

# 嵊州市公益林群落数量分类、排序及环境解析

商天其<sup>1</sup>, 郑超超<sup>1</sup>, 高洪娣<sup>2</sup>, 叶诺楠<sup>1</sup>, 伊力塔<sup>1\*</sup>

(1. 浙江农林大学林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省林业厅生态中心, 杭州 310020)

**摘要:** 为探讨群落分布和环境间的内在关系, 采用二元指示种分析(TWINSpan)和典范对应分析(CCA)法对嵊州市公益林植物群落 94 块固定监测样地(20 m×20 m)进行数量分类与排序。结果表明, 采用 TWINSpan 可将 94 个公益林监测样地分成 14 组, 其中以马尾松为建群种的群丛最多, 是该区域主要的优势群落类型。CCA 排序结果较好地反映了植物群落与环境因子的关系, 其中坡向和坡位是植物群落分布的主导环境因子。此方法可有效解释植物群落分布格局与环境之间的内在联系, 为区域公益林分类经营管理提供科学依据。

**关键词:** 公益林群落; TWINSpan; CCA; 环境因子; 嵊州市

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2015.03.016

## Numerical Classification, Ordination and Environment Analysis of Public Welfare Forest Community in Shengzhou

SHANG Tian-qi<sup>1</sup>, ZHENG Chao-chao<sup>1</sup>, GAO Hong-di<sup>2</sup>, YE Nuo-nan<sup>1</sup>, YI Li-ta<sup>1\*</sup>

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an 311300, China; 2. Ecological Management Center, Forestry Department of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, China)

**Abstract:** In order to explain the internal relationship between distribution patterns of vegetation and environment, the numerical classification and ordination of 94 plots (20 m×20 m for each) in public welfare forest of Shengzhou were studied by two-way indicator species analysis (TWINSpan) and canonical correspondence analysis (CCA). The results showed that 94 plots could be divided into 14 groups by TWINSpan, and in which the associations of *Pinus massoniana* as constructive species was the most, it was dominant community type in the region. The relationship between vegetation communities and environmental factors was reflected by CCA ordination, the slop aspect and slop position were main environment factors in the community distribution. Therefore, the internal relationship between distribution patterns of vegetation and environment could be explained by combination of both methods, these could provide scientific foundation for the classification management of regional public welfare forest.

**Key words:** Public welfare forest community; TWINSpan; CCA; Environment factor; Shengzhou

数量分类和排序是当前研究植物群落生态关系的重要手段<sup>[1]</sup>。植物群落的发展与其生境之间存在一定的关联, 生境的差异性对植物群落空间分布类型产生直接、间接的影响, 其实质上是温度、土

壤、地形等各种环境因子综合作用的结果<sup>[2]</sup>。其中, 地形是导致植物群落生境产生差异性的重要影响因素, 它间接调控了植物群落生境中的基本生态因子, 对于植物群落的结构组成与空间分布具有指示

收稿日期: 2014-07-03

接受日期: 2014-10-19

基金项目: 浙江省重点科技创新团队项目(2011R50027)资助

作者简介: 商天其(1992~), 男, 研究方向为群落生态学。E-mail: 1196641369@qq.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: yilita@126.com

意义<sup>[3-4]</sup>。随着数量生态学的发展, TWINSpan 分类和 CCA 排序被广泛运用到植物群落研究中<sup>[5-7]</sup>。通过对植物群落进行分类和排序, 可以科学地分析研究区内的植物群落多样性, 揭示植物群落的空间分布规律, 为进一步研究植物群落多样性格局奠定基础。

近年来由于环境问题的日益突出, 森林生态系统在人类的生产生活中越来越突出其重要的作用。森林在涵养水源、固土保肥、固碳释氧、净化大气、净化水质、减轻灾害、森林游憩等方面发挥着巨大的生态效益和社会效益<sup>[8-10]</sup>。虽然森林与人类的生产活动息息相关, 国家也一直很重视生态公益林的建设, 但就目前而言, 在公益林的经营管理上依旧存在很大的弊端, 采用“封山育林”、“砍劣留优”、“砍密留疏”的传统管理模式, 还不足以充分发挥公益林在保护和改善生态环境, 保持生态平衡和保护生物多样性等方面的重要作用。

近年来针对森林群落的研究主要是围绕森林群落结构特征而展开<sup>[11-13]</sup>, 但基于特定公益林群落的分类经营管理, 开展数量生态学研究的报道尚少。因此, 本文将以嵊州市公益林森林群落为研究对象, 运用 TWINSpan 分类和 CCA 排序方法, 研究植物群落的空间分布规律与环境因子之间的相互关系, 从而在针叶林阔叶化改造过程中为树种选择、密度调整、抚育管理提供科学依据, 同时也为区域公益林分类管理体系的构建提供数据支撑。

## 1 研究区概况

研究区嵊州市位于浙江省中部偏东, 地理坐标为 29°35' N、120°49' E, 市境四面环山, 中为盆地, 地势自西南向东北倾斜, 剡溪横贯其中, 地貌构成大体为“七山一水二分田”, 平均海拔为 500~800 m。全市总面积 1784.43 km<sup>2</sup>, 森林覆盖率为 62.40%, 林木总蓄积量为 2.26×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, 其中针叶林蓄积量 1.92×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, 阔叶林蓄积量 6.32×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 针阔混交林蓄积量 2.32×10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>, 其他四旁、散生、疏林地等蓄积量 4.66×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。嵊州市属亚热带海洋性季风气候, 温和湿润, 四季分明, 年均气温 16.4℃, 年均降水量 1318.9 mm, 年均相对湿度 77%, 年均日照时数 1845.8 h, 年均无霜期 235 d。气候温和, 雨量充沛, 日照充足, 春夏雨热同步, 秋冬光温互补, 气候条件比较优越。嵊州市公益林自 2000 年开始区

划界定, 共有省级重点公益林约 6.0×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>, 占全市土地面积的 33.63%, 占林业用地面积的 51.55%。主要森林类型有: 针叶林、阔叶林、针阔混交林、毛竹(*Phyllostachys heterocycla*)林、灌木林等。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置与调查

利用嵊州市森林资源二类清查数据中的公益林小班(共 4723 个)作为样本总体, 随机抽取 94 个样本作为固定监测小班。在对固定监测小班全面踏查的基础上, 选取典型地段设置固定样地(每个 20 m×20 m)。利用 GPS 定位, 记录样地的地形、坡位、坡度、坡向、海拔和各项土壤指标等环境因子。与此同时, 采用每木调查方法, 测定样地内乔木树种的相关参数(包括种名、胸径、树高和冠幅等)。除此之外, 在每个样地的对角线上均匀设置 3 个 2 m×2 m 的灌木、草本小样方, 分别记录灌木层和草本层的物种名、株数、盖度和高度等数据。

### 2.2 数据处理

**重要值** 以样地为单位分别计算物种的重要值<sup>[14]</sup>。乔木重要值=(相对显著度+相对高度+相对多度)/3, 灌木和草本重要值=(相对盖度+相对多度)/2。其中, 相对显著度=某一树种胸高断面面积之和/所有树种胸高断面面积之和, 相对多度=某一树种株数之和/所有树种株数之和。

**TWINSpan 分类** TWINSpan (Two-Way indicator species analysis)是在指示种分析(Indicator species analysis)的基础上修改而成的, 它以二歧式的分割法来划分类型, 其划分根据“指示种”(或称指示指标)将样地类型与物种组成依次划分为各个等级的类型单位, 完成物种分类和样地分类<sup>[15]</sup>。本文依据物种重要值排序, 选取乔木层、灌木层、草本层中重要值大于 0.2 的物种作为研究对象, 进行群落分类<sup>[16]</sup>。

**CCA 排序** CCA 排序是一种非线性多元直接梯度分析方法, 它把对应分析与多元回归结合起来, 每一步计算结果都与环境因子进行回归, 而详细地研究物种与环境的关系<sup>[17-18]</sup>。CCA 要求两个数据矩阵, 一个是环境数据矩阵, 一个是物种数据矩阵。本文选取坡位、坡度、坡向、海拔和土壤厚度等环境因子建立环境因子矩阵, 依据物种重要值排

序,将已选取出来的重要值大于 0.2 的物种建立物种数据矩阵。

### 3 结果和分析

#### 3.1 物种重要值

根据物种的重要值计算,嵊州市公益林森林群落 94 个样地,乔木层、灌木层、草本层物种重要值大于 0.2 的共有 100 种(表 1),其中乔木层有 20 种,灌木层有 50 种,草本层有 30 种。

表 1 主要物种的重要值

Table 1 Importance values of main species

	编号 No.	物种 Species	重要值 Importance value
乔木层 Tree layer	1	白栎 <i>Quercus fabri</i>	0.2980
	2	板栗(栗) <i>Castanea mollissima</i>	0.4426
	3	柏木 <i>Cupressus funebris</i>	0.8125
	4	檫木 <i>Sassafras tzumu</i>	0.7254
	5	冬青 <i>Ilex chinensis</i>	0.9171
	6	枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	3.9662
	7	华东野核桃 <i>Juglans cathayensis</i> var. <i>formosana</i>	0.2166
	8	合欢 <i>Albizia julibrissin</i>	0.4620
	9	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	0.7852
	10	化香树 <i>Platycarya strobilacea</i>	0.4211
	11	苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	0.5044
	12	木荷 <i>Schima superba</i>	11.4617
	13	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	1.4246
	14	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	43.6602
	15	毛竹 <i>Phyllostachys heterocyclus</i>	20.0292
	16	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	1.8046
	17	石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>	0.4046
	18	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	3.6263
	19	山樱花 <i>Prunus serrulate</i>	0.2496
	20	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	0.8046
灌木层 Shrub layer	21	白栎(幼苗) <i>Quercus fabri</i>	1.4361
	22	板栗(幼苗) <i>Castanea mollissima</i>	0.4405
	23	菝葜 <i>Smilax china</i>	1.3386
	24	茶 <i>Camellia sinensis</i>	2.8854
	25	刺莓 <i>Rubus taiwanianus</i>	1.4770
	26	短柄栲栎 <i>Quercus serrata</i> var. <i>brevipetiolata</i>	1.6607
	27	杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>	4.5469

续表(Continued)

	编号 No.	物种 Species	重要值 Importance value
灌木层 Shrub layer	28	冬青 <i>Ilex chinensis</i>	2.4002
	29	枫香(幼苗) <i>Liquidambar formosana</i>	1.6643
	30	合欢(幼苗) <i>Albizia julibrissin</i>	0.2592
	31	黄金树 <i>Catalpa speciosa</i>	0.3260
	32	槲栎 <i>Quercus aliena</i>	0.3718
	33	金毛耳草 <i>Hedyotis chrysotricha</i>	0.7958
	34	黄檀(幼苗) <i>Dalbergia hupeana</i>	1.2070
	35	欏木 <i>Lorpetalum chinense</i>	12.0468
	36	箭叶蓼 <i>Polygonum sieboldii</i>	3.0059
	37	金樱子 <i>Rosa laevigata</i>	1.1969
	38	高节竹 <i>Phyllostachys prominens</i>	3.0023
	39	苦槠(幼苗) <i>Castanopsis sclerophylla</i>	0.4735
	40	老虎刺 <i>Pterolobium punctatum</i>	0.2275
	41	柃木 <i>Eurya japonica</i>	1.4722
	42	络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>	0.6933
	43	老鼠矢 <i>Symplocos stellaris</i>	0.2653
	44	六月雪 <i>Serissa japonica</i>	1.2419
	45	木荷(幼苗) <i>Schima superba</i>	5.0625
	46	木姜子 <i>Litsea pungens</i>	0.7323
	47	麻栎(幼苗) <i>Quercus acutissima</i>	1.8452
	48	茅莓 <i>Rubus parvifolius</i>	0.6716
	49	马尾松(幼苗) <i>Pinus massoniana</i>	0.5229
	50	蓬蘽 <i>Rubus hirsutus</i>	0.2243
	51	朴树 <i>Celtis sinensis</i>	0.2098
	52	青冈(幼苗) <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	1.5072
	53	箬竹 <i>Qiongzhuca tumidinoda</i>	0.4775
	54	山茶 <i>Camellia japonica</i>	3.7748
	55	山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	0.2243
	56	石栎(幼苗) <i>Lithocarpus glaber</i>	1.7242
	57	杉木(幼苗) <i>Cunninghamia lanceolata</i>	1.6109
58	丝茅 <i>Imperata koenigii</i>	0.2612	
59	色木槭 <i>Acer mono</i>	0.2034	
60	水青冈 <i>Fagus longipetiolata</i>	0.2343	
61	甜槠(幼苗) <i>Castanopsis eyrei</i>	0.4023	
62	乌饭树 <i>Vaccinium bracteatum</i>	2.1599	
63	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	1.0691	
64	乌药 <i>Lindera aggregata</i>	0.4031	
65	香桂 <i>Cinnamomum subavenium</i>	0.2283	
66	小果菝葜 <i>Smilax davidiana</i>	0.4192	
67	油茶 <i>Camellia oleifera</i>	0.7066	
68	杨桐 <i>Adinandra millettii</i>	0.9469	

续表(Continued)

	编号 No.	物种 Species	重要值 Importance value
灌木层 Shrub layer	69	柘树 <i>Cudrania tricuspidata</i>	0.3396
	70	栀子 <i>Gardenia jasminoides</i>	0.3605
草本层 Herb layer	71	阿穆尔莎草 <i>Cyperus amuricus</i>	4.2179
	72	甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	0.3578
	73	狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	9.3996
	74	葛藤 <i>Pueraria lobata</i>	1.0618
	75	梗花雀梅藤 <i>Sageretia henryi</i>	0.3578
	76	金毛耳草 <i>Hedyotis chrysotricha</i>	0.4003
	77	鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	0.6741
	78	金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i>	0.2232
	79	阔鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris championii</i>	6.6153
	80	苦竹 <i>Pleioblastus amarus</i>	10.2500
	81	六月雪 <i>Serissa japonica</i>	0.3380
	82	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	0.6408
	83	白茅 <i>Imperata cylindrica</i>	8.3535
	84	麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	0.4245
	85	芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	4.1820
	86	牛耳朵 <i>Chirita eburnea</i>	0.2347
	87	褐果苔草 <i>Carex brunnea</i>	1.9141
	88	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	2.7371
89	山菅 <i>Dianella ensifolia</i>	3.0408	
90	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	0.2170	
91	莽吉柿 <i>Garcinia mangostana</i>	0.3624	
92	铁芒萁 <i>Dicranopteris linearis</i>	0.4360	
93	莎草 <i>Cyperus rotundus</i>	2.6977	
94	香丝草 <i>Conyza bonariensis</i>	0.6120	
95	野菊 <i>Dendranthema indicum</i>	0.6767	
96	油芒 <i>Eccoilopus cotulifer</i>	0.6385	
97	野迎春 <i>Jasminum mesnyi</i>	0.3221	
98	牯岭蛇葡萄 <i>Ampelopsis heterophylla</i> var. <i>kulingensis</i>	0.3831	
99	紫萁 <i>Osmunda japonica</i>	20.0657	
100	紫藤 <i>Wisteria sinensis</i>	0.3198	

### 3.2 TWINSPAN分类

利用 WinTwins 软件中的 TWINSPAN 对群落进行分类(图 1), 结合调查结果、群落生境特征指示种和优势种, 可将嵊州市公益林森林群落划分为 14 个类型。

I: 毛竹-榿木-紫萁群落, 包括样地 1、9、28、

57 和 85, 分布的海拔为 200~500 m, 坡度为 15°~35°。乔木层优势种为毛竹, 主要伴生种为枫香树 (*Liquidambar formosana*); 灌木层优势种为榿木 (*Lorpetalum chinense*), 主要伴生种为茶 (*Camellia sinensis*) 和山茶 (*C. japonica*); 草本层优势种为紫萁 (*Osmunda japonica*), 主要伴生种为山菅兰 (*Dianella ensifolia*)、狗脊蕨 (*Woodwardia japonica*)、阿穆尔莎草 (*Cyperus amuricus*)。

II: 毛竹-榿木-狗脊蕨群落, 包括样地 3、5、6、7、8、11 和 68, 分布的海拔为 100~600 m, 坡度为 20°~40°。乔木层优势种为毛竹, 主要伴生种为马尾松 (*Pinus massoniana*) 和杉木 (*Cunninghamia lanceolata*), 其中马尾松比杉木具有更大的生物量; 灌木层优势种为榿木, 主要伴生种为木荷 (*Schima superba*) 幼苗、枫香树幼苗、冬青 (*Ilex chinensis*) 幼苗和茶; 草本层优势种为狗脊蕨, 主要伴生种为紫萁、菝葜 (*Smilax china*) 等。

III: 杉木-山茶-紫萁群落, 仅样地 10, 海拔 400 m, 坡度约为 15°。乔木层优势种为杉木, 主要伴生种为毛竹, 且毛竹具有较大的竞争潜力; 灌木层优势种为山茶, 主要伴生种为木荷幼苗、枫香树幼苗和茶; 草本层优势种为紫萁。

IV: 马尾松+枫香树-榿木+冬青-紫萁群落, 包括样地 2、15、17、19、22、23、24、26 和 30, 分布的海拔为 100~350 m, 坡度为 15°~25°。乔木层优势种为马尾松和枫香树, 主要伴生种为冬青; 灌木层优势种为榿木和冬青幼苗, 主要伴生种为乌饭树 (*Vaccinium bracteatum*)、枫香树幼苗、短柄枹栎 (*Quercus serrata* var. *brevipetiolata*) 和杜鹃 (*Rhododendron simsii*); 草本层优势种为紫萁, 主要伴生种为狗脊蕨、阿穆尔莎草、麦冬 (*Ophiopogon japonicus*)、丝茅 (*Imperata koenigii*) 等。

V: 马尾松-榿木-紫萁+阿穆尔莎草群落, 包括样地 16、32、35、37、39、43、48、49、52、54、55、56、62、65、67、71、72、79 和 92, 分布的海拔为 100~600 m, 坡度为 15°~30°。乔木层优势种为马尾松, 主要伴生种为枫香树和木荷; 灌木层优势种为榿木, 主要伴生种为乌饭树、石栎 (*Lithocarpus glaber*) 幼苗、木荷幼苗、六月雪 (*Serissa japonica*)、杜鹃花和茶; 草本层优势种为紫萁和阿穆尔莎草, 主要伴生种为狗脊蕨、丝茅和芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*)。

VI: 马尾松+杉木-苦竹-紫萁群落, 包括样地

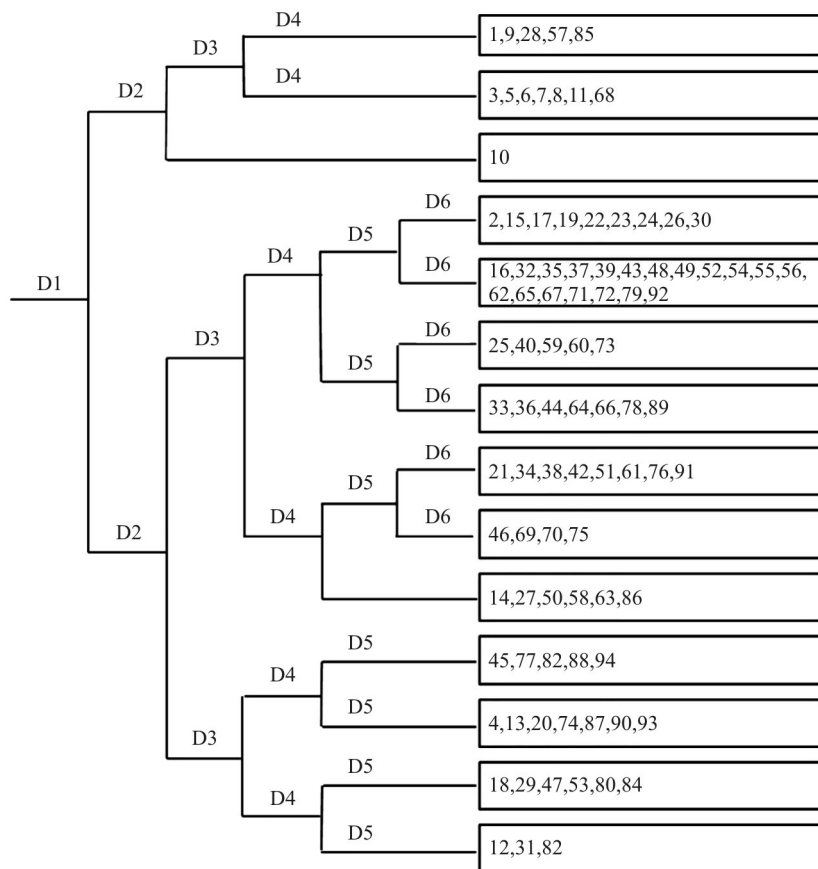


图1 嵊州市公益林群落 94 块样地的 TWINSpan 分类树状图

Fig. 1 TWINSpan dendrogram of 96 plots in Shengzhou public welfare forest communities

25、40、59、60 和 73, 分布的海拔为 150~450 m, 坡度为 15°~35°。乔木层优势种为马尾松和杉木, 主要伴生种为枫香树; 灌木层优势种为苦竹 (*Pleioblastus amarus*), 主要伴生种为榿木、乌饭树、杜鹃和茶; 草本层优势种为紫萁, 主要伴生种为莎草 (*Cyperus rotundus*) 和狗脊蕨。

VII: 马尾松+木荷-苦竹+木荷幼苗-狗脊蕨+紫萁群丛, 包括样地 33、36、44、64、66、78 和 89, 分布的海拔为 100~650 m, 坡度为 20°~45°。乔木层优势种为马尾松和木荷, 主要伴生种为枫香树和冬青; 灌木层优势种为苦竹和木荷幼苗, 主要伴生种为榿木、杜鹃、梗花雀梅藤 (*Sageretia henryi*) 和乌饭树; 草本层优势种为狗脊蕨和紫萁, 主要伴生种为丝茅、莎草和麦冬。

VIII: 木荷+马尾松-木荷幼苗+榿木-紫萁群丛, 包括样地 21、34、38、42、51、61、76 和 91, 分布的海拔为 250~500 m, 坡度为 20°~35°。乔木层优势种为木荷和马尾松, 主要伴生种为杉木和枫香树; 灌木层优势种为木荷幼苗和榿木, 主要伴生种为苦

竹、杜鹃和冬青幼苗; 草本层优势种为紫萁, 主要伴生种为狗脊蕨和阔鳞鳞毛蕨 (*Dryopteris championii*)。

IX: 苦楮+马尾松-木荷幼苗+榿木-紫萁群丛, 包括样地 46、69、70 和 75, 分布的海拔为 200~400 m, 坡度为 25°~40°。乔木层优势种为苦楮和马尾松, 主要伴生种为木荷、枫香树、杉木; 灌木层优势种为木荷幼苗和榿木, 主要伴生种为冬青幼苗、杜鹃、短柄枹栎; 草本层优势种为紫萁, 主要伴生种为芒萁和阿穆尔莎草。

X: 枫香树+马尾松-乌饭树+榿木-紫萁群丛, 包括样地 14、27、50、58、63 和 86, 分布的海拔为 100~400 m, 坡度为 15°~35°。乔木层优势种为枫香树和马尾松, 主要伴生种为木荷和黄檀 (*Dalbergia hupeana*); 灌木层优势种为乌饭树和榿木, 主要伴生种为麻栎 (*Quercus acutissima*) 幼苗、短柄枹栎、苦竹; 草本层优势种为紫萁, 主要伴生种为丝茅和阿穆尔莎草。

XI: 木荷+麻栎-梗花雀梅藤+榿木-紫萁+牛筋草群丛, 包括样地 45、77、82、88 和 94, 分布的

海拔为 100~500 m, 坡度为 20°~40°。乔木层优势种为木荷和麻栎, 主要伴生种为马尾松、枫香树、黄连木(*Pistacia chinensis*); 灌木层优势种为梗花雀梅藤和榿木, 主要伴生种为木荷幼苗、麻栎幼苗、桦树(*Betula sp.*); 草本层优势种为紫萁和牛筋草(*Eleusine indica*), 主要伴生种为褐果苔草(*Carex brunnea*)。

XII: 木荷-杜鹃花+榿木+木荷幼苗-狗脊蕨+紫萁群丛, 包括样地 4、13、20、74、87、90 和 93, 分布的海拔为 100~650 m, 坡度为 20°~40°。乔木层优势种为木荷, 主要伴生种为马尾松和枫香树; 灌木层优势种为杜鹃、榿木、木荷幼苗, 主要伴生种为杉木幼苗、麻栎幼苗、茶; 草本层优势种为狗脊蕨和紫萁, 主要伴生种为莎草和阿穆尔莎草。

XIII: 枫香树-榿木+乌饭树+冬青-紫萁+阿穆尔莎草群丛, 包括样地 18、29、47、53、80 和 84, 分布的海拔为 150~400 m, 坡度为 20°~35°。乔木层优势种为枫香, 主要伴生种为木荷、马尾松、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)、化香树(*Platycarya strobilacea*); 灌木层优势种为乌饭树和冬青幼苗, 主要伴生种为枫香树幼苗、冬青幼苗、茶、苦竹、青冈幼苗; 草本层优势种为紫萁和阿穆尔莎草, 主要伴生种为丝茅。

XIV: 青冈-榿木+冬青-紫萁群丛, 包括样地 12、31 和 82, 分布的海拔为 100~150 m, 坡度为 25°~35°。乔木层优势种为青冈, 主要伴生种为马尾松、板栗、檫木; 灌木层优势种为榿木和冬青幼苗, 主要伴生种为青冈幼苗、枫香树幼苗、苦竹; 草本层优势种为紫萁, 主要伴生种为香丝草(*Conyza bonariensis*)。

### 3.3 CCA排序

采用 CCA 排序对植物群落和环境因子进行分析, 能很好地再现物种分布与其生态环境的内在关系, 分析不同物种对环境的需求, 同时使物种在空间中得到很好的生态分化<sup>[19]</sup>。在 CCA 排序图中, 各地形因子箭头连线的长短表示植物群落分布与该因子关系的大小, 箭头连线在排序图中的斜率表示地形因子与排序轴相关性的大小, 箭头所处象限表示地形因子与排序轴相关性的正负, 2 个箭头之间的夹角大小代表着 2 个环境因子之间相关性的大小; 箭头和排序轴的夹角代表着某个环境因子与排序轴的相关性大小<sup>[17,20]</sup>。

#### 3.3.1 群落样地与环境因子的 CCA 排序

公益林群落 CCA 排序结果表明(表 2), CCA 排序第 1 轴和第 2 轴与环境因子显著相关, 特征值分别为 0.2120 和 0.1860, 物种-环境相关性系数分别为 0.7900 和 0.7450, 物种-环境关系方差累计贡献率达到 53.60%, 说明 CCA 前两轴已能较好地反映出研究区群落样地、物种与其环境之间的关系。

5 个环境因子与第一轴相关性系数最高的环境因子是坡向, 呈正相关关系, 相关系数为 0.5661, 其次与海拔呈负相关关系, 相关系数为 -0.5003。第二轴与坡位的相关系数最高, 为 0.4763, 其次是土壤厚度, 相关系数为 0.3924。由图 2 可知, 第一轴反映了植物群落所在生境的坡向和海拔的情况, 即沿着 CCA 第一轴从左往右, 海拔逐渐降低, 光热条件逐渐变好, 但坡向为主要影响因子; 第二轴基本上表现了植物群落所在生境坡位和土壤厚度的变化趋势, 即沿着 CCA 第二轴从下至上, 土壤厚度逐渐减小, 植物群落接近于山顶, 坡位为主要影响因

表 2 CCA 排序前 4 轴与环境因子的相关系数

Table 2 Coefficients between the first 4 axes in CCA ordination and environment factors

环境因子 Environment factors	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
海拔 Elevation	-0.5003*	0.0867	0.1617	0.2732
坡度 Slope	-0.3076	-0.3392*	-0.2302	-0.4371*
坡向 Aspect	0.5661*	0.1161	-0.0103	0.1510
坡位 Position	-0.1913	0.4763*	0.2904	-0.3919*
土壤厚度 Soil depth	-0.3555*	0.3924*	-0.5094*	0.1403
特征值 Eigenvalue	0.2120	0.1860	0.1490	0.1090
物种环境相关 Species-environment correlation	0.7900	0.7450	0.7470	0.6870
方差累积比例 % of variance cumulative	28.50	53.60	73.60	88.30

\*:  $P < 0.001$ .

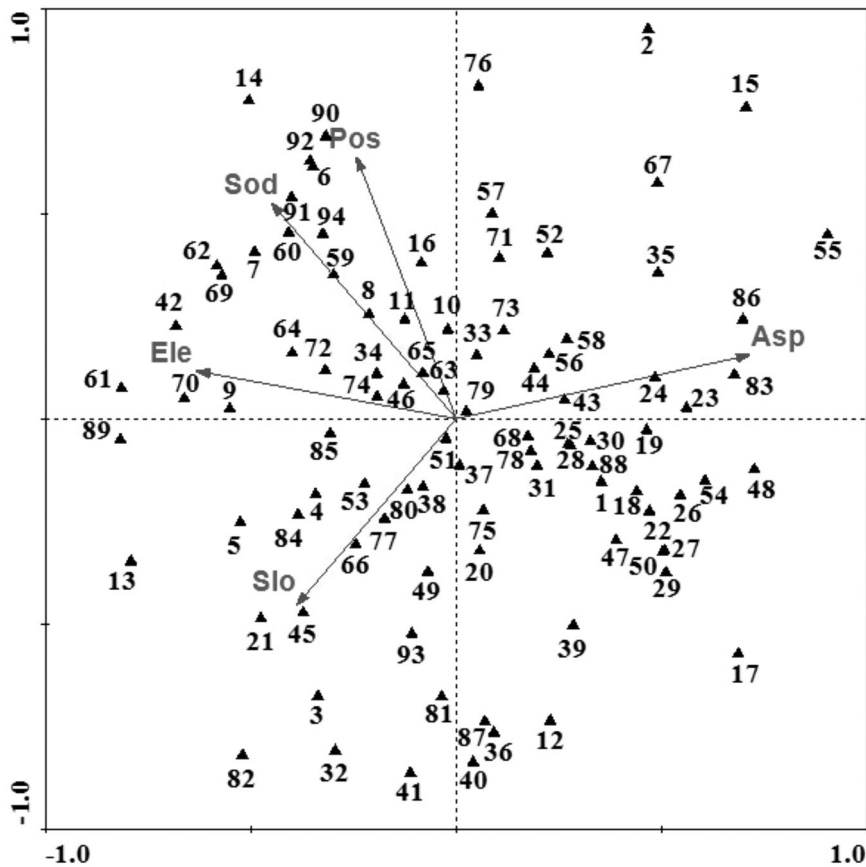


图2 嵊州市公益林群落94个样地的CCA排序。Ele: 海拔; Slo: 坡度; Asp: 坡向; Pos: 坡位; Sod: 土壤厚度。图3同。

Fig. 2 CCA ordination of 94 plots in Shengzhou public welfare forest communities. Ele: Elevation; Slo: Slope; Asp: Aspect; Pos: Position; Sod: Soil depth. The same is Figure 3.

子。综上可得,坡向和坡位是对植物群落分布起决定作用的因子。

### 3.3.2 主要优势种与环境因子的CCA排序

将重要值大于0.2的100种主要优势物种与环境因子进行CCA排序(图3),位于第1轴右端的物种,其分布主要受坡向和海拔影响,在水热条件好、光照充裕的低海拔区域分布较多,如鸡矢藤(*Paederia scandens*)、麦冬、栀子(*Gardenia jasminoides*)、石栎幼苗和黄檀幼苗等;五节芒(*Miscanthus floridulus*)、山鸡椒(*Litsea cubeba*)、金星蕨(*Parathelypteris glanduligera*)、金毛耳草(*Hedyotis chrysotricha*)和牯岭蛇葡萄(*Ampelopsis heterophylla* var. *kulingensis*)分布于第1轴的左端,即在潮湿、光照时间少的较高海拔区域分布较多;位于第2轴上端的物种主要分布在山体的上坡,如刺莓(*Rubus taiwanianus*)、小果菝葜(*Miscanthus floridulus*)、菝葜、老鼠矢(*Symplocos stellaris*)等,而白栎、老虎刺(*Pterolobium punctatum*)、丝茅、水青冈、野迎春

(*Jasminum mesnyi*)、油芒(*Eccoilopus cotulifer*)的分布则与之相反。苦槠、甜槠、榿木、莎草、金毛耳草、苦竹等物种位于图3中部,也广泛分布于各样地中,说明这些物种在该地区受环境影响较小,适应性强。因此,第一轴从左到右,植物种由喜阴凉物种逐渐向喜光热物种过渡,第二轴从下到上,植物种由喜冷干物种向喜暖湿物种过渡。

## 4 结论和讨论

本文采用二元指示种分析(TWINSPAN)和典范对应分析(CCA)方法对嵊州市公益林群落进行数量分类与排序。TWINSPAN结果表明,研究区的94个公益林小班固定样地可划分为14个群丛类型,其中以马尾松为优势种的群丛共6个,即马尾松+枫香树-榿木+冬青-紫萁群丛(IV)、马尾松-榿木-紫萁+阿穆尔莎草群丛(V)、马尾松+杉木-苦竹-紫萁群丛(VI)、马尾松+木荷-苦竹+木荷幼苗-狗脊蕨+紫

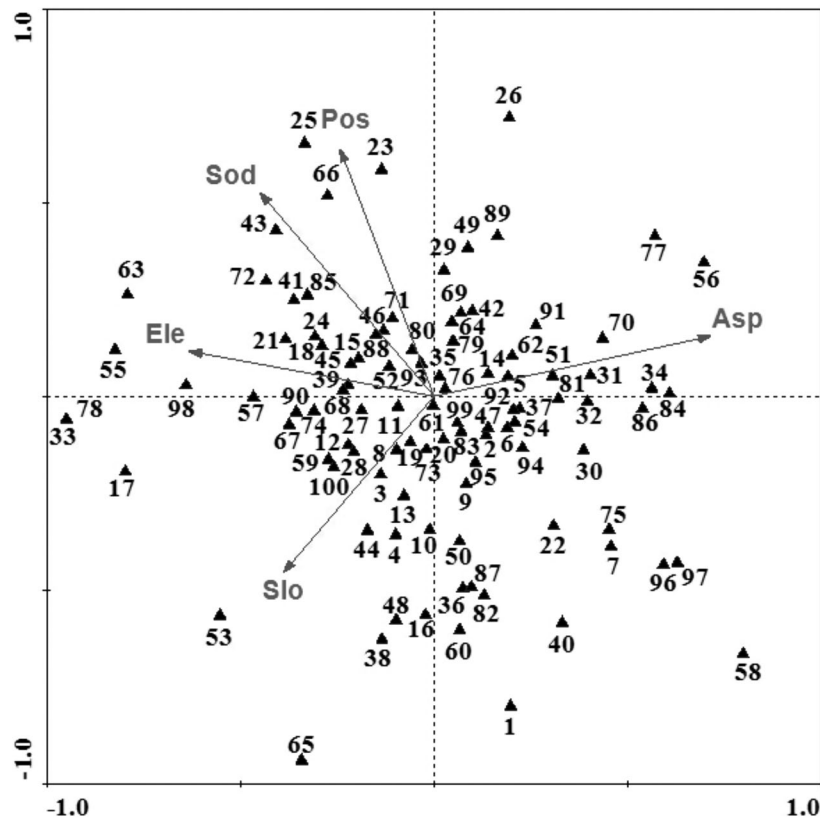


图3 主要优势种的 CCA 排序。物种编号 1~100 见表 1。  
 Fig. 3 CCA ordination of dominant species. Species No. 1-100 see Table 1.

蕈群丛(VII)、木荷+马尾松-木荷幼苗+榿木-紫蕈群丛(VIII)、苦槠+马尾松-木荷幼苗+榿木-紫蕈群丛(IX)。这些群丛灌木层多以榿木和木荷、枫香树等阔叶树种的幼苗为优势物种,这也从一定程度上展现了嵊州市近几年来在针叶林阔叶化工程的成效。在此基础上,选取坡位、坡度、坡向、海拔和土壤厚度等环境因子建立了环境因子矩阵,应用典范对应分析(CCA)进行群落排序,结果表明坡向和坡位因子是植物群落分布的主导环境因子。

植物的生长受各种环境因子的影响,分布在自己特定的适生区域,在植物群落演替的过程中,群落也受各种环境因子共同影响,向特定的方向演替发展。因此,环境因子状况不同的区域可以指示不同的群落类型,或者说在同一区域内环境因子的变化规律可以反映群落类型的更替情况。而微生物、土壤养分等决定最终的植物群落类型<sup>[2]</sup>。从本研究 TWINSpan 分类得到的 14 个群丛类型来看,每个群丛可指示一种立地条件,可用于嵊州市公益林分类管理单元的划分,表示公益林分类管理单元的植被类型。而在嵊州市公益林群落中,地形要素(如

坡向、坡位)对太阳能和降水量有再分配的作用,使得群落演替产生了差异性。虽然海拔和土壤厚度在一定程度上也影响着公益林的群落结构类型和种群空间分布格局,但由于研究区四面环山,中为盆地,平均海拔在 500~800 m,其影响是有限的,而坡向和坡位则成为研究区内公益林群落结构类型和空间分布的主导环境因子,可将其作为嵊州市公益林分类管理的重要依据。因此,结合 TWINSpan 分类和 CCA 排序的环境解析结果,可为今后公益林划分原则、确定依据和分类经营管理提供数据支撑的同时,为针叶林阔叶化进程中科学合理配置林型,充分发挥阔叶树种的生态系统效益提供理论指导。但由于目前公益林管理实践中群落自身互作及人类活动对群落格局的影响以及尚未涉及的环境因子、干扰因子较多,需要在未来的研究中将空间因子和环境因子进行充分考虑的基础上提供更加科学的解释途径。

参考文献

[1] Liu J.G. The Contemporary Ecology Theory [M]. Beijing: China



- Science and Technology Press, 1992: 49–59.
- 刘建国. 当代生态学博论 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 49–59.
- [2] Burke A. Classification and ordination of plant communities of the Naukluft Mountains, Namibia [J]. *J Veg Sci*, 2001, 12(1): 53–60.
- [3] Forman R T T. Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995: 68–69.
- [4] Swanson F J, Kratz T K, Caine N, et al. Landform effects on ecosystem patterns and processes: Geomorphic features of the earth's surface regulate the distribution of organisms and processes [J]. *BioScience*, 1988, 38(2): 92–98.
- [5] Liu Q F, Kang M Y, Liu Q R. Environmental gradient analysis and species group division of tree species distribution in eastern Zhongtiao Mountain [J]. *Chin J Ecol*, 2006, 25(11): 1306–1311.
- 刘秋锋, 康慕谊, 刘全儒. 中条山东段森林乔木树种分布的环境梯度分析与种组划分 [J]. *生态学报*, 2006, 25(11): 1306–1311.
- [6] Suriguga, Zhang J T, Zhang B, et al. Numerical classification and ordination of forest communities in the Songshan National Nature Reserve [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, 30(10): 2621–2629.
- 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.
- [7] Sui Z, Chang Y, Li Y H, et al. Relationships of *Arctium lappa* community distribution and species composition with eco-environmental factors [J]. *Chin J Ecol*, 2010(2): 215–220.
- 隋珍, 常禹, 李月辉, 等. 牛蒡群落分布、物种组成与生态环境因子的关系 [J]. *生态学报*, 2010(2): 215–220.
- [8] Li S M, Xie G D, Zhang C X, et al. Flow process of water conservation service of forest ecosystem [J]. *J Nat Resour*, 2010, 25(4): 585–593.
- 李士美, 谢高地, 张彩霞, 等. 森林生态系统水源涵养服务流量过程研究 [J]. *自然资源学报*, 2010, 25(4): 585–593.
- [9] Ma C X, Liu J J, Kang B W, et al. Evaluation of forest ecosystem carbon fixation and oxygen release services in Shanxi province from 1999 to 2003 [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, 30(6): 1412–1422.
- 马长欣, 刘建军, 康博文, 等. 1999–2003年陕西省森林生态系统固碳释氧服务功能价值评估 [J]. *生态学报*, 2010, 30(6): 1412–1422.
- [10] Chen Z M, Zheng Y S, Huang X H, et al. A study on water conservation function of mixed forests of *Taiwania flousiana* Gaussen [J]. *J Fujian Coll For*, 2002, 22(3): 266–269.
- 陈卓梅, 郑郁善, 黄先华, 等. 秃杉混交林水源涵养功能的研究 [J]. *福建林学院学报*, 2002, 22(3): 266–269.
- [11] Chen F, Wang J M, Sun B G, et al. Relationships of plant species distribution in different strata of *Pinus yunnanensis* forest with landform and climatic factors [J]. *Chin J Ecol*, 2012, 31(5): 1070–1076.
- 陈飞, 王健敏, 孙宝刚, 等. 云南松林不同层植物分布与地形、气候因子的关系 [J]. *生态学报*, 2012, 31(5): 1070–1076.
- [12] Liu M X, Wang G. Response of plant community diversity and soil factors to slope aspect in alpine meadow [J]. *Chin J Ecol*, 2013, 32(2): 259–265.
- 刘旻霞, 王刚. 高寒草甸植物群落多样性及土壤因子对坡向的响应 [J]. *生态学报*, 2013, 32(2): 259–265.
- [13] Zhang X P, Wang M B, She B, et al. Numerical classification and ordination of forest communities in Pangquangou National Nature Reserve [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, 26(3): 754–761.
- 张先平, 王孟本, 佘波, 等. 庞泉沟自然保护区森林群落的数量分类和排序 [J]. *生态学报*, 2006, 26(3): 754–761.
- [14] Zhang J T. Canonical principal component analysis of forest community in Lishan Nature Reserve, Shanxi Province, North China [J]. *J Biomath*, 2006, 20(2): 213–218.
- 张金屯. 历山自然保护区森林群落的典范主分量分析 [J]. *生物数学学报*, 2006, 20(2): 213–218.
- [15] Whittaker R H. Classification of Plant Communities [M]. Beijing: Science Press, 1985: 52–58.
- [16] Ju T Z, Wang Y, Ren H F, et al. Classification, ordination, and secondary forests in Xiaolongshan National Nature Reserve in west Qinling [J]. *Chin J Ecol*, 2012, 31(1): 23–29.
- 巨天珍, 王彦, 任海峰, 等. 小陇山国家级自然保护区次生林分类、排序及演替 [J]. *生态学报*, 2012, 31(1): 23–29.
- [17] Ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis [J]. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167–1179.
- [18] Ter Braak C J F, Prentice I C. A theory of gradient analysis [J]. *Adv Ecol Res*, 1988, 18: 271–317.
- [19] Luan Q S, Sun J, Song S Q, et al. Canonical correspondence analysis of summer phytoplankton community and its environment in the Yangtze River Estuary, China [J]. *J Plant Ecol*, 2007, 31(3): 445–450.
- 栾青杉, 孙军, 宋书群, 等. 长江口夏季浮游植物群落与环境因子的典范对应分析 [J]. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 445–450.
- [20] Ter Braak C J F. Canonical community ordination. Part I: Basic theory and linear methods [J]. *EcoScience*, 1994, 1(2): 127–140.