

# 基于 CCA 排序的霍山森林植物功能型划分\*

丁献华<sup>1,2</sup>, 毕润成<sup>1</sup>, 闫明<sup>1</sup>

(1. 山西师范大学 生命科学学院, 山西 临汾 041000; 2. 临汾职业技术学院, 山西 临汾 041000)

**摘要** 采用群落生态学的调查方法,在霍山七里峪设置80个样方并采集土壤样品。通过计算重要值和测定土壤理化性质(pH值、含水量、有机质含量、N、P、K含量),建立样方×物种矩阵和样方×环境矩阵,用CCA排序划分植物功能型。结果表明,随着海拔等环境因子的变化,可以将七里峪天然次生林划分为:F1山核桃 *Carya cathayensis* Sarg.、虎榛子 *Ostryopsis davidiana* Decaisne、披针叶苔草 *Carex lanceolata* Boott.、F2油松 *Pinus tabulaeformis* Carr.、三裂绣线菊 *Spiraea trilobata* Linn.、荩草 *Arthraxon hispidus*(Thunb.) Makio.、F3辽东栎 *Quercus wutaishanica* Blume、连翘 *Forsythia suspensa*(Thunb.) Vahl. Enum.、披针叶苔草;F4华北落叶松 *Larix principis-rupprechtii* Mayr.、美丽胡枝子 *Lespedeza formosa*(Vog.) Koehne. 林荫千里光 *Senecio nemorensis* Linn;F5白桦 *Betula platyphylla* Suk.、毛榛子 *Corylus heterophylla* Fisch. Ex Trautv.、披针叶苔草5个功能型。

**关键词** 植物功能型,霍山七里峪,CCA排序,功能特性

中图分类号:Q948.1

文献标识码:A

文章编号:1672-6693(2011)01-0064-04

植物功能型(Plant functional types, PFTs)是具有相似的形态和生理特性,利用相同的资源,在生态系统中起相似作用的植物物种的组合<sup>[1]</sup>。部分研究者也将之称为 Response type、Functional group 等,是生态学家为研究植被对气候变化和干扰的响应而引入的生态学概念<sup>[2]</sup>。植物功能型的基本理论就是在植物与环境相互作用的过程中,在不同的植物中产生一致的形态、生理和生活史模式<sup>[3]</sup>。通过各种不同的方式,植物可以在生态系统功能及对环境变量的适应性响应的不同方面的基础上进行分类。这种分类有助于分析生态系统功能、评价生态系统对环境变化的敏感性<sup>[2]</sup>。植物功能型的方法也有助于阐明生态格局,在多样性丰富的生态系统中简化生态模型的应用方面尤其重要<sup>[4]</sup>。

国外植物功能型的研究一部分集中在功能型的定义和界定、划分标准、生态系统功能型分类等基础工作方面<sup>[5-9]</sup>。另一部分集中在功能型多样性与生态系统生产力和稳定性的关系等方面<sup>[10]</sup>。国内对功能型划分的研究,主要是应用不同环境因子或二维列表分析物种间的正负连结性,进一步划分生态种组或区划植被<sup>[11]</sup>。在有关植物功能型的研究方面,国内有些学者在草原中进行了初步的工作<sup>[12]</sup>,而在森林功能型的研究方面才刚刚起步<sup>[11,13-18]</sup>。

霍山在山西西南部,地处我国暖温带地区,由于气候和干扰的作用,植被破坏严重,植被预测和管理为当务之急。在中国植被区划中属暖温带夏绿林区,地带性植被为落叶阔叶林<sup>[19]</sup>,由于长期的干扰破坏,原生植被已不复存在。现状植被大都为人为次生植被和局部地区保存的天然次生类型。温性针叶林树种油松和多种落叶阔叶乔木植物构成的混交类型是本区植被的一个显著特征<sup>[19]</sup>。以前对霍山的森林群落研究主要集中在种群动态、生长规律、物种多样性等方面<sup>[20-22]</sup>,而对于霍山的功能型组成则未进行系统的研究,本文以霍山七里峪暖温带天然次生林为研究对象,应用数量化方法,将物种组成复杂的暖温带天然次生林划分为不同功能类群,以期提出一套适于霍山暖温带气候的植物功能型划分方法。

## 1 研究地区的自然概况

霍山位于山西省南部,属太行山系的中段,为太岳山的主峰。七里峪位于霍山的北部腹地,地理坐标为北纬36°21'至36°45',东经115°40'至112°20'。本区属暖温带大陆性季风气候,由于山体高差悬殊,地形变化复杂,而形成了不同的气候类型和不同的水热及其组合状况。年平均气温在9.3~12.3℃之间。最热月和最冷月的平均气温分别在25.1~

\* 收稿日期 2010-04-18 修回日期 2010-06-30

资助项目:山西省出国留学基金(No. 20081073),山西师范大学校基金项目(No. YZ08009)

作者简介:丁献华,女,硕士研究生,研究方向为植物生态学,通讯作者:闫明, E-mail: mycorrhiza@sina.com

26.1 °C 和 -3.5 ~ -4.5 °C 之间。无霜期可达120 ~ 200 d,年降水量在 500 ~ 700 mm 之间,其中七、八、九3个月为全年降水量的65%。春末易发生干热风,伏旱明显,秋季多阴雨天气,冬季冷干等是本区植被发育的限制条件。土壤以褐土为主,随海拔升高依次为石灰性褐土、褐土性土、淋溶褐土、棕色森林土、山地草甸土等。七里峪属暖温带落叶阔叶林区域,地带性植被是落叶阔叶林,现状植被为天然或人工次生类型。

## 2 研究方法

### 2.1 群落调查法

整个调查于2008年6~9月进行。以霍山七里峪为研究地,在海拔高度1250~2200m的范围内,选择具有代表性的地段,海拔每升高100m,至少设置1个50m×50m的样地,每个样地的中心以及四个角分别取面积10m×10m的乔木样方2个,每个乔木样方内再设2个5m×5m的灌木样方和4个1m×1m的草本样方,对乔木层植株进行每木检尺,记录株高、胸径、冠幅、盖度等指标;灌木层记录株数、盖度及高度等;草本层记录平均高度、多度、盖度等。同时,记录乔、灌、草总盖度、土壤类型、坡度和坡向等群落综合特征和生境特征。共设样地8个,其中包括乔木样方80个,灌木样方160个,草本样方320个。记录每个样方内乔木物种的株数、胸径、高度和冠幅,灌木物种的高度和盖度,草本物种的高度和盖度。

### 2.2 土壤指标测定

在植被调查的基础上,按森林土壤调查方法对每个样方取样<sup>[23]</sup>,根据国家标准方法分析测定土壤<sup>[24]</sup>:土壤含水量(SMC)用烘干法;土壤pH值(pH)用电极法;土壤有机质含量(SOM)用重铬酸钾容量法;水解性氮(AN)用碱解扩散法;有效磷(AP)用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;速效钾(AK)用中性醋酸铵浸提-火焰光度法;全氮含量(TN)用半微量开氏法;全磷含量(TP)用钼锑抗比色法;全钾含量(TK)用火焰光度法。

### 2.3 排序和分析的方法

排序是功能群划分最重要的数量分析法之一,典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)是专为分析植物与影响因子关系而设计的<sup>[25-26]</sup>,需要物种和环境因子两个数据矩阵来完成。本文应用PCO-RD(5.0)软件包完成CCA排序,分别排序样方与环境因子之间的关系。共建立2个如下矩阵。

矩阵1(80 quadrates × 72 species)由80个样方内频度超过5%的72个物种的重要值组成。

矩阵2(80 quadrates × 10 environmental factors)由林分80个样方的10个环境因子如海拔、土壤含水量、有机质含量、土壤N、P、K含量等组成。

## 3 结果与分析

### 3.1 CCA排序

以矩阵1作为物种矩阵,以矩阵2作为影响因子,并根据前两轴做出二维排序图(图1),在CCA排序图中,各划分因子用箭头表示,箭头连线的长短表示样方与因子相关性的大小,线越长,说明相关性越大,反之则小。连线与排序轴的角度表明功能群划分因子与该排序轴相关性的方向(Person相关),夹角越小,相关性越大。箭头所象限表示功能群划分因子与排序轴的正负相关关系<sup>[11]</sup>,各椭圆形为所划分的各类功能群,圈内的数字为样方。从图1中可以看出,对轴1贡献最大的环境因子是海拔、碱解性氮、全氮和速效钾,其次是有机质和全钾。沿轴1从左到右,全钾含量增加,其它因子如海拔、碱解性氮、全氮和速效钾等逐渐降低。第二轴基本上表现出了全磷和速效磷含量的变化趋势,即CCA第二轴从上到下,全磷和速效磷含量逐渐减低。

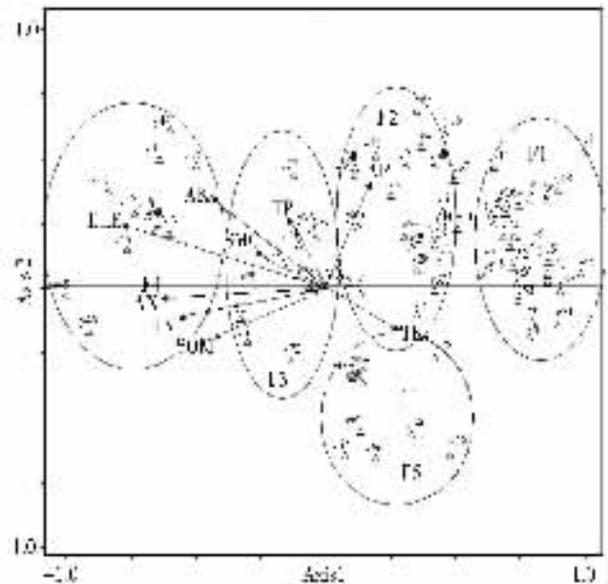


图1 80个样方与环境因子的CCA排序图

Fig. 1 CCA ordination diagram of diversity indices of

80 quadrates and environmental factors

SMC-土壤含水量, ELE-海拔, SOM-土壤有机质含量, AN-水解性氮, AK-速效钾, AP-有效磷, TN-全氮, TP-全磷, TK-全钾

环境因子中,海拔、含水量、有机质、水解性氮、速效钾、全氮和全磷与第一轴呈负相关,其余速效磷

和全钾与第一轴呈正相关。全磷和速效磷与第二轴的夹角很小,说明它与第二轴的相关性大,海拔、速效磷、速效钾和全磷与第二轴呈正相关。

通过环境因子箭头长度可以看出海拔是决定七里峪研究区植物功能型变化的主要因素,全钾的箭头长度最短,说明全钾与样方关系不大。

### 3.2 植物功能群沿海拔梯度的功能特性

根据 CCA 排序的结果,结合霍山七里峪植物群落沿海拔分布的规律及演替地位、人为干扰程度、林分密度等功能特性,可以将七里峪研究区分为 5 个功能型。

第 1 组功能型为 F1:山核桃、虎榛子、披针叶苔草。本功能型组的伴生种有辽东栎、白桦、油松、针茅 *Stipa capillata* Linn.、铁杆蒿 *Artemisia sacrorum* Ledeb. 等。这组功能型分布在七里峪林场附近海拔 1 250~1 680 m 的沟谷地带,山核桃占主要优势,但由于林场附近人为干扰程度较高,样地内人为砍伐的情况较严重。

第 2 组功能型为 F2:油松、三裂绣线菊、荩草 *Arthraxon hispidus*(Thunb.)Makio.。伴生种有辽东栎、白桦、披针叶苔草、地榆 *Sanguisorba officinalis* Linn.、牡蒿 *Artemisia japonica* Thunb. 等。太岳山俗称“油松之家”,油松林分布广,面积大<sup>[21]</sup>,在研究区 1 520~1 800 m 的范围内占有优势,分布区人为干扰较低,但由于密度大、郁闭度高,林下灌木较少,主要以三裂绣线菊、虎榛子 *Ostryopsis davidiana* Decaisne. 为主。

第 3 组功能型为 F3:辽东栎、连翘、披针叶苔草。伴生种有鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii*、茶条槭 *Acer ginnala* Maxim.、暴马丁香 *Syringa reticulata* (Blume) Hara var. *mandshurica*(Maxim.)、连翘、三裂绣线菊、蛇莓、牡蒿 *Artemisia japonica* Thunb.、地榆 *Sanguisorba officinalis* Linn.、唐松草 *Thalictrum aquilegifolium* L. var. *sibiricum* Regel 等。辽东栎作为太岳山的主要乔木树种,分布范围较广、数量较大,在海拔 1400~1800 m 而且在林下灌木和草本层幼苗数量也较多,在以后的演替中极有可能形成顶极群落。

第 4 组功能型为 F4:华北落叶松、美丽胡枝子、林荫千里光。伴生种有金银忍冬 *Lonicera japonica* Thunb.、玉竹 *Polygonatum odoratum*(Mill.)Druce.、穿山薯蓣 *Dioscorea nipponica* Mak. 等。本组主要分布在海拔 2 000 m 以上的高海拔地区,人为干扰较少,气温较低,湿度较大,群落稳定。

第 5 组功能型为 F5:白桦、毛榛子、披针叶苔

草。本功能型组主要分布在 1 880~2 200 m 的范围内,伴生种有茶条槭、黄刺玫 *Rosa xanthina* Lindl.、西北栒子 *Cotoneaster zabelii* Schneid.、野艾蒿 *Artemisia lavandulaefolia* DC.、唐古草、仙鹤草 *Rhinacanthus nasutu*(L.)Kurz. s.、兔儿伞 *Syneilesis aconitifolia* (Bunge)Maxim. 等。白桦林是天然次生林的主要类型之一,在七里峪林区高海拔地区大面积分布,做为先锋树种形成白桦纯林或与红桦、油松、辽东栎植物混生,组成混交林,可单独划分为一种功能型。

## 4 结论与讨论

1)根据 CCA 排序的结果,结合实际生态意义,将七里峪研究区分为 5 个功能型,分别是:F1 山核桃、虎榛子、披针叶苔草;F2 油松、辽东栎、三裂绣线菊、披针叶苔草;F3 辽东栎、茶条槭、三裂绣线菊、连翘、蛇莓;F4 华北落叶松、美丽胡枝子、林荫千里光;F5 白桦、毛榛子、披针叶苔草。

2)随着海拔和坡向等生境的变化,研究区的优势种尤其是乔木优势种会发生明显的响应,而灌木和草本的变化则相对较小,这说明灌木、草本的适应性更强、分布范围更广。

3)整体上看,油松、辽东栎、白桦和华北落叶松等是太岳山七里峪暖温带次生林森林群落的最主要优势种,它们共同组成了整个山体的主导植物框架。以它们为主体结合其伴生种如茶条槭、鹅耳枥、绣线菊、丁香、连翘、美丽胡枝子、披针叶苔草等划分的植物功能型很大程度上反映了不同海拔梯度下植被的分布组合状况。

4)用 CCA 排序的方法划分七里峪研究区的植物功能型,能够较好地反映植被与环境之间的关系。

### 参考文献:

- [1] Golluscio R A, Sala O E. Plant functional types and ecological strategies in Patagonian forbs[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1993, 4: 839-846
- [2] 李荣平, 刘志民, 蒋德明, 等. 植物功能型及其研究方法[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 102-106.
- [3] Shugart H H. Plant and ecosystem functional types[C]//Smith T M, Shugart H H, Woodward F I. *Plant functional types: their relevance to ecosystem properties and global change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 20-43.
- [4] 孙慧珍, 国庆喜, 周晓峰. 植物功能型分类标准及方法[J]. *东北林业大学学报*, 2004, 32(3): 81-83.
- [5] Scholes R J, Pickett G, Ellery W N, et al. Plant functional types in African savannas and grasslands[C]//Smith T M,

- Shugart H H ,Woodward F I. Plant functional types :their relevance to ecosystem properties and global change Cambridge :Cambridge University Press ,1997. 255-268.
- [ 6 ] Paruelo J M ,Lauenroth W K. Relative abundance of plant functional types in grasslands and shrublands of North America[ J ]. Ecological Applications ,1996 6 :1212-1224.
- [ 7 ] Gitay H ,Noble I R. What are functional types and how should we seek them?[ C ]//Smith T M ,Shugart H H , Woodward F I. Plant functional types :their relevance to ecosystem properties and global change Cambridge :Cambridge University Press ,1997 3-19.
- [ 8 ] Duckworth J C ,Kent M ,Ramsay P M. Plant functional types :an alternative to taxonomic plant community description in biogeography ?[ J ]. Progress in Physical Geography 2000 24 515-542.
- [ 9 ] Pillar V. D. On the identification of optimal plant functional types [ J ]. Journal of Vegetation Science ,1999 10 631-640.
- [ 10 ] Tilman D ,Knops J ,Wedin D ,et al. Efunctional diversity and composition on ecosystem processes[ J ]. Science , 1997 1300-1302.
- [ 11 ] 邓福英 ,臧润国. 海南岛热带山地雨林天然次生林的功能群划分[ J ]. 生态学报 2007 27( 8 ) 3240-3249.
- [ 12 ] 胡楠 ,范玉龙 ,丁圣彦 ,等. 伏牛山自然保护区森林生态系统乔木植物功能型分类[ J ]. 植物生态学报 2008 32( 5 ) :1104-1115.
- [ 13 ] 韩梅 ,杨利民 ,张永刚 ,等. 中国东北样带羊草群落 C<sub>3</sub> 和 C<sub>4</sub> 植物功能群生物量及其对环境变化的响应[ J ]. 生态学报 2006 26( 6 ) :1825-1832.
- [ 14 ] 张新时 ,沈泽昊. 基于植物分布地形格局的植物功能型划分研究[ J ]. 植物学报 2000 42( 11 ) :1190-1196.
- [ 15 ] 倪健. 区域尺度的中国植物功能型与生物群区[ J ]. 植物学报 2001 43( 4 ) :419-425.
- [ 16 ] 翁恩生 ,周广胜. 用于全球变化研究的中国植物功能型划分[ J ]. 植物生态学报 2005 29( 1 ) 81-97.
- [ 17 ] 李意德 ,许涵 ,陈德祥 ,等. 从植物种群间联结性探讨生态种组与功能群划分[ J ]. 林业科学 2007 43( 4 ) 9-16.
- [ 18 ] Zhang J T ,Zhang F ,Diversity and composition of plant functional groups in mountain forests of the Lishan Nature Reserve ,North China[ J ]. Botanical Studies ,2007( 48 ) : 339-348.
- [ 19 ] 吴征镒. 中国植被[ M ]. 北京 :科学出版社 ,1980.
- [ 20 ] 毕润成 ,杨焕根 ,朱新军. 山西霍山落叶阔叶林边缘效应的研究[ J ]. 西北植物学报 ,2004 ,43( 08 ) :1441-1447.
- [ 21 ] 马晓勇 ,上官铁梁. 太岳山森林群落物种多样性[ J ]. 山地学报 2004 22( 5 ) :606-612.
- [ 22 ] 蔺琛 ,马钦彦 ,韩海荣 ,等. 山西太岳山辽东栎的光合特性[ J ]. 生态学报 2002 22( 09 ) .
- [ 23 ] 张万儒 ,许本彤. 森林土壤定位研究方法[ M ]. 北京 :中国林业出版社 ,1986.
- [ 24 ] 鲍士旦. 土壤农化分析[ M ]. 第3版. 北京 :中国农业出版社 2000.
- [ 25 ] Braak C J F T. Canonical correspondence analysis :a new eigenvector method for multivariate direct gradient analysis [ J ]. Ecology ,1986 67 :1167-1179.
- [ 26 ] Braak C J F T. Unimodal models to related species to environment[ M ]. Wageningen : Agricultural Math Group , 1987.

## Classification of Plant Functional Types Based on CCA Ordination in Forest at Huoshan Mountain

DING Xian-hua<sup>1,2</sup> , BI Run-cheng<sup>1</sup> , YAN Ming<sup>1</sup>

( 1. Shanxi Normal University Life Sciences Institute , Linfen Shanxi 041000 )

( 2. Linfen Professional Technology Institute , Linfen Shanxi 041000 , China )

**Abstract :** This thesis adopted the investigation method of community ecology , 80 quadrates were set up and 80 soil samples were collected from QiLiYu. of Huoshan Mountain. By calculating the importance value and measurement the soil physical and chemical properties ( soil pH , contents of soil water , contents of organic , N , P , K , etc. ) , matrix of quadrates × species and matrix of quadrates × environmental factors were established. PFTs were defined according to CCA ordination. The results showed that : With changes of elevation and other environmental factors , HuoMountainQiliyu secondary forest can be divided into F1 *Carya cathayensis* Sarg. , *Ostryopsis davidiana* Decaisne , *Carex lanceolata* Boott. ; F2 *Pinus tabulaeformis* Carr. , *Quercus wutaishanica* Blume , *Spiraea trilobata* Linn , *Arthraxon hispidus* ( Thunb. ) Makio. ; F3 *Quercus wutaishanica* Blume , *Forsythia suspensa* ( Thunb. ) Vahl. Enum. , *Carex lanceolata* Boott. ; F4 *Larix principis-rupprechtii* Mayr. , *Lespedeza formosa* ( Vog. ) Koehne , *Senecio nemorensis* Linn ; F5 *Betula platyphylla* Suk , *Corylus heterophylla* Fisch. Ex Trautv. , *Carex lanceolata* Boott. . five plant functional types.

**Key words :** plant functional types ; HuoShanMountainQiliyu ; CCA ordination ; functional traits