyspora speciosa* (Kochs) B. M. Bartholomew & T. L. Ming)、青冈等 15 种高大乔木个体组成, 仅占乔木个体总数的 3.40%; 第二亚层 $10 \text{ m} \leq H < 15 \text{ m}$, 由扁刺栲、华木荷、山胡椒 (*Lindera* sp.)、吴茱萸五加 (*Gamblea ciliata* var. *evodiifolia* (Franchet) C. B. Shang et al.)、多脉冬青 (*Ilex polyneura* (Handel-Mazzetti) S. Y. Hu) 等 30 种树木组成, 占乔木个体总数的 20.00%; 第三亚层 $5 \text{ m} \leq H < 10 \text{ m}$, 由扁刺栲、山矾、短柱柃 (*Eurya brevistyla* Kobuski)、白柯、吴茱萸五加等

54 种树木组成, 占乔木个体总数的 54.36%; 第四亚层 $3 \text{ m} \leq H < 5 \text{ m}$, 由山矾、扁刺栲、短柱柃、白柯、华木荷等 37 种树木组成, 占乔木个体总数的 22.24%。南蛇藤 (*Celastrus* sp.)、狗枣猕猴桃 (*Actinidia kolomikta* (Maximowicz & Ruprecht) Maximowicz)、柔毛五味子 (*Schisandra tomentella* A. C. Smith)、梨叶悬钩子 (*Rubus pirifolius* Smith)、木通 (*Akebia* sp.) 等大型木质藤本通过攀援高大乔木进入乔木层, 部分个体长 20 m 以上。

灌木层平均盖度 39.2%, 优势种为箭竹 (*Fargesia* sp.) 和八月竹 (*Chimonobambusa szechuanensis* (Rendle) P. C. Keng)。扁刺栲、华木荷、白柯、山矾等物种的更新幼苗幼树较多, 占总株数的 50.25%, 藤本植物以悬钩子 (*Rubus* spp.)、菝葜 (*Smilax* spp.) 和狗枣猕猴桃居多。

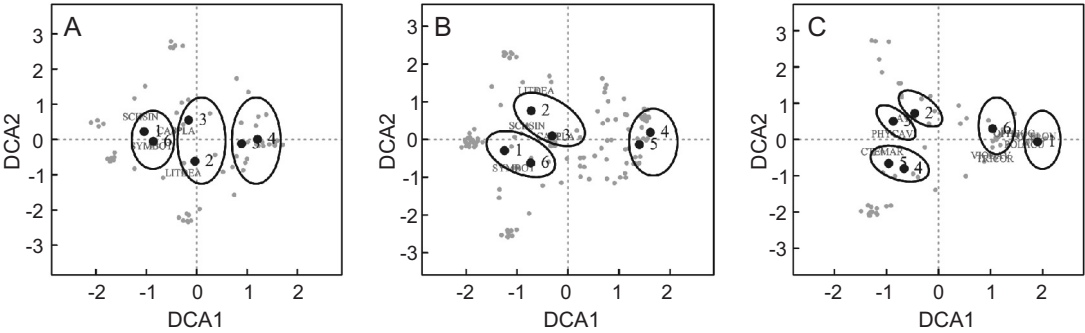
草本层平均盖度 11.9%, 优势种为锦香草 (*Phyllagathis cavaleriei* (H. Léveillé & Vaniot) Guillaumin)、泡鳞鳞毛蕨 (*Dryopteris kawakamii* Hayata) 和莎草 (*Cyperus* sp.), 蹄盖蕨 (*Athyrium* sp.)、尖头耳蕨 (*Polystichum acutipinnulum* Ching et Shing)、耳形瘤足蕨 (*Plagiogyria stenoptera* (Hance) Diels)、峨眉双蝴蝶 (*Tripterosperrum cordatum* (C. Marquand) Harry Smith) 等也较常见。蕨类植物生长繁茂, 占总株数的 37.93%。草本层植物分布不连续, 物种集群分布明显。

凋落物平均盖度为 83.3%, 平均厚度为 6.0 cm。

2.3 群落数量分类及各群丛的基本特征

对乔木层 63 个物种的重要值进行排序分析, 可将 6 个样地划分为 3 个群丛组: 扁刺栲+山矾+华木荷-八月竹-蕨 (样地 1、样地 6)、扁刺栲+白柯-八月竹-蕨 (样地 2、样地 3)、青冈+扁刺栲-箭竹-莎草+锦香草+泡鳞鳞毛蕨 (样地 4、样地 5) (图 3)。结合对灌木层、草本层的 DCA 排序分析和各样地物种组成情况, 依据植物群落分类和命名原则, 以上 3 个群丛组可进一步细分为 5 个群丛 (图 3):

群丛 1: 扁刺栲+山矾-八月竹-峨眉双蝴蝶+短药沿阶草+活血丹 (Ass. 1 *Castanopsis platycantha* + *Symplocos sumuntia* - *Chimonobambusa szechuanensis* - *Tripterosperrum cordatum* + *Ophiopogon angustifolius* + *Glechoma longituba*) (样地 1)



A、B、C 分别为乔木层、灌木层、草本层的群落排序。
A, B, and C are DCA sequence diagrams of the tree, shrub, and herb layers.

图 3 群落排序分类图
Fig. 3 DCA sequence diagrams

群落高度 12 m，乔木个体高达 14.5 m，郁闭度 0.75，乔木密度 3667 株/hm²。乔木层优势种为扁刺栲和山矾，华木荷为次优势种。灌木盖度 55.3%，优势种为八月竹和山矾。草本盖度 9.3%，以峨眉双蝴蝶、短药沿阶草、活血丹和顶芽狗脊 (*Woodwardia unigemmata* (Makino) Nakai) 为常见种。

群丛 2：扁刺栲-八月竹-尖头耳蕨 (Ass. 2 *Castanopsis platyacantha* - *Chimonobambusa szechuanensis* - *Polystichum acutipinnulum*) (样地 6)

群落高度 13 m，乔木个体高达 17.5 m，郁闭度 0.80，乔木密度 2583 株/hm²。乔木层优势种为扁刺栲，华木荷和山矾为次优势种。灌木盖度 37.0%，优势种为八月竹，山矾和扁刺栲为次优势种。草本盖度 15.5%，尖头耳蕨占绝对优势。

群丛 3：扁刺栲-八月竹-凸轴蕨 (Ass. 3 *Castanopsis platyacantha* - *Chimonobambusa szechuanensis* - *Metathelypteris* sp.) (样地 2)

群落高度 13 m，乔木个体高达 26 m，郁闭度 0.80，乔木密度 5383 株/hm²。乔木层优势种为扁刺栲，白柯为次优势种。灌木盖度 31.1%，优势种为八月竹，白柯和扁刺栲更新幼苗较多。草本盖度 5.0%，优势种为凸轴蕨，蹄盖蕨、锦香草和泡鳞鳞毛蕨为次优势种。

群丛 4：扁刺栲-八月竹-锦香草 (Ass. 4 *Castanopsis platyacantha* - *Chimonobambusa szechuanensis* - *Phyllagathis cavaleriei*) (样地 3)

群落高度为 12 m，乔木个体高达 16.5 m，郁闭度 0.85，乔木密度 4783 株/hm²。乔木层扁刺栲占绝对优势。灌木盖度 21.3%，八月竹占绝对

优势，扁刺栲更新幼苗较多。草本盖度 6.42%，优势种为锦香草，泡鳞鳞毛蕨为次优势种。

群丛 5：青冈+扁刺栲-箭竹-莎草+锦香草 (Ass. 5 *Cyclobalanopsis glauca* - *Castanopsis platyacantha* - *Fargesia* sp.) (样地 4、样地 5)

群落高度 15 m，乔木个体高达 27.5 m，郁闭度 0.78，乔木密度 2583 株/hm²。乔木层优势种为青冈，扁刺栲和杜鹃为次优势种。灌木盖度 45.2%，箭竹占绝对优势，杜鹃更新幼苗较多。草本盖度 17.6%，优势种为莎草和锦香草，泡鳞鳞毛蕨为次优势种。

5 个群丛乔木层、灌木层和草本层的主要物种及其重要值详见表 2。

2.4 各群丛生物量及活立木材积量

经统计，3600 m² 样地内乔木层地上生物量为 9.83 × 10⁴ kg，根系生物量为 2.04 × 10⁴ kg，总生物量为 1.19 × 10⁵ kg；活立木材积为 101.69 m³；南蛇藤、柔毛五味子、狗枣猕猴桃、梨叶悬钩子等 7 种冠层藤本植物地上生物量为 360 kg；死木质残体(WD)地上生物量为 3.77 × 10⁴ kg，根系生物量为 2.19 × 10⁴ kg，总生物量为 5.96 × 10⁴ kg，枯立木、倒木和枯桩的生物量占比分别为 35.32%、35.78%和 28.90%；。各群丛乔木层生物量和活立木材积见表 3。

2.5 自然更新能力

样地内的更新幼苗幼树密度为 30694 株/hm²，更新树种 63 种。其中，山矾的更新幼苗最多，密度为 4208 株/hm²，其次为扁刺栲、白柯、华木荷和润楠，密度分别为 2931、2333、2097、2083 株/hm²。从更新乔木树种组成来看，乔木层有更新

表 2 群丛各层次主要物种及其重要值 (%)
Table 2 Main species and importance index of tree, shrub, and herb layers in every association

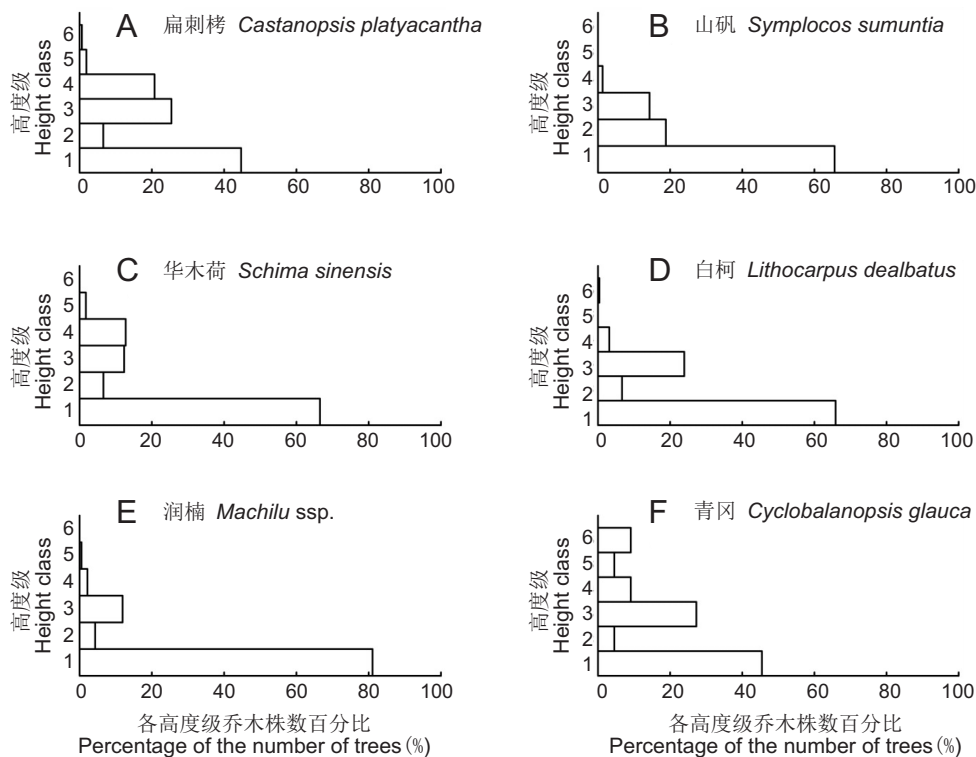
层次 Layer	物种 Species	群丛 1 Ass. 1	群丛 2 Ass. 2	群丛 3 Ass. 3	群丛 4 Ass. 4	群丛 5 Ass. 5
乔木层 Tree layer (Ass. 1, 2, 3, 4, <i>n</i> = 6; Ass. 5, <i>n</i> = 12)	扁刺栲 <i>Castanopsis platyacantha</i> Rehder & E. H. Wilson	30.28	29.72	19.94	26.33	12.04
	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunberg) Oersted	0.00	0.00	0.00	0.00	23.18
	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i> Buchanan-Hamilton ex D. Don	20.16	11.00	4.99	3.89	3.60
	华木荷 <i>Schima sinensis</i> (Hemsley & E. H. Wilson) Airy Shaw	16.55	12.73	1.04	5.89	1.02
	白柯 <i>Lithocarpus dealbatus</i> (J. D. Hooker & Thomson ex Miquel) Rehder	2.63	2.11	12.47	6.13	1.12
	杜鹃 (大白杜鹃、腺果杜鹃、银叶杜鹃) <i>Rhododendron</i> spp. (<i>decorum</i> , <i>davidii</i> , <i>argyrophyllum</i>)	1.13	0.00	0.00	1.80	11.04
	短柱柃 <i>Eurya brevistyla</i> Kobuski	0.00	9.05	5.34	4.99	5.20
灌木层 Shrub layer (Ass. 1, 2, 3, 4, <i>n</i> = 30; Ass. 5, <i>n</i> = 60)	八月竹 <i>Chimonobambusa szechuanensis</i> (Rendle) P. C. Keng	21.47	18.75	20.33	32.78	1.25
	箭竹 <i>Fargesia</i> sp.	0.00	0.00	0.00	0.00	40.52
	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i> Buchanan-Hamilton ex D. Don	21.32	14.09	8.55	1.07	1.41
	华木荷 <i>Schima sinensis</i> (Hemsley & E. H. Wilson) Airy Shaw	10.52	1.94	2.65	2.73	0.67
	扁刺栲 <i>Castanopsis platyacantha</i> Rehder & E. H. Wilson	5.45	11.66	11.96	11.21	2.69
	悬钩子 (梨叶悬钩子、复盆子等) <i>Rubus</i> spp. (<i>pirifolius</i> , <i>idaeus</i> , <i>et al.</i>)	7.53	9.66	1.64	2.81	3.44
	白柯 <i>Lithocarpus dealbatus</i> (J. D. Hooker & Thomson ex Miquel) Rehder	0.75	6.02	16.48	6.13	0.93
草本层 Herb layer (Ass. 1, 2, 3, 4, <i>n</i> = 60; Ass. 5, <i>n</i> = 120)	杜鹃 (大白杜鹃、腺果杜鹃、银叶杜鹃) <i>Rhododendron</i> spp. (<i>decorum</i> , <i>davidii</i> , <i>argyrophyllum</i>)	0.00	0.00	0.00	2.30	10.14
	峨眉双蝴蝶 <i>Tripterospermum cordatum</i> (C. Marquand) Harry Smith	9.05	4.71	1.19	2.60	2.02
	短药沿阶草 <i>Ophiopogon bockianus</i> var. <i>angustifolius</i> Wang et Tang	8.70	5.40	2.08	0.53	0.00
	活血丹 <i>Glechoma longituba</i> (Nakai) Kupr	8.63	0.40	0.00	0.00	0.00
	莎草 <i>Cyperus</i> spp.	7.62	4.49	1.01	1.05	18.98
	尖头耳蕨 <i>Polystichum acutipinnulum</i> Ching et Shing	6.76	19.55	0.00	0.00	0.00
	锦香草 <i>Phyllagathis cavaleriei</i> (H. Lévêillé & Vaniot) Guillaumin	2.90	3.08	13.04	30.64	18.63
	蹄盖蕨属 <i>Athyrium</i> sp.	1.04	0.67	14.81	5.30	2.58
	深圆齿堇菜 <i>Viola davidii</i> Franchet	0.88	9.65	0.60	0.00	1.01
	凸轴蕨属 <i>Metathelypteris</i> sp.	0.00	1.95	24.64	4.01	1.37
	泡鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris kawakamii</i> Hayata	0.00	9.06	10.06	18.24	14.19

表 3 各群丛乔木层生物量和活立木材积
Table 3 Biomass and standing wood volume of tree layer in every association

群丛 Association	地上生物量 Aboveground biomass (kg/hm ²)	根系生物量 Root biomass (kg/hm ²)	总生物量 Total biomass (kg/hm ²)	活立木材积 Standing wood volume (m ³ /hm ²)
1	202.53 × 10 ³	41.79 × 10 ³	244.32 × 10 ³	177.13
2	200.26 × 10 ³	42.18 × 10 ³	242.44 × 10 ³	201.91
3	268.20 × 10 ³	58.33 × 10 ³	326.54 × 10 ³	295.22
4	254.67 × 10 ³	57.18 × 10 ³	311.85 × 10 ³	249.14
5	355.88 × 10 ³	70.39 × 10 ³	426.27 × 10 ³	385.73

树种 56 种, 调查发现, 乔木层的黑壳楠 (*Lindera megaphylla* Hemsley)、花楸 (*Sorbus* sp.)、红果树 (*Stranvaesia davidiana* Decaisne)、木犀 (*Reseda* sp.) 等 7 个树种在样地中未见到更新幼苗, 而八角枫 (*Alangium chinense* (Loureiro) Harms)、异叶榕 (*Ficus heteromorpha* Hemsley)、长叶珊瑚 (*Aucuba himalaica* var. *dolichophylla* W. P. Fang & T. P. Soong)、西域旌节花 (*Stachyurus himalaicus* J. D. Hooker & Thomson ex Bentham)

等 7 个树种未在乔木层出现。
植物个体高度级分布状况能有效地反映种群现状和发展趋势。乔木高度可划分为 6 个等级: 1 级 ($H < 3\text{ m}$); 2 级 ($3\text{ m} \leq H < 5\text{ m}$); 3 级 ($5\text{ m} \leq H < 10\text{ m}$); 4 级 ($10\text{ m} \leq H < 15\text{ m}$); 5 级 ($15\text{ m} \leq H < 20\text{ m}$); 6 级 ($H \geq 20\text{ m}$)。对扁刺栲、山矾、华木荷、白柯、润楠和青冈 6 种优势树种高度级结构进行分析, 结果显示 (图 4): 扁刺栲个体分布的高度较广, 20 m 以上的大树也有一定



1, 2, 3, 4, and 5 are the height classes: Class 1 ($H < 3\text{ m}$); Class 2 ($3\text{ m} \leq H < 5\text{ m}$); Class 3 ($5\text{ m} \leq H < 10\text{ m}$); Class 4 ($10\text{ m} \leq H < 15\text{ m}$); Class 5 ($15\text{ m} \leq H < 20\text{ m}$); Class 6 ($H \geq 20\text{ m}$).

图 4 主要乔木种群高度级结构
Fig. 4 Height class distribution of main tree species

的数量，成为最高大的种群；华木荷、白柯和润楠 15 m 以上的高大个体虽然数量不多，但其幼苗密度大，种群发展潜力大；山矾受自身生长型的影响，缺乏 15 m 以上的高大个体，是乔木层中下层的重要组成物种。青冈的高大个体仅在样地 4、5 中出现，幼苗在样地 3、4、5、6 均有发现，但数量很少，密度仅为 139 株/hm²。

3 讨论

3.1 物种组成及群落结构

从物种组成来看，红灵山与中亚热带东部其他区域以栲属(*Castanopsis*)为建群种的常绿阔叶林相比，木本物种组成相似，均以壳斗科、樟科、山茶科和山矾科为主^[22-24]。红灵山北温带成分与东亚成分、泛热带成分与热带亚洲成分明显，这与瓦屋山常绿阔叶林相似^[25]。

从群落结构来看，红灵山乔木密度(3597 株/hm²)远高于瓦屋山原生常绿阔叶林(1633 株/hm²)；平均树高(8.02 m)则低于瓦屋山原生林(12.8 m)；平均胸径(9.56 cm)也低于瓦屋山原

生林(21.5 cm)^[7]。表明红灵山扁刺栲林的次生性明显，是遭受人为干扰后自然演替形成的。通过对本调查区域的短期访谈进一步证实，红灵山是我国藏传佛教由西传入内地的较重要的过渡地段，从 20 世纪 80 年代后期开始逐步重建的早期遭破坏的庙宇情况分析，常绿阔叶林的破坏、恢复与这些寺庙的破坏、重建显然有着必然联系。

3.2 生物量及立木材积

在生物量积累方面，红灵山的扁刺栲林乔木层地上生物量($2.73 \times 10^5\text{ kg/hm}^2$)低于武夷山先峰岭甜槠林(*Forest Castanopsis eyrei* (Champion ex Bentham) Tutcher) ($3.48 \times 10^5\text{ kg/hm}^2$)^[26]和天童常绿阔叶林($3.64 \times 10^5\text{ kg/hm}^2$)^[27]；根系生物量为 $5.67 \times 10^4\text{ kg/hm}^2$ ，接近武夷山先峰岭甜槠林($5.65 \times 10^4\text{ kg/hm}^2$)^[26]；总生物量 $3.30 \times 10^5\text{ kg/hm}^2$ ，高于鼎湖山黄果厚壳桂林(*Forest Cryptocarya concinna* Hance) ($2.04 \times 10^5\text{ kg/hm}^2$)^[28]，也高于全国常绿阔叶林平均水平($2.20 \times 10^5\text{ kg/hm}^2$)^[29]。红灵山冠层藤本植物地上生物量为 $1.01 \times 10^3\text{ kg/hm}^2$ ，远低于哀牢

山湿性常绿阔叶林 ($9.80 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$)^[19], 高于天童国家森林公园木荷、米槠林 (Forest *Schima superba* Gardner & Champion, *Castanopsis carlesii* (Hemsley) Hayata) (500 kg/hm^2)^[30]。红灵山死木质残体(WD)生物量为 $1.65 \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$, 远高于鼎湖山季风常绿阔叶林 ($4.21 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$)^[31] 和缙云山常绿阔叶林 ($3.84 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$)^[32]; 红灵山上生物量为 $1.05 \times 10^5 \text{ kg/hm}^2$, 远高于武夷山甜槠栲林 ($7.35 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$)^[33], 略高于哀牢山中山湿性常绿阔叶林 ($9.85 \times 10^4 \text{ kg/hm}^2$)^[34]。

红灵山扁刺栲林分木材蓄积量为 $282.48 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 低于马边黄连山扁刺栲、华木荷林 ($395 \text{ m}^3/\text{hm}^2$) 和雷波核桃坪扁刺栲、华木荷林 ($593 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)^[35], 高于瓦屋山自然恢复 15 年的次生常绿阔叶林 ($218 \sim 235 \text{ m}^3/\text{hm}^2$)^[36]。

3.3 自然更新能力

红灵山常绿阔叶林幼苗数量丰富, 其物种组成与乔木层的相似度为 88.89%, 主要乔木种群均为稳定型或增长型种群, 扁刺栲的优势种和建群种地位在未来相当长的一段时间内不会发生变化, 而青冈一旦遇到不利的生长条件, 种群可能会发生衰退, 其在部分地段的优势种地位在未来很有可能被其他物种替代。因此, 该研究区的亚热带常绿阔叶林群落结构正渐趋稳定, 森林自然更新能力良好。

3.4 对森林经营的建议

天全县是我国最早实施天保工程的县区之一, 常绿阔叶林一直是禁止破坏而严格保护对象之一, 红灵山的常绿阔叶林目前处于演替中期状态, 这与 1998 年启动并延续至今的天然林保护工程取得的显著阶段性成效密不可分^[37], 后期还要进一步巩固已取得成果。

4 结论

综上所述, 红灵山以扁刺栲为优势种和建群种的常绿阔叶林区系成分复杂, 生物量和生产力较高, 自然更新能力良好, 是保存较完整的常绿阔叶林, 具有较高的生态保育价值, 值得进一步加强保护, 以保障其自然更新进程不受日益增多的旅游经济活动的干扰。

参考文献:

[1] 宋永昌, 陈小勇, 王希华. 中国常绿阔叶林研究的回顾与展

望[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2005(1): 1-8.

Song YC, Chen XY, Wang XH. Studies on evergreen broad-leaved forests of china: a retrospect and prospect [J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2005(1): 1-8.

[2] 曹福祥, 祁承经, 喻勋林, 徐庆军, 曹基武, 徐永福. 中国中部亚热带常绿阔叶林保育的重要性及其恢复重建策略[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(11): 95-104.

Cao FX, Qi CJ, Yu XL, Xu QJ, Cao JW, Xu YF. Conservation significances of evergreen broad-leaved forests in central China and the strategy of their restoration and rehabilitation[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2010, 30(11): 95-104.

[3] 宋永昌. 中国常绿阔叶林: 分类、生态、保育[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 3-15.

[4] 刘玉成. 对四川亚热带常绿阔叶林分布的认识[J]. 西南师范学院学报(自然科学版), 1982(2): 28-33.

[5] 四川植被协作组. 四川植被[M]. 成都: 四川人民出版社, 1980: 90-133.

[6] 杨一川, 庄平, 黎系荣. 峨眉山峨眉栲、华木荷群落研究[J]. 植物生态学报, 1994, 18(2): 105-120.

Yang YC, Zhuang P, Li XR. Ecological studies on the forest community of *Castanopsis platyacantha*-*Schima sinensis* on Emei Mountain [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, 18(2): 105-120.

[7] 包维楷, 刘照光. 四川瓦屋山原生和次生常绿阔叶林的群落学特征[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(2): 120-126. Bao WK, Liu ZG. Community features of the primary and naturally secondary evergreen broad-leaved forests in Mt. Wawu in Sichuan, China[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2002, 8(2): 120-126.

[8] 马丹炜. 四川都江堰市青城山森林植被生态学特征的研究[D]. 重庆: 西南师范大学, 2001.

[9] 钟章成. 四川常绿阔叶林分区和区划原则有关问题的几点意见[J]. 西南师范学院学报(自然科学版), 1982(2): 16-30.

[10] 罗国立, 邓强, 刘鹏, 王艳, 杨瑞武. 四川省二郎山常见被子植物资源和分布特征[J]. 中国野生植物资源, 2013, 32(2): 37-40, 55.

Luo GL, Deng Q, Liu P, Wang Y, Yang RW. Common angiosperms and distribution characteristics of Erlang Mountain, Sichuan Province [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2013, 32(2): 37-40, 55.

[11] 王昌全, 刘世全. 二郎山森林土壤类型研究[J]. 四川农业大学学报, 1990, 8(4): 298-311.

Wang CQ, Liu SQ. Study of forest soil types of Erlang Mountain[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1990, 8(4): 298-311.

[12] 蒲玉琳, 刘世全, 陈远学, 李怡. 四川盆地西缘山地土壤的坡向性分异研究: 以二郎山、大相岭为例[J]. 四川农业大学学报, 2006, 24(3): 319-324.

Pu YL, Liu SQ, Chen YX, Li Y. Slope-directive variation of mountain soils in the western borders of the Sichuan basin: a case study of Mt. Erlang and Mt. Daxiangling[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2006, 24(3):

- 319–324.
- [13] 庄平, 高贤明. 华西雨屏带及其对我国生物多样性保育的意义[J]. 生物多样性, 2002, 10(3): 339–344.
Zhuang P, Gao XM. The concept of the rainy zone of west China and its significance to the biodiversity conservation in China[J]. *Biodiversity Science*, 2002, 10(3): 339–344.
- [14] 杜文东. 二郎山国家森林公园景观格局动态研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008: 12.
- [15] 王德康, 于康宁. 天全河流域降雨径流特性探讨[J]. 四川水利, 1999, 20(2): 16–18.
- [16] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 唐志尧, 贺金生, 于丹, 等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533–548.
Fang JY, Wang XP, Shen ZH, Tang ZY, He JS, Yu D, et al. Methods and protocols for plant community inventory[J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17(6): 533–548.
- [17] 刘琪璟. 中国立木材积表[M]. 北京: 中国林业出版社, 2017: 859–893.
- [18] 袁春明, 刘文耀, 李小双, 杨国平. 哀牢山湿性常绿阔叶林木质藤本植物地上部分生物量及其对人为干扰的响应[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 852–859.
Yuan CM, Liu WY, Li XS, Yang GP. Aboveground biomass of lianas and its response to anthropogenic disturbances in moist evergreen broad-leaved forests in the Ailao Mountains of southwestern China[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(5): 852–859.
- [19] 魏平, 温达志, 黄忠良, 张倩媚, 孔国辉. 鼎湖山季风常绿阔叶林死木生物量及其特征[J]. 生态学报, 1997, 17(5): 55–60.
Wei P, Wen DZ, Huang ZL, Zhang QM, Kong GH. The biomass and characteristic of the dead trees in monsoon evergreen broad-leaved forest in Dinghushan[J]. *Acta Ecological Sinica*, 1997, 17(5): 55–60.
- [20] 马明东, 江洪, 杨俊义. 四川盆地西缘楠木人工林分生物量的研究[J]. 四川林业科技, 1989, 10(3): 6–14.
- [21] 周国逸, 尹光彩, 唐旭利, 等. 中国森林生态系统碳储量: 生物量方程[M]. 北京: 科学出版社, 2018: 40–59.
- [22] 方燕鸿. 武夷山米槎、甜槎常绿阔叶林的物种组成及多样性分析[J]. 生物多样性, 2005, 13(2): 148–155.
Fang YH. Species composition and diversity of evergreen broad-leaved forest of *Castanopsis carlesii* and *C. eyrei* in Wuyishan National Nature Reserve, Fujian, China[J]. *Biodiversity Science*, 2005, 13(2): 148–155.
- [23] 仲磊, 张杨家豪, 卢品, 顾雪萍, 雷祖培, 蔡延奔, 等. 次生常绿阔叶林的群落结构与物种组成: 基于浙江乌岩岭 9 ha 森林动态样地[J]. 生物多样性, 2015, 23(5): 619–629.
Zhong L, Zhang YJH, Lu P, Gu XP, Lei ZP, Cai YB, et al. Community structure and species composition of the secondary evergreen broad-leaved forest: the analyses for a 9 ha forest dynamics plot in Wuyanling Nature Reserve, Zhejiang Province, East China[J]. *Biodiversity Science*, 2015, 23(5): 619–629.
- [24] 祝燕, 赵谷风, 张俪文, 沈国春, 米湘成, 任海保, 等. 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, 2008, 32(2): 262–273.
Zhu Y, Zhao GF, Zhang LW, Shen GC, Mi XC, Ren HB, et al. Community composition and structure of Gutianshan forest dynamic plot in a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, East China[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(2): 262–273.
- [25] 包维楷, 刘照光, 刘朝禄, 袁亚夫, 汪泽卫. 中亚热带原生和次生湿性常绿阔叶林种子植物区系多样性比较[J]. 云南植物研究, 2000, 22(4): 408–418.
Bao WK, Liu ZG, Liu CL, Yuan YF, Wang ZW. Comparison to floristic diversity of the primary and secondary humid evergreen broad-leaved forest in Wawushan National Forest Park of the southwestern China[J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 2000, 22(4): 408–418.
- [26] 林益明, 林鹏, 李振基, 何建源, 刘初钿. 武夷山甜槎群落的生物量和生产力[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1996, 35(2): 269–275.
Lin XM, Lin P, Li ZJ, He JY, Liu CD. Biomass and productivity of *Castanopsis eyrei* community in Wuyi Mountains[J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 1996, 35(2): 269–275.
- [27] 杨同辉, 达良俊, 宋永昌, 杨永川, 王良衍. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林生物量研究(I) 群落结构及主要组成树种生物量特征[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(4): 363–369.
Yang TH, Da LJ, Song YC, Yang YC, Wang LY. Biomass of evergreen broad-leaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province[J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2005, 22(4): 363–369.
- [28] 张祝平, 丁明懋. 鼎湖山亚热带季风常绿阔叶林的生物量和光能利用效率[J]. 生态学报, 1996, 16(5): 525–534.
Zhang ZP, Ding MM. Biomass and efficiency of radiation utilization in monsoon in Dinghushan biosphere reserve[J]. *Acta Ecological Sinica*, 1996, 16(5): 525–534.
- [29] 杨远盛, 张晓霞, 于海艳, 吕志远. 中国森林生物量的空间分布及其影响因素[J]. 西南林业大学学报, 2015, 35(6): 45–52.
Yang YS, Zhang XX, Yu HY, Lü ZY. The spatial distribution of China's forest biomass and its influencing factors[J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2015, 35(6): 45–52.
- [30] 杨同辉, 宋坤, 达良俊, 李修鹏, 吴健平. 中国东部木荷–米槎林的生物量和地上净初级生产力[J]. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(7): 610–619.
Yang TH, Song K, Da LJ, Li XP, Wu JP. The biomass and aboveground net primary productivity of *Schima superba*–*Castanopsis carlesii* forests in east China[J]. *Science China Life Sciences*, 2010, 40(7): 610–619.
- [31] 杨方方, 李跃林. 鼎湖山粗死木质残体生物量特征[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(5): 750–752.
Yang FF, Li YL. Coarse woody debris biomass in a monsoon evergreen broad-leaved forest in the Dinghushan Nature Reserve, China[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2011, 17(5): 750–752.
- [32] 黄力, 高祥阳, 齐猛, 周侠, 杨超, 李笑寒, 等. 缙云山常绿

阔叶林粗木质残体储量及特征[J]. 林业科学, 2019, 55(1): 103–109.

Huang L, Gao XY, Qi M, Zhou X, Yang C, Li XH, *et al.* Storage and structural characteristics of coarse woody debris in an evergreen broad-leaved forest in Jinyun Mountain[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2019, 55(1): 103–109.

[33] 李凌浩, 邢雪荣, 黄大明, 刘初钊, 何建源. 武夷山甜槠林粗死木质残体的贮量、动态及其功能评述[J]. 植物生态学报, 1996, 20(2): 132–143.

Li LH, Xing XR, Huang DM, Liu CD, He JY. Storage and dynamics of coarse woody debris in *Catanopsis eyrei* forest of Wuyi Mountain, with some considerations for its ecological effects[J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(2): 132–143.

[34] 刘文耀, 谢寿昌, 谢克金, 杨国平. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林凋落物和粗死木质物的初步研究[J]. 植物学报, 1995, 37(10): 60–67.

Liu WY, Xie SC, Xie KJ, Yang GP. Preliminary studies on the litterfall and coarse woody debris in mid-mountain humid evergreen broad-leaved forest in Ailao Mountains [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1995, 37(10): 60–67.

[35] 四川森林编辑委员会. 四川森林[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992; 584–599.

[36] 包维楷, 刘照光, 刘朝禄, 袁亚夫, 刘仁东. 亚热带次生常绿阔叶林主要乔木种群自然恢复 15 年来的变化[J]. 林业科学, 2001, 37(1): 10–17.

Bao WK, Liu ZG, Liu CL, Yuan YF, Liu RD. Fifteen-year changes of tree populations in the secondary subtropical evergreen broad-leaved forests in southwestern China[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001, 37(1): 10–17.

[37] 邓婕. 天全县天保工程实施中的问题与对策研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012: 21–27.

附表 1 生物量估算方程
Schedule 1 Regression equations used in biomass estimation

树种 Species	W_B	W_S	W_L	W_R
槭属 <i>Acer</i>	$W_B = 0.0324D^{1.7207}$	$W_S = 0.7882D^{1.7255}$	$W_L = 0.0545D^{1.6564}$	$W_R = 0.1819D^{1.7216}$
桦木属 <i>Betula</i>	$W_B = 0.0267D^{2.4938}$	$W_S = 0.3552D^{1.7643}$	$W_L = 0.0424D^{1.9719}$	$W_R = 0.1079D^{1.9553}$
柯属 <i>Lithocarpus</i>	$W_B = 0.032D^{2.3399}$	$W_S = 0.0544D^{2.6859}$	$W_L = 0.017D^{2.0835}$	$W_R = 0.0287D^{2.5826}$
其它 Other species	$W_B = 0.052D^{2.368}$	$W_S = 0.378D^{1.917}$	$W_L = 0.053D^{1.739}$	$W_R = 0.0913D^{2.0273}$
楠木 <i>Phoebe zhennan</i>	$\lg(W_T) = 0.9599\lg(D^2H) - 1.3659$		$\lg(W_R) = 1.7222\lg(D^2H) - 4.7629$	
冠层藤本 Canopy lianas	$\ln(W_T) = -1.423 + 2.155\ln(D)$			
死木质残体 Woody debris (WD)	$W_B = 0.0189D^{2.440}$	$W_S = 0.0742D^{2.567}$	$W_L = 0.0231D^{2.082}$	$W_R = 0.0281D^{2.542}$

注: D 为胸径; H 为树高; W_T 为地上部分生物量; W_B 为树枝生物量; W_S 为树干生物量; W_L 为树叶生物量; W_R 为根系生物量。
 $W_T = W_B + W_S + W_L$ 。生物量单位为 kg 。
Notes: D is diameter at breast height; H is tree height; W_T , W_B , W_S , W_L , and W_R are biomass of aboveground, branch, trunk, leaf, and root, respectively. $W_T = W_B + W_S + W_L$. Biomass unit kg .

附表 2 立木材积估算方程
Schedule 2 Equations used in standing wood volume

树种 Species	轮尺径 $D_{\text{轮}}(\text{cm})$	材积 $V(\text{m}^3)$
樟科 Lauraceae	$D_{\text{轮}} = 0.21659313 + 0.96557819D$	$V = 0.000052750716D_{\text{轮}}^{1.9450324}H^{0.9388533}$
槭属 <i>Acer</i>	$D_{\text{轮}} = 0.49896250 + 0.96609377D$	$V = 0.000052750716D_{\text{轮}}^{1.9450324}H^{0.9388533}$
椴树属 <i>Tilia</i>	$D_{\text{轮}} = 0.4989625 + 0.96609377D$	$V = 0.000052750716D_{\text{轮}}^{1.9450324}H^{0.9388533}$
华木荷 <i>Schima sinensis</i>	$D_{\text{轮}} = 0.053351778 + 1.0050781D$	$V = 0.000052750716D_{\text{轮}}^{1.9450324}H^{0.9388533}$
楠木 <i>Phoebe zhennan</i>	$D_{\text{轮}} = -0.14595262 + 1.0122958D$	$V = 0.000052750716D_{\text{轮}}^{1.9450324}H^{0.9388533}$
四照花属 <i>Dendrobenthamia</i>	$D_{\text{轮}} = 0.00055668949 + 0.99772667D$	$V = 0.000052750716D_{\text{轮}}^{1.9450324}H^{0.9388533}$
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	$D_{\text{轮}} = 0.047611611 + 0.97987013D$	$V = 0.000059599783D_{\text{轮}}^{1.8564005}H^{0.98056206}$
柯属 <i>Lithocarpus</i>	$D_{\text{轮}} = 0.2833758 + 0.97277021D$	$V = 0.000059599783D_{\text{轮}}^{1.8564005}H^{0.98056206}$
扁刺栲 <i>Castanopsis platyacantha</i>	$D_{\text{轮}} = 0.27415423 + 0.95625085D$	$V = 0.000048346625D_{\text{轮}}^{1.8905785}H^{1.07694}$
桦木属 <i>Betula</i>	$D_{\text{轮}} = -0.50029025 + 0.99987831D$	$V = 0.000049841911D_{\text{轮}}^{2.0172708}H^{0.88580889}$
其它 Other species		$V = 0.000052750716D_{\text{轮}}^{1.9450324}H^{0.9388533}$

注: D 为胸径; $D_{\text{轮}}$ 为轮尺径; H 为树高。
Notes: D is diameter at breast height; $D_{\text{轮}}$ is diameter measured by caliper; H is tree height.

(责任编辑: 张 平)