

宁夏盐池县草地沙化对植被与土壤特征的影响

毛思慧¹, 谢应忠^{1,2}, 许冬梅^{1,2}

(1. 宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学 草业科学研究所, 宁夏 银川 750021)

摘要: 通过野外调查和室内分析相结合的方法,研究了盐池县不同沙化程度下草地植被特征和土壤特性的变化,以探讨植被和土壤对沙化的响应机制。结果表明,随着草地沙化程度的加剧,植被组成发生变化,多年生草本植物呈逐渐减少,一年生草本植物呈逐渐增加的趋势;生物多样性指数变化趋势为轻度沙化草地到中度沙化草地增加,自中度沙化草地至极度沙化草地先降低后又增加,中度沙化阶段是草地植物群落特征变化的重要转折时期。随着草地沙化加剧,土壤含水量、有机质、氮含量降低;重度沙化阶段土壤磷、钾含量最高,pH值和可溶性盐无明显变化规律。

关键词: 草地沙化; 植物群落; 生物多样性; 土壤特性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0034-06

中图分类号: S812.4

Impact of Grassland Desertification on Vegetation and Soil Properties in Yanchi County of Ningxia Hui Autonomous Region

MAO Si-hui¹, XIE Ying-zhong^{1,2}, XU Dong-mei^{1,2}

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. Institute of Prataculture Science, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: In combination of field investigation with laboratory analysis, changes of plant community and soil characteristics were studied under different degrees of desertification in Yanchi desertification grassland to investigate the responses of vegetation and soil to desertification. Vegetation composition changes with the increased degree of grassland desertification. Perennial species gradually gave place to psammophyte annuals. Diversity index increased from mild desertification to moderate desertification grasslands. From moderate to extreme desertification grasslands, diversity index first decreased and then increased, which shows that the stage of moderate desertification is an important turning point for changes in plant community characteristics. Soil water content, organic matter and nitrogen content were reduced with increased sandy desertification on grassland; available P and available K content were the highest in extreme desertification stage, and changes of pH value and salt content did not show an obvious trend.

Keywords: grassland desertification; plant community; biodiversity; soil property

盐池县是宁夏唯一被中国农业部确定的牧区县,草原面积和养羊数量均居全区之首,畜牧业收入占全县农业收入的1/2以上^[1]。该县草原严重沙化使草原植被发生逆向演替,牧草产量和品质下降,草原经济动物减少,鼠虫害加重,严重制约了草原畜牧业的发展,并且也影响了种植业和整个农业环境的稳定性。草原沙化的加剧发展,使生态环境条件进一步恶化,主要表现为风沙天数增多,地下水位下降,蒸发量加剧,干旱周期缩短等。据统计,至2004年盐池县草地沙化面积达486 932 hm²,占该县土地总面积的

68.3%^[2]。因此,沙化草地的研究和防治具有重要的现实意义。本文通过野外调查和室内分析相结合的方法,研究盐池县不同沙化程度下草地植被群落特征及土壤理化性质的变化,为该地区草地沙化程度定量评价和沙化治理措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

盐池县位于宁夏回族自治区东部,地理坐标为106°3′—107°47′E,37°4′—38°10′N。盐池县东邻陕

收稿日期:2013-03-20

修回日期:2013-04-16

资助项目:国家自然科学基金项目“宁夏东部风沙区退化草地生态环境动态监测与预警”(31160484)

作者简介:毛思慧(1989—),女(汉族),宁夏回族自治区青铜峡市人,在读硕士生,研究方向为草地生态、资源与环境。E-mail:maosihui@163.com。

通信作者:谢应忠(1961—),男(汉族),陕西省榆林市人,博士,教授,研究方向为草地生态、资源与环境。E-mail:xieyz@nxu.edu.cn。

西省定边县,南接甘肃省环县,北靠内蒙古鄂托克前旗,西连灵武、同心县,属陕、甘、宁、蒙 4 省(区)交界地带。该区地理位置上属于典型过渡地带,即自南向北,地形上是从黄土丘陵向鄂尔多斯缓坡丘陵过渡,气候上是从半干旱向干旱过渡,植被类型则是从干草原向荒漠草原过渡^[3],这种空间上的过渡性造成了盐池县自然条件资源的多样性和生态系统的极端脆弱性。

盐池县属典型中温带大陆性季风气候,干旱少雨,光能丰富,日照充足。年平均气温 8.1℃,各月平均气温-13.0~22.7℃,极端最高温度 34.9℃,极端最低温度-25.3℃。年无霜期 165 d,年降水量 250~350 mm,年平均风速 1.8 m/s,冬春风沙天气较多。该县土壤类型主要是灰钙土,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。盐池县植被上属亚欧草原,植被类型有灌丛、草原、草甸、沙地植被和荒漠化草原植被^[4]。

1.2 测定内容与方法

2011 年 7—8 月,在宁夏盐池沙化草地区选择存在一定沙化梯度的多个样地,在样地中沿着沙漠化梯度设立固定规格的样带(100 m×100 m),然后按照植被生长状况和地面风蚀沙化程度将样带划分为轻度、中度、重度、极度沙化 4 种沙化草地类型。在每个样带内按一定间隔设置数个 1 m×1 m 样方,在各样方内测定群落组成及各物种的高度、盖度、频度、密度、地上生物量。

在测定植被的每个样方内设 3 个取样点,按“V”形分别在 0—5, 5—20, 20—50, 50—100 cm 土层取样,将同层的 3 个土样混合均匀装袋风干后,用研钵磨细,分别过 1.00 和 0.25 mm 筛,储存备用。在实验室对各样品进行化学分析,具体测定方法为^[5]:土壤有机质的测定采用重铬酸钾容量法—外加热法;土壤全氮量测定用凯氏定氮法;土壤水解氮测定用碱解扩散法;土壤速效磷测定用 NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法;土壤速效钾测定用 NH₄OAc 浸提—火焰光度计法;土壤 pH 值(H₂O 1:5)测定用 PHS-25 酸度计;土壤盐分测定用电导法;土壤容重测定用环刀法。

1.3 数据处理与分析

1.3.1 重要值^[6] 重要值=(相对频度+相对高度+相对盖度+相对多度)/4

1.3.2 多样性指数^[7]

(1) 丰富度指数(R): $R=S$

式中: S ——样方内的物种总数。下同。

(2) 均匀度指数(E): $E=H/\ln S$

式中: H ——多样性指数。

(3) 多样性指数(H): $H=-\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$

式中: $P_i=N_i/N$, N_i ——物种 i 的绝对重要值; N ——物种 i 所在样方的所有物种的重要值之和。

1.3.3 群落相似性系数 C_j ^[8]:

$$C_j=j/(a+b-j)$$

式中: j ——样地 A 和 B 中共有种数; a, b ——样地 A, B 中的物种数。

数据采用 Excel 和 DPS 7.05 统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 草地沙化对植被特征的影响

2.1.1 草地沙化对植物物种组成的影响 在研究区调查样地内共出现 41 种植物(表 1),分属 13 科。其中豆科 9 种,占总物种数的 21.6%;菊科 8 种,禾本科 7 种,分别占 19.5%和 17.6%;藜科 6 种,占 14.6%。以上 4 大类共占试区植物物种总数的 73.3%。随着沙化程度的加重,多年生草本植物所占物种百分比数逐渐降低,由 67.74%降低到 46.15%,而一年生草本植物所占物种百分比数逐渐增加,由 16.13%增加到 42.31%。由此可见,草地沙化演替过程中,多年生草本植物逐渐被一年生植物替代。由表 1 可以看出,在沙化起始阶段,轻度沙化草地群落组成中,优势种和主要伴生种仍为草原成分,如短花针茅、糙隐子草、牛枝子等。随着沙化程度加剧,一年生杂类草开始增加,如蒺藜、地锦、刺沙蓬、小画眉草等,同时出现了一些对草原沙漠化具指示意义的表征植物刺蓬、老瓜头等,且呈增加趋势。到重度沙化阶段,上述的草原成分明显消退,代之而起的优势种是适合在覆沙地生长的白草、赖草等多年生禾草和老瓜头、甘草、刺蓬、地锦等杂类草。

2.1.2 草地沙化对植物群落特征的影响 由表 2 可以看出,丰富度指数变化趋势是自轻度沙化草地到中度沙化草地显著增加($p<0.05$),自中度沙化草地至极度沙漠化草地,随着沙化程度的增加又显著降低($p<0.05$),说明这两个时期是物种数变化最快的时期。均匀度指数、多样性指数变化趋势为轻度沙化草地到中度沙化草地增加,自中度沙化草地至极度沙化草地,随沙化程度的增加先降低后又增加,这说明中度沙化阶段草地是植物群落特征变化的重要转折时期。

表 1 不同沙化程度草地的植物群落组成及其重要值

物种名称	科名	生活型	沙化程度			
			轻度	中度	重度	极度
狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)	禾本科	一年生草本	0.17	2.91	1.55	0.33
小画眉草(<i>Eragrostis minor</i>)	禾本科	一年生草本	—	—	—	2.54
糙隐子草(<i>Cleistogenes squarrosa</i>)	禾本科	多年生草本	6.22	9.08	3.63	—
赖草(<i>Leymus secalinus</i>)	禾本科	多年生草本	1.89	3.15	29.62	13.85
中亚白草(<i>Pennisetum flaccidum</i>)	禾本科	多年生草本	0.07	3.88	2.56	28.22
沙芦草(<i>Agropyron mongolicum</i>)	禾本科	多年生草本	6.87	4.25	—	1.75
短花针茅(<i>Stipa breviflora</i>)	禾本科	多年生草本	34.83	12.09	4.01	—
草木樨状黄芪(<i>Astragalus melilotoides</i>)	豆科	多年生草本	0.61	2.05	—	—
砂珍珠豆(<i>Oxytropis racemosa</i>)	豆科	多年生草本	1.97	2.45	0.41	—
狭叶米口袋(<i>Gueldenstaedtia stenophylla</i>)	豆科	多年生草本	1.68	1.40	0.37	—
甘草(<i>Glycyrrhiza uralensis</i>)	豆科	多年生草本	0.84	—	2.08	4.61
披针叶黄华(<i>Thermopsis lanceolata</i>)	豆科	多年生草本	0.07	0.06	0.37	1.94
苦豆子(<i>Sophora alopecuroides</i>)	豆科	半灌木	1.67	0.88	6.76	4.43
塔落岩黄芪(<i>Hedysarum laeve</i>)	豆科	半灌木	3.45	0.77	0.2	—
牛枝子(<i>Lespedeza potaninii</i>)	豆科	半灌木	11.94	22.17	6.86	2.11
刺叶柄棘豆(<i>Oxytropis aciphylla</i>)	豆科	半灌木	1.68	1.12	0.67	—
猪毛蒿(<i>Artemisia scoparia</i>)	菊科	一年生草本	4.73	4.82	0.81	3.37
叉枝鸦葱(<i>Scorzonera divaricata</i>)	菊科	多年生草本	0.41	3.02	1.17	0.56
阿尔泰狗哇花(<i>Heteropappus altaicus</i>)	菊科	多年生草本	1.05	4.39	1.78	—
丝叶山苦蕒(<i>Ixeris chinensis var. gramini folia</i>)	菊科	多年生草本	0.64	2.43	2.21	3.75
沙地旋覆花(<i>Inula salsoloides</i>)	菊科	多年生草本	—	—	0.06	—
中华苦蕒菜(<i>Ixeris chinensis</i>)	菊科	多年生草本	—	1.04	—	—
刺儿菜(<i>Cirsium arvense var. integrifoliam</i>)	菊科	多年生草本	0.34	—	—	—
黑沙蒿(<i>Artemisia ordosica</i>)	菊科	半灌木	—	—	0.04	2.27
猪毛菜(<i>Salsola collina</i>)	藜科	一年生草本	1.15	2.27	0.48	4.55
瘤果虫实(<i>Corispermum tylocarpum</i>)	藜科	一年生草本	0.03	3.25	4.32	4.27
尖头叶藜(<i>Chenopodium acuminatum</i>)	藜科	一年生草本	—	—	3.49	0.26
星状刺果藜(<i>Bassia dasyphylla</i>)	藜科	一年生草本	—	—	1.10	0.32
砂蓝刺头(<i>Echinops gmelinii</i>)	藜科	一年生草本	—	—	1.15	—
刺蓬(<i>Salsola collina</i>)	藜科	一年生草本	1.58	3.63	7.94	7.89
乳浆大戟(<i>Euphorbia esula</i>)	大戟科	多年生草本	0.29	2.46	1.39	2.74
地锦(<i>Euphorbia humifusa</i>)	大戟科	一年生草本	—	0.11	0.55	1.76
蒺藜(<i>Tribulus terrestris</i>)	蒺藜科	一年生草本	—	0.27	0.5	0.05
葡根骆驼蓬(<i>Peganum nigellastrum</i>)	蒺藜科	多年生草本	3.40	0.39	7.49	2.76
二裂菱菱菜(<i>Potentilla bifura</i>)	蔷薇科	多年生草本	1.88	0.38	1.14	—
老瓜头(<i>Cynanchum mongolicum</i>)	萝藦科	多年生草本	0.81	1.34	1.36	2.84
戈壁天门冬(<i>Asparagus gobicus</i>)	百合科	半灌木	0.46	—	—	—
小叶黑柴胡(<i>Bupleurum smithii var. parvifolium</i>)	伞形科	多年生草本	2.21	0.08	—	—
远志(<i>Polyala tenuifolia</i>)	远志科	多年生草本	3.08	1.68	1.42	0.27
银灰旋花(<i>Convolvulus ammanii</i>)	旋花科	多年生草本	3.87	2.13	1.54	0.57
刺沙蓬(<i>Salsola gragus</i>)	苋科	一年生草本	—	—	—	0.46

表 2 不同沙化程度草地植物群落特征

项目	轻度沙化	中度沙化	重度沙化	极度沙化
植物群落优势种	短花针茅、牛枝子	牛枝子、短花针茅	赖草、牛枝子、刺蓬	白草、赖草、刺蓬
丰富度指数	10.00+2.38b	13.60+2.79a	10.00+4.08b	9.71+2.98b
多样性指数	2.03+0.23b	2.37+0.22a	1.97+0.35b	2.05+0.19b
均匀度指数	0.89+0.04ab	0.91+0.04a	0.87+0.04b	0.92+0.05a

注:不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

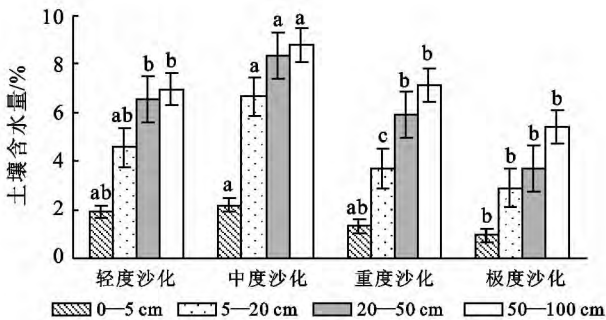
2.1.3 草地沙化对植物群落间相似性系数的影响
群落 β 多样性是反映群落物种沿某一环境梯度的替代程度,其实质是反映生境的变化程度或指示生境被物种分隔的程度^[9]。相似性系数是测度群落或生境物种多样性的最简便方法。从表 3 分析得,轻度沙化草地与中度沙化草地之间的群落相似性系数最大,相似系数为 0.823 5,中度沙化草地与重度沙化草地之间的相似性系数为 0.729 7,重度沙化草地与极度沙化草地之间的相似性系数为 0.638 8,可见,随着草地沙化程度差异增加,植物群落之间的相似性指数逐渐减小,异质性增大。

表 3 不同沙化程度草地植物群落相似性系数

沙化程度	轻度	中度	重度	极度
轻度	1.000 0			
中度	0.823 5	1.000 0		
重度	0.684 2	0.729 7	1.000 0	
极度	0.500 0	0.540 5	0.638 8	1.000 0

2.2 草地沙化对土壤特性的影响

2.2.1 草地沙化对土壤物理特性的影响 土壤水分



是植物生长发育的重要因子,水分含量及其空间分布直接影响着植被恢复效果。从土壤水分含量的垂直分布看(图 1),随着土层深度的增加土壤水分含量逐渐增加,但不同沙化程度草地的各层土壤水分含量变化有差异。0—5 cm 土层为中度沙化草地>轻度沙化草地>重度沙化草地>极度沙化草地,5—20,20—50,50—100 cm 土层均为中度沙化草地>轻度沙化草地>极度沙化草地>重度沙化草地。0—5 cm 土层土壤水分含量较低,最高达 2.18%,主要是因为研究区气候干燥而且表层土壤风蚀积沙,水分蒸发快,土壤表面水分入渗速度快。各不同沙化草地类型的各层土壤水分含量均表现显著差异($p < 0.05$)。中度沙化草地的 5—20 与 20—50 cm 土层土壤水分含量较同层的其他沙化草地类型差异显著($p < 0.05$)。

土壤容重大小可以反映土壤结构、透气性、透水性能以及保水能力的高低。很多研究表明^[10-12],随着草地沙化程度加剧,土壤容重总体呈逐渐增加趋势,变化范围在 1.22~1.36 g/cm³。由图 1 的土壤容重可以看出,0—5 cm 土层容重显著高于 5—20 cm 土层($p < 0.05$)。

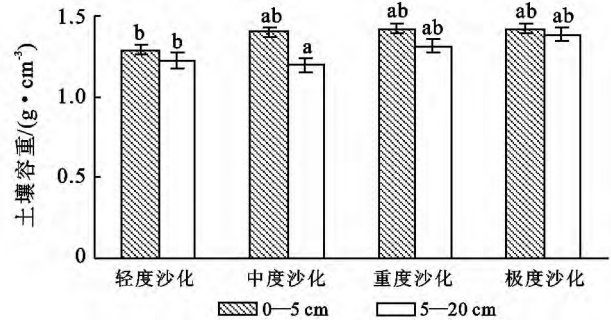


图 1 不同沙化程度草地土壤物理特性的差异

2.2.2 草地沙化对土壤化学特性的影响 由表 4 可以看出,土壤有机质含量随着沙化程度的加剧呈逐渐下降的趋势,轻度沙化与极度沙化草地相比,有机质含量下降了 41.78%。在 0—5 cm 土层,重度到极度沙化草地土壤有机质含量变化差异显著高于轻度到重度沙化草地($p < 0.05$),说明重度沙化阶段是有机质含量变化的转折期。在极度沙化阶段,有机质含量在 0—5 cm 土层显著低于 5—20 cm 土层($p < 0.05$),这是由于牲畜的过度采食使草地植物的地上部分返还到土壤中的有机质大量减少,在极度沙化下,植物极少生长,枯枝落叶已不再是土壤有机质的主要来源,植物的根系及其分泌物成为土壤有机质的主要来源,所以在极度沙化下,有机质含量在 0—5 cm 土层显著低于 5—20 cm 土层($p < 0.05$)。

随着沙化程度加剧土壤全氮含量呈逐渐降低趋

势,且差异显著($p < 0.05$)。土壤水解氮含量在垂直土层序列上的变化为随着土层的加深,轻度和中度沙化草地的水解氮含量逐渐减小且存在显著差异($p < 0.05$),重度和极度沙化草地的水解氮含量逐渐增加且差异显著($p < 0.05$)。不同沙化程度草地土壤速效钾含量存在显著差异($p < 0.05$),变化范围在 105.92~139.85 mg/kg,0—20 cm 土层速效钾含量变化趋势为重度沙化草地>轻度沙化草地>极度沙化草地>中度沙化草地。随着草地沙化程度加剧,同层间土壤速效磷含量无显著差异($p > 0.05$),0—5 与 5—20 cm 土层含量变化较大,由 5.22 mg/kg 下降到 2.29 mg/kg。0—5 cm 土层速效磷含量随着草地沙化程度的加剧而逐渐上升,在极度沙化草地阶段又下降到比轻度沙化阶段低,5—20 cm 土层速效磷含量随着草地沙化程度的加剧而呈逐渐增加的趋势。

表 4 不同沙化程度草地土壤化学特性的差异

土层/ cm	沙化 程度	有机质/ (g · kg ⁻¹)	全氮/ (g · kg ⁻¹)	水解氮/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	pH 值	全盐/ %
0—5	轻度	5.95+2.30a	0.45+0.12a	14.14+5.24a	137.63+5.64a	4.69+0.89	9.31+0.23	0.10
	中度	5.19+0.61a	0.39+0.08ab	14.50+3.44a	129.59+2.80ab	5.02+1.01	9.35+0.33	0.10
	重度	4.62+1.79ab	0.35+0.10bc	11.90+6.69ab	158.42+5.33a	5.22+1.43	9.27+0.21	0.10
	极度	2.85+0.71c	0.26+0.02bc	7.71+2.98b	123.31+2.29b	4.39+1.56	9.40+0.25	0.10
5—20	轻度	5.42+1.86a	0.40+0.10a	11.00+4.62a	84.29+8.98b	2.29+0.56	9.37+0.22	0.29+0.06
	中度	4.74+1.05ab	0.37+0.07a	8.80+2.62ab	82.24+1.73b	2.30+0.91	9.46+0.16	0.40+0.35
	重度	4.47+1.59ab	0.35+0.12ab	12.10+6.69a	121.27+4.02a	2.66+0.87	9.31+0.23	0.30+0.05
	极度	3.77+1.73b	0.32+0.09b	8.28+4.23b	94.31+1.55ab	2.96+0.97	9.39+0.29	0.25+0.05

pH 值常用来表示土壤酸碱度,它是土壤最重要的化学性质之一,它与有机质的合成与分解、土壤微生物的活动、各种营养元素的转化与释放及有效性、土壤保持养分的能力都有关系。研究区土壤多属于沙质土,pH 值在 9 以上,呈偏碱性。随着草地沙化的加剧,同一土层的 pH 值变化无显著差异($p > 0.05$);随着沙化草地土层的加深,土壤全盐含量升高,5—20 cm 土层含量显著高于 0—5 cm 土层($p < 0.05$)。这主要是因为降水使盐基离子从上层土壤淋溶,在下层土壤聚集,致使上层土壤含量值低于下层土壤。

3 结论

(1) 草原沙化主要是植被和土地退化的过程,草原植被群落不同的退化阶段与土壤沙化不同的发展阶段是相一致的,尽管其他一些指标直接或间接地影响着沙化的进程,但它们都可以归结到植被的发展变化过程而得到具体的反映^[13-14]。随着草地沙化程度的加剧,植被组成发生变化,多年生草本植物呈逐渐减少,一年生草本植物呈逐渐增加的趋势。在沙化起始阶段,轻度沙化草地群落组成中,优势种和主要伴生种仍为草原成分,如短花针茅、糙隐子草、牛枝子等,随着沙化程度加剧,一年生杂类草开始增加,如蒺藜、地锦、刺沙蓬、小画眉草等,同时出现了一些对草原沙化具指示意义的表征植物刺蓬、老瓜头等,且呈增加趋势。到重度沙化阶段,以上的草原成分明显消退,代之而起的优势种是适合在覆沙地生长的白草、赖草等多年生禾草和老瓜头、甘草、刺蓬、地锦等杂类草。可见,随着沙化程度的加剧,土壤地表粗化,原有的草原物种失去了竞争优势,逐步让位于一些耐干旱、抗风蚀的一年生和多年生草本,并最终被一些耐风蚀沙埋的沙生植物取代。因此,随着沙化的加重,这些草原物种由优势种逐渐变为亚优势种直至极度沙化草地完全消失;同时,一些耐风蚀沙埋的沙生植物随着沙化的加剧而逐渐增加,并最终成为极度沙

化草地的优势物种。

(2) 草原沙化过程其实质是一个物种消亡的过程,也是一个物种多样性衰减的过程^[15]。物种多样性表征着生物群落和生态系统的结构复杂性,体现了群落的结构类型、发展阶段、稳定程度和生境差异。本研究在轻度到中度沙化草地阶段,物种多样性指数增加,自中度至极度沙化草地,呈先降低后又增加的趋势,说明中度沙化阶段是草地植物群落特征变化的重要转折时期,这与前人研究一致^[15-16]。随着草地沙化程度差异增加,植物群落之间的相似性指数逐渐减小,且相似性系数变化范围不大,说明自轻度沙化草地至极度沙化草地过程,物种替代不明显,相邻草地群落结构表现出渐变特征。

(3) 土壤是生态系统中诸多生态过程的参与者和载体,土壤结构和养分状况是度量生态系统生态功能维持的关键指标之一^[17]。土壤有机质、氮、磷是土壤重要的组成部分和营养元素,它们对土壤肥力的调节和土壤物理性状的改善起着非常重要的作用^[18]。随着沙化程度的加剧,土壤水分含量从垂直分布看,表层土壤含水量最低,随着土层深度的增加而增大;土壤容重随着沙化程度的加剧,总体呈逐渐增加的趋势,大小随着土层深度的增加而降低;表层土壤有机质和全氮含量呈降低趋势;速效磷、速效钾含量随着土层深度的增加而降低,其整体变化具有波动性,没有明显的规律可循,是由于外界干扰还是土壤本身特性的体现,有待进一步探讨。总体来看,研究区土壤紧实,水分含量低,养分贫瘠,pH 值高。

[参 考 文 献]

- [1] 刘满仓. 盐池县草原沙漠化的现状、成因与对策[J]. 草业科学, 2002, 19(6): 5-6.
- [2] 文妙霞, 李谭宝, 吴海平. 盐池县沙化土地及其利用动态变化分析[J]. 水土保持通报, 2004, 24(5): 83-85.
- [3] 刘孝勇, 宋乃平, 何秀珍. 北方农牧交错带草地建植模式及效益比较研究: 以宁夏盐池县马儿庄为例[J]. 草业科

- 学,2011,28(5):813-818.
- [4] 张克斌,李瑞,侯瑞萍.宁夏盐池县不同荒漠化治理措施植物多样性研究[J].中国水土保持科学,2004,2(4):66-72.
- [5] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [6] 任继周.草业科学研究方法[M].北京:中国农业出版社,1998:15-28.
- [7] 马克平.生物群落多样性的测度方法[M].北京:中国科学技术出版社,1994:141-165.
- [8] 曹成有.科尔沁沙地退化生态系统植被恢复与重建机制的研究[D].沈阳:中国科学院沈阳应用生态研究所,2002.
- [9] Wilson M V, Schmidt A. Measuring beta diversity with presence-absence data[J]. Journal of Ecology, 1984, 72: 1055-1064.
- [10] 朱志梅,杨持,曹明明.多伦草原土壤理化性质在沙漠化过程中的变化[J].水土保持通报,2007,27(1):1-5.
- [11] 赵哈林,黄学文,何宗颖.科尔沁地区农田土壤沙漠化演变的研究[J].土壤学报,1996,33(3):242-248.
- [12] 赵存玉,赵文智.河北丰宁坝上土地沙漠化现状及其综合整治的研究[J].干旱区资源与环境,1994,8(1):80-85.
- [13] 朱震达,陈广庭.中国土地沙质荒漠化[M].北京:科学出版社,1994.
- [14] 高尚武,王葆芳,朱灵益,等.中国沙质荒漠化土地监测评价指标体系[J].林业科学,1998,34(2):1-10.
- [15] 陈文业,郑华平,戚登臣.甘南玛曲高寒草甸草地沙化的研究[J].草原与草坪,2008,2(2):77-80.
- [16] 许冬梅,赵丽莉,谢应忠.盐池县草地沙漠化过程中植物群落的动态变化[J].西北植物学报,2011,31(10):2084-2089.
- [17] 苏永中,赵哈林,张铜会,等.科尔沁沙地旱作农田土壤退化的过程和特征[J].水土保持学报,2002,16(1):25-28.
- [18] 李菊梅,王朝辉,李生秀.有机质、全氮和可矿化氮在反应土壤供氮能力方面的意义[J].土壤学报,2003,40(2):33-35.

(上接第 24 页)

- [14] Cabrera J G, Lynsdale C J. A new gas permeameter for measuring the permeability of mortar and concrete [J]. Magazine of Concrete Research, 1988, 40(144): 177-182.
- [15] Stormont J C, Daemen J J K. Laboratory study of gas permeability changes in rock salt during deformation [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 1992, 29(4):325-342.
- [16] 孔祥言.高等渗流力学[M].合肥:中国科技大学出版社,1999.
- [17] 陈胜华,郭陶明,胡振琪,等.压实强度对煤矸石山覆盖材料空气阻隔性的影响[J].煤炭科学技术,2013,41(11):116-119.
- [18] 侍倩,曾亚武.岩土力学实验[M].武汉:武汉大学出版社,2006.
- [19] Kallel A, Tanaka N, Matsutot T, et al. Gas permeability and tortuosity for packed layers of processed municipal solid wastes and incinerator residue [J]. Waste Manage Research, 2004, 22(3):186-194.
- [20] 东南大学,浙江大学,湖南大学,等.土力学[M].北京:中国建筑工业出版社,2001
- [21] 中华人民共和国水利部.土工试验方法标准(GB/T50123-1999)[S].北京:中国计划出版社,1999.
- [22] Teh C I, Houlby G T. An analytical study of the cone penetration test in clay [J]. Geotechnique, 1991, 41(1):17-34.
- [23] 孙海运,李新举,胡振琪,等.马家塔露天矿区复垦土壤质量变化[J].农业工程学报.2008,24(12):205-209.
- [24] 中文第一公路工程局有限公司.GB/T50123-1999 公路路基施工技术规范[S].北京:人民交通出版社,2006.