

浙江庆元巾子峰国家森林公园植被群落的数量分类与排序

李伟成¹, 郑彦超², 盛海燕³, 楼毅², 于辉⁴

(1. 国家林业和草原局 竹子研究开发中心 浙江省竹子高效加工重点实验室, 浙江 杭州 310012; 2. 国家林业和草原局 华东调查规划设计院, 浙江 杭州 310019; 3. 杭州市生态环境科学研究院, 浙江 杭州 310014; 4. 大兴安岭林业集团公司, 黑龙江 大兴安岭 165000)

摘要: 【目的】了解浙江省庆元县巾子峰国家森林公园中植被群落与环境因子之间的关系。【方法】采用样方调查法调查庆元巾子峰国家森林公园中 48 个样方的植被群落, 并进行数量分类和排序, 分析群落类型、分布特征及其与环境因子的相关关系。【结果】①共调查记录植物 66 科 129 属 193 种。植物物种数较多的科分别为壳斗科 Fagaceae(19 种)、樟科 Lauraceae(18 种)、山茶科 Theaceae(9 种)、杜鹃花科 Ericaceae(9 种)、蔷薇科 Rosaceae(9 种)、冬青科 Aquifoliaceae(6 种)、禾本科 Gramineae(6 种)、茜草科 Rubiaceae(6 种)、金粟兰科 Chloranthaceae(5 种)和百合科 Liliaceae(5 种)。乔木层优势物种主要为杉木 *Cunninghamia lanceolata*、木荷 *Schima superba*、黄山松 *Pinus taiwanensis*、青冈 *Cyclobalanopsis glauca*、甜槠 *Castanopsis eyrei*、红楠 *Machilus thunbergii*、少叶黄杞 *Engelhardia fenzelii* 和拟赤杨 *Alniphyllum fortunei*。灌木层优势种为杜茎山 *Maesa japonica*、草珊瑚 *Sarcandra glabra*、隔药柃 *Eurya muricata* 和映山红 *Rhododendron simsii*。草本层优势种为蕨 *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*、芒萁 *Dicranopteris dichotoma*、黑足鳞毛蕨 *Dryopteris fuscipes*、中华薹草 *Carex chinensis*、白茅 *Imperata cylindrica*、江南卷柏 *Selaginella moellendorffii* 和荩草 *Arthraxon hispidus*。②双向指示种分析将植被群落分成 10 个群丛类型。③10 个群丛在去趋势对应分析排序图中呈现有规律的分布, 反映了较好的环境梯度。④典范对应分析排序结果表明: 影响各群丛分布的最重要环境因子是海拔, 其次为土壤类型、土壤温度和坡度; 各优势树种的分布特征与各群丛的分布特征具有较好的相似性。【结论】海拔是影响庆元巾子峰国家森林公园植被群落分布的最重要环境因子, 海拔对山地植被群落分布具有决定性作用。图 4 表 4 参 22

关键词: 森林生态学; 巾子峰国家森林公园; 植被群落; 数量分类; 排序; 环境因子

中图分类号: S757

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2021)03-0523-11

Numerical classification and ordination of vegetation communities in Jinzifeng National Forest Park, Qingyuan, Zhejiang

LI Weicheng¹, ZHENG Yanchao², SHENG Haiyan³, LOU Yi², YU Hui⁴

(1. Key Laboratory of High Efficient Processing of Bamboo of Zhejiang Province, China National Bamboo Research Center, State Forestry and Grassland Administration, Hangzhou 310012, Zhejiang, China; 2. East China Inventory and Planning Institute, State Forestry and Grassland Administration, Hangzhou 310019, Zhejiang, China; 3. Hangzhou Institute of Ecological and Environmental Sciences, Hangzhou 310014, Zhejiang, China; 4. Daxinganling Forestry Group Company, Daxinganling 165000, Heilongjiang, China)

Abstract: [Objective] The objective is to analyze the relationship between vegetation community and environmental factors in Jingzifeng National Forest Park of Qingyuan County, Zhejiang Province. [Method] Data of 48 quadrats in park were classified and sorted, and the relationship between forest community types,

收稿日期: 2020-06-19; 修回日期: 2021-01-04

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (CAFYBB2018MB009)

作者简介: 李伟成 (ORCID: 0000-0002-7123-7721), 副研究员, 从事森林生态学研究。E-mail: leewisbcrc@caf.ac.cn。通信作者: 于辉 (ORCID: 0000-0002-2655-4920), 教授级高级工程师, 从事森林经理研究。E-mail: yuhui_caf@163.com

distribution characteristics and environmental factors was analyzed based on these data. [Result] (1) A total of 193 species belonging to 129 genera and 66 families were recorded in 48 plots. The families with abundant plant species were Fagaceae (19 species), Lauraceae (18 species), Theaceae (9 species), Ericaceae (9 species), Rosaceae (9 species), Aquifoliaceae (6 species), Gramineae (6 species), Rubiaceae (6 species), Chloranthaceae (5 species) and Liliaceae (5 species). The dominant species in tree layer included *Cunninghamia lanceolata*, *Schima superba*, *Pinus taiwanensis*, *Cyclobalanopsis glauca*, *Castanopsis eyrei*, *Machilus thunbergii*, *Engelhardia fenzelii* and *Alniphyllum fortunei*. The dominant species in shrub layer were *Maesa japonica*, *Sarcandra glabra*, *Eurya muricata*, and *Rhododendron simsii*. The dominant species in herbaceous layer were *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*, *Dicranopteris dichotoma*, *Dryopteris fuscipes*, *Carex chinensis*, *Imperata cylindrica*, *Selaginella moellendorffii* and *Arthraxon hispidus*. (2) TWINSpan divided the vegetation community into 10 cluster types. (3) The distribution of the 10 clusters in DCA ordination diagram was regular, which reflected a good environmental gradient. (4) CCA ordination results showed that the most important environmental factor affecting the distribution of each cluster was altitude, followed by soil type, soil temperature and slope. The distribution characteristics of the dominant tree species were similar to those of each cluster. [Conclusion] Altitude is the most important environmental factor affecting the distribution of vegetation community in Jinzifeng National Park, and the altitude plays a decisive role in the distribution of mountain vegetation community. [Ch, 4 fig. 4 tab. 22 ref.]

Key words: forest ecology; Jinzifeng National Forest Park; vegetation community; numerical classification; ordination; environmental factors

植被数量分类和排序是植被生态学研究热点问题之一,被广泛应用于森林、草原、湿地等各种生态类型的群落研究中^[1-5]。数量分类是植被分类的分支学科,是基于样方及物种间相似关系之上的一种分类方法,通过计算样方或物种间的相似系数,把样方或物种归并为组,使得组内成员尽量相似,而不同组的成员尽量相异。双向指示种分析(twinspan)是常用的数量分类方法之一,它能同时完成样方和物种的分类,并反映一定的生态特征。排序是将样方或物种排列在一定的空间,使得排序轴能够反映一定的生态梯度,从而能够解释植被或物种的分布与环境因子间的关系。只使用物种组成数据的排序称为间接排序,同时使用物种数据和环境因子数据的排序称为直接排序。去趋势对应分析(DCA)和典范对应分析(CCA)是应用最为广泛的间接排序和直接排序方法^[6]。应用植被数量分类和排序不仅可以把植物群落的分布格局与环境因子进行比较,还可以更好地解释植被或物种的分布与环境因子之间的关系,具有重要的生态学意义^[4,7-8]。浙江省庆元县巾子峰地处亚热带常绿阔叶林植被带,区内生物多样性丰富,特有珍稀物种多。浙江省正按照“一园两区”思路建设钱江源—百山祖国家公园,其中,庆元巾子峰国家森林公园作为中亚热带常绿阔叶林生态系统的典型代表,将与浙江凤阳山—百山祖国家级自然保护区、浙江庆元大鲵国家级水产种质资源保护区等自然保护地整合为百山祖国家公园。范良敏等^[9-10]对该公园的木本植物区系及生态旅游开发进行了研究,但关于其森林群落的数量分类、排序、环境生态因子之间的关系还未见报道。本研究以巾子峰国家森林公园森林群落为研究对象,运用双向指示种分析分类和去趋势对应分析、典范对应分析排序方法,分析其植被群落类型及特征,揭示森林群落及优势种与环境因子之间的关系,以为巾子峰国家森林公园的科学管理、有效保护和可持续利用提供基本资料 and 科学依据。

1 研究地点与方法

1.1 研究区概况

巾子峰国家森林公园位于浙江省庆元县西部,面积 5 752 hm², 27°27′~27°39′N, 118°50′~119°06′E, 最高峰巾子峰海拔 1 563 m。该区气候属中亚热带季风气候区,温暖潮湿,雨水充沛,四季分明。年平均气温为 17.2 ℃,最高月平均气温 26.9 ℃,最低月平均气温 7.0 ℃,年平均降水量 1 689.0 mm,

平均相对湿度 76%；年平均日照时数 1 828.2 h，日照率 41%；年平均无霜期 256.0 d。土壤类型为红壤和黄壤 2 个土类，均为地带性土壤。红壤广泛分布于海拔 800 m 以下的低山丘陵，黄壤分布于 800 m 以上的中低山。主要植被类型有常绿阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、针阔叶混交林、针叶林、毛竹 *Phyllostachys edulis* 林等，地带性典型植被为常绿阔叶林。

1.2 样方设置与记录

2019 年 4-5 月，在巾子峰国家森林公园海拔 500~1 500 m 内，隔 100 m 设置 1 个取样区间，每个取样区间布设 2~8 个 20 m×20 m 样方，共布设 10 个取样区间 48 个样方。记录样方内胸径 (DBH)≥2 cm 的木本植物个体种名、高度、胸径、盖度，每种灌木及草本的种名、高度、盖度、株数或丛数，同时记录每个样方的海拔、坡向、坡度、土壤类型、土壤湿度、土壤温度。其中，海拔高度用全球定位系统测量，坡向和坡度用罗盘仪测定，土壤温度和土壤湿度用 Veinasa-TS 土壤温湿速测仪测量。48 个样方的各个生境因子如表 1 所示。

表 1 浙江庆元巾子峰国家森林公园样方环境因子

Table 1 Environmental factors of plots in Jinzifeng Forest Park, Qingyuan, Zhejiang

| 样方号 | 群落郁闭度 | 海拔/m | 坡位 | 坡度/(°) | 坡向 | 北纬(N) | 东经(E) | 土壤类型 |
|-----|-------|-------|-----|--------|----|---------------|----------------|------|
| 1 | 0.85 | 554 | 下坡位 | 20 | 西南 | 27°41'04.026" | 119°00'42.080" | 红壤 |
| 2 | 0.90 | 550 | 下坡位 | 30 | 东北 | 27°41'07.635" | 119°00'41.897" | 红壤 |
| 3 | 0.85 | 540 | 中坡位 | 30 | 东 | 27°41'16.329" | 119°00'40.030" | 红壤 |
| 4 | 0.80 | 572 | 中坡位 | 30 | 东 | 27°41'00.230" | 119°00'36.095" | 红壤 |
| 5 | 0.85 | 657 | 中坡位 | 30 | 东 | 27°40'40.769" | 119°00'26.647" | 红壤 |
| 6 | 0.90 | 565 | 下坡位 | 35 | 东南 | 27°41'12.993" | 119°00'40.357" | 红壤 |
| 7 | 0.70 | 694 | 中坡位 | 30 | 西北 | 27°41'40.270" | 119°01'06.858" | 红壤 |
| 8 | 0.80 | 727 | 中坡位 | 30 | 东北 | 27°40'37.443" | 119°00'23.501" | 红壤 |
| 9 | 0.90 | 1 052 | 山脊 | 35 | 东 | 27°39'59.132" | 118°59'59.641" | 黄壤 |
| 10 | 0.50 | 628 | 中坡位 | 25 | 东南 | 27°39'51.851" | 119°00'37.342" | 黄壤 |
| 11 | 0.90 | 571 | 下坡位 | 25 | 东 | 27°41'00.880" | 119°00'41.821" | 红壤 |
| 12 | 0.90 | 538 | 下坡位 | 25 | 北 | 27°41'18.531" | 119°00'39.928" | 红壤 |
| 13 | 0.85 | 791 | 中坡位 | 30 | 西 | 27°41'27.328" | 119°01'02.480" | 红壤 |
| 14 | 0.80 | 780 | 上坡位 | 10 | 西 | 27°41'13.857" | 119°00'57.785" | 红壤 |
| 15 | 0.85 | 767 | 中坡位 | 25 | 东 | 27°41'33.945" | 119°01'09.110" | 红壤 |
| 16 | 0.60 | 750 | 下坡位 | 45 | 东北 | 27°41'37.304" | 119°01'09.533" | 红壤 |
| 17 | 0.70 | 832 | 中坡位 | 25 | 南 | 27°41'11.570" | 119°01'07.716" | 红壤 |
| 18 | 0.80 | 797 | 下坡位 | 25 | 西南 | 27°41'14.264" | 119°00'58.968" | 红壤 |
| 19 | 0.80 | 734 | 下坡位 | 30 | 北 | 27°40'32.842" | 119°00'29.121" | 红壤 |
| 20 | 0.80 | 821 | 谷底 | 30 | 东南 | 27°40'23.970" | 119°00'33.259" | 红壤 |
| 21 | 0.80 | 1 108 | 上坡位 | 35 | 东 | 27°39'59.474" | 118°59'54.098" | 黄壤 |
| 22 | 0.60 | 1 382 | 上坡位 | 35 | 西北 | 27°39'44.438" | 118°59'42.841" | 黄壤 |
| 23 | 0.80 | 776 | 下坡位 | 25 | 东北 | 27°40'33.656" | 119°00'48.684" | 红壤 |
| 24 | 0.95 | 731 | 中坡位 | 25 | 西南 | 27°42'06.523" | 119°00'48.359" | 红壤 |
| 25 | 0.80 | 518 | 中坡位 | 25 | 西 | 27°39'37.175" | 119°00'54.164" | 黄壤 |
| 26 | 0.70 | 613 | 中坡位 | 5 | 南 | 27°39'44.363" | 119°00'35.918" | 黄壤 |
| 27 | 0.80 | 562 | 中坡位 | 30 | 西 | 27°41'13.205" | 119°00'41.127" | 红壤 |
| 28 | 0.85 | 736 | 山脊 | 10 | 北 | 27°40'43.434" | 119°00'39.118" | 红壤 |
| 29 | 0.85 | 681 | 下坡位 | 25 | 东北 | 27°40'43.766" | 119°00'48.120" | 红壤 |
| 30 | 0.85 | 820 | 下坡位 | 30 | 西 | 27°40'25.046" | 119°00'33.625" | 红壤 |
| 31 | 0.85 | 1 250 | 山顶 | 30 | 西南 | 27°39'53.117" | 118°59'49.230" | 黄壤 |
| 32 | 0.60 | 1 317 | 上坡位 | 35 | 西北 | 27°39'46.784" | 118°59'44.727" | 黄壤 |
| 33 | 0.80 | 680 | 下坡位 | 30 | 东北 | 27°40'36.989" | 119°00'52.495" | 红壤 |

表 1 (续)

Table 1 Continued

| 样方号 | 群落郁闭度 | 海拔/m | 坡位 | 坡度/(°) | 坡向 | 北纬(N) | 东经(E) | 土壤类型 |
|-----|-------|-------|-----|--------|----|---------------|----------------|------|
| 34 | 0.80 | 590 | 下坡位 | 25 | 东 | 27°40'55.924" | 119°00'46.219" | 红壤 |
| 35 | 0.80 | 747 | 下坡位 | 30 | 东南 | 27°40'31.064" | 119°00'51.985" | 红壤 |
| 36 | 0.70 | 720 | 下坡位 | 30 | 东 | 27°40'35.337" | 119°00'55.786" | 红壤 |
| 37 | 0.75 | 925 | 山脊 | 10 | 东 | 27°40'18.521" | 119°00'25.013" | 红壤 |
| 38 | 0.60 | 784 | 中坡位 | 25 | 西北 | 27°40'44.187" | 119°00'56.161" | 红壤 |
| 39 | 0.95 | 767 | 中坡位 | 25 | 西 | 27°41'39.635" | 119°01'10.765" | 红壤 |
| 40 | 0.70 | 1 148 | 山脊 | 25 | 东北 | 27°40'13.334" | 118°59'41.175" | 黄壤 |
| 41 | 0.85 | 1 178 | 上坡位 | 30 | 东 | 27°40'07.905" | 118°59'34.997" | 黄壤 |
| 42 | 0.85 | 1 197 | 上坡位 | 25 | 东 | 27°40'08.949" | 118°59'29.214" | 黄壤 |
| 43 | 0.95 | 1 203 | 上坡位 | 30 | 西 | 27°40'11.715" | 118°59'22.209" | 黄壤 |
| 44 | 0.95 | 1 194 | 上坡位 | 10 | 南 | 27°40'08.334" | 118°59'37.403" | 黄壤 |
| 45 | 0.85 | 1 198 | 上坡位 | 30 | 北 | 27°39'56.373" | 118°59'33.218" | 黄壤 |
| 46 | 0.85 | 1 231 | 山脊 | 25 | 南 | 27°39'54.912" | 118°59'46.670" | 黄壤 |
| 47 | 0.60 | 1 271 | 中坡位 | 25 | 东北 | 27°39'49.007" | 118°59'47.710" | 黄壤 |
| 48 | 0.60 | 1 413 | 上坡位 | 10 | 北 | 27°39'41.018" | 118°59'42.226" | 黄壤 |

1.3 数据处理

1.3.1 重要值 用重要值表示每个物种在森林群落中的优势程度,按照乔木树种、灌木及草本植物不同的生长特征,选择不同的重要值计算方法。计算公式如下:乔木树种重要值=(相对密度+相对优势度+相对频度)/3。灌木及草本植物重要值=(相对盖度+相对高度)/2。

1.3.2 环境因子 海拔高度、坡度、土壤湿度、土壤温度直接测量数值。用数字表示不同的土壤类型,其中:0代表红壤,1代表黄壤。为了分析森林群落的向阳程度,将坡向因子进行转换,以数字表示不同的坡向等级,其中:1表示北坡(0°~22.5°和337.5°~360°),2表示东北坡(22.5°~67.5°),3表示西北坡(292.5°~337.5°),4表示东坡(67.5°~112.5°),5表示西坡(247.5°~292.5°),6表示东南坡(112.5°~157.5°),7表示西南坡(202.5°~247.5°),8表示南坡(157.5°~202.5°)。数值越大说明越向阳。

1.3.3 数量分类 使用 Wintwins 2.3 软件,采用双向指示种分析分类方法,对由 48 个样方及样方内 194 个种的重要值组成的 48×194 维矩阵进行分析,得出数量分类结果。

1.3.4 排序 使用 CANOCO 4.5 软件^[11],采用去趋势对应分析排序方法,对由 48 个样方及样方内 194 个种的重要值组成的 48×194 维矩阵进行分析,得出排序结果。采用典范对应分析对由 48 个样方及样方内 194 个种的重要值组成的 48×194 维矩阵和 48 个样方及 6 个环境因子组成的 48×6 维矩阵进行分析,得出排序结果。

2 结果

2.1 植被群落物种组成

野外调查共记录种子植物 193 种,隶属 66 科 129 属。科物种组成占总物种数比例分别为壳斗科 Fagaceae 28.79% (19 种)、樟科 Lauraceae 27.27% (18 种)、山茶科 Theaceae 13.64% (9 种)、杜鹃花科 Ericaceae 13.64% (9 种)、蔷薇科 Rosaceae 13.64% (9 种)、冬青科 Aquifoliaceae 9.09% (6 种)、禾本科 Gramineae 9.09% (6 种)、茜草科 Rubiaceae 9.09% (6 种)、金粟兰科 Chloranthaceae 7.58% (5 种)、百合科 Liliaceae 7.58% (5 种)。根据表 2 中群落不同层次物种重要值的排序可知(排名前 20),乔木层优势物种主要为杉木、木荷、黄山松、青冈、甜槠、红楠、少叶黄杞和拟赤杨。灌木层优势种为杜茎山、草珊瑚、隔药柃和映山红。草本层优势种为蕨、芒萁、黑足鳞毛蕨、中华薹草、白茅、江南卷柏和萹草。

表 2 浙江庆元巾子峰国家森林公园植被群落优势种数量特征

Table 2 Quantitative characteristics of dominant species of the plant communities in Jinzifeng Forest Park of Qingyuan, Zhejiang

| 种名 | 科名 | 生活型 | 重要值/% |
|--|----------------------|----------|----------|
| 蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i> | 蕨科Pteridiaceae | 草本 | 1 130.85 |
| 芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i> | 里白科Gleicheniaceae | 草本 | 1 061.41 |
| 杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> | 杉科Taxodiaceae | 乔木 | 925.88 |
| 木荷 <i>Schima superba</i> | 山茶科Theaceae | 乔木 | 621.38 |
| 黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i> | 松科Pinaceae | 乔木 | 515.13 |
| 杜茎山 <i>Maesa japonica</i> | 紫金牛科Myrsinaceae | 灌木 | 435.24 |
| 黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i> | 鳞毛蕨科Dryopteridaceae | 草本 | 431.89 |
| 中华薹草 <i>Carex chinensis</i> | 莎草科Cyperaceae | 草本 | 407.44 |
| 毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i> | 禾本科Gramineae | 乔木状禾本科植物 | 343.66 |
| 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> | 壳斗科Fagaceae | 乔木 | 334.72 |
| 甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> | 壳斗科 | 乔木 | 314.95 |
| 白茅 <i>Imperata cylindrica</i> | 禾本科 | 草本 | 269.49 |
| 红楠 <i>Machilus thunbergii</i> | 樟科Lauraceae | 乔木 | 247.42 |
| 草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i> | 金粟兰科Chloranthaceae | 灌木 | 240.64 |
| 少叶黄杞 <i>Engelhardtia fenzlii</i> | 胡桃科Juglandaceae | 乔木 | 230.03 |
| 隔药柃 <i>Eurya muricata</i> | 山茶科 | 灌木 | 221.27 |
| 江南卷柏 <i>Selaginella moellendorffii</i> | 卷柏科Selaginellaceae | 草本 | 213.64 |
| 拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i> | 安息香科Styracaceae | 乔木 | 200.82 |
| 映山红 <i>Rhododendron simsii</i> | 杜鹃花科Ericaceae | 灌木 | 195.90 |
| 菝葜 <i>Arthraxon hispidus</i> | 禾本科 | 草本 | 183.05 |
| 树参 <i>Dendropanax dentiger</i> | 五加科Araliaceae | 灌木 | 167.01 |
| 石栎 <i>Lithocarpus glaber</i> | 壳斗科 | 乔木 | 158.91 |
| 马尾松 <i>Pinus massoniana</i> | 松科 | 乔木 | 158.34 |
| 山莓 <i>Rubus corchorifolius</i> | 蔷薇科Rosaceae | 灌木 | 142.24 |
| 矩形叶鼠刺 <i>Itea chinensis</i> var. <i>oblonga</i> | 虎耳草科Saxifragaceae | 灌木 | 141.90 |
| 虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhami</i> | 虎皮楠科Daphniphyllaceae | 乔木 | 140.93 |
| 薯豆 <i>Elacocarpus japonicus</i> | 杜英科Elaeocarpaceae | 乔木 | 138.80 |
| 朱砂根 <i>Ardisia crenata</i> | 紫金牛科 | 灌木 | 135.49 |
| 马银花 <i>Rhododendron ovatum</i> | 杜鹃花科 | 灌木 | 134.90 |
| 毛花连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i> | 山茶科 | 灌木 | 134.69 |
| 少花万寿竹 <i>Disporum uniflorum</i> | 秋水仙科Colchicaceae | 草本 | 132.29 |
| 冬青 <i>Ilex chinensis</i> | 冬青科Aquifoliaceae | 乔木 | 125.19 |
| 宜昌莢蒾 <i>Viburnum erosum</i> | 忍冬科Caprifoliaceae | 灌木 | 123.84 |
| 乌药 <i>Lindera aggregata</i> | 樟科 | 灌木 | 116.19 |
| 多花黄精 <i>Polygonatum cyrtoneura</i> | 百合科Liliaceae | 草本 | 109.51 |
| 中华野海棠 <i>Bredia sinensis</i> | 野牡丹科Melastomataceae | 灌木 | 108.62 |
| 里白 <i>Hicriopteris glauca</i> | 里白科Gleicheniaceae | 草本 | 107.89 |
| 藜芦 <i>Veratrum nigrum</i> | 百合科 | 草本 | 106.03 |
| 刨花楠 <i>Machilus pauhoi</i> | 樟科 | 乔木 | 103.29 |
| 细枝柃 <i>Eurya loquaiana</i> | 山茶科 | 灌木 | 99.45 |
| 栲 <i>Castanopsis fargesii</i> | 壳斗科 | 乔木 | 98.24 |
| 细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i> | 壳斗科 | 乔木 | 94.52 |
| 苦茶槭 <i>Acer ginnala</i> subsp. <i>theiferum</i> | 槭树科Aceraceae | 灌木 | 93.11 |
| 锥栗 <i>Castanea henryi</i> | 壳斗科 | 乔木 | 86.52 |
| 黄绒润楠 <i>Machilus grijsii</i> | 山矾科Symplocaceae | 乔木 | 84.86 |

表 2 (续)

| Table 2 Continued | | 生活型 | 重要值/% |
|--|--------------------|-----|-------|
| 种名 | 科名 | | |
| 米槠 <i>Castanopsis carlesii</i> | 樟科 | 乔木 | 77.54 |
| 老鼠矢 <i>Symplocos stellaris</i> | 壳斗科 | 乔木 | 74.62 |
| 刺毛杜鹃 <i>Rhododendron championiae</i> | 杜鹃花科 | 灌木 | 74.18 |
| 蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i> | 蓝果树科Nyssaceae | 乔木 | 68.94 |
| 江南越橘 <i>Vaccinium mandarinorum</i> | 杜鹃花科 | 灌木 | 68.88 |
| 赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i> | 桃金娘科Ericaceae | 灌木 | 63.31 |
| 五针松 <i>Pinus parviflora</i> | 松科 | 乔木 | 62.94 |
| 槲木 <i>Loropetalum chinensis</i> | 金缕梅科Hamamelidaceae | 灌木 | 61.97 |
| 光皮桦 <i>Betula luminifera</i> | 桦木科Betulaceae | 乔木 | 59.91 |
| 地苣 <i>Melastoma dodecandrum</i> | 野牡丹科 | 草本 | 58.65 |
| 贯众 <i>Dryopteris setosa</i> | 鳞毛蕨科 | 草本 | 57.01 |
| 日本蛇根草 <i>Ophiorrhiza japonica</i> | 茜草科Rubiaceae | 草本 | 56.71 |
| 豹皮樟 <i>Litsea coreana</i> var. <i>sinensis</i> | 樟科 | 灌木 | 56.41 |
| 宽叶金粟兰 <i>Chloranthus henryi</i> | 金粟兰科 | 草本 | 53.94 |
| 大叶青冈 <i>Cyclobalanopsis jenseniana</i> | 壳斗科 | 乔木 | 53.88 |

说明：物种重要值为48个样方的累加，包括乔木层、灌木层和草本层重要值排序为前60的物种^[5]

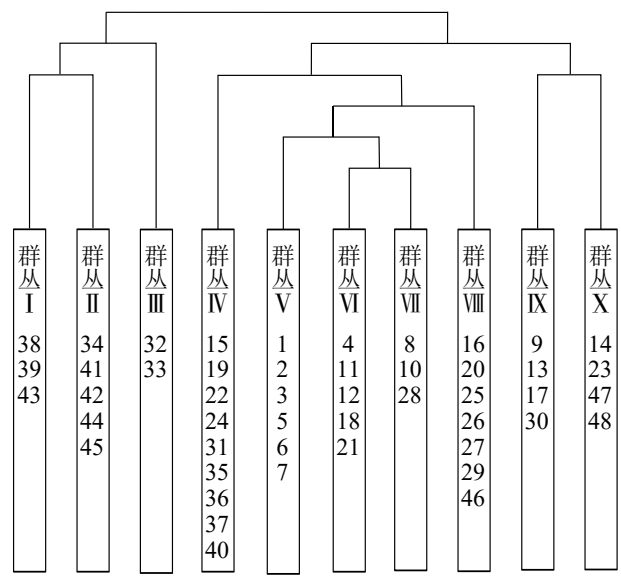
2.2 双向指示种分析分类结果

根据中国植被群落的分类原则^[12]和双向指示种分析分类结果，将48个样方分成10个群丛(图1)，采用生境指示种及群丛优势种的方式对群丛进行命名。各群丛环境因子描述见表3。

群丛 I：黄山松-映山红-东方古柯-少花万寿竹群丛 Association *Pinus taiwanensis-Rhododendron simsii-Erythroxylum sinense-Disporum uniflorum*，包括38、39、43号样方。乔木层优势种为黄山松，主要伴生种为木荷。灌木层优势种为映山红、东方古柯，主要伴生种为宜昌荚蒾、鹿角杜鹃 *Rhododendron latoucheae*。草本层优势种为少花万寿竹、藜芦。

群丛 II：黄山松-木荷-映山红-多花黄精群丛 Association *Pinus taiwanensis-Schima superba-Rhododendron simsii-Polygonatum cyrtoneura*，包括34、41、42、44、45号样方。乔木层优势种为黄山松、木荷、青冈、甜槠，主要伴生种为浙闽樱 *Prunus schneideriana*、云和新木姜子 *Neolitsea aurata* var. *paraculata*、苦茶槭、湖北鹅耳枥 *Carpinus hupeana*、多脉鹅耳枥 *Carpinus polyneura*。灌木层优势种为映山红、鹿角杜鹃，主要伴生种为映山红、江南越橘、中华野海棠。草本层优势种为多花黄精、少花万寿竹。

群丛 III：甜槠-木荷-黄丹木姜子-少花万寿竹群丛 Association *Castanopsis eyrei-Schima superba-Litsea elongata-Disporum uniflorum*，包括32、33号样方。乔木层优势种为甜槠、木荷、青冈，主要伴生种为马银花、多脉鹅耳枥、江南油杉 *Keteleeria fortunei* var. *cyclelepis*、浙江樟 *Cinnamomum chekiangense*、红楠、四照花 *Cornus kousa* subsp. *chinensis*。灌木层优势种为黄丹木姜子 *Litsea elongata*，主要伴生种为毛花连蕊茶、隔药铃、江南越橘。草本层优势种为少花万寿竹、藜芦、蕨。



图中数字为样方号

图 1 浙江庆元巾子峰国家森林公园植被群落的双向指示种分析分类结果树状图

Figure 1 Dendrogram of TWINSpan classified result in Jinzifeng Forest Park of Qingyuan, Zhejiang

表 3 浙江庆元巾子峰国家森林公园植被群落各群丛环境因子描述

Table 3 Description of environmental factors for each association in Jinzifeng Forest Park of Qingyuan, Zhejiang

| 群丛 | 群丛名称 | 海拔/m | 坡向 | 坡度/(°) | 土壤类型 | 土壤温度/°C | 土壤湿度/% |
|------|----------------------|-------------|-------|--------|-------|---------|--------|
| I | 黄山松-映山红-东方古柯-少花万寿竹群丛 | 1 200~1 500 | 北 | 10~30 | 黄壤 | 15~20 | 16~19 |
| II | 黄山松-木荷-映山红-多花黄精群丛 | 1 200~1 400 | 西北、东北 | 25~35 | 黄壤 | 15~22 | 10~32 |
| III | 甜槠-木荷-黄丹木姜子-少花万寿竹群丛 | 1 000~1 200 | 东 | 30~35 | 黄壤 | 24~25 | 12~16 |
| IV | 杉木-毛花连蕊茶-江南卷柏群丛 | 600~1 300 | 东、西 | 10~30 | 红壤、黄壤 | 17~25 | 25~52 |
| V | 杉木-木荷-杜茎山-芒萁群丛 | 500~800 | 东北、东南 | 20~30 | 红壤 | 17~22 | 18~61 |
| VI | 青冈-木荷-细枝柃-黑足鳞毛蕨群丛 | 500~800 | 东、东南 | 10~30 | 红壤 | 18~26 | 18~28 |
| VII | 拟赤杨-虎皮楠-山矾-日本蛇根草群丛 | 500~800 | 东 | 25~30 | 红壤 | 19~23 | 19~40 |
| VIII | 刨花楠-隔药柃-蕨群丛 | 500~900 | 东南、南 | 25~45 | 红壤 | 20~23 | 15~52 |
| IX | 马尾松-木荷-草珊瑚-中华薹草群丛 | 500~900 | 西 | 10~30 | 红壤 | 20~24 | 16~39 |
| X | 毛竹-山鸡椒-地蕊群丛 | 500~800 | 西南、西 | 5~25 | 红壤 | 21~25 | 23~42 |

群丛IV：杉木-毛花连蕊茶-江南卷柏群丛 Association *Cunninghamia lanceolata-Camellia fraterna-Selaginella moellendorffii*，包括 15、19、22、24、31、35、36、37、40 号样方。乔木层优势种为杉木，主要伴生种为木荷、拟赤杨、虎皮楠、刨花楠、光皮桦、青冈、薯豆、少叶黄杞。灌木层优势种为毛花连蕊茶，主要伴生种为细枝柃、杜茎山、隔药柃、矩形叶鼠刺、毛冬青 *Ilex pubescens*、黄绒润楠、乌药、赤楠、山鸡椒 *Litsea cubeba*、刺毛杜鹃、豹皮樟、山莓、映山红。草本层优势种为江南卷柏、蕨、赤车 *Pellionia radicans*，主要伴生种为贯众、黑足鳞毛蕨、芒萁、日本蛇根草。

群丛V：杉木-木荷-杜茎山-芒萁群丛 Association *Cunninghamia lanceolata-Schima superba-Maesa japonica-Dicranopteris pedata*，包括 1、2、3、5、6、7 号样方。乔木层优势种为杉木、木荷、薯豆、拟赤杨，主要伴生种为少叶黄杞、细叶青冈、树参、青冈、刨花楠、米槠、红楠。灌木层优势种为杜茎山、刺毛杜鹃，主要伴生种为江南越橘、草珊瑚、矩形叶鼠刺、榿木、黄绒润楠。草本层优势种为芒萁、黑足鳞毛蕨，主要伴生种为蕨、赤车、江南卷柏、中华薹草。

群丛VI：青冈-木荷-细枝柃-黑足鳞毛蕨群丛 Association *Cyclobalanopsis glauca-Schima superba-Eurya loquaiana-Dryopteris fuscipes*，包括 4、11、12、18、21 号样方。乔木层优势种为青冈、木荷、锥栗，主要伴生种为冬青、虎皮楠、少叶黄杞、米槠、马银花。灌木层优势种为细枝柃，主要伴生种为杜茎山、石楠 *Photinia serrulata*、草珊瑚、乌药、狗骨柴 *Diplospora dubia*、赤楠、矩形叶鼠刺、刺毛杜鹃、江南越橘。草本层优势种为黑足鳞毛蕨、芒萁、中华薹草。

群丛VII：拟赤杨-虎皮楠-山矾-日本蛇根草群丛 Association *Alniphyllum fortunei-Daphniphyllum oldhami-Symplocos sumuntia-Ophiorrhiza japonica*，包括 8、10、28 号样方。乔木层优势种为拟赤杨、虎皮楠，主要伴生种为米槠、树参、光皮桦、少叶黄杞、木荷、马银花。灌木层优势种为山矾 *Symplocos sumuntia*，主要伴生种为杜茎山、矩形叶鼠刺、黄绒润楠、草珊瑚、乌药、隔药柃。草本层优势种为日本蛇根草、黑足鳞毛蕨，主要伴生种为中华薹草、蕨、江南卷柏。

群丛VIII：刨花楠-隔药柃-蕨群丛 Association *Machilus pauhoi-Eurya muricata-Pteridium aquilinum var. latiusculum*，包括 16、20、25、26、27、29、46 号样方。乔木层优势种为刨花楠、甜槠、栲，主要伴生种为少叶黄杞、深山含笑 *Michelia maudiae*、青冈、大叶青冈、冬青、虎皮楠、锥栗。灌木层优势种为隔药柃，主要伴生种为毛花连蕊茶、细枝柃、山矾、乌药、黄绒润楠、石楠、矩形叶鼠刺、赤楠、豹皮樟、乌冈栎 *Quercus phillyreoides*。草本层优势种为蕨，主要伴生种为中华薹草、江南卷柏、贯众、地蕊。

群丛IX：马尾松-木荷-草珊瑚-中华薹草群丛 Association *Pinus massoniana-Schima superba-Sarcandra glabra-Carex chinensis*，包括 9、13、17、30 号样方。乔木层优势种为马尾松、木荷、青冈，主要伴生种为少叶黄杞、拟赤杨、虎皮楠、锥栗、细叶青冈、红楠、蓝果树。灌木层优势种为草珊瑚，主要伴生种为榿木、黄绒润楠、朱砂根、映山红、江南越橘、隔药柃、山莓、老鼠矢。草本层优势种为中华薹草、芒萁、日本蛇根草。

群丛X: 毛竹-山鸡椒-地苣群丛 Association *Phyllostachys edulis-Litsea cubeba-Melastoma dodecandrum*, 包括 14、23、47、48 号样方。乔木层优势种为毛竹, 主要伴生种为杉木、拟赤杨、马尾松。灌木层优势种为山鸡椒, 主要伴生种为隔药柃、乌药、黄绒润楠、檫木、胡枝子 *Lespedeza bicolor*、老鼠矢。草本层优势种为地苣, 主要伴生种为芒萁、杏香兔耳风 *Ainsliaea fragrans*、蕨、中华藁草。

2.3 去趋势对应分析排序结果

48 个样方的去趋势对应分析结果表明: 4 个排序轴的特征值分别为 0.549、0.400、0.295、0.225, 因前 2 个排序轴的特征值比较大, 能显示出一定的生态意义, 所以采用前 2 个排序轴的数据分别作二维排序图 (图 2)。从图 2 可以看出: 去趋势对应分析排序的横轴和纵轴基本反映了不同的生态意义。第 1 排序轴 (横轴) 反映了各群丛所在环境的海拔和土壤类型梯度, 即沿第 1 排序轴从左往右, 随着海拔高度逐渐升高, 土壤类型由红壤变为黄壤; 第 2 排序轴 (纵轴) 反映了各群丛所在的坡度和土壤情况变化, 沿第 2 排序轴从下往上, 坡度由陡坡转为缓坡, 土壤温度逐渐降低, 土壤湿度逐渐升高。

结合双向指标种分析的分类结果对排序图进行分析, 发现不同的森林群落类型在排序图中呈现出一定规律的分布。黄山松-黄山松-木荷群丛分布在海拔较高的中山带阴坡、半阴坡, 土壤类型为黄壤, 土壤温度和湿度均较低, 位于排序图的右下方。甜槠-木荷群丛分布在中山半阳坡、半阴坡, 坡度较陡, 土壤类型为黄壤, 土壤温度较高, 土壤湿度较小, 位于排序图的左下方。杉木-毛花连蕊茶群丛分布在中山带半阳坡、半阴坡, 土壤类型为红壤或黄壤, 位于排序图的中心。杉木-木荷、马尾松-木荷群丛分布在低山半阳坡、半阴坡, 土壤类型为红壤, 位于排序图的中心靠左位置。青冈-木荷群丛分布在低山半阳坡、半阴坡, 土壤类型为红壤, 位于排序图的左方。拟赤杨-虎皮楠群丛分布在低山半阳坡, 土壤类型为红壤, 位于排序图的左上方。刨花楠群丛分布在低山阳坡、半阳坡, 土壤类型为红壤, 位于排序图的左下方。毛竹群丛分布在低山半阳坡, 土壤类型为红壤, 位于排序图的上方。

2.4 典范对应分析排序结果

浙江庆元巾子峰国家森林公园植被群落物种重要值和样方矩阵的典范对应分析排序所有轴的梯度长度最大为 4.115, 所以选择单峰模型。蒙特卡罗检验结果显示: 所有典范排序轴通过统计检验 ($F=1.629$, $P=0.002$), 说明所选择的环境因子对植被群落物种分布具有显著影响。由表 4 可知: 典范对应分析排序轴中前 2 轴累计解释了物种-环境因子关系的 55.2%, 说明典范对应分析前 2 轴能较好地反映森林植被与环境因子之间的关系。根据环境因子与排序轴的相关性大小可知, 海拔、土壤类型与第 1 排序轴呈极显著正相关 ($P<0.01$), 土壤温度与第 1 排序轴呈显著负相关 ($P<0.05$), 相关性从大到小依次为海拔、土壤类型、土壤温度, 表明第 1 排序轴反映的是海拔和土壤类型的梯度变化。土壤温度与第 2 排序轴呈极

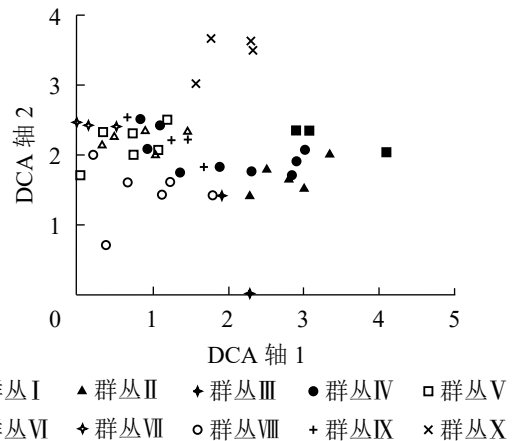


图 2 浙江庆元巾子峰国家森林公园植被群落样方的去趋势对应分析排序图

Figure 2 DCA two-dimensional ordination diagram for samples of plant communities in Jinzifeng Forest Park of Qingyuan, Zhejiang

表 4 浙江庆元巾子峰国家森林公园植被群落的典范对应分析排序

Table 4 The CCA analysis of characteristics of the plant communities in Jinzifeng Forest Park of Qingyuan, Zhejiang

| 排序轴 | 土壤湿度 | 土壤温度 | 坡度 | 坡向 | 海拔 | 土壤类型 | 特征值 | 物种-环境相关性 | 物种数据累计贡献率/% | 物种-环境因子关系数据累计贡献率/% |
|-------|---------|----------|---------|--------|---------|---------|-------|----------|-------------|--------------------|
| 第1排序轴 | -0.171 | -0.432* | -0.038 | -0.154 | 0.962** | 0.906** | 0.497 | 0.975 | 7.3 | 38.0 |
| 第2排序轴 | -0.152 | -0.699** | 0.352* | 0.003 | 0.059 | 0.044 | 0.224 | 0.885 | 10.6 | 55.2 |
| 第3排序轴 | -0.068 | 0.226 | -0.506 | 0.347* | -0.015 | 0.152 | 0.184 | 0.818 | 13.3 | 69.2 |
| 第4排序轴 | 0.661** | 0.140 | -0.304* | 0.240 | -0.022 | -0.163 | 0.160 | 0.839 | 15.7 | 81.5 |

说明: ** $P<0.01$, * $P<0.05$ 。所有典范轴的显著性监测 $F=1.629$, $P=0.002$

显著负相关 ($P < 0.01$), 与坡度呈显著正相关 ($P < 0.05$), 表明第 2 排序轴反映了土壤温度的梯度变化。

样方-环境因子的典范对应分析排序图较为直观地呈现了植被群落各群丛类型分布与环境因子的关系 (图 3), 带箭头射线代表环境因子, 射线长度表示植被群落与环境因子相关性的 大小, 射线所在象限表示环境因子与排序轴相关性的正负。典范对应分析排序第 1 轴代表了海拔和土壤类型, 从左往右海拔逐渐升高, 土壤由红壤转变为黄壤; 第 2 排序轴代表了土壤温度, 从下往上土壤温度逐渐增加。群丛 I 和群丛 II 的分布与海拔和土壤类型关系比较密切, 分布在海拔最高的区域, 且均是黄壤。群丛 III 分布在较高海拔。群丛 IV 分布比较宽泛, 在海拔 600~1 300 m 均有分布, 土壤有红壤还有黄壤。群丛 V 和群丛 VII 与土壤湿度关系较密切。群丛 VIII、群丛 IX 和群丛 X 则与土壤温度和土壤湿度关系密切。

优势乔木树种对群落结构和群落环境的形成有明显控制作用, 个体数量不一定很多, 但却能决定群落结构和内部环境条件, 是植被群落的建造者。对森林群落中 20 个优势乔木树种进行典范对应分析排序, 排序结果如图 4 所示。海拔、土壤类型、土壤湿度和坡度对物种分布起决定作用。黄山松分布在中山带阴坡, 土壤类型为黄壤, 位于排序图的右方。甜槠、锥栗分布在低山半阳坡, 土壤类型为黄壤, 位于排序图的上方。杉木分布在低山、中山带半阳坡、半阴坡, 土壤类型为红壤或黄壤, 位于排序图的中间靠上位置。青冈、木荷分布在低山、中山带半阳坡、半阴坡, 土壤类型为红壤或黄壤, 位于排序图的中间靠下位置。拟赤杨、石栎分布在低山半阳坡, 土壤类型为红壤, 位于排序图的中间靠左位置。马尾松分布在低山半阳坡, 土壤类型为红壤, 位于排序图的左方。刨花楠、虎皮楠、栲、米槠、红楠、冬青、薯豆、少叶黄杞、细叶青冈、黄绒润楠分布在低山半阳坡、半阴坡, 土壤类型为红壤, 位于排序图的左下方。毛竹分布在低山阳坡, 土壤类型为红壤, 位于排序图的左上方。

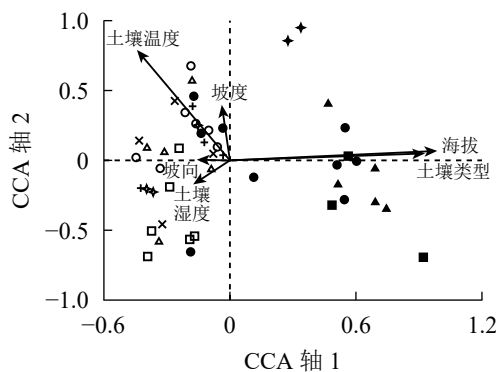


图 3 浙江庆元巾子峰国家森林公园植被群落样方与环境因子的典范对应分析排序图

Figure 3 CCA diagram for samples and environmental variables of the plant communities in Jinzifeng Forest Park of Qingyuan, Zhejiang

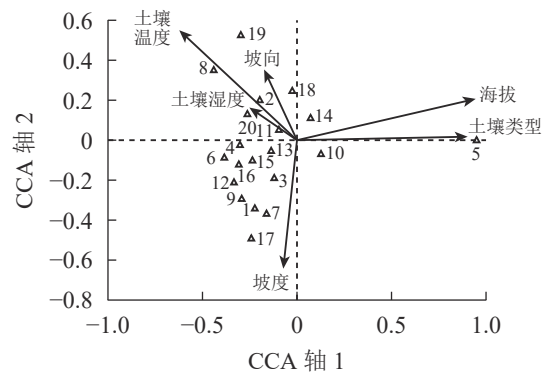


图 4 浙江庆元巾子峰国家森林公园 20 个优势树种的典范对应分析排序图

Figure 4 CCA diagram for trees and environmental variables in Jinzifeng Forest Park of Qingyuan, Zhejiang

3 结论与讨论

本研究根据中国植被群落的分类原则和双向指标种分析方法, 将浙江庆元巾子峰国家森林公园内 48 个样方分成 10 个群丛。对 10 个群丛及其相应样方进行去趋势对应分析排序。结果表明: 各群丛在排序图中的分布均较为集中, 说明去趋势对应分析排序结果与双向指标种分析分类结果较为一致, 综合应用双向指标种分析分类和去趋势对应分析排序能够更好地解释森林群落之间的差异性和连续性, 这与以往的研究结果相同^[13-17]。双向指标种分析数量分类是依据指示种和地区分布差异划分的, 而去趋势对应分析是依据排序轴的综合信息, 将样方或植物物种排列在一定的空间^[2]。去趋势对应分析排序轴能够反映一定的生态梯度。本研究横轴主要反映了样方的海拔高度和土壤类型, 纵轴主要反映了样方的土壤温度和坡度。各群丛在排序图中的位置能有效反映出各群丛的环境特征及群丛间的连续分布关系, 可以看出植被类型间出现了交错现象, 表明植被类型与环境因子间关系比较复杂, 植被类型的分布受海拔、土

壤环境、坡度、坡向等多种环境因子的共同影响。

典范对应分析排序与去趋势对应分析排序相比,去趋势对应分析排序仅使用物种数据,在反映样方之间或物种之间的关系上具有较大优势,但不能较好地反映与环境因子之间的相关性;典范对应分析同时使用了物种数据和环境因子数据,能较好地表达群落的环境梯度,排序轴能更好地对环境因子进行解释^[2,4,18]。本研究划分的10种群丛类型与样方在典范对应分析排序图上的分布格局基本吻合,能较好地揭示植被类型与环境因子之间的关系,反映特定的植被类型对不同的环境因子差异具有指示作用。从典范对应分析排序图上可以看出:海拔、土壤类型和土壤温度这3个主要环境因子共同影响了植被的分布。物种丰富度海拔梯度格局及其形成机制一直是宏观生态学研究的重点。研究表明:海拔梯度是影响植被群落物种分布格局的主要控制因子^[4,19]。因为通过海拔梯度的变化可以改变局部水分状况、土壤理化性质、干扰程度等其他生态环境,直接或间接地对群落分布格局产生影响^[20-22]。本研究也证明海拔对山地植被分布具有决定性作用,海拔是影响巾子峰国家森林公园植被群落分布的最重要环境因子。

综上所述,本研究中影响植被群落分布最重要的环境因子是海拔,其次为土壤类型、土壤温度和坡度,土壤湿度和坡向对植被群落分布的影响相对较小。对20个优势树种进行的典范对应分析排序发现,优势树种的分布特征与各群丛及相应样方的分布特征具有较好的相似性,影响各优势树种分布最重要的环境因子也是海拔,其次为土壤类型、土壤温度和坡度。这与各群丛及相应样方典范对应分析排序结果一致,说明各优势树种的分布在一定程度上决定了各群丛类型的分布。

4 参考文献

- [1] JONES C C, DEL M R. Patterns of primary succession on the foreland of Coleman Glacier, Washington, USA [J]. *Plant Ecol*, 2005, **180**(1): 105 – 11.
- [2] 苏日古嘎, 张金屯, 张斌, 等. 松山自然保护区森林群落的数量分类和排序[J]. 生态学报, 2010, **30**(10): 2621 – 2629. Suriguga, ZHANG Jintun, ZHANG Bin, *et al.* Numerical classification and ordination of forest communities in the Songshan National Nature Reserve [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30**(10): 2621 – 2629.
- [3] 郑超超, 伊力塔, 张超, 等. 浙江江山公益林物种间关系及 CCA 排序[J]. 生态学报, 2015, **35**(22): 7511 – 7521. ZHENG Chaochao, YI Lita, ZHANG Chao, *et al.* Interspecific relationship and canonical correspondence analysis of the dominant species in ecological service forest of Jiangshan City in Zhejiang Province [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(22): 7511 – 7521.
- [4] 张容, 董廷发, 邓晓保, 等. 西双版纳 20 公顷样地热带森林植被数量分类与排序[J]. 生态学杂志, 2018, **37**(2): 347 – 352. ZHANG Rong, DONG Tingfa, DENG Xiaobao, *et al.* Numerical classification and ordination of tropical vegetation of a 20-hectare plot in Xishuangbanna, Southwest Yunnan [J]. *Chin J Ecol*, 2018, **37**(2): 347 – 352.
- [5] 唐志红, 尉秋实, 刘虎俊, 等. 祁连山东段高寒植被群落特征及其与地形气候因子关系研究[J]. 生态学报, 2020, **40**(1): 223 – 232. TANG Zhihong, YU Qiushi, LIU Hujun, *et al.* Characteristics of alpine vegetation community and its relationship to topographic climate factors in the eastern Qilian Mountains [J]. *Acta Ecol Sin*, 2020, **40**(1): 223 – 232.
- [6] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [7] 许彬, 张金屯, 杨洪晓, 等. 京西百花山植物群落数量分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2006, **42**(1): 90 – 94. XU Bin, ZHANG Jintun, YANG Hongxiao, *et al.* Quantitative analysis of plant communities in Baihua Mountains, Western Beijing [J]. *J Beijing Norm Univ Nat Sci*, 2006, **42**(1): 90 – 94.
- [8] 齐婷婷, 王晓丽, 冯焘, 等. 庙岛群岛南五岛灌木群落结构及其对环境因子的响应[J]. *西北植物学报*, 2015, **35**(5): 1044 – 1051. QI Tingting, WANG Xiaoli, FENG Xin, *et al.* Population structure of shrub in the southern five islands of Miaodao Archipelago and its response to the environmental factors [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2015, **35**(5): 1044 – 1051.
- [9] 范良敏, 叶珍林, 姚丰平, 等. 巾子峰森林公园木本植物区系研究[J]. *浙江林业科技*, 2012, **32**(6): 27 – 32. FAN Liangmin, YE Zhenlin, YAO Fengping, *et al.* Study on woody plant flora of Qingyuan Jinzifeng Forest Park in Zhejiang [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2012, **32**(6): 27 – 32.

- [10] 范良敏, 吴启福, 姚丰平, 等. 巾子峰森林公园生态旅游开发与保护探讨[J]. *浙江林业科技*, 2002, **22**(4): 96 – 98.
FAN Liangmin, WU Qifu, YAO Fengping, *et al.* Ecological tourism development and protection of Jinzifeng Forest Park [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2002, **22**(4): 96 – 98.
- [11] JAN L, SMILAUER P S. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [12] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [13] 胡理乐, 毛志宏, 朱教君, 等. 辽东山区天然次生林的数量分类[J]. *生态学报*, 2005, **25**(11): 2848 – 2854.
HU Lile, MAO Zhihong, ZHU Jiaojun, *et al.* Classification and ordination of secondary forests in montane zone of eastern Liaoning Province [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25**(11): 2848 – 2854.
- [14] 何惠琴, 李绍才, 孙海龙, 等. 锦屏水电站植被数量分类与排序[J]. *生态学报*, 2008, **28**(8): 3706 – 3712.
HE Huiqin, LI Shaocai, SUN Haihong, *et al.* Quantitative classification and ordination of Jinping hydropower station, Sichuan Province, China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28**(8): 3706 – 3712.
- [15] 陶楚, 陈玉凯, 杨小波, 等. 海南铜鼓岭国家级自然保护区植被数量分类与排序[J]. *中国农学通报*, 2014, **30**(22): 84 – 91.
TAO Chu, CHEN Yukai, YANG Xiaobo, *et al.* Quantitative classification and ordination of vegetations in Tongguling National Nature Reserve, Hainan [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2014, **30**(22): 84 – 91.
- [16] 王得祥, 蔺雨阳, 雷瑞德, 等. 秦岭山地天然油松林群落结构特征和数量分类研究[J]. *西北植物学报*, 2009, **29**(5): 1016 – 1025.
WANG Dexiang, LIN Yuyang, LEI Ruide, *et al.* Community composition and classification of natural forest of Chinese pine (*Pinus tabulaeformis* Carr.) in Qinling Mountains [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2009, **29**(5): 1016 – 1025.
- [17] 王宇超, 周亚福, 王得祥. 秦岭南坡中段主要森林群落类型划分及环境梯度解释[J]. *生态环境学报*, 2016, **25**(6): 965 – 972.
WANG Yuchao, ZHOU Yafu, WANG Dexiang. The quantitative classification and environmental interpretation of forest communities in the middle area of south slope of Qinling Mountains [J]. *Ecol Environ Sci*, 2016, **25**(6): 965 – 972.
- [18] 朱彦鹏, 梁军, 孙志强, 等. 昆崙山森林群落数量分类、排序及多样性垂直格局[J]. *林业科学*, 2013, **49**(4): 55 – 61.
ZHU Yanpeng, LIANG Jun, SUN Zhiqiang, *et al.* Numerical classification, ordination and species diversity along elevation gradients of the forest community in Kunyu Mountain [J]. *Sci Silv Sin*, 2013, **49**(4): 55 – 61.
- [19] 刘开明, 郑智, 龚大洁. 物种丰富度的垂直分布格局及其形成机制[J]. *生态学杂志*, 2017, **36**(2): 541 – 544.
LIU Kaiming, ZHENG Zhi, GONG Dajie. Elevational patterns of species richness and their underlying mechanism [J]. *Chin J Ecol*, 2017, **36**(2): 541 – 544.
- [20] SWANSON F J, KRATZ T K, CAINE N. Landform effects on ecosystem patterns and processes [J]. *BioScience*, 1988, **38**(2): 92 – 98.
- [21] 叶森土, 金超, 吴初平, 等. 浙江松阳县生态公益林群落分类排序及优势种种间关联分析[J]. *浙江农林大学学报*, 2020, **37**(4): 693 – 701.
YE Sentu, JIN Chao, WU Chuping, *et al.* Classification, ordination and correlation analysis of dominant species of ecological non-commercial forests in Songyang, Zhejiang [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2020, **37**(4): 693 – 701.
- [22] 朱国亮, 商天其, 管杰然, 等. 缙云县公益林群落数量分类与排序[J]. *浙江农林大学学报*, 2017, **34**(1): 68 – 77.
ZHU Guoliang, SHANG Tianqi, GUAN Jieran, *et al.* Numerical classification and ordination of public welfare forest communities in Jinyun [J]. *J Zhejiang A&F Univ*, 2017, **34**(1): 68 – 77.