

# 宁夏东部风沙区荒漠草原植物群落物种多样性研究

秦建蓉<sup>1</sup>, 马红彬<sup>1,2\*</sup>, 沈艳<sup>1,2</sup>, 谢应忠<sup>1,2</sup>, 俞鸿千<sup>2</sup>, 李小伟<sup>1,2</sup>

(1 宁夏大学 农学院草业科学研究所, 银川 750021; 2 宁夏大学 西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 银川 750021)

**摘要:**通过野外植被调查,研究了宁夏东部风沙区荒漠草原植物群落组成与结构、物种多样性变化;采用典范对应分析(CCA)对植物群落分布与土壤性状关系进行了分析。结果表明:(1)风沙区荒漠草原物种较为单一,多集中在6~13种;不同群落类型间地上生物量和盖度差异显著;群落内竞争性较弱的物种减少,优势种具有较高的重要值。(2)群落间物种多样性差异显著,但变化趋势并不一致;物种多样性指数与丰富度指数、均匀度指数的相关系数分别为0.975 7和0.880 2,而与优势度指数相关系数为-0.519 8。(3)CCA结果表明,土壤含水率、有机质以及氮磷钾含量较高、容重小时,植物物种相对丰富;对群落分布影响较大的环境因子是土壤水分、容重和土壤有机质,相关系数分别为-0.742 8、0.683 8、0.532 9,物种和群落二者在CCA排序轴相关性较大的土壤因子较为一致。研究认为,宁夏东部风沙区荒漠草原植物优势种在群落中的地位明显,物种丰富度对植物多样性的影响大于均匀度,土壤水分是影响该区草原植物群落分布的决定性环境因子。

**关键词:**风沙区;荒漠草原;物种多样性;典范对应分析;土壤性状

**中图分类号:**Q948.1      **文献标志码:**A

## Plant Community Species Diversity of Desert Steppe in Sandy Area of Eastern Ningxia

QIN Jianrong<sup>1</sup>, MA Hongbin<sup>1,2\*</sup>, SHEN Yan<sup>1,2</sup>, XIE Yingzhong<sup>1,2</sup>, YU Hongqian<sup>2</sup>, LI Xiaowei<sup>1,2</sup>

(1 Grassland Science Institute of Agricultural College, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2 State Key Laboratory Breeding Base of Land Degradation and Ecological Restoration of North-western China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** The research of plant species diversity has a great impact on ecological construction. With the vegetation data of field survey, we studied the desert steppe community composition and structure in sandy area of Eastern Ningxia, the vertical variation of species diversity, and canonical correspondence analysis (CCA) the contact between plant community distribution and soil character. The results showed that: (1) the species of desert steppe in sandy area was simple, with only 6—13 species. There was a significant difference between aboveground and coverage in different community types. The weak competitive species in community decreased, and the dominants have higher important value. (2) The species diversity index was significantly different among communities, but the variation tendency was not consistent. The correlation coefficient between diversity index and richness index, evenness index were 0.975 7 and 0.880 2, respectively, but the correlation coefficient of dominant index is -0.519 8. (3) In the analysis of CCA, the content of soil moisture, organic matter and NPK were higher. Soil bulk density lower, plant species abundance, relatively; soil moisture, soil bulk density and soil organic matter played a leading role in community

收稿日期: 2015-03-25; 修改稿收到日期: 2015-06-30

基金项目: 国家林业公益性行业专项(31001032); 宁夏回族自治区科技支撑重大专项(2012)

作者简介: 秦建蓉(1990—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事草地生态与资源环境研究。E-mail: yayu-qin@qq.com

\* 通信作者: 马红彬, 博士, 教授, 主要从事草地生态与草地管理研究。E-mail: ma\_hb@nxu.edu.cn

distribution, the correlation coefficient are  $-0.7428$ ,  $0.6838$ ,  $0.5329$ , respectively. Species and community both in the axis of CCA about soil factor relevance have a consistency. The results indicated that, the desert steppe plant in sandy area of eastern Ningxia, dominants have extremely status and roles; the contribution rate of species richness to plant diversity is greater than that of evenness to plant diversity; soil moisture plays a decisive role to plant community distribution in this area.

**Key words:** sandy area; desert steppe; species diversity; CCA; soil character

植被多样性体现了植物群落功能的复杂性, 展现了群落的构造特点、生境差异、发展阶段, 是呈现植被组织水平的生态学基础<sup>[1-2]</sup>。植物群落的构造特点以及物种多样性属群落生态学重要的研究范畴, 多样性响应了种间生态位的差异, 受群落与环境条件的影响<sup>[3]</sup>。荒漠化是气候异常与人类活动综合作用的结果, 中国荒漠化土地占国土面积的  $1/5$ <sup>[4]</sup>, 大多分布于西北地区, 地域广阔、生境复杂、物种资源丰富, 极具独特性。风沙区是中国土地荒漠化最为严重的地区之一, 急剧发展的荒漠化已对中国荒漠草原的植被多样性构成了严重威胁。在更多情况下, 随着荒漠化加剧, 土壤理化性质变劣、物种丰富度降低。因此, 研究风沙区荒漠草原植被多样性对该区物种保护和生态建设具有重要意义<sup>[4]</sup>。

国内外已有对草地植被多样性研究的相关文献<sup>[5]</sup>。对东北草原<sup>[6]</sup>、内蒙古荒漠草原<sup>[7]</sup>、科尔沁沙地<sup>[8]</sup>、新疆荒漠草原<sup>[9]</sup>等地区的草地植被多样性研究已有相关报道。部分运用典型取样法研究了植被多样性的结构与组成<sup>[10-12]</sup>, 人类活动对草地植被多样性的影响<sup>[13-15]</sup>, 生态环境变化与植被演替的相互关系等<sup>[16-17]</sup>。宁夏东部风沙区荒漠草原地处毛乌素沙地南缘, 是宁夏重要的生态屏障和牧业基地, 也是中国“两屏三带”生态安全体系建设的关键区域, 生态系统极端脆弱。针对宁夏荒漠草原, 研究发现植被盖度与群落地上生物量的相关性不显著<sup>[18]</sup>、降雨量与植被生长密切相关<sup>[19]</sup>、放牧强度与群落结构和产草量相关性显著等<sup>[20]</sup>, 但关于该区草地植被多样性的研究鲜有报道。为此, 选择宁夏东部风沙区荒漠草原的不同植物群落类型, 对其多样性及物种与土壤性状的关系进行研究, 可为该区草原生态恢复和物种多样性保护提供重要理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于宁夏盐池县中北部,  $37^{\circ}44' \sim 38^{\circ}10' N$ ,  $106^{\circ}50' \sim 107^{\circ}40' E$ , 北与毛乌素沙地相连, 南与黄土高原接壤, 属于典型的宁夏东部风沙区。地形自北向南由鄂尔多斯缓坡丘陵向黄土丘陵过渡, 气

候属于典型的中温带大陆性气候, 年均气温为  $8.1^{\circ}C$ , 年降雨量为  $250 \sim 350$  mm<sup>[21]</sup>, 年蒸发量为  $2403.7$  mm<sup>[22]</sup>。地带性土壤为淡灰钙土, 地带性植被为荒漠草原, 植被以旱生和中旱生植物类型为主<sup>[23]</sup>。由于长期过度放牧、垦荒、樵采和不合理开发, 该区荒漠草原退化严重, 土地沙化面积不断扩大。2003 年封育禁牧以来, 草地生态环境显著改善。按 20 世纪 90 年代草地资源调查结果, 该区荒漠草原共有种子植物 331 种, 分属 57 科, 221 属, 分布有中亚白草 (*Pennisetum centrasiaticum*)、猪毛蒿 (*Artemisia scoparia*)、牛枝子 (*Lespedeza potaninii*)、油蒿 (*Artemisia ordosica*)、短花针茅 (*Stipa breviflora*)、柠条 (*Caragana korshinskii*)、乌拉尔甘草 (*Glycyrrhiza uralensis*)、苦豆子 (*Sophora alopecuroides*) 等群落, 这为研究风沙区荒漠草原植被物种多样性提供了良好条件。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 调查样地设置** 根据该区草原类型图, 结合研究区 2010 年植被遥感影像图, 先对宁夏东部风沙区荒漠草原进行实地概查。在掌握区域内植物群落类型分布、物种组成等基本情况后, 依据概查结果, 在不同植物群落类型的典型地段设置调查样地。每个群落类型设置 3 个  $200\text{ m} \times 200\text{ m}$  调查样地, 共设置 27 个样地。在每个样地中, 按对角线方向等距设置 5 个  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$  样方 (灌丛或半灌丛) 或  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  样方 (草本) 用于植被调查; 在样地内按“S”形布置 5 点采集土样, 用于测定土壤容重和水分。

**1.2.2 测定项目和方法** 调查时间为 2013 年 7 月至 2014 年 9 月, 调查时记录每个样地的地理位置、海拔高度。在每个样地采用样圆法测定物种频度, 3 次重复; 对每个物种随机测定 30 株的自然高度作为其平均高度; 在每个样方中分种测定植被的盖度和密度, 然后将样方内植物分种齐地面剪下, 带回实验室在  $65^{\circ}C$  干燥箱烘至恒重获得地上生物量。考虑表层土壤性状对植被变化的响应较下层土壤敏感, 结合在该区多年研究经验, 在测定植被的同时用环刀法测定  $0 \sim 5\text{ cm}$ ,  $5 \sim 15\text{ cm}$ ,  $15 \sim 30\text{ cm}$  的土壤容重, 采集相应土层土样。每隔 3 个月采用 TDR 探

针分层测定土壤水分,共测定 5 次。将采集到的土样带回实验室处理用电位法测定 pH 值,用重铬酸钾容量法测定有机质含量,近红外光谱法测定速效钾和速效磷含量,微量凯氏定氮法测定全氮含量,质量法测定全盐含量。

**1.2.3 群落类型的划分** 依据草原综合顺序分类法,计算样地内物种优势度,确定优势种,进行群落划分和命名<sup>[24]</sup>。根据划分结果,调查区分布有中亚白草群落、猪毛蒿群落、牛枝子群落、油蒿半灌丛群落、短花针茅群落、乌拉尔甘草群落、赖草(*Leymus secalinus*)群落、苦豆子群落、白刺(*Nitraria tangutorum*)群落。鉴于后 3 个群落面积小且零星分布,本研究主要分析前 6 个群落。

### 1.3 数据处理和分析

**1.3.1 多样性指数计算** 根据植被调查数据,计算物种重要值和丰富度、优势度、多样性和均匀度指数,公式如下:

$$\text{物种重要值计算}^{[25]}: IV = (Dr + Hr + Cr) / 3$$

式中:IV 表示重要值;Dr 表示相对密度;Hr 表示相对高度;Cr 表示相对盖度。

$$\text{Margalef 物种丰富度指数}^{[26]}: Ma = (S - 1) / \ln N$$

$$\text{Simpson 优势度指数}^{[27]}: C = \sum (P_i)^2$$

$$\text{Shannon-Wiener 多样性指数}^{[28]}:$$

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

$$\text{Pielou 均匀度指数}^{[29]}: J = H' / \ln S$$

式中:S 为物种总数;N 为物种总个体数; $N_i$  为  $i$  种的绝对重要值; $P_i$  为物种  $i$  的重要值。

**1.3.2 典范对应分析** 典范对应分析 (canonical correspondence analysis, CCA) 是数量生态学中分析物种分布与其生存环境关系时常用的一种方法<sup>[30]</sup>。其原理是对群落样方内的排序值与环境因子进行多元线性回归,再用样方排序值求物种排序值,使物种排序值与环境因子产生关联<sup>[31]</sup>。CCA 排序能结合多个环境因子,可将样方、物种、环境因子的排序结果显示在同一排序图中。本研究采用 Canono 4.5 软件进行典范对应分析 (CCA)。CCA 排序图中,箭头所在象限代表环境因子与各个排序轴之间正负相关性,其连线的长度表示环境因子和物种分布的相关程度,连线越长,表明相关性越大,反之越小;箭头连线与排序轴的夹角则表示该环境因子与排序轴的相关性,其夹角越小,说明该环境因子与排序轴的相关性越大<sup>[32]</sup>。

**1.3.3 其它数据分析** 数据用 Excel 处理后,用 DPS 7.05 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同类型草地植物群落组成与结构

重要值作为一种综合性指标,较客观地表示了群落中某个物种的相对重要性和其在群落的地位及作用<sup>[33]</sup>。盖度及生物量是判断植被生长状况和生产力的重要生态学参数<sup>[18]</sup>。由表 1 可知,宁夏东部风沙区荒漠草原植物群落物种种类多在 6~13 种,猪毛蒿群落物种种类较多,达到 13 种,甘草群落物种种类最少,仅为 1 种。群落间优势种重要值差异不显著,但各群落优势种重要值均较高,这与严酷的环境致使群落内竞争性较弱的物种减少有关。群落盖度表现为牛枝子群落最高,其次为油蒿半灌丛,最低为猪毛蒿群落。地上生物量不同草地群落间呈极显著性差异 ( $P < 0.01$ ),从油蒿半灌丛、猪毛蒿、中亚白草、短花针茅、牛枝子群落到乌拉尔甘草群落呈下降趋势。猪毛蒿群落的物种较为丰富,虽优势种的重要值及盖度较低,但其生物量较高。牛枝子群落的优势种在群落中的地位最为明显。

### 2.2 草地群落间物种多样性

多样性计算表明(表 2),不同类型草地群落间物种的丰富度指数差异极显著 ( $P < 0.01$ ),表现为猪毛蒿群落最高,其它 5 个群落间差异不显著。均匀度指数以猪毛蒿群落最高,中亚白草和短花针茅群落较低,丰富度指数和均匀度指数在群落间的变化趋势不完全一致。多样性指数是物种丰富度和均匀度相结合的统计量<sup>[34]</sup>,从表 2 中可见,多样性指数表现为猪毛蒿群落最高,短花针茅群落最低 ( $P < 0.05$ )。优势度表现为中亚白草、油蒿和短花针茅群落较高,猪毛蒿群落最低。

对 6 种草地群落的物种丰富度指数、均匀度指数、优势度以及多样性的相关性分析结果表明,多样性与物种丰富度的相关系数为 0.975 7,与均匀度的相关系数为 0.880 2,而与优势度指数呈负相关,相关系数为 -0.519 8,说明宁夏东部风沙区荒漠草原植被丰富度对多样性的贡献率大于均匀度。

### 2.3 植物群落分布与土壤特性的典范对应分析 (CCA)

对 6 个群落内 38 个物种分布与 8 个土壤因子测定值(表 3)进行典范对应分析 (CCA),结果见表 4, Monte Carlo permutation test (蒙特卡洛检验)显示第一排序轴与所有排序轴均具有显著相关关系 ( $P < 0.01$ ),表明 CCA 排序的结果可信。表 5 显示,前两排序轴的特征值之和占全部排序轴总特征

表 1 宁夏东部风沙区不同草地植物群落特征

Table 1 Community features of grassland communities in sandy area of eastern Ningxia

群落类型 Community type	建群植物 Constructive plant	主要伴生种 Main companion species	优势种重要值 Important value of dominant species	盖度 Coverage /%	地上生物量 Aboveground biomass (g/m <sup>2</sup> )
A	牛枝子 <i>Lespedeza potaninii</i>	苦豆子、冠芒草、中华隐子草、猪毛蒿、狗哇花、猪毛菜、砂珍棘豆 <i>Sophora alopecuroides, Ennea pogon borealis, Cleistogenes chinensis, Artemisia scoparia, Aster hispidus, Salsola collina, Oxytropis racemosa</i>	0.52	83.06a	98.04bc
B	中亚白草 <i>Pennisetum centrasiatricum</i>	苦豆子、猪毛菜、猪毛蒿、狗尾草、叉枝鸦葱、乳浆大戟、油蒿、乌拉尔甘草、丝叶山苦荚、赖草、米口袋 <i>Sophora alopecuroides, Salsola collina, Artemisia scoparia, Setaria viridis, Scorzonera divaricata, Euphorbia esula, Artemisia ordosica, Glycyrrhiza uralensis, Ixeris chinensis, Leymus secalinus, Gueldenstaedtia verna</i>	0.38	43.75b	166.32bc
C	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	乌拉尔甘草、狗哇花、牛枝子、短花针茅、苦豆子、中亚白草、油蒿、短翼岩黄茛、砂珍棘豆、丝叶山苦荚、中华隐子草、二裂萎陵菜、叉枝鸦葱 <i>Glycyrrhiza uralensis, Aster hispidus, Lespedeza potaninii, Stipa breviflora, Sophora alopecuroides, Pennisetum centrasiatricum, Artemisia ordosica, Hedysarum brachypterum, Oxytropis racemosa, Ixeris chinensis, Cleistogenes chinensis, Potentilla bifurca, Scorzonera divaricata</i>	0.38	29.17c	267.19b
D	油蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	狗尾草、乌拉尔甘草、地锦、虫实、猪毛蒿、中亚白草、丝叶山苦荚 <i>Setaria viridis, Glycyrrhiza uralensis, Euphorbia humifusa, Corispermum hyssopi folium, Artemisia scoparia, Pennisetum centrasiatricum, Ixeris chinensis</i>	0.36	52.74b	419.67a
E	短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	猫头刺、老瓜头、猪毛蒿、狗哇花、短翼岩黄茛、猪毛菜、远志、中华隐子草、油蒿 <i>Oxytropis aciphylla, Cynanchum komarovii, Artemisia scoparia, Aster hispidus, Hedysarum brachypterum, Salsola collina, Polygala tenuifolia, Cleistogenes chinensis, Artemisia ordosica</i>	0.35	39.51b	125.95bc
F	乌拉尔甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	牛枝子、砂珍棘豆、叉枝鸦葱、猪毛菜、猪毛蒿、虫实 <i>Lespedeza potaninii, Oxytropis racemosa, Scorzonera divaricata, Salsola collina, Artemisia scoparia, Corispermum hyssopi folium</i>	0.37	29.41c	69.28c

注: A 为牛枝子群落, B 为中亚白草群落, C 为猪毛蒿群落, D 为油蒿群落, E 为短花针茅群落, F 为乌拉尔甘草群落, 下同。

Notes: A is *Lespedeza potaninii* community; B is *Pennisetum centrasiatricum* community; C is *Artemisia scoparia* community; D is *Artemisia ordosica* community; E is *Stipa breviflora* community; F is *Glycyrrhiza uralensis* community. The same as below

表 2 草地植物群落物种丰富度、均匀度、优势度和多样性指数

Table 2 Richness index, evenness index, domination index and diversity index of steppe plant communities

群落 Community	丰富度 $M_a$	均匀度 $J$	优势度 $C$	多样性 $H'$
A	8.40 ± 1.12b	0.92 ± 0.04ab	0.24 ± 0.04b	0.71 ± 0.07b
B	8.00 ± 0.91b	0.88 ± 0.09b	0.35 ± 0.03a	0.67 ± 0.08b
C	12.60 ± 2.21a	1.08 ± 0.19a	0.18 ± 0.09b	0.95 ± 0.07a
D	7.00 ± 0.03b	0.95 ± 0.12ab	0.28 ± 0.04a	0.58 ± 0.01c
E	7.00 ± 0.71b	0.83 ± 0.03b	0.25 ± 0.03ab	0.52 ± 0.05c
F	7.67 ± 1.20b	0.90 ± 0.06ab	0.23 ± 0.01b	0.63 ± 0.03bc

注: 同列数据后不同小写字母表示群落间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ ), 下同。

Note: Different normal letter after the same column data mean significant difference at 0.05 level, the same as below.

值的 58.82%, 解释了群落分布与各个土壤因子间关系的大部分信息, 排序结果较为理想。

排序结果(表 4)表明, 土壤水分、容重和有机质对群落分布的影响较大。土壤速效钾和容重与第一排序轴的相关性最大, 全盐与速效磷与第二排序轴的相关性最大, 第一排序轴主要反映了土壤速效钾和容重的变化, 自左向右土壤速效钾降低、容重值升高, 第二排序轴主要反映土壤全盐和速效磷的变化,

从上至下, 土壤全盐升高、速效磷降低。第一排序轴与土壤容重、土壤有机质呈显著正相关, 相关系数分别为 0.683 8、0.532 9, 而与土壤水分呈显著负相关, 与速效钾呈相关, 相关系数分别为 -0.742 8、-0.403 5; 第二排序轴与土壤有机质、全盐含量相关系数分别为 0.464 0 和 -0.286 3, 而且土壤水分在排序图中的箭头最长(图 1), 相关系数最高, 表明土壤水分是该区荒漠草原群落分布起决定性作用的

表 3 不同草地群落类型土壤主要性状(平均值±标准误)

Table 3 The main characters of soil in different grassland communities(average±standard error)

群落 Community	容重 Dulk density /(g/cm <sup>3</sup> )	酸碱度 Potential of hydrogen	有机质 Organic matter /(g/kg)	土壤水分 Soil moisture /%	速效钾 Available potassium /(mg/kg)	速效磷 Available phosphorous /(mg/kg)	全氮 Total nitrogen /(g/kg)	全盐 Total salt /(g/kg)
A	1.56±0.07b	7.31±0.21b	3.04±0.88c	12.65±2.49a	121.79±2.51b	3.72±0.19b	0.29±0.02b	0.19±0.03bc
B	1.55±0.05b	8.14±0.16a	4.06±1.03b	12.93±3.93a	146.79±1.29a	4.13±0.27a	0.31±0.01b	0.23±0.04ab
C	1.67±0.04a	9.44±0.23a	3.93±0.86b	7.03±1.65b	112.53±1.37b	3.58±0.11b	0.33±0.04ab	0.17±0.01c
D	1.67±0.08a	9.33±0.13a	4.88±0.87a	5.02±0.81b	150.91±1.42a	3.97±0.47a	0.39±0.02a	0.21±0.01b
E	1.54±0.05b	9.36±0.08a	4.36±0.68ab	6.18±0.88b	86.90±2.04c	3.57±0.29b	0.36±0.02a	0.25±0.06a
F	1.66±0.02a	9.41±0.15a	4.89±0.92a	7.66±1.06b	126.45±1.97b	4.10±0.13a	0.36±0.07a	0.24±0.02a

表 4 各土壤因子与排序轴的关系

Table 4 The relationship between soil factors and axes

土壤环境因子 Soil environment factor	第 1 排序轴 First axis	第 2 排序轴 Second axis	第 3 排序轴 Third axis	第 4 排序轴 Forth axis
容重 Dulk density	0.6838*	0.1619	-0.4423	-0.3059
酸碱度 Potential of hydrogen	0.1990	0.2841	-0.6134*	0.4442
有机质 Organic Matter	0.5329*	0.4640	-0.3782	0.3158
土壤水分 Soil moisture	-0.7428*	0.1684	0.4198	-0.2660
速效钾 Available Potassium	-0.4035	0.0189	-0.2731	-0.0969
速效磷 Available phosphorous	0.0769	0.2272	-0.1755	-0.3651
全氮 Total nitrogen	0.2740	0.2258	0.2003	0.3122
全盐 Total Salt	0.0789	-0.2863	-0.0553	0.3704

注: \* 表示呈显著性相关( $p < 0.05$ )

Note: \* mean significant correlation at 0.05 level

表 5 物种与土壤因子的 CCA 排序结果

Table 5 CCA results of species and soil factors

项目 Item	排序轴 Axis			
	1	2	3	4
特征值 Eigenvalues	0.743	0.477	0.477	0.377
物种与土壤环境的相关性 Species-soil environment correlations	0.978	0.973	0.934	0.905
物种变化率累计百分比 Cumulative percentage variance of species data	13.3	21.8	29.9	36.6
物种-土壤环境相关累计百分比 Cumulative percentage variance species-soil environment relation	25.7	42.1	57.6	70.6

环境因子。土壤因子的空间分布较好地指示了群落和物种的组成及分布,这与多数研究结果一致<sup>[35-37]</sup>。

**2.3.1 物种与土壤因子关系** 荒漠草原植物群落 38 个主要物种在 CCA 排序图的分布情况见图 1,a。可以发现,各主要物种与排序图的相对位置反映出不同的土壤因子均对物种产生一定作用,土壤容重和土壤水分含量在荒漠草原群落分布格局中起重要作用。多半物种分布于排序图的左侧,即土壤含水率和有机质以及氮磷钾含量较高、容重小的生境,物种相对丰富。从图 1 还可看出,物种和群落两者的 CCA 排序轴相关性较大的环境因子较为一致。

**2.3.2 群落与土壤因子关系** 由图 1,b 和表 4 可知,宁夏东部风沙区荒漠草原草地群落的 18 个样地

在排序图第一、二轴的相关位置,反映了荒漠草原土壤环境因子对其植物群落空间分布的影响。从各个土壤因子箭头连线的长短可以看出,8 个土壤因子均对荒漠草原群落的分布存在一定程度的影响。沿第一排序轴自左向右,各个群落很好地分散开,位于排序轴左侧的牛枝子、短花针茅群落分布于土壤水分含量较高、疏松多孔、有机质含量较多的生境,该类群落的酸碱度相对较低;而乌拉尔甘草、油蒿半灌丛、猪毛蒿、中亚白草等群落分布在排序轴的右侧,表明这些群落可生长在土壤紧实,碱性较大,水分状况较差,氮、磷、钾含量较低的生境。第二排序轴的贡献率为 16.4%,反映了群落的土壤全盐、速效磷、酸碱度、有机质、水分等的变化趋势。

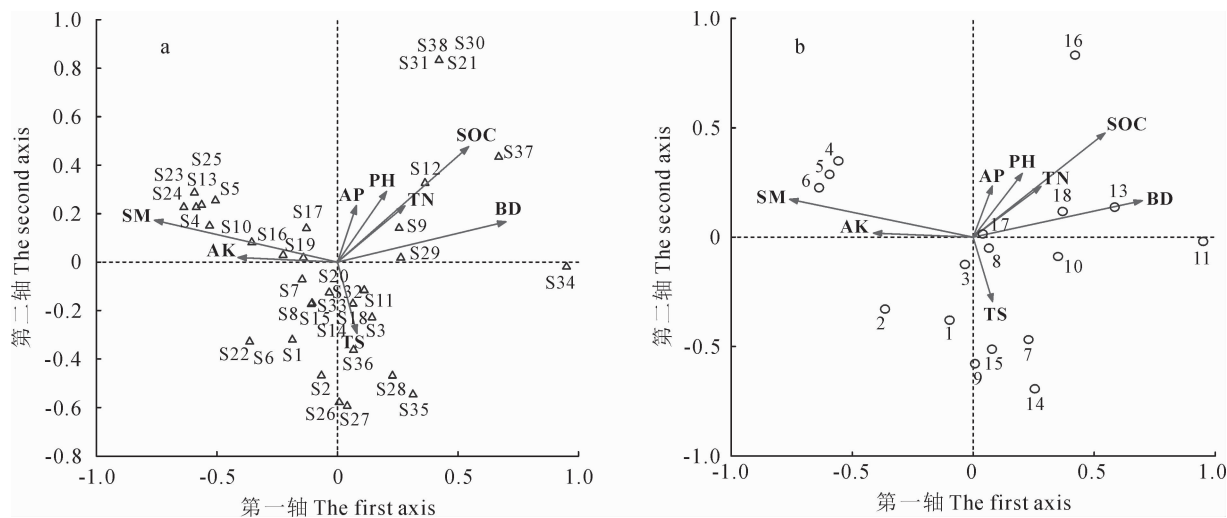


图 1 不同群落和物种与土壤环境因子的 CCA 排序图

a. 物种与环境因子; b. 群落与环境因子。(1)图 1 中: BD. 土壤容重; pH. 土壤酸碱度; SOC. 土壤有机质; SM. 土壤水分; AK. 土壤速效钾; AP. 土壤速效磷; TN. 土壤全氮; TS. 土壤全盐; (2)图 1, a 中: S1. 牛枝子; S2. 猫头刺; S3. 猪毛菜; S4. 短花针茅; S5. 银灰旋花; S6. 砂珍棘豆; S7. 猪毛蒿; S8. 二裂委陵菜; S9. 中亚白草; S10. 远志; S11. 乌拉尔甘草; S12. 狗尾草; S13. 中华隐子草; S14. 细叶鸢尾; S15. 米口袋; S16. 老瓜头; S17. 葡根骆驼蓬; S18. 地锦; S19. 细叶山苦荬; S20. 沙米; S21. 乳浆大戟; S22. 沙芦草; S23. 短翼岩黄芪; S24. 冷蒿; S25. 狗娃花; S26. 虎尾草; S27. 画眉草; S28. 锋芒草; S29. 虫实; S30. 赖草; S31. 油蒿; S32. 紫翅猪毛菜; S33. 牻牛儿苗; S34. 尖头叶藜; S35. 苦豆子; S36. 叉枝鸦葱; S37. 雾冰藜; S38. 沙地旋复花。(3)图 1, b 中: 样地 1, 2, 3 为牛枝子群落; 样地 4, 5, 6 为短花针茅群落; 样地 7, 8, 9 为猪毛蒿群落; 样地 10, 11, 12 为油蒿半灌丛群落; 样地 13, 14, 15 为乌拉尔甘草群落; 样地 16, 17, 18 为中亚白草群落

Fig. 1 CCA biplot of different communities, species and soil environment factors

a. Species and the environment factors; b. Community and environment factors; (1) In Figure 1: BD. Soil bulk density; pH. Potential of hydrogen; SOC. Soil organic matter; SM. Soil moisture; AK. Soil available potassium; AP. Soil available phosphorous; TN. Total soil nitrogen; TS. Total soil salt (2) In Figure 1, a: S1. *Lespedeza potaninii*; S2. *Oxytropis aciphylla*; S3. *Salsola collina*; S4. *Stipa breviflora*; S5. *Convolvulus ammannii*; S6. *Oxytropis racemosa*; S7. *Artemisia scoparia*; S8. *Potentilla bifurca*; S9. *Pennisetum centrasiaticum*; S10. *Polygala tenuifolia*; S11. *Glycyrrhiza uralensis*; S12. *Setaria viridis*; S13. *Cleistogenes chinensis*; S14. *Iris tenuifolia*; S15. *Gueldenstaedtia verna*; S16. *Cynanchum komarovii*; S17. *Peganum nigrillastrum*; S18. *Euphorbia humifusa*; S19. *Ixeris chinensis*; S20. *Agriophyllum squarrosum*; S21. *Euphorbia esula*; S22. *Agropyron mongolicum*; S23. *Hedysarum brachypterum*; S24. *Artemisia frigida*; S25. *Aster hispidus*; S26. *Chloris virgata*; S27. *Eragrostis pilosa*; S28. *Tragus racemosus*; S29. *Corispermum hyssopi folium*; S30. *Leymus secalinus*; S31. *Artemisia ordosica*; S32. *Salsola affinis*; S33. *Erodium stephanianum*; S34. *Chenopodium acuminatum*; S35. *Sophora alopecuroides*; S36. *Scorzonera divaricata*; S37. *Bassia dasyphylla*; S38. *Inula salsoloides* (3) In Figure 1, b: sample 1, 2, 3 is *Lespedeza potaninii* community; sample 4, 5, 6 is *Stipa breviflora* community; sample 7, 8, 9 is *Artemisia scoparia* community; sample 10, 11, 12 is *Artemisia ordosica* community; sample 13, 14, 15 is *Glycyrrhiza uralensis* community; sample 16, 17, 18 is *Pennisetum centrasiaticum* community

### 3 讨论

宁夏东部风沙区荒漠草原地处环境脆弱地带, 主要分布着牛枝子、中亚白草、猪毛蒿、油蒿、短花针茅和乌拉尔甘草群落 6 种群落, 植物物种较为单一, 多集中在 6~13 种。不同群落类型间地上生物量和盖度差异显著。牛枝子群落盖度高, 在该群落内具有较大的优势度。各群落内竞争性较弱的物种减少, 致使优势种具有较高的重要值、群落均匀度降低。这是因为当群落内盖度的增加引起较高优势度

物种成为单一优势群落时, 群落多样性会降低, 地上生物量下降, 这与杜茜等<sup>[18]</sup>的研究结果一致。

研究区不同类型草地群落间物种丰富度、均匀度、多样性和优势度指数差异显著。国内外关于草地群落多样性的研究较多, 但关于风沙区荒漠草原的研究相对较少。丰富度指群落中种的绝对密度, 而均匀度是指群落中种的相对密度<sup>[38, 39]</sup>。郭正刚等<sup>[40]</sup>研究发现青藏高原北部多年冻土区草地植物群落间丰富度指数差异不显著, 均匀度和多样性指数差异显著, 与本研究结果并不完全一致, 产生这种

分异主要源于生境的差异。生境的差异致使两地物种不同,从而使群落在生态结构以及功能上都具有较大的差别。群落间优势度的差异与这些群落中物种的生态位有关<sup>[41]</sup>。风沙区荒漠草原植物物种多样性与物种丰富度及均匀度指数呈正相关,与物种优势度指数呈负相关,这与前人的研究结论<sup>[18,42]</sup>相符。当群落内有较高的多样性和均匀度时,优势度较低<sup>[43]</sup>。6个群落中猪毛蒿物种多样性指数最高,说明该群落对环境波动缓冲较高,这也是荒漠草原一些植物群落对其脆弱环境因子适应的结果。研究区物种丰富度对多样性的影响大于物种均匀度,这与东北草原的研究结果一致<sup>[14]</sup>,但与新疆阿尔泰的研究结果正好与此相反<sup>[42]</sup>,主要原因是适宜在新疆阿尔泰地区生长的物种较少,导致其均匀度指数对物种多样性指数的贡献率大于丰富度指数,而风沙区荒漠草原物种分布受大范围的环境因子影响<sup>[18]</sup>,小范围内物种丰富度差异较小。

宁夏东部风沙区多为缓坡丘陵,地形起伏小,海拔、坡度、坡向等地形因子梯度不明显,因而本研究

主要探讨了土壤特性与植物物种分布的关系。CCA 结果表明,风沙区荒漠草原土壤因子影响了草原植物群落分布。当土壤含水率、有机质以及氮磷钾含量较高,容重小时植物物种相对丰富。土壤有机质、土壤水分和容重是影响植物物种分布的较大因子,这与崔丽娟等<sup>[44]</sup>的研究结果一致。3个较大因子中,土壤水分是影响该区荒漠草原群落分布的决定性环境因子,这也与该区干旱少雨的生境特征有关。土壤有机质、容重与物种分布关系密切,主要与植物的枯枝落叶是土壤有机质的主要来源有关<sup>[45]</sup>,同时土壤中植物残体的多少也会影响土壤疏松程度,进而使土壤容重发生变化。研究区土壤盐分与群落的物种多样性呈现显著的正相关,这可能与该区土壤盐分含量总体较低和群落中一些植物的适应性有关,这还需要进一步的研究。荒漠草原生境脆弱,其生态恢复及物种保护是实践中的重点也是难点。研究区草原植物物种分布与土壤性状关系密切,因此,生态建设时要紧密结合土壤相关特性,以便恢复和重建该区域荒漠草原生态系统。

#### 参考文献:

- [1] FAN J W(樊江文). A study on competition between orchard grass and ryegrass in mixed pasture under different management conditions [J]. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 1997, **6**(3): 23-31 (in Chinese).
- [2] XIE J Y(谢晋阳), CHEN L ZH(陈灵芝). Species diversity characteristics of deciduous forests in the warm temperate zone of North China [J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1994, **14**(4): 334-337 (in Chinese).
- [3] DONG X B(董希斌), JIANG F(姜帆). Analysis of the biodiversity restoration of different forest types in Maoer mountainous region [J]. *Forest Science* (林业科学), 2008, **44**(12): 77-82 (in Chinese).
- [4] LI Y(李毅), QU J J(屈建军), DONG ZH B(董治宝), et al. Biodiversity in desert region of China [J]. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), 2008, **15**(4): 79-82 (in Chinese).
- [5] TRACY, BRUSSARD. Preserving biodiversity: species in landscape [J]. *Ecological Applications*, 1994, **4**: 205-207.
- [6] YANG L M(杨利明), HAN M(韩梅), LI J D(李建东). Plant diversity change in grassland communities along a grazing disturbance in the Northeast China transect [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2001, **25**: 110-114 (in Chinese).
- [7] DING H J(丁海君), HAN G D(韩国栋), WANG ZH W(王忠武), et al. Effect of different stocking rate on plant community characteristics in *Stipa breviflora* desert steppe [J]. *Chinese Journal of Grassland* (中国草地学报), 2014, **36**(2): 55-60 (in Chinese).
- [8] ZHOU L Y(周立业), WANG L P(汪丽萍), LIU T Y(刘婷玉). Population dynamics of *Cenchrus pauciflorus* and community diversity of artificial sand-fixation forest community in Horchin [J]. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 2013, **21**(1): 87-91 (in Chinese).
- [9] ZHAO X F(赵新风), XU H L(徐海亮), ZHANG P(张鹏), et al. Effects of nutrient and water additions on plant community structure and species diversity in desert grasslands [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2014, **38**(2): 167-177 (in Chinese).
- [10] MA K P(马克平), YE W H(叶万辉). Study on plant community diversity in Donglingshan Mountain, Beijing China [J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1997, **17**: 593-600 (in Chinese).
- [11] HE J SH(贺金生), CHEN W L(陈伟烈). Community diversity of the main types of the evergreen broad-leaved forest in the eastern part of the middle subtropical China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 1998, **22**(4): 303-311 (in Chinese).
- [12] HE J SH(贺金生), JIANG M X(江明喜). Plant species diversity of the degraded ecosystems in the Three Gorges region [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 1998, **18**: 399-407 (in Chinese).
- [13] LI X R(李新荣), ZHANG J G(张景光), et al. Plant diversity in the process of succession of artificial vegetation types and environment in an arid desert region of China [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2000, **24**(3): 257-261 (in Chinese).
- [14] YANG L M(杨利明), HAN M(韩梅), LI J D(李建东). Plant diversity change in grassland communities along a grazing disturbance gradient in the northeast China transect [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2001, **25**(1): 110-114 (in Chinese).

- [15] GAO X M(高贤明), HUANG J H(黄建辉), WAN SH Q(万师强), *et al.* Ecological studies on the plant community succession on the abandoned cropland in Tai Baishan, Qinling Mountains II. The community  $\alpha$  diversity feature of the successional series[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 1997, **17**(6): 619–625(in Chinese).
- [16] SHEN Z H(沈泽昊), FANG J Y(方精云), LIU Z L(刘增力), *et al.* Patterns of biodiversity along the vertical vegetation spectrum of the east aspect of Gong-ga Mountain[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*(植物生态学报), 2001, **25**(6): 721–732(in Chinese).
- [17] WEN Y G(温远光), YUAN CH A(元昌安), LI X X(李信贤), *et al.* Development of species diversity in vegetation restoration process in mid-mountain region of Damingshan[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*(植物生态学报), 1998, **22**(1): 33–40(in Chinese).
- [18] DU Q(杜茜), SHEN H L(沈海亮), WANG J H(王季槐). Plant community structure and species diversity of desert steppe in Ningxia[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2006, **25**(2): 222–224(in Chinese).
- [19] CHENG ZH Q(程中秋), ZHANG K B(张克斌), *et al.* The study on vegetable niche of natural grassland of desertification grassland region in Yanchi County, Ningxia[J]. *Research of Soil and Water Conservation*(水土保持研究), 2011, **18**(3): 36–47(in Chinese).
- [20] ZHANG H(张虎), SHI SH L(师尚礼), *et al.* Effect of grazing intensities on plant community structure and grassland productivity in desert steppe of Ningxia[J]. *Journal Arid Land Resources and Environment*(干旱区资源与环境), 2012, **26**(9): 73–76(in Chinese).
- [21] YANG G J(杨贵军), HE Q(贺奇), WANG X P(王新谱). Darkling Beetle community structure and its relations with environmental factors in Sidunzi of Yanchi Ningxia, China[J]. *Journal of Applied Ecology*(应用生态学报), 2010, **21**(9): 2 375–2 382(in Chinese).
- [22] ZHANG C(张超), ZHANG J M(张建国), *et al.* Quantitative estimation of ecological assets in farming-pasturing ecotone based on remote sensing and GIS—a case study in Yanchi county, Ningxia[J]. *Arid Zone Research*(干旱区研究), 2013, **30**(2): 356–363(in Chinese).
- [23] HE Q(贺齐), WANG X P(王新谱), YANG G J(杨贵军). Species diversity of carabid beetles in desert-steppe in Yanchi of Ningxia, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2011, **31**(4): 923–932(in Chinese).
- [24] 胡自治. 草原分类学概论[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 225–246.
- [25] 宋永昌. 植被生态学[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 2001: 98–129.
- [26] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987: 40–120.
- [27] 尚玉昌. 蔡晓明. 普通生态学(上册)[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992: 237–272.
- [28] 孙儒泳, 李博. 普通生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1993: 1–29.
- [29] 考克斯 GW. 普通生态实验手册[M]. 蒋有绪, 译. 北京: 科学出版社, 1979: 26–31.
- [30] 郭晋平. 森林景观生态研究[M]. 北京: 北京大学出版社.
- [31] ZHANG J T(张金屯), QIU Y(邱扬), ZHENG F Y(郑凤英). Quantitative methods in landscape pattern analysis[J]. *Journal of Mountain Science*(山地学报), 2000, **18**(4): 346–352(in Chinese).
- [32] TAN X F(谭向峰), DU N(杜宁), GE X L(葛秀丽), *et al.* Relationships between coastal meadow distribution and soil characteristics in the Yellow River Delta[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2012, **32**(19): 5 998–6 005(in Chinese).
- [33] CHEN W Y(陈文业), QI D CH(戚登臣), *et al.* Study on degraded grassland niche characteristics and productivity of alpine meadow at Maqu in south of Gansu Province[J]. *Journal of Natural Resources*(自然资源学报), 2010, **25**(1): 80–90(in Chinese).
- [34] WANG Y F(王永繁), YU SH X(余世效), LIU W Q(刘蔚秋). Fractal analysis of the community evenness[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2003, **23**(6): 1 031–1 036(in Chinese).
- [35] REY Benayas, SCHEINER. Diversity patterns of wet meadows along geochemical gradients in central Spain[J]. *Journal of Vegetation Science*, 1993, (4): 103–108.
- [36] GOUGH, OSENBURG, GROSS, *et al.* Fertilization effects on species density and primary productivity in herbaceous plant communities[J]. *Oikos*, 2000, 89: 428–439.
- [37] KNEITEL, LESSIN. Ecosystem-phase interactions; aquatic eutrophication decreases terrestrial plant diversity in California vernal pools[J]. *Oecologia*, 2010, 163: 461–469.
- [38] MA K P(马克平), HUANG J H(黄建辉), YU SH L(于顺利), *et al.* Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China II. Species richness, evenness and species diversities[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 1995, **15**(3): 268–277(in Chinese).
- [39] YUE T X(岳天祥). Biology diversity study and issue[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2001, **21**(3): 462–467(in Chinese).
- [40] GUO ZH G(郭正刚), WANG G X(王根绪), SHEN Y Y(沈禹颖), *et al.* Plant species diversity of grassland plant communities in permafrost regions of the northern Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), 2004, **24**(1): 149–155(in Chinese).
- [41] 余作岳. 热带亚热带退化生态系统植被恢复生态学研究[M]. 广州: 广东科学技术出版社, 1996: 55–58.
- [42] GUO ZH G(郭正刚), LIANG T G(梁天刚), LIU X Y(刘幸元), *et al.* Species diversity of grassland communities in the Aletai region of the northern Xinjiang Province[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*(西北植物学报), 2003, **23**(10): 1 719–1 724(in Chinese).
- [43] DU Q(杜茜), MA K(马琨). Changes of the species diversity and productivity of desert steppe in restoration succession in Ningxia[J]. *Ecology and Environment*(生态环境), 2007, **16**(4): 1 225–1 228(in Chinese).
- [44] CUI L J(崔丽娟), MA Q F(马琼芳), HAO Y Q(郝云庆), *et al.* Relationships between main plant communities and environment in Zoige marsh[J]. *Ecology and Environmental Sciences*(生态环境学报), 2013, **22**(11): 1 749–1 756(in Chinese).
- [45] WANG M(王蒙), DONG ZH B(董治宝), *et al.* Species diversity of vegetation and its relationship with soil characteristics in southern marginal zone of the Badain Jaran desert[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*(西北植物学报), 2015, **35**(2): 379–388(in Chinese).