

# 浙江九龙山国家级自然保护区 长序榆群落的结构特征及种间联结性分析

杜有新<sup>1</sup>, 王军峰<sup>1</sup>, 梁 炜<sup>2</sup>, 杨晓君<sup>3</sup>, 王志高<sup>4</sup>, 刘 伟<sup>2,①</sup>

(1. 华东药用植物园科研管理中心, 浙江 丽水 323000; 2. 丽水市白云山生态林场, 浙江 丽水 323000;  
3. 浙江九龙山国家级自然保护区管理局, 浙江 丽水 323300; 4. 浙江省林业科学研究院, 浙江 杭州 310023)

**摘要:**以浙江九龙山国家级自然保护区内的长序榆(*Ulmus elongata* L. K. Fu et C. S. Ding)群落为研究对象,对该群落乔木层、灌木层和草本层的种类、胸径(地径)、株高、冠幅和盖度等特征进行调查,并分析了林冠层不同层次的种类组成。在此基础上,对该长序榆群落的种类多样性进行了分析;采用 $\chi^2$ 和W检验以及共同出现百分率(PC)和联结系数(AC),分析了该群落乔木层主要树种的种间联结性。结果显示:该长序榆群落共有维管植物37科53属58种,乔木层有19科26属32种,乔木层种类的Shannon-Wiener多样性指数(H)、Simpson优势度指数(D)和Pielou均匀度指数(J)分别为3.03、0.93和0.87;灌木层有17科18属19种,灌木层种类的H、D和J值分别2.73、0.92和0.93;草本层有14科17属18种,草本层种类的H、D和J值分别为2.55、0.90和0.88。林冠层越低种类数越多,且长序榆仅出现在林冠层的中上层,并缺乏更新苗。种间联结性分析结果显示:该群落乔木层25个主要树种的种间关系总体呈不显著正关联。从PC值看,仅有58个种对紧密关联( $PC \geq 0.6$ ),其中,长序榆仅与红楠(*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.)、薄叶润楠(*Machilus leptophylla* Hand.-Mazz.)和华中樱桃[*Cerasus conradinae* (Koehne) Yü et Li]等10个种类紧密关联;从AC值看,有92个种对紧密正关联( $AC \geq 0.60$ ),有91个种对紧密负关联( $AC \leq -0.60$ ),其中,长序榆仅与红楠、紫弹树(*Celtis biondii* Pamp.)和紫楠[*Phoebe sheareri* (Hemsl.) Gamble] ( $AC \geq 0.60$ )以及南酸枣[*Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burt et A. W. Hill]、杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]和香港四照花[*Dendrobenthamia hongkongensis* (Hemsl.) Hutch.] ( $AC \leq -0.60$ )紧密关联。综合分析结果表明:在该群落中,长序榆与多数树种不紧密正关联,表明其具有一定的独立性和随机性。虽然群落中缺乏长序榆更新苗,但长序榆种群的年龄结构比较合理,种群中尚有一定数量的中小龄级个体,在群落中的优势地位短期内不会发生明显改变。

**关键词:**长序榆; 群落结构; 种类组成; 种类多样性;  $\chi^2$ 检验; 种间联结

中图分类号: Q948.12<sup>+</sup>2.1; S718.54 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2020)05-0066-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2020.05.08

**Analyses on structural characteristics and interspecific association of *Ulmus elongata* community in Jiulongshan National Nature Reserve of Zhejiang** DU Youxin<sup>1</sup>, WANG Junfeng<sup>1</sup>, LIANG Wei<sup>2</sup>, YANG Xiaojun<sup>3</sup>, WANG Zhigao<sup>4</sup>, LIU Wei<sup>2,①</sup> (1. Research and Management Center of East China Medicinal Botanical Garden, Lishui 323000, China; 2. Lishui Baiyunshan Ecology Forest Farm, Lishui 323000, China; 3. Administration Bureau of Jiulong National Nature Reserve, Lishui 323300, China; 4. Zhejiang Academy of Forestry, Hangzhou 310023, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2020, 29(5): 66-74

**Abstract:** Taking *Ulmus elongata* L. K. Fu et C. S. Ding community in Jiulongshan National Nature Reserve of Zhejiang as research object, characteristics of species, diameter at breast height (ground

收稿日期: 2019-10-31

基金项目: 丽水市公益性技术应用研究项目(2019GYX14); 浙江省林业生物多样性保护项目(33112410150002)

作者简介: 杜有新(1965—),男,江西宜春人,博士,研究员,主要从事保护生态学及资源利用研究。

①通信作者 E-mail: 1738132051@qq.com

diameter), height, crown width and coverage, etc. of arbor layer, shrub layer and herb layer of the community were investigated, and the species composition of different layers in canopy layer was analyzed. On this basis, the species diversity of *U. elongata* community was analyzed; interspecific association of main tree species in arbor layer of the community was analyzed by using  $\chi^2$  and  $W$  tests, and percentage of co-occurrence ( $PC$ ) and interspecific association coefficient ( $AC$ ). The results show that there are 58 species of vascular plants in 53 genera of 37 families in *U. elongata* community. There are 32 species in 26 genera of 19 families in arbor layer, Shannon-Wiener diversity index ( $H$ ), Simpson dominance index ( $D$ ) and Pielou evenness index ( $J$ ) of species in arbor layer are 3.03, 0.93 and 0.87, respectively; there are 19 species in 18 genera of 17 families in shrub layer,  $H$ ,  $D$  and  $J$  values of species in shrub layer are 2.73, 0.92 and 0.93, respectively; there are 18 species in 17 genera of 14 families in herb layer,  $H$ ,  $D$  and  $J$  values of species in herb layer are 2.55, 0.90 and 0.88, respectively. The lower the canopy layer, the more the species, and *U. elongata* only appears in the middle and upper layer of canopy layer, and there is a lack of regeneration seedlings. The result of interspecific association analysis shows that the interspecific relationship of 25 main tree species in the community is not significantly positive association in general. In terms of  $PC$  value, only 58 species pairs are closely association ( $PC \geq 0.6$ ), in which, *U. elongata* is only closely associated with 10 species of *Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc., *Machilus leptophylla* Hand.-Mazz. and *Cerasus conradinae* (Koehne) Yü et Li, etc.; in terms of  $AC$  value, 92 species pairs are closely positive association ( $AC \geq 0.60$ ) and 91 species pairs are closely negative association ( $AC \leq -0.60$ ), in which, *U. elongata* is only closely associated with *M. thunbergii*, *Celtis biondii* Pamp. and *Phoebe sheareri* (Hemsl.) Gamble ( $AC \geq 0.60$ ), and *Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burt et A. W. Hill, *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook. and *Dendrobenthamia hongkongensis* (Hemsl.) Hutch. ( $AC \leq -0.60$ ). The result of comprehensive analysis shows that *U. elongata* is not closely associated with most tree species in the community, indicating that it has a certain independence and randomness. Although there is a lack of regeneration seedlings of *U. elongata* in the community, but the age structure of *U. elongata* population is relatively reasonable, there are still a certain number of small and middle age individuals in the population, and dominant position in the community will not change obviously in a short term.

**Key words:** *Ulmus elongata* L. K. Fu et C. S. Ding; community structure; species composition; species diversity;  $\chi^2$  test; interspecific association

物种多样性和种群结构是植物群落的基本属性,影响着群落的发展方向和演化趋势<sup>[1]</sup>。一般而言,随着植被群落的正向演替,群落的种类组成和结构逐渐趋于完善和稳定,种间关系也逐步趋向正相关关系,以达到种类间的稳定共存状态<sup>[2]</sup>。对植物群落的种类组成和种间结构进行研究,可以了解群落中的种类数量及种间的空间分布关系<sup>[3-4]</sup>,有利于濒危植物的保护和利用<sup>[5]</sup>。

长序榆(*Ulmus elongata* L. K. Fu et C. S. Ding)隶属于榆科(Ulmaceae)榆属(*Ulmus* Linn.),为落叶乔木,属国家Ⅱ级重点保护野生植物,产于福建、江西、浙江和安徽等地,零星分布于海拔500~900 m的半阳坡阔叶林及毛竹(*Phyllostachys edulis* (Carriere) J. Houzeau)林中<sup>[6]</sup>。浙江是长序榆的主要分布区,也是其模式标本的产地,在浙江九龙山国家级自然保护区<sup>[7]</sup>分布有长序榆的最大种群。目前,对长序榆的研究主要集中在种群天然更新状况<sup>[8]</sup>、种群保护<sup>[7,9]</sup>

及群落生态学<sup>[10]</sup>等方面,但对长序榆群落结构及种间联结性的研究尚不深入。

鉴于此,作者以浙江九龙山国家级自然保护区的长序榆群落为研究对象,分析该群落的种类组成和群落结构以及主要树种的种间关联特征,探讨长序榆与其他树种的相互关系,并从种间关系角度探讨群落环境及其对长序榆种群发展的影响,为长序榆种群的有效保护管理提供基础研究资料。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于浙江省遂昌县九龙山国家级自然保护区,地理坐标为东经118°49'38"~118°55'03"、北纬28°19'10"~28°24'43"。该区域属亚热带湿润季风气候,年均温约17℃;最冷月为1月,极端最低温-17℃;最热月为7月,极端最高温37℃;年均相对

湿度83%,夏季高温多雨、冬季寒冷潮湿;年均降水量约1 855 mm<sup>[10]</sup>。土壤为沙质黄棕壤。

该区域地带性植被类型属于亚热带常绿阔叶林,长序榆主要生长在海拔500~900 m石砾密布的沟谷中。该保护区内长序榆分布面积在1 000 m<sup>2</sup>以下,主要有岩坪村(东经118°53'28"、北纬28°22'34",海拔669 m,面积约200 m<sup>2</sup>)和秀才坑(东经118°50'43"、北纬28°22'27",海拔715 m,面积约800 m<sup>2</sup>)2个分布地点。由于岩坪村沟谷陡峭且规模较小,因而,将规模较大的秀才坑设为调查主体,该长序榆种群位于沟谷东坡,坡度20°,林分郁闭度0.85。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样地设置及调查和测量方法

以长序榆集中分布的秀才坑为调查区域,在2019年6月对长序榆实际分布范围进行踏查。在该种的集中分布区内设置1块面积20 m×30 m的样地,然后将该样地划分为6个面积10 m×10 m的乔木样方;另在该种的零星分布地段增设4个面积10 m×10 m的乔木样方<sup>[6]</sup>;此外,分别在每个样方的左上角设置1个面积4 m×5 m的灌木样方,在每个灌木样方的左上角设置1个面积2 m×2 m的草本样方。

对乔木样方内胸径大于等于2 cm(或株高大于等于3 m)的木本植物进行每木检测,并记录种类、胸径、株高和地理坐标等信息;记录每个灌木样方内灌木植物(包括株高小于3 m的乔木幼树)的种类、地径、株高和冠幅等信息;记录每个草本样方内草本植物的种类、株(丛)数、株高、冠幅和盖度等信息。用钢卷尺(精度0.1 cm)测量乔木胸径;用测高杆(精度0.1 m)测量木本植物株高,用钢卷尺测量草本植物株高;用钢卷尺测量植物的东西向和南北向的冠径,二者的乘积即为冠幅,以冠幅占样方面积的百分比计为盖度;采用游标卡尺(精度0.1 mm)测量灌木的地径。所有指标均重复测量2次,结果取平均值。

### 1.2.2 种类多样性和群落结构分析

根据调查数据分别计算乔木层、灌木层和草本层的种类数( $R$ )和重要值( $IV$ )<sup>[11]</sup>。根据各种类的重要值计算 Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ )、Simpson 优势度指数( $D$ )和 Pielou 均匀度指数( $J$ )<sup>[12-13]</sup>。

用大小级结构替代年龄结构的方法<sup>[3]</sup>,根据株高( $H$ )把林冠层[包括乔木层和灌木层中株高大于等于2 m的所有乔木和灌木树种]划分为第1层( $H \geq 12$  m)、第2层( $12 \text{ m} > H \geq 10$  m)、第3层( $10 \text{ m} > H \geq$

8 m)、第4层( $8 \text{ m} > H \geq 6$  m)、第5层( $6 \text{ m} > H \geq 4$  m)和第6层( $4 \text{ m} > H \geq 2$  m),用株高级替代龄级分析长序榆种群的年龄结构和群落垂直结构<sup>[14]</sup>。用大小级指数( $SDI$ )定量估计种群更新的连续性<sup>[15]</sup>。将胸径小于2 cm或株高小于3 m的乔木个体视为更新苗,分别统计样方内各乔木树种的更新苗数量。

### 1.2.3 种间总体相关性和联结性检验

基于样地调查数据,选取重要值大于等于1%的25种主要树种,将野外调查数据转化为二元数据矩阵,建立2×2联列表,并统计各个种对间的 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 和 $d$ 值<sup>[5,16]</sup>;据此计算共同出现百分率和联结系数,并进行 $\chi^2$ 检验。

采用方差比率( $VR$ )法检验该群落内种间的总体关联程度。在独立性假设条件下, $VR$ 期望值为1,若 $VR > 1$ ,表示种间呈正关联;若 $VR < 1$ ,则表示种间呈负关联<sup>[2]</sup>。考虑到种间的正负关联可相互抵消,故采用统计量 $W$ 检验 $VR$ 值偏离1的显著程度:若种间不显著关联,则 $W$ 值在3.940~18.307之间的概率为90%<sup>[16-17]</sup>。采用Yates校正公式计算 $\chi^2$ 统计量<sup>[18]</sup>,检验各种对关联的显著性:若 $\chi^2 \geq 3.841$ ,则种间为显著性关联;若 $\chi^2 < 3.841$ ,则种间为不显著性关联<sup>[2]</sup>。

综合共同出现百分率( $PC$ )和联结系数( $AC$ )进一步定量分析种间联结程度<sup>[2]</sup>,重点分析长序榆与其他树种的关联特征。 $PC$ 的阈值为 $[0, 1]$ , $PC$ 值越趋近1,表明种间关联越紧密,其中, $PC \geq 0.6$ 为紧密关联, $0.2 \leq PC < 0.6$ 为一般关联, $0.0 < PC < 0.2$ 为弱关联;若 $PC = 0.0$ ,则表明种间完全独立。 $AC$ 的阈值为 $[-1, 1]$ , $AC$ 值越趋近1,表明种间正关联越强,其中, $AC \geq 0.60$ 为紧密正关联, $0.20 \leq AC < 0.60$ 为一般正关联; $AC$ 值越趋近-1,表明种间负关联越强,其中, $AC \leq -0.60$ 为紧密负关联, $-0.60 < AC \leq -0.20$ 为一般负关联, $-0.20 < AC < 0.20$ ( $AC \neq 0.00$ )为弱关联;若 $AC = 0.00$ ,则表明种间完全独立。

## 1.3 数据处理和分析

采用EXCEL 2003和SPSS 17.0软件对数据进行处理和分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 长序榆群落种类组成及多样性水平分析

调查结果显示:浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落共有维管植物37科53属58种,其中乔木、灌木、草本和藤本植物分别有30、8、10和10种。根

据重要值从大到小进行排序, 该长序榆群落乔木层、灌木层和草本层的种类组成和重要值等基本特征分别见表 1、表 2 和表 3。

由表 1 可见: 该群落的乔木层植物有 19 科 26 属 32 种, 其中重要值在 5.00% 以上的有 6 种, 分别为长序榆、红楠 (*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.)、杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]、南酸枣 [*Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burtt et A. W. Hill]、紫楠 [*Phoebe shearerii* (Hemsl.) Gamble] 和薄叶润楠 (*Machilus leptophylla* Hand.-Mazz.), 重要值分别

为 17.59%、10.37%、7.92%、7.07%、6.43% 和 6.18%, 长序榆优势明显。乔木层植物的 Shannon-Wiener 多样性指数 (*H*)、Simpson 优势度指数 (*D*) 和 Pielou 均匀度指数 (*J*) 分别为 3.03、0.93 和 0.87。

由表 2 可见: 该群落的灌木层植物有 17 科 18 属 19 种, 包括 3 种藤本植物和 10 种乔木树种的幼树, 其中重要值在 5.00% 以上的有 7 种。灌木层优势种为红楠、云实 [*Caesalpinia decapetala* (Roth) Alston] 和毛柄连蕊茶 (*Camellia fraterna* Hance), 重要值分别为 14.33%、11.91% 和 11.07%; 紫楠、毛脉槭

表 1 浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落乔木层种类组成及其重要值<sup>1)</sup>

Table 1 Species composition and their important values in arbor layer of *Ulmus elongata* L. K. Fu et C. S. Ding community in Jiulongshan National Nature Reserve of Zhejiang<sup>1)</sup>

| 种类 Species  | 生活型 Life form | DBH/cm | H/m   | RD1/% | RF/% | RD2/% | SDI    | IV/%  |
|---|---------------|--------|-------|-------|------|-------|--------|-------|
| 长序榆 <i>Ulmus elongata</i>                           | D             | 21.15  | 9.70  | 7.09  | 6.45 | 39.23 | -0.025 | 17.59 |
| 红楠 <i>Machilus thunbergii</i>                       | E             | 6.45   | 5.00  | 19.15 | 6.45 | 5.50  | -0.003 | 10.37 |
| 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>                   | E             | 12.33  | 8.64  | 9.22  | 4.84 | 9.69  | 0.002  | 7.92  |
| 南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>                 | D             | 23.60  | 12.70 | 3.55  | 3.23 | 14.45 | 0.023  | 7.07  |
| 紫楠 <i>Phoebe shearerii</i>                          | E             | 7.39   | 5.72  | 9.22  | 6.45 | 3.62  | 0.007  | 6.43  |
| 薄叶润楠 <i>Machilus leptophylla</i>                    | E             | 11.18  | 6.40  | 7.09  | 4.84 | 6.60  | 0.026  | 6.18  |
| 欏木 <i>Loropetalum chinense</i>                      | E             | 6.33   | 5.89  | 4.96  | 4.84 | 1.44  | 0.067  | 3.75  |
| 黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>                         | D             | 5.94   | 5.93  | 4.96  | 4.84 | 1.30  | 0.025  | 3.70  |
| 华中樱桃 <i>Cerasus conradinae</i>                      | D             | 10.87  | 10.33 | 2.13  | 4.84 | 2.16  | 0.035  | 3.04  |
| 红毒茴 <i>Illicium lanceolatum</i>                     | E             | 5.88   | 5.13  | 2.84  | 4.84 | 0.68  | 0.024  | 2.79  |
| 香港四照花 <i>Dendrobenthamia hongkongensis</i>          | E             | 5.52   | 5.50  | 3.54  | 3.23 | 0.68  | 0.078  | 2.40  |
| 毛柄连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>                      | E             | 3.87   | 3.17  | 2.13  | 4.84 | 0.20  | 0.035  | 2.39  |
| 大果卫矛 <i>Euonymus myrianthus</i>                     | E             | 14.70  | 6.75  | 1.42  | 3.23 | 2.35  | 0.026  | 2.33  |
| 毛脉槭 <i>Acer pubinerve</i>                           | D             | 10.35  | 7.00  | 1.42  | 3.23 | 1.53  | 0.021  | 2.06  |
| 漆 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>                 | D             | 11.70  | 6.75  | 1.42  | 3.23 | 1.29  | 0.063  | 1.98  |
| 柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i> var. <i>sinensis</i> | E             | 5.80   | 5.27  | 2.13  | 3.23 | 0.48  | 0.024  | 1.95  |
| 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>                    | E             | 5.20   | 4.33  | 2.13  | 3.23 | 0.35  | 0.053  | 1.90  |
| 苦树 <i>Picrasma quassioides</i>                      | D             | 10.95  | 8.25  | 2.84  | 1.61 | 1.04  | 0.105  | 1.83  |
| 大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>                          | E             | 15.50  | 4.01  | 1.42  | 1.61 | 2.33  | 0.062  | 1.79  |
| 拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>                     | D             | 19.40  | 15.70 | 0.71  | 1.61 | 1.62  | 0.125  | 1.32  |
| 紫弹树 <i>Celtis biondii</i>                           | D             | 8.40   | 6.50  | 1.42  | 1.61 | 0.64  | 0.064  | 1.22  |
| 木荷 <i>Schima superba</i>                            | E             | 5.55   | 4.50  | 1.42  | 1.61 | 0.28  | 0.063  | 1.11  |
| 球核荚蒾 <i>Viburnum propinquum</i>                     | E             | 5.00   | 5.00  | 1.42  | 1.61 | 0.22  | 0.066  | 1.08  |
| 山樱花 <i>Cerasus serrulata</i>                        | D             | 13.00  | 8.00  | 0.71  | 1.61 | 0.73  | 0.125  | 1.02  |
| 树参 <i>Dendropanax dentiger</i>                      | E             | 12.40  | 8.50  | 0.71  | 1.61 | 0.66  | 0.125  | 1.00  |
| 华桑 <i>Morus cathayana</i>                           | D             | 7.60   | 7.00  | 0.71  | 1.61 | 0.25  | 0.125  | 0.86  |
| 柃木 <i>Eurya japonica</i>                            | E             | 7.20   | 4.00  | 0.71  | 1.61 | 0.22  | 0.125  | 0.85  |
| 石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>                        | E             | 6.60   | 5.50  | 0.71  | 1.61 | 0.19  | 0.125  | 0.84  |
| 红柴枝 <i>Meliosma oldhamii</i>                        | E             | 4.80   | 3.00  | 0.71  | 1.61 | 0.10  | 0.125  | 0.81  |
| 郁香野茉莉 <i>Styrax odoratissimus</i>                   | D             | 4.00   | 3.50  | 0.71  | 1.61 | 0.07  | 0.125  | 0.80  |
| 浙江红山茶 <i>Camellia chekiangoleosa</i>                | E             | 3.10   | 3.00  | 0.71  | 1.61 | 0.04  | 0.125  | 0.79  |
| 四川朴 <i>Celtis vanderwoetiana</i>                    | D             | 2.60   | 3.00  | 0.71  | 1.61 | 0.03  | 0.125  | 0.78  |

<sup>1)</sup> D: 落叶阔叶树种 Deciduous broad-leaved species; E: 常绿阔叶树种 Evergreen broad-leaved species. DBH: 胸径 Diameter at breast height; H: 株高 Height; RD1: 相对密度 Relative density; RF: 相对频度 Relative frequency; RD2: 相对显著度 Relative dominance; SDI: 大小级指数 Size distribution index; IV: 重要值 Important value.

表2 浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落灌木层种类组成及其重要值

Table 2 Species composition and their important values in shrub layer of *Ulmus elongata* L. K. Fu et C. S. Ding community in Jiulongshan National Nature Reserve of Zhejiang

| 种类<br>Species  | 地径/cm<br>Ground diameter | 株高/m <sup>1)</sup><br>Height <sup>1)</sup> | 相对密度/%<br>Relative density | 相对频度/%<br>Relative frequency | 相对盖度/%<br>Relative coverage | 重要值/%<br>Important value |
|--|--------------------------|--|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 红楠 <i>Machilus thunbergii</i>                          | 2.18                     | 1.43                                       | 21.62                      | 11.11                        | 10.25                       | 14.33                    |
| 云实 <i>Caesalpinia decapetala</i>                       | 6.20                     | —  | 5.41                       | 7.41                         | 22.91                       | 11.91                    |
| 毛柄连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>                         | 3.03                     | 1.20                                       | 10.81                      | 11.11                        | 11.28                       | 11.07                    |
| 紫楠 <i>Phoebe shearerii</i>                             | 2.00                     | 0.33                                       | 10.81                      | 7.41                         | 5.01                        | 7.74                     |
| 女娄 <i>Clematis apiifolia</i>                           | 4.40                     | —  | 5.41                       | 7.41                         | 10.02                       | 7.61                     |
| 毛脉槭 <i>Acer pubinerve</i>                              | 8.00                     | 0.30                                       | 2.70                       | 3.70                         | 16.03                       | 7.48                     |
| 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>                      | 2.50                     | 1.10                                       | 5.41                       | 7.41                         | 3.26                        | 5.36                     |
| 柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i> var. <i>sinensis</i>    | 2.95                     | 1.65                                       | 5.41                       | 3.70                         | 4.57                        | 4.56                     |
| 红毒茴 <i>Illicium lanceolatum</i>                        | 2.75                     | 2.25                                       | 5.41                       | 3.70                         | 3.80                        | 4.30                     |
| 短尾越橘 <i>Vaccinium carlesii</i>                         | 3.50                     | 2.00                                       | 2.70                       | 3.70                         | 3.07                        | 3.16                     |
| 大果卫矛 <i>Euonymus myrianthus</i>                        | 3.20                     | 2.30                                       | 2.70                       | 3.70                         | 2.57                        | 2.99                     |
| 山血丹 <i>Ardisia lindleyana</i>                          | 3.00                     | 0.20                                       | 2.70                       | 3.70                         | 2.25                        | 2.89                     |
| 鄂西清风藤 <i>Sabia campanulata</i> subsp. <i>ritchieae</i> | 2.80                     | —  | 2.70                       | 3.70                         | 1.96                        | 2.79                     |
| 香港四照花 <i>Dendrobenthamia hongkongensis</i>             | 2.40                     | 2.50                                       | 2.70                       | 3.70                         | 1.44                        | 2.62                     |
| 三尖杉 <i>Cephalotaxus fortunei</i>                       | 1.50                     | 2.10                                       | 2.70                       | 3.70                         | 0.50                        | 2.32                     |
| 黄毛櫨木 <i>Aralia chinensis</i>                           | 1.00                     | 1.20                                       | 2.70                       | 3.70                         | 0.25                        | 2.22                     |
| 榿木 <i>Loropetalum chinense</i>                         | 1.00                     | 0.30                                       | 2.70                       | 3.70                         | 0.25                        | 2.22                     |
| 老鸦糊 <i>Callicarpa giraldii</i>                         | 1.00                     | 1.40                                       | 2.70                       | 3.70                         | 0.25                        | 2.22                     |
| 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>                       | 1.00                     | 0.80                                       | 2.70                       | 3.70                         | 0.25                        | 2.22                     |

1) —: 未统计 No statistics.

表3 浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落草本层种类组成及其重要值

Table 3 Species composition and their important values in herb layer of *Ulmus elongata* L. K. Fu et C. S. Ding community in Jiulongshan National Nature Reserve of Zhejiang

| 种类<br>Species  | 株高/m <sup>1)</sup><br>Height <sup>1)</sup> | 冠幅/m <sup>2</sup><br>Crown width | 相对密度/%<br>Relative density | 相对频度/%<br>Relative frequency | 相对盖度/%<br>Relative coverage | 重要值/%<br>Important value |
|--|--|----------------------------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 薹草 <i>Carex</i> sp.  | 0.15                                       | 0.16                             | 24.62                      | 12.00                        | 19.55                       | 18.73                    |
| 箬竹 <i>Indocalamus tessellatus</i>                                | 0.70                                       | 0.72                             | 13.85                      | 8.00                         | 33.43                       | 18.43                    |
| 翠云草 <i>Selaginella uncinata</i>                                  | 0.10                                       | 0.03                             | 16.92                      | 12.00                        | 31.28                       | 10.68                    |
| 鳞毛蕨 <i>Dryopteris</i> sp.  | 0.45                                       | 0.24                             | 6.15                       | 8.00                         | 8.02                        | 7.39                     |
| 紫花络石 <i>Trachelospermum axillare</i>                             | —  | 0.20                             | 6.15                       | 8.00                         | 6.26                        | 6.80                     |
| 凤丫蕨 <i>Coniogramme japonica</i>                                  | 0.50                                       | 0.20                             | 6.15                       | 4.00                         | 7.82                        | 5.99                     |
| 淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>                                   | 0.20                                       | 0.11                             | 7.70                       | 4.00                         | 5.38                        | 5.69                     |
| 寒莓 <i>Rubus buergeri</i>   | —  | 0.40                             | 1.54                       | 4.00                         | 3.91                        | 3.15                     |
| 毛药藤 <i>Sindechites henryi</i>                                    | —  | 0.30                             | 1.54                       | 4.00                         | 2.93                        | 2.82                     |
| 乌蕨 <i>Odontosoria chinensis</i>                                  | 0.20                                       | 0.02                             | 3.08                       | 4.00                         | 0.29                        | 2.46                     |
| 牯岭蛇葡萄 <i>Ampelopsis brevipedunculata</i> var. <i>kulingensis</i> | —  | 0.18                             | 1.54                       | 4.00                         | 1.76                        | 2.43                     |
| 刺头复叶耳蕨 <i>Arachniodes exilis</i>                                 | 0.35                                       | 0.16                             | 1.54                       | 4.00                         | 1.56                        | 2.37                     |
| 大血藤 <i>Sargentodoxa cuneata</i>                                  | —  | 0.15                             | 1.54                       | 4.00                         | 1.47                        | 2.33                     |
| 套鞘薹草 <i>Carex maubertiana</i>                                    | 0.30                                       | 0.15                             | 1.54                       | 4.00                         | 1.47                        | 2.33                     |
| 鸡矢藤 <i>Paederia foetida</i>                                      | —  | 0.12                             | 1.54                       | 4.00                         | 1.17                        | 2.24                     |
| 南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i>                                 | —  | 0.10                             | 1.54                       | 4.00                         | 0.98                        | 2.17                     |
| 圆苞杜根藤 <i>Justicia championii</i>                                 | —  | 0.06                             | 1.54                       | 4.00                         | 0.59                        | 2.04                     |
| 云和假糙苏 <i>Paraphlomis lancidentata</i>                            | 0.30                                       | 0.03                             | 1.54                       | 4.00                         | 0.13                        | 1.94                     |

1) —: 未统计 No statistics.

(*Acer pubinerve* Rehd.) 和杉木 3 种乔木幼树在灌木层中也有明显优势,重要值分别为 7.74%、7.48% 和

5.36%;藤本植物女娄(*Clematis apiifolia* DC.) 的重要值为 7.61%,在灌木层中也有一定的优势。灌木层植

物的  $H$ 、 $D$  和  $J$  值分别为 2.73、0.92 和 0.93。

由表 3 可见: 该群落的草本层植物有 14 科 17 属 18 种, 包括 7 种藤本植物, 其中重要值在 5.00% 以上的有 7 种。藎草 (*Carex* sp.)、箬竹 [*Indocalamus tessellatus* (Munro) Keng f.] 和翠云草 [*Selaginella uncinata* (Desv.) Spring] 在草本层中占有绝对优势, 重要值分别为 18.73%、18.43% 和 10.68%; 鳞毛蕨 (*Dryopteris* sp.)、紫花络石 (*Trachelospermum axillare* Hook. f.)、凤丫蕨 [*Coniogramme japonica* (Thunb.) Diels] 和淡竹叶 (*Lophatherum gracile* Brongn.) 在草本层中也有明显优势, 重要值分别为 7.39%、6.80%、5.99% 和 5.69%。草本层植物的  $H$ 、 $D$  和  $J$  值分别为

2.55、0.90 和 0.88。

## 2.2 长序榆群落结构及更新状况

### 2.2.1 群落垂直分布特征

浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落林冠层不同层次的种类组成见表 4。结果显示: 林冠层越低种类数越多。第 1 层 5 种 11 株, 包括南酸枣 4 株、杉木 3 株、长序榆 2 株, 其他 2 种各 1 株; 第 2 层 6 种 7 株, 包括长序榆 2 株, 其他 4 种各 1 株; 第 3 层 14 种 24 株, 包括杉木 6 株、长序榆 3 株, 其他 14 种分别仅 1 或 2 株; 第 4 层 14 种 33 株, 包括红楠 8 株、薄叶润楠 5 株、欆木 [*Loropetalum chinense* (R. Br.) Oliver] 4 株、黄檀 (*Dalbergia hupeana* Hance) 3 株, 其他 10 种分别仅

表 4 浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落林冠层不同层次的种类组成<sup>1)</sup>

Table 4 Species composition of different layers in forest canopy of *Ulmus elongata* L. K. Fu et C. S. Ding community in Jiulongshan National Nature Reserve of Zhejiang<sup>1)</sup>

| 种类<br>Species                                       | 第 1 层<br>The first layer<br>(H ≥ 12 m) |       | 第 2 层<br>The second layer<br>(12 m > H ≥ 10 m) |       | 第 3 层<br>The third layer<br>(10 m > H ≥ 8 m) |       | 第 4 层<br>The fourth layer<br>(8 m > H ≥ 6 m) |       | 第 5 层<br>The fifth layer<br>(6 m > H ≥ 4 m) |       | 第 6 层<br>The sixth layer<br>(4 m > H ≥ 2 m) |       |
|---|--|-------|--|-------|--|-------|--|-------|---|-------|---|-------|
|   | N                                      | P/%   | N  | P/%   | N  | P/%   | N  | P/%   | N   | P/%   | N   | P/%   |
| 长序榆 <i>Ulmus elongata</i>                           | 2                                      | 18.2  | 2  | 28.5  | 3  | 12.5  | 2  | 6.1   | 1   | 2.6   | 0   | 0.0   |
| 大果卫矛 <i>Euonymus myrianthus</i>                     | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 1  | 4.2   | 0  | 0.0   | 1   | 2.6   | 1   | 2.3   |
| 大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>                          | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 2   | 5.1   | 0   | 0.0   |
| 短尾越橘 <i>Vaccinium carlesii</i>                      | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 1   | 2.3   |
| 红毒苜 <i>Illicium lanceolatum</i>                     | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 1  | 4.2   | 0  | 0.0   | 1   | 2.6   | 4   | 9.3   |
| 浙江红山茶 <i>Camellia chekiangoleosa</i>                | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 1   | 2.3   |
| 红楠 <i>Machilus thunbergii</i>                       | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 2  | 8.3   | 8  | 24.3  | 11  | 28.1  | 13  | 30.5  |
| 红柴枝 <i>Meliosma oldhamii</i>                        | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 1   | 2.3   |
| 薄叶润楠 <i>Machilus leptophylla</i>                    | 0                                      | 0.0   | 1  | 14.3  | 1  | 4.2   | 5  | 15.2  | 2   | 5.1   | 1   | 2.3   |
| 华桑 <i>Morus cathayana</i>                           | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 1  | 3.0   | 0   | 0.0   | 0   | 0.0   |
| 华中樱桃 <i>Cerasus conradinae</i>                      | 1                                      | 9.1   | 0  | 0.0   | 1  | 4.2   | 1  | 3.0   | 0   | 0.0   | 0   | 0.0   |
| 黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>                         | 0                                      | 0.0   | 1  | 14.3  | 0  | 0.0   | 3  | 9.1   | 2   | 5.1   | 1   | 2.3   |
| 欆木 <i>Loropetalum chinense</i>                      | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 1  | 4.2   | 4  | 12.1  | 1   | 2.6   | 1   | 2.3   |
| 苦树 <i>Picrasma quassioides</i>                      | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 2  | 8.3   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 0   | 0.0   |
| 柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i> var. <i>sinensis</i> | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 1  | 3.0   | 1   | 2.6   | 3   | 7.0   |
| 毛脉槭 <i>Acer pubinerve</i>                           | 0                                      | 0.0   | 1  | 14.3  | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 2   | 4.7   |
| 毛柄连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>                      | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 1   | 2.6   | 4   | 9.3   |
| 木荷 <i>Schima superba</i>                            | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 1  | 3.0   | 0   | 0.0   | 1   | 2.3   |
| 南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>                 | 4                                      | 36.3  | 1  | 14.3  | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 0   | 0.0   |
| 拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>                     | 1                                      | 9.1   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 0   | 0.0   |
| 漆 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>                 | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 2  | 6.1   | 0   | 0.0   | 0   | 0.0   |
| 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>                    | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 2   | 5.1   | 1   | 2.3   |
| 球核荚蒾 <i>Viburnum propinquum</i>                     | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 1  | 3.0   | 0   | 0.0   | 1   | 2.3   |
| 三尖杉 <i>Cephalotaxus fortunei</i>                    | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 1   | 2.3   |
| 山樱花 <i>Cerasus serrulata</i>                        | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 1  | 4.2   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 0   | 0.0   |
| 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>                   | 3                                      | 27.3  | 0  | 0.0   | 6  | 24.8  | 1  | 3.0   | 3   | 7.7   | 1   | 2.3   |
| 石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>                        | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 1   | 2.6   | 0   | 0.0   |
| 树参 <i>Dendropanax dentiger</i>                      | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 1  | 4.2   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 0   | 0.0   |
| 西川朴 <i>Celtis vanderwoetiana</i>                    | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 1   | 2.3   |
| 香港四照花 <i>Dendrobenthamia hongkongensis</i>          | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 1  | 4.2   | 1  | 3.0   | 2   | 5.1   | 2   | 4.7   |
| 郁香野茉莉 <i>Styrax odoratissimus</i>                   | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0  | 0.0   | 0   | 0.0   | 1   | 2.3   |
| 紫弹树 <i>Celtis biondii</i>                           | 0                                      | 0.0   | 0  | 0.0   | 1  | 4.2   | 0  | 0.0   | 1   | 2.6   | 0   | 0.0   |
| 紫楠 <i>Phoebe sheareri</i>                           | 0                                      | 0.0   | 1  | 14.3  | 2  | 8.3   | 2  | 6.1   | 7   | 17.9  | 1   | 2.3   |
| 合计 Total  | 11                                     | 100.0 | 7  | 100.0 | 24   | 100.0 | 33   | 100.0 | 39  | 100.0 | 43  | 100.0 |

<sup>1)</sup> H: 株高 Height; N: 株数 Number of individuals; P: 所占比例 Percentage.

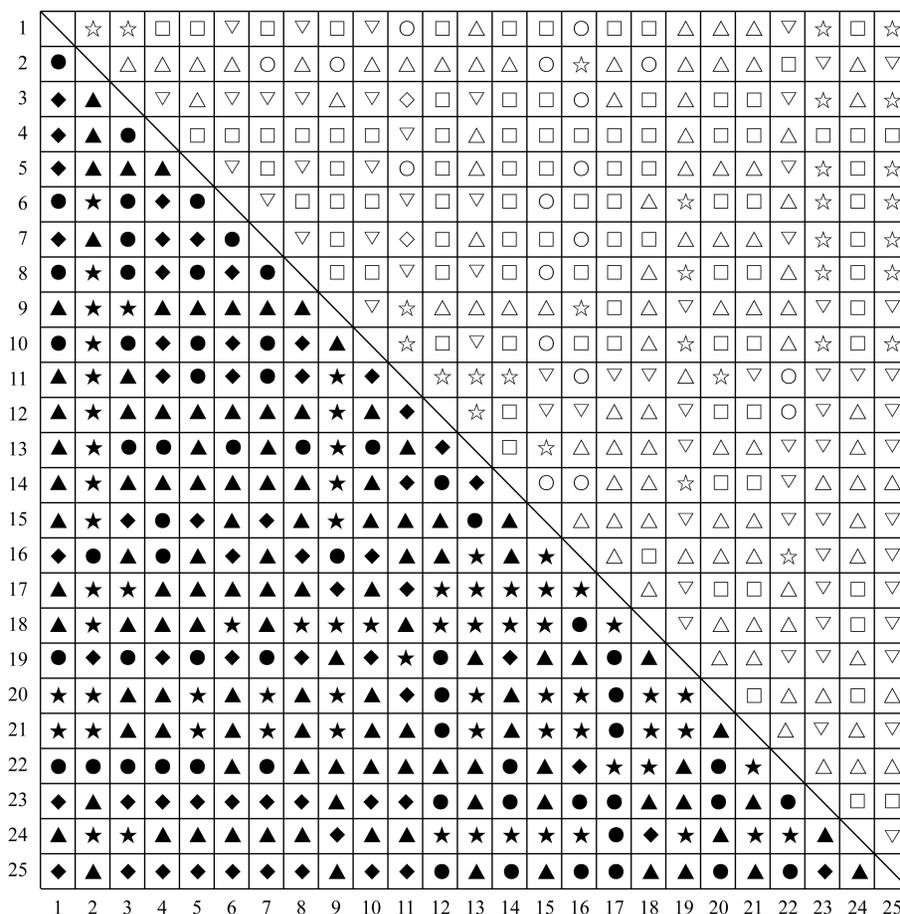
1 或2 株;第5 层16 种 39 株,第 6 层 21 种 43 株,其中,红楠优势较为明显,第 6 层未发现长序榆植株。

2.2.2 群落更新状况 对群落中乔木种类的更新苗数量进行统计,结果显示:该样地中乔木树种更新苗共有 10 种 23 株,包括红楠 8 株,紫楠 4 株,杉木、柳杉(*Cryptomeria japonica* var. *sinensis* Miquel)和红毒茴(*Illicium lanceolatum* A. C. Smith)各 2 株,毛脉槭(*Acer pubinerve* Rehd.)、青冈[*Cyclobalanopsis glauca*

(Thunb.) Oerst.]、香港四照花[*Dendrobenthamia hongkongensis* (Hemsl.) Hutch.]、大果卫矛(*Euonymus myrianthus* Hemsl.) 和三尖杉(*Cephalotaxus fortunei* Hook.) 各 1 株。未见长序榆的更新苗。

2.3 种间联结性分析

浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落主要树种间的共同出现百分率(PC)和联结系数(AC)的半矩阵图见图 1。



◆:  $PC \geq 0.6$ ; ●:  $0.4 \leq PC < 0.6$ ; ▲:  $0.2 \leq PC < 0.4$ ; ★:  $0.0 < PC < 0.2$ ; □:  $AC \geq 0.60$ ; ☆:  $0.20 \leq AC < 0.60$ ; ▽:  $-0.05 < AC < 0.20$ ; ◇:  $-0.20 < AC \leq -0.05$ ; ○:  $-0.60 < AC \leq -0.20$ ; △:  $AC \leq -0.60$ .

1: 大果卫矛 *Euonymus myrianthus* Hemsl.; 2: 大叶冬青 *Ilex latifolia* Thunb.; 3: 红毒茴 *Illicium lanceolatum* A. C. Smith; 4: 红楠 *Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.; 5: 薄叶润楠 *Machilus leptophylla* Hand.-Mazz.; 6: 华中樱桃 *Cerasus conradinae* (Koehne) Yü et Li; 7: 黄檀 *Dalbergia hupeana* Hance; 8: 欆木 *Loropetalum chinense* (R. Br.) Oliver; 9: 苦树 *Picrasma quassioides* (D. Don) Benn.; 10: 柳杉 *Cryptomeria japonica* var. *sinensis* Miquel; 11: 毛柄连蕊茶 *Camellia fraterna* Hance; 12: 毛脉槭 *Acer pubinerve* Rehd.; 13: 木荷 *Schima superba* Gardn. et Champ.; 14: 南酸枣 *Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burt et A. W. Hill; 15: 拟赤杨 *Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino; 16: 漆 *Toxicodendron vernicifluum* (Stokes) F. A. Barkl.; 17: 青冈 *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.; 18: 球核荚蒾 *Viburnum propinquum* Hemsl.; 19: 山樱花 *Cerasus serrulate* (Lindl.) G. Don ex London; 20: 杉木 *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; 21: 树参 *Dendropanax dentiger* (Harms) Merr.; 22: 香港四照花 *Dendrobenthamia hongkongensis* (Hemsl.) Hutch.; 23: 长序榆 *Ulmus elongata* L. K. Fu et C. S. Ding; 24: 紫弹树 *Celtis biondii* Pamp.; 25: 紫楠 *Phoebe shearerii* (Hemsl.) Gamble. 斜线下部和上部的数据分别为 PC 和 AC 值 The datums under and above the oblique line are PC and AC values, respectively.

图 1 浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落乔木层主要树种的共同出现百分率(PC)和种间联结系数(AC)  
Fig. 1 Percentage of co-occurrence (PC) and interspecific association coefficient (AC) of main tree species in arbor layer of *Ulmus elongata* L. K. Fu et C. S. Ding community in Jiulongshan National Nature Reserve of Zhejiang

统计分析结果显示:该群落 25 个主要树种的方差比率( $VR$ )为 1.924 7,表明这些树种间呈正关联;统计量  $W$  值为 7.698 9,介于 3.940~18.307 之间,表明这些树种间总体呈不显著的正关联;各种对间的 $\chi^2$ 值均小于 3.841,表明这些树种间无显著关联性。

由  $PC$  值(图 1)可见:在 300 个种对中, $PC \geq 0.6$  的种对有 58 个,表明这些种对紧密关联; $0.2 \leq PC < 0.6$  的种对有 174 个,表明这些种对一般关联; $0.0 < PC < 0.2$  的种对有 68 个,表明这些种对弱关联。总体上看,该群落乔木层的优势树种长序榆与大果卫矛、红毒苗、红楠、薄叶润楠、华中樱桃 [*Cerasus conradinae* (Koehne) Yü et Li]、黄檀、榿木、柳杉、紫楠和毛柄连蕊茶紧密关联, $PC$  值均大于等于 0.6,而与其余树种一般或弱关联。

由  $AC$  值(图 1)可见:在 300 个种对中,有 188 个种对呈正关联、112 个种对呈负关联,正负关联种对的比例为 1.68 : 1.00。其中, $AC \geq 0.60$  的种对有 92 个,表明这些种对紧密正关联; $AC \leq -0.60$  的种对有 91 个,表明这些种对紧密负关联; $0.20 \leq AC < 0.60$  的种对有 31 个,表明这些种对一般正关联; $-0.20 < AC < 0.20$  的种对有 68 个,表明这些种对弱关联; $-0.60 < AC \leq -0.20$  的种对有 18 个,表明这些种对一般负关联。总体上看,该群落乔木层的优势树种长序榆与红楠、紫弹树 (*Celtis biondii* Pamp.) 和紫楠 ( $AC \geq 0.60$ ) 以及南酸枣、杉木和香港四照花 ( $AC \leq -0.60$ ) 紧密关联,而与其余树种一般或弱关联。

### 3 讨论和结论

物种多样性可反映自然生境中物种丰富度及分布均匀性状况<sup>[19]</sup>。随着植物群落演替的正向发展,资源也向最佳分配和充分利用方向发展<sup>[20]</sup>,使群落物种多样性不断丰富,种间关系逐步由独立或排斥演替到共存的正相关关系<sup>[2]</sup>。在浙江九龙山国家级自然保护区内分布的长序榆群落处于常绿落叶阔叶混交林中,位于海拔 500~900 m 的沟谷中,群落层次较为丰富,乔木层种类的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H$ ) 达到 3.03,明显高于刘鹏等<sup>[10]</sup> 在 2007 年的研究结果 ( $H=2.71$ )。该长序榆群落兼有常绿阔叶树和落叶阔叶树成分<sup>[21]</sup>,从物种组成及优势树种看,属于常绿阔叶林到落叶阔叶林过渡阶段的次生阔叶林<sup>[22]</sup>,其物种丰富度 (58 种) 和 Shannon-Wiener 多样性指

数均低于该保护区天然常绿阔叶林的物种丰富度 (67 种) 和 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H=3.29$ )<sup>[22]</sup>。种间联结性结果表明:该长序榆群落乔木层的主要种类总体表现为正关联,但种间关系未达显著关联水平,表明这些树种间总体呈不显著正关联关系,该长序榆群落仍处于不断演化的发展阶段。

$\chi^2$  检验结果显示:该长序榆群落乔木层主要树种的种间关联不显著,说明这些树种间尚未达到稳定共存的格局<sup>[2]</sup>。这些树种间的共同出现百分率 ( $PC$ ) 和联结系数 ( $AC$ ) 的检验结果基本一致,如长序榆与大果卫矛、红毒苗、红楠、薄叶润楠和紫楠等 10 个树种的  $PC$  值均较高 ( $PC \geq 0.6$ ),种间呈紧密关联;长序榆与红楠和紫楠的  $AC$  值较高 ( $AC \geq 0.60$ ),种间呈紧密正关联,与大果卫矛、红毒苗、薄叶润楠、华中樱桃、黄檀、榿木和柳杉也呈正关联 ( $0.20 \leq AC < 0.60$ )。处于同一林层的树种呈正关联关系,如处于林冠上层的长序榆与华中樱桃和薄叶润楠等,可能是由于这些种类在资源利用和生境需求方面的相似性或互补性<sup>[15]</sup>;而处于不同林层的树种在生态位上出现重叠,种间关系表现为正关联,如长序榆与次林层的红毒苗、红楠和榿木等,说明这些种类对光照和水分等环境因子具有协调利用性和资源利用的相似性<sup>[18]</sup>。此外,长序榆与南酸枣和香港四照花紧密负关联 ( $AC \leq -0.60$ ),说明长序榆与同林层的南酸枣和次林层较耐阴的常绿树种香港四照花具有排斥性,这可能是由于长序榆与南酸枣和香港四照花对生境资源的需求存在较强的竞争关系<sup>[23-24]</sup>。由于长序榆种群自然分布区较小,供试样本数量也有限,因而,通过本研究只能解释该长序榆群落现状和种间关系的表面现象,难以揭示群落内种间关系的内在生态过程<sup>[25]</sup>。

在浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落中,长序榆为群落的主要优势树种,其种群结构影响着群落性质及其发展变化,但现有的长序榆种群规模小且缺乏小龄级植株,株高小于 8 m 的仅 3 株,且缺失株高 4 m 以下的幼苗和幼树,说明该长序榆种群的天然更新能力较差<sup>[10]</sup>。长序榆天然更新苗缺乏的主要原因除了生殖生物学上的限制外<sup>[7]</sup>,还与不利的生境条件有关:一是长序榆种群的生境为石砾较多的沟谷,土层薄,影响种子萌发和幼苗生长<sup>[10]</sup>;二是该群落郁闭度较高,林下光照弱<sup>[26]</sup>,而长序榆为阳性落叶树种<sup>[8]</sup>,林下光照条件无法满足其幼树生长所需<sup>[27]</sup>。值得注意的是,虽然在该长序榆群落中未发现长序榆

更新苗,但从大小级指数(*SDI*)看,整个群落中只有长序榆和红楠的*SDI*值为负值,说明长序榆种群年龄结构较合理,种群中尚有一定数量的中小龄级个体,群落中长序榆的优势地位短期内不会有明显变化。

长序榆为珍稀濒危植物,其地理分布区相对狭窄,且居群之间相互隔离,遗传基础狭窄<sup>[28]</sup>,居群间基因流缺乏导致其种群存在近交衰退现象<sup>[29]</sup>。浙江九龙山国家级保护区内的长序榆种群不仅规模小,且随群落的不断发展,该长序榆种群规模可因群落环境的变化以及自身生殖特性的限制而逐渐缩小。为遏制长序榆种群衰退,保护其野生资源,需改善长序榆的天然更新环境,适度清除有负面影响的树种,促进长序榆个体的生长发育,维持其种群的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 姚 兰,艾训儒,易咏梅,等.鄂西南亚热带常绿阔叶混交林优势种群的结构与动态特征[J].林业科学,2017,53(2):10-18.
- [2] 徐厚厚,刘 敏,翟大彤,等.植物种间联结研究内容与方法评述[J].生态学报,2016,36(24):8224-8233.
- [3] 金俊彦,覃文更,谭卫宁,等.濒危植物单性木兰群落主要种群种间联结性研究[J].西部林业科学,2013,42(3):86-94.
- [4] 许宝坤,许晓岗,李 垚,等.黄山常绿阔叶林甜槠群落优势种群间关联分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(4):77-84.
- [5] 王加国,李晓芳,安明志,等.雷公山濒危植物台湾杉群落主要乔木树种种间联结性研究[J].西北林学院学报,2015,30(4):78-83.
- [6] 李文巧,徐根娣,吴玉环,等.水分胁迫对长序榆幼苗脂质过氧化及抗氧化系统的影响[J].水土保持学报,2012,26(4):261-266.
- [7] 高建国,章 艺,吴玉环,等.基于生物生态因子分析的长序榆保护策略[J].生态学报,2012,32(17):5287-5298.
- [8] 蒋延生.长序榆天然更新调查研究[J].福建林业科技,2003,30(4):55-58.
- [9] 何小敏.福建极小种群长序榆群落保护研究[J].安徽农学通报,2017,23(15):86-88.
- [10] 刘 鹏,康华靖,廖承川,等.浙江九龙山自然保护区长序榆群落结构特征研究[J].浙江师范大学学报(自然科学版),2007,30(4):435-439.
- [11] 杜有新,刘 伟,王军峰,等.采伐林窗对白云山3种人工林林下植物多样性的早期影响[J].应用生态学报,2018,29(7):2121-2128.
- [12] 马克平,黄建辉,于顺利,等.北京东灵山地区植物群落多样性的研究:Ⅱ丰富度、均匀度和物种多样性指数[J].生态学报,1995,15(3):268-277.
- [13] 汪 超,王孝安,王 玲.不同种植年代油松林植物多样性及土壤养分变化[J].生态学杂志,2007,26(8):1182-1186.
- [14] 周赛霞,彭焱松,高浦新,等.狭果秤锤树群落结构与更新特征[J].植物资源与环境学报,2019,28(1):96-104.
- [15] 彭焱松,周赛霞,詹选怀,等.江西油岭山地花榈木群落特征及空间分布格局[J].中南林业科技大学学报,2018,38(11):81-88.
- [16] 蔡 鑫,陈 波,陈 锋,等.珍稀特有植物华顶杜鹃的种群结构和种间联结[J].浙江大学学报(理学版),2019,46(3):354-363.
- [17] 北京林学院.数理统计[M].北京:中国林业出版社,1980:408.
- [18] 曹培健,丁炳扬,李伟成,等.凤阳山福建柏群落主要种群种间联结性研究[J].浙江大学学报(理学版),2006,33(6):676-681,687.
- [19] JIA H-R, CHEN Y, YUAN Z-L, et al. Effects of environmental and spatial heterogeneity on tree community assembly in Baotianman National Nature Reserve, Henan, China[J]. Polish Journal of Ecology, 2015, 63(2): 175-183.
- [20] 周瑞伍,彭明春,王崇云,等.云南巧家药山珙桐群落主要树种种间联结研究[J].西部林业科学,2015,44(1):51-57.
- [21] 王月霞,金 毅,吴初平,等.浙江省主要亚热带森林群落类型物种和谱系水平的 $\alpha$ 和 $\beta$ 多样性比较[J].生物多样性,2016,24(8):863-874.
- [22] 仲 磊,刘菊莲,丁文勇,等.浙江省不同演替阶段的低海拔次生林植物功能群结构的比较研究[J].浙江大学学报(理学版),2014,41(5):593-599,610.
- [23] 赵彩莉,张 峰,庞春花,等.反枝苋群落优势种的种间关联性分析[J].植物研究,2013,33(4):454-460.
- [24] 张志勇,陶德定,李德铤.五针白皮松在群落演替过程中的种间联结性分析[J].生物多样性,2003,11(2):125-131.
- [25] 胡理乐,江明喜,党海山,等.从种间联结分析濒危植物毛柄小勾儿茶在群落中的地位[J].植物生态学报,2005,29(2):258-265.
- [26] 吴初平,袁位高,盛卫星,等.浙江省典型天然次生林主要树种空间分布格局及其关联性[J].生态学报,2018,38(2):537-549.
- [27] 高建国,徐根娣,李文巧,等.濒危植物长序榆(*Ulmus elongata*)幼苗光合特性的初步研究[J].生态环境学报,2011,20(1):66-71.
- [28] 袁建国,朱向涛,俞 琳.珍稀濒危植物长序榆遗传多样性的ISSR分析[J].西南农业学报,2015,28(3):1251-1256.
- [29] YAO X, ZHANG J, YE Q, et al. Fine-scale spatial genetic structure and gene flow in a small, fragmented population of *Sinojackia rehderiana* (Styracaceae), and endangered tree species endemic to China[J]. Plant Biology, 2011, 13(2): 401-410.

(责任编辑:郭严冬)