

呼伦贝尔草原植物群落空间格局及其环境解释

陈宝瑞^{1,2}, 李海山⁴, 朱玉霞³, 李刚^{1,2}, 辛晓平^{1,2,*}, 张宏斌^{1,2}, 周磊^{1,2}

(1. 呼伦贝尔草原生态系统国家野外科学观测研究站, 北京 100081; 2. 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室,

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 3. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093;

4. 呼伦贝尔市新巴尔虎右旗草原工作站, 呼伦贝尔 021300)

摘要: 草地不同植物群落的空间分布结构及群落内部的物种组成结构的研究, 一直是草原植物群落生态学最核心的问题之一。在 2006 年野外实地采样的基础上, 运用 DCCA 除趋势典范对应分析 (detrended canonical correspondence analysis) 对影响呼伦贝尔草原植物群落结构的地形和土壤环境因素进行了定量的分解。结果表明: 纯土壤环境因子可以解释的物种多度变化为 12.48%, 纯地形因子可以解释的物种多度变化为 8.34%, 两者耦合的部分为 4.76%, 不可解释的部分为 74.42%。地形因子通过影响水热组合的再分配, 对群落结构起较大作用。在诸多因子中, 土壤总氮、有效钾、有效氮、有效磷、有机质以及坡形决定了群落小生境的变化, 导致群落类型分布的梯度变化。

关键词: 呼伦贝尔草原; 群落结构; 地形因子; 土壤因子; DCCA

The spatial pattern and environmental interpretation of the plant community of Hulunber grassland

CHEN Baorui^{1,2}, LI Haishan⁴, ZHU Yuxia³, LI Gang^{1,2}, XIN Xiaoping^{1,2,*}, ZHANG Hongbin^{1,2}, ZHOU Lei^{1,2}

1 Hulunber Grassland Ecosystem Research Station, Beijing 100081, China

2 Key Laboratory of Resources Remote-Sensing and Digital Agriculture of Ministry of Agriculture, Institute of Natural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

3 International Institute for Earth System Science of Nanjing University, Nanjing 210093, China

4 Xin Baerhu You Banner Grassland Station of Hulunber, Hulunber 021300, China

Abstract: Hulunber steppe with a plateau landscape is a component of the Mongolian Plateau of central Asia and located in the eastern part of Inner Mongolian. Its elevation is almost over 600 meters, and the ground-surface is undulated due to hilly distribution and precipitation decrease from the east to west following the climatic change from sub-humid to semi-arid. The region of ecological space expanded greatly as complex terrain small changes, and the relationship between vegetation and environment is complicated. Our study is focused on the effect of the terrain and the influence of soil-environment on the structure of Hulunber steppe communities.

A DCCA was used to quantitatively analyze the relationship between soil and topographic factors, both of which influenced the changes of community structure based on field experiment in 2006 in Hulunber grassland. The results showed that the pure soil environmental factors can explain 12.48% of the species diversity change, and the pure topographic factors can explain 8.34% of the species diversity change. 4.76% can be explained by the latter two factors and the unexplainable parts were 74.42%. Topographic factors played an important role to community structure by affecting the reallocation of the hydro-thermal combination. Among all the factors, total soil nitrogen, effective potassium and nitrogen, available phosphorus, organic matter and the slope shape decide the changes of the communities' niche, which lead to changes of the communities' types distribution gradient.

基金项目: 国家“863”计划资助项目 (2006AA10Z241, 2007AA10Z230); 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD16B05-2, 2006BAC01A12)

收稿日期: 2009-01-13; **修订日期:** 2009-07-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xyp@mail.caas.net.cn

Key Words: Hulunber grassland; community structure; topographic factors; soil factors; DCCA

草地不同植物群落的空间分布结构及群落内部的物种组成结构的研究,一直是草原植物群落生态学最核心的问题之一^[1]。而 20 世纪 80 年代以后,景观生态学中关于不同尺度上植被-环境关系的定量化研究进展迅速,植被格局再度成为植被生态学的研究焦点^[2-8]。在区域尺度上,气候对于动植物分布的影响得到了学者们的广泛认可,而在景观及更小的尺度下,土壤、地形等环境因子主导着植被的格局^[9-10]。各种因子对于植被格局的作用机理不同,其间还会发生耦合作用,使得植被与环境关系极为复杂。因此,本研究的目的是进行不同因子的定量分离,得出环境因素对草地群落分异格局的贡献率。

呼伦贝尔草原在东北地区生态安全体系中占有重要地位。地处西伯利亚冬季风入侵我国东北的大通道上,与大兴安岭相连,成为我国东北地区一道强大的生态防护屏障,在我国东北的地理格局中具有不可替代的生态功能。研究该区域草地群落与环境因素的关系对于促进呼伦贝尔草原乃至我国北方草原区的生态恢复与重建具有重要的现实意义。之前对于呼伦贝尔草原的研究主要围绕植物区系、植物资源、生物多样性、荒漠化和数量分类与排序等方面^[11-16],而针对草原群落运用定量的数学分析,进行深入探讨植物群落与环境因素之间相互关系方面的研究尚不多见。本文通过对呼伦贝尔草原区系统的群落调查,对群落分布格局与环境变量之间的关系,土壤、地形因素对物种组成格局的贡献率进行定量分析,目的在于阐明植物多度分布格局及其与环境因素的关系,为生态恢复和植物资源的开发利用提供科学依据。

1 研究区概况

呼伦贝尔草原地处东经 115°31′00″—121°34′30″,北纬 47°20′00″—50°50′30″(图 1),属温带大陆季风气候,年降水 250—400mm,自东南向西北递减,年均温 -3—0℃,自东南向西北递增。地带性植被从东向西明显的分为温性草甸草原和温性典型草原,隐域性植被为低平地草甸、山地草甸和沼泽。

2 材料与方法

2.1 取样与数据处理

按照植被地理学、生态学研究的原则和方法^[17],根据该区域生态地理和水热环境条件,结合群落组成、地形起伏状况,设计了东西走向近 300km 的实验样带(如图 1)。在样带内根据群落类型、地形等条件设置了 21 个样地,每个样地取 4—6 个 1 × 1m² 的样方,相邻样方间距均在 20m 以上,样方总数为 100 个。调查内容包括:

- (1) 群落结构 测定样方内植物种类、频度、高度、盖度、密度和地上生物量等植物学指标。
- (2) 土壤因素 每样方为 3 重复随机取样,取样深度 0—10cm,分析有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾和 pH 值等指标。

(3) 地形因素 在每个样方位置上,鉴于地形是植物生态环境条件的综合反映,对群落环境因子主要考虑地形特征,记录反映中尺度的海拔和小尺度的坡向、坡位、坡形、坡度等地形要素,并对定性要素分级量化:

①海拔 采用 GPS 的实测值;

②坡向 坡向数据是以朝北为起点(即为 0°),顺时针旋转的角度表示,采取每 45°为一个划分等级的方法,以数字表示各等级:1 表示北坡(337.5°—22.5°),2 表示东北坡(22.5°—67.5°),3 表示西北坡(292.5°—337.5°),4 表示东坡(67.5°—112.5°),5 表示西坡(247.5°—292.5°),6 表示东南坡(112.5°—157.5°),7 表

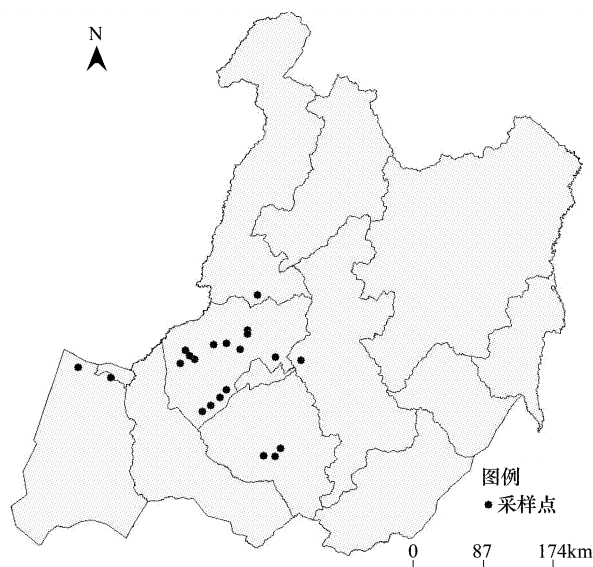


图 1 研究区域地理位置和样点分布图
Fig. 1 Location of study area and sampling plots

示西南坡(202.5°—247.5°),8 表示南坡(157.5°—202.5°,数字越大表示越向阳、越干热;

③坡度 用罗盘实测;

④坡位 分谷底、沟谷侧坡、中部侧坡、顶脊侧坡、顶脊 5 级,赋值 1—5;

⑤坡形 在水平方向分凹、平、凸 3 种坡形,赋值 1—3。

在数据分析过程中,需要得到样方的物种重要值矩阵、土壤环境因素矩阵和地形因素矩阵,样方中物种重要值计算采用如下公式:

$$\text{重要值} = (\text{相对频度} + \text{相对株高} + \text{相对盖度}) / 300$$

100 个样方记录物种 130 个,由于呼伦贝尔草原物种构成极为复杂,考虑到样方优势种和常见种对群落的意义,消除偶见种对数量分析的影响,将重要值小于 0.04 的物种剔除,构成 100 × 72 的物种重要值数据矩阵。土壤环境因素构成 100 × 6 的矩阵,地形因素构成 100 × 5 的矩阵。

2.2 数量分析

利用 Borcard^[4]等设计的对植被格局产生影响的环境因素进行分离的方法,将物种多度矩阵进行 4 次不同处理的排序:

(1)以土壤因子为约束进行排序,得到土壤因子解释的群落物种多度变化 a ;

(2)以地形因子为约束进行排序,得到地形因子解释的部分 b ;

(3)去除地形因子协变量后的土壤因子约束排序,得到土壤因子独立解释的部分 c ;

(4)去除土壤因子协变量后的地形因子约束排序,得到地形因子独立解释的部分 d 。因此,土壤环境和地形交叉部分能解释的部分为 $(a - c)$ 或 $(b - d)$,而未解释的群落结构变化为 $1 - (a + d)$ 或 $1 - (b + c)$ 。在分离各因素对群落结构影响的基础上,将每次排序得到的主要排序轴的特征值之和除以物种多度的总变化量,得到不同处理的排序所能解释的物种多度变化。

3 结果与分析

表 1 给出了 4 种不同排序分析的结果。表中列出的是不同排序的前 4 个主要排序轴的特征值之和及其占群落物种多度矩阵总信息量的百分比。图 2 更直观的给出了土壤因子、地形因子及其生物因子在解释群落结构时相对重要性的分解图。图 3、图 4 给出样方和物种在土壤环境因子和地形因子约束下的排序图。

3.1 土壤环境因素的影响

由土壤环境因子引起的群落结构的变化为 17.24%,其中 12.48% 为纯土壤因子变化,有 4.76% 是与地形因子相耦合起作用的。从图 3 可知,土壤环境因子中的总氮、有效钾、有效氮、有效磷以及有机质与排序第一轴均表现出正相关,pH 值与排序第二轴正相关杂类草草甸草原。而栗钙土地带处在呼伦贝尔高平原中西部,腐殖质累积强度明显低于黑钙土以大针茅(*Stipa grandis*)、克氏针茅(*Stipa krylovii*)、羊草为主要建群种。

在群落结构与土壤环境的关系方面来看,土壤环境因子将植物群落分为两大部分(图 3),第一轴正轴方向为土壤养分较好的为黑钙土地带,分布的植物群落类型主要有线叶菊、贝加尔针茅、羊草、日阴菅(*Carex pediformis*)等为主要建群种的类型;第一轴负轴的为土壤养分较差的暗栗钙土地带,分布在群落类型有克氏针茅、大针茅、羊草等为主要建群种的群落类型。此研究结果较好的反映了研究区的植物群落分布状况。同时,引出一个结论:在呼伦贝尔草地上,土壤环境因子可以将植被划分到植被亚型这一层面。而更细微的植被间

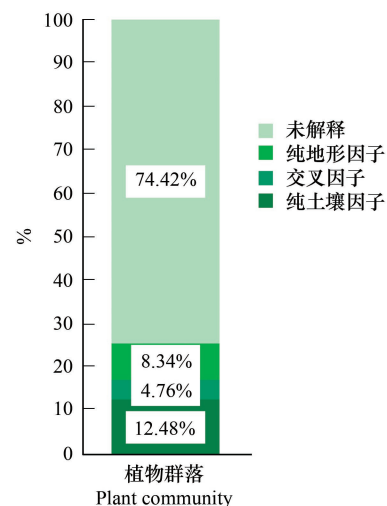


图 2 群落物种组成矩阵的变化分解

Fig. 2 Variation partitioning of the grass community data matrix

差异需要其他因子来解释。

表 1 植被结构变异的环境解释

Table 1 The environmental interpretation of the vegetation structural variation

	物种多度矩阵的总变化量 Total variation of species abundance matrix	3.045
	土壤因子约束典范排序特征值总和 Sum of canonical eigenvalues of soil environmental constrain	0.525
1	土壤因子可解释物种多度变化量 Species abundance variation explained by soil environmental variables	17.24%
2	地形因子约束典范排序特征值总和 Sum of canonical eigenvalues of topographic constrain	0.399
	地形因子可解释的物种多度变化量 Species abundance variation explained by topographic variables	13.10%
3	剔除地形因子后土壤因子约束典范排序特征值总和 Sum of canonical eigenvalues of soil environmental constrain after removal effects of topographic factors	0.38
	纯土壤因子可解释的物种多度变化量 Species abundance variation explained by pure soil environmental factors	12.48%
4	剔除土壤因子的地形因子约束典范排序的特征值总和 Sum of canonical eigenvalues of constrain after removal effects of soil enironmental factors	0.254
	纯地形因子可解释的物种多度变化量 Species abundance variation explained by pure topographic factors	8.34%
5	土壤-地形交叉因子可解释的物种多度变化量 Species abundance variation explained by crossed soil environmental – topographic factors	4.76%
6	未解释的变化部分(包括生物因子、干扰在内) Unexplained species abundance variation	74.42%

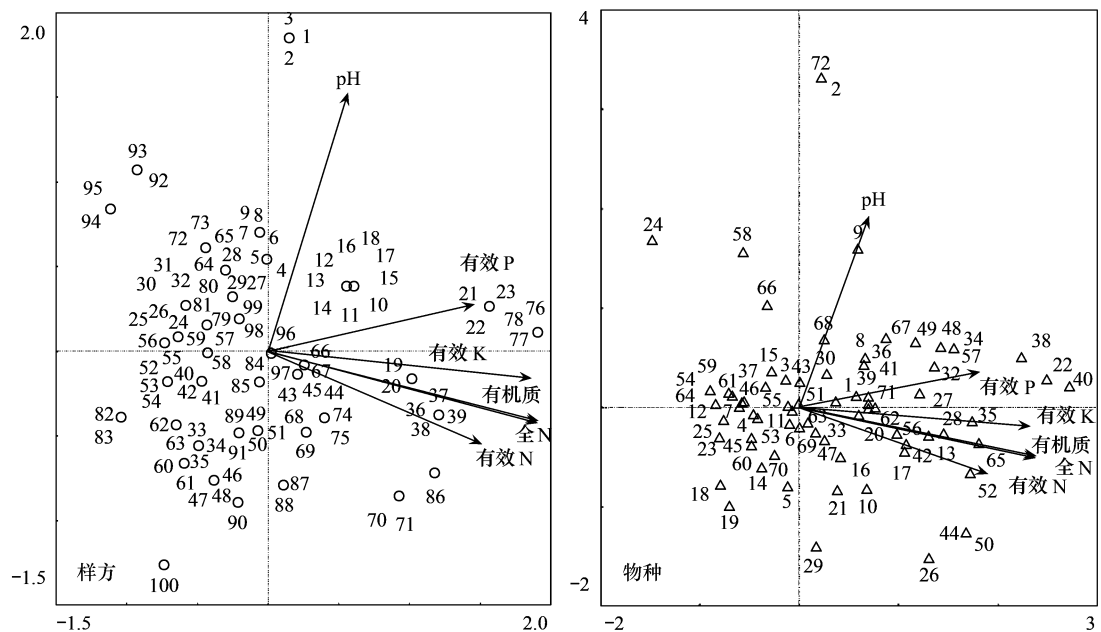


图 3 土壤因子约束的样方、物种 DCCA 排序

Fig. 3 Quadrats and species DCCA ordination of soil constrain

左图序号为样方号,右图序号为物种序号(物种序号^①);箭头代表环境因子,长短代表影响强度

从物种组成与土壤环境的关系方面来看(图 3),大针茅、克氏针茅、多叶隐子草(*Cleistogenes polyphylla*)、狼毒(*Stellera chamaejasme*)、细叶蓼(*Polygonum angustifolium*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)等植物分布在第一排序

①陈宝瑞. 呼伦贝尔草原群落空间格局地形分异及环境解释. 硕士论文. 北京: 中国农业科学院, 2007.

轴的负轴上,这些物种为典型草原的建群种或优势伴生种。雀麦(*Bromus japonicus*)、瓣蕊唐松草(*Thalictrum petaloideum*)、大叶野豌豆(*Vicia pseudorobus*)、地榆(*Sanguisorba officinalis*)、山野豌豆(*Vicia amoena*)、日阴营、小黄花菜(*Hemerocallis minor*)、蓬子菜(*Galium verum*)等排列在第一排序轴的正轴方向,此类物种为草甸草原的建群种或典型伴生种。羊草、贝加尔针茅等处分类轴的中间部位,说明其介于草甸草原与典型草原之间,为两者共有种。

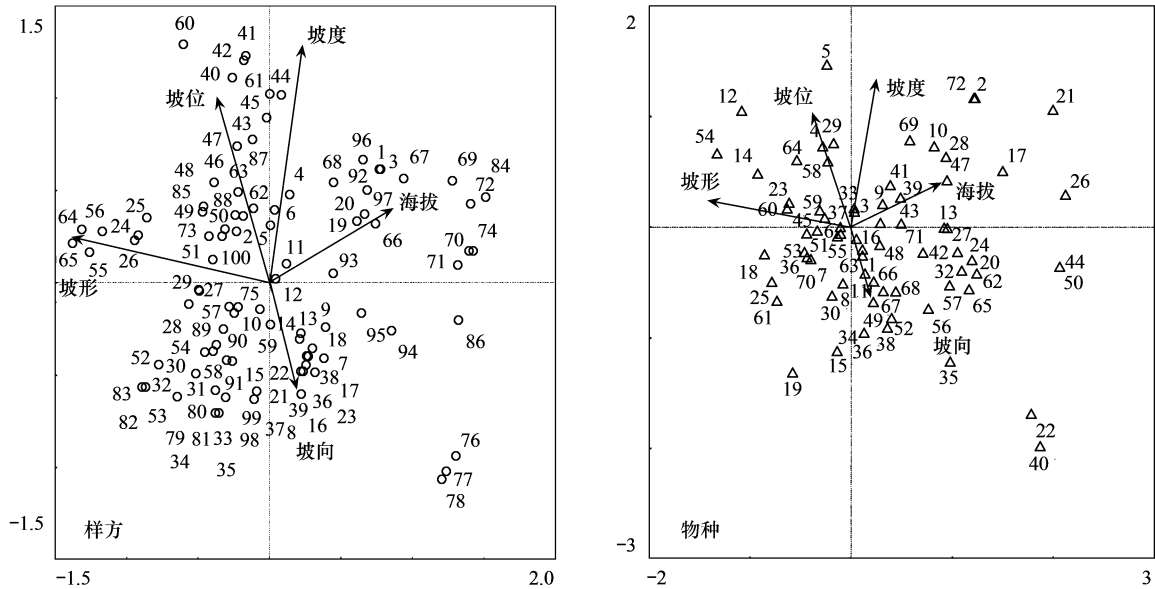


图4 地形约束样方、物种 DCCA 排序

Fig. 4 quadrats and species DCCA ordination of topographic constrain

3.2 地形因素的影响

地形因子可解释物种多度变化量的 13.1%,其中有 8.34% 的地形变化独立于土壤环境的变化,比土壤因子的贡献率(12.48%)小,但地形因子的实际生态意义仍很重要。

从图 4 中可以得出,坡形与排序轴第一轴负相关,坡位、坡度与第二轴正相关。从群落结构与地形的关系方面来看,在排序中第一轴上,位于凹坡的为以日阴营为建群种或共建种的群落。平坡着生的群落类型较为多样化,贝加尔针茅、克氏针茅、大针茅、线叶菊、羊草、日阴营等为建群种的群落均可在平坡上发育。位于凸坡的主要为针茅属植物为建群种的群落类型。凹、凸坡位所占全部样方的比例较少,大部分样方集中在中间部位的平坡上。在排序轴第二轴上,坡位与坡度呈正相关。从坡位上分析,谷底主要为羊草、日阴营、中生杂类草草甸草原;沟谷侧坡主要由日阴营群落占据;中部侧坡主要为贝加尔针茅为建群种的群落组成;顶脊侧坡与顶脊的植被为线叶菊群落和贝加尔针茅群落共同构成。从坡度上看,0—3°主要分布线叶菊、羊草、日阴营、中生杂类草等群落;3—10°主要有大针茅、贝加尔针茅、克氏针茅等群落;10—20°之间分布贝加尔针茅、日阴营群落。

从物种与地形因子关系来看(图 4),山葱(*Allium senescens*)细叶蓼、大针茅等位于排序图的左上方,从样方调查中显示,以这两种植物为建群种的群落出现在顶脊、凸坡上;线叶菊出现在正上方,与其地带性分布在丘陵顶部相吻合;藜芦的适宜生境为谷底,所以出现在排序图的右下方。

3.3 生物因素及随机因素的影响

接近 75% 的植被结构变化不能通过环境变量得到解释,这部分变化包含气候因素,生物相互作用引起的物种多度变化,干扰及随机因素引起的变化。不可解释变化的来源一方面由于用于解释群落结构的环境因子不能穷尽;另一方面,研究区生物多样性丰富,调查登记的物种达到 130 多种,生物因素如干扰、群落内物种相互作用(例如物种竞争排除引起的异域分布、互惠关系引起的种间联结)对于群落结构组建有较大影响。表

明呼伦贝尔地区土壤、地形因子对群落生境整体有比较重要的影响。

4 结论与讨论

运用 DCCA 排序对影响呼伦贝尔草地植物群落分布的土壤、地形因子进行了定量分离。结果表明纯土壤环境因子可以解释的物种多度变化为 12.48%, 纯地形因子可以解释的物种多度变化为 8.34%, 两者耦合的部分为 4.76%。群落格局受到所有土壤因子(6 个)的综合影响, 但土壤有机质是主导因素。在草原群落中, 不同群落类型间土壤养分的差异较为明显, 在土壤养分较好的第一轴正轴上(图 3), 主要分布着以线叶菊和贝加尔针茅为建群种的草甸草原; 而在第一轴负轴上, 主要发育着以克氏针茅和大针茅为建群种的典型草原群落; 羊草的生态幅较宽, 分布在排序轴的中间部分。对于地形因子(图 4), 坡形、坡度和坡位综合影响着群落物种的组成, 坡形为主导因子。坡形通过微地形的变化, 使得局域小环境的水热组成发生分化, 控制着群落格局。日阴菅群落对于水分需求较高, 而凹坡可富集水分, 满足其水分需求, 所以其分布在凹坡上; 针茅属为建群种的群落主要分布在凸坡上, 其喜好排水良好的土壤。大多数的群落类型对于坡形因子没有偏好, 所以发育在平坡上。

不可解释的部分为 74.42%。这部分变化包含气候因素的作用、生物相互作用引起的物种多度变化, 干扰及随机因素引起的变化。与现有一些在草地、森林、干旱河谷植被上所做的因子定量分离研究相比^[1,3,7,11], 本文将环境因子中的土壤和地形因子进行定量分离, 而上述研究都是对环境因子与空间因子进行的定量分离, 此为区别。从所选取的因子数量上来看, 辛晓平等人对松嫩平原的同类研究中, 土壤因子(10 个)和空间因子(2 个)对草原群落的总解释率为 77%; 沈泽昊等人对三峡大老岭森林植被的同类研究中, 地形因子(7)和空间因子(3 个)对森林群落的总解释率为 22.25%; Borcard 等人对森林群落(6 个土壤地形因子、2 个空间因子)的总解释率为 36.7%; 张文辉等人的干旱河谷植被(9 个土壤因子、3 个空间因子)灌木层和草本层的总解释率分别为 47.61% 和 26.57%; 本文对呼伦贝尔草地群落(6 个土壤因子、5 个地形因子)总解释率为 24.97%。从植物种数量来看, 分别为 30(辛晓平)、222(沈泽昊)、28(Borcard)、38(张文辉、灌木层)、41(张文辉、草本层)种; 本文的植物种数为 130 种, 选用物种为 72 种。从生境条件上看, 灌丛、草本、森林复杂程度逐渐增强, 生物之间作用强度也依次增加。本研究区的环境总解释率较低, 但呼伦贝尔的水分地带性、复杂的小地形变化, 极大地扩充了这一区域的生态空间, 复杂性不亚于森林, 再加上本区域较高的物种多样性, 据此可知, 呼伦贝尔地区土壤、地形因子对群落生境整体有比较重要的影响。从因子分离方面来看, 土壤因子可单独解释 12.48%, 地形因子可单独解释 8.34%, 两者耦合占 4.76%, 土壤因子比地形因子解释率稍大, 这符合环境因子的等级性。而地形因子是通过影响水热组合的再分配来决定群落的物种组成。

DCCA 排序技术是基于样方物种重要值构成来分析植被-环境关系的。但草地群落结构的影响因素还包括生物相互作用, 干扰及随机因素。对群落格局现状产生影响的还有土壤基质、气候等环境因子。

References:

- [1] Xin X P, Gao Q, Li Z Q, Yang Z Y. Partitioning the spatial and environmental variations of plant community structure of alkaline grassland on Songnen Plain. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41: 775-781.
- [2] Legendre P, Fortin M J. Spatial pattern and ecological analysis. *Vegetatio*, 1989, 80: 107-138.
- [3] Borcard D, Legendre P, Drapeau P. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 1992, 73: 1045-1055.
- [4] Jongman R H G, Braak C J F ter, Tongeren O F R van. Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press. 1995.
- [5] Zhang F, Zhang J T, Zhang F. Pattern of forest vegetation and its environmental interpretation in Zhuweigou, Lishan Mountain Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 421-427.
- [6] Xin X P, Wang Z L, Yang G X, Li X L. Community structure organization and its relation with environmental factors of sown grassland in South China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(6): 963-968.
- [7] Zhang W H, Lu T, Ma K M, Zhou J Y, Liu S L. Analysis on the environmental and spatial factors for plant community distribution in the arid valley in the upper reach of Minjiang River. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 252-259.
- [8] He M Z, Zheng J G, Li X R, Qian Y L. Environmental factors affecting vegetation composition in the Alxa Plateau, China. *Journal of Arid*

Environments, 2007, 69 (3): 473-489.

- [9] Antoine Guisan, Niklaus E Zimmermann. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modeling*, 2000, 135:147-186.
- [10] Shen Z H, Zhang X S. The spatial pattern and topographic interpretation of the forest vegetation at Dalaoling region in the Three Gorges. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(10): 1089-1095.
- [11] Li B, Sun H L, Cao S D, Pu H X. The discussion of Hulunber grassland resources and utilization. *Resource Science*, 1980, 4: 30-36.
- [12] Liu X Z, Hu K X, Ge X C, Wei S C, Zhang Y L. Hulunber flora composition and vegetation characteristics. *Acta Prataculturae Sinica*, 1994, 39 (4): 32-40.
- [13] Zheng X X, Wang R D, Jin T T, Mu L F, Liu G H. Relationships between biodiversity and biomass under different regimes of grassland use in Hulunber, Inner Mongolia. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5392-5400.
- [14] Chen B R, Xin X P, Zhu Y X, Zhang H B. Application Research of MODIS Data in Annual Desertification Change and Analysis of Annual Desertification and Climate Factors. *Remote Sensing Information*, 2007, 6: 39-44.
- [15] Yang H X, Lu Z Y. The Quantitative classification methods in plant ecology. Beijing: Science Press, 1981.
- [16] Chen B R, Zhu Y X, Zhang H B, Zhou L, Xin X P. Quantitative Classification and Ordination of Meadow Grassland Vegetations in Hulunber. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2008, 26(5): 476-481.
- [17] Jiang S. The research methods of grassland ecology. Beijing: Agriculture Press, 1986.

参考文献:

- [1] 辛晓平,高琼,李镇清,杨正宇. 松嫩平原碱化草地植物群落分布的空间和环境因素分析. *植物学报*, 1999, 41(7): 775-781.
- [5] 张峰,张金屯,张峰. 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*, 2003, 23(3): 421-427.
- [6] 辛晓平,王宗礼,杨桂霞,李向林. 南方山地人工草地群落结构组建及其与环境因子的关系. *应用生态学报*, 2004, 15(6): 963-968.
- [7] 张文辉,卢涛,马克明,周建云,刘世梁. 岷江上游干旱河谷植物群落分布的环境与空间因素分析. *生态学报*, 2004, 24(3): 252-259.
- [10] 沈泽昊,张新时. 三峡大老岭地区森林植被的空间格局分析及其地形解释. *植物学报*, 2000, 42(10): 1089-1095.
- [11] 李博,孙鸿良,曹泗弟,浦汉昕. 呼伦贝尔牧区草场植被资源及其利用方向的探讨. *资源科学*, 1980, 4: 30-36.
- [12] 刘显芝,胡克霞,葛秀成,魏绍成,张永亮. 呼伦贝尔植物区系组成及植被特征. *草业学报*, 1994, 3(4): 32-40.
- [13] 郑晓翊,王瑞东,靳甜甜,木丽芬,刘国华. 呼伦贝尔草原不同草地利用方式下生物多样性与生物量的关系. *生态学报*, 2008, 28(11): 5393-5400.
- [14] 陈宝瑞,辛晓平,朱玉霞,张宏斌. 内蒙古荒漠化年际动态变化及与气候因子分析. *遥感信息*, 2007, 6: 39-44.
- [15] 阳含熙,卢泽愚. 植物生态学的数量分类方法. 北京: 科学出版社, 1981.
- [16] 陈宝瑞,朱玉霞,张宏斌,周磊,辛晓平. 呼伦贝尔草甸草原植被的数量分类和排序研究. *武汉植物学研究*, 2008, 26(5): 476-481.
- [17] 姜恕. 草地生态研究方法. 北京: 农业出版社, 1986.