

DCCA 排序轴分类及其在关帝山八水沟植物群落生态梯度分析中的应用

邱 扬¹, 张金屯²

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 山西大学黄土高原研究所, 太原 030006)

摘要:首次在 DCCA 排序的基础上使用排序轴分类法(OAC), 将其发展为一个新的典范分类方法, 并应用这种方法对山西关帝山八水沟的植物群落进行了数量分类, 共划分出 5 类, 效果较好。方差分析与多重比较表明, 环境与群落结构因子在不同群落之间存在较为显著的差异, 表明 DCCA 排序轴分类法能较好地反映群落与环境的变异。

因为 DCCA 排序轴分类同时结合了植被因子与环境因子, 所以它能较好地表达植物群落的环境梯度和结构梯度, 反映环境与结构的生态变异特点。第 1 排序轴表达了朝向暖干方向的梯度, 植物群落类型由森林向灌丛过渡, 森林群落由杨桦-云杉混交林和华北落叶松-白 混交林向山杨-辽东栎混交林过渡, 主要反映小地形方面的水平变异与木本植物群落类型变异的综合梯度, 变异尺度较小; 第 2 轴表达了朝向冷湿方向的梯度, 植物群落类型由森林和灌丛向草甸过渡, 森林群落由杨桦-云杉混交林和山杨-辽东栎混交林向华北落叶松-白 混交林过渡, 主要反映海拔方面的垂直变异与植物群落类型变异的综合梯度, 变异尺度相对较大。两者综合作用表达了该地区植物群落的空间生态梯度。

DCCA 排序轴分类具有 DCCA 的优点, 不仅能除去弓形效应, 而且能同时结合多个环境因子; 不仅能独立完成分类过程, 而且其生态意义明确。因而, DCCA 排序轴分类在群落与环境的生态分析中具有应用价值。

关键词:关帝山; 八水沟; 植物群落; DCCA 排序; 排序轴分类(OAC); 生态梯度

The ordination axes clustering based on detrended canonical correspondence analysis ordination and its application to the analysis of the ecological gradients of plant communities

QIU Yang¹, ZHANG Jin-Tun (1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

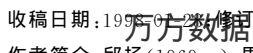
Abstract: Based on Detrended Canonical Correspondence Analysis (DCCA), a new classification method, DCCA Ordination Axes Clustering (OAC) was introduced and was applied to the classification of the plant communities in Bashuigou catchment, Guandi Mountain, Shanxi Province. Five types of communities can be identified with the method. It is concluded that there are obvious differences of community structure and environmental factors among the community types by using the Analysis of Variance and Multiple Comparison. So, the OAC based on DCCA expresses the ecological gradients of communities and environment clearly.

For the OAC based on DCCA combining the vegetation and environmental factors, it expresses the gradients and the variation characteristics of the community structure and environment well. The axis 1 illustrates the gradients towards warm and dry, representing the horizontal variation of micro-topography and the types of wooden plant community. Along the axis 1, the shrub community replaces the forest community, and the *Populus* spp. + *Betula* spp. - *Picea* spp. forest and the *Larix principis-rupprechtii*-*Picea meyeri* forest are replaced by the *Populus davidiana*-*Quercus liaotougensis* forest. However the scale of

基金项目: 国家教委基金、山西省留学基金和山西省自然科学基金项目

收稿日期: 1999-09-22 修回日期: 1999-10-11

作者简介: 邱扬(1969~), 男, 博士生。



variation is small. The axis 2 means the gradients towards cold and wet, caused by the vertical variation of altitude and the types of plant community. Along the axis 2, the herbaceous community replaces the forest and shrub community, and the *Populus* spp. + *Betula* spp. - *Picea* spp. forest and the *Populus davidiana*-*Quercus liaotungensis* forest are replaced by the *Larix principis-rupprechtii*-*Picea meyeri* forest. However, the scale of variation is large. At all, the two-dimensional plot of the axis 1 and axis 2 can clearly reflects the spatial gradients of communities in this area.

The OAC based on DCCA is good as DCCA, and it can remove Arch effect and relate more environmental factors. Also, it is good as OAC, and its can finish clustering by itself, and it means definite ecological relations. This new method has some advantages in the study on the relationships between the community and environment.

Key words: plant community; Detrended Canonical Correspondence Analysis (DCCA); Ordination Axes Clustering (OAC); ecological gradients

文章编号: 1000-0199-08(2000)02-0199-08 中图分类号: Q145 文献标识码: A

排序和分类是研究群落生态关系的重要数量方法^[1,2]。80 年代后期, 结合除趋势对应分析 (Detrended Correspondence Analysis, DCA) 与典范对应分析 (Canonical Correspondence Analysis, CCA), 发展了除趋势典范对应分析 (Detrended Canonical Correspondence Analysis, DCCA)。排序轴包含了种类组成信息, 也包括了环境因子信息, 因而具有精度高、克服了弓形效应、能结合环境因子等诸多优点, 是目前国际上最新的排序方法^[3]。这种排序方法在植物群落研究中已有一些成功的例子^[4~6]。排序有助于表达植物群落的生态关系, 也有助于分类及其解释, 但它本身不是一种分类。分类方法也是多种多样, 而且在植被研究中得到了广泛的应用。但是, 结合环境因子的外在分类方法仍很贫乏^[7]。排序轴分类法 (Ordination Axes Clustering, OAC) 是以排序为基础的一种等级分划法, 它在植被研究中的应用仍很少^[8]。DCCA 排序轴分类法可以实现植被数据与环境数据的结合, 是一外在分类方法。这种方法尚未见报道。本文首次在 DCCA 排序的基础上使用 DCCA 排序轴分类法, 将其发展为一种新的典范分类法, 并应用这种方法研究了山西关帝山八水沟植物群落的生态学关系。

关帝山是国家一类重点保护动物褐马鸡 (*Crossoptilon mantchuricum*) 的集中分布地, 褐马鸡的栖息生境即以华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*) 和云杉 (*Picea* spp.) 为主的天然次生林, 也在国家级保护之中。因此, 研究关帝山植物群落具有重要的理论和实际意义。然而关帝山植物群落的研究甚为薄弱^①[9~12]。

关于该区的自然条件详见文献^①[10~12]。八水沟位于庞泉沟自然保护区的西南角。

1 研究方法

1.1 取样调查与数据预处理

1.1.1 取样 1996 年, 在关帝山庞泉沟自然保护区内, 选择两山夹一沟的一个集水区即八水沟作为研究地。以间隔 300m 均匀布设样地。林木样地为 10×10m², 共 57 个; 在林木样地的 4 个角和中心, 再设灌木、草本植物以及森林的幼苗和幼树的样方 (2×2m²), 共 285 个。另外, 沿林木样地的一个对角延伸线, 在样地两侧分别取 10 个样方 (2×2m²), 共 1140 个, 调查灌木与草本的频度。

1.1.2 调查 调查林木样地内树高>3m 的全部树木, 记载每株树的树种、胸径、树高。在林木样地内的样方中, 调查全部幼苗和幼树, 记载每株的树种和树高; 在样方中, 还调查全部灌木和草本, 分物种记载层次、高度、盖度、分布状况以及生长状况。在林木样地外的样方中, 调查灌木和草本植物的频度。同时记载每个样地在研究区内的位置、海拔、坡向、坡位、坡度和林木郁闭度。

① 陈灵芝, 等. 山西省“关帝山庞泉沟自然保护区”植被的基本特征研究, 1984

1.1.3 数据预处理 在室内分别计算林木、灌木和草本的重要值,计算公式如下:

林木的重要值 =
$$\frac{\text{相对密度} + \text{相对优势度} + \text{相对高度}}{300}$$
 (1)

灌木和草本的重要值 =
$$\frac{\text{相对盖度} + \text{相对频度}}{200}$$
 (2)

这里,林木重要值计算式中的相对优势度指的是胸高断面积的相对值。
坡位以数字表示,其中 1 代表下坡,2 代表中坡,3 代表上坡。
坡向原始记录是以朝东为起点(即为 0°),顺时针旋转的角度表示。数据处理时采取每 45°为一个区间的划分等级制的方法,以数字表示各等级,1 表示北坡(247.5°~292.5°),2 表示东北坡(292.5°~317.5°),3 表示西北坡(202.5~247.5°),4 表示东坡(317.5°~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°)。显然,数字越大,表示越向阳,越干热。

1.2 DCCA 排序及其排序轴分类法(OAC)

DCCA 需要两个数据矩阵,一个是植被数据矩阵,一个是环境因子数据矩阵。本文植被数据矩阵为 $P \times N$ 维的物种重要值矩阵,其中 P 为植物的种数(140 个), N 为样地数(本文为 57 个);环境因子有海拔、坡向、坡位、坡度 4 个因子。

DCCA 可以说是 CCA 与 DCA 的结合,排序的详细过程参见文献^[3]。本文采用国际通用软件 CANOCO 完成 DCCA 排序。CANOCO 一次给出样地前四个排序轴的坐标值。

DCCA 排序轴分类(OAC)的具体步骤如下:

- (1)对原始数据进行 DCCA 排序。
- (2)以第一排序轴为依据,进行第一次分划。第一次分划是以第一排序轴的形心为界,对 N 个样方逐一判别,分为 A1 和 A2 正负两组。排序轴的形心 $\bar{y}$ 由下式计算:

$$\bar{y} = \sum_{j=1}^N y_j / N$$
 (3)

这里, y_j 代表第 j 个样地 在第一排序轴上的坐标值。以 $\bar{y}$ 为界,若 $y_j < \bar{y}$,划入 A1 组,为负组;若 $y_j > \bar{y}$ 划入 A2 组,为正组。

以排序轴形心为中心向两侧扩展,划出一个较窄的中性带(Indifference zone),因为样地在排序图上的分布不均匀,因而位于该带内的样地可能错分划。一般说来,该中性带的宽度为全部样地排序值的最大值与最小值的差的 5%。采用离差平方和来判断这种样地的归组。假定一个样地 k 位于中性带内, y_k 为其第一排序轴的坐标值,则分别计算离差平方和:

$$S_{kA1}^2 = \sum_{j \in A1} (y_j - y_k)^2$$
 (4)

$$S_{kA2}^2 = \sum_{j \in A2} (y_j - y_k)^2$$
 (5)

这里 S_{kA1}^2 和 S_{kA2}^2 分别是样地 k 与 A1 组和 A2 组中所有样地间的离差平方和。离差平方和是一种距离;因此,该样地应该属于距离较小的组,即 $S_{kA1}^2 > S_{kA2}^2$,则样地归入 A2 组;反之,若 $S_{kA1}^2 < S_{kA2}^2$,则样地归入 A1 组。

这样,完成了第一次分划, N 个样地被分成两个组。

(3)再分划,对以上得到的两个新样地组,对每个样地逐一判别,重复第二步分划过程,进行再分划。但此次分划是以第二排序轴的坐标值为基础。这样,分类可以基于不同的生态梯度之上,生态意义更明确。以第二排序轴为依据,以上 2 组被分为 4 组。然后,再以第三排序轴为依据。4 组又被分成 8 组等等,以此类推。分划的终止原则可以人为规定,但最重要的依据是生态学知识。所分的组数,决定着使用几个排序轴。一般说来,前 3 个或前 4 个排序轴就可以满足分类的要求了。前 4 个排序轴包含绝大多数生态信息,可提供客观结果。

万方数据

2 研究结果与分析

2.1 DCCA 排序轴分类结果与群落类型概况

经 DCCA 排序,利用前 2 个排序轴值进行两次分划,结果得到 4 种群落类型。前 3 个类型已经非常清楚了,不再做进一步的划分;可是,第 4 类还包含着灌丛和草甸,因此利用第 3 排序轴值对第 4 类做进一步的划分,区分为灌丛类(第Ⅳ类)和草甸类(第Ⅴ类)。5 个群落类型列于下:

(1)披针苔草+蕨类-毛榛+金花忍冬-云杉+杨桦森林(Form. *Carex lanceolata*+*Gymnocarpium* spp.-*Corylus mandshurica*+*Lonicera chrysantha*-*Picea* spp. +*Populus*. spp. +*Betula* spp.),简称杨桦-云杉混交林(*Populus* spp. +*Betula* spp.-*Picea* spp. forest)。包含样地 1~4,6~10,14,15,32,34~39。

(2)披针苔草+糙苏+落新妇-卫矛+金花忍冬-白 +华北落叶松群落(Form. *Carex lanceolata*+*Phlomis umbrosa*+*Astilbe chinensis*-*Euonymus alatus*+*Lonicera chrysantha*-*Picea meyeri*+*Larix principis-rupprechtii*),简称华北落叶松-白 混交林(*Larix principis-rupprechtii*-*Picea meyeri* forest)。包含样地 5, 11~13,16~21,23~26,41,42,44,47~49,53,54。

(3)披针苔草+瓣蕊唐松草-土庄绣线菊+美蔷薇-辽东栎+山杨群落(Form. *Carex lanceolata*+*Thalictrum petaloideum*-*Spiraea pubescens*+*Rosa bella*-*Quercus liaotungensis*+*Populus davidiana*),简称山杨-辽东栎混交林(*Populus davidiana*-*Quercus liaotungensis* forest)。包含样地 28~31,33,40,45。

(4)蒿类+禾草类-高山绣线菊+鬼见愁群落(Form. *Argtemisia* spp. +*Poa* spp.-*Spiraea alpina*+*Ribes mandshuricum*),简称高山绣线菊灌丛(*Spiraea alpina* shrub)。包含样地 22,27,43,46,50~52,57。

(5)蒿草+雪白委陵菜草甸(Form. *Kobresia bellardii*+*Potentil nivea*),简称蒿草草甸(*Kobresia bellardii* grass)。包含样地 55 和 56。

各群落类型的结构、环境特点见表 1、表 2 和表 3。由表 1~3 可见,整个景观的植物群落主要以森林为主,共有 3 类,面积为 423hm²,占景观的 82.46%,其遍布整个景观的绝大部分,为景观的本底;灌丛次之,有 1 类,面积为 72hm²,占景观的 14.04%,呈斑块状散布于景观的高海拔处;草甸最少,仅 1 类,面积为 18hm²,占景观的 3.51%,呈斑块状分布在景观的山顶平坦处^[12]。因为本研究区的海拔在 1887~2516m 之间,1887~2400m,以下为森林带,2400m 以上属于亚高山灌丛带,>2400m 的山顶平坦处为草甸。这与陈灵芝等在 1984 年的调查结果^①相吻合。表明,DCCA 排序轴分类结果能较好代表该区的群落类型。

2.2 群落的环境梯度分析

因为 DCCA 排序轴同时结合了植被因子与环境因子,因此所分的群落类型和环境因子的关系很清楚。这可以从 DCCA 二维排序图(图 1)上看出来。图中箭头代表各个环境因子,这是 DCCA 排序的特点。箭头所处象限,代表着环境因子与排序轴间的正负相关性;箭头连线的长度代表着环境因子与排序轴相关性的大小。

从排序轴来看,第 1 轴与坡度、坡向和坡位的关系表现为较显著的正相关,与海拔也为正相关,但关系并不紧密。沿第 1 排序轴,样地排列呈现朝向陡峭(干燥)、偏阳(温暖)和上坡(干燥)方向的一个综合梯度,对水热关系的表达是综合作用的结果。第 2 排序轴与海拔和坡位呈正相关,而与坡度和坡向之间表现为负相关,但只与海拔的关系较显著。沿第 2 排序轴,样地排列呈现朝向高海拔(冷湿)方向的一个梯度。因此第 2 排序轴主要反映了海拔的变异。

从群落类型来看,各群落类型在排序图上有规律地分布。第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类这 3 个森林群落集中在排序图的左下部,第Ⅳ类灌丛群落位于排序图的最右部,第Ⅴ类草甸群落位于排序图最上部。由表 2 可见,森林群落的海拔、坡位、坡向、坡度的平均值都较小,这是因为它们对水热要求较严格,主要分布于较低海拔的阴坡平缓处,生境特点是凉湿,第Ⅳ类灌丛群落分布在阳坡陡峭处,生境特点是暖干;第Ⅴ类草甸群落多分布在较高海拔的山顶平坦处,生境特点是冷湿。

2.3 群落的结构梯度分析

——— 万方数据 ———

① 陈灵芝,等. 山西省“关帝山庞泉沟自然保护区”植被的基本特征研究,1984

DCCA 排序图(图 1)还能较好地反映群落的结构梯度。从群落类型来看,沿第 1 轴,群落类型由森林群落朝向灌丛群落过渡,但皆为木本植物群落;沿第 2 轴,群落类型由森林与灌丛群落朝向草甸群落过渡,即由木本植物群落向草本植物群落转变,这也从另一个侧面反映了该地区林线的位置^[9,13]。经过群落组成与各层次的优势种的分析,都能得到佐证。从群落组成来(表 1)看,森林群落的乔木郁闭度、灌木层与草本层的总重要值、层间层的总盖度、立木更新都显著高于其它类型,反映了森林群落的结构与功能的复杂性与多样性;灌丛群落缺乏乔木层,草甸群落缺乏木本植物层(乔木层和灌木层)。从整体上来说,沿两个轴,群落结构与功能都趋于简单化,多样性降低。从种类组成(表 3)来看,森林群落除了具有乔木层的独特优势外,在灌木层与草本层中的森林典型种,如毛榛(*Corylus mandshurica*)、东北茶藨子(*Ribes mandshuricum*)、金花忍冬(*Lonicera chrysantha*)、卫矛(*Euonymus alatus*)、土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、美蔷薇(*Rosa bella*)、灰子(*Cotoneaster acutifolius*)等,以及披针苔草(*Carex lanceolata*)、蕨类(*Gymnocarpium* spp.)、落新妇(*Astilbe chinensis*)、糙苏(*Phlomis umbrosa*)、瓣蕊唐松草(*Thalictrum petaloideum*)等物种的相对重要值都显著大于另外两类;灌木群落的典型种如高山绣线菊(*Spiraea alpina*)、金露梅(*Potentilla glabra*)、鬼见愁(*Caragana jubata*)、禾草类等种具有独特优势,其相对重要值都显著大于另外两类;草甸群落具有其特有种,如嵩草(*Kobresia bellardii*)和雪白委陵菜(*Potentia nivea*)等物种。

表 1 群落的结构特征

Table 1 The structure of characteristics communities

类型 Type	面积 Area (hm ²)	百分率 Percentage (%)	乔木郁闭 度 Tree cover	灌木总重要值 Total importance value of shrub	草本总重要值 Total importance value of herbs	苔藓总盖度 Total cover of mosses	层间总盖度 Total cover of intelayer	立木更新 Regeneration of tree(n/hm ²)
I	162	31.58	0.53	208.94 ^{AB}	337.64 ^{ef}	18.98 ^I	0.68	6389
II	198	38.60	0.57	151.71 ^{AC}	457.32 ^{eG}	25.68 ^J	0.50	20455 ^m
III	63	12.28	0.47	184.64 ^D	516.57 ^{hH}	7.97 ^K	1.19	6714
IV	72	14.04	0.06	79.14 ^{BCD}	275.88 ^{GH}	5.58 ^L	0.15	688 ^m
V	18	3.51	0	0	279.05	93.50 ^{UJKL}	0.05	0
显著性 Significance			* *	* *	* *	* *		*

* 表中字母表示多重比较结果。两两之间若有一个字母相同,表示两者差异显著。如果为大写字母,则显著水平为 0.001;如果为小写字母,则显著水平为 0.05。(下同) The alphabets represent the results from multiple comparison between different community types. If there is the same alphabet between two types, they are different significantly. If capital, they are different significantly($p<0.001$); If small letter, $p<0.05$. (The same below)

表 2 群落的环境特征

Table 2 The environmental characteristics of communities

类型 Type	平均海拔 Average elevation	平均坡位 Average position of slope	平均坡向 Average aspect	平均坡度 Average slope
I	2040 ^{ABC}	1.4 ^D	2.9 ^{EFg}	21.2
II	2261 ^A	2.2	3.1 ^{HI}	22.9 ^J
III	2097	2.0	6.7 ^{EH}	30.1 ^K
IV	2413 ^B	3.0 ^D	6.5 ^{FI}	59.4 ^{JK}
V	2455 ^C	3.0	7.0 ^E	5.0
平均 Mean	2199	2.1	4.1	22.7
显著性 Significance	* *	* *	* *	* *

表 3 群落内主要物种的相对重要值
Table 3 The relative importance values of the main species in community

物种 Species	群落Ⅰ Community I	群落Ⅱ Community II	群落Ⅲ Community III	群落Ⅳ Community IV	群落Ⅴ Community V	自由度 Degree of freedom	方差分析 Analysis of variance
白 <i>Picea meyeri</i>	20.02 ^A	47.71 ^{AB}	6.48	9.19 ^B		3,51	10.6588 * *
青 <i>P. wilsonii</i>	21.78						
辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i>	6.15 ^C		56.07 ^C			1,23	32.6152 * *
华北落叶松 <i>Larix principis-rupprechtii</i>	8.56	27.12	4.08	11.76		3,51	3.2603 *
山杨 <i>Populus davidiana</i>	18.39	5.56	27.04	2.38		3,51	4.4615 * *
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	4.66	2.03					—
红桦 <i>B. albosinensis</i>	3.73	6.23	2.21	1.67			—
硕桦 <i>B. costat</i>	10.85	7.92	1.68				—
毛榛 <i>Corylus mandshurica</i>	16.95 ^{DE}	0.32 ^D	0.66 ^E			2,44	18.2905 * *
东北茶藨子 <i>Ribes mandshuricum</i>	7.41 ^f	15.91 ^f		8.07		2,45	3.4470 *
金花忍冬 <i>Lonicera chrysantha</i>	16.18 ^{gh}	18.85 ^{ij}	0.87 ^{gi}	0.32 ^{hJ}		3,51	7.7763 * *
卫矛 <i>Euonymus alatus</i>	17.83 ^K	30.60 ^{KL}	11.06 ^L			2,44	14.1630 * *
土庄绣线菊 <i>Spiraea pubescens</i>	5.30 ^M	3.86 ^N	34.28 ^{MN}			2,44	66.0363 * *
美蔷薇 <i>Rosa bella</i>	11.00	7.08 ^o	18.67 ^{oP}	1.16 ^P		3,51	5.6759 * *
灰 子 <i>Cotoneaster acutifolius</i>	5.32 ^Q	5.07 ^R	17.17 ^{QR}			2,44	8.1968 * *
金露梅 <i>Potentilla glabra</i>		0.20 ^S	4.15	13.31 ^S		2,34	8.7988 * *
高山绣线菊 <i>Spiraea Alpina</i>				65.50			
鬼见愁 <i>Caragana jubata</i>				55.34			
披针苔草 <i>Cares lanceolata</i>	38.20 ^T	31.94 ^U	26.08	11.09 ^{TU}		3,51	11.3717 * *
蕨类 <i>Gymnocarpium</i> spp.	6.29	4.26	0.03				—
落新妇 <i>Astilbe chinensis</i>	6.05 ^V	4.67	0.30 ^V			2,44	4.6393 *
糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i>	5.26 ^W	5.25 ^X	1.73	0.03 ^{WX}		3,51	5.4916 * *
瓣蕊唐松草 <i>Thalictrum petaloideum</i>	5.62 ^Y	5.22 ^z	9.65 ^{yzA}	3.57 ^A		3,51	5.3347 * *
禾草类 <i>Poa</i> spp.	1.23 ^B	1.39 ^C	3.24 ^D	12.73 ^{BCD}		3,51	15.9936 * *
蒿草 <i>Kobresia bellardii</i>					34.0		
雪白委陵菜 <i>Potentil nivea</i>					25.0		

* 方差分析栏表示方差分析 *F* 检验的显著性,其中 * * 表示显著水平为 0.01, * 表示显著水平为 0.05,—表示差异不显著;6 类相对重要值后面的字母表示不同类型(表的横向)之间多重比较结果,若两两之间有一个字母相同且为大写表示显著水平为 0.01,若两两之间有一个字母相同且为小写表示显著水平为 0.05。 The column of significant represents the *F* vlue and its significance of analysis of variance. * * $p<0.01$, * $p<0.05$,—insignificant. The alphabet represents the results from multiple comparison between different community types. If there is the same capital alphabets,they are different significantly($p<0.01$),if the same small letter, $p<0.05$.

2.4 森林群落的生态梯度分析

DCCA 排序轴分类不仅能反映植物群落的生态关系,而且还能反映森林群落内各林型的环境梯度与结构梯度。从图 1 可见,第Ⅰ类杨桦-云杉混交林分布于较低海拔的阴坡中下部的平缓处,第Ⅱ类华北落叶松-白 混交林分布于较高海拔的半阴坡中上部的平缓处,第Ⅲ类山杨-辽东栎混交林分布于较低海拔的阳坡较中下部陡峭处^[12]。这也可以从表 3 得到证实。

从优势种的分布上(表 3)可以看出排序图左右两部分在水热条件方面的显著差异。相对于排序图右半部分位于阳坡坡度较大处的山杨-辽东栎混交林(第Ⅲ类)来说,排序图左半部分分布于阴坡平缓处的杨桦-云杉混交林(第Ⅰ类)与华北落叶松-白 混交林(第Ⅱ类)中指示冷湿生境的华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、白桦(*P. wilsonii*)、红桦(*Betula albosinensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、硕桦(*Betula costat*)的比重相对较大,而指示干热生境的辽东栎(*Quercus liaotungensis*)根本不存在;下层

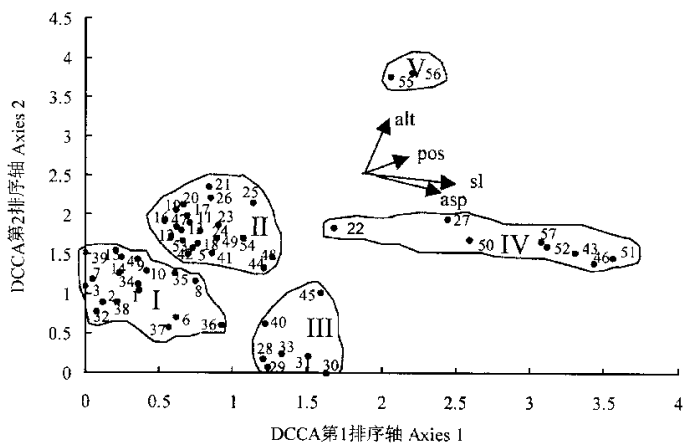


图1 DCCA 二维排序图(I~V 为群落类型)

Fig. 1 DCCA ordination plot of 57 samples

I, II... V represents the 5 classification groups identified by Ordination Axes Clustering (OAC)

木中冷湿生境的指示种毛榛、东北茶藨子、金花忍冬和卫矛的比重相对较大,而干势生境的指示种土庄绣线菊、美蔷薇和灰 子的比重则相对较小;下层草本中的冷湿生境指示种蕨类、落新妇和糙苏所占的比重相对较大,而干热生境的指示种瓣蕊唐松草的比重相对较小^[12]。

从图1还可以看出,整个森林类型的排序图还可以分为上下两部分。由表2可见,这3个森林群落类型在海拔方面有一定的显著差异。这正如上节所描述的DCCA第2排序轴反映了海拔的变异。从表3可见,这种分类还很清楚地反映了阴坡的青 与阳坡的辽东栎在该地区垂直分布的上界,从另一个角度说明了白 、华北落叶松、山杨(*Populus davidiana*)和桦类在该地区的垂直分布上线比青 和辽东栎的高^[13]。

4 讨论与结论

(1)在DCCA排序的基础上,对关帝山八水沟的植物群落进行了排序轴分类,效果较好。分类得到5种群落类型,其中有3种森林、1种灌丛和1种草甸,这5种群落及其所占的面积比例能较好地代表该区的群落类型。方差分析表明,环境与群落结构因子在不同群落之间存在较为显著的差异,表明DCCA排序轴分类法能较好地反映群落与环境的变异。

(2)因为DCCA排序轴分类同时结合了植被因子与环境因子,所以它能较好地表达群落的环境梯度,反映环境的空间变异特点。第1排序轴表达了朝向暖干方向的一个综合梯度,主要反映坡度、坡向和坡位等小地形方面的水平变异,变异尺度较小;第2轴表达了朝向冷湿方向的梯度,主要反映海拔的垂直变异,变异尺度相对较大。两者综合作用,表达该地区植物群落的空间梯度。3类森林群落分布于较低海拔的阴坡平缓处,生境特点是凉湿;第IV类灌丛群落分布在阳坡陡峭处,生境特点是暖干;第V类草甸群落多分布在较高海拔的山顶平坦处,生境特点是冷湿。

(3)DCCA排序轴分类能较好地表达植物群落的结构梯度,反映了植物群落的结构变异特点。第1排序轴主要表达了植物群落类型由森林向灌丛过渡。这种变异属于木本植物群落内的变异,变异尺度较小。第2轴表征了植物群落类型由木本植物群落向草本植物群落过渡。这种变异是木本植物群落与草本植物群落之间的变异,变异尺度相对较大。这两种结构梯度的变异与环境梯度的变异相对应,实际上DCCA排序图表达了群落与环境相互作用的综合生态梯度。另外,第2轴还反映了该地区林线的位置。

(4)DCCA排序轴分类还清楚地表达了森林群落的环境与结构的生态梯度,反映了森林群落内的生态变异特点。第1排序轴表达了森林群落朝向干热方向的环境变异梯度,反映了森林群落小地形方面的水平变异,变异尺度较小。第2轴表达了森林群落朝冷湿方向的环境变异梯度,反映了森林群落在海拔方面

的垂直变异,变异尺度较大。两者综合作用表达了该地区森林群落的空间梯度。第Ⅰ类杨桦-云杉混交林分布于较低海拔的阴坡中下部的平缓处,第Ⅱ类华北落叶松-白 混交林分布于较高海拔的半阴坡中上部的平缓处,第Ⅲ类山杨-辽东栎混交林分布于较低海拔的阳坡较中下部陡峭处。另外,第2轴还还清楚地反映了阴坡的青 与阳坡的辽东栎在该地区垂直分布的上界,从另一角度说明了白 、华北落叶松、山杨(*Populus davidiana*)和桦类在该地区的垂直分布上线比青 和辽东栎的高。

(5)DCCA 是 DCA 和 CCA 的结合,因而它不仅能去除弓形效应、精度高,而且它还能同时结合多个环境因子(理论上没有限制)、包含的信息量大。其它分类都只能在另外一种排序空间上圈定群落类型的界限,因此只能由某种排序和另一种分类相结合才能完成一个完整的分类过程。排序轴分类(OAC)在排序的基础上分类,不仅可独立完成分类过程;而且每次分划是基于不同的排序轴(生态梯度),因而生态意义更明确。显然,DCCA 排序轴分类兼具上述 DCCA 和 OAC 的优点,可广泛应用于植被与环境的生态分析中。

参考文献

[1] 张金屯 . 模糊数学及其应用 . 生态学报,1992,12(4):325~331.

[2] 党承林,姜汉侨 . 云南西畴县草果山常绿阔叶林的数量分类研究 . 生态学报,1982,2(2):111~132.

[3] 张金屯 . 植被数量生态学方法 . 北京:中国科学技术出版社,1995.

[4] 张金屯 . 植被与环境关系分析Ⅱ,CCA 和 DCCA 限定排序 . 山西大学学报(自然科学版),1992,15(3):292~298.

[5] Zhang J T and Oxley E R B. A comparison of three methods of multivariate analysis of upland grasslands in North Wales. *Journal of Vegetation Science*,1994,5:71~76.

[6] 米湘成,张金屯,张 峰,等 . 山西高原植被与气候的关系分析及植被数量区划的研究 . 植物生态学报,1996,20(6):549~560.

[7] 张金屯 . 典范指示种分析——一种新的外在分类方法 . 植物生态学报,1994,18(4):379~384.

[8] 张金屯 . 排序轴分类法及其应用 . 生态学杂志,1994,13(3):73~75.

[9] 傅子祯,李继赞 . 山西各山地植被垂直地带性的分析 . 山西林业科技,1976,2:11~17.

[10] 张 峰,上官铁梁 . 山西关帝山华北落叶松林的群落学特征和生物量 . 山西大学学报(自然科学版),1992,15(1):72~77.

[11] 张 峰 . 山西关帝山野生植物资源研究 . 山地研究,1994,12(3):181~186.

[12] 邱 扬,张金屯 . 关帝山八水沟天然植物群落时空梯度的数量分析 . 应用与环境生物学报,1999,5(2):113~120.

[13] 《山西森林》编辑委员会 . 山西森林 . 北京:中国林业出版社,1992.