

贺兰山西坡植被群落特征及其与环境因子的关系

郑敬刚^{1,3}, 董东平¹, 赵登海², 何明珠³, 李新荣³

(1. 许昌学院城市与环境学院, 河南 许昌 461000; 2. 内蒙古贺兰山国家级自然保护区管理局, 内蒙古 巴彦浩特 750306;

3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙坡头沙漠研究试验站, 甘肃 兰州 730000)

摘要:通过 SPSS 聚类分析和 CANOCO 排序研究了贺兰山西坡植被分布与环境因子的关系, 结果表明: 在海拔梯度上, 贺兰山西坡植被大致可以划分珍珠猪毛菜(*Salsola passerina*)-红砂(*Reaumuria soongorica*)群落、短花针茅(*Stipa breviflora*)-大针茅(*Stipa grandis*)群落和蒙古扁桃(*Prunus mongolica*)-灰榆(*Ulmus glaucescens*)群落 3 种类型。从典范对应分析(CCA)排序结果来看, 不同植被群落与环境因子的关系存在明显的分异。在珍珠猪毛菜-红砂群落, 第一排序轴反映了土壤盐碱化梯度, 沿着藏锦鸡儿群落—珍珠猪毛菜、猫头刺群落—珍珠猪毛菜、红砂群落序列, 土壤盐碱化程度不断增强; 第二排序轴则反映了土壤结构梯度, 沿着藏锦鸡儿群落—珍珠猪毛菜、红砂群落—珍珠猪毛菜、猫头刺群落序列, 土壤质地逐渐粗化; 在短花针茅-大针茅群落, 第一排序轴反映了土壤水分梯度, 第二排序轴反映了海拔梯度上的水热组合梯度; 在蒙古扁桃-灰榆群落, 第一排序轴反映了土壤 pH 梯度, 沿着灰榆、蒙古扁桃群落—蒙古扁桃、金露梅群落—蒙古扁桃群落序列, 土壤 pH 值逐渐下降; 第二排序轴主要反映了土壤结构梯度, 沿着蒙古扁桃群落—灰榆、蒙古扁桃群落—蒙古扁桃、金露梅群落序列, 土壤中粉粒、粘粒含量逐渐增加, 土壤质地呈细化趋势。

关键词:植被群落; 土壤水分; 主成分排序; 贺兰山

文章编号: 1000-0933(2008)09-4559-09 中图分类号: Q142, Q145, Q948 文献标识码: A

Relationship between vegetation community characteristics and its environmental factors in the west slope of Helan Mountain

ZHENG Jing-Gang^{1,3}, DONG Dong-Ping¹, ZHAO Deng-Hai², HE Ming-Zhu³, LI Xin-Rong³

1 College of Urban & Environmental Planning Sciences, Xuchang University, Xuchang 461000, China

2 Administrative Bureau of the Mount Helan National level Nature Reserve, Inner Mongolia Bayanhaote 750306, China

3 Shapotou Desert Research and Experiment Station, Cold and Arid Region Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4559 ~ 4567.

Abstract: SPSS cluster analysis and CANOCO ordination method were applied to discuss the relationship between vegetation and its environmental factors in the west slope of Helan Mountain. The results show that the vegetation community can be divided into three types, namely *Salsola passerina*-*Reaumuria soongorica* community, *Stipa breviflora*-*Stipa grandis* community and *Prunus mongolica*-*Ulmus glaucescens* community. Canonical correspondence analysis suggests a significant difference on the relationship between vegetation and environmental factors. In *Salsola passerina*-*Reaumuria soongorica* community, the first ordination axes explains the salinization gradient, along the order of *Caragana tibetica* community,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40471006, 40501004); 许昌学院青年自然科学基金资助项目(2008088)

收稿日期: 2008-03-24; 修订日期: 2008-05-19

作者简介: 郑敬刚(1975~), 男, 河南许昌人, 博士, 副教授, 主要从事干旱区植被生态过程研究. E-mail: zhengjinggang@sohu.com

Foundation item: The project was financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40471006, 40501004) and by the Young Natural Science Foundation of Xuchang University (No. 2008088)

Received date: 2008-03-24; **Accepted date:** 2008-05-19

Biography: ZHENG Jing-Gang, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in vegetation ecological process in arid region. E-mail: zhengjinggang@sohu.com

Salsola passerina-*Oxytropis aciphylla* community, and *Reaumuria soongorica*-*Salsola passerina* community, soil alkalization increases. The second ordination axis explains soil structure gradient, along the order of *Caragana tibetica* community, *Reaumuria soongorica*-*Salsola passerina* community and *Salsola passerina* community, soil texture becomes coarser. In the *Stipa breviflora*-*Stipa grandis* community, the first ordination axis indicates the soil water gradient, and the second ordination axes explains hydrothermal coupling gradient. In the *Prunus mongolica*-*Ulmus glaucescens* community, the first ordination axis explains the soil pH gradient, along the order of *Ulmus glaucescens*-*Prunus mongolica* community, *Prunus mongolica*-*Potentilla fruticosa* community, and *Potentilla fruticosa*-*Prunus mongolica* community, soil pH value reduces. The second ordination axis explains soil structure gradient, along the order *Prunus mongolica*-*Ulmus glaucescens* community, and *Prunus mongolica*-*Potentilla fruticosa* community, the contents of silt and clay increase, and soil texture suggests a fine trend.

Key Words: vegetation community; soil water; principal component analysis; Helan Mountain

植被和环境因子的关系是植物生态学研究的一个中心议题^[1],近一个世纪以来,生态学家一直致力于揭示调控植被群落物种分布及其多样性的环境因子研究^[2]。气候对植被的调控作用早在 19 世纪初已经被发现^[3],此外,干旱半干旱区的小降雨事件及频繁的干旱导致的水分有效性也成为调控植被群落特征的最重要的因素之一^[4],一些与水分有效性有关的非生物因素,如年降雨量、土壤理化性质、地形等也在一定程度上影响着植被分布。有关植被和环境因子的关系研究主要集中在北美、澳大利亚的干旱、半干旱地区,以及埃及、印度、伊朗等国家的荒漠区^[5~9]。

植被群落的间接梯度分析是通过植物种及群落自身特征对环境响应的分析,探讨群落在一定环境梯度上的排序和分类^[10]。近年来,关于排序结果的环境解释进一步发展了地植物学研究的分析手段,所得出的结果一般能反映某些真实的环境要素的组合^[11~13]。随着排序方法的日臻完善,梯度分析不仅把样方和物种信息在排序空间中进行定量地表达^[14],而且可以把影响植被动态的各种因子进行定量地分离,从而更深入地诠释植被与环境的关系^[15~17]。梯度分析在植被与环境关系研究中已得到了广泛的应用,国外学者有关定量研究植物群落的组成、分布及其与环境因子之间关系的报道已屡见不鲜^[18,19],而国内也有许多学者应用数量分类和排序的方法研究了我国不同气候带植物群落与环境的关系^[20~24]。

贺兰山横跨宁夏、内蒙古两个自治区,隶属于北温带草原和荒漠的过渡区。贺兰山作为西北地区一道极为重要的生态屏障,不仅阻隔了腾格里沙漠的东移,有效地保护了富饶的宁夏平原,还对起源于阿拉善的沙尘暴有巨大的拦截作用。贺兰山作为我国西部温带草原与荒漠的分界线和连接青藏高原、蒙古高原及华北植物区系的枢纽^[25],近年来,很少见到应用数量分类和排序的方法研究该区域植被与环境因子的关系报道。基于此,选择贺兰山西坡荒漠植被进行研究,并定量地分析影响群落分布的主要环境因子,为进一步了解贺兰山植物群落发展趋势提供理论依据。

1 研究区概况

由于贺兰山地处内陆,东南来的湿润气候因受秦岭、六盘山等高山阻挡,影响甚微,而西北直接受蒙古高压影响,全年为西北风所控制,加上西伯利亚冷空气入侵,形成典型的大陆性气候。冬季干燥严寒,盛行西北风,夏季天气干燥炎热,降水量很少。山麓地带由南向北,年平均气温 8.2~8.6℃,其中,1 月份平均气温 -6.8℃,7 月份平均气温 23.8℃;≥10℃的积温为 3209.2℃;年平均降水量 250~438 mm,降水量少而集中,多集中在 7、8、9 月份,3 个月份的降水量占全年降水量的 60%~70%;年平均蒸发量 1600~1800 mm 之间,无霜期 229 d^[26]。

贺兰山是我国西部重要的气候和植被分界线,以东是草原气候和草原植被,以西则是荒漠气候和荒漠植被^[27]。因此,贺兰山植被类型比较复杂,既有标志山地所在水平地带属性的草原和荒漠,又有山地植被垂直带中出现的疏林草原。荒漠主要分布于西坡的山麓洪积扇和山前平原地带,分布面积最广的是由红砂、珍珠

猪毛菜等构成的小灌木和半灌木荒漠,局部地区有以霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)或沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)为建群种的灌木荒漠的分布;在以短花针茅、大针茅和为建群种的荒漠草原中,常分布的植物有长芒草(*Stipa bungeana*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、中亚细柄茅(*Ptilagrostis pelliotii*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、银灰旋花(*Convolvulus ammannii*)等;疏林草原是分布于贺兰山低山带的一类重要植被类型,它是由许多草原植物如短花针茅、长芒草、多茎委陵菜(*Potentilla multicaulis*)、灌木亚菊(*Ajania fruticulosa*)、猫头刺等组成的草被层与稀疏生长的耐旱小乔木蒙古扁桃、灰榆共同构成的一种植物群落。

2 研究方法

根据 2005 年 9 月和 2006 年 6 月对贺兰山西坡浅山带(105°43' ~ 105°56'E, 38°24' ~ 39°08'N)典型植被的调查结果,结合 1990 年版《贺兰山国家级自然保护区植被类型图》,在贺兰山西坡山麓由南向北依次设置 5 条 10m 宽的样带,包括南段的狭子沟、中段的哈拉乌沟、南寺以及北段的大西沟、乱柴沟各设置 1 条样带;在对每条样带分布的植被群落调查时,沿海拔梯度大约每隔 100m 设置一个样方,其中狭子沟设置 8 个样方,南寺设置 6 个样方,哈拉乌沟、大西沟和乱柴沟各设置 12 个样方,5 条样带共计 50 个样方。灌丛样方 4 m × 4 m,调查记录灌木、幼树的物种名、高度、多度和盖度,并记录样方内出现的物种数和个体数;草本样方 1 m × 1 m,调查记录草本、灌木物种名、高度、多度和盖度,同时记录样方内出现的物种数。在植被调查的同时,在灌、草样方内按照对角线取样法,采集样方内 4 个顶点和中心 5 个样点 0 ~ 20cm 土样,同一样方的土样混合均匀以备土壤理化分析使用。

土壤含水量采用便携式 TDR 在土壤剖面中现场测定;粒度分析采用 MS-S 激光粒子筛(Malvern Ltd, Britain)进行测定;土壤 pH 采用 PHS-4 型智能酸度计测定土壤浸提液(土水比为 1:5);有机质采用重铬酸钾外加热法进行测定;土壤全盐量采用便携式电导仪测定土壤浸提液(土水比为 1:5)(Cole-Parmer Instrument Company, USA);总氮采用 Kjeltac 1026 型凯氏定氮仪进行测定(Tecator AB, Sweden);利用 GPS 测定样方的地理坐标和海拔,同时记录其坡位和坡向,坡位以数字表示,其中 -2、-1、0、1、2 分别代表沟谷、下坡、中坡、上坡和坡顶,数字越大坡位越高;坡向的原始记录是以朝西为起点(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,0 表示西坡(157.15° ~ 202.15°)和东坡(337.15° ~ 22.15°),1 表示西南坡(202.15° ~ 247.15°)和东南坡(292.15° ~ 337.15°),2 表示南坡(247.15° ~ 292.15°),-1 表示东北坡(22.15° ~ 67.15°)和西北坡(112.15° ~ 157.15°),-2 表示北坡(67.15° ~ 112.15°),数字越大,表示越向阳。

利用 SPSS11.5 统计分析软件对各样地物种的重要值进行聚类分析,并对植被及其环境因子进行主成分分析,采用国际通用的 CANOCO 4.5 对植被与环境因子数据进行主成分排序和典范对应分析排序,其中物种的重要值采用公式(1)进行计算:

$$\text{物种的重要值} = (\text{相对多度} + \text{相对盖度} + \text{相对高度})/3 \quad (1)$$

3 结果与分析

在本研究调查的 50 个样方中,灌木样方 33 个,草本样方 17 个,共调查到植物物种 181 个,隶属于 38 科、105 属。

3.1 聚类分析

采用组内(within groups linkage)欧式距离法(Euclidean distance),通过 SPSS 统计分析软件对贺兰山西坡植被群落进行聚类分析,结果如图 1 所示。在距离 $D = 10$ 处,贺兰山西坡植被群落样地被聚为 4 类,即短花针茅-大针茅群落、蒙古扁桃-灰榆群落、珍珠猪毛菜-红砂群落和由蒙古扁桃-灌木亚菊-蒙古蒿群落及[荒漠锦鸡儿-松叶猪毛菜]-短花针茅草原构成的过渡性群落。

为了进一步研究地形、土壤理化性质等环境因子对植被群落的影响,采用 SPSS 软件对 50 个样地的植被特征与环境因子的关系进行了 PCA 分析,并在此基础上,应用 CANOCO 软件探讨贺兰山西坡植被分布格局

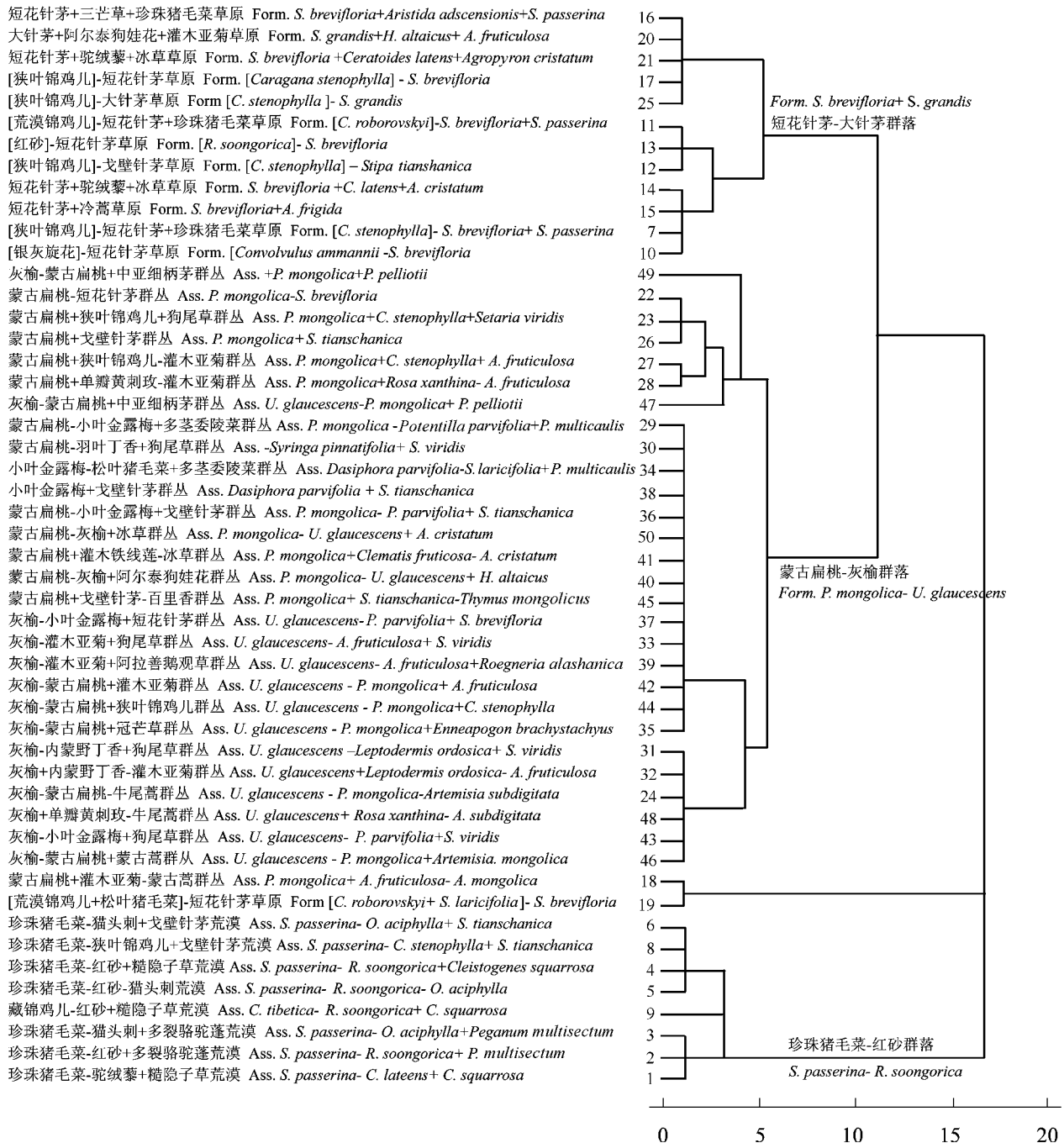


图1 贺兰山西坡 50 个样地的树状图聚类分析

Fig. 1 The dendrogram of 50 plots in the west slope of Helan Mountain

的生态环境解释。

3.2 主成分的辨识

对植被盖度、总物种数、经纬度、海拔和土壤理化性质等 15 个因子主成分分析计算结果表明, 前 3 个主成分提供的信息量分别为 49%、26% 和 14% (表 1), 前 2 个主成分累计贡献率达 75.6%, 符合主成分分析的要求。第一主成分中特征向量绝对值较大的环境因子是砂粒、粉粒、粘粒、水分、pH 和电导率, 土壤中的砂粒含量、pH 呈负值说明随着海拔和土壤水分的增加, 砂粒含量呈降低趋势; 第二主成分主要反映有机质、总氮等表征土壤肥力及坡向、坡位反映土壤结构特征的环境因子; 在第三主成分中, 群落样地的海拔、经纬度的负荷量较大。

根据主成分分析结果,选取了各个主成分中负荷量较大的因子,同时选取了与土壤性质有密切联系且具有较强分辨率的因子。利用第一主成分中砂粒、粉粒、粘粒含量 3 个指标,第二主成分中土壤有机质、总氮两个指标和第三主成分中样地的地理坐标,对所选取的因子进行主成分排序。

表 1 主成分的因子负荷量、特征根与贡献率

Table 1 Loading factor, eigenvalue and contribution ratio of principal component

因子 Factor	主成分 Principal component		
	I	II	III
盖度 Coverage	0.601	0.237	0.239
总物种数 Species number	0.117	0.424	0.477
纬度 Latitude	0.137	0.387	0.913
经度 Longitude	0.132	0.117	0.851
海拔 Elevation	0.214	0.372	0.662
坡向 Slope direction	0.017	0.849	0.222
坡位 Slope position	-0.127	0.711	-0.004
砂粒 Sand	-0.968	-0.165	-0.128
粉粒 Silt	0.948	0.175	0.108
粘粒 Clay	0.876	0.392	0.175
水分 Water	0.933	0.013	0.357
有机质 Organic matter	0.200	0.955	0.166
总氮 Total nitrogen	0.180	0.958	0.118
pH	-0.426	-0.006	-0.014
电导率 Electrical conductivity	0.535	-0.214	0.007
特征根 Eigenvalue	2.920	2.296	2.143
贡献率 Contribution ratio(%)	49.058	26.112	14.285
累计贡献率 Cumulative Contribution ratio(%)	49.058	75.57	89.855

CANOCO 软件 PCA 排序结果与 SPSS 聚类分析结果基本一致,PCA 排序将 50 个样地大致划分为 3 种类型,3 种类型分布的位置差异比较大,结合野外调查资料,相邻样地间属于同种类型居多,说明分类比较合理。从景观斑块异质性来看,3 种类型分别代表了不同类型的植被群落,各种群落的物种组成见表 2。

表 2 贺兰山西坡典型群落的植物组成

Table 2 Vegetation components of the typical community in the west slope of Helan Mountain

类型 Type	生活型 Life form	物种名 Plant species
荒漠灌丛 Desert shrub	灌木 Shrub	珍珠猪毛菜 <i>Salsola passerina</i>
		红砂 <i>Reaumuria soongorica</i>
		沙冬青 <i>Ammopiptanthus mongolicus</i>
		猫头刺 <i>Oxytropis aciphylla</i>
		霸王 <i>Zygophyllum xanthoxylum</i>
		短脚锦鸡儿 <i>Caragana brachypod</i>
		驼绒藜 <i>Ceratoides latens</i>
	多年生草本 Perennial herb	多裂骆驼蓬 <i>Peganum harmala</i>
		糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>
		牛心朴子 <i>Cynanchum komarovii</i>
荒漠草地 Desert grassland	1 年生草本 Annual herb	乳白花黄芪 <i>Astragalus galactites</i>
		雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>
	灌木 Shrub	珍珠猪毛菜 <i>Salsola passerina</i>
		红砂 <i>Reaumuria soongorica</i>
		驼绒藜 <i>Ceratoides lateens</i>
		银灰旋花 <i>Convolvulus ammannii</i>
		中亚紫菀 <i>Asterothamnus centralia - asiaticus</i>
		冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>
	多年生草本 Perennial herb	短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>
		大针茅 <i>Stipa grandis</i>

续表		
类型 Type	生活型 Life form	物种名 Plant species
疏林灌丛 Prairie shrubland	1 年生草本 Annual herb	阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>
		中亚细柄茅 <i>Ptilagrostis pelliotii</i>
		长芒草 <i>Stipa bungeana</i>
		叉枝丫葱 <i>Scorzonera pseudodivariata</i>
		贺兰韭 <i>Allium mongolicum</i>
疏林灌丛 Prairie shrubland	灌木 Shrub	戈壁天门冬 <i>Asparagus gobicus</i>
		蒙古扁桃 <i>Prunus mongolica</i>
	多年生草本 Perennial herb	金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>
		灰榆 <i>Ulmus glaucescens</i>
		荒漠锦鸡儿 <i>Caragana roborowskyi</i>
		猫头刺 <i>Oxytropis aciphylla</i>
		灌木亚菊 <i>Ajania fruticulosa</i>
		短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>
		长芒草 <i>Stipa bungeana</i>
		多茎委陵菜 <i>Potentilla multicaulis</i>
		阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>
	1 年生草本 Annual herb	栉节蒿 <i>Artemisia pectinata</i>
		阿拉善独行菜 <i>Lepidium alashanicum</i>

3.3 植物群落结构与环境因子之间的关系

贺兰山西坡植被与环境因子的 CCA 排序结果见图 3、图 4 和图 5。环境因子用带箭头的线段(矢量)表示,箭头连线与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关性的 大小,箭头所指方向表示该环境因子的变化趋势。

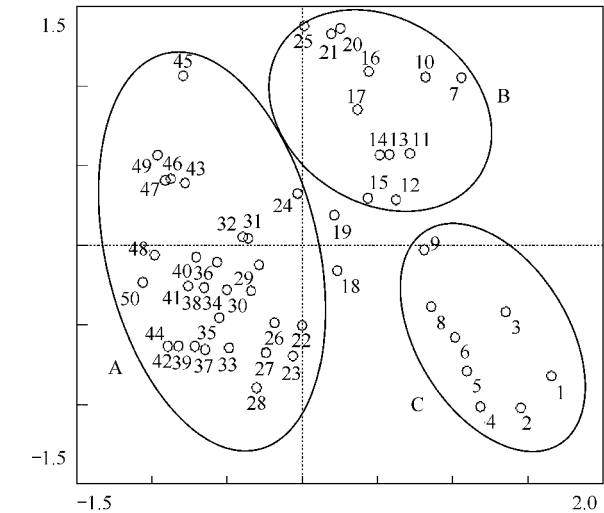


图 2 贺兰山西坡 50 个样地的 PCA 排序

Fig. 2 Principal component analysis of 50 plots in the west slope of Helan Mountain

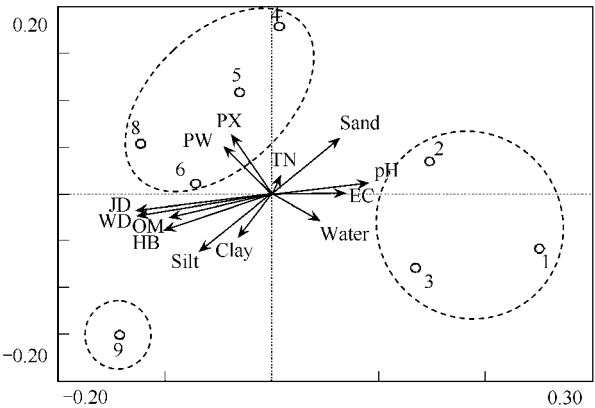


图 3 荒漠灌丛群落与环境因子的 CCA 排序

Fig. 3 Canonical correspondence analysis of desert shrub community and environmental factors

3.3.1 荒漠灌丛群落与土壤因子之间的关系

在荒漠灌丛群落, CCA 第一排序轴的特征值为 0.832,第二排序轴的特征值为 0.516,前两个排序轴特征值占总特征值的 96.7%,说明排序结果良好。CCA 第一排序轴与电导率、土壤 pH、水分呈显著正相关,与经纬度、海拔及有机质呈显著负相关;土壤中砂粒含量、总氮、坡向、坡位与第二排序轴呈最大正相关,而粉粒、粘粒含量与第二排序轴呈显著负相关(图 3)。CCA 排序将荒漠灌丛群落聚为 3 种类型:即位于高海拔地带的藏

锦鸡儿群落(9号样地)、中海拔地带珍珠猪毛菜-猫头刺群落(4、5、6、8号样地)及低海拔地带的珍珠猪毛菜-红砂群落(1、2、3号样地)。综合 CCA 第一、二排序轴的生态意义,在 CCA 二维排序空间中,沿着 CCA 第一排序轴从左至右,随着海拔梯度的下降,降雨量逐渐下降,土壤蒸发逐渐增强,土壤盐碱化程度不断增强;沿着 CCA 第二排序轴从下至上,土壤中砂粒含量逐渐增加,粉粒、粘粒含量则呈下降趋势。排序结果表明,沿着藏锦鸡儿群落—珍珠猪毛菜、猫头刺群落—珍珠猪毛菜、红砂群落序列,土壤盐碱化程度不断增强;沿着藏锦鸡儿群落—红砂、珍珠群落—珍珠猪毛菜、猫头刺群落序列,土壤质地结构有逐渐粗化的趋势。

3.3.2 荒漠草地群落结构与土壤因子之间的关系

在荒漠草地群落,CCA 第一排序轴的特征值为 0.826,第二排序轴的特征值为 0.552,前两个排序轴特征值占总特征值的 88%。由图 4 可以看出,样地的纬度与 CCA 第一排序轴呈显著负相关;坡向、坡位、海拔、电导率和砂粒含量与 CCA 第二排序轴呈显著正相关,而土壤有机质、总氮、粘粒和粉粒含量与第二排序轴呈显著负相关。CCA 排序将荒漠草地群落聚为 4 种类型:位于较高海拔带的大针茅群落(20、25 号样地)和位于中、低海拔带存在不同程度灌丛化的短花针茅群落(15、16、17、21 号样地、10、11、12、13、14 号样地和 7 号样地)。综合 CCA 排序的生态学意义,沿着第二排序轴由下至上,随着海拔的升高,降水量逐渐增加,土壤水分也相应增加;由图 4 还可以看出,随着海拔的升高,土壤中砂粒含量有所增加,而粉粒、粘粒含量则呈下降趋势,即群落所在的海拔越低、灌丛化越明显的样地,其土壤粒度越细。因此,与高海拔带的大针茅群落相比,较低海拔带的短花针茅群落更容易遭受风蚀和水蚀。

3.3.3 疏林灌丛群落结构与土壤因子之间的关系

疏林灌丛群落 CCA 第一排序轴的特征值为 0.610,第二排序轴的特征值为 0.426,前两个排序轴特征值占总特征值的 98.6%。样地的经度、水分、有机质和总氮含量与 CCA 第一排序轴成正相关,pH 值与第一排序轴呈显著负相关;样地的坡位、粉粒、粘粒和电导率与第二排序轴呈显著正相关,而砂粒含量与第二排序轴呈显著负相关(图 5)。

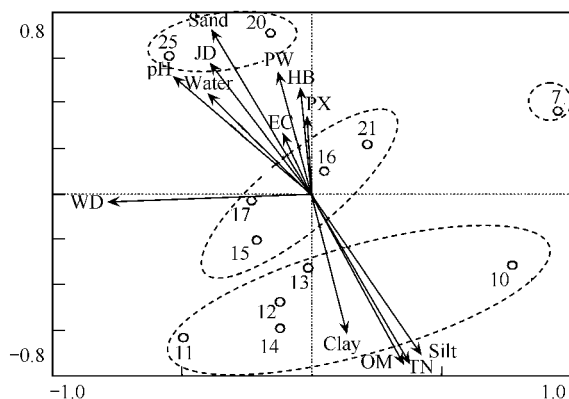


图 4 荒漠草地群落与环境因子的 CCA 排序

Fig. 4 Canonical correspondence analysis of desert grassland community and environmental factors

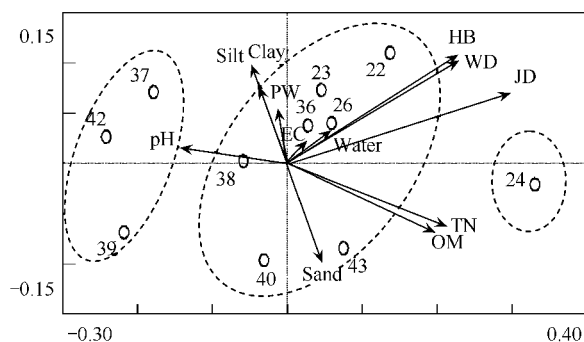


图 5 疏林灌丛群落与环境因子的 CCA 排序

Fig. 5 Canonical correspondence analysis of prairie shrubland community and environmental factors

CCA 排序结果将疏林灌丛群落聚为 3 类,即灰榆-蒙古扁桃群落(37、39、42 号样地)、蒙古扁桃-金露梅群落(22、23、26、36、38、40、43 号样地)和蒙古扁桃群落(24 号样地)。第一排序轴反映的是土壤 pH 梯度,随着海拔的升高,降水量逐渐增加,pH 逐渐降低,依次出现了灰榆-蒙古扁桃群落、蒙古扁桃-金露梅群落和蒙古扁桃群落;CCA 第二排序轴主要反映了土壤结构梯度,沿着蒙古扁桃群落—灰榆、蒙古扁桃群落—蒙古扁桃、金露梅群落序列,土壤中粉粒、粘粒含量逐渐增加,而砂粒含量则呈下降趋势。

4 结论与讨论

在自然和人为因素共同作用下的草场植被演替进程,是一个十分复杂的植被与土壤环境协调演变的生态

学过程^[28]。植被是环境特征的综合反映,一定的植物群落对其生境梯度具有一定的指示性。关于植被群落和环境因子的关系主要存在两个观点。一些研究者发现,由于许多物种具有较宽的生态幅,美国西部的植被及其环境特征没有显著相关性^[29]。然而,研究结果表明,土壤水分、土壤质地、有机质和电导率等因子与贺兰山西坡的植被分布关系密切,在荒漠灌丛群落,沿着藏锦鸡儿—珍珠猪毛菜、红砂—珍珠猪毛菜、猫头刺群落序列,土壤质地逐渐粗化;在疏林灌丛群落,沿着蒙古扁桃—灰榆、蒙古扁桃—蒙古扁桃、金露梅群落序列,土壤中粉粒、粘粒含量逐渐增加,而砂粒含量则呈下降趋势。土壤质地调控着土壤有机质的形成和分解^[30,31],并且影响着水分的入渗、保持及植物水分、养分的有效性^[32],进而在调控植被组成、植被结构和功能群中扮演着重要角色^[33]。

在干旱草原区,由于降雨稀少及其随机性,加上蒸发强烈和植被稀疏,地表的盐分积累现象十分普遍,因此,电导率对于调控植被分布也具有显著作用。在本研究的荒漠灌丛群落,沿着藏锦鸡儿—珍珠猪毛菜、猫头刺—珍珠猪毛菜、红砂群落序列,土壤盐碱化程度呈现逐渐增强的变化趋势,植被分布与土壤盐碱化梯度密切相关的现象也被其他学者所发现^[34,35]。

降水量随海拔梯度的升高而增加是山地常见的降水特征,研究结果与该结论基本一致(图4)。然而,在荒漠草地群落,在土壤水分随海拔的升高而增加的同时,土壤中砂粒含量则逐渐增加,相应的粉粒和粘粒含量逐渐下降。该结论表明荒漠草地群落存在一定程度的不稳定性,有可能存在荒漠化的趋势。

坡向、坡位等微地形通过影响植被群落结构实现对土壤理化性质的调控作用。例如,在贺兰山西坡南寺附近的7号样地(图4),坡底土层较厚,主要分布着短花针茅群落,平均盖度达到80%,珍珠猪毛菜、红砂、荒漠锦鸡儿等灌木在短花针茅群落中呈随机分布,伴生的草本物种主要有阿尔泰狗娃花、中亚紫菀、糙隐子草等;坡面陡峭,岩石裸露,土层较薄(小于20 cm),短花针茅盖度约20%,生长状况明显比坡地差,藏锦鸡儿(*Caragana tibetica*)灌丛在坡面的上坡和中坡呈斑块分布,盖度高达30%,同时伴生的灌木物种还有银灰旋花、斑子麻黄(*Ephedraceae rhytidosperma*)、红砂、珍珠猪毛菜、松叶猪毛菜(*Salsola laricifolia*)等超旱生矮灌丛,少见其他多年生及1年生草本。

植被和土壤是干旱半干旱草原区最受关注的两种资源,长期的过度放牧导致贺兰山西坡多年生草场植被盖度的下降,并引起多年生草场的灌丛化,由此引发了土壤水分、养分异质性的增加^[36],极有可能对该地区草地生态系统的稳定性构成潜在威胁。该研究提供了一些包括生物和非生物因子在内的基础数据,了解该地区环境因子与植被分布的关系,将有助于把这些研究成果应用于贺兰山干旱半干旱草地生态系统的管理和重建,以及合理利用草场资源和环境因子的动态监测。

References:

- [1] Antoine G, Niklaus E Z. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling*, 2000, 135: 297—313.
- [2] Glenn M, Robert E, Brian H, David R F, Jonathan H, Dana M. Vegetation variation across Cape Cod, Massachusetts: environmental and historical determinants. *Journal of Biogeography*, 2002, 29: 1439—1454.
- [3] von Humboldt A, Bonpland A. *Essai sur la géographie des plantes*, Paris, 1807.
- [4] Li X R, Liu X M, Yang Z Y. A study on the relation of shrub community and environment in desertified steppe and steppeified desert of Ordos plateau. *Chinese Journal of Desert Research*, 1998, 18: 123—130.
- [5] Yair A, Danin A. Spatial variation as related to the soil moisture regime over and arid limestone hillside, northern Negev, Israel. *Oecologia*, 1980, 47: 83—88.
- [6] Parker K. Topography, substrate, and vegetation patterns in the northern Sonoran Desert. *Journal of Biogeography*, 1991, 18: 151—163.
- [7] Cook J G, Irwin L L. Climate-vegetation relationships between the Great Plains and Great Basin. *American Midland Naturalist*, 1992, 127: 316—326.
- [8] Comstock J P, Ehleringer J R. Plant adaptation in the Great Basin and Colorado Plateau. *Great Basin Naturalist*, 1992, 52: 195—215.
- [9] Monier M A, Wafaa M A. Soil-vegetation relationships in coastal desert plain of southern Sinai, Egypt. *Journal of Arid Environments*, 2003, 55: 607—628.
- [10] Chang D H, Gauch H G. Multivariate analysis of plant communities and environmental factors in Ngari, Tibet. *Ecology*, 1986, 67: 1568—1575.
- [11] Liu Q, Zhou L H. Primary study on interrelation between plant communities and environmental factors in the north shore of Qinghai Lake. *Acta Botanica*, 1996, 38 (11): 887—894.

- [12] Wang X A. Multivariate analysis of desert in Anxi. *Acta Botanica Sinica*, 1997, 39 (5): 461—466.
- [13] Zhang Y M, Chen Y N. Quantitative classification analysis on plant communities in the middle reaches of the Tarim River. *Journal of Geographical Sciences*, 2003, 13 (2): 225—232.
- [14] Zhang J T. *Methods of quantitative vegetation ecology*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1995.
- [15] Legendre P, Fortin M J. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetation*, 1989, 80: 107—138.
- [16] Borcard D, Legendre P, Drapeau P. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 1992, 73: 1045—1055.
- [17] Sandra D, Marcelo C, Fernando C. Plant functional traits and environmental filters at a regional scale. *Journal of Vegetation Science*, 1998, 9: 113—122.
- [18] Dickmann M, Eilertsen O, Fremstad E, Lawesson J E, Aude E. Beech forest communities in the Nordic countries — a multivariate analysis. *Plant Ecology*, 1999, 140: 203—220.
- [19] Abd EL-Ghani M M. Vegetation composition of Egyptian inland saltmarshes. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 2000, 41: 305—314.
- [20] Yuan X, Li J W, Li J Q. Attributes of vegetation and status of plant diversity in Great Wall Scenic-spots in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (3): 977—988.
- [21] Wu Y, Onipchenko V G. The impact of snow-cover on alpine vegetation type of different aspects in the west of Sichuan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (12): 5120—5129.
- [22] Zhang Y M, Cao T, Pan B R. Quantitative classification and ordination analysis on bryophyte vegetation in Bogda Mountain, Xinjiang. *Acta Phytocological Sinica*, 2002, 26 (1): 10—16.
- [23] Wang G H, Yang L M. Gradient analysis and environmental interpretation of woody plant communities in the middle section of the northern slopes of Qilian Mountain, Gansu, China. *Acta Phytocological Sinica*, 2001, 25 (6): 733—740.
- [24] He M Z, Zheng J G, Li X R, Qian Y L. Environmental factors affecting vegetation composition in the Alax Plateau, China. *Journal of Arid Environments*, 2007, 69: 473—489.
- [25] Liang C Z, Zhu Z Y, Wang W, *et al.* The diversity and spatial distribution of plant communities in the Helan Mountains. *Acta Phytocological Sinica*, 2004, 28 (3): 361—368.
- [26] Zheng J G, Zhang J G. Characteristics of vegetation diversity in Helan Mountain. *Arid Land Geography*, 2005, 28 (4): 526—530.
- [27] Tian L S. *The east slope vegetation of Helan Mountain*. Huhhot: Inner Mongolia University Press, 1996.
- [28] Li F R, Zhao L Y, Wang S F. Effects of enclosure management on the structure of soil seed bank and standing vegetation in degraded sandy grasslands of eastern Inner Mongolia. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12 (4): 90—99.
- [29] Jensen M E, Simonson G H, Dosskey M. Correlation between soils and sagebrush-dominated plant communities of northeastern Nevada. *Soil Science Society of America Journal*, 1990, 54: 902—910.
- [30] Raich J W, Rastetter E B, Melillo J M, *et al.* Potential net primary productivity in South America: application of a global model. *Ecological Applications*, 1991, 1: 399—429.
- [31] Rastetter E B, Ryan M G, Shaver G R. A general biochemistry model describing the responses of the C and N cycles in terrestrial ecosystems to changes in CO₂, climate and N deposition. *Tree Physiology*, 1991, 9: 101—126.
- [32] Sperry J S, Hacke U G. Desert shrub water relations with respect to soil characteristics and plant functional type. *Functional Ecology*, 2002, 16: 367—378.
- [33] Sala O E, Lauenroth W K, Golluscio R A. Plant functional types in temperate semiarid regions. In: Smith T M, Shugart H H, Woodward F I eds. *Plant Functional Types*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [34] Flowers T J. Halophytes. In: Barker, D A, Hall J L eds. *Ion Transport in Cells AND Tissues*. North-Holland, Amsterdam, 1975.
- [35] Jafari M, Zare Chahouki M A, Tavili A, *et al.* Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd Province (Iran). *Journal of Arid Environments*, 1989, 56: 627—641.
- [36] Zheng J, He M, Li M, Chen M, Li M, Liu L. Effects of *Salsola passerine* shrub patches on the microscale heterogeneity of soil in a montane grassland, China. *Journal of Arid Environments*, 2008, 72: 150—161.

参考文献:

- [4] 李新荣, 刘新民, 杨正宇. 鄂尔多斯高原荒漠化草原和草原化荒漠灌木类群与环境关系的研究. *中国沙漠*, 1998, 18: 123—130.
- [11] 刘庆, 周立华. 青海湖北岸植物群落与环境因子关系的初步研究. *植物学报*, 1996, 38 (11): 887—894.
- [12] 王孝安. 安西荒漠植被的多元分析. *植物学报*, 1997, 39 (5): 461—466.
- [14] 张金屯. *植被数量生态学方法*. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [20] 袁秀, 李景文, 李俊清. 长城北京段风景区植被特征及植物多样性. *生态学报*, 2007, 27 (3): 977—988.
- [21] 吴彦, Onipchenko V G. 雪被对川西高山植被坡向分异的影响. *生态学报*, 2007, 27 (12): 5120—5129.
- [22] 张元明, 曹同, 潘伯荣. 新疆博格达山地面苔藓植被的数量分类与排序研究. *植物生态学报*, 2002, 26 (1): 10—16.
- [23] 王国宏, 杨利民. 祁连山北坡中段森林植被梯度分析及环境解释. *植物生态学报*, 2001, 25 (6): 733—740.
- [25] 梁存柱, 朱宗元, 王伟, 等. 贺兰山植物群落多样性及其空间分异. *植物生态学报*, 2004, 28 (3): 361—368.
- [26] 郑敬刚, 张景光. 试论贺兰山植物多样性的若干特点. *干旱区地理*, 2005, 28 (4): 526—530.
- [27] 田连恕. *贺兰山东坡植被*. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1996.
- [28] 李锋瑞, 赵丽娅, 王树芳, 等. 封育对退化沙质草地土壤种子库与地上群落结构的影响. *草业学报*, 2003, 12 (4): 90—99.