

江苏宝华山植物群落结构及其环境解释

张晓晨^{a,b}, 杨国栋^{a,b}, 陈昕^{a,b,①}, 熊中人^{a,b}, 赵洋^{a,b}, 伊贤贵^{a,b}

(南京林业大学: a. 南方现代林业协同创新中心, b. 生物与环境学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 采用典型取样和随机取样相结合的方法,对江苏宝华山植物群落的 56 个样方进行调查;在此基础上,以海拔和坡度为分类节点,采用多元回归树(MRT)划分群落类型,并利用相关性分析和除趋势典范对应分析(DCCA)方法对群落类型和乔木层优势种与环境因子的关系进行分析。结果显示:宝华山植物群落可分为 5 个群丛,即化香树+响叶杨-高粱泡-阔叶山麦冬+紫花前胡群丛(Ass. *Platycarya strobilacea*+*Populus adenopoda*-*Rubus lambertianus*-*Liriope muscari*+*Angelica decursiva*)(群丛 I)、朴树+黄连木-老鸦柿+茅莓-猪殃殃+明党参群丛(Ass. *Celtis sinensis*+*Pistacia chinensis*-*Diospyros rhombifolia*+*Rubus parvifolius*-*Galium aparine* var. *tenerum*+*Changium smyrnioides*)(群丛 II)、麻栎+栓皮栎-白马骨-柔弱斑种草+梓木草群丛(Ass. *Quercus acutissima*+*Quercus variabilis*-*Serissa serissoides*-*Bothriospermum zeylanicum*+*Lithospermum zollingeri*)(群丛 III)、青冈+紫楠-油茶+红脉钓樟-贯众+沿阶草群丛(Ass. *Cyclobalanopsis glauca*+*Phoebe sheareri*-*Camellia oleifera*+*Lindera rubronervia*-*Cyrtomium fortunei*+*Ophiopogon bodinieri*)(群丛 IV)以及紫楠+毛竹-野鸦椿+老鸦柿-安徽碎米荠+求米草群丛(Ass. *Phoebe sheareri*+*Phyllostachys edulis*-*Euscaphis japonica*+*Diospyros rhombifolia*-*Cardamine anhuiensis*+*Oplismenus undulatifolius*)(群丛 V)。相关性和 DCCA 排序结果表明:海拔、坡度、坡向和坡位等环境因子与宝华山植物群落结构和种类分布总体呈显著相关,其中海拔和坡度是重要影响因子。随海拔降低、坡度加大、坡向由阴转阳,依次分布着群丛 IV、V、III、II、I,呈现明显的垂直地带性分布特征。从乔木层优势种看,青冈、紫楠和红柴枝(*Meliosma oldhamii* Maxim.)等种类为高海拔区域的优势种;而枫香树(*Liquidambar formosana* Hance)、麻栎和建始槭(*Acer henryi* Pax)等种类对环境条件要求较低,分布范围较大;坡度和坡向对朴树、响叶杨和化香树等种类的分布有较大影响。综合分析结果表明:MRT 分类结果与 DCCA 排序结果相吻合,即海拔和坡度是影响宝华山植物群落结构和种类分布的重要环境因子。宝华山落叶阔叶林有可能过渡为常绿落叶阔叶混交林,逐渐演替为典型地带性植被。

关键词: 宝华山; 植物群落结构; 环境因子; 多元回归树(MRT); 除趋势典范对应分析(DCCA)

中图分类号: Q948. 11; Q948. 15 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2019)04-0077-07

DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-7895. 2019. 04. 09

Plant community structure of Baohua Mountain in Jiangsu Province and its environmental interpretation ZHANG Xiaochen^{a,b}, YANG Guodong^{a,b}, CHEN Xin^{a,b,①}, XIONG Zhongren^{a,b}, ZHAO Yang^{a,b}, YI Xiangui^{a,b} (Nanjing Forestry University; a. Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, b. College of Biology and the Environment, Nanjing 210037, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2019, 28(4): 77-83

Abstract: 56 quadrats of plant community of Baohua Mountain in Jiangsu Province were investigated by classic and random sampling methods; on the basis, taking elevation and slope as classification nodes, the community types were classified by multivariate regression tree (MRT), and the relationships of community type and dominant species in arbor layer with environmental factors were analyzed by using methods of correlation analysis and detrended canonical correspondence analysis (DCCA). The results show that the plant community of Baohua Mountain can be classified into 5 associations, including

收稿日期: 2018-10-09

基金项目: 江苏省林业局“绿色江苏”专项资金项目(164108402); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 张晓晨(1992—),女,山东潍坊人,硕士研究生,主要从事植物群落和资源方面的研究。

①通信作者 E-mail: chenxinzhou@hotmail.com

Ass. *Platycarya strobilacea*+*Populus adenopoda*-*Rubus lambertianus*-*Liriope muscari*+*Angelica decursiva* (association I), Ass. *Celtis sinensis*+*Pistacia chinensis*-*Diospyros rhombifolia*+*Rubus parvifolius*-*Galium aparine* var. *tenerum*+*Changium smyrnioides* (association II), Ass. *Quercus acutissima*+*Quercus variabilis*-*Serissa serissoides*-*Bothriospermum zeylanicum*+*Lithospermum zollingeri* (association III), Ass. *Cyclobalanopsis glauca*+*Phoebe sheareri*-*Camellia oleifera*+*Lindera rubronervia*-*Cyrtomium fortunei*+*Ophiopogon bodinieri* (association IV), and Ass. *Phoebe sheareri*+*Phyllostachys edulis*-*Euscaphis japonica*+*Diospyros rhombifolia*-*Cardamine anhuiensis*+*Oplismenus undulatifolius* (association V). The correlation and DCCA ordination results show that there are generally significant correlations of environmental factors (including elevation, slope, aspect, and slope position, etc.) with plant community structure and species distribution in Baohua Mountain, in which, elevation and slope are the important influence factors. With the decrease of elevation, increase of slope, and aspect variation from shady to sunny slope, association IV, V, III, II, and I are distributed successively with evidently vertical zonal distribution characteristics. Regarding dominant species in arbor layer, *C. glauca*, *P. sheareri*, and *Meliosma oldhamii* Maxim., etc. are the dominant species in high elevation area; while *Liquidambar formosana* Hance, *Q. acutissima*, and *Acer henryi* Pax, etc. require relatively low environmental conditions, thus have a wide distribution area; slope and aspect have a relatively great influence on the distribution of *C. sinensis*, *P. adenopoda*, and *P. strobilacea*, etc. The comprehensive analysis result shows that the MRT classification result is consistent with that of the DCCA ordination, that is, elevation and slope are the important environmental factors affecting the plant community structure and species distribution in Baohua Mountain. Deciduous broad-leaved forest in Baohua Mountain may transit to evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, and gradually changes into typical zonal vegetation.

Key words: Baohua Mountain; plant community structure; environmental factor; multivariate regression tree (MRT); detrended canonical correspondence analysis (DCCA)

群落数量分类和排序是植被生态学研究的重要手段和热点领域,已广泛运用于森林、湿地、草甸和灌丛等多种植被研究^[1-6]。多元回归树(multivariate regression tree, MRT)是群落数量分类研究的常用方法,能对植物群落进行合理的功能群划分^[7];除趋势典范对应分析(detrended canonical correspondence analysis, DCCA)是探究植物群落和环境因子间相互关系的重要研究方法之一^[8]。

江苏宝华山地处亚热带北缘,植被茂盛,森林覆盖率在90%以上,分布有多种珍稀濒危野生植物,是江苏省级自然保护区;该区域内群山环抱、风景秀美,是国家级森林公园和国家AAAA级景区。近代战争、林木采伐、开山采石以及旅游业发展导致宝华山的原生植被破坏严重,虽经多年的保护与恢复,但其植被类型和物种多样性状况均发生了较大改变,目前仅宝华山北坡保存有相对完整的原生常绿落叶阔叶混交林,其余区域均为具有一定趋同性的人工林和次生林。对宝华山植被的研究主要集中在植物区系^[9]、植物资源利用^[10]和珍稀濒危植物群落学^[11-14]等方面,而对宝华山植物群落结构及其与环境因子的关系等方面的研究尚不深入。为了使具有趋同性的

人工林和次生林向更加自然的地带性植被方向演替,需对宝华山现有植物群落的内部结构及其与环境因子的关系进行深入研究。

作者采用典型取样和随机取样相结合的方法,对宝华山的植物群落进行调查;采用MRT和DCCA方法分别进行群落数量分类和群落排序,对宝华山植物群落结构及其环境因子进行解释,以期明确宝华山不同植物群落的起源及其与环境因子的关系,为宝华山乃至整个宁镇山脉自然植物群落的有效保护以及退化植物群落的恢复重建提供基础数据。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

宝华山位于江苏省句容市宝华镇(北纬31°37'~32°19'、东经118°58'~119°58'),其主峰大华山海拔437.2 m,为宁镇山脉的第二高峰。研究区域属北亚热带湿润季风气候,年平均气温29.7℃、空气相对湿度77%、年均降水量1 018.6 mm、无霜期229 d;山地成土母质以石灰岩为主,其次为砂岩和页岩;土壤类型为黄棕壤土;植被类型为常绿落叶阔叶混交林和落

阔叶林,以及由人工林演替而来的竹阔混交林和落叶阔叶油茶混交林等。

1.2 方法

综合考虑宝华山的主要山脉、沟谷及其周边河流,以及植物群落类型、生境和海拔的变化,采用典型取样和随机取样相结合的方法^[15-16],于2016年7月15日至22日在宝华山共划定56个面积20 m×20 m的标准乔木样方,用A9型手持GPS定位仪(合肥卓林电子科技有限公司)定位样方的位置。记录各乔木样方的基本信息,包括坡度、坡位、坡向和海拔,以及每个样方内乔木层植物的种类、胸径、株高和冠幅。用钢卷尺(精度0.1 cm)测量土壤厚度(地表距枯枝落叶层的厚度),参考文献^[16]中的比色法测定土壤pH值。

在各乔木样方中分别设置2个面积5 m×5 m的灌木样方和4个面积1 m×1 m的草本样方。记录灌木样方中植物的种类、基径、株高和盖度,以及草本样方中植物的种类、株高、多度和盖度。

于2016年8月至2018年6月,根据植物物候期,在不同季节对各样方进行复查。调查过程中尽量采集所有植物的凭证标本,并将凭证标本保存于南京林业大学树木标本室(NF)。

1.3 数据计算和分析

参考文献^[17-18],以重要值作为群落中各种类的优势度指标。乔木、灌木和草本种类的重要值计算公式分别为乔木种类重要值=(相对密度+相对频度+相对优势度)/3,灌木种类重要值=(相对密度+相对盖度+相对频度)/3和草本种类重要值=(相对高度+相对盖度+相对频度)/3。

以坡度、坡位、坡向、海拔、土壤厚度和土壤pH值6个环境因子作为自变量,以物种重要值作为因变量,进行MRT分析;并以自变量作为分类节点,每次将样方进行二歧式分割,直至满足某一条件或不能再分割,然后使用物种数据定义样方并划分类别,利用交叉验证对分类结果进行剪枝(符合“1-SE”规则),以获取大小适合的回归树^[19]。采用R-3.1.0软件中的mvpart函数进行MRT运算;考虑到群落空间分布的连续性,根据文献^[5]的方法对分类结果进行必要的修正。

根据MRT分类结果,以物种-样方矩阵(114×56)和环境-样方矩阵(6×56)为基础,采用Canoco 5.0软件进行DCCA分析。采用蒙特卡罗(Monte

Carlo)法对环境因子与植物群落和群落内物种的关系进行显著性检验^[5]。

2 结果和分析

2.1 宝华山植物群落类型的划分结果

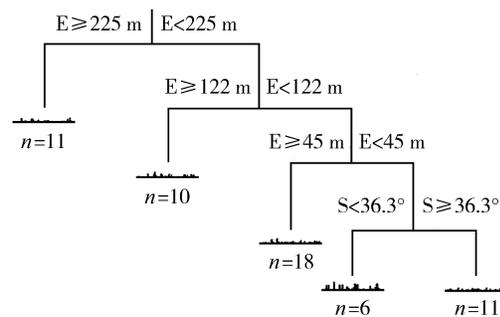
以海拔225、122和45 m以及坡度36.3°作为分类节点绘制宝华山植物群落MRT树(图1),根据MRT树可将56个样方划分为5类,对应5个群丛类型;基于群落空间分布的连续性对分类结果进行修正,结果见图2。

由图2可见:56个样方中有少数样方的群丛类型与周围多数样方不一致(图2-A),经过修订,样方14的群丛类型修正为类型IV,样方39的群丛类型修正为类型III,样方56的群丛类型修正为类型III。修正样方数量仅占总样方数的5.36%,基本不影响MRT的主体分类结果。

根据MRT树及其修正结果,可将宝华山植物群落分为以下5个群丛:

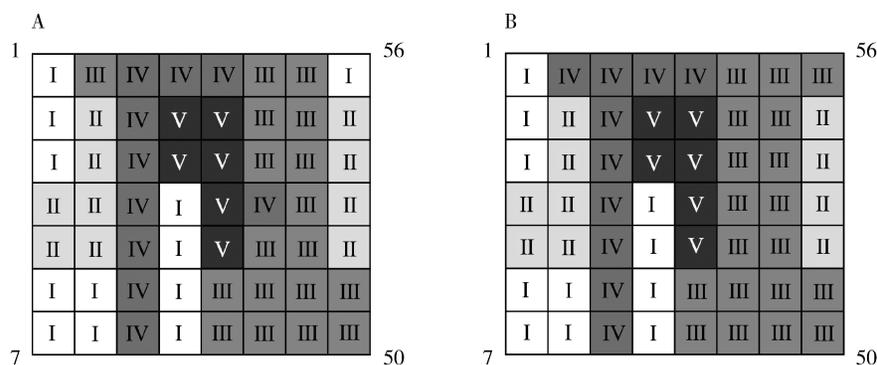
1)群丛I:包含样方1~3、6~9和22~25,各样方的海拔均高于225 m;该群丛乔木层优势种为化香树(*Platycarya strobilacea* Sieb. et Zucc.)和响叶杨(*Populus adenopoda* Maxim.)等种类,构成化香树+响叶杨-高粱梁-阔叶山麦冬+紫花前胡群丛(Ass. *Platycarya strobilacea* + *Populus adenopoda* - *Rubus lambertianus*-*Liriope muscari*+*Angelica decursiva*)。

2)群丛II:包含样方4、5、10~13和52~55,各样方的海拔均低于225 m但高于或等于122 m;该群丛乔木层优势种为朴树(*Celtis sinensis* Pers.)和黄连木



E: 海拔 Elevation; S: 坡度 Slope; n: 样方数 Number of quadrat.

图1 江苏宝华山56个样方的多元回归树(MRT)示意图
Fig. 1 Diagram of multivariate regression tree (MRT) of 56 quadrats in Baohua Mountain of Jiangsu Province



样方 1~56 从左上角开始纵向依次连续排列 Quadrat 1~56 are arranged vertically and sequentially from the top left corner. I, II, III, IV, V: 群丛类型 Association type.

A: 修正前 Before modification; B: 修正后 After modification.

图 2 江苏宝华山植物群落的 56 个样方的群丛类型分布示意图
Fig. 2 Distribution diagram of association type of 56 quadrats in plant community of Baohua Mountain of Jiangsu Province

(*Pistacia chinensis* Bunge) 等种类, 构成朴树+黄连木-老鸦柿+茅莓-猪殃殃+明党参群丛 (Ass. *Celtis sinensis*+*Pistacia chinensis*-*Diospyros rhombifolia*+*Rubus parvifolius*-*Galium aparine* var. *tenerum*+*Changium smyrnioides*)。

3) 群丛 III: 包含样方 34~51 和 56, 各样方的海拔均低于 122 m 但高于或等于 45 m; 该群丛乔木层优势种为麻栎 (*Quercus acutissima* Carruth.) 和栓皮栎 (*Quercus variabilis* Bl.) 等树种, 构成麻栎+栓皮栎-白马骨-柔弱斑种草+梓木草群丛 (Ass. *Quercus acutissima*+*Quercus variabilis*-*Serissa serissoides*-*Bothriospermum zeylanicum*+*Lithospermum zollingeri*)。

4) 群丛 IV: 包含样方 14~21, 28 和 29, 各样方的海拔均低于 45 m, 而坡度均高于或等于 36.3°; 该群丛乔木层优势种为青冈 [*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.] 和紫楠 [*Phoebe sheareri* (Hemsl.) Gamble] 等种类, 构成青冈+紫楠-油茶+红脉钓樟-贯众+沿阶草群丛 (Ass. *Cyclobalanopsis glauca*+*Phoebe sheareri*-*Camellia oleifera*+*Lindera rubronervia*-*Cyrtomium fortunei*+*Ophiopogon bodinieri*)。

5) 群丛 V: 包含样方 26, 27 和 30~33, 各样方的海拔均低于 45 m, 而坡度均低于 36.3°; 该群丛乔木层优势种为紫楠和毛竹 [*Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz.] 等种类, 构成紫楠+毛竹-野鸭椿+老鸦柿-安徽碎米荠+求米草群丛 (Ass. *Phoebe sheareri*+*Phyllostachys edulis*-*Euscaphis japonica*+*Diospyros rhombifolia*-*Cardamine anhuiensis*+*Oplismenus undulatifolius*)。

Diospyros rhombifolia-*Cardamine anhuiensis*+*Oplismenus undulatifolius*)。

2.2 宝华山植物群落的 DCCA 分析结果

江苏宝华山植物群落的除趋势典范对应分析 (DCCA) 前 2 个轴以及环境因子间的相关系数见表 1; 56 个样方与环境因子的 DCCA 二维排序图见图 3; 乔木层优势种 (重要值排名前 15 位的种类) 与环境因子的 DCCA 二维排序见图 4。排序结果显示: 前 2 个轴的累计贡献率为 87.4%, 累计贡献率达到 70% 以上, 可以反映植物群落的基本面貌^[20]。

2.2.1 相关性分析结果 由相关系数 (表 1) 可见: 物种轴 1 与环境因子轴 1、物种轴 2 与环境因子轴 2 的相关系数均达到极显著 ($P=0.01$) 水平, 分别为 0.801 和 0.792, 但 2 个物种轴间的相关系数仅为 0.011, 2 个环境因子轴间的相关系数仅为 0.015, 相关性均不显著, 说明宝华山植物群落的种类分布与环境因子极显著相关。

检验结果显示: 植物群落和群落内物种与环境因子在所有轴上总体呈显著 ($P=0.05$) 相关, 表明 DCCA 排序结果可信, 可以较合理地解释宝华山植物群落分布与环境因子间的关系。

2.2.2 样方类型与环境因子的关系 由图 3 可见: 分属于 5 个群丛的 56 个样方在 DCCA 排序图上均有各自的分布范围和界限, 海拔、坡度、坡向和坡位对群丛分布有较大影响, 其中海拔和坡度是重要的影响因素。

随海拔降低、坡度加大、坡向由阴转阳, 群丛 IV (青冈+紫楠-油茶+红脉钓樟-贯众+沿阶草群丛)、V (紫楠+毛竹-野鸦椿+老鸦柿-安徽碎米荠+求米草群丛)、III (麻栎+栓皮栎-白马骨-柔弱斑种草+梓木草群丛)、II (朴树+黄连木-老鸦柿+茅莓-猪殃殃+明党参群丛) 和 I (化香树+响叶杨-高粱泡-阔

叶山麦冬+紫花前胡群丛) 依次分布, 但各群丛间分布范围和适宜的生境条件有少量重叠。其中, 群丛 I 和 II 的生长环境相似, 均分布在海拔较低、坡度较陡的阳坡或半阳坡; 群丛 III 适宜的生境条件较为广泛, 在阴坡、半阴坡、阳坡和半阳坡均有分布; 群丛 IV 和 V 均主要分布在阴坡, 因而在排序图上交叉分布。

表 1 江苏宝华山植物群落 DCCA 分析的前 2 个轴以及环境因子间的相关系数

Table 1 Correlation coefficients among the first two axes of DCCA analysis and environmental factors of plant community in Baohua Mountain of Jiangsu Province

排序轴和环境因子 Axis and environmental factor	相关系数 Correlation coefficient									
	A _{S1}	A _{S2}	A _{E1}	A _{E2}	S	SP	A	E	ST	pH
A _{S1}	1.000									
A _{S2}	0.011	1.000								
A _{E1}	0.801**	0.013	1.000							
A _{E2}	0.017	0.792**	0.015	1.000						
S	-0.523**	0.321**	-0.683**	0.391**	1.000					
SP	-0.625**	-0.223**	-0.782**	-0.279	0.736**	1.000				
A	-0.231**	0.082	-0.302**	0.101**	-0.331	-0.296	1.000			
E	0.497**	0.151	0.623	0.185*	-0.413	-0.551	-0.135*	1.000		
ST	0.731**	0.057	0.619	0.072	-0.631*	-0.782	-0.341*	-0.604	1.000	
pH	0.066	0.644**	0.058**	0.722**	0.437**	-0.316	0.124**	0.078**	0.063	1.000

¹⁾ A_{S1}: 物种轴 1 Axis 1 of species; A_{S2}: 物种轴 2 Axis 2 of species; A_{E1}: 环境因子轴 1 Axis 1 of environmental factor; A_{E2}: 环境因子轴 2 Axis 2 of environmental factor; S: 坡度 Slope; SP: 坡位 Slope position; A: 坡向 Aspect; E: 海拔 Elevation; ST: 土壤厚度 Soil thickness; pH: 土壤 pH 值 Soil pH value. *: P=0.05; **: P=0.01.

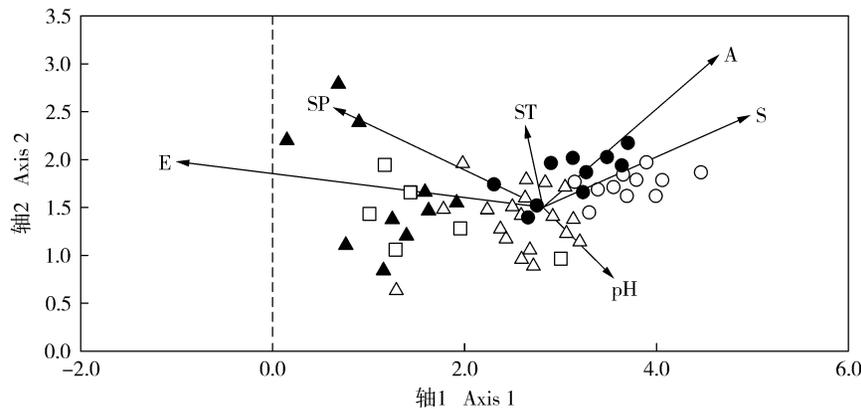


图 3 江苏宝华山植物群落的 56 个样方与环境因子的 DCCA 二维排序图
Fig. 3 Two-dimensional ordination diagram of DCCA on 56 quadrats of plant community with environmental factors of Baohua Mountain of Jiangsu Province

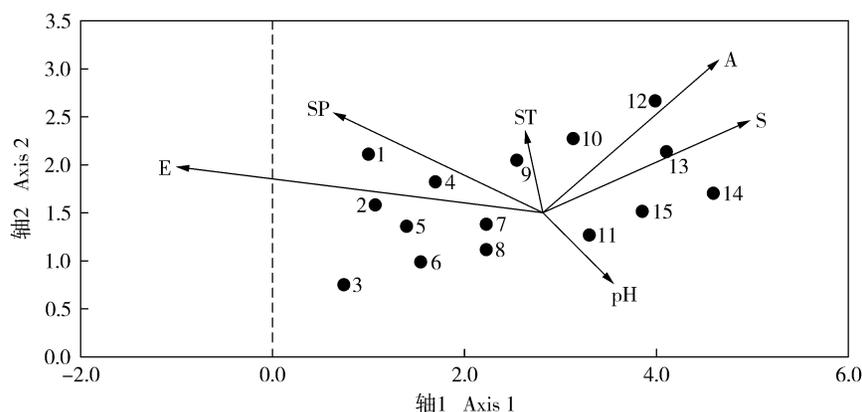
2.2.3 乔木层优势种与环境因子的关系 由图 4 可见: 在 DCCA 二维排序图上, 乔木层的 15 个优势种均有各自的分布中心和分布区域, 各优势种分布格局揭示的环境梯度与各样方的分布梯度有很大的相似性,

海拔、坡度、坡向和坡位也是主要的环境影响因子。

在 DCCA 二维排序图上, 位于排序图左侧的青冈、紫楠、红柴枝 (*Meliosma oldhamii* Maxim.) 等种类均分布在高海拔区域; 随海拔降低, 坡向由阴转阳, 优

势种逐渐增多,在排序图中心位置出现枫香树 (*Liquidambar formosana* Hance)、麻栎、建始槭 (*Acer henryi* Pax) 等种类,这些树种对环境条件的要求相对

较低,是宝华山植物区系中分布最广泛的种类;在排序图的右侧出现朴树、响叶杨和化香树等种类,坡度和坡向对这些种类的分布有较大影响。



E: 海拔 Elevation; SP: 坡位 Slope position; ST: 土壤厚度 Soil thickness; A: 坡向 Aspect; S: 坡度 Slope; pH: 土壤 pH 值 Soil pH value. 1: 青冈 *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.; 2: 紫楠 *Phoebe sheareri* (Hemsl.) Gamble; 3: 红桉枝 *Meliosma oldhamii* Maxim.; 4: 建始槭 *Acer henryi* Pax; 5: 毛竹 *Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz.; 6: 糙叶树 *Aphananthe aspera* (Thunb.) Planch.; 7: 枫香树 *Liquidambar formosana* Hance; 8: 麻栎 *Quercus acutissima* Carruth.; 9: 老鸦柿 *Diospyros rhombifolia* Hemsl.; 10: 黄连木 *Pistacia chinensis* Bunge; 11: 栓皮栎 *Quercus variabilis* Bl.; 12: 朴树 *Celtis sinensis* Pers.; 13: 响叶杨 *Populus adenopoda* Maxim.; 14: 化香树 *Platycarya strobilacea* Sieb. et Zucc.; 15: 杉木 *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.

图 4 江苏宝华山植物群落的乔木层优势种与环境因子的 DCCA 二维排序图

Fig. 4 Two-dimensional ordination diagram of DCCA on dominant species in arbor layer of plant community with environmental factors of Baohua Mountain of Jiangsu Province

3 讨论和结论

群落数量分析方法多样,可以从不同角度阐述群落自身演替规律及群落与环境的协同关系,有助于了解群落的演替过程并为制定森林管理和保护策略提供科学依据^[21-25]。生境差异可造成植被类型的变化,因此,以优势种对群落进行命名可以更加直观地反映生境的差异^[26]。本研究中,采用 MRT 方法,以海拔和坡度为划分依据,根据植物种类的重要值将供试的 56 个样方划分为 5 个群丛,可基本涵盖宝华山植物群落的主要结构类型。群丛 IV (青冈+紫楠-油茶+红脉钓樟-贯众+沿阶草群丛) 是宁镇山脉保存最完好的地带性群落;群丛 V (紫楠+毛竹-野鸦椿+老鸦柿-安徽碎米荠+求米草群丛) 中生长有大量的毛竹,毛竹具有较强的侵入性^[27],对地带性植物群落的演替具有较大影响;在群丛 I (化香树+响叶杨-高粱泡-阔叶山麦冬+紫花前胡群丛)、群丛 II (朴树+黄连木-老鸦柿+茅莓-猪殃殃+明党参群丛) 和群丛 III (麻栎+栓皮栎-白马骨-柔弱斑种草+梓木草群丛)

中,有常绿阔叶树树桩的萌生枝条,也分布有少数青冈、紫楠、冬青 (*Ilex chinensis* Sims) 和枸骨 (*Ilex cornuta* Lindl. et Paxt.) 等常绿树种的幼苗,说明在群丛 I、II 和 III 的分布区域内已初步显现出地带性植被的特征,即常绿落叶阔叶混交林。如果人为干扰不严重,该林型(群丛 I、II 和 III) 将由落叶阔叶林或带有常绿成分的落叶阔叶林向常绿落叶阔叶混交林过渡,即逐渐演替为典型地带性植被。

不同种类适宜的生境条件不尽相同,在 DCCA 排序图上则表现为每个种类都有各自的分布中心和分布区域^[5]。本研究结果表明:分属于 5 个群丛的 56 个样方在 DCCA 排序图上均有各自的分布范围和界限,而且乔木层 15 个优势种在 DCCA 排序图上也有各自的分布中心,垂直地带性分布明显,且群落和个体 2 个水平的 DCCA 排序结果均显示海拔、坡度、坡向和坡位对植物群落结构和种类分布的影响较大,其中海拔和坡度是重要影响因子,说明 DCCA 排序结果能较为准确地反映各群丛间以及群丛和种类与环境因子的关系。DCCA 排序结果与 MRT 分类结果相吻合并相互佐证,显示海拔和坡度不仅是群丛分类的划

分节点,也是影响群落结构的重要因子。

针对目前宝华山森林植被的现状,为了促进典型地带性植物群落的形成,在未来的发展中,一方面需要逐渐减少毛竹、油茶和茶[*Camellia sinensis* (Linn.) O. Ktze.]等经济林的影响,对现有的经济林进行隔离控制,保证自然群落的完整性,避免经济林物种逸出;另一方面,在充分掌握典型地带性植被群落特征的基础上,适当采取人工措施对群丛 I、II 和 III 进行林相改造,以加速其群落演替。

参考文献:

- [1] 夏小梅,王娟,彭培好,等. 四川牡丹生境群落的数量分类与排序[J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(1): 37-40.
- [2] 艾尼瓦尔·吐米尔,阿不都拉·阿巴斯. 新疆托木尔峰国家级自然保护区岩面生地衣群落数量分类及其与环境相关性[J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(2): 80-87.
- [3] KHAN N, SHAUKAT S S, AHMED M, et al. Vegetation-environment relationships in the forests of chitral district hindukush range of Pakistan[J]. Journal of Forestry Research, 2013, 24: 205-216.
- [4] DE'ATH G. Multivariate regression trees: a new technique for modeling species-environment relationships[J]. Ecology, 2002, 83: 1105-1117.
- [5] 赖江山,米湘成,任海保,等. 基于多元回归树的常绿阔叶林群丛数量分类——以古田山24公顷森林样地为例[J]. 植物生态学报, 2010, 34(7): 761-769.
- [6] 段后浪,赵安,姚忠. 排序法在植物群落与环境关系研究中的应用述评[J]. 热带亚热带植物学报, 2017, 25(2): 202-208.
- [7] 秦朋遥,杨会娟,蒋凤玲,等. 河北省塞罕坝保护区天然植物群落数量分类[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1383-1392.
- [8] 代雪玲,董治宝,蔺菊明,等. 敦煌阳关自然保护区湿地植物群落数量分类和排序[J]. 生态科学, 2015, 34(5): 129-134.
- [9] 张帆航. 句容宝华山国家森林公园维管植物区系研究[D]. 南京: 南京农业大学资源与环境学院, 2010: 1-141.
- [10] 邱国金,杨士虎. 宝华山野生观花观果树木资源的开发利用[J]. 中国林副特产, 2004(2): 58-59.
- [11] 从睿,张开文,谢梦梦,等. 江苏宝华山红桉枝群落组成结构及多样性分析[J]. 四川农业大学学报, 2017, 35(2): 213-219.
- [12] 邓送求,闫家锋,关庆伟. 宝华山紫楠风景林分空间结构分析[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(4): 29-32.
- [13] 张晓晨,赵洋,熊中人,等. 宝华山青冈种群年龄结构及点格局分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2018, 42(6): 77-83.
- [14] 汤诗杰,彭志,汤庚国. 宝华山南京椴群落的特征分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2008, 29(1): 90-94.
- [15] 方精云,王襄平,沈泽昊,等. 植物群落清查的主要内容和规范[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.
- [16] 张志敏,杨国栋,谢梦梦,等. 江苏龙池山自然保护区红楠(*Machilus thunbergii*)生存群落结构及其环境解释[J]. 生态学杂志, 2019, 38(6): 1637-1645.
- [17] 李韦鸿,杨国栋,李涌福,等. 云南鸡足山山桂花和野桂花群落的格局与环境解释[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(4): 53-62.
- [18] 管杰然,商天其,伊力塔,等. 天目山常绿阔叶阔叶混交林优势种生物量变化及群落演替特征[J]. 生态学报, 2017, 37(20): 6761-6772.
- [19] 张文静,张钦弟,王晶,等. 多元回归树与双向指示种分析在群落分类中的应用比较[J]. 植物生态学报, 2015, 39(6): 586-592.
- [20] HUANG W, LIU J, WANG Y P, et al. Increasing phosphorus limitation along three successional forests in southern China[J]. Plant and Soil, 2013, 364: 181-191.
- [21] 苏日古嘎,张金屯,张斌,等. 松山自然保护区森林群落数量分类和排序[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2621-2629.
- [22] 张金屯. 植被数量分类和排序的发展[J]. 山西大学学报(自然科学版), 1991, 14(2): 215-224.
- [23] 张燕杰,崔玲玲,庞有智,等. 拉萨河谷植物群落分类与排序及物种丰富度与环境的关系[J]. 生态学杂志, 2015, 34(12): 3289-3299.
- [24] 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.
- [25] TAVILI A, ROSTAMPOUR M, CHAHOUKI M A Z, et al. CCA application for vegetation-environment relationships evaluation in arid environments (southern Khorasan rangelands)[J]. Desert, 2009, 14: 101-111.
- [26] 杨国栋,钱慧蓉,陈林,等. 中国特有植物短丝木犀(*Osmanthus serrulatus* Rehd.)群落结构及其环境解释[J]. 生态学报, 2018, 38(9): 3059-3068.
- [27] 童冉,周本智,姜丽娜,等. 毛竹入侵对森林植物和土壤影响研究进展[J]. 生态学报, 2019, 39(11): 1-8.

(责任编辑:郭严冬)