

阿拉善左旗植物物种多样性空间分布特征

马 斌¹, 周志宇^{1,*}, 张莉丽¹, 高文星¹, 陈善科², 张宝林²

(1. 兰州大学草地农业科技学院草地营养学研究室, 兰州 730020; 2. 内蒙古阿拉善盟草原站, 巴彦浩特 750306)

摘要:通过对内蒙古自治区阿拉善左旗的植被样方调查, 研究干旱荒漠地区植物群落物种多样性的梯度变化和空间分布特征。通过对样方数据的群落生活型构成、物种丰富度、 α 多样性、 β 多样性分析, 结合 CCA 排序和地统计方法, 结果表明: (1) 在该区域植物物种的 α 多样性和 β 多样性均起伏较大。 (2) 草本植物的丰富度由西向东呈增高趋势, 而灌木的丰富度则呈降低趋势; 随纬度的增加, 草本植物丰富度呈现下降趋势, 而灌木丰富度则显现出上升趋势。但是, $38^{\circ} \sim 39.2^{\circ}\text{N}$ 之间出现了一个灌木和草本物种丰富度都相对较低的异常区域。 (3) α 多样性与经度正相关, 但与纬度存在负相关关系。 β 多样性显示, 随着经度的增加, 自西向东样方物种构成的相似性降低, 物种替代速率升高。随着纬度的增加, 群落组成呈现逐渐单一化的趋势。 (4) Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数的 $C0/(C0 + C1)$ 都在 0.25 ~ 0.75 之间, α 多样性为中等空间相关性。 CCA 分析的结果表明, 地理因素对于物种多样性有显著的影响, 而且经度的影响大于海拔的影响。研究阿拉善左旗荒漠区植物物种多样性的梯度变化和空间分布特征, 为认识和保护荒漠地区生物多样性资源提供了理论依据和实践基础。

关键词:植物群落; 梯度变化; 物种多样性; 空间格局

文章编号: 1000-0933(2008)12-6099-08 中图分类号: Q948 文献标识码: A

The spatial distribution characteristics of plant diversity in Alex Left Banner

MA Bin¹, ZHOU Zhi-Yu^{1,*}, ZHANG Li-Li¹, GAO Wen-Xin¹, CHEN Shan-Ke², ZHANG Bao-Lin²

1 The College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China

2 The Pastoral Station of the Alex Region, Inner-Mongolia, Bayanhaote 750306, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(12): 6099 ~ 6106.

Abstract: In order to explain the gradient of plant communities and plant species diversity, we sampled vegetation in the Alex Left Banner, inner-Mongolia. Canonical correspondence analysis (CCA) was applied for gradient analysis and environmental interpretation, and geostatistical analysis for predicting maps, along with analyses of growth form composition, species richness, and indices of α and β diversity. The results were: (1) plant species α and β diversity fluctuate sharply. (2) The richness of herbaceous plants increased and shrubs decreased along the longitude gradient, whereas, along the latitudinal gradient, the richness of herbaceous plant species decreased and that of shrubs increased. However, there was an exceptional zone with a relatively low richness of herbaceous plants and shrubs between 38°N and 39.2°N . (3) α diversity positively corresponded with longitude but negatively with latitude. β diversity showed that the similarity ratio of species components among different plots decreased along the longitude gradient and replacement ratio increased. Community composition gradually simplified with the latitude increasing. (4) The $C0/(C0 + C1)$ values of

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973 项目)资助项目(2007CB108903)

收稿日期: 2007-08-09; 修订日期: 2008-03-25

作者简介: 马斌(1982 ~), 男, 兰州人, 硕士, 主要从事恢复生态学和草地植物营养学研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyzhou@lzu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by keystone basal research developing and programming of China (973 program) (No. 2007CB108903)

Received date: 2007-08-09; **Accepted date:** 2008-03-25

Biography: MA Bin, Master, mainly engaged in conservation ecology and grassland plant nutrition.

Shannon-Wiener index and Simpson index were all between 0.25 and 0.75 which indicated that α diversity spatial correlation was middling. The CCA analysis showed that geographical factors significantly affect species diversity; the effect of longitude was stronger than that of altitude. The research of the dynamics of plant species diversity along the gradient and spatial distribution in the Alex Left Banner is crucial for understanding and conserving biodiversity of this region.

Key Words: plant community; gradient; species diversity; spatial pattern

群落物种多样性的变化特征是指群落组织水平上物种多样性的变化随某一生态因子梯度有规律的变化^[1]。群落物种多样性的梯度变化和不同尺度的空间分布特征是生态学研究的一个重要问题^[2]。群落物种多样性梯度变化受到纬度、海拔、时间和环境因素的影响^[3]。从热带到两极随着纬度的增加,生物群落的物种多样性有逐渐降低的趋势^[4]。随着海拔的升高,在温度、水分、风力、光照和土壤等因子的综合作用下,生物群落表现出明显的垂直地带性分布规律,在大多数情况下物种多样性与海拔高度呈负相关,即随着海拔高度的升高,群落物种多样性逐渐降低^[2]。

阿拉善高原是我国重要的生物多样性中心^[5],该地区的极端干旱环境对生物的选择和进化产生很强压力,植物群落的空间变异大。周志宇等^[6]以阿拉善极度退化的草原化荒漠区为研究对象,对放牧与围封条件下退化群落的物种多样性,生产力和群落演替及其生态机制进行了初步研究。付华等^[7]也对该区域草地恢复初期植被与土壤环境的变化进行了研究。梁存柱等^[8]研究了阿拉善荒漠区1年生植物层片物种多样性及其分布特征。但是目前对该地区的植物物种多样性和群落的分布特征尚缺少系统全面的研究报道^[9]。本文以阿拉善左旗的植物群落调查为基础,研究该地区物种多样性的空间分布格局,探讨其植物群落结构、生活型组成及多样性与地理位点之间的关系,以期为当地自然环境的改善以及植物资源的保护和利用提供科学依据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区概况

阿拉善左旗地处亚欧大陆腹地,远离海洋。东有贺兰山,北有蒙古高原阻隔,形成了封闭的高原内陆区,属于典型的中温带干旱区。其特征为冬季寒而长,夏季热而短,春季风沙大。日照充足,日温差大,降雨量少,蒸发量大。全年无霜期达120~180d,平均结冰期160d。年日照数长达3316h,平均气温8.3°,≥10℃积温一般为3200~3600℃,极端低温-32.2℃,极端高温41℃。年均降水量60~150mm,主要集中在7、8、9三个月份,占全年降水量的59%~75%。年蒸发量3000~4700mm,瞬时风速>17m/s,大于7.8级的大风日数达47d。土壤为淡棕钙土^[10]。

植物组成主要以旱生、超旱生灌木、半灌木为主,多年生禾本科和豆科植物较少,主要建群植物以藜科、菊科、蒺藜科居多,其次为蔷薇科、柽柳科,禾本科草类仅在水分条件较好的局部地区占优势,从而形成荒漠特有的植被景观。本区植物大多植株矮小、根系发达、能够防止强光灼伤、耐盐耐旱。本区还有许多中国特有科属,是宝贵的植物资源^[5]。由于腾格里沙漠的扩张,该区域自2004年开始实施禁牧,保护野生植被^[6]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

除腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠、亚玛雷克沙漠和北部戈壁区域外,于2002年在内蒙古阿拉善盟阿拉善左旗按照经度和纬度各0.2的范围将全旗划分为64个小区,在每个小区随机设置调查样地,总共53块有效样地(图1)。每个样地面积为10m×10m。

1.2.2 观测内容

调查观测内容包括:样地经度、纬度、海拔、总盖度;测量记录样地中所有存活灌木植株的种名、数量、冠幅、高度;记录草本层植物的种名、数量。

1.2.3 物种多样性测度方法^[11]

(1) 物种丰富度: S = 出现在样地中的物种数目。

(2) α 多样性: 包括 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数

Shannon-Wiener 指数: $H' = - \sum P_i \ln P_i$

式中, $P_i = N_i/N$

Simpson 指数: $D = 1 - \sum P_i^2$

式中, P_i 种的个体数占群落中总个体数的比例。

(3) β 多样性: 包括 Sorensen 指数和 Cody 指数

Sorensen 指数: $I_{AC} = 2c/(a+b)$

Cody 指数: $\beta_C = (a+b-2c)/2$

式中, a 和 b 分别为两群落各自的物种数, c 为两群落的共有物种数。

1.2.4 群落空间分布分析

利用典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)方法分析群落的分布特征,为使不同性质的数据具有可比性,对各特征数据进行标准化处理。然后使用克里格插值方法和地统计方法作该区植物物种多样性预测图及地统计分析^[12]。CCA 分析用 CANOCO 4.0 软件完成,预测图和地统计用 ArcGIS 9.1 软件完成。

2 结果

2.1 物种丰富度

样方统计结果表明,阿拉善左旗地区共有野生植物 82 种植物,其中灌木 24 种,草本 58 种。其中许多灌木和草本植物都是阿拉善地区的特有种。统计样方灌木和草本植物丰富度随纬度和经度的变化可以看出(图 2),草本植物的丰富度随经度增加,由西向东呈增长趋势,而灌木的丰富度则有降低的趋势;随纬度的增加,草本植物丰富度存在下降趋势但灌木丰富度则出现上升趋势。但是在 $38^\circ \sim 39.2^\circ \text{N}$ 之间的荒漠化草原区域,出现一个灌木和草本物种多样性都很低的异常区域(图 2,b)。

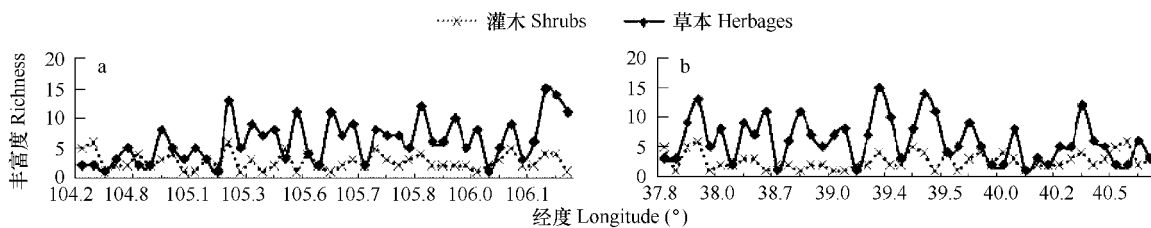


图 2 经度梯度(a)和纬度(b)梯度物种丰富度变化

Fig. 2 Variation of richness along longitude (a) and latitude (b) gradient

2.2 α 多样性

对样地的 α 多样性测度采用 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数。图 3 显示, α 多样性与经度正相关而与纬度存在负相关关系。随着经度的增加, α 多样性呈上升趋势,并伴有强烈的波动(图 3,a)。在纬度梯度上, $38^\circ \sim 39.2^\circ \text{N}$ 之间 α 多样性变化剧烈,而在 $39.2^\circ \sim 40^\circ$ 之间则比较稳定,在 40°N 以上, α 多样性急剧降低(图 3,b)。

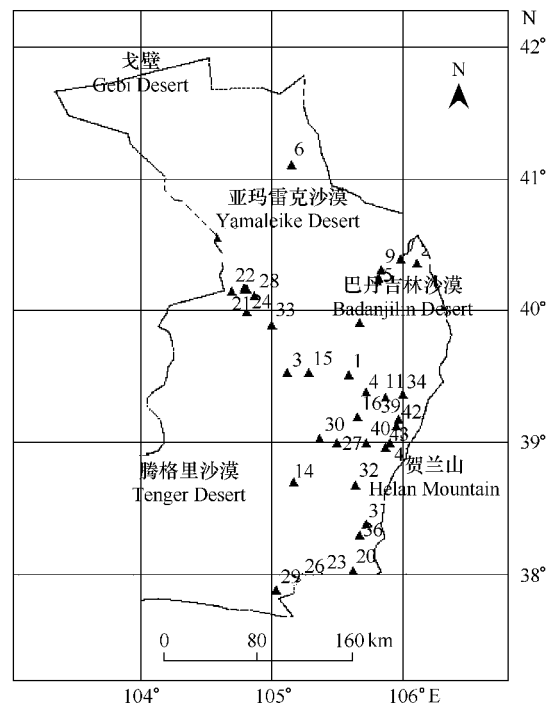


图 1 样点分布图

Fig. 1 Distribution map of sample points

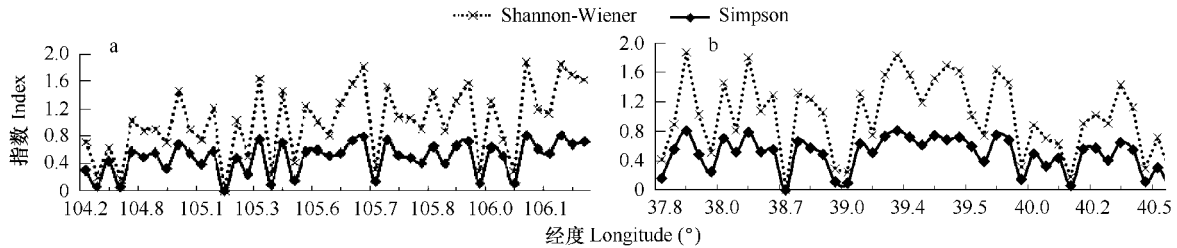


图3 经度梯度(a)和纬度梯度(b)的 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数变化

Fig. 3 Variation of Shannon-Wiener index and Simpson index along longitude (a) and latitude (b) gradient

2.3 β 多样性

采用样方间的物种构成相似性(Sorensen 指数)和替代性(Cody 指数)来反映阿拉善左旗植物物种构成随经度和纬度的变化规律。由图 4 可见,随着经度的增加,自西向东样方间物种构成的相似性降低,物种替代速率升高。在 104.2 ~ 104.8E 区域,Cody 指数低而 Sorensen 指数高,表明该地区群落构成单一。在 104.8 ~ 105.3E 范围内,Sorensen 指数极低而 Cody 指数较高,说明该区域种群物种构成变化较大。而在 105.3E 以西,Cody 指数呈上升趋势而 Sorensen 指数下降,表明靠近群落物种构成多样性高。

从图 5 来看,随着纬度的增加,Cody 指数有下降的趋势,说明随着纬度的增加,群落组成有逐渐单一化的趋势。但是 Sorensen 指数的变异很大,则可能是由于该地区的异质性较大,群落呈块状分布。

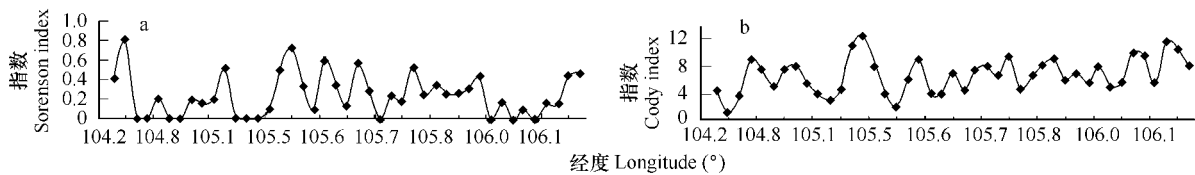


图4 经度梯度的 Sorensen 指数和 Cody 指数变化

Fig. 4 Variation of Sorensen index (a) and Cody index (b) along longitude gradient

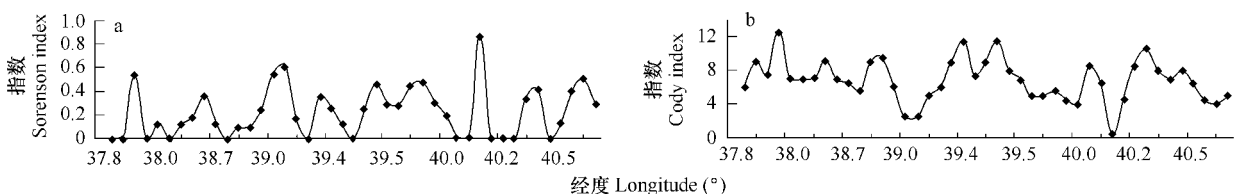


图5 纬度梯度的 Sorensen 指数和 Cody 指数变化

Fig. 5 Variation of Sorensen index (a) and Cody index (b) along latitude gradient

2.4 物种多样性的空间格局

2.4.1 半方差模型分析

表 2 反映了根据分隔距离 h 和计算出的半方差 $C(h)$, 采用球状模型进行拟合, 且考虑各向异性 and 一阶趋势效应, 得到研究区 Shannon-Wiener 指数 (H') 和 Simpson 指数 (D) 半方差函数模型。Shannon-Wiener 指数 (H') 和 Simpson 指数 (D) 的 k 值差异较大, 但是 $C0/(C0 + C1)$ 值则较为接近。 k 值反映了长轴与短轴的比, 表示在长轴方向上距离为 h 的两点间的平均变异程度与在短轴方向上距离为 k, h 的两点间的平均变异程度相同。由此可知 Simpson 指数在长轴和短轴方向的变异距离差异较大, 各向异性。而 Shannon-Wiener 指数的长轴和短轴方向的变异距离差异不大, 各向同性。 $C0/(C1 + C0)$ 的比值可表示系统变量的空间相关性程度, 比值小于 0.25, 说明变量具有强烈的空间相关性; 比值在 0.25 ~ 0.75, 变量具有中等的空间相关性; 大于 0.75, 变量空间相关性很弱。Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数都在 0.25 ~ 0.75 之间, 因此该

区域的 α 多样性为中等的空间相关性。

表 1 半方差函数模型类型及其参数值
Table 1 The semi-variogram model and its parameters

参数 Parameters	模型 Model	趋势阶数 T rend effect	变程 Range		各向异性比 k Anisotropic ratio	块金 $C0$ Nugget	基台 $C0 + C1$ Sill	$C0/$ $(C0 + C1)$
			短轴 Short axle	长轴 Long axle				
Shannon-Wiener (H')	球状 Spheroid	—阶 1-order	0.82	0.90	0.91	0.15	0.25	0.60
Simpson (D)	球状 Spheroid	—阶 1-order	0.50	3.24	0.15	0.036	0.046	0.75

2.4.2 物种多样性预测图分析

基于取样点实测数据,在半方差结构分析和球状模型套合的基础上,结合普通 Kriging 插值方法,考虑各向异性,选取一阶趋势参数,获得了 Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数的等值线图(图 5),从中可明显看出研究区 α 多样性空间分布状况。

Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数均有由东向西逐渐降低的趋势,乌兰布和沙漠和腾格里沙漠之间(104.8~105.3E)的结合地带是一个特殊的区域, α 多样性明显高于相同经度的其他区域,而 β 多样性也相对较高。物种多样性梯度表现出与贺兰山脉平行分布的特征,也表明水热条件对物种多样性的影响。阿拉善左旗的东南部是贺兰山,其降雨量高于 250mm,水热条件较好, α 多样性也呈现升高的趋势。但是在贺兰山山前冲积扇地区,以及再向西到腾格里沙漠边缘、向北到乌兰布和沙漠南缘的广大地区,降雨量逐渐减少,植被覆盖度逐渐降低,以灌木、半灌木为主, α 多样性偏低。阿拉善左旗北部由于水热条件的限制, α 多样性偏低则普遍偏低。

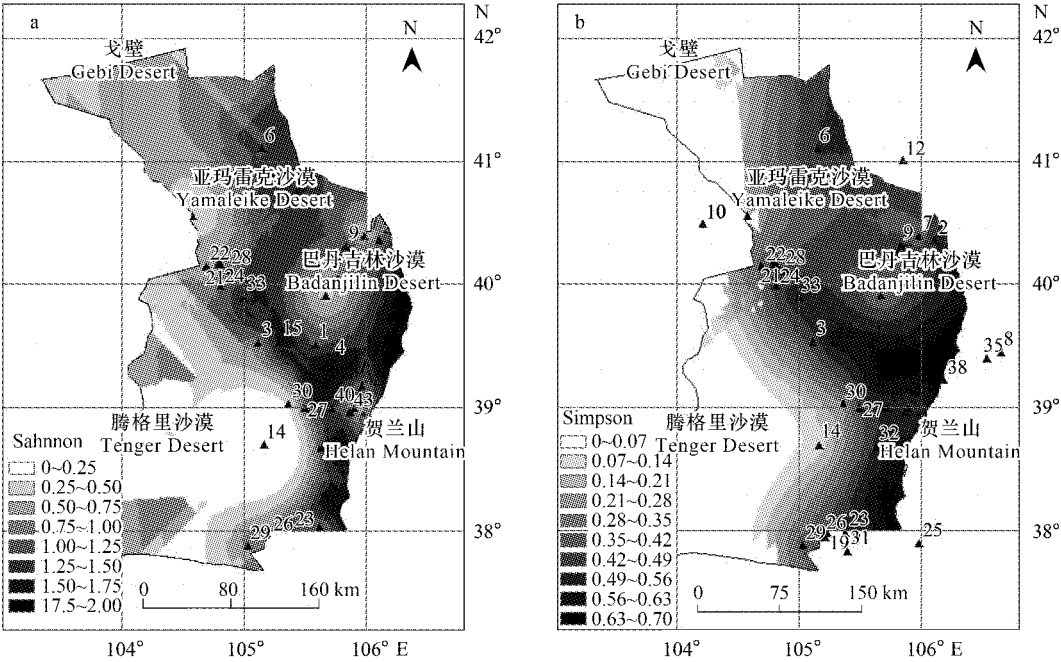


图 6 Shannon-Wiener 指数(a)和 Simpson 指数(b)预测图
Fig. 6 Predicting maps of Shannon-Wiener index(a) and Simpson index(b)

2.4.3 CCA 排序分析

表 2 是对 44 个样方不同物种多样性指标与地理位置的 CCA 排序结果。前 3 轴共解释了多样性指数空

间变异的 48.2%。利用排序轴与地形因子之间的回归方程和 Mont Carlo 方法进行检验,表明第 1、2 排序轴,即经度和纬度承载了样方的主要地形信息。经度和纬度对植物群落多样性的影响大于海拔。

表 2 样方地理指标对 CCA 排序轴的多元回归系数

Table 2 The multi-regression coefficients of the CCA axes on the geographic indices

地形变量 Topographic index	特征值 Eigen value	解释变异 Variance explained	海拔 Altitude	经度 Longitude	纬度 Latitude
轴 1 Axis1	0.740	18.4	-0.1020	0.8090	-0.0313
轴 2 Axis2	0.626	34.0	0.2308	0.1210	0.6259
轴 3 Axis3	0.571	48.2	-0.1753	0.5165	-0.4593

3 讨论与结论

阿拉善左旗植物物种多样性分布主要受水热条件所控制。在该区域,水分和热量条件一方面受到纬度的影响,由南向北形成一个水分和热量逐渐降低的梯度;另一方面受到贺兰山的影响,形成由东向西逐渐降低地水分梯度。阿拉善左旗位于贺兰山西麓,由西向东逐渐湿润,所以草本植物的组分增加,丰富度也升高,同时灌木的丰富度则有所下降^[13]。物种丰富度随纬度的变化也主要是受到水热条件的影响,表现出草本植物随纬度上升而丰富度降低,而灌木的丰富度则有所增加的趋势。整体上,本区呈现出西北-东南走向的水分和热量梯度趋势, α 多样性也表现相同趋势的梯度变化。但是,在整个研究区域中,植物物种的 α 多样性和 β 多样性起伏均较大,表明干扰对植物物种多样性的强烈影响。阿拉善左旗荒漠化的主要扰动因子包括水资源的破坏、过渡樵采、超强放牧和不合理开垦^[6],说明人为干扰是植物物种多样性的重要影响因子。围封、禁牧措施显著提高该地区的植物物种多样性^[6,7]也证明人类活动的强烈影响。

在我国内陆干旱地区山地通常为“中部隆起型”物种丰富度垂直梯度格局^[14,15],而在我国中东部湿润地区则通常表现出垂直分异^[2,16,17]。虽然在该地区土壤种子库呈随海拔高度增加而减少的趋势^[18],但是贺兰山对阿拉善左旗荒漠区的影响范围极广,水分梯度的范围远超过海拔梯度的变化。因此,海拔对植物物种多样性影响远小于水份梯度,经度和纬度对植物物种多样性的影响大于海拔的影响。然而,在贺兰山山区内由于水分充足且海拔梯度大,植物物种垂直分异仍然十分明显^[13]。

从全球尺度来看,随着纬度的增加生物群落的物种多样性有逐渐降低的趋势^[19,20]。阿拉善左旗南北差异较大,南部主要以草原化荒漠为主而北部主要是戈壁区域,因而随着纬度的增加物种多样性也有降低的趋势。但是在 $38^{\circ} \sim 39.2^{\circ}\text{N}$ 之间的荒漠化草原区域,灌木和草本植物物种丰富度都偏低, α 多样性起伏极大,同时 β 多样性较高,反映干扰的强烈变化。除人类活动影响外,这个区域临近腾格里沙漠,对群落多样性也会有很大干扰。而 $39.2^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}$ 之间的腾格里沙漠和乌兰布和沙漠中间区域物种多样性和群落的 CODY 指数均较高,反映了该区域群落组成变化大,环境梯度影响强烈。 α 多样性预测图也表明该区域物种多样性梯度变化较快。该区域为两大沙漠之间的过渡区域,各种环境条件和资源空间异质性大,这种资源分布模式能够减少种间竞争,促使物种多样性的增加^[21]。在 40°N 以北,以戈壁为主,物种多样性急剧降低,植物群落较为单一。阿拉善左旗东部的贺兰山在该地区造成一个由东向西逐渐降低的水分梯度,随着经度的增加逐渐湿润。种群多样性随着经度增加而增大的趋势虽然在一定程度上受到海拔的影响,但 CCA 排序分析的结果表明了经度和纬度对植物物种多样性的影响远远大于海拔变化的影响。这可能是由于贺兰山所造成的水分梯度范围远大于海拔变化造成的结果。

干旱荒漠区植物群落的空间异质性很强,仅为中等的空间相关性且块金值很高,这种斑块化的分布对植物物种丰富度有极大的威胁^[22],利用克里格插值获得的 α 多样性预测图和 CCA 排序分析的结果说明了地理因素对于植物物种多样性有显著的影响,表现出随着纬度上升多样性降低的趋势,但受经度变化的影响大于纬度。

对阿拉善左旗干旱荒漠区植物物种多样性的研究表明:(1)该区域植物物种多样性的空间变异模式受到

经度和纬度影响较为强烈,同时在荒漠化草原区域也受到人类活动干扰的强烈影响。(2)该地区的植物物种分布十分不均匀,受到人类活动强烈干扰的区域物种较为单一,物种多样性低,对这些区域应该实施合理的恢复措施,加快自然植被的恢复,增加生态系统的稳定性和不同区域内的基因流。研究表明,荒漠草原在中等生产力水平的载畜率条件,而非自然封育条件下,对其恢复才能够达到最大的物种多样性^[23]。对片断化分布的植物,应该重点进行保护^[24]。该区域很多重要的生物多样性资源,尤其是一些珍惜的特有物种,都只分布在少数地区,对这些区域则应当采取相应的保护措施。(3)阿拉善左旗植物物种多样性的空间变异模式表明,植物群落空间异质性强,呈现板块化分布。但是总体上主要受水热分布影响。以上结论为认识和保护荒漠地区生物多样性资源提供了理论依据和实践基础,对荒漠地区生态环境的保护和改善有着重要影响。

References:

- [1] Zhang J T. Quantitative Methods in Vegetation Ecology. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1995.
- [2] Shen Z H, Hu Z W, Zhao J, *et al.* Altitudinal Patterns of Plant Diversity on Mt. Guniujiang, Anhui, China — With a Discussion on the Ecological Impacts of Hilltop Condition. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(2): 160 — 168.
- [3] Chesson P. Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2000, 31: 343 — 366.
- [4] May R M. How many species are there on Earth? *Science*, 1988, 241: 1441 — 1449.
- [5] Zhou Z Y, Chen S K, Fu H, *et al.* The research of primary nutritional types in the Alex Desert. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press. 1990.
- [6] Zhou Z Y, Fu H, Chen Y M, *et al.* Changes of the species diversity and productivity of A2la2shan steppe area in restoration succession. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(1): 34 — 40.
- [7] Fu H, Wang Y R, Wu C X, Ta L T. Effects of grazing on soil physical and chemical properties of Alxa Desert Grassland. *Journal of Desert Research*, 2002, 22: 339 — 343.
- [8] Liang C Z, Liu Z L, Zhu Z Y, *et al.* Specific diversity and distribution characteristics of annual synusia in Alashan desert. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(6): 897 — 903.
- [9] Kong L J, Shen J Q. Analysis on Species Diversity of Plant Communities in the southeastern Tenggeli Desert. *Journal of Ningxia Agricultural College*, 003, 24(4): 25 — 28.
- [10] Ma B, Zhou ZY, Zhang C P, *et al.* The character of phosphorus concentrations in rhizosphere soil of super-xerophytic shrubs. *Acta Prataculturae Sinica*, 14(3): 106 — 110.
- [11] Magurran A E. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton: Princeton University Press, 1988.
- [12] Goobaerts P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties, *Biol. Fertile. Soils*, 1998, 27: 315 — 334.
- [13] Liang C Z, Zhu Z Y, Wang W, *et al.* The Diversity and Spatial Distribution of Plant Communities in the Helan Mountains. *Acta Phytocologica Sinica*, 28(3): 361 — 368.
- [14] Shen Z H, Fang J Y, Liu Z L, *et al.* The pattern of biodiversity along the vertical vegetation spectrum on the east aspect of Gongga Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25: 721 — 732.
- [15] Wang G H. Species diversity of plant communities along an altitudinal gradient in the middle section of northern slopes of Qilian Mountains, Zhangye, Gansu, China. *Biodiversity Science*, 2002, 12(1): 99 — 107
- [16] Yu S X, Zang R G, Jiang Y X. Spatial analysis of species diversity in the tropical vegetations along the vertical belt at Bawangling Nature Reserve, Hainan Island. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9): 1438 — 1443
- [17] Yue M, Zhang L J, Dang G D, *et al.* The relationships of Higher Plants Diversity and Elevation Gradient in Foping National Reserve. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(3): 349 — 354.
- [18] Zeng Y J, Wang Y R, Nan Z B, *et al.* Soil seed banks of different grassland types of Alashan arid desert region, Inner Mongolia. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(9): 1457 — 1463.
- [19] MacArthur R H. Pattern of species diversity. *Biological Review*, 1965, 40: 510 — 533.
- [20] McIntosh R P. *The Background of Ecology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
- [21] McKane R B, Johnson L C, Shaver G R, *et al.* Resource-based niches provide a basis for plant species diversity and dominance in arctic tundra. *Nature*, 2002, 412: 68 — 71.
- [22] Cousins S, Ohlson H, Eriksson O. Effects of historical and present fragmentation on plant species diversity in semi-natural grasslands in Swedish

rural landscapes. *Landscape Ecology*, 2007, 22: 723—730.

- [23] Han G D, Jiao S Y, Biligetu, *et al.* Effects of Plant Species Diversity and Productivity under Different Stocking Rates in the *Stipa breviflora* Griseb. Desert Steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 182—188.
- [24] Yuan X, Li J W, Li J Q. Attributes of vegetation and status of plant diversity in the Great Wall Scenic-spots in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 977—988.

参考文献:

- [1] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [2] 沈泽昊, 胡志伟, 赵俊, 等. 安徽牯牛降的植物多样性垂直分布特征——兼论山顶效应的影响. *山地学报*, 2007, 25(2): 160~168.
- [5] 周志宇, 陈善科, 付华, 等. 阿拉善荒漠草地初级营养类型研究. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1990. 1~12.
- [6] 周志宇, 付华, 陈亚明, 等. 阿拉善荒漠草地恢复演替过程中物种多样性与生产力的变化. *草业学报*, 2003, 12(1): 34~40.
- [7] 付华, 王彦荣, 吴彩霞, 塔拉藤. 放牧对阿拉善荒漠草地土壤性质的影响. *中国沙漠*, 2002, 22: 339~343.
- [8] 梁存柱; 刘钟龄; 朱宗元, 等. 阿拉善荒漠区一年生植物层片物种多样性及其分布特征. *应用生态学报*, 2003, 14(6): 897~903.
- [9] 孔丽娟, 沈吉庆. 腾格里沙漠东南边缘植物群落物种多样性分析. *宁夏农学院学报*, 2003, 24(4): 25~28.
- [10] 马斌, 周志宇, 张彩萍, 等. 超旱生灌木根际土壤磷的含量特征. *草业学报*, 2005, 14(3): 106~110.
- [13] 梁存柱, 朱宗元, 王伟等. 贺兰山植物群落类型多样性及其空间分异. *植物生态学报*, 2004, 28: 361~368.
- [14] 沈泽昊, 方精云, 刘增力, 等. 贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局分析. *植物生态学报*, 2001, 25: 721.
- [15] 王国宏. 祁连山北坡中段植物群落多样性的垂直分布格局. *生物多样性*, 2002, 12(1): 99~107.
- [16] 余世孝, 臧润国, 蒋有绪. 海南岛霸王岭垂直带热带植被物种多样性的空间分析. *生态学报*, 2001, 21(9): 1438~1443.
- [17] 岳明, 张林静, 党高弟, 等. 佛坪自然保护区植物群落物种多样性与海拔梯度的关系. *地理科学*, 2002, 22(3): 349~354.
- [18] 曾彦军, 王彦荣, 南志标, 等. 阿拉善干旱荒漠区不同植被类型土壤种子库研究. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1457~1463.
- [23] 韩国栋; 焦树英; 毕力格图, 等. 短花针茅草原不同载畜率对植物多样性和草地生产力的影响. *生态学报*, 2007, 27(1): 182~188.
- [24] 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.