

•研究报告•

# 玉龙雪山寒温性云冷杉林动态监测样地的物种组成及群落结构

黄 华<sup>1</sup> 陈智发<sup>1</sup> 刘德团<sup>1</sup> 和国星<sup>2</sup> 和荣华<sup>2</sup> 李德铎<sup>1\*</sup> 许 琨<sup>1\*</sup>

1 (中国科学院昆明植物研究所丽江森林生态系统定位研究站, 昆明 650201)

2 (玉龙雪山省级自然保护区管护局, 云南丽江 674100)

**摘要:** 云冷杉林是玉龙雪山东坡保存最完整的森林植被, 为了更好地了解其物种组成和群落结构等基本特征, 中国科学院昆明植物研究所联合玉龙雪山省级自然保护区管护局, 按照CTFS (Center for Tropical Forest Science)的样地建设标准, 于2012–2014年在玉龙雪山省级自然保护区内建立了25 ha (500 m × 500 m)的长期监测样地。本研究以样地内所有胸径(DBH) ≥ 1 cm的木本植物(不含竹子)为研究对象, 分析了该样地的区系成分、群落组成、垂直结构及径级结构。结果表明: 样地内DBH ≥ 1 cm的木本植物(不含竹子)独立个体数为47,751, 分属26科41属62种, 以温带分布尤其是北温带成分为主要区系特征。重要值 ≥ 1的物种有18个, 贡献了90.24%的重要值。群落垂直结构可分为4层, 川滇冷杉(*Abies forrestii*)、丽江云杉(*Picea likiangensis*)和帽斗栎(*Quercus guajavifolia*)为主林层优势种和建群种, 径级分布为峰型或近倒“J”型, 持续更新能力较好; 吴茱萸五加(*Gamblea ciliata* var. *evodiifolia*)、篦齿槭(*Acer pectinatum*)和短梗稠李(*Padus brachypoda*)是主亚林层的优势种, 在某些片段可形成落叶阔叶林的优势群落, 径级分布出现明显断层, 未来将出现衰退。西康花楸(*Sorbus prattii*)、桦叶荚蒾(*Viburnum betulifolium*)和云南杜鹃(*Rhododendron yunnanense*)是次林层的优势种; 灌木层假小檗(*Berberis fallax*)是样地内个体数最多的物种, 占总个体数的59.51%, 其重要值最高, 占总数的22.75%, 径级分布呈“L”型。

**关键词:** 生物多样性; 径级结构; 区系; 分布格局

## Species composition and community structure of the Yulongxueshan (Jade Dragon Snow Mountains) forest dynamics plot in the cold temperate spruce-fir forest, Southwest China

Hua Huang<sup>1</sup>, Zhifa Chen<sup>1</sup>, Detuan Liu<sup>1</sup>, Guoxing He<sup>2</sup>, Ronghua He<sup>2</sup>, Dezhu Li<sup>1\*</sup>, Kun Xu<sup>1\*</sup>

1 Lijiang Forest Ecosystem Research Station, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650201

2 Administration Bureau of Yulongxueshan Provincial Nature Reserve, Lijiang, Yunnan 674100

**Abstract:** Spruce-fir forests are one of the best protected areas of forest vegetation occurring on the eastern slope of the Yulongxueshan (Jade Dragon Snow Mountains). To further understand the spruce-fir species composition and community structure, a 25 ha (500 m × 500 m) forest dynamics plot was established in the Yulongxueshan Provincial Nature Reserve by the Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences and Administration Bureau of Yulongxueshan Provincial Nature Reserve from 2012 to 2014, according to the standards from the Center for Tropical Forest Science (CTFS). In this study, we analyzed the flora, community composition, structure, DBH size-classes and spatial distribution based data collected from all woody (excluding bamboo) plants with DBH ≥ 1 cm. Our results demonstrated that a total of 47,751 free-standing individuals with DBH ≥ 1 cm were recorded, belonging to 62 species, 41 genera and 26 families. The north temperate distribution plant contributed to the most significant floristic characteristics. In the plot, the 18 species with importance value (*IV*) ≥ 1 contributed 90.24% to the *IV* of the community. Based on the vertical structure of plant heights, the community was divided into four layers. The dominant species in

收稿日期: 2016-09-22; 接受日期: 2017-01-23

基金项目: 国家重大科学研究计划(2014CB954100)和云南省应用基础研究基金(2014GA003)

\* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: dzl@mail.kib.ac.cn, xukun@mail.kib.ac.cn

the canopy layer were *Abies forrestii*, *Picea likiangensis* and *Quercus guajavifolia*, which exhibited a pattern of ridge type and a reverse-J shape in DBH size-classes structure and strong regenerating capacity. *Gamblea ciliata* var. *evodiifolia*, *Acer pectinatum* and *Padus brachypoda* occupied the sub-canopy layer, and could be the constructive community species in some fragmented habitats. These species were lacking small DBH trees, so their populations are predicted to decline in the future. *Sorbus prattii*, *Viburnum betulifolium* and *Rhododendron yunnanense* dominated the sub-tree layer. In the shrub layer, *Berberis fallax* consisted of the largest number of individuals and accounting for 59.51% of the total number of individuals; together with the highest importance value, accounting for 22.75% of the total IV, and DBH size-class distribution in a "L" shape.

**Key words:** biodiversity; DBH size-classes structure; flora; spatial pattern

物种组成和群落结构不仅反映了群落中物种间的关系,也反映了环境对物种生存和生长的影响,它们是群落最基本的特征,也是群落生态学研究的基础(曲仲湘等, 1983; Loreau et al, 2001; Hooper et al, 2005; Tilman et al, 2006)。尽管国内外有关物种组成与群落结构的研究已有较长历史,但对物种共存的维持机制和生物多样性的监测和指标体系、森林生态系统结构动态和物种组成的关系、稀有种的生境需求、特有种种群的分布格局等诸多问题至今依然无法给予较全面的解释。现代生态学研究表明这些基于传统的生态学方法的研究实际上都具有尺度依赖性,仅依靠短时期、小样方的研究是无法回答上述问题的,建立较大面积的长期动态监测样地才是解决问题的有效途径(Condit, 1995)。

寒温带性针叶林是我国重要的植被类型之一,主要分布在温带、暖温带、亚热带和热带地区的高海拔山地,构成垂直分布的山地寒温带性针叶林带,分布的海拔高度由北向南逐渐上升。玉龙雪山省级自然保护区具有丰富的寒温带性针叶林种类和独特的类群,目前还保存着很好的高海拔原始植被,而且玉龙雪山所处的滇西北地区是我国3大特有物种分化中心之一(吴征镒和朱彦丞, 1987; 李锡文, 1996; 郭辉军和龙春林, 1998; 冯建孟等, 2006),也是中国17个生物多样性保护关键地区之一(赵淑清等, 2000)。该自然保护区的云冷杉林具有典型性和代表性,为长期监测和研究云冷杉林的生物多样性形成和维持机制提供了很好的平台。

基于上述原因,中国科学院昆明植物研究所与云南玉龙雪山省级自然保护区管护局于2012–2014年在该保护区建立了25 ha (500 m × 500 m)的长期动态监测样地。样地采用美国史密森研究院热带森林研究中心(Centre for Tropical Forest Science,

CTFS)的样地建设标准(Condit, 1998),该样地的建成填补了中国森林生物多样性监测网络(Chinese Forest Biodiversity Monitoring Network, CForBio)在这一区域的空白。本文分析了该样地的区系成分、物种组成、群落的垂直结构和径级结构,以期认识该区域云冷杉林的物种组成和群落结构、探讨云冷杉林的更新和演替规律提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

玉龙雪山寒温带性云冷杉林25 ha长期监测样地(简称玉龙雪山样地,缩写YLXS)位于云南玉龙雪山省级自然保护区(27°10'–27°40' N, 100°10'–100°20' E)(图1)。该保护区建立于1984年,总面积26,000 ha,主要保护对象为山地混合森林生态系统、珍稀动植物种、冰川及其遗迹。保护区内有野生植物3,800多种,其中藻类植物31科72属196种,地衣植物17科14属20多种,苔藓植物175种,蕨类植物220种,种子植物145科758属3,200种。保护区气候垂直差异较大,从河谷至山顶依次出现暖性、暖湿性、温凉性、北亚热带和寒温带性等山地垂直气候带。

### 1.2 样地建设

玉龙雪山样地投影面积25 ha,南北长500 m,东西宽500 m,最低海拔3,220 m,最高海拔3,344 m,最大高差124 m,平均海拔3,284 m(图1)。样地地势平缓,坡度0°–20°,植被类型属寒温带性针叶林,土壤类型为山地暗棕壤和草甸暗棕壤(刘庆等, 2003; 高富等, 2013),pH值5.5–8。样地所在的云杉坪为寒温带性气候,年均温5.5℃,极端最高温18.8℃,极端最低温–11.8℃,年降水量1,587.5 mm,年蒸发量966.1 mm,相对湿度82%。

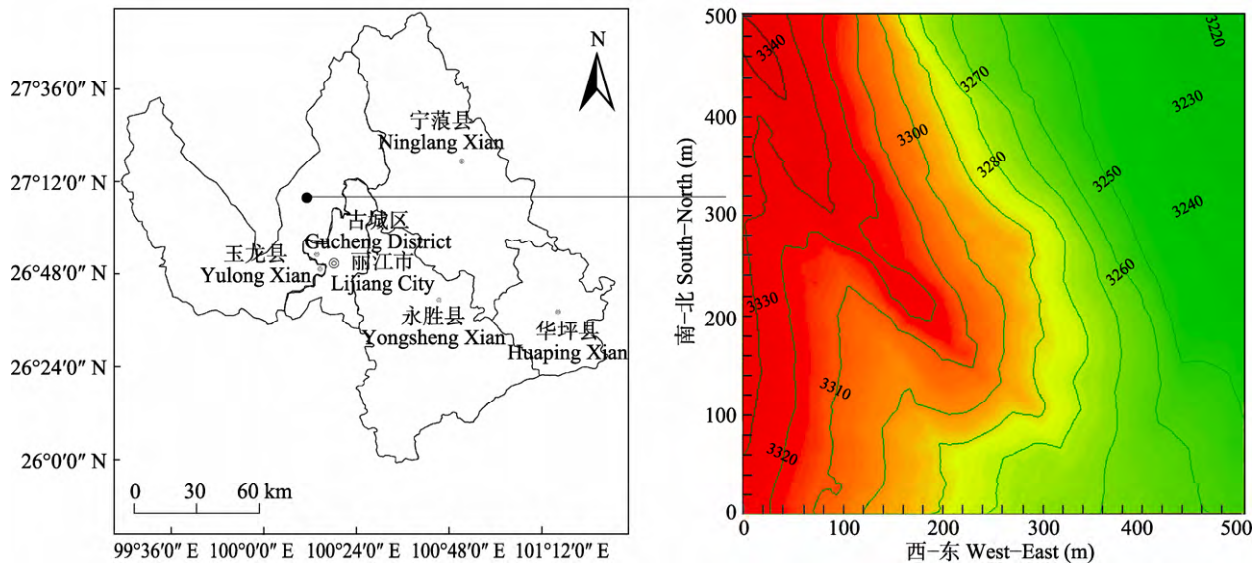


图1 玉龙雪山云冷杉林25 ha样地的位置示意图(左)和等高线图(右)

Fig. 1 Location (left) and contour map (right) of the Yulongxueshan spruce-fir forest 25 ha dynamics plot

参照巴拿马Barro Colorado Island (BCI) 50 ha样地(Condit, 1998), 用全站仪把样地分成625个 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的样方, 每个样方又分为16个 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ 的小样方。记录样方内所有 $\text{DBH} \geq 1\text{ cm}$ 的木本植物的树种名称、DBH和坐标并挂牌标记。定义每公顷个体数不多于1株的物种为稀有种, 1–10株的为偶见种, 多于10株的为常见种(Hubbell & Foster, 1986; He et al, 1997)。

### 1.3 数据处理

重要值( $IV$ ) = 相对密度+相对频度+相对优势度(相对基盖度)(孙儒泳等, 2002)。其中, 相对密度(%) = 某个物种的个体数/全部物种的个体数  $\times 100\%$ ; 相对频度(%) = 某个物种在所有样方内出现的次数/所有种出现的总次数  $\times 100\%$ ; 相对优势度(%) = 某个种的胸高断面积之和/所有种的胸高断面积之和  $\times 100\%$ 。计算相对密度时仅使用独立植株的数量, 相对频度采用的样方单位面积为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ , 相对优势度仅计算独立个体的胸高断面积。

利用Excel 2010、R 3.6.1和Sigma Plot 10.0软件对数据进行统计分析和作图。

## 2 结果

### 2.1 物种组成

样地内共有木本植物69种, 隶属30科47属。其中 $\text{DBH} \geq 1\text{ cm}$ 的活体乔木个体共有47,751株, 隶属26科41属62种(表1, 附录1)。从科的分布水平来看,

蔷薇科植物最丰富, 共7属12种; 忍冬科次之, 有3属7种。从属的分布水平来看, 杜鹃属(*Rhododendron*)和忍冬属(*Lonicera*)植物最多, 均有5种。大约1/2的科及3/4的属仅有一个物种分布。个体数最多的是小檗科植物, 占总个体数的60.10%, 其次是松科, 占总个体数的12.22%; 优势度最高的是松科, 其胸高断面积之和可达 $612.32\text{ m}^2$ , 壳斗科次之; 多度最高的小檗科植物优势度较低, 其胸高断面积之和仅有 $5.05\text{ m}^2$ ; 有13个科的重要值  $\geq 1$ , 其中最大的是松科和小檗科, 有7个科的重要值小于0.05。

### 2.2 区系特征

从表2可以看出, 玉龙雪山样地中科的分布以北温带成分最多, 达42.31%; 世界广布的科为6个, 占23.08%; 热带成分占26.92%。属的分布主要以北温带成分为主, 占53.66%; 世界广布、旧世界温带、东亚成分、东亚及北美间断成分等也有分布, 每种分布类型不及总属数的1/10; 热带成分仅占12.20%。

### 2.3 多度格局

整个样地中,  $\text{DBH} \geq 1\text{ cm}$ 的独立活个体有47,751株(表3)。其中, 以假小檗(*Berberis fallax*)最多, 占总个体数的59.51% (表4), 包含了小檗科植物总个体数的99%以上(表1); 其次为川滇冷杉(*Abies forrestii*), 占总数的10.90%, 包含了松科植物总个体数的89.21%。另外, 个体数超过500株的还有帽斗栎(*Quercus guajavifolia*)、云南杜鹃(*Rhododendron yunnanense*)、桦叶荚蒾(*Viburnum betulifolium*)、吴

表1 玉龙雪山云冷杉林25 ha样地的物种组成

Table 1 Species composition of the Yulongxueshan spruce-fir forest 25 ha dynamics plot

科 Family	属数 No. of genus	种数 No. of species	多度 Abundance	胸高断面积 Basal area (m <sup>2</sup> )	重要值 Importance values
小檗科 Berberidaceae	1	3	28,697	5.05	23.34
松科 Pinaceae	4	4	5,837	612.32	26.02
忍冬科 Caprifoliaceae	3	7	2,888	7.46	8.21
蔷薇科 Rosaceae	7	12	2,014	47.57	7.67
壳斗科 Fagaceae	1	1	1,324	323.03	12.04
槭树科 Aceraceae	1	4	1,315	67.32	5.68
杜鹃花科 Ericaceae	1	5	1,265	17.33	2.83
五加科 Araliaceae	2	2	1,243	67.50	4.93
冬青科 Aquifoliaceae	1	1	656	0.32	1.40
清风藤科 Sabiaceae	2	2	605	0.77	1.48
绣球花科 Hydrangeaceae	1	1	528	2.51	1.70
樟科 Lauraceae	1	2	402	3.39	1.40
卫矛科 Celastraceae	1	2	374	1.20	1.31
茶藨子科 Grossulariaceae	1	2	277	0.16	0.84
唇形科 Labiatae	1	1	130	0.02	0.35
木樨科 Oleaceae	2	2	53	0.49	0.23
五味子科 Schisandraceae	1	1	52	0.03	0.14
红豆杉科 Taxaceae	1	1	40	0.72	0.19
毛茛科 Ranunculaceae	1	1	21	0.00	0.11
山茱萸科 Cornaceae	2	2	8	0.11	0.04
杨柳科 Salicaceae	1	1	5	0.03	0.02
柏科 Cupressaceae	1	1	4	0.01	0.02
芍药科 Paeoniaceae	1	1	4	0.00	0.02
菊科 Compositae	1	1	4	0.00	0.01
旌节花科 Stachyuraceae	1	1	4	0.04	0.01
椴树科 Tiliaceae	1	1	1	0.12	0.01
总计 Total	41	62	47,751	1,157.47	100

表2 玉龙雪山云冷杉林25 ha样地乔木种子植物的分布区类型

Table 2 Distribution types of spermatophytes in the Yulongxueshan spruce-fir forest 25 ha dynamics plot

分布区类型 Areal types	科数 No. of family	属数 No. of genera
1 世界广布 Cosmopolitan	6	—
2 泛热带 Pantropic	3	1
3 东亚(热带、亚热带)及热带南美间断 Tropical & Subtropical East Asia & (South) Tropical America disjuncted	2	2
4 旧世界热带 Old World Tropics	—	1
5 热带亚洲至热带大洋洲 Tropical Asia to Tropical Australasia Oceania	—	—
6 热带亚洲至热带非洲 Tropical Asia to Tropical Africa	1	—
7 热带东南亚至印度-马来、太平洋诸岛(热带亚洲) Tropical Southeast Asia + Indo-Malaya + Tropical South & Southwest Pacific Island (Tropical Asia)	1	1
8 北温带 North Temperate	11	22
9 东亚及北美间断 East Asia & North America disjuncted	1	3
10 旧世界温带 Old World Temperate	—	3
11 温带亚洲 Temperate Asia	—	—
12 地中海、西亚至中亚 Mediterranean, West to Central Asia	—	—
13 中亚 Central Asia	—	—
14 东亚 East Asia	1	4
15 中国特有 Endemic to China	—	1
16 南半球热带以外间断或星散分布 Extratropical South Hemisphere disjuncted or dispersed	—	—
17 热带非洲-热带美洲间断 Tropical Africa & Tropical America disjuncted	—	—
18 泛南极 Holantarctic	—	—
合计 Total	26	41

茱萸五加(*Gamblea ciliata* var. *evodiifolia*)、篦齿槭(*Acer pectinatum*)、西康花楸(*Sorbus prattii*)、唐古特忍冬(*Lonicera tangutica*)、陷脉冬青(*Ilex delavayi*)、丽江云杉(*Picea likiangensis*)、阔叶清风藤(*Sabia yunnanensis* subsp. *latifolia*)和丽江山梅花(*Philadelphus calvescens*)。个体数超过100株的物种有28个, 占总物种数的45.16%。

个体数最多的前2种植物占了总数的70.41%; 个体数超过1,000株的前6个物种之和为38,288株, 占总数的80.18%; 超过500株的前13个物种之和为43,193株, 占总数的90.45%。超过100株的前28个物种之和为46,989株, 占总数的98.40% (图2)。整个样地中, 所有物种的个体密度为1,910.04株/ha。样地中偶见种19个, 稀有种22个, 分别占总物种数的31.15%和35.48%, 其个体数分别占总个体数的3.84%和0.30%; 个体数量仅为1株的有4种, 占物种总数的6.45%。

### 2.4 优势物种与层次结构

重要值  $\geq 1$  的物种有18个, 占总物种数的

29.03%, 其重要值之和达到90.24。排名前5位的假小檗、川滇冷杉、帽斗栎、丽江云杉、吴茱萸五加的重要值之和占样地全部重要值的65.07%。所有重要值  $\geq 1$  的物种, 其相对频度之和为81.80。胸高断面面积之和占前3位的分别是川滇冷杉、帽斗栎和丽

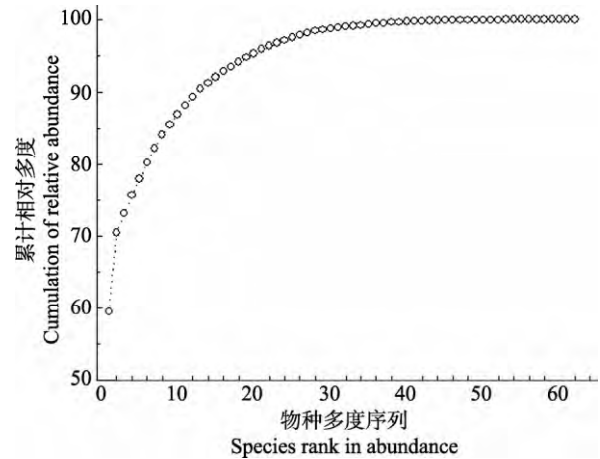


图2 玉龙雪山云冷杉林25 ha样地的物种多度累积分布图  
Fig. 2 Cumulative distribution curve of species abundance in the Yulongxueshan spruce-fir forest 25 ha dynamics plot

表3 玉龙雪山云冷杉林25 ha样地重要值  $\geq 1$  的物种

Table 3 Species with the importance value  $\geq 1$  in the Yulongxueshan spruce-fir forest 25 ha dynamics plot

物种 Species	多度 Abundance	相对频度 Relative frequency	胸高断面面积 Basal area (m <sup>2</sup> )	胸径 DBH (mean $\pm$ SE) (cm)	重要值 Importance values
假小檗 <i>Berberis fallax</i>	28,416	8.31	4.98	1.44 $\pm$ 0.00	22.75
川滇冷杉 <i>Abies forrestii</i>	5,207	7.78	379.53	19.63 $\pm$ 0.32	17.16
帽斗栎 <i>Quercus guajavifolia</i>	1,324	5.45	323.03	45.09 $\pm$ 0.90	12.04
丽江云杉 <i>Picea likiangensis</i>	596	4.78	225.75	50.84 $\pm$ 1.94	8.51
吴茱萸五加 <i>Gamblea ciliata</i> var. <i>evodiifolia</i>	1,065	5.84	66.66	25.74 $\pm$ 0.36	4.61
篦齿槭 <i>Acer pectinatum</i>	958	5.32	50.16	23.30 $\pm$ 0.36	3.89
西康花楸 <i>Sorbus prattii</i>	915	5.80	12.36	11.78 $\pm$ 0.19	2.93
桦叶荚蒾 <i>Viburnum betulifolium</i>	1,114	5.91	1.53	3.78 $\pm$ 0.05	2.79
云南杜鹃 <i>Rhododendron yunnanense</i>	1,162	3.47	16.73	10.95 $\pm$ 0.23	2.45
短梗稠李 <i>Padus brachypoda</i>	328	2.74	25.92	28.46 $\pm$ 0.77	1.89
唐古特忍冬 <i>Lonicera tangutica</i>	671	4.02	0.54	2.78 $\pm$ 0.06	1.82
丽江山梅花 <i>Philadelphus calvescens</i>	528	3.77	2.51	7.08 $\pm$ 0.14	1.70
陷脉冬青 <i>Ilex delavayi</i>	656	2.79	0.32	2.20 $\pm$ 0.05	1.40
阔叶清风藤 <i>Sabia yunnanensis</i> subsp. <i>latifolia</i>	581	2.82	0.39	2.63 $\pm$ 0.05	1.36
高山木姜子 <i>Litsea chunii</i>	372	2.89	2.85	8.56 $\pm$ 0.26	1.30
湖北花楸 <i>Sorbus hupehensis</i>	309	2.67	6.43	14.65 $\pm$ 0.40	1.29
紫花卫矛 <i>Euonymus porphyreus</i>	366	2.95	0.91	5.05 $\pm$ 0.13	1.27
华西忍冬 <i>Lonicera webbiana</i>	265	2.59	1.38	6.94 $\pm$ 0.26	1.09
云南双盾木 <i>Dipelta yunnanensis</i>	385	1.88	3.19	9.64 $\pm$ 0.18	0.99
其他 Others	2,533	18.20	32.31	-	8.77
总计 Total	47,751	100	1,157.47	-	100

表4 玉龙雪山云冷杉林25 ha样地物种数排名前7位的树种  
Table 4 Top seven tree species with the maximum number in the Yulongxueshan spruce-fir forest 25 ha dynamics plot

物种 Species	占总个体数的比例 Accounts for the proportion of the total number of individuals (%)
假小檗 <i>Berberis fallax</i>	59.51
川滇冷杉 <i>Abies forrestii</i>	10.90
帽斗栎 <i>Quercus guajavifolia</i>	2.77
云南杜鹃 <i>Rhododendron yunnanense</i>	2.43
桦叶荚蒾 <i>Viburnum betulifolium</i>	2.33
吴茱萸五加 <i>Gamblea ciliata</i> var. <i>evodiifolia</i>	2.23
篦齿槭 <i>Acer pectinatum</i>	2.01
其他 Others	17.81

江云杉, 其大径级数量最多, DBH  $\geq 50$  cm、 $\geq 80$  cm和 $\geq 100$  cm的分别有1,601株、614株和220株, 占有物种DBH  $\geq 50$  cm、 $\geq 80$  cm和 $\geq 100$  cm的个体数的94.01%、98.87%和98.65%。落叶树种篦齿槭、吴茱萸五加、短梗稠李(*Padus brachypoda*)次之, 有少量的大径级个体, DBH  $\geq 50$  cm和 $\geq 80$  cm的个体分别仅占4.76%和0.16%; 尽管假小檗的重要值在样地内排第一, 但其胸高断面积之和仅有4.98 m<sup>2</sup>, 平均DBH为1.44 cm。

样地群落垂直结构可分为4层。主林层即乔木层第I亚层, 包含4个种, 树高  $\geq 30$  m, 林冠高度多在40 m左右, 个别达50–55 m, 优势物种是川滇冷杉、帽斗栎、丽江云杉, 重要值排名分别为第2、3、4位。其中, 川滇冷杉为建群种, 无论多度、频度、

胸高断面积、重要值都处于相对优势地位。主亚林层即乔木层第II亚层, 有10个种, 树高在15–30 m之间, 优势物种是吴茱萸五加和篦齿槭, 重要值排名第5和第6位; 此外, 短梗稠李也是较常见的物种, 重要值排名第10位。次林层即乔木层第III亚层, 有20个种, 树高在5–15 m间, 优势物种是西康花楸、桦叶荚蒾、云南杜鹃, 重要值排名第7、8、9位。灌木层即林下层, 有25个种, 树高在5 m以下, 优势物种是假小檗, 重要值是整个群落中最大的; 次常见的唐古特忍冬和陷脉冬青重要值分别排名第11和第13位。

## 2.5 径级结构

玉龙雪山样地的平均DBH为7.50 cm, 最大为167.52 cm。所有个体的总径级呈倒“J”型分布(图3), 随着DBH等级增加, 个体数量逐渐减少, 表明群落较为稳定。DBH  $< 2$  cm的个体数量极多, 超过其他径级之和, 占总个体数的58.47%; 1 cm  $\leq$  DBH  $< 3$  cm的个体占总数的68.19%; 1 cm  $\leq$  DBH  $< 5$  cm的个体占总数的76.24%; 1 cm  $\leq$  DBH  $< 10$  cm的个体占总个体数的83.61%; 而DBH  $\geq 10$  cm、 $\geq 20$  cm、 $\geq 50$  cm和 $\geq 100$  cm的个体数分别仅占总个体数的17.54%、9.92%、3.57%和0.47%。其中, DBH  $\geq 120$  cm的个体数有72株, DBH  $\geq 150$  cm的有5株。

从群落的自然分层来看, 每个林层的径级结构有所不同。主林层平均胸径为27.01 cm, 径级分布呈倒“J”型(图4A), 结构相对稳定, 47.25%和69.14%的个体分别集中在1–10 cm、1–30 cm间; 虽然只有28.25%的个体分布在24–87 cm间, 其结构分布却是最稳定的, 每个径级平均多度为31.64  $\pm$  0.86株, 波

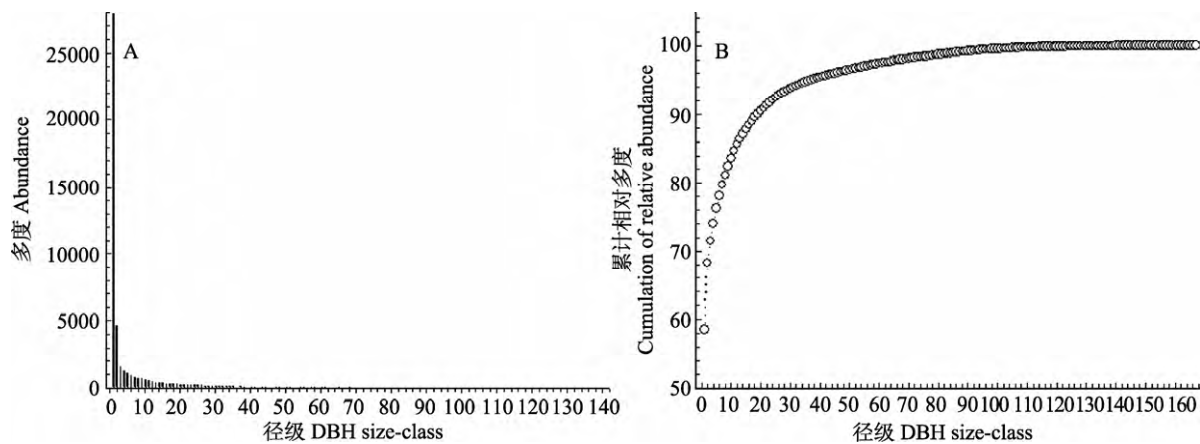


图3 玉龙雪山云冷杉林25 ha样地所有树种的径级分布图(A)和径级累计分布图(B)

Fig. 3 DBH size-class abundance (A) and cumulative distribution (B) of all tree species in the Yulongxueshan spruce-fir forest 25 ha dynamics plot

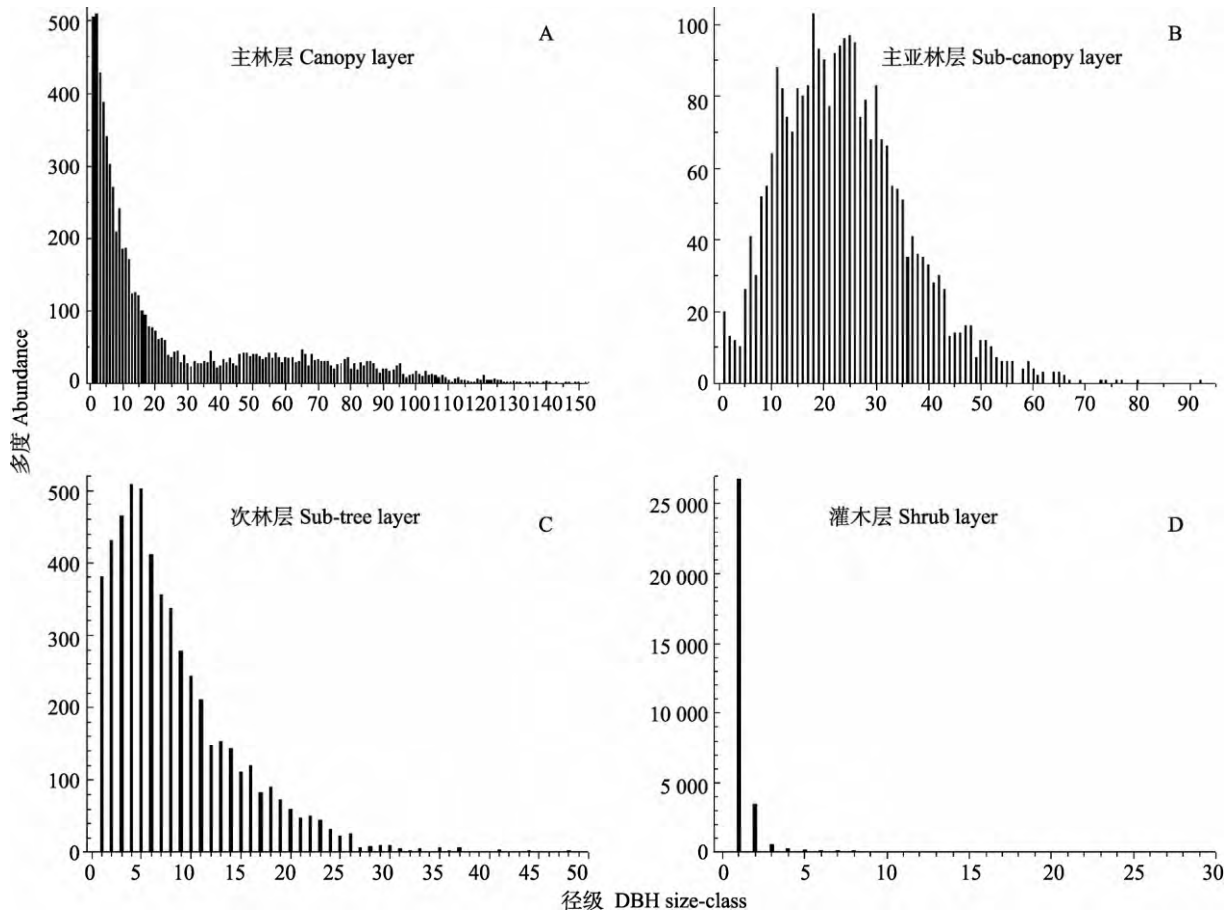


图4 玉龙雪山云冷杉林25 ha样地群落垂直分层的径级结构  
Fig. 4 DBH class distribution of different vertical layers in the Yulongxueshan spruce-fir forest 25ha dynamics plot

动比较小。主亚林层的径级呈近“正态”分布(图4B), 在18–26 cm间形成高峰, 63.98%的个体集中在10–30 cm间, 结构稳定, 没有出现明显的断层。次林层的径级呈近“泊松”分布(图4C), 在 $DBH = 4\text{ cm}$ 时达到最高峰, 之后随着径级增大急剧减少, 大径级较少。灌木层的径级分布呈“L”型(图4D), 84.28%的个体集中在 $DBH < 2\text{ cm}$ ; 98.28%的个体 $DBH$ 介于1–5 cm间;  $DBH > 10\text{ cm}$ 的个体共128株, 仅占0.40%, 这是受灌木层的树种生理因素制约所致。

依据重要值的排名, 样地内9个优势物种的径级分布主要可以归为5类(图5): (1)倒“J”型分布, 如川滇冷杉(A), 作为建群种, 其结构非常稳定; (2)近倒“J”型, 如帽斗栎(B)、丽江云杉(C), 它们是冠层的优势物种, 出现明显的断层, 小径级数量较多, 中径级数量较少, 大径级数量适中; (3)“正态”型, 如吴茱萸五加(D)、篦齿槭(E)、西康花楸(F), 它们是主亚林层的优势物种, 其结构稳定, 以中径级为主, 缺乏大径级和小径级; (4)“泊松”型, 如桦叶荚

蒴(G)和云南杜鹃(H), 它们是次林层的优势物种, 因树种的生理限制, 几乎没有大径级; (5)“L”型, 如假小槭(I), 它是灌木层的优势物种, 个体主要集中在 $DBH < 3\text{ cm}$ , 占99.38%,  $DBH \geq 5\text{ cm}$ 的个体仅5株。

### 3 讨论

玉龙雪山样地属寒温性针叶林, 植物种类丰富, 区系以北温带成分为主, 世界广布、旧世界温带、东亚成分、东亚及北美间断成分等也有分布(吴征镒等, 2003)。从物种丰富度来看, 略高于长白山阔叶红松林25 ha样地的52种(郝占庆等, 2008)和东灵山暖温带落叶阔叶次生林20 ha样地的58种(刘海丰等, 2011), 远少于天童山常绿阔叶林20 ha样地的152种(杨庆松等, 2011)、古田山中亚热带常绿阔叶林24 ha样地的159种(祝燕等, 2008)、弄岗热带喀斯特季节性雨林15 ha样地的223种(王斌等, 2014)和西双版纳热带雨林20 ha样地的468种(兰国玉等, 2008)。从物

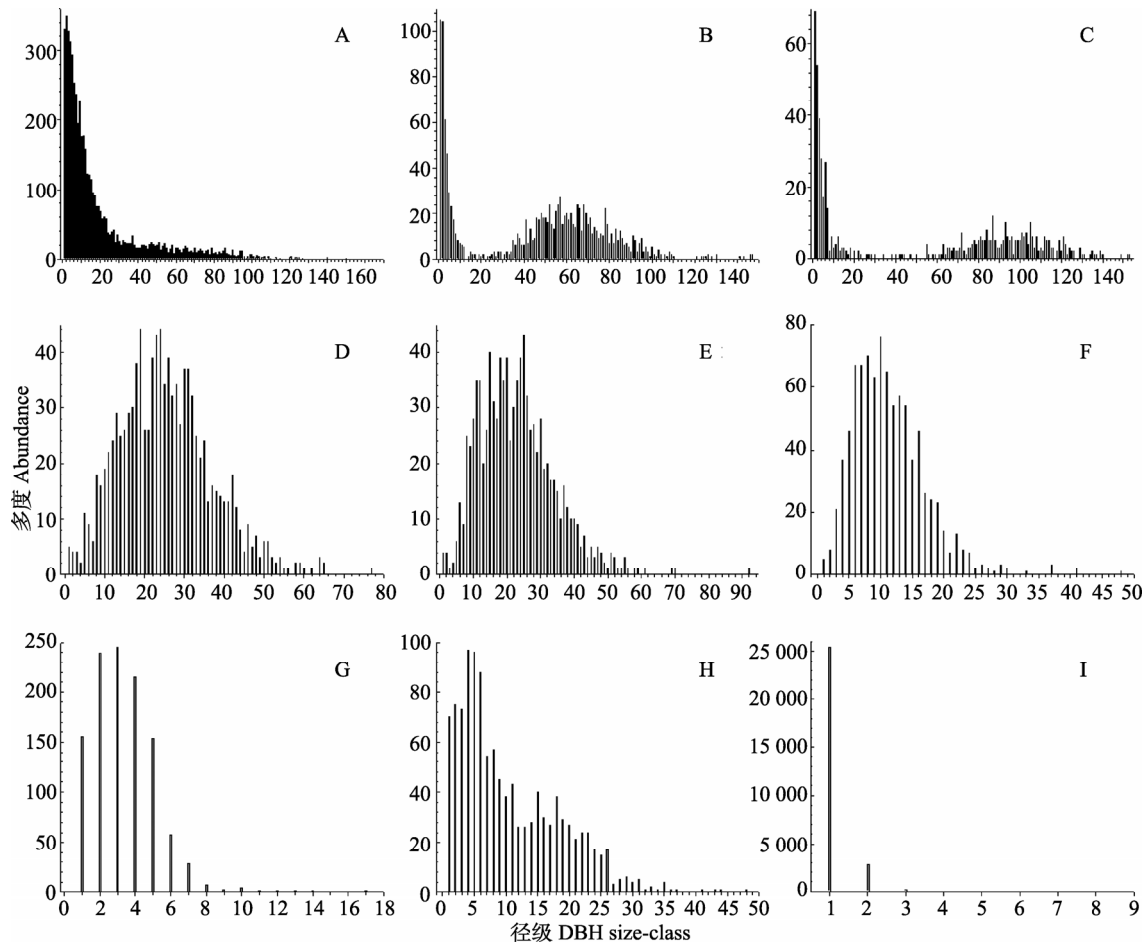


图5 9个优势物种的径级结构图。A, 川滇冷杉; B, 帽斗栎; C, 丽江云杉; D, 吴茱萸五加; E, 篦齿槭; F, 西康花楸; G, 桦叶荚蒾; H, 云南杜鹃; I, 假小檗。

Fig. 5 DBH size-class distribution of the nine dominant species. A, *Abies forrestii*; B, *Quercus guajavifolia*; C, *Picea likiangensis*; D, *Gamblea ciliata* var. *evodiifolia*; E, *Acer pectinatum*; F, *Sorbus prattii*; G, *Viburnum betulifolium*; H, *Rhododendron yunnanense*; I, *Berberis fallax*.

种科属组成来看, 玉龙雪山样地和长白山样地具有相同的12科和17属, 分别占长白山样地科属的66.67%和53.13%, 占玉龙雪山样地科属的46.15%和41.46%; 玉龙雪山样地蔷薇科、忍冬科和槭树科物种比较丰富, 这点与长白山样地中蔷薇科、槭树科和忍冬科物种最丰富具有高度相似性(郝占庆等, 2008); 玉龙雪山样地与长白山样地的不同点是玉龙雪山样地杜鹃花科植物较长白山样地丰富, 而在长白山样地没有樟科和红豆杉科植物记录。

玉龙雪山样地的区系特征与东灵山暖温带落叶阔叶次生林20 ha样地(刘海丰等, 2011)、长白山阔叶红松林25 ha样地(郝占庆等, 2008)极为相似, 都是温带成分占优势, 而和同纬度热带区系向温带区系过渡的天童山常绿阔叶林20 ha样地(杨庆松等, 2011)、古田山中亚热带常绿阔叶林24 ha样地(祝燕

等, 2008)、八大公山亚热带山地常绿落叶阔叶混交林25 ha样地(卢志军等, 2013)相差甚远。其中, 北温带成分的科(东灵山44.44%; 长白山36.84%)的比例较接近; 而属(东灵山75%; 长白山68.75%)的比例却差异较大, 玉龙雪山样地中热带成分更多。

物种之间的多度、胸高断面面积和平均胸径存在较大差异。丽江云杉、川滇冷杉和帽斗栎在样地内占绝对优势, 属于该群落的优势种。而偶见种与稀有种占物种数比例与长白山阔叶红松林25 ha样地(30.8%, 34.6%)非常相近(郝占庆等, 2008)。且稀有种的比例与天童山常绿阔叶林20 ha样地(杨庆松等, 2011)、弄岗热带喀斯特季节性雨林15 ha样地(王斌等, 2014)、古田山中亚热带常绿阔叶林24 ha样地(祝燕等, 2008)相差不大, 低于八大公山亚热带山地常绿落叶阔叶混交林25 ha样地(卢志军等, 2013)、西



双版纳热带雨林20 ha样地(兰国玉等, 2008)、鼎湖山亚热带常绿阔叶林20 ha样地(叶万辉等, 2008)。

径级结构分析表明, 由上到下4个林层分别呈现出倒“J”型、近倒“J”型、正态分布、“泊松”分布和“L”型5种类型。单个物种的径级结构也表现出与该物种所在林层相似的径级结构, 但不同物种之间依然存在着极大的差异。对玉龙雪山样地群落结构与物种组成的分析, 为进一步研究该样地内物种共存机制、群落动态及其更新演替规律提供了基础数据。

**致谢:** 在本文写作过程中得到中国科学院昆明植物研究所张石宝研究员和中国科学院西双版纳热带植物园杨洁博士的指导和帮助, 在此表示衷心感谢。

### 参考文献

- Condit R (1995) Research in large, long-term tropical forest plots. *Trends in Ecology & Evolution*, 10, 18–22.
- Condit R (1998) *Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison with Other Plots*. Springer, Berlin.
- Feng JM, Wang XP, Li J, Fang JY (2006) Effect of area and mid-domain effect on altitudinal pattern of seed plants richness in Lijiang, Yunnan, China. *Biodiversity Science*, 14, 107–113. (in Chinese with English abstract) [冯建孟, 王襄平, 李晶, 方精云 (2006) 面积和中间膨胀效应对丽江地区种子植物物种丰富度垂直分布格局的影响. *生物多样性*, 14, 107–113.]
- Gao F, He RH, Liu DT, Liu WW, Chen ZF, Wu ZK, Huang H, Chen XL, Xu K (2013) Spatial and temporal patterns of the surface soil moisture in southern Jade Dragon Snow Mountain forest ecosystem. *Journal of West China Forestry Science*, 42(4), 87–90. (in Chinese with English abstract) [高富, 和荣华, 刘德团, 刘维璋, 陈智发, 吴之坤, 黄华, 陈小灵, 许琨 (2013) 玉龙雪山南段主要森林群落表层土壤水分的时空变化研究. *西部林业科学*, 42(4), 87–90.]
- Guo HJ, Long CL (1998) *Biodiversity of Yunnan, SW China*. Yunnan Science and Technology Press, Kunming. (in Chinese) [郭辉军, 龙春林 (1998) 云南生物多样性. 云南科技出版社, 昆明.]
- Hao ZQ, Li BH, Zhang J, Wang XG, Ye J, Yao XL (2008) Broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest plot in Changbaishan (CBS) of China: community composition and structure. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 32, 238–250. (in Chinese with English abstract) [郝占庆, 李步杭, 张健, 王绪高, 叶吉, 姚晓琳 (2008) 长白山阔叶红松林样地(CBS): 群落组成与结构. *植物生态学报*, 32, 238–250.]
- 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.
- Hooper DU, Chapin FS III, Ewel JJ, Hector A, Inchausti P, Lavorel S, Lawton JH, Lodge DM, Loreau M, Naeem S, Schmid B, Setälä H, Symstad AJ, Vandermeer J, Wardle DA (2005) Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75, 3–35.
- 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, Hu YH, Cao M, Zhu H, Wang H, Zhou SS, Deng XB, Cui JY, Huang JG, Liu LY, Xu HL, Song JP, He YC (2008) Establishment of Xishuangbanna tropical forest dynamic plot: species composition and spatial distribution pattern. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 32, 287–298. (in Chinese with English abstract) [兰国玉, 胡跃华, 曹敏, 朱华, 王洪, 周仕顺, 邓晓保, 崔景云, 黄建国, 刘林云, 许海龙, 宋军平, 何有才 (2008) 西双版纳热带森林动态监测样地——树种组成与空间分布格局. *植物生态学报*, 32, 287–298.]
- Li XW (1996) Floristic statistics and analyses of seed plants from China. *Acta Botanica Yunnanica*, 18, 363–384. (in Chinese with English abstract) [李锡文 (1996) 中国种子植物区系统分析. *云南植物研究*, 18, 363–384.]
- Liu HF, Li L, Sang WG (2011) Species composition and community structure of the Donglingshan forest dynamic plot in a warm temperate deciduous broad-leaved secondary forest, China. *Biodiversity Science*, 19, 232–242. (in Chinese with English abstract) [刘海丰, 李亮, 桑卫国 (2011) 东灵山暖温带落叶阔叶次生林动态监测样地: 物种组成与群落结构. *生物多样性*, 19, 232–242.]
- Liu Q, Wu Y, Wu N (2003) Forest gap characteristic in a coniferous-*Picea likiangensis* forest in the Yulong Snow Mountain Natural Reserve, Yunnan Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 14, 845–848. (in Chinese with English abstract) [刘庆, 吴彦, 吴宁 (2003) 玉龙雪山自然保护区丽江云杉林林窗特征研究. *应用生态学报*, 14, 845–848.]
- Loreau M, Naeem S, Inchausti P, Bengtsson J, Grime JP, Hector A, Hooper DU, Huston MA, Raffaelli D, Schmid B, Tilman D, Wardle DA (2001) Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenge. *Science*, 294, 804–808.
- Lu ZJ, Bao DC, Guo YL, Lu JM, Wang QG, He D, Zhang KH, Xu YN, Liu HB, Meng HJ, Huang HD, Wei XZ, Liao JX, Qiao XJ, Jiang MX, Gu ZR, Liao CL (2013) Community composition and structure of Badagongshan (BDGS) forest dynamic plot in a mid-tropical mountain evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, central China. *Plant*

- Science Journal, 31, 336–344. (in Chinese with English abstract) [卢志军, 鲍大川, 郭屹立, 路俊盟, 王庆刚, 何东, 张奎汉, 徐耀粘, 刘海波, 孟红杰, 黄汉东, 魏新增, 廖建雄, 乔秀娟, 江明喜, 谷志容, 廖春林 (2013) 八大公山中亚热带山地常绿落叶阔叶混交林物种组成与结构. 植物科学学报, 31, 336–344.]
- Qu ZX, Wu YS, Jiang HQ, Tang TG (1983) Plant Ecology. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [曲仲湘, 吴玉树, 姜汉侨, 唐廷贵 (1983) 植物生态学. 高等教育出版社, 北京.]
- Sun RY, Li QF, Niu CJ, Lou AR (2002) Basic Ecology. Higher Education Press, Beijing. (in Chinese) [孙儒泳, 李庆芬, 牛翠娟, 娄安如 (2002) 基础生态学. 高等教育出版社, 北京.]
- Tilman D, Reich PB, Knops JMH (2006) Biodiversity and ecosystem stability in a decade long grassland experiment. *Nature*, 441, 629–632.
- Wang B, Huang YS, Li XK, Xiang WS, Ding T, Huang FZ, Lu SH, Han WH, Wen SJ, He LJ (2014) Species composition and spatial distribution of the 15 ha northern tropical karst seasonal rain forest dynamic plot in Nonggang of Guangxi, southern China. *Biodiversity Science*, 22, 141–156. (in Chinese with English abstract) [王斌, 黄俞淞, 李先琨, 向悟生, 丁涛, 黄甫昭, 陆树华, 韩文衡, 文淑均, 何兰军 (2014) 弄岗北热带喀斯特季节性雨林15ha监测样地的树种组成与空间分布. 生物多样性, 22, 141–156.]
- Wu ZY, Zhou ZK, Li DZ, Peng H, Sun H (2003) The areal types of the world families of seed plant. *Acta Botanica Yunnanica*, 25, 245–257. (in Chinese with English abstract) [吴征镒, 周浙昆, 李德铎, 彭华, 孙航 (2003) 世界种子植物科的分布区类型系统. 云南植物研究, 25, 245–257.]
- Wu ZY, Zhu YC (1987) Vegetation in Yunnan. Science Press, Beijing. (in Chinese) [吴征镒, 朱彦丞 (1987) 云南植被. 科学出版社, 北京.]
- Yang QS, Ma ZP, Xie YB, Zhang ZG, Wang ZH, Liu HM, Li P, Zhang N, Wang DL, Yang HB, Fang XF, Yan ER, Wang XH (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*, 19, 215–223. (in Chinese with English abstract) [杨庆松, 马遵平, 谢玉彬, 张志国, 王樟华, 刘何铭, 李萍, 张娜, 王达力, 杨海波, 方晓峰, 阎恩荣, 王希华 (2011) 浙江天童20 ha常绿阔叶林动态监测样地的群落特征. 生物多样性, 19, 215–223.]
- Ye WH, Cao HL, Huang ZL, Lian JY, Wang ZG, Li L, Wei SG, Wang ZM (2008) Community structure of a 20 ha lower subtropical evergreen broadleaved forest plot in Dinghushan, China. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 32, 274–286. (in Chinese with English abstract) [叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 练琚愉, 王志高, 李林, 魏识广, 王章明 (2008) 鼎湖山亚热带常绿阔叶林20 ha样地群落特征研究. 植物生态学报, 32, 274–286.]
- Zhao SQ, Fang JY, Lei CG (2000) Global 200: an approach to setting large-scale biodiversity conservation priorities. *Chinese Biodiversity*, 8, 435–440. (in Chinese with English abstract) [赵淑清, 方精云, 雷光春 (2000) 全球200: 确定大尺度生物多样性优先保护的一种方法. 生物多样性, 8, 435–440.]
- Zhu Y, Zhao GF, Zhang LW, Shen GC, Mi XC, Ren HB, Yu MJ, Chen JH, Chen SW, Fang T, Ma KP (2008) Community composition and structure of Gutianshan forest dynamics plot in a mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, East China. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 32, 262–273. (in Chinese with English abstract) [祝燕, 赵谷风, 张俪文, 沈国春, 米湘成, 任海保, 于明坚, 陈建华, 陈声文, 方腾, 马克平 (2008) 古田山中亚热带常绿阔叶林动态监测样地——群落组成与结构. 植物生态学报, 32, 262–273.]

(责任编辑: 王国宏 责任编辑: 黄祥忠)

## 附录 Supplementary Material

### 附录1 玉龙雪山云冷杉林25 ha样地木本植物(不含竹子)物种名录

Appendix 1 Checklist of woody (excluding bamboo) plants of the Yulongxueshan spruce-fir forest 25 ha dynamics plot

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2016274-1.pdf>