

## 西藏阿里植物群落的间接梯度 分析、数量分类与环境解释\*

张新时

(中国科学院植物研究所, 北京 100044)

### 摘 要

根据对西藏阿里地区163个植物群落样地资料进行的多元分析——排序、数量分类与环境解释, 给出了该地区植被的基本类型、生态梯度及其与环境因子的定量关系。基本分析方法包括3个步骤: 1) 通过无倾向对应分析(DCA)的两个排序向量揭示了阿里植被的两个主要生态梯度; 2) 由该梯度的二维散点图及二元指示种分析(TWINSPAN)分别产生非等级制与等级制的植物群落分类系统; 3) 以多元回归分析将排序值与环境及地理参数相联系而给出各类型的环境指标——定量环境解释。分析表明, 阿里植被类型及其分布主要取决于热量与湿度梯度, 前者可通过地理参数, 后者则通过土壤特征的数学表达式来定量地确定。两梯度包含的类型、种类与生境差异颇大, 由低山暖性荒漠直到高山冰缘植被, 从隐带性沼泽与盐生草甸到高原地带性荒漠与草原均各得其位, 各有其值。表明该数量分析法对于处理高度生态多样性的植物群落生态信息是十分有效的。

关键词 西藏; 植物群落; 梯度分析; 数量分类; 环境解释

### 一、引 言

植物群落学的理论与方法在近廿年间由于间接梯度分析技术的出现而得到较大促进。其特点为通过分析植物种及其群落自身特征对环境的反应而客观地求得其在一定环境梯度上的排序与分类。这一分析技术由于各种复杂的多元分析方法, 尤其是电子计算机软硬件的飞跃发展而成为可能并日臻完善。在70年代后期至80年代初期, 一系列先进的多元分析方法及其计算机程序, 如RA, DCA, CVA<sup>1)</sup>等纷纷问世, 使这一阶段达到鼎盛时期。自80年代中期以后, 植物群落学的分析开始了一个新的阶段, 即群落排序与分类的“环境解释”(Environmental interpretation)。这是一个与梯度分析和分类相继承和深化的分析步骤。环境解释过程客观和定量地把植物群落的格局与环境资料进行比较和联

本文于1988年5月收到, 1990年8月收到修改稿。

\* 这一研究分析应用了中国科学院青藏高原综合科学考察队的资料, 尤其是王金亭同志的样方记载。分析过程主要是在美国康奈尔大学生态与系统学系进行的, Hugh Gauch先生曾作了有用的建议。作者对他们, 以及对参加青藏科考作了大力支持的新疆八一农学院与中国科学院植物研究所致以深切的谢意。

1) RA (Reciprocal Averaging, Hill 1973); 相互平均法; DCA (Detrended Correspondence Analysis, Hill 1979); 无倾向对应分析; CVA (Cannonical Variate Analysis, Marida et al. 1979); 典型变量分析。

系起来。它不仅给出植物群落类型及其梯度的物理原因,并且赋予它们以数量指标,不仅可据此建立群落及其梯度的空间分布模型,并可为植被的经营管理和开发利用提供数据。为了进行这一重要而又特别复杂的分析,有必要在群落学研究中发展一个多元和多层次的方法系统(Gauch 1982, Digby and Kempton 1987)。本文试图通过对西藏阿里植物群落与环境因子的处理,在多元分析方法的基础上初步建立起这样一个群落环境解释的计算分析方法。

## 二、资料与分析方法

植物群落生态资料是在1976年5—10月间参加中国科学院青藏高原综合科学考察队在西藏阿里地区考察时取得的。阿里位于西藏西部,在北纬 $30^{\circ}$ 与 $35^{\circ}30'$ ,东经 $78^{\circ}20'$ 至 $86^{\circ}$ 之间。其北、西、南三面均有海拔6000—7000m以上的巨大山脉耸峙,仅其东部开敞延展着羌塘高原。阿里地貌以高原湖盆最为广布,高原面海拔高度在南部为5000m,北部为5200m。阿里南部与西南部为峡谷与河谷地貌,河谷最低处下切至2900m。可见阿里具有较大差异的环境梯度,即海拔高差超过4500m幅度的垂直梯度,有5个半纬度或600km跨度的纬向梯度,7个半经度或延展720km的经向梯度,以及与其相伴随的气候梯度。反映在植被上,则有由低山荒漠到高山冰雪与冰缘植被的垂直带系列,从温性荒漠与草原到高寒荒漠、草原与草甸的高原植被地带性递变;还有地带性的荒漠与草原植物群落与隐地带性的、依靠潜水补给的草甸与沼泽植物群落的分异。这些差异显著和错综复杂的环境梯度及与其相应的变异性很大的植物群落类型的格局为植被生态的梯度分析与环境解释提供了很好的分析对象与素材。共设样方163块<sup>1)</sup>。对每块样地记载了地理位置、地形、地貌、植物种类组成、群落层次结构及种的多度(盖度%),并初步确定了植物群落类型。全部样地共含高等植物241种,约占全阿里高等植物450种<sup>2)</sup>的54%。

气候资料取自阿里地区的七个气候观测站与邻近拉达克地区的三个站。用于分析的气候因子包括:年均温、最热月均温、最冷月均温、年均降水、Penman(1956)的可能蒸散与干燥度、Thorntwaite(1948)的可能蒸散、湿润指数、干燥指数、湿度指数与热量系数、Holdridge(1956)的生物温度与可能蒸散率等。

土壤因子的数据系采自《中国自然地理—土壤地理》卷(中国自然地理编委会1981)中的西藏土壤描述部分,根据与样方植物群落类型相应的土壤类型予以赋值。

植物群落及其环境因子的多元分析方法与步骤如下:

1. 建立植物群落样方及其环境背景值的数据库,包括植物群落样方档、植物区系档、植物群落类型档、植物群落样方地理背景值档、气候资料档与群落样方土壤特征档。

2. 植物群落的多元分析——排序是以康奈尔大学所研制发展的“康奈尔生态学程序”(CEP; Cornell Ecological Programs, Gauch 1977, Hill 1979 a, b)在该大学的IBM主机上进行分析计算的<sup>3)</sup>。本研究采用该程序中的DCA, RA与TWINSpan等方法进行排

1) 植物群落样方第1—89号由作者调查记载,第90—163号由王金亭同志调查记载。

2) 张新时、王金亭、李渤生, 1977, 阿里植被的地带性及其类型(油印本)。

3) 该程序软件包的全部程序, RA, DCA, WINTSPAN等已可在本所的IBMPC/AT与ALTOS微机上使用。

序与数量分类的比较。分析所要求的三个数据档是: 植物群落样方档、植物区系档与群落样方类型档, 所采用的分析资料数据是样方的种类组成及其盖度百分率的矩阵。

3. 植物群落数量分类可分为等级制的与非等级制的分类方法两大类。前者采用了 CEP 中的 TWINSpan 分析法, 这一分析方法系以 RA 的排序值按照 Braun-Blanquet 的群落分类表格排列法的原则从高级单位到低级单位逐层分解式的多级分类, 其各个分类等级或单位均由一定的指示种与偏宜种作为标志。非等级制的分类则以群落样方的 DCA 分析排序值在二维散点图上的分布格局进行判断分析后划分出不同的类型。

4. 环境因子的多元分析主要是气候因子与地理座标(纬度、经度与海拔高度)的相关与多元回归分析。该项分析所用的数理统计软件为 MINITAB 与 SAS。虽然被分析的环境因子及其数学转换值十分繁多, 但由于采用了逐步回归分析方法而极大地提高了分析的效率。通过各气候因子与地理座标的相关与回归分析, 不仅可以求得二者之间的定量相互联系, 给出气候梯度对地理座标的数学式, 探明影响各种气候因子的主导地理条件及其影响的程度, 还为进一步的群落梯度的环境解释提供了数据。

5. 植物群落类型及其梯度——排序的环境解释是与排序相继承与深化的过程, 是植物群落学分析的新步骤。环境解释主要是通过群落的排序值——群落对环境梯度反应的数值表现与环境因子的相关与多元回归分析来进行的, 并可求出确定该排序轴的环境梯度中的主导环境因子。由于该梯度通常是复合的, 其中的主导环境因子一般不止一个。主导环境因子对地理座标(如气候因子对纬度、经度与海拔高度)或对群落排序轴(如土壤特征或地形因子的排序值)的多元回归公式求得后, 就可能对每个群落类型或群落样方赋予其主要环境因子的定量指标。这一步骤是通过群落样方的地理座标对以环境因子(气候)的回归公式, 或群落样方排序值对以环境因子(土壤或地形)的量度值所组成的矩阵计算而实现的。

6. 植物群落地理分布的数量模型: 根据梯度分析的排序结果与环境解释的定量指标构成二维至多維的植物群落类型按排序轴与主导环境因子梯度在空间分布的数量模型。

上述六个部分或步骤的分析组成了一个相互连贯、前后相继的分析计算系统, 即: 数据库→排序→分类→环境因子分析→梯度的环境解释→群落类型分布模型的植物群落生态信息分析系统。

### 三、分析结果

#### 1. 阿里植物群落及其植物种的排序与分类

(1) DCA 排序结果: 采用 PCA、RA、DCA 与 AMMI 等多元分析方法对阿里植物群落样方进行梯度分析的结果表明, DCA 给出了较佳生态意义和合理解释的群落与种类排序结果。

DCA 排序的第一和第二轴 (AX1 与 AX2) 显示了重要与显著的生态意义 (图1)。AX1 明显地是一个海拔高度由高到低或热量由低到高的梯度。位于高海拔的耐寒的高山植物群落样方: 高寒嵩草草甸、高山流石滩稀疏植物群落、高寒青藏苔草草原与垫状驼绒藜高寒荒漠在 AX1 上的排序值都在 180 以下。亚高寒的紫花针茅草原在 180—250 之间。

阿里西南部与南部山地以及谷地山坡上的驼绒藜荒漠、沙生针茅、短花针茅等的草原与变色锦鸡儿灌丛群落的排序值在250—500之间。西南隅象泉河谷地的克什米尔型山地荒漠群落则在900以上。河谷与湖盆低地上靠潜水补给的非地带性盐化草甸,草甸沼泽与河谷灌丛是一组特殊的隐域性生态类群,其AX1排序值在400—900之间。可见,DCA排序

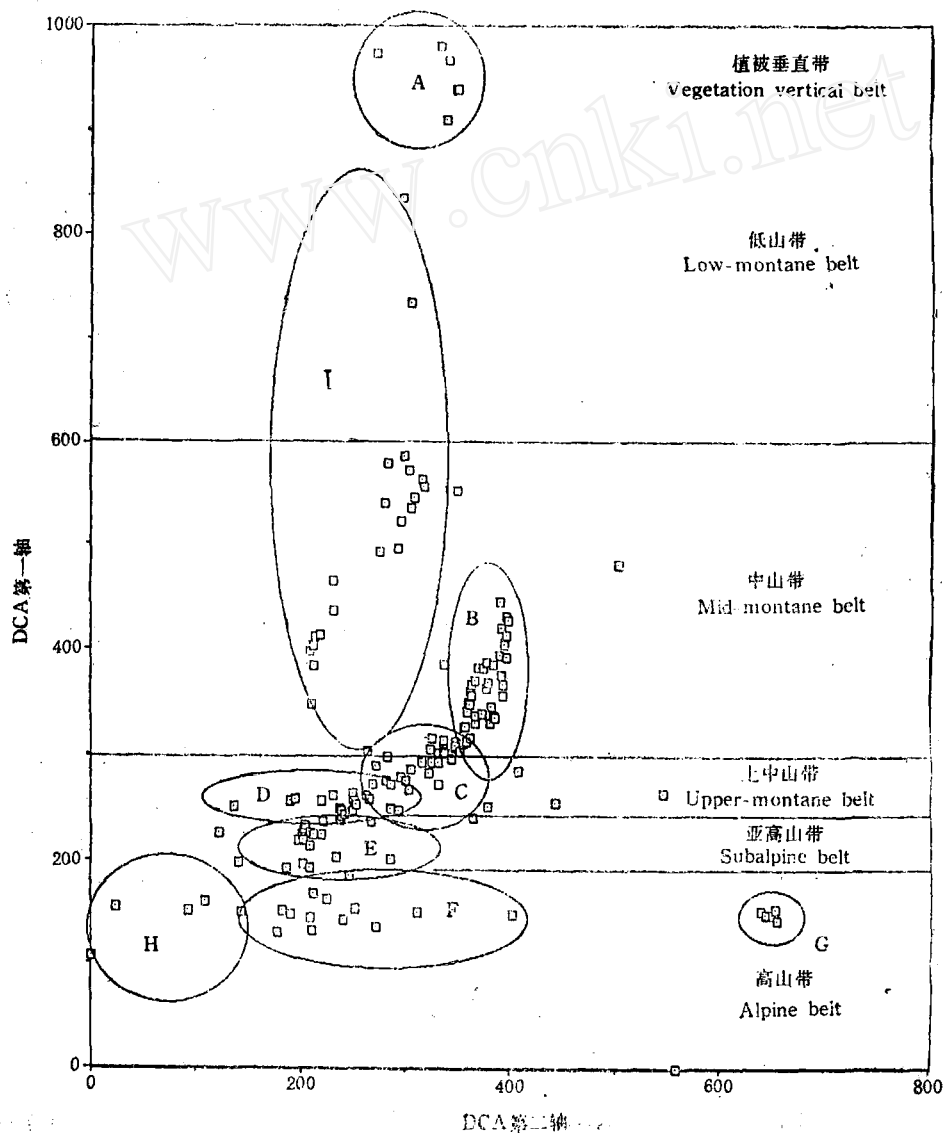


图1 阿里植物群落的DCA二维散布图

Fig. 1 A two-dimensional scatter plot of DCA ordination for plant communities in Ngari

- A: 克什米尔低山 Kashmiri low-montane desert B: 中山荒漠 Montane desert  
 C: 中山草原 Montane steppe D: 中山草原灌丛 Montane steppe shrubland  
 E: 亚高寒草原 Subalpine steppe F: 高寒草原 Alpine steppe G: 高寒荒漠 Alpine desert  
 H: 高寒草甸 Alpine meadow I: 潜水(隐域)草甸与沼泽 Phreatic (intrazonal) meadow & bog

不仅分别排列出植物群落的垂直带性与高原地带性系列,也给予非地带性的隐域植物群落以特殊的排序位置。

在DCA的另一维度的排序轴AX2上,草甸、灌丛、草原与荒漠植物群落的样方从左到右,即由低排序值到高排序值依次排列成一个由中生-旱生-强旱生的生态系列,即生境湿度由高到低的梯度。高寒嵩草草甸样方的AX2排序值低于150。高山稀疏植物群落样方在90—180之间。变色锦鸡儿灌丛与草原植物群落样方居于AX2的中段:170—370。荒漠的样方由320—420,而高寒垫状驼绒藜荒漠的几个样方可达650。隐域的盐化草甸与沼泽样方为200—350。

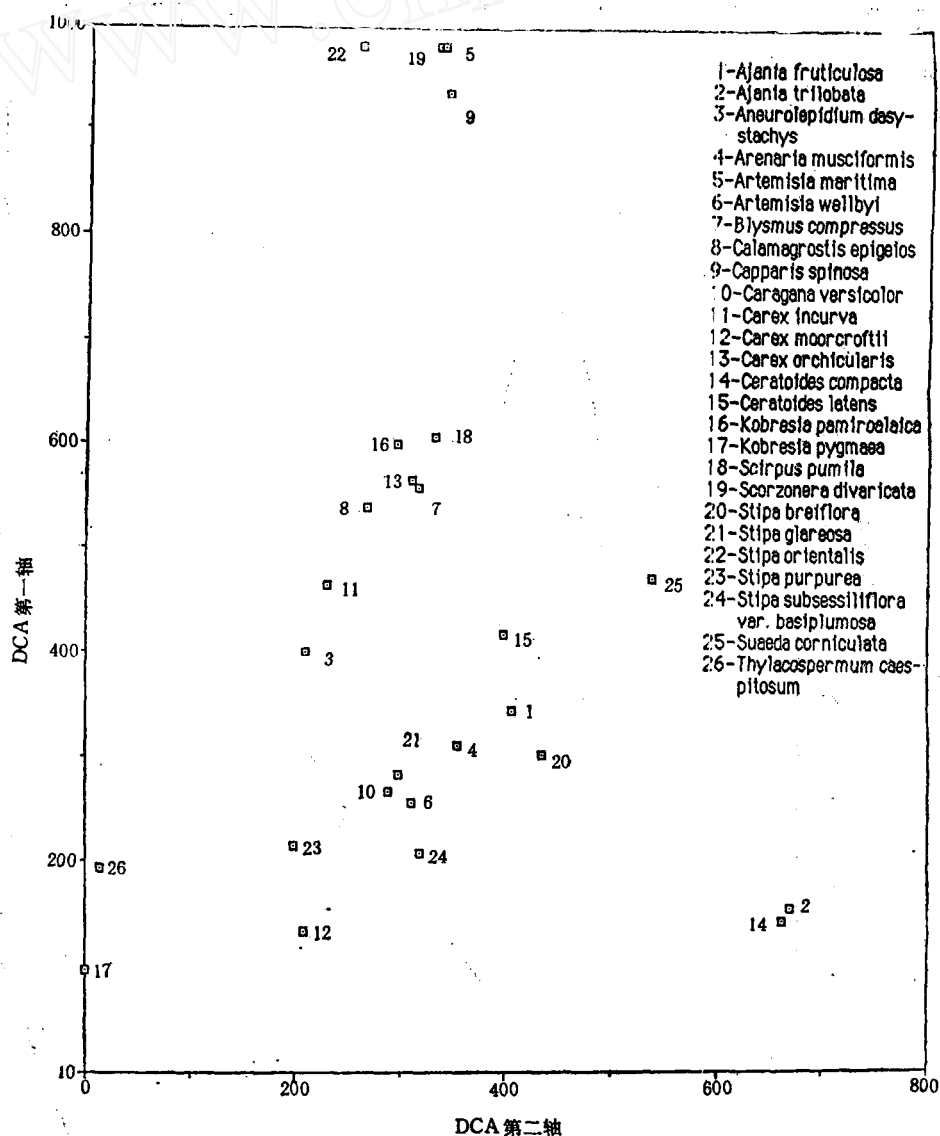


图2 阿里几种优势种与指示种的DCA二维散点图

Fig. 2 A two-dimensional scatter plot of DCA ordination for some dominant and indicative species in Ngari

阿里的163个植物群落样方中所含有的241种高等植物的DCA排序也表现了与上述群落样方梯度分布相对应的格局。所选择的若干优势种与指示种的DCA AX1与AX2的二维散布图(图2)反映了植物种生态梯度的基本图式。

(2)DCA 非等级制分类: 在DCA排序的二维散布图(图1)上阿里的植物群落样方形成了12个类型群。它们有规律地表征着阿里的基本植被类型及其与主导环境梯度的关系。图3是对图1的模式化与解释。在复合梯度上的植物群落类型群明显地表现出三个极点和一个中心。即图3最上端的克什米尔型低山荒漠①,反映着干旱温暖的低山环境;图右下角的高寒荒漠⑩,表征着干旱寒冷的阿里西北部高原环境;以及图左下角的高山嵩草草甸⑪,指示着高山局部湿润寒冷的生境。另一个可能的群落组合或极点是湿润温暖的低山环境的植被类型则由于在阿里实际上不存在此种气候条件而缺如。三个极点的交汇中心则是温性山地草原群落类型⑤,为干旱温凉中山带的典型植被,并向右上方经山地草原化荒漠类型④的过渡而在极端干旱与石质化的山地出现了极稀疏的温性山地荒

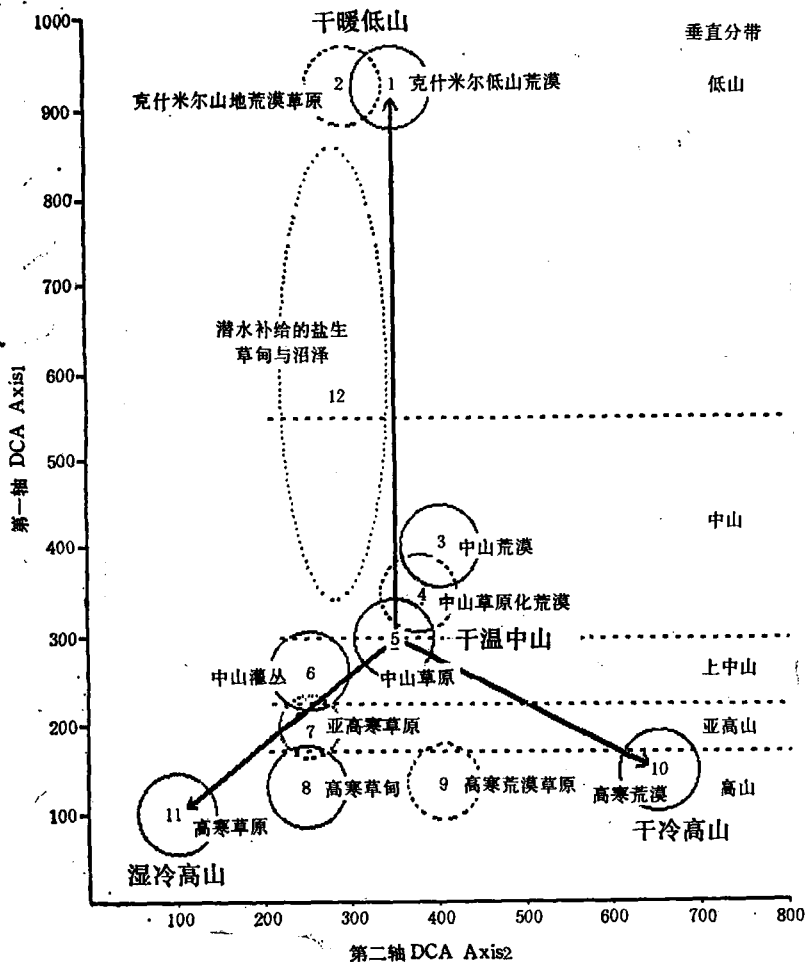


图3 阿里植物群落类型及其生态梯度图解

Fig.3 A two-dimensional diagram of plant community types and their gradients in Ngari

漠类型③。在中度干旱温凉的山坡上则广布山地变色锦鸡儿灌丛类型⑥。温性草原与灌丛在亚高山与高山或北部羌塘高原则为亚高寒紫花针茅草原⑦与青藏苔草高寒草原⑧所替代而成为垂直带或高原地带性植被类型。可见在阿里山地与高原面上存在的多维群落生态梯度与类型均可以由DCA 排序的二维散布图定量地与图式地予以表达。

(3)TWINSpan的等级制分类: TWINSpan是以二歧式的分割法来划分植物群落类型的。其划分根据“指示种”(indicator)将样方与种类组成依次划分为各个等级的类型单位或生态类群。图4是以TWINSpan进行分类而产生的阿里植物群落类型的树状图。该分类是一个等级制的分类系统。第一部(Division 1 或D1)即植物群落样方的总体,包括所有163个样方。其所分出的第二部(D2)与第三部(D3)分别是山地与高原面上的地带性(靠大气降水补给)的与湖谷低地非地带性(靠潜水补给为主)的两大类群植物

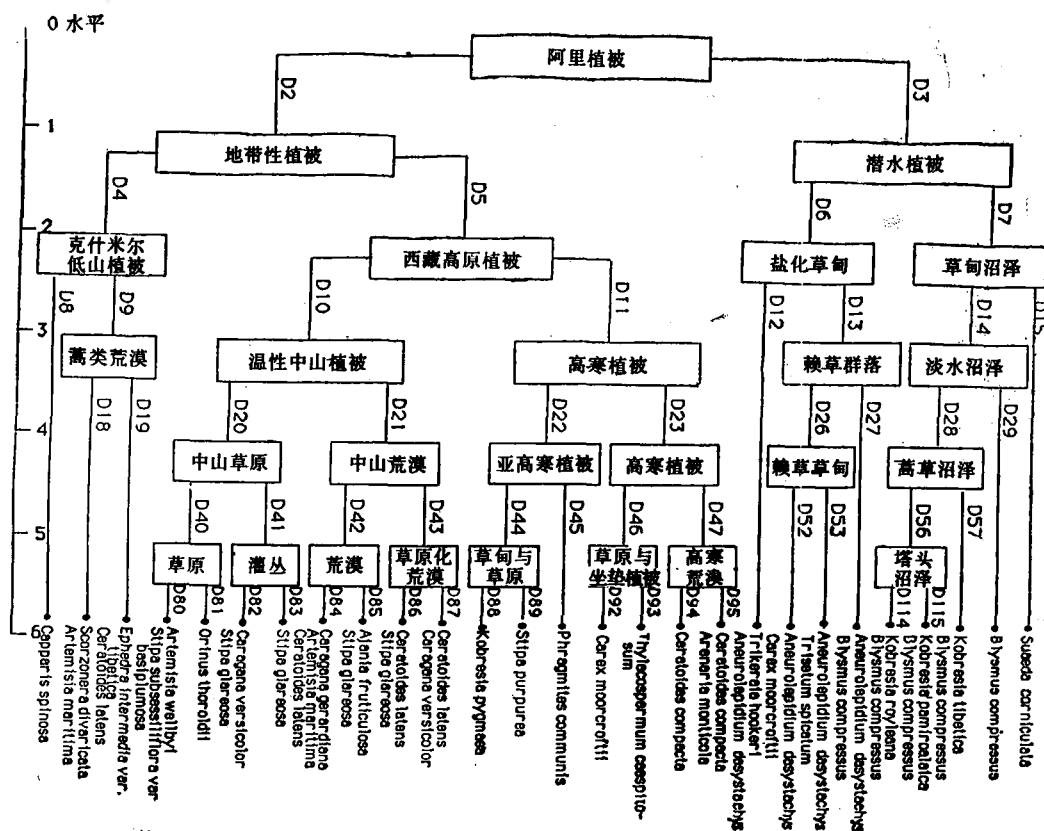


图4 阿里植被类型的树状图(根据TWINSpan等级制分类)

Fig. 4 A diagram of vegetation types of Ngari with TWINSpan classification

群落。前者(D2)又分为克什米尔低山荒漠植物群落类型(D4)与西藏高原山地与高寒植物群落(D5)两部分。高原植被(D5)进一步分为温性山地植被(D10)与高寒植被(D11)二部分……,如此向下直到第六级共18个植物群落类型,它们是各类草原、灌丛与荒漠群落,但其中也含有一个非地带性的芦苇盐生草甸类型,应划归第三部(D3)。非地带性

的潜水植被(D3)则包括9个盐生草甸与草甸沼泽群落类型。

按TWINSPAN的分类,每一级划分都有其依据的指示种与区别种(后者未在图上列出),这些种在每一等级都分为正负两类,分别指示相应的两歧类型。

## 2. 阿里气候因子对地理坐标的相关与多元回归分析

通过气候因子对地理坐标:纬度(L)、经度(G)与海拔高度(H)的相关与多元回归分析得出了决定气候因子的主导地理条件及其数学表达式与定量指标:

$$\text{年均温}(T) = 33.7 - 0.0068H - 0.75L + 0.24G \quad (1)$$

$$(r^2 = 0.985)$$

$$\text{最热月均温}(WMT) = 39.74 - 0.0075H - 0.04L + 0.08G \quad (2)$$

$$(r^2 = 0.973)$$

$$\text{最冷月均温}(CMT) = 51.84 - 0.0016H - 1.92L + 0.05G \quad (3)$$

$$(r^2 = 0.990)$$

$$\text{年降水}(P) = -210.6 + 0.055H - 35.06L + 15.11G \quad (4)$$

$$(r^2 = 0.993)$$

$$\text{湿润指数}(IM)^{1)} = -1065.5 - 0.2H + 2.23 \times 10^{-5}H^2 + 62L - 0.99L^2 + 5.91G \quad (5)$$

$$(r^2 = 0.996)$$

$$\begin{aligned} \text{生物温度}(BT)^{2)} &= -63.06 - 0.015H + 1.282 \times 10^{-6}H^2 + 6.644L - 0.104L^2 \\ &+ 0.0048G \end{aligned} \quad (6)$$

$$(r^2 = 0.998)$$

$$\begin{aligned} \text{可能蒸散率}(PER)^{2)} &= 32.2 + 0.02H - 0.201 \times 10^{-5}H^2 - 2.81L + 0.05L^2 \\ &- 0.28G \end{aligned} \quad (7)$$

$$(r^2 = 0.990)$$

由于气候因子与地理坐标显著相关,因而可以根据相应的回归公式预测气候指标并对群落或植物种的排序与生态梯度进行定量的环境解释。

## 3. 阿里植物群落排序与生态梯度的环境解释

如前所述,阿里植物群落的DCA第一排序轴(AX1)表现了海拔高度或热量的梯度。AX1排序值与最热月均温(WMT)及海拔高度(H)的相关系数分别是0.801与-0.812,它与Holdridge的生物温度(BT)与Thornthwaite的热量系数(TE)也显著相关:0.860与0.817。AX1排序值对气候因子及地理坐标的最佳多元回归公式表明,最热月均温与海拔高度是决定AX1梯度的主导因子:

$$AX1 = -2725.2 + 1.68WMT^2 - 29.34WMT + 178393/G + 4226833H \quad (8)$$

$$(R = 0.817)$$

阿里植物群落的DCA第二排序轴(AX2)与气候因子及地理坐标的相关性不显著,却与土壤表层的有机质含量(ORG)及pH值有较高的相关性,其相关系数分别是:-0.848与0.889。通过逐步回归分析得出AX2的最佳多元回归式为:

$$AX2 = -21.36 - 239.02\log(ORG) - 22.23PER + 6.68pH \quad (9)$$

$$(R = 0.896)$$

1) Thornthwaite (1948) 的湿润指数 (IM)。

2) Holdridge (1967) 的生物温度 (BT) 与可能蒸散率 (PER)。



AX 2 虽然反映了植物群落的湿度梯度,但与降水及湿润度的相关性并不显著。这是因为植物群落的水分供应直接依赖于土壤湿度,但它是一个很不稳定的和难以比较测定的因子,除受大气降水与湿润度影响外,还受到地形与基质条件的重大作用。土壤有机质含量与pH值是相对较稳定和可测定的特征,它们在一定程度上是与土壤湿度共轭的因素。因而在缺乏可靠的土壤湿度数据资料情况下,它们可作为替代的指标。

通过DCA两个主要排序轴与地理坐标及气候与土壤因子的回归分析对阿里植物群落类型及其生态梯度作出了定量环境解释,即对各植物群落样方及其类型客观地赋予以环境指标。另一方面,又可以通过这些回归公式根据纬度、海拔高度和经度三项参数预测或确定其地带性的植物群落类型。

按照实际样方资料与回归公式推算的阿里各主要地带性植物群落类型的环境指标与生态幅度如表 1。

## 四、讨论与结论

1. 排序: 阿里植物群落的 DCA 排序给出了两个显著与主导的生态梯度,即热量(或海拔高度)梯度与土壤湿度梯度。正是这个水热因子复合的梯度网决定了阿里的植物群落类型及其在空间上的地理分布。在热量梯度上由克什米尔低山谷地的暖性荒漠到阿里山地温性荒漠与草原而过渡到高原主体或高山上的高寒草原,最终是藏北的高寒荒漠或高山上部的高寒草甸与稀疏植被。在土壤湿度梯度上则由中生的草甸过渡到旱生的灌丛与草原而至于极度干旱的荒漠。两列梯度的生态差异十分显著,群落植物种类多样性的程度很大,达到10与6.5个半变<sup>1)</sup>。这超过了以往所发表过的任何野外资料排序(Chang and Gauch 1986)。这表明 DCA 对于分析巨大差异的生态梯度与种类多样性复杂的样方资料有特别良好的功能。

2. 分类: TWINSpan 的等级制分类与 DCA 二维散点的非等级制分类都产生了较好的植物群落数量分类。首先是地带性的与隐地带性的植物群落类型被截然分开,表明了二者之间由于环境条件的巨大差别而在群落的植物种类组成与类型方面造成的显著间断性。克什米尔低山的暖性荒漠也由于生境特殊与种类组成的差别而与高原内部的植物群落有明显区别。但在地带性的高原荒漠、草原与灌丛的群落梯度系列中则有连续性的过渡,只有高寒草甸与高寒荒漠由于组成特殊,生境极端而处在湿度梯度的两个相反极端形成独立的植物群落类型,这在DCA的二维分类中有明显的反映。

TWINSpan分类根据RA的排序值分析所产生的区别种和指示种具有法瑞学派指示种组的涵义与功能。尤其是TWINSpan采用了“假种”——同一种在不同多度情况下具有不同的指示意义而被作为不同的“种”来处理——而具有重要的群落学分析作用,是对数量生态学方法的特殊贡献。这一数量分类分析手段把法瑞学派分类的核心——特征种与以优势种为根据的植物群落学分类作了巧妙而合理的结合,显示着不同分类学派走向融合的趋势。

3. 环境解释: 植物群落类型与生态梯度的定量环境解释在本研究中进行了大量的尝试。无论在主导生态因子的精确定量确定,各因子间回归关系的数学表达式的形成,以

1) 半变(half-change): 在群落梯度中植物种类多度发生50%的变化为一个半变(Gauch 1982)。

表1 阿里植被类型的  
Table 1 DCA ordination scores and environmental

植 被 类 型	DCA第一轴	DCA第二轴	纬 度	经 度	海拔高度(m)
低山荒漠	938	347	31°52' (31°50'—31°55')	78°55'	3475 (3400—3550)
低山草原化荒漠	953 (910—981)	336 (331—339)	31°48' (31°45'—31°50')	78°47' (78°45'—78°50')	3137 (3050—3200)
低山荒漠草原	974	270	31°50'	78°55'	3800
中山荒漠	422 (408—432)	394 (391—396)	33°36' (33°35'—34°05')	79°19' (79°00'—79°45')	4483 (4250—4650)
中山草原化荒漠	375 (345—394)	382 (368—395)	32°52' (31°20'—34°10')	79°26' (78°50'—80°10')	4519 (4250—5050)
中山荒漠草原	334 (306—386)	350 (323—383)	32°20' (30°15'—34°20')	80°05' (78°50'—82°25')	4475 (4070—5050)
上中山荒漠草原	281 (247—304)	322 (269—406)	31°49' (30°40'—33°15')	80°55' (78°55'—82°25')	4590 (4250—4900)
上中山草原	258 (255—261)	236 (195—282)	31°23' (30°45'—32°00')	80°40' (79°00'—81°50')	4735 (4500—4930)
亚高寒草原	225 (192—247)	223 (187—266)	32°18' (31°10'—33°15')	80°36' (78°50'—82°20')	4834 (4530—5150)
亚高寒草甸草原	224 (197—251)	133 (122—141)	31°08' (30°50'—31°30')	80°46' (79°50'—81°20')	4887 (4800—5210)
高寒草原化荒漠	149 (148—151)	648 (643—653)	34°41' (34°35'—34°50')	80°27' (79°50'—81°20')	5297 (5100—5500)
高寒荒漠草原	149	402	34°50'	81°40'	5100
高寒草原	151 (136—162)	239 (208—271)	34°18' (34°15'—35°00')	80°56' (80°20'—81°35')	5152 (5100—5300)
高寒草甸草原	140 (130—151)	180 (178—182)	33°50' (33°10'—34°30')	80°32' (80°30'—80°35')	5300 (5260—5340)
高寒草甸	153 (150—156)	73 (23—109)	32°40' (31°10'—34°15')	80°32' (79°25'—81°20')	5300 (5200—5450)

DCA 排序值与环境指标  
 tiondexes of vegetation types in Ngari

年均温(℃)	最热月温(℃)	最冷月温(℃)	年降水(mm)	生物温度(℃)	蒸散率	有机质(%)	pH 值
5.3	18.3	-5	123.6	7.7	2.2	0.9	8
(4.8—5.8)	(17.8—18.8)	(-5.8—-4.2)	(115.4—131.8)	(7.3—8.2)	(2.1—2.4)		
7.3	20.6	-1	161.3	9.9	1.3	1.1	7.9
(7.0—7.8)	(20.1—21.2)	(-1.8—0.1)	(153.6—172.0)	(9.5—10.4)	(1.0—1.5)		
3.4	16	-3.2	97.8	6	2.8	1.9	7.8
-2.5	11	-14.6	48.3	3	2.9	0.5	8.3
(-4.1—0.9)	(7.6—12.8)	(-16.4—-13.6)	(29.6—55.4)	(2.3—3.8)	(2.6—3.2)		(8.2—8.4)
-3	10.7	-14.1	68.7	3	2.5	0.7	8
(-6.6—0.1)	(6.8—12.7)	(-17.7—-12.5)	(37.6—103.3)	(1.4—3.7)	(1.6—3.4)	(0.6—0.8)	(7.7—8.2)
-1.2	11.1	-13.3	92	3.2	2.3	1	7.9
(-6.9—2.2)	(6.6—12.8)	(-17.8—-9.6)	(35.4—170.7)	(1.3—4.6)	(1.4—3.0)	(0.6—1.6)	(7.7—8.1)
-1.4	10.3	-13.4	120.6	2.9	1.6	1.5	7.8
(-3.3—0.5)	(8.5—12.5)	(-14.7—-11.8)	(77.5—157.5)	(2.2—4.1)	(0.7—2.6)	(1.0—2.1)	(7.6—8.0)
-1.9	9.2	-13.6	123.2	2.5	1.3	2.4	7.5
(-3.3—0.7)	(7.5—10.8)	(-14.4—-13.0)	(76.0—163.3)	(2.0—3.2)	(0.5—2.2)	(2.1—2.9)	(7.4—7.6)
-3	8.8	-14.6	112.3	2.3	1.2	2.6	7.5
(-5.8—0.9)	(6.7—11.0)	(-16.2—-12.8)	(75.1—153.0)	(1.5—3.1)	(0.2—2.3)	(2.1—3.1)	(7.3—7.6)
-2.7	8	-13.8	142.2	2.2	0.6 (-0.8—1.3)	4.1	6.9
(-4.5—-1.4)	(5.5—9.9)	(-14.4—-13.4)	(104.8—177.2)	(1.5—2.8)		(3.9—4.5)	(6.8—7.1)
-9	4.5	-18.8	81.2	0.8	0.4 (-0.5—1.3)	0.4	8.4
(-10.0—-8.5)	(3.2—5.5)	(-18.9—-18.7)	(77.7—89.2)	(0.6—0.8)		(0.3—0.5)	(8.3—8.6)
-8.1	5.7	-19.1	84.1	0.9	1.1	0.9	8.1
-7.7	5.6	-18.3	87	1	0.8	2.4	7.6
(-8.8—-7.8)	(4.6—5.7)	(-19.4—-18.1)	(73.4—89.2)	(0.8—1.1)	(0.3—1.3)	(1.9—2.8)	(7.4—7.7)
-7.6	5.2	-17.5	101.3	1.1	0 (-0.5—0.5)	3.2	7.2
(-8.4—-6.9)	(5.0—5.4)	(-18.6—-16.4)	(82.8—119.9)	(0.9—1.3)			(7.2—7.3)
-6.5	5.2	-16.1	129.5	1.3	-0.5 (-0.5—0.1)	6.5	6.4
(-8.2—-4.5)	(4.0—5.9)	(-18.1—-14.5)	(83.6—164.5)	(1.0—1.6)		(5.0—8.5)	(5.9—6.5)

及最后赋予各群落类型以环境指标及其生态幅度的量值方面都较成功地应用了数理统计手段——相关与多元回归分析。这为群落与生态梯度的环境解释分析过程提供了一条重要的途径,并为今后发展专门的环境解释的数量手段奠立了一定的基础。

4. 数量模型: DCA的二维排序图式结合以相应的环境解释(主导生态因子的数量指标)可以作为植物群落类型空间分布及其生态梯度的数量-图式模型的构架。各主导生态因子对DCA排序轴的回归分析的数学表达式也可以在DCA的二维排序图上得到表现,从而给出个别生态因子的空间模式及其与植物群落类型的综合关系的图式。“排序-分类-环境解释”这三个相对独立又相互联系的分析过程或相继步骤的统一就是植物群落生态模型的构成。但这一过程仍有待从完整群落生态资料信息的取得与分析模拟技术的发展完善来达到。

5. 分析系统: 植物群落生态定量分析系统的各个部分或步骤的分析程序与计算机软件已初步具备,但仍须补充、修改、完善以供不同性质资料分析与不同分类目的之需。各部分之间的连结以成为一个连续统一系统的研究与配制也仍待进行。

### 参 考 文 献

- [1] 中国科学院自然区划工作委员会, 1959: 中国气候区划(初编), 科学出版社。
- [2] 中国科学院中国自然地理编辑委员会, 1981: 中国自然地理(土壤地理), 科学出版社。
- [3] Budyko, M. I., 1955: Klimaticheskie Usloviya Uvlazneniya na Materikah, IZV. ANUSSR, (in Russia).
- [4] Chang, D. H. S., 1985: The multivariate analysis of vegetation and environmental factors in Ngari, Tibet, Dissertation, Cornell University, Ithaca, New York.
- [5] Chang, D. H. S. and H. G. Gauch., 1986: Multivariate analysis of plant communities and environmental factors in Ngari, Tibet, *Ecology*, 67(6) 1568—1575.
- [6] Digby, P. G. N. and R. A. Kempton., 1987: Multivariate analysis of ecological communities, Chapman and Hall, London.
- [7] Gauch, H. G., 1977: ORDIFLEX—a flexible computer program for four ordination techniques, weighted averages, polar ordination, principal component analysis, and reciprocal averaging, Release B. Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York, USA.
- [8] —, 1982: Multivariate analysis in community ecology. Cambridge University Press, Cambridge, USA.
- [9] Hill, M. O., 1973: Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology* 61: 237—249.
- [10] —, 1979a: DECORANA—a FORTRAN program for detranded correspondence analysis and reciprocal averaging. Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York, USA.
- [11] —, 1979b: TWINSpan—a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Ecology and Systematics, Cornell University, Ithaca, New York, USA.
- [12] —, and H. G. Gauch., 1980: Detranded correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio* 42: 47—58.
- [13] Holdridge, L. R., 1967: Life zone ecology, Rev. ed. Sa. Jose, Costa Rica. Tropical Science Center.
- [14] Kira, T., 1976: Terrestrial ecosystem—A general survey. Handb. Ecol. 2, Kyoritsu Shuppan, Tokyo.
- [15] Marida, K. V., J. T. Kent, and J. M. Bibby., 1979: Multivariate Analysis. Academic press, London.
- [16] Penman, H. L., 1956: Evaporation: an introductory survey. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 4(1) 9—29.
- [17] Thornthwaite, C. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review* 38: 55—94.

## INDIRECT GRADIENT ANALYSIS, QUANTITATIVE CLASSIFICATION AND ENVIRONMENTAL INTERPRETATION OF PLANT COMMUNITIES IN NGARI, XIZANG (TIBET)

Chang Hsin-shih

(*Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences*)

### Abstract

Basing on the multivariate analysis--ordination, quantitative classification, and environmental interpretation of 163 plant community samples collected from Ngari, Xizang, the primary vegetation types, ecological gradients, and their quantitative relations with environmental factors of Ngari are given. The basic analysis contains the following three steps: 1) the two principal ecological gradients are brought to light by two vectors of ordination scores produced by detrended correspondence analysis (DCA); 2) the nonhierarchical and hierarchical classification systems of plant communities are produced from the 2-dimensional scatter plot of DCA ordination and two-way indicator species analysis (TWINSpan), respectively; 3) environmental indexes (quantitative interpretation) of various vegetation types are given by the multivariate regression analysis which connects the ordination scores with environmental and geographical parameters. It is shown by the analysis that the vegetation types of Ngari and their distribution are mainly determined by the thermal and moisture gradients. The former could be expressed quantitatively with the mathematic expression of geographical parameters, the latter with the soil characteristics. The two gradients contain quite different vegetation types, species, and habitats, ranging from low montane warm desert to alpine periglacial vegetation, and from intrazonal bog and saline meadow to zonal plateau desert and steppe with their particular position and ordination scores. That shows that the quantitative analysing method used here for handling the ecological data of plant communities with great ecological diversity is highly efficient.

**Key words** Gradient analysis; Quantitative classification; Environmental interpretation; Plant communities; Tibet