

# 新疆阿尔泰山小东沟林区木本植物群落数量 分类、排序及其环境解释\*

臧润国<sup>1</sup> 井学辉<sup>1,2</sup> 丁 易<sup>1</sup> 成克武<sup>3</sup> 白志强<sup>4</sup>  
张新平<sup>4</sup> 郭仲军<sup>4</sup> 张炜银<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所 国家林业局森林生态与环境重点实验室 北京 100091 ;  
2. 河北省承德市环境保护局 承德 067000 ;3. 河北农业大学园林与旅游学院 保定 071000 ;  
4. 新疆林业科学研究院森林生态研究所 乌鲁木齐 830000 )

摘 要：在野外样方调查和主要环境因子测定的基础上，利用聚类分析和 DCCA 排序技术对新疆阿尔泰山小东沟林区的森林植被进行类型划分，并定量分析植被与环境因子的关系。结果表明：利用聚类分析可将阿尔泰山小东沟林区的木本植物群落划分为 6 个类型（灌丛、欧洲山杨林、苦杨林、疣枝桦林、新疆落叶松林和新疆落叶松与新疆冷杉、新疆云杉的针叶混交林）。DCCA 排序分析表明，海拔和坡向等地形因子以及土壤类型、土壤全氮、土壤全磷、土壤水分含量和大石砾含量等土壤因子是影响阿尔泰山林区植物分布的主要因子，林区不同群落类型的分布格局主要是由地形和土壤因子的共同作用所控制的。

关键词：阿尔泰山；聚类分析；DCCA；群落类型；环境因子

中图分类号：S718.54 文献标识码：A 文章编号：1001-7488(2010)02-0024-08

## Quantitative Classification , Ordination and Environmental Analysis of Woody Plant Communities in Xiaodonggou Forest Area of the Altai Mountain , Xinjiang

Zang Runguo<sup>1</sup> Jing Xuehui<sup>1,2</sup> Ding Yi<sup>1</sup> Cheng Kewu<sup>3</sup> Bai Zhiqiang<sup>4</sup>  
Zhang Xinping<sup>4</sup> Guo Zhongjun<sup>4</sup> Zhang Weiyin<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration  
Institute of Forest Ecology , Environment and Protection , Chinese Academy of Forestry Beijing 100091 ;  
2. Chengde Bureau of Environmental Protection Chengde 067000 ;  
3. College of Landscape Architecture and Tourism , Agricultural University of Hebei Baoding 071000 ;  
4. Institute of Forest Ecology , Xinjiang Academy of Forestry Science Urumuqi 830000 )

**Abstract** : Rational classification of vegetation types in a region by applying quantitative methods and analysis of the environmental factors influencing their distributions are indispensable for research , conservation and management of ecosystems in the region. We conducted a field investigation on forty-three vegetation plots ( 20 m × 20 m ) in Xiaodonggou forest area of the Altai Mountain in northwest China. In each plot data of the main environmental factors , including elevation , slope , aspect , large stone content , and grazing disturbance conditions , were recorded. The soil characteristics of water content , total nitrogen , total phosphorus , and soil organic matter were measured. The results showed that among the 43 plots , We identified 23 woody plant species which belonged to 16 genera in 14 families. Cluster analysis classified the woody communities into 6 types , including 5 tree communities and 1 shrub community. The 6 community types respectively were shrubs , *Populus tremula* , *Populus laurifolia* , *Betula pendula* , *Larix sibirica* , and a mixed community of *Abies sibirica* + *Larix sibirica* + *Picea obovata* and they had different distribution patterns along the major environmental gradients in the Altai Mountain. The DCCA ordination showed that the topographical factors of elevation , slope position ,

收稿日期：2008-03-03。

基金项目：国家林业局 948 项目( 2006-4-33 )、国家林业科技支撑项目( 2006BAD03A304-03-05 )和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金( CAFRIF200716、CAFYBB2007040 )资助。

\* 本文为国家林业局新疆长期森林生态研究系列论文 SFA-LTER-XJ-Paper-5。

and aspect, and the soil factors of soil type, soil total nitrogen content, soil total phosphorus content, soil water content, and large stone content, were the major environmental factors affecting plant species distribution in the Xiaodonggou area. The distribution of the vegetations in the area was mainly controlled by the interactions of topographical and soil factors.

**Key words:** Altai Mountain; cluster analysis; DCCA; community type; environmental factors

植物生态学的主要研究目标之一就是了解控制物种和群落分布的主要影响因子(Barton, 1993)。关于生物群落的异质性有 2 个经典学说,即环境控制论(Whittaker, 1956; Webb *et al.*, 2000)和生物控制论(Schoener, 1983)。有研究表明,温度是控制海拔梯度上物种分布的主要限制因子(Daubenmire, 1943),也有人认为决定物种分布格局形成的因素取决于物种定居和灭亡的平衡(Münzbergová, 2004)。现代生态学家更加系统地分析环境因素与植被群落分布的关系,并认为干扰是导致物种镶嵌分布格局的重要因素(Wimberly *et al.*, 2001)。

关于地形对植被格局的影响已开展大量的研究(Callaway *et al.*, 1987; Thomas *et al.*, 1993)。土壤因子对森林植被分布格局有不同尺度的影响(Johnston, 1992; Chen *et al.*, 1997; Clark *et al.*, 1999; Bigelow *et al.*, 2002; John *et al.*, 2007)。除以森林植被为研究对象外,也有学者对草地(Nelson *et al.*, 1983)、荒漠植被(Xu *et al.*, 2006)、河岸植被(Lenssen *et al.*, 2005)的分布格局做了相关研究。

20 世纪 70 年代,随着计算机的诞生,多元统计方法如聚类分析和排序在生态学中得到广泛的应用。20 世纪 80 年代作为间接梯度分析的 DCA 排序方法被广泛应用于生态学研究(HillandGauch, 1980),但该方法没有涉及环境数据,而是间接从物种组成数据来推算环境因子对物种分布格局的影响。近年来,作为直接梯度分析的 CCA 和 DCCA 因其能同时结合多个环境因子、包含大量的信息、结果准确等优点得到广泛应用(AllenandPeet, 1990; Odland *et al.*, 1990)。目前,应用于物种-环境关系研究最流行方法之一是去趋势典范对应分析(Detrended canonical correspondence analysis, DCCA),它是一种限定性排序方法,即在每一轮样方值-物种值的加权平均叠代运算后,用环境因子和样方排序值做一次多元线性回归,用回归系数与环境因子原始值计算出样方分值,再进行新一轮叠代计算,由此得出的排序轴代表环境因子的一种线性组合,消除了“弓形效应”,因此成为现代植被梯度分析与环境解释的流行方法(Zhang *et al.*, 1994;

邱扬等, 2000; 沈泽昊, 2002; Xu *et al.*, 2006)。

阿尔泰山是亚洲的宏大山系之一,东起蒙古巴彦温都尔,经新疆北部向西延伸至俄罗斯鲁布佐夫斯克,横亘蒙古、中国、哈萨克斯坦、俄罗斯四国,长约 1 650 km,宽约 300 km,呈西北—东南走向。中国境内的阿尔泰山属于其中段的西南坡,东西长约 450 km,南北宽约 80~150 km,呈西北高而宽,东南低而窄的地形特征。阿尔泰山由一系列南西向北东逐渐升高的阶梯状山地组成,切割强烈。一般海拔在 1 000~3 500 m,其中北部最高的友谊峰海拔 4 374 m。本文所指的阿尔泰山山地植被指分布于我国境内阿尔泰山南坡中段的小东沟林区辖域范围内的植被。小东沟林区山地植被随地貌和海拔变化,呈现明显的带状更替现象。山地森林主要分布在海拔 1 300~2 600 m,阴坡林分郁闭度明显高于阳坡。不同森林群落类型分布具有明显的界线。

目前国内已经对阿尔泰山林区的植被开展了一些研究,主要集中在森林资源动态变化(时旭辉等, 1995)、种子植物区系(陈文俐等, 2000)、树种天然更新特点及规律(曾东等, 2000)及森林类型划分(臧润国等, 2005)。这些研究多数是定性描述的,关于该区物种梯度分布与环境解释的定量研究还未见报道。

本文利用野外调查的群落样地资料,对小东沟林区植物群落类型进行了划分,并利用去趋势典范对应分析(DCCA)方法,探讨了小东沟林区物种分布与环境因子的关系,旨在揭示小东沟林区主要植物群落分布格局及影响因子,以期为今后在阿尔泰山林区开展森林生态系统功能、生物多样性保育和林区资源可持续发展等方面的研究和相应的经营管理提供科学依据。

## 1 研究区概况

阿勒泰地区的地理位置为 45°59'—49°10' N, 85°31'—91°01' E。属于大陆性寒温带气候。气候多严寒,冷暖悬殊,年较差大,日较差也显著。年均温 4.5 °C, 1 月平均气温 -16.7 °C, 7 月平均气温 22.1 °C, 极端最低气温 -43.5 °C, 极端最高温度 37.6 °C。冬季寒冷期 >110 天,严寒期(≤-20 °C)

约 58 ~ 63 天。年均降水量 183 mm,主要集中在 6—12 月,占年降水量的 70% ~ 80%。5—6 月山地融雪水与降雨叠加容易形成洪水。年均日照时数 3 010.8 h。年均风速 1.0 ~ 5.0  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,多 8 级以上大风,春季最多,夏季次之,秋冬天气比较稳定。年降雪 140 ~ 150 天,积雪深度 50 ~ 60 cm,最深可达 89 cm。

研究区位于小东沟森林公园内的小东沟山系,距离阿勒泰市区北约 10 km 处。年均温度 -4 ~ -2  $^{\circ}\text{C}$ 。年降水较丰富,且降水量随海拔的升高而递增,同时也从北向南、从西向东逐渐减少。年降水量中山带 300 ~ 500 mm,高山带 600 ~ 800 mm。夏季多雨,冬季积雪,气候、地貌和植被垂直带分布明显。林区主要土壤有山地栗钙土和山地灰色森林土。该林区乔木树种比较单纯,主要有新疆落叶松(*Larix sibirica*)、还有较少的新疆云杉(*Picea obovata*)、新疆冷杉(*Abies sibirica*)、落叶阔叶树种主要有欧洲山杨(*Populus tremula*)、疣枝桦(*Betula pendula*)和苦杨(*Populus laurifolia*)等。灌丛种类丰富,有多种刺柏属(*Juniperus*)、圆柏属(*Sabina*)、蔷薇属(*Rosa*)、栒子属(*Cotoneaster*)、忍冬属(*Lonicera*)、小檗属(*Berberis*)、绣线菊属(*Spiraea*)等种类。

## 2 研究方法

### 2.1 调查方法

为了反映整个垂直梯度带上的物种分布格局,分别在小东沟南、北两坡向沿海拔 1 100 ~ 1 800 m 和 1 200 ~ 2 200 m 设置调查样带。以每 50 m 的海拔为间隔设置一个 20 m  $\times$  20 m 的样地,并将其分成 16 个 5 m  $\times$  5 m 的小样方调查其乔木和灌木。共调查样地 43 个,其中南、北坡分别为 18 个和 25 个。调查内容包括:1)群落特征:在每个样地内用样绳分成 5 m  $\times$  5 m 的小样方,在每个小样方内记录 DBH  $\geq$  1 cm 的乔木种名、胸径和树高。对 DBH < 1 cm 的乔木幼树和幼苗按高度  $\leq$  0.5 m 和 > 0.5 m 2 类统计各种的数量。小样方内的灌木记录种名、高度和盖度。2)环境因子:利用 GPS 在样地中心位置记录样地的地理坐标和海拔,用罗盘实测样地坡度,同时记录样地所在坡向、坡位、样方内大石砾含量及受放牧干扰与否。3)土壤:群落调查结束后,在每一样地内选择代表平均状况的地点挖掘一土壤剖面,用铝盒取 0 ~ 20 cm 土层中的土样,称土样质量,另取适量土放入土袋,带回实验室进行分析。土样分析指标包括有机质、全 N 和全 P 含量。

每样地称过质量的铝盒样品带回室内再经过 48 h、105  $^{\circ}\text{C}$  烘干,待铝盒冷却称量土样干质量,计算样地土壤含水量。

### 2.2 数据预处理及其变量确定

根据各样地内物种的多度、频度等,分别计算乔木、灌木层的重要值,其中样地内的幼苗和幼树都归为灌木层统计。计算公式如下:

乔木层植物重要值 = (相对多度 + 相对频度 + 相对显著度) / 3;

灌木层植物重要值 = (相对多度 + 相对频度) / 2。

为了满足 DCCA 数据分析的需要,对于定量变量,如海拔、坡度等数据,采用实测值表示。对于虚变量采用 0,1 赋值的形式,如以样地是否受放牧干扰为例,样地受放牧影响赋值为 1,不受放牧影响赋值为 0。对于定性的有序多变量数据,采用分级方法赋值,如坡向(ASPE)从阴坡到阳坡共划分 4 级,分别赋值 1 ~ 4,数值增加表明样地光照强度增加,越向阳,越干热。坡位(POSI)划分下坡、中坡和上坡,分别赋值 1 ~ 3。

在进行 DCCA 分析之前,为了消除各因子取值范围与量纲不同的影响,并满足变量数据的正态要求,对坡度、海拔、大石砾含量、土壤含水量数据进行标准化转换  $X'_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。对土壤全 N、全 P 和有机质数据做了对数转换,以更好地区分微小数值变化对植被分布格局的影响。

### 2.3 群落类型划分和排序

应用 SPSS 13.0 软件的聚类分析方法对调查的 43 个样地进行类型划分。首先确定聚类分析所用的数据集,即统计各样方的乔木层和灌木层物种的重要值。其次,确定最多划分水平数量,其余按照系统默认程序进行。本研究的物种 - 环境因子排序采用 DCCA 方法,它是结合趋势对应分析(DCA)与典范对应分析(CCA)发展起来的,因其排序轴既包含物种信息,又包含环境信息,又克服弓形效应,是目前国际上最新的排序方法(邱扬等,2000; Xu *et al.*, 2006)。它可以直观地把环境因子、物种、样方同时表达在排序轴的坐标平面上。分析采用 CANOCO for windows, Version 4.5 软件,所应用的环境因子为 14 个因子(表 1),物种数据采用各样地内物种的重要值。对物种和环境数据做 DCCA 分析时,为了满足软件的需要,对物种重要值数据做了对数转换,其他均按照系统默认选项进行。

表 1 DCCA 分析所用的生境因子<sup>①</sup>

Tab. 1 The habitat factors included in DCCA analysis

类别 Type	因子 Factor	缩写 Abbr	取值范围 Range
地形 Topography	海拔 Elevation/m	Elev	实测值 Measured values
	坡向 Aspect	Aspe	1 2 3 4
	坡度 Slope/(°)	Slop	实测值 Measured values
	坡位 Position	Posi	1 2 3
土壤 Soil	亚高山草甸土 Sub-high mountainous meadow soils	SmmS	0, 1
	山地灰色森林土 Mountainous gray forest soils	MgfS	0, 1
	山地黑钙土 Mountainous chernozem soils	MocS	0, 1
	山地栗钙土 Mountainous chestnut soils	McmS	0, 1
	土壤含水量 Soil water content	SowC	实测值 Measured values
	有机质 Soil organic matter	Orga	实测值 Measured values
样方内大石砾 Stone in plot	全 N Total nitrogen	TotN	实测值 Measured values
	全 P Total phosphorus	TotP	实测值 Measured values
	大石砾含量 Big stone content	Ston	实测值 Measured values
放牧 Graz	放牧与否 Graze or not	Graz	0, 1

① 坡向值 Aspect values : 1 北坡 North slope ; 2 东南坡 East-south slope ; 3 西南坡 West-south slope ; 4 南坡 South slope. 坡位值 Position values : 1 下坡 Down-slope ; 2 中坡 Middle-slope ; 3 上坡 Up-slope.

### 3 结果与分析

#### 3.1 样地聚类分析

在调查的 43 个样地内,共记录 23 个乔灌木种,分属于 16 属和 14 科。通过聚类对小东沟林区 43 个样地进行 6 个群落类型的划分(表 2)。

表 2 小东沟山区 43 个样地的聚类统计结果

Tab. 2 Cluster classification of 43 plots in Xiaodonggou mountains

群落类型 Community types	包含的样方编号 Included plots No.
类型 I Type I	10, 18, 19, 27, 28, 31, 34, 36
类型 II Type II	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11
类型 III Type III	26, 30, 37, 38, 39, 40, 42
类型 IV Type IV	12, 13, 14, 15, 16, 17, 22, 23, 24, 25, 33
类型 V Type V	20, 29, 43
类型 VI Type VI	8, 9, 21, 32, 35, 41

群落类型 I 是以欧洲山杨为主的混交阔叶林,多与疣枝桦混生分布,也有少量的新疆云杉出现,林下灌木层主要有绣线菊、腺齿蔷薇(*Rosa albertii*)、臭茶藨(*Ribes graveolens*)等。群落类型 II 主要是以新疆落叶松为优势种的针叶林,混有少量的新疆云杉和新疆冷杉,其林下灌木层优势种为新疆圆柏(*Sabina vulgaris*)腺齿蔷薇少有分布。群落类型 III 主要是灌木群落类型,主要分布在阳坡,优势种是各种绣线菊和忍冬,亦有新疆圆柏、小檗、接骨木(*Sambucus williamsii*)等灌木伴生出现。群落类型 IV 主要是针叶混交林,优势种有新疆冷杉、新疆落叶松和新疆云杉,有时伴有阔叶树种疣枝桦出现。林下灌木层的优势种主要是乔木幼苗,包括新疆冷杉、

新疆云杉幼苗,灌木树种忍冬、腺齿蔷薇等少有分布。群落类型 V 主要是以苦杨为优势种的阔叶林,常与疣枝桦混生分布。林下灌木层优势种主要是苦杨幼苗,臭茶藨灌木少有分布。群落类型 VI 是以疣枝桦为优势种的混交群落类型,主要与黄花柳(*Salix caprea*)混交,有时混有少量的新疆落叶松、新疆云杉等针叶树种。林下灌木层以乔木幼苗或腺齿蔷薇占优势,伴有臭茶藨、接骨木等混生分布。

#### 3.2 环境因子之间的相关性分析

不同环境因子之间存在显著的相关性(表 3),海拔和山地灰色森林土土壤类型与坡位均呈极显著的正相关,相关系数分别为 0.933 和 0.658。山地栗钙土土壤类型、土壤全 N 和土壤全 P 与坡位呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.923, -0.477 和 -0.602。亚高山草甸土土壤类型和山地灰色森林土土壤类型与海拔均呈极显著的正相关,相关系数分别为 0.441 和 0.602,山地栗钙土土壤类型、土壤全 N 和土壤全 P 与海拔均呈极显著的负相关,相关系数分别为 -0.860, -0.456 和 -0.603。放牧与坡度呈显著的负相关,相关系数为 -0.327。

#### 3.3 环境因子与 DCCA 排序前 4 轴的相关性分析

通过 DCCA 排序,14 个环境因子中与轴 1 相关性最高的环境因子是海拔,相关系数为 0.910 6;其次是坡位,相关系数为 0.866 2;山地灰色森林土土壤类型、山地栗钙土土壤类型、土壤全 P、土壤全 N、坡向均与 DCCA 的第 1 轴具有明显的相关性。其中,山地栗钙土土壤类型、土壤全 P、全 N、坡向这 4 个环境因子与 DCCA 第 1 轴呈负相关(相关系数分别为 -0.735 6, -0.617 5, -0.604 0, -0.637 9)。

表 3 14 个环境因子之间的相关系数

Tab. 3 The coefficients among the 14 environmental factors

	Slop	Aspe	Posi	Elev	SmmS	MgfS	MocS	McmS	Ston	Graz	SowC	TotN	TotP
Aspe	-0.107												
Posi	-0.029	-0.457**											
Elev	0.147	-0.493**	0.933**										
SmmS	-0.048	-0.224	0.379*	0.441**									
MgfS	0.043	-0.599**	0.658**	0.602**	-0.200								
MocS	-0.027	0.488**	0.139	0.081	-0.110	-0.295							
McmS	0.002	0.349*	-0.923**	-0.860**	-0.244	-0.651**	-0.358*						
Ston	-0.102	0.319*	0.006	-0.065	-0.284	0.087	0.331*	-0.168					
Graz	-0.327*	-0.045	-0.148	-0.222	0.035	-0.207	-0.086	0.241	-0.211				
SowC	0.025	-0.386*	0.256	0.281	0.331*	0.051	0.054	-0.257	-0.237	0.100			
TotN	0.051	0.504**	-0.477**	-0.456**	-0.257	-0.464**	0.346*	0.336*	-0.048	-0.023	0.239		
TotP	0.112	0.523**	-0.602**	-0.603**	-0.280	-0.613**	0.352*	0.487**	-0.047	-0.084	-0.048	0.637**	
Orga	-0.013	0.350*	-0.366*	-0.385*	-0.331*	-0.256	0.314*	0.196	0.007	0.077	0.355*	0.891**	0.548**

与第 2 轴相关性最高的环境因子是土壤含水量,相关系数为 0.510 6。坡向和样地内的大石砾含量与 DCCA 第 2 轴呈负相关,相关系数分别为 -0.389 7 和 -0.397 6。14 个环境因子中,与 DCCA 第 3 轴相关性最高的环境因子是坡度因子,相关系数为 -0.579 2。与第 4 轴相关性较高的环境因子是山地黑钙土土壤类型,呈负相关性。

表 4 DCCA 排序前 4 轴与环境因子相关系数

Tab. 4 The coefficients among the first 4 DCCA axes and the environmental factors

环境因子 Environmental factors	AX1	AX2	AX3	AX4
Slop	-0.032 3	0.237 4	-0.579 2	0.026 2
Aspe	-0.637 9	-0.389 7	-0.064 6	-0.229 8
Posi	0.866 2	-0.134 7	0.024 0	-0.096 4
Elev	0.910 6	-0.034 2	-0.085 0	-0.083 1
SmmS	0.342 6	0.261 1	0.168 4	0.055 8
MgfS	0.749 2	-0.250 3	-0.108 4	0.120 0
MocS	-0.213 7	-0.120 9	0.131 4	-0.320 0
McmS	-0.735 6	0.248 9	-0.051 8	0.097 4
Ston	-0.156 2	-0.397 6	0.053 5	-0.120 6
Graz	-0.133 1	0.065 0	0.284 0	-0.167 8
SowC	-0.065 5	0.510 6	0.081 9	-0.071 4
TotN	-0.604 0	0.129 3	-0.106 3	0.113 5
TotP	-0.617 5	0.233 5	-0.067 3	-0.120 6
Orga	-0.471 1	0.105 6	-0.060 0	0.185 1

### 3.4 样方、物种与环境因子的 DCCA 排序

不同的群落类型沿着相应环境梯度具有不同的分布范围(图 1)。群落类型 I 主要分布在 DCCA 排序图的左边,一般海拔介于 1 200 ~ 1 700 m,坡度在 20 ~ 30°。阴坡和阳坡均有分布,从阴坡到阳坡,样地内大石砾含量显著增加,少数样地内大石砾含量可达到 90%。沿海拔梯度,土壤类型由山地栗钙土向山地黑钙土转化。坡度陡峭的地方,不受放牧的

干扰。群落土壤养分条件相对较好。

群落类型 II 主要分布于 DCCA 图的第 2 象限,一般海拔分布范围 2 000 ~ 2 200 m,属于高海拔地段,个别分布在海拔 1 500 m 左右。该类型群落主要分布在阴坡,坡位较高处,坡度较缓,少数地势陡峭。土壤类型海拔 2 100 m 以下以山地灰色森林土为主,海拔 2 100 m 以上亚高山草甸土广泛分布。样地内的大石砾含量明显减少。土壤水分条件好,土壤全 N、全 P、有机质含量明显小于群落类型 I。坡度小的地方仍受放牧影响。

群落类型 III 主要分布在阳坡、坡位较低的地带。物种主要以灌木为主。一般分布在海拔 1 200 ~ 1 400 m,个别出现在海拔 1 800 m 左右,由于海拔分布低,牲畜容易接近,受放牧影响严重。样地内土壤相对较干,土壤类型趋向于山地栗钙土。

群落类型 IV 主要分布在 DCCA 图的第 4 象限,该群落类型主要分布在阴坡、坡度平缓处,坡度在 13 ~ 25°,海拔 1 600 ~ 2 000 m,群落多分布在中坡、坡顶位置。群落内的大石砾含量介于 20% ~ 40% 之间。受放牧影响。土壤类型主要为山地灰色森林土。样地内的土壤养分相对较肥沃,土壤湿润。

群落类型 V 主要分布在 DCCA 排序图的左侧,处于坡度平缓的河谷地带,海拔 1 100 ~ 1 300 m,牲畜容易接近,严重受放牧干扰。主要生长以苦杨为优势种的阔叶混交林群落类型,土壤类型以山地栗钙土为主。土壤水分条件好,土壤养分条件也优于群落类型 II 和 IV。

群落类型 VI 主要是以疣枝桦为优势种的阔叶混交群落类型,该群落类型在 DCCA 排序图上位于左边,多分布在下坡位,坡度平缓,个别地段较陡。海拔范围 1 100 ~ 1 500 m。土壤类型以山地栗钙土为主,山地黑钙土也有少量分布。样地土壤养分中以

全 P 含量较高,土壤全 N、有机质含量相对较低。

不同植物种类对环境条件的需求存在差异,因而具有不同的分布范围(图 2,由于乔木层的幼苗放到灌木层统计,所以图中将每种乔木幼苗按照一个物种参与排序,其中含 7 种乔木的幼苗)。DCCA 排序图第 2 象限内的物种主要是新疆落叶松,林下灌木为新疆圆柏,其分布海拔相对较高。土壤类型为山地灰色森林土。第 4 象限内的物种主要沿着海拔、坡位和山地灰色森林土土壤类型 3 个环境因子分布,主要乔木种类为新疆冷杉和新疆云杉。象限 1 内主要分布的物种为阔叶树种,包括乔木树种欧洲山杨、疣枝桦、苦杨、黄花柳,林下灌木层除了乔木幼苗,还有高山绣线菊。象限 3 内主要分布的物种为灌木种类,主要包括腺齿蔷薇、金丝桃叶绣线菊(*Spiraea hypericifolia*)、欧亚绣线菊(*Spiraea media*)、臭茶藨、小叶忍冬(*Lonicera nigra*)、黑果忍冬(*Lonicera microphylla*)等。这类灌木群落多分布于中低海拔、光照充足、土壤干燥的环境中,但受放牧影响很大。象限 2 和象限 4 内的物种分布海拔范围比象限 1 和象限 3 高,分布所处的坡位值也大,且一般分布针叶林,多分布在阴坡。象限 1 和象限 3 内多分布阔叶乔木树种和灌丛,多分布在中低海拔、光照强、土壤养分含量相对较高的环境。

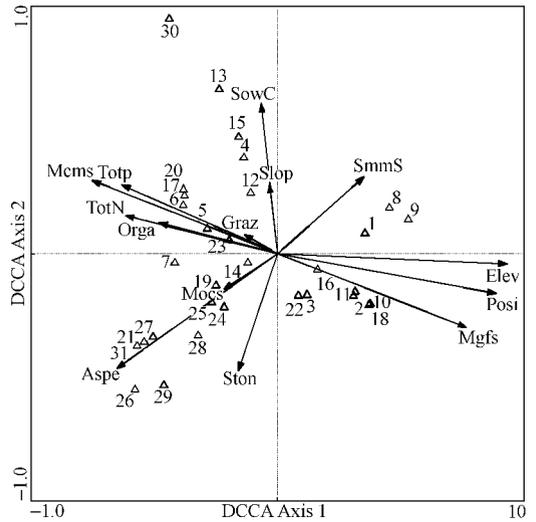


图 2 物种和环境因子 DCCA 排序

Fig. 2 DCCA result for ordination of species and environmental factors

物种名 Species name : 1 新疆落叶松 *Larix sibirica*; 2 新疆冷杉 *Abies sibirica*; 3 新疆云杉 *Picea obovata*; 4 黄花柳 *Salix caprea*; 5 疣枝桦 *Betula pendula*; 6 欧洲山杨 *Populus tremula*; 7 苦杨 *Populus laurifolia*; 8 新疆落叶松幼苗 *Larix sibirica* seedlings; 9 新疆圆柏 *Sabina vulgaris*; 10 新疆冷杉幼苗 *Abies sibirica* seedlings; 11 新疆云杉幼苗 *Picea obovata* seedlings; 12 黑果栒子 *Cotoneaster melanocarpus*; 13 疣枝桦幼苗 *Betula pendula* seedlings; 14 腺齿蔷薇 *Rosa albertii*; 15 高山绣线菊 *Spiraea alpina*; 16 新疆忍冬 *Lonicera tatarica*; 17 欧洲山杨幼苗 *Populus tremula* seedlings; 18 欧洲刺柏 *Juniperus formosana*; 19 臭茶藨 *Ribes graveolens*; 20 苦杨幼苗 *Populus laurifolia* seedlings; 21 黑果小檗 *Berberis atrocarpa*; 22 石生悬钩子 *Rubus saxatilis*; 23 大叶绣线菊 *Spiraea chamaedryfolia*; 24 接骨木 *Sambucus williamsii*; 25 树莓 *Rubus swinhoi*; 26 金丝桃叶绣线菊 *Spiraea hypericifolia*; 27 欧亚绣线菊 *Spiraea media*; 28 小叶忍冬 *Lonicera nigra*; 29 黑果忍冬 *Lonicera microphylla*; 30 黄花柳幼苗 *Salix caprea* seedlings; 31 小叶茶藨 *Ribes heterotrichum*.

(cluster analysis) 刘世梁等, 2003) 和依据群落外貌与种类组成相结合的划分方法(宋创业等, 2007) 等。本研究采用聚类分析将 43 个样地分成 6 个群落类型, 其中包括 5 个森林类型, 1 个灌丛类型, 分别为欧洲山杨林、新疆落叶松林、灌丛群落、新疆冷杉 + 新疆落叶松 + 新疆云杉林、苦杨林和疣枝桦林, 数量分类的群落类型与野外调查观察的类型非常一致。

DCCA 因其具有许多优点, 是目前较新的排序方法, 被广泛运用于多种植物群落研究(邱扬等, 2000; 张峰等, 2003; Zhao *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2006)。DCCA 排序同时结合物种和环境因子信息, 因此能较好表达群落的环境梯度, 反映环境的空间变异特点。第 1 排序轴主要表达寒冷、土壤贫瘠方

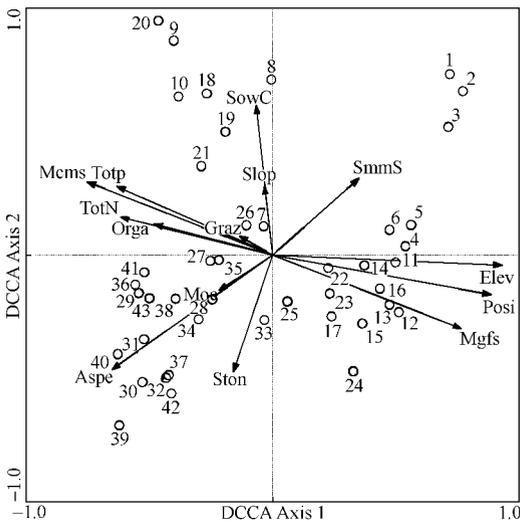


图 1 样方和环境因子 DCCA 排序

Fig. 1 DCCA result for ordination of plots and environmental factors

### 4 结论与讨论

数量分类和排序是研究植被与环境关系的基本方法( Mucina, 1997)。目前应用于植被分类的方法有二元指示种分类法( TWINSpan )( Ase *et al.*, 1993; Fensham, 1995; Xu *et al.*, 2006)、聚类法

向的梯度,主要反映海拔、坡位等方面的变异。第2轴主要表达群落沿土壤水分梯度的变化。6类群落类型分布的生境各有特点。第I群落类型在阴坡主要分布在低海拔,在阳坡主要分布在中高海拔,且样地内石砾含量较高。第II群落类型主要分布在阴坡高海拔,生境具有寒冷、干旱、土壤贫瘠的特点。第III群落为灌丛类型,主要分布在阳坡低海拔,地势平坦,生境暖干。第IV群落类型为针叶混交林,主要分布在阴坡中高海拔,海拔分布仅低于群落类型II,生境特点冷湿。第V群落类型主要分布在低海拔、地势平坦的河谷地段,土壤水分条件好。第VI群落类型主要在阴坡、半阳坡的中低海拔,地势相对平坦处。

大量研究表明,在区域至全球尺度上,气候条件是决定植物类型或生活型分布的主要因素(Woodward *et al.*, 1991)。在景观、群落或更小尺度上,地形和土壤这种非地带性的环境因子是影响物种分布格局的主要因素(Henriques *et al.*, 1998; Clack *et al.*, 1999)。山区森林植被格局通常认为海拔变化是控制物种群落组成最主要的因素,海拔升高,导致温度、降水、地形有所不同,从而影响土壤湿度和光照条件,进而影响物种分布和个体生长(Johnson *et al.*, 1968; del Moral *et al.*, 1978; Wimberly *et al.*, 2001; Zhao *et al.*, 2005)。研究证实,温度和降水以及所有能改变温度和降水的因素对自然植被分布均有影响(Zhao *et al.*, 2005)。本研究结果表明,与DCCA排序第1轴相关性最高的是海拔,其次是坡位、土壤类型、土壤养分等因子;与第2轴相关性最高的环境因子是土壤水分。总的来看,地形因子是影响小东沟山区植被分布的最主要环境因子,其次是土壤因子,即地形和土壤因子综合作用影响阿尔泰山小东沟山区植被分布。这和多数山区森林植被-环境关系研究得出的结论相一致(Allen *et al.*, 1991; Oliveira-Filho *et al.*, 1998; 张金屯, 2005; 刘秋锋等, 2006)。

然而,也有研究认为自然和人为干扰是形成目前物种分布格局的最主要影响因子(Hadley, 1994; Thompson *et al.*, 2002)而且能够显著影响垂直梯度上的物种变化格局(Nogués-Bravo *et al.*, 2008)。虽然与长期的气候变化和地质运动对植被影响相比,人类干扰历史相对较短,但是对自然生态系统造成严重影响(Zhao *et al.*, 2005)。阿勒泰地区是新疆乃至全国的重点牧区之一,每年5—6月山地融雪水与降雨叠加形成洪水时,额尔齐斯河两岸大面积被水淹没,牧民将放牧场所转移到山区,从而不断造成林

牧矛盾。为了促进畜牧业的发展,当地畜牧业管理部门允许牧民放牧,并颁发了长期使用的草场证。牲畜不仅在山区草地啃食,同时也常常进入林地内啃食。牲畜的啃食直接破坏幼苗幼树,导致森林树木无法正常更新。过大的牲畜密度也对草原生态系统产生严重危害,草地生态系统发生不同程度的退化。有些物种由于受牲畜过度啃食和践踏,更新困难,从而改变了山区物种的分布格局。在阿尔泰林区,长期放牧已经导致各种森林群落类型的组成和结构的重大变化,树木难以更新,生态系统的多种服务功能难以正常发挥,但放牧干扰目前还没有对不同群落类型的空间分布格局造成显著影响,各主要群落类型仍然按照其在不同的海拔、坡向或土壤梯度占据着空间上相应的生态位。放牧在一定程度上影响了不同群落类型分布的边界,但从野外调查来看,各类型的空间面积没有显著变化。在分析阿尔泰林区的森林群落类型分布时,还应该考虑采伐干扰,因为采伐也可能明显改变不同类型群落的结构,甚至在大强度采伐后群落类型可能会发生改变,如云杉或落叶松林就很有可能被欧洲山杨林所取代,有关采伐对阿尔泰林区群落类型及其分布格局的影响还需要从景观动态的角度作进一步的细致研究。所调查研究的小东沟林区所经历的采伐并不多,因此其群落类型及其分布格局基本上代表了这一区域森林植被类型的自然格局,地形和土壤是控制植被格局的关键因素。

## 参 考 文 献

- 陈文刚, 杨昌友. 2000. 中国阿尔泰山种子植物区系研究. 云南植物研究, 22(4): 371-378.
- 刘秋锋, 康慕谊, 刘全儒. 2006. 中条山混沟地区森林乔木种的数量分类与环境解释. 植物生态学报, 30(3): 383-391.
- 刘世梁, 马克明, 傅伯杰, 等. 2003. 北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究. 植物生态学报, 27(4): 496-502.
- 邱 扬, 张金屯. 2000. 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. 生态学报, 20(2): 199-206.
- 沈泽昊. 2002. 山地森林样带植被-环境关系的多尺度研究. 生态学报, 22(4): 461-470.
- 时旭辉, 周林生. 1995. 新疆天山北坡及阿尔泰山两大林区森林资源动态的研究. 八一农学院学报, 18(2): 9-15.
- 宋创业, 郭 柯. 2007. 浑善达克沙地中部丘间低地植物群落分布与土壤环境关系. 植物生态学报, 31(1): 40-49.
- 臧润国, 成克武, 李俊清, 等. 2005. 天然林生物多样性保育与恢复. 北京: 中国科学技术出版社.
- 曾 东, 李行斌, 于 恒. 2000. 新疆落叶松、新疆云杉迹地天然更新特点与规律的辨析. 干旱区研究, 17(3): 46-52.
- 张 峰, 张金屯. 2003. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释. 生态学报, 23(3): 421-427.

- 张金屯. 2005. 历山自然保护区森林群落的典范主分量分析. 生物数学学报, 20(2): 213–218.
- Allen R B, Peet R K. 1990. Gradient analysis of forests of the Sangre de Cristo Range, Colorado. Canadian Journal of Botany, 68: 193–201.
- Allen R B, Peet R K, Baker W L. 1991. Gradient analysis of latitudinal variation in southern Rocky mountain forests. Journal of Biogeography, 18: 123–139.
- Ase M, Birks H J B. 1993. A numerical analysis of the distribution patterns of *Salix* species in Europe. Journal of Biogeography, 20: 1–32.
- Barton A M. 1993. Factors controlling plant distributions: drought, competition, and fire in montane pines in Arizona. Ecological Monographs, 63: 367–397.
- Bigelow S W, Canham C D. 2002. Community organization of tree species along soil gradients in a north-eastern USA forest. Journal of Ecology, 90: 188–200.
- Callaway R M, Clebsch E E C, White P S. 1987. A multivariate analysis of forest communities in the western Great Smoky Mountains National Park. American Midland Naturalist, 118: 107–120.
- Chen Z S, Hsieh C F, Jiang F Y, et al. 1997. Relation of soil properties to topography and vegetation in a subtropical rain forest in southern Taiwan. Plant Ecology, 132: 229–241.
- Clark D B, Palmer M W, Clark D A. 1999. Edaphic factors and the landscape-scale distributions of tropical rain forest trees. Ecology, 80: 2662–2675.
- Daubenmire R F. 1943. Vegetation zonation in the Rocky Mountains. Botanical Review, 9: 325–393.
- Del Moral R, Watson A E. 1978. Gradient structure of forest vegetation in the Central Washington Cascades. Vegetatio, 38: 29–48.
- Fensham R J. 1995. Floristics and environmental relations of inland dry rainforest in North Queensland, Australia. Journal of Biogeography, 22: 1047–1063.
- Hadley K S. 1994. The role of disturbance, topography, and forest structure in the development of a montane forest landscape. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 121: 47–61.
- Henriques R, Hay J. 1998. The plant communities of a foredune in southeastern Brazil. Canadian Journal of Botany, 76: 1323–1330.
- Hill M O, Gauch H G. 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. Vegetatio, 42: 47–58.
- John R, Dalling J W, Harms K E, et al. 2007. Soil nutrients influence spatial distributions of tropical tree species. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104: 864–869.
- Johnson M, Mason L, Raven P. 1968. Ecological parameters and plant species diversity. American Naturalist, 102: 297–306.
- Johnston M H. 1992. Soil-vegetation relationships in a *Tabonuco* forest community in the Luquillo mountains of Puerto Rico. Journal of Tropical Ecology, 8: 253–263.
- Jonsen J P M, De Kroon H. 2005. Abiotic constraints at the upper boundaries of two *Rumex* species on a freshwater flooding gradient. Journal of Ecology, 93: 138–147.
- Münzbergová Z. 2004. Effect of spatial scale on factors limiting species distributions in dry grassland fragments. Journal of Ecology, 92: 854–867.
- Mucina L. 1997. Classification of vegetation: past, present and future. Journal of Vegetation Science, 8: 751–760.
- Nelson D C, Anderson R C. 1983. Factors related to the distribution of prairie plants along a moisture gradient. American Midland Naturalist, 109: 367–375.
- Nogués-Bravo D, Araújo M B, Romdal T, et al. 2008. Scale effects and human impact on the elevational species richness gradients. Nature, 453: 216–219.
- Odland A, Birks H J B, Line J M. 1990. Quantitative vegetation-environment relationships in west Norwegian tall-fern vegetation. Nordic Journal of Botany, 10: 511–533.
- Oliveira-Filho A T, Curi N, Vilela E A, et al. 1998. Effects of canopy gaps, topography, and soils on the distribution of woody species in a central Brazilian deciduous dry forest. Biotropica, 30: 362–375.
- Schoener T W. 1983. Field experiments on interspecific competition. American Naturalist, 122: 240–285.
- Thomas R L, Anderson R C. 1993. Influence of topography on stand composition in a midwestern ravine forest. American Midland Naturalist, 130: 1–12.
- Thompson J, Brokaw N, Zimmerman J K, et al. 2002. Land use history, environment, and tree composition in a tropical forest. Ecological Applications, 12: 1344–1363.
- Webb C, Peart D. 2000. Habitat associations of trees and seedlings in a Bornean rain forests. Journal of Ecology, 88: 464–478.
- Whittaker R H. 1956. Vegetation of the Great Smoky Mountains. Ecological Monographs, 26: 1–80.
- Wimberly M C, Spies T A. 2001. Influences of environment and disturbance on forest patterns in coastal Oregon watersheds. Ecology, 82: 1443–1459.
- Woodward F I, Mckoo I F. 1991. Vegetation and climate. Environment International, 17: 535–546.
- Xu L, Liu H, Chu X, et al. 2006. Desert vegetation patterns at the northern foot of Tianshan Mountains: the role of soil conditions. Flora, 201: 44–50.
- Zhang J T, Oxley E R B. 1994. A comparison of three methods of multivariate analysis of upland grasslands in north Wales. Journal of Vegetation Science, 5: 71–76.
- Zhao C M, Chen W L, Tian Z Q, et al. 2005. Altitudinal pattern of plants species diversity in Shennongjia Mountain, central China. Journal of Integrative Plant Biology, 47: 1431–1449.

(责任编辑 郭广荣)