

缙云县公益林群落数量分类与排序

朱国亮¹, 商天其², 管杰然², 高洪娣³, 叶诺楠², 伊力塔²

(1. 浙江省缙云县林业局, 浙江 缙云 321400; 2. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江省林业生态工程管理中心, 浙江 杭州 310020)

摘要: 运用双向指示种分析法(TWINSPAN)和典型相关分析(CCA)方法, 从植物群落和环境变量关系的角度, 分析浙江省缙云县公益林群落立地条件对植物分布格局的影响。结果表明: 148个公益林监测样地经过二元指示种分析, 大致被划分为17类群丛, 其中以马尾松 *Pinus massoniana* 和杉木 *Cunninghamia lanceolata* 作为主要优势种的群丛数量最多, 占47.1%; CCA排序揭示了群落在该区的分布格局受到海拔和坡度影响最为主要。以缙云县公益林为对象, 基于地形因子与群落空间分布格局的关系, 将公益林群落划分为17个不同生活类型的群丛, 探寻一套适合缙云县群落单元划分的方案。图3表3参16

关键词: 森林生态学; 公益林; 双向指示种分析法; 典型相关分析; 缙云县

中图分类号: S757 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2017)01-0068-10

Numerical classification and ordination of public welfare forest communities in Jinyun

ZHU Guoliang¹, SHANG Tianqi², GUAN Jieran², GAO Hongdi³, YE Nuonan², Yilita²

(1. Forest Enterprise of Jinyun County, Jinyun 321400, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. Ecological Management Center, Forestry Department of Zhejiang Province, Hangzhou 310020, Zhejiang, China)

Abstract: In order to explore the relationship between the spatial distribution pattern of public forest communities and environmental factors, the 148 plots (20 m × 20 m for each) of public welfare forest in Jinyun were studied by two-way indicator species analysis (TWINSPAN) and canonical correspondence analysis (CCA). The results showed that 148 plots could be divided into 17 groups by TWINSPAN, which reflected that the group of *Pinus massoniana* and *Cunninghamia lanceolata* as constructive species were the dominant communities in Jinyun. The result of CCA revealed that the elevation and the slope were the main determinants of community distribution in the area. Quantitative classification and CCA can be used to conduct a comprehensive analysis of the relationship between distribution patterns of vegetation and environment and therefore will provide more scientific and reasonable basis for the classification of public welfare forest management units. [Ch, 3 fig. 3 tab. 16 ref.]

Key words: forest ecology; public welfare forest community; TWINSPAN; CCA; Jinyun

在植物群落结构研究领域, 双向指示种分析法(TWINSPAN)分类能够较好地对植物群落进行功能群划分, 认识区域植物群落生长特征, 为进一步了解植物分布格局奠定基础^[1]。TWINSPAN分类能够同时将样地和植物种进行分类, 是目前使用最广泛的植被数量分类方法^[2], 而典型相关分析(CCA)排序则是探究植物群落和地形因子两者关系的重要研究手段^[3]。随着公益林建设的不断深化, 其改善环境、维持

收稿日期: 2015-10-16; 修回日期: 2016-04-26

基金项目: 浙江省重点科技创新团队项目(2011R50027)

作者简介: 朱国亮, 工程师, 从事生态公益林管理研究。E-mail: 1196641369@qq.com。通信作者: 伊力塔, 副教授, 博士, 从事群落生态学和恢复生态学研究。E-mail: yilita@126.com

生态平衡的作用逐渐体现。近几年政府不断完善对公益林的经营管理，但由于公益林划分的现实需求，其生态区位分布通常较为偏远，同时缺乏专业人员的长期技术支持，公益林仍普遍存在林分质量不高，树种搭配、林层结构不合理的现象，公益林在调节区域生态系统功能、社会效益中应有的价值也未能充分发挥。因此，利用数量生态学方法探索出一套建立在环境差异基础上的公益林分类管理系统在当前的形势下非常必要，而通过对公益林群落的分类和排序则是认识公益林群落分布格局和植被特征的一条重要途径。本研究以浙江省缙云县公益林 148 个标准样地调查数据作为研究内容，结合 TWINSpan 分类和 CCA 排序，深入解析研究区公益林植物分布格局与地形因子之间的关系，挖掘其潜在价值，旨在充分发挥该地区公益林的社会效益和环境效益，科学分类，科学管理。

1 研究区概况

研究区缙云县(28°25′~28°57′N, 119°52′~120°25′E)位于浙江省南部内陆地区，地形以山地和丘陵为主要类型，是“八山一水一分田”的山区县^[4]。缙云县属亚热带海洋性季风气候，年平均气温为 17.9℃，年平均降水量 1 610.5 mm，年平均湿度 81%，年平均无霜期 282.0 d。区域内地形起伏变化大，气温差异显著，拥有“一山四季，山前分明山后不同天”的垂直立体气候的特征。自缙云县 1999 年建设公益林项目以来，至今公益林面积已经达到 30 333.33 hm²，占缙云县土地总面积的 20.17%，占林业用地面积的 26.24%，主要群落类型有马尾松 *Pinus massoniana* 林、杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林、阔叶林、针阔混交林、毛竹 *Phyllostachys edulis* 林和灌木林等^[4]。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

以缙云县森林资源二类清查的 3 887 个公益林小班数据为样本总体，从中随机抽取 148 个样本作为固定监测小班。全面踏查 148 个固定监测小班，在典型区域设置 20 m × 20 m 的固定样地，运用每木调查方法，记录样地内乔木层树种名、胸径、树高和冠幅等参数；在样地对角线上均匀设置 3 个 2 m × 2 m 的灌木、草本固定小样方，分别记录种名、株数、盖度和高度等参数^[4]。样地设置完成后，详细记录样地地理信息，包括全球定位系统(GPS)坐标、海拔高度、坡向、坡位、坡度等。

2.2 数据处理

2.2.1 重要值 利用 Excel 软件计算出 148 个样地中每个物种的重要值。乔木层重要值=(相对显著度+相对多度+相对高度)/3；灌木层和草本层重要值=(相对多度+相对盖度)/2^[5]。

2.2.2 地形因子 本研究主要研究的地形因子是海拔高度、坡度、坡位和坡向。为了方便建立环境数据的梯度变化与植物群落分布格局的相关性，运用固定的转换方法，将坡位、坡度和坡向的实测数据转换为不同等级，坡位以数字表示等级：1 代表下坡位，2 代表中坡位，3 代表上坡位，4 代表全坡位^[6]。坡度标准化公式为： $S_p = S/90 \times 200\%$ ，其中： S_p 为百分比坡度， S 为坡度， S_p 取值范围为(0, 200)^[6]，值越大，表示坡度越陡。坡向标准化方法为：以正东方向为起点(0°)，顺时针旋转，隔 45°划分成 1 个区间，每个区间用数字表示等级，1 表示北坡(247.5°~292.5°)，2 表示东北坡(292.5°~337.5°)，3 表示西北坡(202.5°~247.5°)，4 表示东坡(337.5°~22.5°)，5 表示西坡(157.5°~202.5°)，6 表示东南坡(22.5°~67.5°)，7 表示西南坡(112.5°~157.5°)，8 表示南坡(67.5°~112.5°)，数值越大表示坡向越向阳，得到的阳光越多^[7]。用现实测量值指示海拔的变化。

2.2.3 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群落类型，其分类根据“指示种”(或称指示指标)将样地类型与物种构成依次划分为各个等级的类型单元^[8]。本研究采用群落重要值大于 0.1 的优势物种作为研究对象，进行 TWINSpan 分类。

2.2.4 CCA 排序 CCA 排序是一种采用非线性多元直接梯度分析的方法，其原理是结合对应分析和多元回归进行综合分析，利用森林调查数据建立环境矩阵和物种矩阵进行 CCA 排序，从而详细研究物种与环境的关系^[9-10]。本研究选取 4 个地形因子(海拔高度、坡位、坡度、坡向)构成环境因子矩阵，由重要值大于 0.1 的 179 个的物种构成物种数据矩阵。

3 结果和分析

3.1 物种重要值

计算研究区群落内所有物种的重要值, 结果如表 1 所示。

表 1 主要物种的重要值
Table 1 Importance values of main species

层	物种	重要值	编号	物种	重要值	编号
乔木层	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	29.121 7	20	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	29.054 0	26
	毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i>	17.078 5	23	木荷 <i>Schima superba</i>	2.669 1	24
	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	2.362 7	8	油茶 <i>Camellia oleifera</i>	1.816 9	39
	白栎 <i>Quercus fabri</i>	1.685 9	1	少叶黄杞 <i>Engelhardtia fenzelii</i>	1.652 3	29
	板栗 <i>Castanea mollissima</i>	1.424 3	2	苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	1.169 0	16
	合欢 <i>Albizia julibrissin</i>	0.985 9	10	柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i>	0.950 7	18
	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	0.835 5	25	杨梅 <i>Myrica rubra</i>	0.819 2	37
	化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	0.645 5	13	锥栗 <i>Castanea henryi</i>	0.452 7	42
	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	0.424 6	31	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	0.374 3	14
	毛山樱桃(毛樱桃) <i>Cerasus tomentosa</i>	0.373 6	22	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	0.290 1	35
	乌药 <i>Lindera aggregata</i>	0.272 1	33	东南石栎(港柯) <i>Lithocarpus harlandii</i>	0.257 2	6
	灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i>	0.256 8	5	鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense</i>	0.249 1	7
	乌冈栎 <i>Quercus phillyraeoides</i>	0.247 3	32	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	0.237 7	19
	云山八角枫 <i>Alangium kurzii</i> var. <i>handelii</i>	0.230 7	41	油桐 <i>Vernicia fordii</i>	0.205 3	40
	檫木 <i>Sassafras tsumu</i>	0.192 3	4	榔榆 <i>Ulmus parvifolia</i>	0.168 5	17
	猴欢喜 <i>Sloanea sinensis</i>	0.162 1	11	山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	0.156 3	27
	狗骨柴 <i>Diplospora dubia</i>	0.129 9	9	榿木 <i>Loropetalum chinense</i>	0.120 3	15
	厚朴 <i>Magnolia officinalis</i>	0.114 8	12	石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>	0.113 4	30
	羊舌树 <i>Symplocos glauca</i>	0.113 1	38	杏 <i>Armeniaca vulgaris</i>	0.111 7	36
	细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>	0.109 7	34	山乌柏 <i>Sapium discolor</i>	0.102 2	28
豹皮樟 <i>Litsea coreana</i> var. <i>sinensis</i>	0.102 1	3	茅栗 <i>Castanea seguinii</i>	0.100 0	21	
层	物种	重要值	编号	物种	重要值	编号
灌木层	黄杨 <i>Buxus sinica</i>	10.466 3	73	枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	7.209 9	63
	茶 <i>Camellia sinensis</i>	7.082 0	47	迎春樱桃 <i>Cerasus discoidea</i>	6.609 9	130
	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i>	5.435 1	107	络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>	3.149 3	85
	映山红(杜鹃) <i>Rhododendron simsii</i>	3.106 9	131	光叶菝葜 <i>Smilax corbularia</i> var. <i>woodii</i>	2.753 8	66
	微毛柃 <i>Eurya hebeclados</i>	2.732 0	115	白栎 <i>Quercus fabri</i>	2.531 2	44
	毛花连蕊茶 <i>Camellia fraterna</i>	2.412 5	91	山茶 <i>Camellia japonica</i>	2.134 7	103
	山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	2.072 2	106	乌冈栎 <i>Quercus phillyraeoides</i>	1.914 5	117
	绒毛润楠 <i>Machilus velutina</i>	1.425 5	101	菝葜 <i>Smilax china</i>	1.362 4	43
	刺葡萄 <i>Vitis davidii</i>	1.322 7	96	金樱子 <i>Rosa laevigata</i>	1.321 1	77
	板栗(栗) <i>Castanea mollissima</i>	1.226 4	45	榿木 <i>Loropetalum chinense</i>	1.219 8	74
	香叶树 <i>Lindera communis</i>	1.070 4	121	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	1.054 3	114
	大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>	0.997 0	51	桤木 <i>Alnus cremastogyne</i>	0.960 9	80
	化香 <i>Platycarya strobilacea</i>	0.889 6	71	青皮木 <i>Schoepfia jasminodora</i>	0.882 7	98
	杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	0.865 5	57	羊角藤 <i>Morinda umbellata</i>	0.846 3	125
	矩叶鼠刺 <i>Itea oblonga</i>	0.814 0	79	榉树 <i>Zelkova serrata</i>	0.781 3	78
	香港黄檀 <i>Dalbergia millettii</i>	0.750 9	120	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.685 0	87
	梔子 <i>Gardenia jasminoides</i>	0.665 5	137	猴欢喜 <i>Sloanea sinensis</i>	0.652 7	69
	云山八角枫 <i>Alangium kurzii</i> var. <i>handelii</i>	0.612 1	134	大青 <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	0.599 9	50
	马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	0.590 3	88	山矾 <i>Symplocos sumuntia</i>	0.523 3	104
	忍冬 <i>Lonicera japonica</i>	0.471 7	100	格药柃 <i>Eurya muricata</i>	0.459 8	64

表 1 (续)

Table 1 Continued

层	物种	重要值	编号	物种	重要值	编号
灌木层	豆腐柴 <i>Premna microphylla</i>	0.443	0 54	寒莓 <i>Rubus buergeri</i>	0.434	3 67
	毛果南烛 <i>Lyonia ovalifolia</i> var. <i>elliptica</i>	0.433	4 90	流苏子 <i>Coptosapelta diffusa</i>	0.422	3 59
	浙江红山茶 <i>Camellia chekiangoleosa</i>	0.401	0 136	窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i>	0.395	6 135
	冬青 <i>Ilex chinensis</i>	0.388	3 56	蛇葡萄 <i>Ampelopsis sinica</i>	0.384	8 109
	野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i>	0.383	1 128	乌药 <i>Lindera aggregata</i>	0.380	3 118
	蓬蘽 <i>Rubus hirsutus</i>	0.370	9 95	结香 <i>Edgeworthia chrysantha</i>	0.356	7 75
	忍冬 <i>Lonicera japonica</i>	0.353	6 76	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	0.335	5 72
	石岩枫 <i>Mallotus repandus</i>	0.328	3 112	对萼猕猴桃 <i>Actinidia valvata</i>	0.327	5 58
	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.325	6 102	紫藤 <i>Wisteria sinensis</i>	0.314	2 139
	短柄枹栎 <i>Quercus glandulifera</i>	0.303	0 53	雀梅藤 <i>Sageretia thea</i>	0.302	2 99
	苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	0.266	6 81	老鼠矢 <i>Symplocos stellaris</i>	0.255	5 83
	乌饭树 <i>Vaccinium bracteatum</i>	0.247	4 116	杨梅 <i>Myrica rubra</i>	0.236	6 126
	饭汤子 <i>Viburnum setigerum</i>	0.234	7 62	椴木 <i>Aralia chinensis</i>	0.230	0 49
	秀丽野海棠 <i>Bredia amoena</i>	0.222	7 123	地苣 <i>Melastoma dodecandrum</i>	0.220	5 52
	茅栗 <i>Castanea seguinii</i>	0.217	1 92	油茶 <i>Camellia oleifera</i>	0.215	9 132
	麻栎 <i>Quercus acutissima</i>	0.202	7 86	山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	0.184	4 105
	东南石栎 <i>Lithocarpus harlandii</i>	0.184	3 55	满山红 <i>Rhododendron mariesii</i>	0.183	6 89
	石斑木 <i>Raphiolepis indica</i>	0.182	0 110	木荷 <i>Schima superba</i>	0.179	7 93
	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	0.177	8 122	钝药野木瓜 <i>Stauntonia leucantha</i>	0.171	8 60
	六月雪 <i>Serissa japonica</i>	0.167	5 84	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	0.167	5 124
	豹皮樟 <i>Litsea coreana</i> var. <i>sinensis</i>	0.161	5 46	华东菝葜 <i>Smilax sieboldii</i>	0.159	6 70
	油桐 <i>Vernicia fordii</i>	0.150	5 133	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>	0.147	0 97
	鹅掌楸 <i>Liriodendron chinense</i>	0.145	7 61	下江忍冬 <i>Lonicera modesta</i>	0.143	9 119
	野山楂 <i>Crataegus cuneata</i>	0.143	7 129	狗骨柴 <i>Diplospora dubia</i>	0.135	7 65
	长叶荚蒾 <i>Viburnum lancifolium</i>	0.130	8 48	红果山胡椒 <i>Lindera erythrocarpa</i>	0.126	7 68
	爬岩红 <i>Veronicastrum axillare</i>	0.115	9 94	桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	0.113	8 113
	少叶黄杞 <i>Engelhardia fenzelii</i>	0.111	8 108	石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>	0.106	9 111
	周毛悬钩子 <i>Rubus amphidasys</i>	0.104	1 138	羊舌树 <i>Symplocos glauca</i>	0.100	2 127
	苦竹 <i>Pleioblastus amarus</i>	0.097	5 82			
草本层	芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	52.321	1 161	龙须藤 <i>Bauhinia championii</i>	13.284	2 158
	丝茅 <i>Imperata koenigii</i>	8.187	8 170	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i>	5.128	8 153
	竹叶茅 <i>Microstegium nudum</i>	3.179	6 178	紫萁 <i>Osmunda japonica</i>	2.555	4 179
	牛筋草 <i>Eleusine indica</i>	2.139	7 162	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	1.210	1 143
	山类芦 <i>Neyraudia montana</i>	0.933	5 165	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	0.757	0 160
	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	0.700	6 164	油点草 <i>Tricyrtis macropoda</i>	0.617	4 176
	金线草 <i>Antenoron filiforme</i>	0.608	5 151	阔鳞鳞毛蕨 <i>Dryopteris championii</i>	0.569	1 155
	微糙三脉紫菀 <i>Aster ageratoides</i>	0.498	3 171	下田菊 <i>Adenostemma lavenia</i>	0.477	4 174
	蛇莓 <i>Duchesnea indica</i>	0.460	2 168	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	0.444	4 173
	蛇含萎陵菜 <i>Potentilla kleiniana</i>	0.432	7 167	珠穗藨草 <i>Carex ischnostachya</i>	0.226	1 177
	假蹄盖蕨 <i>Athyriopsis japonica</i>	0.216	9 149	斑茅 <i>Saccharum arundinaceum</i>	0.211	0 141
	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	0.204	5 146	春兰 <i>Cymbidium goeringii</i>	0.203	5 142
	里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	0.186	4 156	狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	0.181	3 145
	金毛耳草 <i>Hedyotis chrysotricha</i>	0.180	0 150	花点草 <i>Nanocnide japonica</i>	0.178	0 148
	疏花野青茅 <i>Deyeuxia arundinacea</i> var. <i>laxiflora</i>	0.172	2 169	六月雪 <i>Serissa japonica</i>	0.166	2 157
	羊角藤 <i>Morinda umbellata</i>	0.155	2 175	苦竹 <i>Pleioblastus amarus</i>	0.154	9 154
	黑足鳞毛蕨 <i>Dryopteris fuscipes</i>	0.142	1 147	白苞蒿 <i>Artemisia lactiflora</i>	0.134	1 140

表 1 (续)

Table 1 Continued

层	物种	重要值	编号	物种	重要值	编号
草本层	糯米团 <i>Gonostegia hirta</i>	0.130	9 163	龙芽草 <i>Agrimonia pilosa</i>	0.128	4 159
	甘菊 <i>Dendranthema lavandulifolium</i>	0.126	1 144	山麦冬 <i>Liriope spicata</i>	0.124	9 166
	蜈蚣草 <i>Eremochloa ciliaris</i>	0.105	6 172	金星蕨 <i>Parathelypteris glanduligera</i>	0.103	5 152

说明：为方便 CCA 出图及分析将表中物种分别进行编号，每个物种对应编号见编号列。

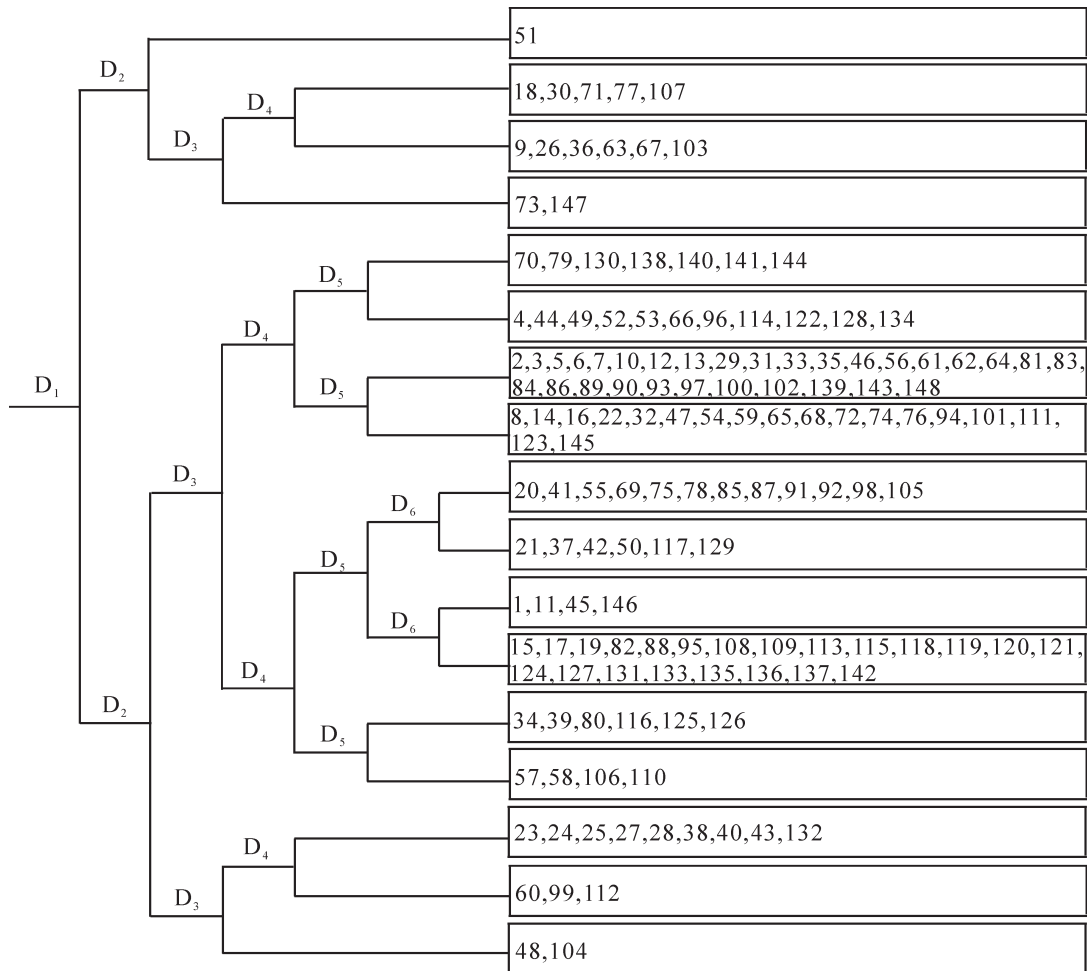
3.2 TWINSpan 分类

依据《中国植被》的分类原则和系统^[11]，对缙云县公益林随机抽取的 148 个样地调查数据进行 TWINSpan 方法分类，分为 17 个群丛(图 1)。

I：灯台树-毛果南烛+豹皮樟幼苗-蕨群丛，即样地 51。该群丛的海拔为 700 m，坡度为 35°。在乔木层中，灯台树占据主要优势，其次山鸡椒、马尾松、豹皮具有较大的竞争力；在灌木层中，毛果南烛、豹皮樟幼苗占据主导地位，映山红、山矾次之；蕨是草本层中的优势种，在草本层中起着主导作用。

II：枫香+木荷-榿木+杉木幼苗-芒萁+丝茅+黑足鳞毛蕨群丛，含样地 18, 30, 71, 77 和 107。该群丛分布的海拔为 300~650 m，坡度为 30°~35°。枫香树、木荷为乔木层中的主要优势树种，板栗、榿木、合欢为伴生树种；在灌木层中，榿木、杉木幼苗占据优势，板栗幼苗次之；在草本层中，优势树种有芒萁、丝茅、黑足鳞毛蕨，苦槠幼苗、蕨等为主的伴生树种。

III：木荷+苦槠+白栎-格药枥+榉树幼苗-芒萁+紫萁群丛，含样地 9, 26, 36, 63, 67 和 103。该群丛分布的海拔为 200~800 m，坡度为 20°~40°。在乔木层中，木荷、苦槠、白栎等 3 个树种占据主要优



D₁~D₆表示聚类层次。

图 1 148 块样地的分类树状图

Figure 1 The dendrogram classification of 148 plots

势，合欢、马尾松、木荷次之；在灌木层中，格药柃、榉树幼苗重要值远高于其他树种，山茶和映山红具有潜在的竞争力；草本层主要生长着芒萁和紫萁。

IV：杨梅-茶+槲木-丝茅+紫萁群落，即样地 73 和 149。该群落分布的海拔为 250~350 m，坡度为 15°~30°。在乔木层中，以杨梅为主；在灌木层中，茶和槲木占据优势，板栗幼苗次之；在草本层中，丝茅和紫萁占据主要优势。

V：马尾松+化香+狗骨柴-乌饭树+山莓-芒萁+紫萁+牛筋草群落，含样地 70, 79, 131, 140, 142, 143 和 146。该群落分布的海拔为 700~1 150 m，坡度为 20°~40°。在乔木层中，以马尾松、化香和狗骨柴为主要优势树种，鹅掌楸和木荷为伴生树种；在灌木层中，乌饭树和山莓生存情况优于映山红；芒萁、紫萁和牛筋草在草本层中占据主要优势，丝茅次之。

VI：木荷+马尾松-乌饭树+槲木+青冈幼苗-芒萁群落，含样地 4, 44, 49, 52, 53, 66, 96, 114, 122, 128 和 135。该群落分布的海拔为 300~1 050 m，坡度为 15°~40°。在乔木层中，马尾松和木荷具有明显的优势，杉木、苦槠和青冈具有潜在竞争力，马尾松有被逐步淘汰的趋势；灌木层中占据明显优势的树种是乌饭树、槲木和青冈幼苗，马尾松幼苗次之；草本层优势树种为青冈幼苗和芒萁，牛筋草、丝茅和龙须藤为伴生树种。

VII：马尾松-槲木+马尾松幼苗-芒萁+丝茅群落，含样地 2, 3, 5, 6, 7, 10, 12, 13, 29, 31, 33, 35, 46, 56, 61, 62, 64, 81, 83, 84, 86, 89, 90, 93, 97, 100, 102, 141, 145 和 150。该群落分布的海拔为 200~1 000 m，坡度为 15°~40°。该群落乔木层以马尾松为主，伴随生长有少叶黄杞、木荷和枫香树；灌木层主要以槲木和马尾松幼苗为主，伴生生长有短柄枹栎幼苗、满山红和格药柃；草本层主要以芒萁和丝茅为主，紫萁和牛筋草伴随生长。

VIII：马尾松-槲木+板栗+映山红-芒萁群落，含样地 8, 14, 16, 22, 32, 47, 54, 59, 65, 68, 72, 74, 76, 94, 101, 111, 123 和 147。该群落分布的海拔为 220~1 150 m，坡度为 15°~40°。在乔木层中马尾松占有绝对优势，有杉木伴生；灌木层中以槲木、板栗幼苗和映山红为主，山茶、山矾、木荷幼苗为伴生树种；草本层以芒萁、求米草居多，有蕨和龙须藤伴生。

IX：杉木+马尾松-槲木+格药柃-芒萁群落，含样地 20, 41, 55, 69, 75, 78, 85, 87, 91, 92, 98 和 105。该群落分布的海拔为 270~680 m，坡度为 20°~40°。在乔木层中，杉木和马尾松占据主要优势，青冈和枫香树伴生；在灌木层中，槲木和格药柃为优势树种，映山红和杉木幼苗为主要伴生树种；在草本层中，芒萁占据优势，牛筋草和丝茅次之。

X：杉木+马尾松-杉木幼苗+油茶幼苗-丝茅+龙须藤群落，含样地 21, 37, 42, 50, 117 和 130。该群落分布的海拔为 250~950 m，坡度为 20°~30°。在乔木层中，杉木和马尾松占据主要优势，樟树和枫香次之；在灌木层中，杉木幼苗和油茶幼苗分布广泛，乌饭树和格药柃也有少量存在，重要值相对较小；在草本层中，丝茅和龙须藤是主要的竞争树种，广泛分布蕨、狗脊蕨和阔鳞鳞毛蕨等物种。

XI：少叶黄杞+马尾松+杉木-杉木幼苗+山矾+结香-龙须藤+芒萁+狗脊蕨群落，含样地 1, 11, 45 和 148。该群落分布的海拔为 200~600 m，坡度为 25°~40°。在乔木层中，少叶黄杞、马尾松和杉木占据了主要优势，合欢和榔榆次之；在灌木层中，杉木幼苗、山矾和结香分布相对于其他物种较多，同时伴生有豆腐柴；在草本层中，龙须藤、芒萁和狗脊蕨的重要值更大，为主要的优势树种，伴随生长的还有金毛耳草和黑足鳞毛蕨。

XII：杉木+马尾松-杉木幼苗+苦槠幼苗+格药柃-芒萁+蕨群落，含样地 15, 17, 19, 82, 88, 95, 108, 109, 113, 115, 118, 119, 120, 121, 124, 127, 132, 134, 136, 137, 139 和 144。该群落分布的海拔为 200~1 200 m，坡度为 30°~50°。在乔木层中，杉木和马尾松重要值最显著，枫香和木荷次之；在灌木层中，杉木幼苗、苦槠幼苗和格药柃占据主要优势，山莓、乌药和油茶幼苗次之；在草本层中，芒萁和蕨占据优势，金线草、丝茅和春兰次之。

XIII：油茶+马尾松-油茶幼苗+槲木+寒莓-龙须藤+牛筋草群落，含样地 34, 39, 80, 116, 125 和 126。该群落分布的海拔为 320~800 m，坡度为 30°~40°。油茶和马尾松在乔木层中占据优势，杉木和鹅掌楸次之，杉木更具有竞争力；在灌木层中，有油茶幼苗、槲木和寒莓大量分布，无其他明显伴生树种；在草本层中，龙须藤和牛筋草的分布情况优于映山红幼苗和槲木幼苗。

XIV: 厚朴+油茶-榿木+格药铃+华东菝葜-芒萁+蛇莓群丛, 含样地 57, 58, 106 和 110。该群丛分布的海拔为 250~600 m, 坡度为 15°~35°。在乔木层中, 厚朴和油茶相对于板栗具有更明显的竞争优势; 在灌木层中, 榿木、格药铃和华东菝葜占据主要优势, 山茶和杉木幼苗次之; 在草本层中, 芒萁和蛇莓占据主要优势, 丝茅和龙须藤次之。

XV: 毛竹-金银花-山类芦群丛, 含样地 23, 24, 25, 27, 28, 38, 40, 43 和 133。该群丛分布的海拔为 300~1 200 m, 坡度为 15°~40°。毛竹林在乔木层中毛竹占有主要优势; 灌木层中主要分布有金银花, 杉木幼苗和木荷幼苗; 草本层中只有山类芦一个优势树种, 伴生有龙须藤、阔鳞鳞毛蕨和芒萁。

XVI: 毛竹+板栗+马尾松-青冈幼苗+乌药-求米草+芒萁群丛, 含样地 60, 99 和 112。该群丛分布的海拔为 200~600 m, 坡度为 35°~40°。乔木层优势树种较多, 有毛竹、板栗和马尾松, 伴生树种只有青冈和木荷; 灌木中以青冈幼苗和乌药为主, 映山红、乌冈栎幼苗、茶次之; 草本层优势树种为求米草和芒萁, 伴生树种主要为牛筋草和羊角藤。

XVII: 毛竹+杨梅-金银花+雀梅藤-花点草+丝茅群丛, 含样地 48 和 104。该群丛分布的海拔为 200~400 m, 坡度为 20°~30°。在乔木层中, 毛竹、杨梅占据主要优势, 油茶和杉木次之; 在灌木层中, 金银花和雀梅藤占据主要优势, 山莓、茶和青冈幼苗次之; 在草本层中, 花点草和丝茅是主要优势种, 而金线草、蛇莓的优势次之。

3.3 典型相关分析(CCA)排序

运用 CCA 排序对植物群落和环境因子进行分析, 可以较直观地表现出群落格局与生境之间的联系, 深入了解不同植物对立地条件的要求, 在公益林经营管理中采取适当措施可将不同植物群落划分为一个管理单元^[12]。在 CCA 的二维排序图中, 一个箭头指示一个环境因子, 中心点到箭头之间的长短可以指示植物分布与该环境因子关系的强弱, 箭头所处象限指示着环境因子与排序轴的正负相关性^[3]。由表 2 可知: CCA 排序前两轴的特征值为

表 2 CCA 排序的特征值以及物种和环境的相关性

CCA 值	特征值	物种环境相关	物种方差累计 贡献率/%	物种环境关系方差累积 贡献率/%
轴 1	0.243 0	0.879 0	1.70	30.10
轴 2	0.143 0	0.758 0	2.80	47.70
轴 3	0.129 0	0.722 0	3.70	63.70
轴 4	0.117 0	0.720 0	4.50	78.10

0.243 0 和 0.143 0, 物种-环境相关系数为 0.879 0 和 0.758 0, 物种-环境关系方差累计贡献率达到 47.7%。图 2 为 CCA 排序结果, 由图 2 可知: 4 个地形因子中, 海拔高度与轴 1 的相关系数最大, 为 0.882 6(表 3), 表明轴 1 主要反映植物群落随海拔高度变化的分布情况, 即沿轴 1 从左往右, 随着海拔高度升高, 水分条件和温度下降。由此可见, 在轴 1 水平上, 海拔高度是主要影响因子。与轴 2 相关系数最大的因子是坡度, 为-0.635 4, 再者是坡位, 相关系数为-0.350 6(表 3)。轴 2 表明植物群落随坡度和坡位变化的分布变化, 即

表 3 4 个立地因子与 CCA 轴的相关系数

CCA 轴	坡位	坡度	海拔	坡向
轴 1	-0.144 6	0.088 1	0.882 6	0.119 9
轴 2	-0.350 6	-0.635 4	0.011 7	0.197 6
轴 3	-0.569 3	0.295 4	0.001 8	-0.152 6
轴 4	-0.097 9	0.106 2	0.622 9	-0.004 2

沿轴 2 自下至上, 随着坡度和坡位减小, 植物群落的生长环境更加优越^[13]。由上可见, 在所调查的 4 个立地因子中, 海拔和坡度是对缙云县公益林群落分布起决定作用的主要因子。

对优势种的 CCA 分析结果如图 3: 在缙云县公益林群落中, 环境因子对物种分布和群落样方分布的影响具有很大的相似性。分析第 1 轴得知, 对于聚集在第 1 轴右侧的物种, 海拔因子是主要影响因子, 如爬岩红、油点草、化香、山乌柏和羊角藤等; 板栗、金线草、东南石栎、花点草和杨梅这些适应低海拔区域的物种则位于第 1 轴的左端。对第 2 轴进行分析, 其上端表示群落的生境坡度缓、坡位较低, 分布着杜荃山、蛇含萎陵菜、蛇莓、石栎、桃金娘等物种, 而珠穗藁草、淡竹叶、紫藤、马银花、周毛悬钩子、六月雪等物种的分布则与之相反。图 3 中央区域的物种, 如木荷、苦槠、甜槠、榿木、莎草、金毛耳草、苦竹等, 在各个样地中基本都有分布, 表明此类物种受环境条件限制较小, 在缙云县可以广泛推广, 具有较强的生存能力。

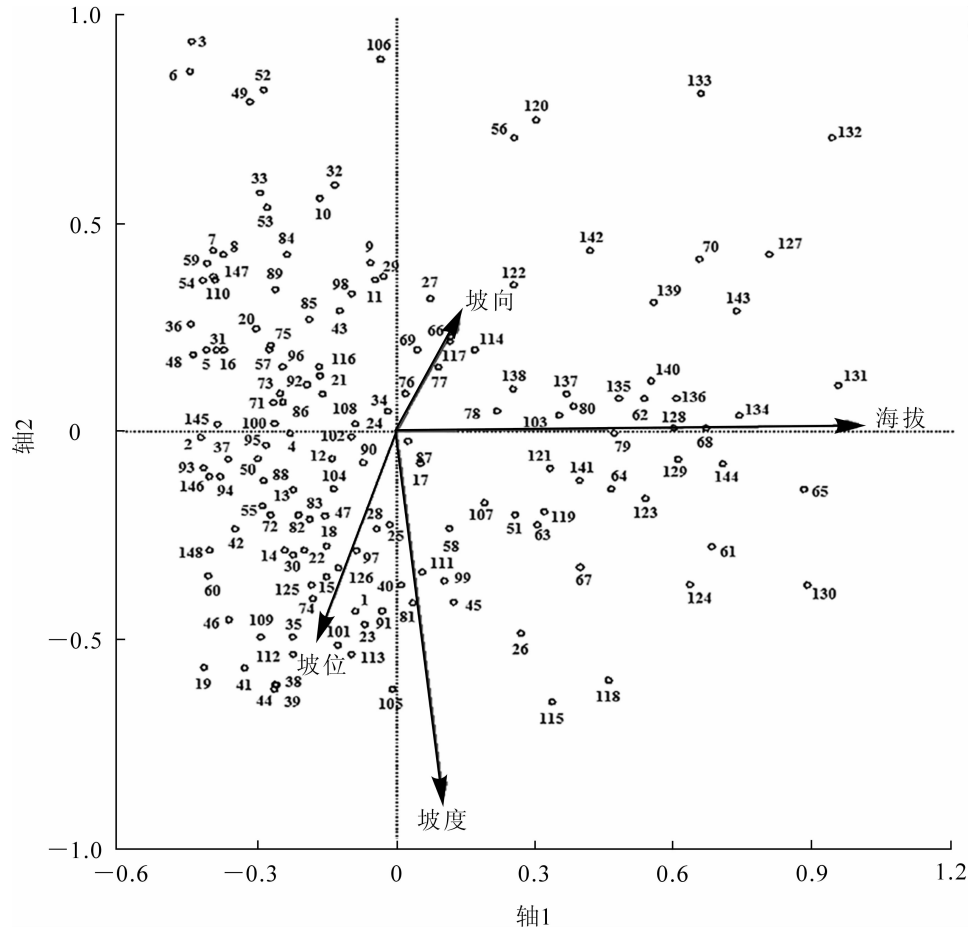


图 2 缙云县样地典型相关分析(CCA)二维排序图

Figure 2 CCA two-dimensional ordination of plots in Jinyun County

4 结论与讨论

本研究运用数量生态学方法，结合 TWINSpan 分类和 CCA 排序对浙江省缙云县公益林进行分类排序。TWINSpan 分类将研究区 148 个固定样地分成 17 个不同结构的群丛。根据 CCA 排序的结果，在研究中涉及到的 4 个地形条件中，海拔因子和坡度因子是影响研究区公益林植物群落分布的主导因子。

由 TWINSpan 分类得到的 17 类群丛具有 17 种立地条件，各有不同的植被类型，可为缙云县公益林类别划分提供参考。另外我们发现，群丛多以马尾松和杉木为主要优势树种，但在马尾松或杉木占据主要优势的群丛中，伴生树种以幼小的阔叶树种为主，如木荷、檫木、枫香等，在灌木层中阔叶树种更是占据主导优势。说明阔叶树种在缙云县公益林群落中具有很大的竞争潜力，在群落演替的后期有可能会代替马尾松、杉木等针叶树种成为主要优势种。

CCA 排序表明海拔高度与轴 1 相关性最高，坡度与第 2 轴的相关性最高，即海拔高度和坡度是影响缙云县公益林群落格局的主导因子。很多研究表明，海拔高度是可间接影响水分、湿度及温度的立地因子，在任何尺度的研究中，海拔高度对物种生存和区域丰富度都具有重要的意义^[14]。坡度作为地形因子中的重要成员，其变化决定了土壤保水的能力，在植物生长过程中限制了水分的供给^[15]，间接影响植物群落分布格局。在缓坡区域，因为表层土壤不易流失，保水保肥效果好，土壤水分含量、有机质含量相对于坡度陡峭区域高，适合喜湿润植物或大部分植物生存；而在坡度陡峭的区域，重力作用使得土壤中的水分不断流向下层土壤，再加上地表径流的冲刷使得表层土壤更容易流失，土壤养分流失，肥力下降，使得陡坡表层土壤的水分条件，营养条件远低于缓坡。立地因子可以对太阳能和降水量达到再分配的作用，因此，立地因子不同的地域具有不同的植被类型，或者说在同一地域内立地因子的差异可以反映植被类型的演替情况^[16]。目前的分析结果显示，在缙云县公益林群落中，海拔和坡度这 2 个立地因子对该区域植物群落类型的发展起着主导作用。

- nology Press, 1995: 318 – 334.
- [2] 张峰, 张金屯. 我国植被数量分类和排序研究进展[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2000, **23**(3): 278 – 282.
ZHANG Feng, ZHANG Jintun. Research progress of numerical classification and ordination of vegetation in China [J]. *J Shanxi Univ Nat Sci Ed*, 2000, **23**(3): 278 – 282.
- [3] 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.
- [4] 钱逸凡, 伊力塔, 钊培民, 等. 浙江缙云公益林生物量及固碳释氧效益 [J]. 浙江农林大学学报, 2012, **29**(2): 257 – 264.
QIAN Yifan, YI Lita, DOU Peimin, *et al.* Biomass and carbon fixation with oxygen release benefits in an ecological service forest of Jinyun County, China [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2012, **29**(2): 257 – 264.
- [5] 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.
ZHANG Jintun. Canonical principal component analysis of forest community in Lishan Nature Reserve, Shanxi Province, North China [J]. *J Biomath*, 2006, **20**(2): 213 – 218.
- [6] 代力民, 唐立娜, 曹玉明, 等. 辽东山区生态土地分类中的植物群落数量分析[J]. 林业科学, 2008, **44**(3): 6 – 12.
DAI Limin, TANG Lina, CAO Yunming, *et al.* Quantitative classification and ordination aiming to realize ecological land classification for the mountainous region in Eastern Liaoning Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2008, **44**(3): 6 – 12.
- [7] 张峰, 张金屯, 张峰. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释[J]. 生态学报, 2003, **23**(3): 421 – 427.
ZHANG Feng, ZHANG Jintun, ZHANG Feng. Pattern of forest vegetation and its environmental interpretation in Zhuweigou, Lishan Mountain Nature Reserve [J]. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23**(3): 421 – 427.
- [8] WHITTAKER R H. *Classification of Plant Communities* [M]. The Hague: Kluwer Academic Publishers Group, 1980: 52 – 58.
- [9] TER BRAAK C J F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis [J]. *Ecology*, 1986, **67**(5): 1167 – 1179.
- [10] TER BRAAK C J F, PRENTICE I C. A theory of gradient analysis [J]. *Adv Ecol Res*, 1988, **18**: 271 – 317.
- [11] 吴征镒. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 43 – 56.
- [12] 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.
LUAN Qingshan, SUN Jun, SONG Shuqun, *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.
- [13] 刘金根, 薛建辉. 坡度对香根草护坡植物群落早期特征的影响[J]. 草原与草坪, 2010, **30**(2): 56 – 61.
LIU Jingen, XUE Jianhui. Impacts of slope gradient on the characteristics of *Vetiveria zizanioides* community in early stage [J]. *Grassland Turf*, 2010, **30**(2): 56 – 61.
- [14] 任学敏, 杨改河, 王得祥, 等. 环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响[J]. 生态学报, 2012, **32**(2): 605 – 613.
REN Xuemin, YANG Gaihe, WANG Dexiang, *et al.* Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an *Abies fargesii*-*Betula utilis* mixed forest [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, **32**(2): 605 – 613.
- [15] 陈瑶, 胥晓, 张德然, 等. 四川龙门山西北部植被分布与地形因子的相关性[J]. 生态学杂志, 2006, **25**(9): 1052 – 1055.
CHEN Yao, XU Xiao, ZHANG Deran, *et al.* Correlations between vegetation distribution and topographical factors in the northwest of Longmen Mountain, Sichuan Province [J]. *Chin J Ecol*, 2006, **25**(9): 1052 – 1055.
- [16] 商天其, 郑超超, 高洪娣, 等. 嵊州市公益林群落数量分类、排序及环境解析[J]. 热带亚热带植物学报, 2015, **23**(2): 334 – 342.
SHANG Tianqi, ZHENG Chaochao, GAO Hongdi, *et al.* Numerical classification, ordination and environment analysis of public welfare forest community in Shengzhou [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2015, **23**(2): 334 – 342.