

半干旱沙地封育草场的植被变化及其与土壤因子间的关系

杨晓晖¹, 张克斌², 侯瑞萍², 慈龙骏^{1*}

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091; 2. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

摘要: 封育措施是一种主要的草场恢复和重建的措施。通过对半干旱沙地完全封育、季节封育和未封育地的比较分析, 量化了不同封育措施下植被变化及其与土壤因子的关系。对 3 种封育措施群落组成和生物多样性的多响应置换过程(MRPP)分析结果表明, 封育改变了群落的组成成分并增加了生物多样性。群落的指示种分析及样方相似性指数计算结果则显示, 完全封育(> 10a)的群落逐渐向旱生化发展, 各植物种分布的空间异质性显著提高, 放牧价值开始降低, 而季节性封育则明显处于一种非平衡的稳定状态。对不同措施下植物种与土壤因子间关系除趋势对应分析(DCA)和除趋势典范对应分析(DCCA)排序结果表明, 土壤水分状况是限制 3 种措施中植物种组成的决定性因子, 生物结皮盖度、土壤有机质和土壤容重等因子均在一定的程度上对水分产生影响, 其中最为突出的因子是生物结皮盖度。由于长期缺少牲畜的践踏, 完全封育区内结皮发育较好, 这也是导致群落向旱生化发展的原因之一, 同时一些重要因子诸如降水的时空变化或由此而引发的土壤水分的时空变化在本研究中可能被忽略。相关分析表明 3 种措施的生物多样性除了受土壤水分状况(土壤含水量和结皮盖度)的影响外, 还与土壤速效氮呈正相关, 与速效磷呈负相关。

关键词: 封育措施; 植被变化; 土壤因子; 生物多样性; MRPP; 梯度分析

文章编号: 1000-0933(2005)12-3212-08 **中图分类号:** S153 **文献标识码:** A

Vegetation variations under different exclusion measures and their correlation to soil factors

YANG Xiao-Hui¹, ZHANG Ke-Bin², HOU Rui-Ping², CILong-Jun^{1*} (1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Silvicultural Lab of State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3212~ 3219

Abstract Exclusion has been applied as a main measure for revegetation all over the world. This paper, by comparing the results of year-round, seasonal and non-exclusion, quantified the vegetation variations under three different exclusion measures and their correlation to soil factors. The analysis results for community species component and plant diversity using MRPP showed that exclusion did change the species component and increase plant diversity remarkably, while the period of exclusion had no significant influence on these two community features. The indicator species analysis and calculation of similarity indices indicated that community for year-round exclusion is becoming xerophytization and unpalatability, and showed highly spatial heterogeneity of plant species distribution, whereas community for seasonal exclusion is under stable non-equilibrium condition. DCA and DCCA results of relationship between plant species and soil variables demonstrated that soil moisture is a controlling factor for plant species component, microbiotic soil crust cover, soil organic matter, and soil bulk density have significant effects on soil moisture, among which microbiotic soil crust is a leading fact due to its limitation to rainfall infiltration on one hand, and its constraints to entrance of herbaceous seeds into soil or to germination of soil seeds. As a result

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30171205); 国家林业局荒漠化定位监测资助项目

收稿日期: 2004-09-04; **修订日期:** 2005-09-18

作者简介: 杨晓晖(1968~), 男, 博士, 主要从事景观生态学及荒漠化防治研究. E-mail: yangxh@caf.ac.cn

* 通讯作者 Author for correspondence

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 30171205), on-site monitoring project of desertification SFA.

Received date: 2004-09-04; **Accepted date:** 2005-09-18

Biography: YANG Xiao-Hui, Ph.D., mainly engaged in landscape ecology and desertification combating. E-mail: yangxh@caf.ac.cn

of long-term removal of animal grazing, crust keeps intact in year-round exclusion community, which is one main reason of community xerophytization. It is also obvious from ordination results that some importantly environmental factors such as tempo-spatial change of rainfall and corresponding tempo-spatial change of soil moisture are neglected during direct gradient analysis. In addition, biodiversity has close relation to soil nutrients besides to soil moisture condition (soil water content and crust cover), biodiversity has positive relation to available N, and negative relation to available P. Higher soil N has advantage to non-leguminous plants growth on nutrition-poor sand land definitely. The impact of P to community component is unclear and should be studied from plant physiology.

Key words: exclusion measures; vegetation variations; soil factors; biodiversity; MRPP; gradient analysis

干旱半干旱区的草场退化问题目前已成为全球荒漠化的最为主要的退化类型^[1], 而封育作为一种主要的草场恢复和重建的措施已为世界各国所广泛采用^[2,3]。国内开展的许多封育措施对草场植被恢复影响的研究成果, 均表明封育措施可以显著提高退化草场(原)的生产力^[4-6], 很明显封育措施主要是通过人为地降低或完全排除牲畜对草场生态系统的影响使系统在自身的弹性下得以恢复和重建的, 在此过程中, 系统内的植被、土壤及其相互间的反馈关系均表现出了不同的变化规律^[7,8], 本文选择完全封育、季节封育和未封育 3 种措施进行研究, 通过对植被群落组成变化及植被-土壤间耦合关系的分析, 比较不同封育措施下生态系统恢复的过程, 从而为制定科学合理的草场管理体系提供参考。

1 研究地概况

盐池县位于宁夏回族自治区东部, 地理坐标为北纬 37°04' ~ 38°10', 东经 106°30' ~ 107°41' 之间, 总面积 6758.56 km², 全县南北明显地分为黄土丘陵和鄂尔多斯缓坡丘陵(即毛乌素沙地西南缘)两大地貌单元。该县年降水仅 250~350 mm, 80% 以上的降水量分布于 5~9 月份, 其中 7~9 月份又占年降雨的 60% 以上, 从而决定了该县的自然景观为温带草原和荒漠草原。该县土壤类型以灰钙土为主, 其次是黑垆土和风沙土, 其中南部黄土高原丘陵区以黑垆土为主, 其次为灰钙土, 北部鄂尔多斯缓坡丘陵区以风沙土、灰钙土为主^[9]。

2 研究方法

本研究的区域选在盐池县的鄂尔多斯缓坡丘陵区, 即毛乌素沙地西南缘的柳林堡乡距盐池县城 20 km 处, 土壤类型为风沙土, 植被封育措施从 1991 年开始实施, 主要分为 3 种处理方法, 即完全封育、季节封育和未封育, 其中完全封育采用铁丝网围栏, 完全排除家畜的采食, 季节封育则主要以秋冬放牧为主, 春夏则采取封育措施, 未封育区采用当地居民传统的放牧方式, 3 种处理方式均相距不远, 因此其自然条件也基本上相同。调查时间为 2002 年 8 月和 2003 年 8 月, 调查方法是在不同措施样地的核心区随机选择 96 个 2 × 2 m 的小样方对其物种的数量及其地上部分生物量、土壤含水量、土壤容重和地表生物结皮的覆盖度进行了调查, 在植被调查的同时, 对每个样方中的土壤进行取样, 土壤样品室内采用国家标准方法在中国林业科学研究院林业研究所土壤实验室中进行^[10]。

在本研究中, 对 3 个多样性指数, 即均匀度指数(E)、Shannon 多样性指数(H')和 Simpson 多样性指数(D')和 3 个相似性指数, 即 Jaccard 样方相似性指数, Sorenson 样方相似性指数和 Morisita-Horn 样方相似性指数进行计算^[11]。3 种措施的物种组成和生物多样性指数间的差异性采用多响应置换过程分析方法(MRPP: multi-response permutation procedures)进行检验, 该方法是一种用于两个或多个样本的差异性分析的非参数检验方法, 并不要求数据正态分布和方差齐性, 因此已被广泛应用在与生态学相关的研究中^[12-14]。3 种封育措施中指示种分析采用 Dufrene & Legendre 提出的方法进行计算^[15], 并应用 Monte Carlo 方法来检验每种措施中每一物种的显著性, 物种的排序采用 DCA 来完成, 由于 DCA 分析的标准离差(SD)梯度值大于 4.0, 因此物种与土壤因子间关系的分析采用 DCCA 方法^[16]。上述各项分析均采用 PC-ORD 软件进行^[17]。生物多样性指数与土壤因子间的相关分析则采用 Spearman 秩相关分析法^[18]。

3 结果分析

3.1 物种的组成及其生物多样性分析

3 种封育措施的指示种分析结果表明(表 1), 完全封育区的指示种分别为赖草、阿尔泰狗娃花、新疆猪毛菜、叉枝鸦葱、雾冰藜、平卧碱蓬和远志, 季节封育区的指示种分别是狗尾草、沙珍棘豆、披针叶黄华、虎尾草、沙鞭、狭叶米口袋和达乌里胡枝子, 未封育区的指示种分别是茵陈蒿、苦豆子、地锦草、小画眉草和老瓜头。完全封育区的 7 个指示物种中, 除了赖草适口性好外, 其余 6 种均一般或很差, 且除了平卧碱蓬为中生外, 其余 5 种为中旱生或旱生, 而且还出现了强旱生的叉枝鸦葱; 季节封育区的 7 个物种中, 除了沙珍棘豆适口性较差外, 其余 6 种均一般或较好, 中生植物则增加为狗尾草和虎尾草, 其余 5 种则为中旱生和旱生, 在未封育区的 5 个指示种中, 茵陈蒿和小画眉草的适口性较好, 其余 3 种均较差, 除了老瓜头为旱生外, 其余均为中生和中旱生。

表 1 3 种封育措施植物种名称及指示种分析结果

Table 1 A list of species names and results of indicator species analysis

植物种名 Species [*]	缩写 Abbreviation [*]	完全封育区	季节封育区	未封育区
		Year-round exclusion	Seasonal exclusion	Non-exclusion
砂蓝刺头 <i>Echinops gm elini</i>	<i>EchiGm el</i>	13		
阿尔泰狗娃花 <i>H eteropappus altaicus</i>	<i>H etaA lta</i>	51 [*]	12	
丝叶山苦苣 <i>Ixeris chinensis</i>	<i>IxerChin</i>	5	14	7
蒙疆苓菊 <i>Jurinea mongolica</i>	<i>JurM ong</i>	13		
鳍蓟 <i>O lgaea leucophylla</i>	<i>O lgaL euc</i>	13		
茵陈蒿 <i>A rtemisia capillaries</i>	<i>A rteCap i</i>	9	17	72 [*]
叉枝鸦葱 <i>S corzonera divaricata</i>	<i>S corD iva</i>	25 [*]		
雾冰藜 <i>B assia dasphylla</i>	<i>B assD asy</i>	25 [*]		
绳虫实 <i>Corisp em um declinatum</i>	<i>CoriD ecl</i>		13	
蒙古虫实 <i>Corisp em um mongolicum</i>	<i>CorM ong</i>	17	20	0
中亚虫实 <i>Corisp em um heptapotamicum</i>	<i>CoriH ept</i>		13	
新疆猪毛菜 <i>S alsola sinkiangensis</i>	<i>S alsS ink</i>	40 [*]		
平卧碱蓬 <i>S uaeda prostrata</i>	<i>S uaeP ros</i>	25 [*]		
草木犀状黄芪 <i>A stragalus melilotoides</i>	<i>A strM eli</i>	17	18	2
狭叶米口袋 <i>Gueldenstaedtia stenophylla</i>	<i>GuelS ten</i>		25 [*]	
达乌里胡枝子 <i>L espedeza davurica</i>	<i>L espD avu</i>	15	25 [*]	
沙珍珠豆 <i>O xytropis psamm ocharis</i>	<i>O xy tP san</i>	4	32 [*]	
苦豆子 <i>S ophora alopecuroides</i>	<i>S ophA lop</i>	8	8	60 [*]
披针叶黄华 <i>Them opis shischkinii</i>	<i>TherS his</i>		29 [*]	6
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	<i>ChloV irg</i>	10	27 [*]	
小画眉草 <i>Eragrostis poaeoides</i>	<i>EragP oae</i>	2		32 [*]
赖草 <i>L ymus secalinus</i>	<i>L ymS eca</i>	63 [*]		
沙鞭 <i>P samm ochloa villosa</i>	<i>P samV ill</i>		25 [*]	
中亚细柄茅 <i>P tilagrostis pelliottii</i>	<i>P tilP ell</i>	16	12	9
狗尾草 <i>S etaria viridis</i>	<i>S etaV iri</i>	29	46 [*]	3
乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	<i>EuphE sul</i>		9	3
地锦草 <i>Euphorbia hum ifusa</i>	<i>EuphH um i</i>			38 [*]
老瓜头 <i>Cynanchum kan arovii</i>	<i>CynaK am a</i>	7	17	24 [*]
远志 <i>P olygala tenuifolia</i>	<i>P olyT enu</i>	25 [*]	4	

Monte Carlo 方法检验植物种的指标值显著 Statistically significant for the maximum indicator values for a given species in particular group using Monte Carlo test ($p < 0.05$); * 下同 the same below

3 种措施植物种组成的 MRPP 分析结果表明, 3 种措施间存在着显著的差异 ($p = 0.0088$, $A = 0.0410$), 这种显著差异存在于完全封育和未封育 ($p = 0.0043$, $A = 0.0468$) 以及季节封育和未封育间 ($p = 0.0048$, $A = 0.0585$), 而在完全封育和季节封育间则不存在显著差异 ($p = 0.6052$, $A = -0.0059$)。对 3 个生物多样性指数的 MRPP 的分析结果表明, 3 种措施的均匀度指数间差异不显著 ($p = 0.3278$, $A = 0.0116$), 而 Shannon 多样性指数和 Simpson 多样性指数的分析结果与植物种组成的分析结果一致, 即 3 种措施间存在着显著的差异 ($H: p = 0.0144$, $A = 0.1550$; $D: p = 0.0756$, $A = 0.0854$), 这种显著差异存在于完全封育和未封育 ($H: p = 0.0078$, $A = 0.2232$; $D: p = 0.0853$, $A = 0.0913$) 以及季节封育和未封育间 ($H: p = 0.0091$, $A = 0.1765$; $D: p = 0.0349$, $A = 0.1281$), 而在完全封育和季节封育间则不存在显著差异 ($H: p = 0.7748$, $A = -0.0375$; $D: p = 0.7517$, $A = -0.0361$)。

不同封育措施样方相似性指数计算结果表明 (表 2), 季节封育和未封育区内的样方相似性指数均大于区间的相似性指数, 而完全封育区内的相似性指数仅有 Jaccard 指数大于区间的指数值, 而在 3 种封育措施间 Jaccard 指数以季节封育和未封育间为最高, Sorenson 指数和 Morisita-Horn 指数则以完全封育区和季节封育间为最高。这从一个侧面反映了完全封育区由于缺乏适量的放牧干扰, 其植物种的空间分布表现出较大的异质性, 究其原因可能是由于微地形地貌的存在对整个群落的综合影响所致。

3.2 不同植物功能型排序分析

用 DCA 对不同措施中的所有植物种进行间接排序分析的结果表明 (图 1), 植物不同功能型与排序轴间的关系各不相同,

其中水分生态功能型的分布与DCA的第1个轴密切相关,表明第1个轴更多地反映了土壤中的水分状况,而饲用功能型和植物生活型植物的分布则与DCA的第2个轴密切相关,表明第2个轴能更多地反映放牧压力,同时可以看出,多年生草本与饲用价值较低的植物间具有一定的相关性,而1年生草本则与饲用价值一般的植物相关性较强。

表2 不同封育措施样方相似性指数变化分析(均值±标准差)

相似性指数 Similarity index	封育措施 Measures	完全封育 year-round exclusion	季节封育 seasonal exclusion	未封育 non-exclusion
Jaccard	完全封育 Year-round exclusion	0.2825 ± 0.0220	0.2564 ± 0.0107	0.1991 ± 0.0126
	季节封育 Seasonal exclusion	0.2564 ± 0.0107	0.2957 ± 0.0222	0.2627 ± 0.0159
	未封育 Non-exclusion	0.1991 ± 0.0126	0.2627 ± 0.0159	0.3804 ± 0.0252
Sorenson	完全封育 Year-round exclusion	0.1482 ± 0.0243	0.1970 ± 0.0173	0.1036 ± 0.0106
	季节封育 Seasonal exclusion	0.1970 ± 0.0173	0.2432 ± 0.0242	0.1648 ± 0.0138
	未封育 Non-exclusion	0.1036 ± 0.0106	0.1648 ± 0.0138	0.3121 ± 0.0389
Morisita-Horn	完全封育 Year-round exclusion	0.2121 ± 0.0441	0.2597 ± 0.0294	0.1233 ± 0.0180
	季节封育 Seasonal exclusion	0.2597 ± 0.0294	0.3096 ± 0.0417	0.1938 ± 0.0227
	未封育 Non-exclusion	0.1233 ± 0.0180	0.1938 ± 0.0227	0.4811 ± 0.0543

3.3 植物种与土壤因子间关系排序分析

从DCCA前4个轴上土壤因子的典型系数来看(表3),在第1个轴上结皮盖度和速效钾的 t 检验值均大于2.1,表明其对植物种组成的贡献率较大,但由于两个因子的典型系数均为负值,因此其对植物种的贡献应是最低的;在第2个轴上土壤有机质和全钾也均为负值,在第3个轴上pH值为正值,而速效钾为负值,在第4个轴上只有全氮为负值。从DCCA前4个轴上土壤因子的序列间相关系数来看(表3),第1个轴与结皮盖度、土壤有机质和土壤容重相关,第2轴与土壤有机质、土壤全磷和土壤水分相关,第3个轴与pH值相关,而第4个轴则与土壤水分、全磷和速效氮相关,其中前2个轴与土壤因子间的关系可以从排序图中明显看出(图2),在前2个轴中结皮盖度与第1个轴呈显著负相关,相关系数为0.6609,而土壤有机质与第2个轴呈显著负相关,相关系数为0.5742。

从图1的DCA分析结果看,其第1个轴更多地反映土壤的水分状况,尽管在调查中同时测定了土壤含水量,但图2中显示第1个轴与结皮盖度、土壤有机质和土壤容重相关,与土壤水分相关不大,究其原因,因为这些土壤水分数据只是一次随机测定值,无法全面反映研究区内的土壤水分动态,而结皮盖度、土壤有机质和土壤容重均可从不同的角度影响到土壤水分的变化。从第2个轴上来看,主要相关的土壤因子为土壤有机质、土壤全磷和土壤水分,基本上可以反映放牧压力的影响。在图2a中,尽管应用的DCCA排序加入了土壤因子的影响,但各植物种在排序轴1和2间的分布与图1a中所示的植物水分生态功能型的分布具有较强的相似性,基本上表现为沿着第1个排序轴的方向植物种从旱生向中生过渡;在图2b中,样方在第1个轴和第2个轴间的分布也基本上反映了不同封育措施间差异,其中完全封育区的样方主要分布在左下角,与土壤结皮盖度、速效氮和全钾显著相关,季节封育区则主要分布在上方,与土壤水分、速效磷和土壤pH值显著相关,未封育区则分布在右下角,与土壤容重和全氮呈显著相关,这充分反映了在不同封育措施下群落内植被及其相关土壤因子的变化。值得注意的在完全封育和季节封育处理的样方中,有少量样方是镶嵌分布的,这一现象可能来自放牧压力和微地形地貌等空间异质性的影响。

表3 DCCA前4个轴土壤因子的典型系数和序列间相关系数

土壤因子 Soil factors	典型系数 Canonical coefficients				序列间相关 Inter-set correlations			
	轴1	轴2	轴3	轴4	轴1	轴2	轴3	轴4
	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4
全氮 Total N	0.1469	0.3162	0.2240	-0.8135*	0.2806	-0.2808	0.0750	0.2385
全磷 Total P	0.6481	0.6172	-0.2431	0.5461	0.2260	-0.5198	0.0680	0.4851
全钾 Total K	0.0569	-0.3137*	-0.2134	0.0145	-0.3325	-0.0578	-0.1883	0.0096
速效氮 Available N	0.1704	0.7406	0.0734	0.7936	-0.0546	-0.4332	0.1911	0.4339
速效磷 Available P	0.1962	0.2530	0.1001	-0.030	-0.0021	0.1730	-0.1638	-0.2275
速效钾 Available K	-0.3232*	-0.2297	-0.4059*	-0.1128	0.1463	-0.3544	-0.2914	-0.2114
有机质 SOC	-0.8726	-2.0527*	1.1329	-0.4256	0.4793	-0.5742	0.0515	0.3685
pH值 pH	-0.0645	-0.0456	0.3434*	0.1244	-0.1009	0.1705	0.3997	0.2124
土壤水分 Soil moisture	-0.1540	0.1369	0.5966	0.2939	-0.2569	0.4740	-0.0930	-0.5082
结皮盖度 Crust cover	-0.4630*	0.0234	-0.0901	0.0304	-0.6609	-0.0884	-0.0437	0.3744
容重 Bulk density	0.1370	-0.1745	-0.0851	0.0212	0.3817	-0.1361	0.0241	-0.0679

* $t > 2.1$, 即该变量对物种贡献率较大 $t > 2.1$ means this variable has greater contribution to species data

境因子间的相关度显著高于DCA 排序结果,前4个轴可以解释变异的61.2%,而DCA 仅可解释29.1%,然而DCCA 的特征值则低于DCA 的特征值,表明在本研究中可能还有一些重要的环境因子没有测定,因此在今后的研究中应对更多的环境因子进行分析,以期更准确地掌握影响植物群落组成的因子。

3.4 生物多样性与土壤因子间关系分析

Shannon 和 Simpson 多样性指数与土壤因子间 Spearman 秩相关的分析结果显示(表5), Shannon 多样性指数与土壤因子中的速效氮($r=0.733$)和土壤水分($r=0.665$)呈正相关,与结皮盖度($r=0.796$)和速效磷($r=0.699$)呈负相关, Simpson 多样性指数也同样与土壤因子中的速效氮($r=0.725$)和土壤水分($r=0.713$)呈正相关,与结皮盖度($r=0.744$)和速效磷($r=0.732$)呈负相关。这一结果同上述群落组成与土壤因子间关系的分析结果基本吻合。

表4 DCA 和DCCA 排序结果的比较

项目 Item	排序方法 Ordination method	轴 1 Axis 1	轴 2 Axis 2	轴 3 Axis 3	轴 4 Axis 4
特征值 Eigenvalues	DCA	0.736	0.432	0.218	0.116
	DCCA	0.607	0.297	0.179	0.092
物种-环境相关 Species-environment correlations	DCA	0.826	0.899	0.848	0.737
	DCCA	0.960	0.898	0.851	0.870

4 结论与讨论

对3种封育措施群落组成和生物多样性的MRPP 分析结果表明,封育确实可以改变群落的组成成份并提高生物多样性,但在具体的封育期长短上并无显著差异,同时群落的指示种分析及样方相似性指数计算结果则显示,完全封育的群落逐渐向旱生化发展,放牧利用率开始降低,群落中各植物种分布的空间异质性显著提高,而季节性封育则明显处于一种非平衡的稳定状态,这与目前国外草场管理的非平衡态理论是基本一致的^[19,20]。可见长期封育并不一定是干旱半干旱区退化植被恢复的最佳选择,如何根据各地区的实际情况制定一套科学合理的放牧制度,将是今后一段时期研究的重点课题之一。

不同措施下植物种及生物多样性与土壤因子间关系的分析结果表明,土壤水分状况是限制3种措施中植物种组成的决定性因子,土壤结皮盖度、土壤有机质和土壤容重等因子均

在一定的程度上对水分产生影响,其中最为突出的因子是土壤结皮盖度,土壤结皮的存在一方面限制了降雨的入渗,从而降低了土壤含水量^[21,22],另一方面可能也限制了一些草本植物的种子进入土壤或限制了一些种子的萌发^[23,24]。由于长期缺少牲畜的践踏,完全封育区内结皮发育较好,这也是导致群落向旱生化发展的原因之一。然而DCA 和DCCA 的排序结果反映出尚有一些比较重要的环境因子在本研究中被忽略,从所选的所有因子来看,尽管我们选择了土壤含水量作为影响因子之一加以分析,但该因子的值仅是一次随机的观测值,无法反映群落中水分的动态变化,从上述分析结果也可以看到,这一因子并未表现出与植被组成有显著的相关关系。在干旱半干旱区,绝大多数群落靠天然降水来维持其群落结构,国外的大量研究均表明降水是决定草场结构和功能的决定性因子^[3,25],因此在今后的研究中应进一步加强降水的时空变化或由此而引发的土壤水分的时空变化与植被变化间反馈关系的研究。

在生物多样性与土壤因子关系的分析中,除了受土壤水分状况(土壤含水量和土壤结皮盖度)影响外,还与土壤养分状况有极为密切的关系,生物多样性还与土壤速效氮呈正相关,与速效磷呈负相关,显然土壤中速效氮含量较高有利于一些非豆科植物在相对贫瘠的沙地上萌发及生长,从而提高了群落的生物多样性;但对土壤速效磷来说,其对群落生物多样性的影响机制尚有待于从群落中各植物种生理学的角度加以研究。

References

- [1] Middleton N J, Thomas D S G, eds *World Atlas of Desertification* (second edition). London: Edward Arnold, 1998. 5~12
- [2] Meissner R A, Facelli J M. Effects of sheep exclusion on the soil seed bank and annual vegetation in chenopods shrublands of south

表5 生物多样性指数与土壤因子相关关系分析(Spearman 秩相关)
Table 5 Spearman rank correlation (r) between biodiversity indices and selected soil variables

土壤因子 Soil factors	Shannon 多样性指数 Shannon diversity index (H')	Simpson 多样性指数 Simpson diversity index (D')
全氮 Total N	0.128	0.189
全磷 Total P	0.457	0.437
全钾 Total K	0.245	0.341
速效氮 Available N	0.733	0.725
速效磷 Available P	-0.699	-0.732
速效钾 Available K	-0.296	-0.262
有机质 SOM	0.467	0.548
pH 值 pH	0.242	0.360
土壤水分 Soil moisture	0.665	0.713
结皮盖度 Crust cover	-0.796	-0.744
容重 Bulk density	-0.413	-0.491

- Australia *J. Arid Environ.*, 1999, **42**: 117~ 128
- [3] Turner R M. Long-term vegetation change at a fully protected Sonoran desert site *Ecology*, 1990, **7**: 464~ 477.
- [4] Li Y H. Restoration dynamics of degraded grasslands in the typical steppe zone of Inner Mongolia *Chinese Biodiversity*, 1995, **3**(3): 125~ 130
- [5] Wang W, Liu Z L, Hao D Y, *et al*. Dynamic response of degraded steppe vegetation to grazing exclusion in the Inner Mongolia *Climatic and Environmental Research*, 1997, **2**(3): 236~ 240
- [6] Wang M J, Li Q F, Qing X L. The quantities of seed setting in fenced and freely grazed areas in *Stipa Baicalensis* steppe, Inner Mongolia *Grassland of China*, 2001, **23**(6): 21~ 26
- [7] Turner M D. Long-term effects of daily grazing orbits on nutrient availability in Sahelian West Africa 1. Gradients in the chemical composition of rangeland soils and vegetation *Journal of Biogeography*, 1998, **25**: 669~ 682
- [8] Perevolotsky A, Seligman N G. Role of grazing in Mediterranean rangeland ecosystems *Bio Science*, 1998, **48**: 1007~ 1017.
- [9] Compiling committee of Yanchi chronicle. *Yanchi Chronicle*. Yinchuan: Ningxia People's Press, 2002 48~ 50
- [10] Liu G S, Jiang N H, Zhang L D, *et al*. *The description of soil profile and soil physio-chemical analysis*. Beijing: Chinese Standard Press, 1996 44~ 102
- [11] Magurran A E. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton: Princeton University Press, 1988 35~ 41, 62~ 64
- [12] Zimmernan G M, Goetz H, Mielke Jr P W. Use of an improved statistical method for group comparisons to study effects of prairie fire *Ecology*, 1985, **66**: 606~ 611.
- [13] Brosofske K D, Chen J, Crow T R. Understory vegetation and site factors: implications for a managed Wisconsin landscape *Forest Ecology and Management*, 2001, **146**: 75~ 87.
- [14] Stallins J A. Dune plant species diversity and function in two barrier island biogeomorphic systems *Plant Ecology*, 2002, **165**: 183~ 196
- [15] Dufrene M, Legendre P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach *Ecological Monographs*, 1997, **67**: 345~ 366
- [16] Jongman R H G, Ter Braak C J F, Van Tongeren O F R. *Data analysis in community and landscape ecology*. London: Cambridge University Press, 1995 91~ 173
- [17] McCune B, Mefford M J. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 3.0 M J software design, *Glenden Beach, OR*. 1997. 48~ 66
- [18] SPSS Inc. SPSS for Windows 10.0 Chicago, Illinois, 1999 126~ 148
- [19] Westoby M, Walker B, Noy-Meir I. Opportunistic management for rangeland not at equilibrium. *Journal of Range Management*, 1989, **42**: 265~ 273
- [20] Oba G, Stenseth N C, Lusigi W. New perspectives on sustainable grazing management in arid zones of sub-Saharan Africa *Bioscience*, 2000, **50**(1): 35~ 51.
- [21] Eldridge D J, Greene R S B. Microbotic soil crusts: a review of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia *Australian Journal of Soil Research*, 1994, **32**: 389~ 415
- [22] Wang X Y, Hou J L, Qi J Z. Mitigating effects of herding in the bush upon water distribution in the sandy area *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1994, **14**(7): 15~ 21.
- [23] Huang Z, Gutteman Y. Artemisia monosperma achene gemination in sand: effects of sand depth, sand/water content, cyanobacterial sand crust and temperature *J. Arid Environ.*, 1998, **38**: 27~ 43
- [24] Eldridge D J, Westoby M, Holbrook K M. Soil surface characteristics, microtopography and proximity to mature shrubs: effects on survival of several cohorts of *Atriplex vesicaria* seedlings, *J. Ecol.*, 1992, **78**: 357~ 364
- [25] Ellis J E, Galvin K A. Climate patterns and land use practices in the dry zones of Africa *Bio Science*, 1994, **44**: 340~ 349

参考文献:

- [4] 李永宏. 内蒙古典型草原地带退化草原的恢复动态. 生物多样性, 1995, **3**(3): 125~ 130
- [5] 王伟, 刘钟龄, 郝敦元, 等. 内蒙古退化草原植被对禁牧的动态响应. 气候与环境研究, 1997, **2**(3): 236~ 240
- [6] 王明玖, 李青丰, 青秀玲. 贝加尔针茅草原围栏封育和自由放牧条件下植物结实数量的研究. 中国草地, 2001, **23**(6): 21~ 26
- [9] 盐池县志编纂委员会编. 盐池县志. 银川: 宁夏人民出版社, 2002 48~ 50
- [10] 刘光崧, 蒋能慧, 张连第, 等. 土壤理化分析与剖面描述. 北京: 中国标准出版社, 1996 44~ 102
- [22] 王晓云, 霍建林, 漆建忠. 灌木林放牧利用对沙地水分的缓解作用. 水土保持通报, 1994, **14**(7): 15~ 21.