

# 内蒙古大青山哈拉沁沟流域中游 草本植被与环境的关系

徐广才<sup>1</sup>, 康慕谊<sup>1\*</sup>, 马敏<sup>1</sup>, 刘全儒<sup>2</sup>, 朱源<sup>1</sup>, 王好<sup>1,3</sup>, 郭雯雯<sup>1</sup>, 徐丹<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学资源学院, 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京师范大学中国生态资产评估研究中心, 北京 100875

2. 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875 3. 成都市生态环境科研监测所, 四川 成都 610072)

**摘要:** 选取内蒙古哈拉沁沟流域中游草本植被进行调查取样和数量分析。通过野外工作获取研究区的植物种、群落特征和环境数据, 并将野外所采样品进行实验室内常规分析。分析结果显示, 研究区植物群落分为5个群丛: 百里香+羊草+细叶苔草群丛、蒙古蒿+细叶苔草+二裂委陵菜群丛、细叶苔草+白莲蒿+光稃茅香群丛、细叶苔草+硬质早熟禾群丛和蒙古蒿+鹅绒委陵菜+光稃茅香群丛。DCCA样方排序的结果与分类结果较吻合, 其中排序第一轴主要指示海拔和土壤pH值对群落分布格局的影响, 第二轴着重反映年太阳总辐射、相对地形湿润指数(TRM I)和土壤有机质含量对群落分布格局的影响。DCCA结果揭示出各植物群落沿环境梯度的递变规律, 表明海拔与土壤的湿润及营养状况是控制研究区群落及物种分布的决定性因素。

**关键词:** 草本植被; 分类; DCCA排序; 哈拉沁沟

**中图分类号:** X171.1

**文献标识码:** A

哈拉沁沟位于内蒙古大青山南坡中段, 沟内小溪流水常年不断, 植被类型多种多样, 植物生物多样性资源丰富。对该区植被与植物资源的研究记录, 仅散见于《内蒙古植被》<sup>[1]</sup>和《内蒙古大青山高等植物检索表》<sup>[2]</sup>等, 这为在本地区深入开展植被生态学研究提供了背景性资料, 也为进一步分析植物群落分布格局及其与环境梯度之间的关系奠定了基础。本文选取哈拉沁沟中游山坡中上部广泛分布的草本植被作为研究对象, 对之进行分析<sup>[3]</sup>, 意在揭示植被分布与环境因子之间的依存关系, 以期为该流域及周围地区草地资源的保护和持续利用提供基础依据。

## 1 研究区概况

研究区域位于大青山南坡, 哈拉沁沟流域中游, 地理位置 111°40.59'~111°42.73'E, 40°58.58'~

40°59.91'N(图1)。研究区域内地形起伏较大, 坡谷陡峻, 谷底高程 1320~1410 m, 山顶高程 1840~1980 m, 主峰料木山海拔 2050 m。研究区属半湿润半干旱温带季风气候, 年平均气温 3.7℃, 年平均降水量 450 mm。较为优越的自然环境孕育了分布广泛的草本植被, 沟口及山麓一带分布着地带性的草原植被, 优势种主要为针茅属的长芒草(*Stipa bungeana*)等。由此顺沟溯源而上, 溪流两侧出现星星点点的河漫滩草甸, 优势种以细叶苔草(*Carex rigescens*)为主; 随着海拔进一步升高, 山坡中下部出现灌木草原, 优势种主要有羊草(*Leymus chinensis*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、白莲蒿(*Artemisia sacrorum*)等, 其下的土壤为栗钙土和山地黑钙土等。在山坡的中上部至山顶附近, 除背阴的谷坡处有小片分布的白桦(*Betula platphylla*)林外, 出现大面积分布的山地草甸, 优势种以二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、硬质早熟禾(*Poa sphondylodes*)等为

收稿日期(Received date): 2006-12-01; 改回日期(Accepted): 2007-05-08.

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(编号: 40671065) [Natural Science Foundation of China (No. 40671065)]

作者简介(Biography): 徐广才(1982-), 男(汉族), 山东东平人, 博士研究生, 研究方向为生态区与生态资产评估。Email: xg719917@ires.cn [Xu Guangcai (1982-), male, the Han Nationality born in Shandong province, Ph.D. candidate specialized in assessment of ecoregion and ecological capital. Email]

\* 通讯作者(Corresponding author): Kang Muyi kangmuyi@bnu.edu.cn

主,并杂有针茅属的大针茅(*Stipa grandis*)和克氏针茅(*S. krylovii*)等,其下的土壤镶嵌出现灰褐土、草甸土、石质土等。

## 2 研究方法

### 2.1 植被及生境特征调查

植被调查采用样方法进行:从谷底沿河漫滩向两侧顺山坡直到山顶,依海拔梯度、坡向和生境的不同,半随机式地设置若干个1 m×1 m的样方。按照此步骤,最终共调查有效样方41个(图1)。

在每一样方中,调查并记录其中出现的植物种及其高度、盖度等特征,对于部分暂时不能识别的植物种,编号并采集标本,带回实验室做进一步鉴定。经调查,共记录到草本植物138种。物种数据采用二元数据(在样方中出现计为1,反之为0),从而得到41×138的样方-物种数据矩阵。

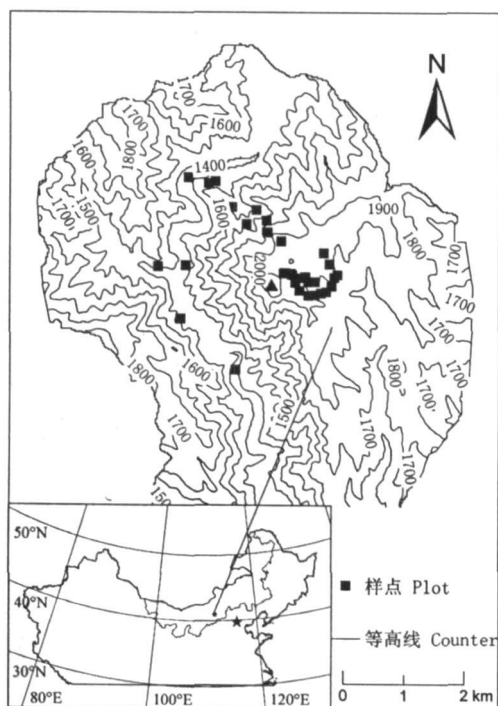


图1 研究区位置及样方分布示意图(等高距100 m)

Fig. 1 Sketch map of the study area showing the location and distribution of sampling plots (the counter interval is 100 m)

生境因子调查,主要包括样方的地理坐标、海拔、坡度、坡向、土壤厚度等。其中土壤厚度一项,是在样方内及其周围随机选取5个点,将土钻分别插

入各点直至母质层,记录其深度,然后取其平均值所得。对于每一样方,同时挖取了其表土层(5~15 cm)土样带回,待土样自然风干后,过0.02 mm筛子,然后送实验室分析,测定其有机质含量、pH值等理化指标。

为了准确反映坡向对植物生长与分布的影响,将0~360°的方位角变换为0~1之间的TRASP(Transformation of aspect)指数<sup>[4]</sup>。TRASP指数越大表明坡向越向阳,反之越背阴,其中1代表南偏西30°,0代表北偏东30°,计算公式如下

$$TRASP = \frac{1 - \cos[\pi(\text{aspect} - 30)/180]}{2}$$

式中 TRASP 表示坡向指数, aspect 表示坡向度。

土壤湿润程度用相对地形湿润指数<sup>[5]</sup>(TRMI Topographic Relative Moisture Index)衡量。TRMI指数依据研究区数字高程模型(DEM, Digital Elevation Model),结合坡度、坡向、坡位和坡形等因子,运用ArcGIS软件Grid模块提取获得,其数值范围为0~60,0表示最干燥,60表示最湿润。

太阳辐射是区域生态过程的主要能量来源,局地太阳辐射的分布受制于地理纬度、地形差异及天气状况。以研究区DEM为数据源,以研究区域所在的41°N为基准纬度,通过ArcView软件的Solar Analyst模块获取各样方的年太阳总辐射值<sup>[6]</sup>。

由此,最终获得海拔、坡度、土深、土壤pH值、土壤有机质含量、年太阳总辐射、TRMI、TRASP等8项环境因子数据,进而得到41×8的样方-环境因子矩阵。

### 2.2 植物种与环境关系模型的选取

在自然界中,植物生长与分布状况随环境因子梯度的变化有线性和非线性之分,因此群落排序的基础模型也相应地分为线性模型和非线性模型,前者如主分量分析(PCA, Principal Component Analysis),后者多为单峰模型,如除趋势对应分析(DCA, Detrended Correspondence Analysis)<sup>[7]</sup>和除趋势典范对应分析(DCCA, Detrended Canonical Correspondence Analysis)等<sup>[3]</sup>。模型不同,适用的排序方法也有所差异。目前一般认为,自然植物群落中物种与环境之间的关系属何种模型,可以先进行DCA和/或DCCA排序,通过此类排序计算出环境梯度最大标准变异(SD, Standard Deviation)的方法来判断<sup>[8,9]</sup>。当DCA排序结果中SD超过3时,或者DCCA排序结果中SD超过2时,物种与环境梯度的关系已不再完全保持线性,部分物种将呈现为明显的

单峰形式。相应地, 此时排序也应选择单峰模型 (如 DCA 或 DCCA)。

2.3 数据处理

研究区植被分类基于群落中物种出现与否的二元数据。因该类型数据能够直观地反映植物种在群落 (或样方) 中适宜 (因而出 现) 的可能性, 故经常被国内外的类似或相关研究所运用<sup>[3]</sup>。然而因其在反映物种在群落中的地位方面不如连续数据, 所以一般仅部分用于定量研究。传统的分类方法, 依据群落的结构与组成, 从定性和定量两个方面直观描述, 亦可以很好地对群落进行分类。因此, 本文群落分类依据实地样方调查记录进行。研究区植物群落排序系基于样方 – 物种二元数据矩阵, 以及样方 – 环境因子数据矩阵, 采用 DCA 与 DCCA 两种方法相结合的方式, 在 CANOCO (version 4.5) 软件<sup>[10]</sup>的支

持下通过计算机运算完成。

3 结果与分析

3.1 物种组成与环境特征

研究中所记录到的 138 种草本植物, 分属 30 科 84 属。其中菊科、禾本科、蔷薇科、豆科为包含植物种数较多的科, 物种数分别为 37、20、15、13, 蔷薇科的委陵菜属和菊科的蒿属是其中较大的两个属, 分别含有为 13 种和 11 种植物。

表 1 为研究区各项生境因子的大致情况。其中样地海拔差异不大, 仅 600 m 余, 而坡向的变化幅度最大, 为 0~0.98, 另外土壤有机质含量和地形相对湿润指数的变化也较大, 这些均表明调查涵盖的生境类型较为丰富。

表 1 群落样地生境概况

Table 1 General situation of habitats measured at sampling plots

环境因子 Environmental factors	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Mean
海拔 ELEV (m)	1 994	1 350	1 788
pH 值	7.56	6.68	6.98
土壤有机质含量 OM (%)	13.89	1.57	7.63
土壤厚度 SD (cm)	66.49	11.15	39.63
坡向指数 TRASP	0.98	0.00	0.37
坡度 SLOP (°)	25	0	14.42
年均太阳辐射 SR (MJ/m <sup>2</sup> )	1 717.33	1 128.63	1 511.51
地形相对湿度 TRMI	45	12	28

3.2 植物群落分类

群落分类依据《中国植被》<sup>[11]</sup>规定的群落 – 生态学原则进行, 以群落自身结构特征为主, 参考生境特征, 对全部样方按其优势种的相似性程度与分化, 最终将其划归 5 个群丛。

1. 百里香 + 羊草 + 细叶苔草群丛 (Ass. *Thymus mongolicus* + *Leymus chinensis* + *Carex rigescens*)

含样方 4、5、9、14、20、21、38、40、41, 分布于海拔 1 400~1 500 m 间, 平均坡度 7.3°, 地形起伏较和缓。土壤 pH 范围 6.8~7.3, 略偏中性, 有机质含量 5% 左右, 偏瘠薄。群落优势种为百里香、羊草和细叶苔草, 其中百里香的盖度可达 35%, 高度约 5~8 cm, 羊草的局部盖度可达 25%, 高度可达 20 cm, 细叶苔草的盖度介于 10%~25%, 高度 4~6 cm。

伴生物种有: 早春苔草 (*Carex subpediformis*)、冷蒿 (*Artemisia frigida*)、洽草 (*Koeleria cristata*)、蒙古蒿 (*A. mongolica*)、艾蒿 (*A. argyi*)、冰草 (*Agropyron cristatum*)、长芒草、蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*)、皱黄芪 (*Astragalus nutricus*) 等。

2. 蒙古蒿 + 细叶苔草 + 二裂委陵菜群丛 (Ass. *Artemisia mongolica* + *Carex rigescens* + *Potentilla bifurca*)

含样方 6、16、27、28、29、30、35、36、37, 分布于海拔 1 350~1 450 m 的沟谷两岸山坡, 坡度在 10°~15°间, 坡向偏阴, 土壤较湿润, 有机质含量 7%。群落以蒙古蒿、细叶苔草和二裂委陵菜为优势种, 前者盖度约 20%, 高度 10~15 cm, 细叶苔草盖度 18%, 高度 5 cm, 后者的盖度 12%, 高度约 5~13 cm。硬质早熟禾、广布野豌豆 (*Vicia cracca*)、二裂委陵菜、

毛连菜 (*Picris hieracioides*)、苣荬菜 (*Sonchus arvensis*)、鼠掌老鹳草 (*Geranium sibiricum*) 等为主要伴生物种。

3. 细叶苔草 + 白莲蒿 + 光稃茅香群丛 (Ass *Carex rigescens* + *Artemisia gmelinii* + *Hierochloa glabra*)

含样方 10 11 13 19 24 34 分布海拔 1 850~1 950 m, 坡度 15°~25°, 坡向略偏南, 土壤湿润程度中等偏干燥。土壤 pH 值 6.8~6.9, 有机质平均含量 7.7%。群落优势种为细叶苔草、光稃茅香和白莲蒿, 其中细叶苔草的盖度可达 30%~40%, 高度 6~13 cm, 白莲蒿的盖度局部可达 30%, 高度 15 cm, 光稃茅香的盖度 15%, 高度 11 cm。群落伴生物种有二裂委陵菜、狐尾藻棘豆 (*Oxytropis myriophylla*)、灯心草蚤缀 (*Arenaria juncea*)、北齿缘草 (*Eriochloa borealisinens*)、叉分蓼 (*Polygonum divaricatum*)、北方还阳参 (*Crepis crocea*)、西伯利亚远志 (*Polygala sibirica*) 等。

4. 细叶苔草 + 硬质早熟禾群丛 (Ass *Carex rigescens* + *Poa sphondylodes*)

含样方 1 7 8 15 17 18 22 23 25 33 39 分布于海拔 1 950 m 以上近山顶的坡地处, 地形较平缓, 平均坡度 8°。土壤湿润状况中等或略偏干燥, 土层厚度较大, 平均土壤有机质含量为 15%, 为各群落类型最高。群落的优势种为细叶苔草和硬质早熟禾, 前者盖度约为 30%, 高度 15 cm, 后者盖度 8%~15%, 高度最大可达 45 cm。主要伴生物种有地榆 (*Sanguisorba officinalis*)、蓬子菜 (*Galium verum*)、花苜蓿 (*Medicago ruthenica*)、裂叶荆芥 (*Schizonepeta tenuifolia*)、瓣蕊唐松草 (*Thalictrum petaloideum*)、小黄花菜 (*Hemerocallis minor*)、异燕麦 (*Helictotrichon schellianum*) 等。

5. 蒙古蒿 + 鹅绒委陵菜 + 光稃茅香群丛

(Ass *Artemisia mongolica* + *Potentilla anserina* + *Hierochloa glabra*)

含样方 2 3 12 26 31 32 分布于山顶附近, 海拔高度 1 850~2 050 m。地形坡度介于 15°~25°, 坡向略偏北, 土壤湿润, 有机质含量较高, 平均为 12%。群落的优势种为蒙古蒿、鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*)、光稃茅香, 其中蒙古蒿盖度 17%~20%, 高度 15 cm, 鹅绒委陵菜盖度 18%, 高度约 8~10 cm, 光稃茅香局地盖度可达 15%, 高度 20 cm。主要的伴生物种有硬质早熟禾、早春苔草、卵穗苔草 (*C. duriuscula*)、蒙古蒿、戟叶蒲公英 (*T. asiaticum*)、苣荬菜、小红菊 (*Dendranthema charetii*)、大丁草 (*Gerbera anandria*)、毛萼麦瓶草 (*Silene repens*)、华北马先蒿、裂叶荆芥、拳蓼 (*Polygonum bistorta*)。

3.3 植物群落排序

群落与环境关系模型采用 DCA 排序方法判定。DCA 排序得到研究区环境梯度的变异长度最大值为 6.039(≥3), 据此判定, 研究区环境梯度的变异较大, 在该区自然条件影响下, 植物种的生长与分布至少与环境中的某一生态因子之间已不再呈线性关系, 因此选取基于单峰模型的 DCCA 排序方法进行植物群落与环境关系的数量排序。

以样方-物种数据矩阵和样方-环境因子矩阵为基础, 输入计算机进行 DCCA 排序, 结果表明: 环境梯度的变异长度最大值为 2.991(≥2), 再次证明物种与环境的关系已非线性。排序前四轴的特征值之和占总特征值的 17.20%, 即本次排序可揭示出群落及物种分布变化规律特征全部信息的 17.20%。其中第一二轴的特征值分别为 0.411 和 0.175, 分别解释物种-环境关系的 23.74% 和 12.20% (表 2)。

表 2 DCCA 排序的特征值及积累解释量

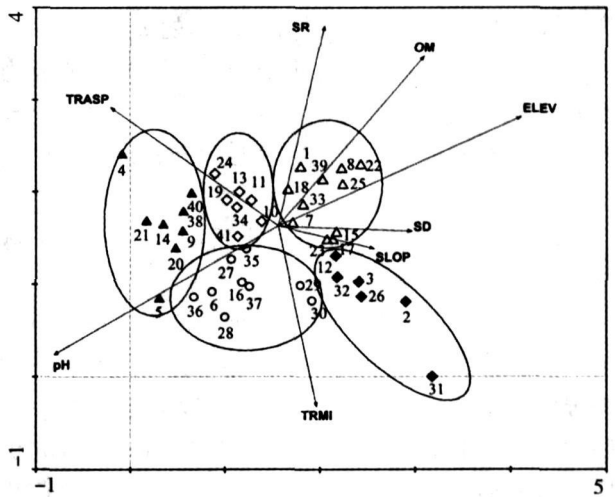
Table 2 Eigenvalues and cumulative variances of species data and species-environment relationship

排序轴 Axis	特征值 Eigenvalue	物种累计解释量 Cumulative variances of species data (%)	物种-环境关系累计解释量 Cumulative variances of species- environment relationship (%)
第一轴 AX1	0.411	9.20	23.74
第二轴 AX2	0.175	13.10	33.85
第三轴 AX3	0.124	15.90	41.02
第四轴 AX4	0.057	17.20	44.31

排序结果中各排序轴与各环境因子之间的负荷关系见表 3。研究选取征值最大的第一二轴做排序图, 以反映各类群落样地受环境因子制约和影响的情况(图 2)。图中, 箭头矢量代表各个环境因子, 其在象限表示环境因子与排序轴间的正负相关性, 箭头矢量的长度表示环境因子对排序的影响作用大小, 连线越长, 表明该环境因子对排序的贡献越大(因而对物种及群落分布的影响也越大)。箭头矢量连线之间的夹角表示各环境因子间的相关性大小, 夹角接近垂直, 表示其间无显著相关<sup>[12]</sup>。

由图 2 及表 3 可知, 海拔、pH 值、地形相对湿润指数、年总太阳辐射、土壤有机质含量、TRASP 指数和 TRM I 指数对群落分布格局的形成影响较大, 在群落的排序中起到主要作用, 而坡度和土壤厚度等因素对群落和物种分布的影响较小。其中第一轴与海拔、pH 值、TRASP 数和土壤有机质含量等相关性均较高, 但以海拔和 pH 值的相关系数为最大, 分别呈现正、负相关关系, 即该轴主要反映了海拔和 pH 值的变化梯度, 且随着排序轴数值的增加, 海拔升高、pH 值降低, 这是由于降水的淋溶作用导致土壤中易溶性盐基阳离子从高海拔处淋失, 到低海拔处淀积所致, 因此, 海拔是决定群落及物种沿第一轴分布的关键因子, 即海拔通过调节水热条件的变化, 影响植物物种和群落在垂直空间上的分布; 第二轴与年太阳总辐射、相对地形湿润指数和土壤有机质含量的相关系数最大, 分别成正、负、正相关关系, 即随排序轴数值增加, 年总太阳辐射增加, 地形相对湿润指数降低, 土壤有机质含量增加; 年均太阳总辐射与 TRM I 指数夹角近 180°, 是由于太阳辐射增加直接导致地表蒸散发加剧, 从而地形相对湿润指数较低;

太阳总辐射、土壤有机质含量及海拔的夹角呈锐角, 三者相关性较高, 这是由于随着海拔的升高, 年太阳总辐射也相应增加, 从而有利于植物的生长和土壤有机质的积累, 可见第二轴主要反映了土壤营养和湿润状况对群落和物种分布的影响, 即太阳辐射直接影响土壤湿润状况和植物的生长, 并作用于土壤有机质的积累, 使植物群落沿着土壤湿润程度和营养状况的梯度发生变化。



▲百里香 + 羊草 + 细叶苔草群丛 A ss *Thymus mongolicus* + *Leymus chinensis* + *Carex rigescens* ○蒙古蒿 + 细叶苔草 + 二裂委陵菜群丛 A ss *Artemisia mongolica* + *Carex rigescens* + *Potentilla bifurca* ◇细叶苔草 + 白莲蒿 + 光稃茅香细叶苔草 + 白莲蒿 + 光稃茅香群丛 A ss *Carex rigescens* + *Artemisia sacronum* + *Hierodhiae glabra* △细叶苔草 + 硬质早熟禾群丛 A ss *Carex rigescens* + *Poa sphondyloides* ◆蒙古蒿 + 鹅绒委陵菜 + 光稃茅香群丛 A ss *Artemisia mongolica* + *Potentilla anserine* + *Hierodhiae glabra*

图 2 DCCA 样方排序及分组

Fig 2 DCCA ordination of 41 sampling plots

表 3 环境因子与排序轴之间的关系

Table 3 Correlation coefficient of environmental factors and the first 4 axes of DCCA ordination

环境因子 Environmental factors	第一轴 AX1	第二轴 AX2	第三轴 AX3	第四轴 AX4
海拔	0.740 9**	0.424 3	-0.260 7	0.072 2
pH 值	-0.690 4*	-0.488 9	0.402 9	0.013 2
土壤有机质含量	0.455 2	0.630 7*	0.129 9	0.833 1**
土壤厚度	0.403 0	-0.000 7	-0.247 3	0.119 3
TRASP	-0.497 9	0.405 1	0.066 2	0.083 1
坡度	0.287 4	-0.068 4	-0.503 6*	0.015 1
年太阳总辐射	0.156 0	0.726 3**	-0.428 7	0.065 6
TRM I	0.101 2	-0.643 5*	0.593 3*	-0.460 5

(\* \*,  $p < 0.01$ ; \*,  $p < 0.05$ )

此外, TRASP指数和 TRM I指数的夹角也超过  $150^\circ$ , 说明二者的变化呈现负相关关系, 这主要由于随着 TRASP指数的增加, 坡向愈偏南, 土壤的愈趋于干燥, TRM I指数随之降低; TRM I指数与 pH 值、海拔的夹角, 以及 pH 值与 TRASP 指数、OM、TRM I 指数等的夹角均在  $90^\circ$ 左右, 说明这些环境因子间的相关性较小。

综上可知, 影响研究区群落分布格局的主要因子较多, 且各主要因子, 尤其是海拔、土壤营养状况和湿润状况等对群落分布格局影响的差别不显著, 即在地形起伏相对有限的情况下, 海拔并不能成为控制研究区植被分布的主导性因子, 它和土壤水分、养分等因素成为形成研究区植被分布格局的关键因子。

DCCA排序图中, 自下而上反映出群落下土壤湿润程度和养分状况的分布变异。以图中 ELEV - pH (海拔-pH 值) 连线为界, 41个样地可依据生境的湿润状况分为干湿两组, 界线上方为干燥生境, 下方为湿润生境, 其 TRM I指数界限大致为 25~30。排序空间自左上到右上随着海拔升高, 土壤有机质含量增加, 依次出现有百里香 + 羊草 + 细叶苔草群落、细叶苔草 + 白莲蒿 + 光稃茅香群落和细叶苔草 + 硬质早熟禾群落; 自左下向右下随海拔升高依次出现蒙古蒿 + 细叶苔草 + 二裂委陵菜群落和蒙古蒿 + 鹅绒委陵菜 + 光稃茅香群落。以 ELEV-pH 连线的垂直方向, 即大体以 TRASP-TRM I连线为界, 百里香 + 羊草 + 细叶苔草群落主要分布于偏阳坡, 而蒙古蒿 + 鹅绒委陵菜 + 光稃茅香群落则主要分布于偏阴坡, 其他群落类型介于两者之间, 这与其 TRM I 指数影响下的变化趋势相一致, 反映出坡向对土壤湿润状况的影响。进而, 可据排序结果以及群落对生境的指示作用, 将研究区生境粗略划分为以下类型: 低海拔阳坡贫养生境, 主要分布有百里香 + 羊草 + 细叶苔草群落; 中低海拔湿润贫养生境, 主要分布有蒙古蒿 + 细叶苔草 + 二裂委陵菜群落; 中高海拔中湿中养生境, 主要分布有细叶苔草 + 白莲蒿 + 光稃茅香群落; 高海拔中湿富养生境, 主要分布有细叶苔草 + 硬质早熟禾群落; 高海拔湿润中养生境, 主要分布有蒙古蒿 + 鹅绒委陵菜 + 光稃茅香群落。

由上述分析可见, 图 2中的排序结果与群落分类结果吻合较好, 表明传统分类与 DCCA 排序之间具有良好的互补性, DCCA 能够作为植物群落分类的有力辅助, 深刻地揭示植物群落分布与环境之间

的关系。

## 4 结论

1. 基于实地调查的群落分类将研究区植物群落分为 5个群落: 百里香 + 羊草 + 细叶苔草群落、蒙古蒿 + 细叶苔草 + 二裂委陵菜群落、细叶苔草 + 白莲蒿 + 光稃茅香群落、细叶苔草 + 硬质早熟禾群落、蒙古蒿 + 鹅绒委陵菜 + 光稃茅香群落。

2. DCCA 排序较好地揭示了哈拉沁河流域中游地区群落类型的分布与环境之间的关系, 并与群落分类的结果较吻合。排序结果表明, 海拔、土壤有机质含量、坡向、TRM I指数等是决定研究区植被分布的主要环境因子。其中第一轴主要反映了海拔和 pH 值的变化梯度, 第二轴主要反映了相对地形湿润指数与土壤有机质含量的变化梯度。群落类型主要沿海拔及土壤湿润与营养状况两个方向发生递变, 即在海拔梯度相对有限的情况下, 地形通过影响局部的水热分布、土壤理化性质等生态因子, 直接或间接地影响群落的分布格局。

3. 依据群落对生境的指示作用, 结合 DCCA 排序, 可将研究区划分低海拔阳坡贫养生境、中低海拔湿润贫养生境、中高海拔中湿中养生境、高海拔中湿富养生境、高海拔湿润中养生境等 5种类型。生境相对干燥的群落, 从低海拔贫养的百里香 + 羊草 + 细叶苔草群落逐渐向中高海拔富养生境的细叶苔草 + 白莲蒿 + 光稃茅香群落以及细叶苔草 + 硬质早熟禾群落递变, 生境相对湿润的群落则沿海拔梯度逐渐从百里香 + 羊草 + 细叶苔草群落递变为蒙古蒿 + 细叶苔草 + 二裂委陵菜群落和蒙古蒿 + 鹅绒委陵菜 + 光稃茅香群落。

## 参考文献 (References)

- [1] The Inner Mongolia and Ningxia Investigation Group of the Chinese Academy of Sciences. Vegetation in the Inner Mongolia[M]. Beijing: Science Press, 1985. 723~748 [中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 723~748]
- [2] Zhao Yizhi. Key to the Higher Plants of Daqing Mountain in Inner Mongolia[M]. Hohhot: Inner Mongolia University Press, 2005. 43~188 [赵一之. 内蒙古大青山高等植物检索表[M]. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 2005. 43~188]
- [3] Zhang Jintun. Quantitative Ecology[M]. Beijing: Science Press, 2004. 120~176 [张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004. 120~176]

- [4] ROBERTS D W, COOPER S V. Concepts and techniques of vegetation mapping[ A ]. In Land Classifications Based on Vegetation Applications for Resource Management[ R ]. USDA Forest Service General Technical Report NT-257 Ogden, UT, 1989 90~96
- [5] Parker A J. The topographic relative moisture index: An approach to soil moisture assessment in mountain terrain[ J ]. *Physical Geography*, 1982, 3: 160~168
- [6] Fu P, Rich P M. Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales [EB/OL]. *Proceedings of the 19th Annual ESRI User Conference*, San Diego, USA, 1999. [http://www.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap\\_867/p867.htm](http://www.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap_867/p867.htm).
- [7] Pan Xiaoling, Zhang Yuandong, Chu Yu, *et al*. Multivariate analysis and environmental interpretation of desert bank forest plant communities in Tarim basin, Xinjiang[ J ]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2001, 21 ( 2 ): 247~251 [潘晓玲, 张远东, 初雨, 等. 塔里木河流域荒漠河岸林群落的多元分析与环境解释[ J ]. 西北植物学报, 2001, 21 ( 2 ): 247~251]
- [8] Prebble M, Schallenberg M, Carter J *et al*. An analysis of phytolith assemblages for the quantitative reconstruction of late Quaternary environments of the Lower Taieri Plain, Otago, South Island, New Zealand I. Modern assemblages and transfer functions[ J ]. *Journal of Paleolimnology*, 2002, 27: 393~413
- [9] Guasch H, Ivorra N, Lehmann V, *et al*. Community composition and sensitivity of periphyton to atrazine in flowing waters: the role of environmental factors[ J ]. *Journal of Applied Phycology*, 1998, 10: 203~213
- [10] Ter Braak Cajo J F, P Smilauer. CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5) [ M ]. Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA, 2002 115~185
- [11] Compiling group of the Vegetation of China. The Vegetation of China[ M ]. Beijing: Science Press, 1980 149~156. [中国植被编辑委员会. 149~156 中国植被[ M ]. 北京: 科学出版社, 1980. 149~156]
- [12] Wu Jihua, Zhang Shen, Jiang Yuan, *et al*. Geobotany[ M ]. Beijing: Higher Education Press, 2004 216~223 [武吉华, 张绅, 江源, 等. 植物地理学[ M ]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 216~223]

# The Relationship between Herbaceous Vegetation and Environment in Middle Reach of Halaqingou Stream Valley, Mt Daqingshan, Inner Mongolia

XU Guangcai<sup>1</sup>, KANG Muiyi<sup>1</sup>, MA Min<sup>1</sup>, LU Quannu<sup>2</sup>, ZHU Yuan<sup>1</sup>,  
WANG Hao<sup>1,3</sup>, GUO Wenwen<sup>1</sup>, XU Dan<sup>2</sup>

( 1. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University; State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology; China Ecological Capital Assessment and Research Center, Beijing Normal University; Beijing 100875, China;  
2. College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;  
3. Chengdu Institute of eco-environment monitoring, Chengdu 610072, China )

**Abstract** The herbaceous vegetation in the middle reach of Halaqingou Stream Valley, Mt Daqingshan, Inner Mongolia, were surveyed through quadrat samplings, and quantitatively analyzed with DCCA ordination. The results show that the vegetation can be induced into 5 associations: Ass *Thymus mongolicus* + *Leymus chinensis* + *Carex rigescens*, Ass *Artemisia mongolica* + *Carex rigescens* + *Potentilla bifurca*, Ass *Carex rigescens* + *Artemisia sacrorum* + *Hierochloa glabra*, Ass *Carex rigescens* + *Poa sphondylioides* and Ass *Artemisia mongolica* + *Potentilla anserina* + *Hierochloa glabra*. The 1st axis of DCCA ordination mainly revealed the environmental influences of altitude, pH value of soil, while the 2nd one reflected the variation of the annual solar radiation, the topographic relative moisture index (TRM I) and the content of soil organic matter. In general, elevation, soil moisture and nutrients were the dominant factors deciding the distribution pattern of communities and herbaceous species.

**Key words** herbosa classification; DCCA ordination; Halaqingou Valley