

# 甘肃皋兰县荒漠草原植物群落数量分类及植被特征研究

周姗姗<sup>1\*</sup>, 袁祖林<sup>2</sup>, 席首刚<sup>2</sup>, 寇潇雪<sup>2</sup>

(1. 山西科技学院环境科学与工程学院, 山西 晋城 048000; 2. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:**【目的】研究皋兰县荒漠草原植物群落的数量分类及植被特征, 分析影响群落分布的主要环境因子, 了解该区植被资源现状, 为该区植被恢复及物种多样性的保护提供理论依据。【方法】基于研究区30个网格的植被特征调查数据, 以物种重要值为指标, 采用双向指示种法(TWINSPAN)和典范对应分析法(CCA)进行数量分类与排序, 研究皋兰县植物群落组成及影响群落分布的主导因子。【结果】TWINSPAN分类将皋兰县荒漠草原植物划分为7类: 群落I(红砂+细叶亚菊群落)、群落II(盐爪爪+滩地韭群落)、群落III(红砂+著状亚菊群落)、群落IV(盐爪爪+栉叶蒿群落)、群落V(锦鸡儿+短花针茅群落)、群落VI(红砂+长芒草群落)和群落VII(中亚紫菀木+长芒草群落); 不同群落间物种组成差异较大, 各群落的高度和盖度较低; 群落I和群落III的物种组成最丰富, 物种相似性最高, 且群落III物种均匀度最高, 分布范围最广。植被生活型谱以地面芽、一年生植物为主; CCA排序显示, 最冷月最低温和温度季节性变化标准差对群落的分布影响最大, 其次是昼夜温差月均值和年均温。【结论】皋兰县境内主要优势种为红砂、细叶亚菊、著状亚菊, 温度是影响该区植物群落分布最重要的环境因子, 该区植物群落类型单一, 结构简单, 物种多样性和丰富度较低, 政府应加强该区植物的管理和保护, 以确保该区的生态安全和可持续发展。

**关键词:**荒漠草原; 双向指示种法; 典范对应分析法; 群落数量分类; 植被特征

**中图分类号:**S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)05-0051-10

**DOI:**10.13817/j.cnki.cycp.2024.05.006



植物群落是指在一定时间范围内特定空间中各种群的集合, 它是群落中各种群之间、种群与环境之间相互作用而形成的, 是各种群适应同一生存环境的结果<sup>[1]</sup>, 其数量分类是群落生态学的重要研究内容<sup>[2]</sup>。植物群落数量分类是根据物种的数量信息, 采用数量

分类方法将所调查的样地或样方划分成不同群落类型。数量分类是植被分类中最主要、应用最广泛的分类方法<sup>[3-4]</sup>, 相比于传统植被类型的划分, 其分类结果具有更高的精度, 更能够准确反映一个区域中植物群落的物种组成和结构特征<sup>[5]</sup>。当前植物群落数量分类方法众多, 最为常见的有双向指示种分析(Two-way indicator species analysis, TWINSPAN)、多元回归树(Multivariate regression trees)和聚类分析(Cluster analysis)。其中, TWINSPAN分析是运用最普遍的分类方法<sup>[6-7]</sup>, 被国内外学者广泛用于植物群落分类<sup>[8-10]</sup>。该方法通过物种的重要值, 可同时对样地和物种进行分类, 分类结果准确可靠<sup>[11]</sup>, 适合不同尺度的群落。典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)是一种结合了对应分析和多元回归分

**收稿日期:**2024-07-14; **修回日期:**2024-09-12

**基金资助:**山西科技学院科研启动经费项目(2023004); 山西省博士毕业生、博士后研究人员来晋工作奖励资金科研项目; 山西省高等学校教学改革创新项目(J20231868)

**作者简介:**周姗姗(1986-), 女, 山西晋城人, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为分子生态学。

E-mail:326859552@qq.com

\*通信作者。E-mail:326859552@qq.com

析的方法,特别适用于研究物种分布与环境因子之间的关系,能够直观地展示物种与环境因子之间的对应关系。TWINSpan和CCA结合使用,可以直观地了解植物群落与环境之间的生态关系,已被学者广泛用于研究西北干旱区植物群落分布特征<sup>[6]</sup>。

荒漠草原是草原向荒漠过渡的一类草原,为草原中最早生的类型。草地向沙化演替过程中,植被结构与功能退化最为敏感和直观,植被特征变化是沙漠化程度最重要的一种指征<sup>[12]</sup>。皋兰县植被类型主要是荒漠草原,植物种群单一,物种多样性较低<sup>[13]</sup>。近年来,受气候变化和人类活动的影响,该地区水土流失严重,植被不断退化,荒漠化逐渐加剧,长期以来该区荒漠化和贫困问题相互交织,生态保护与社会经济发展矛盾突出,严重制约了该地区社会经济的可持续发展。因此,了解该区域植被资源现状,准确及时提出相应的管理和恢复措施就极为迫切。当前,对该地区植被资源的研究多集中在如红砂(*Reaumuria songarica*)、荒漠锦鸡儿(*Caragana roborovskyi*)、短花针茅(*Stipa breviflora*)等单一物种的种群空间格局特征及关联性分析<sup>[14-17]</sup>,以及封育条件下荒漠化草原植被构成及物种多样性变化<sup>[18]</sup>等研究上,其关注点都是局部均匀生境下的植被资源,对整个区域植物群落类型及植被构成的研究相对缺乏。鉴于此,本研究在野外调查的基础上运用TWINSpan和CCA分析法,对皋兰县荒漠草原植物群落进行数量分类和排序,同时对各群落植被构成特征进行研究,旨在探讨以下问题:1)皋兰县荒漠草原植物群落组成特点及类型;2)影响皋兰县地区植物群落分布的主要环境因子。通过了解该区植被资源现状,为皋兰县荒漠草原的生态恢复与重建、物种多样性保护等提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 样地设置

皋兰县位于黄河上游,甘肃中部,兰州东北部(103°32'~104°14' E,36°05'~36°51' N),地形属黄土高原丘陵沟壑区,多为黄土梁峁、沟谷和小川台地等类型<sup>[19]</sup>,地势为北高南低、西高东低,呈西北向东南倾斜,山脉多为南北走向,海拔高度在1459.2~2445.2 m。属温带半干旱气候,年均气温7.2℃,年均降水量266 mm,其中70%的降水分布在6~9月,年

均蒸发量1660 mm,年均日照2768 h,无霜期144 d。该区土壤以淡灰钙土为主、团粒结构松散、持水保肥能力差,同时水土流失严重、生态环境脆弱、植被稀疏<sup>[20]</sup>。

基于研究区荒漠草原植被的物种组成和群落特征,结合前期资料分析,采用网格法进行调查,网格大小为10 km×10 km,共计30个网格(图1),每网格内设置3个100 m×100 m样地,每样地内分别设置3个样方,其中,草本样方大小为1 m×1 m,灌丛样方大小为2 m×2 m,样地、样方的选择遵循整体性、代表性、随机性、可行性的原则。

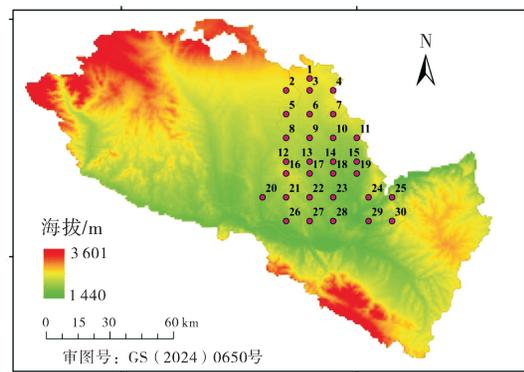


图1 30个样地分布图

Fig. 1 Geographical distribution of 30 sample plots

### 1.2 环境因子

为了分析植被与环境因子之间的关系,从世界气候数据库 WorldClim 2.1 版(<https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>)下载历史条件下(1970—2000年)的19个生物气候因子和1个海拔因子(表1,图2)。环境因子之间的空间共线性会导致CCA分析运算出现过拟合,降低分析的准确性,因此需要对环境因子进行有效筛选,以提高CCA分析精度。通过对Pearson相关性进行环境因子预选,去掉高相关性的因子( $R > 0.85$ ),最终选择9个环境因子用于关联分析植被特征(图2)。

### 1.3 群落调查和分析方法

于2022年8月中下旬植物生长季,按已设置网格,对研究区荒漠草原进行植被特征调查,记录每个网格各样地样方中各植物种的高度和盖度,灌木和草本分别记录。基于各网格内各样地上样方的植被调查数据,按重要值=(相对高度+相对盖度)/2,计算各样地样方中物种的重要值,其中,某物种的相对高度或相对盖度=样方内某植物种的高度或盖度/样

表1 20个环境因子描述列表

Table 1 Content information of 20 environmental variables

名字	描述	单位
bio1	年均温	°C
bio2	昼夜温差月均值	°C
bio3	等温性	—
bio4	温度季节性变化标准差	—
bio5	最暖月最高温	°C
bio6	最冷月最低温	°C
bio7	年均温变化范围	—
bio8	最湿季度平均温度	°C
bio9	最干季度平均温度	°C
bio10	最暖季度平均温度	°C
bio11	最冷季度平均温度	°C
bio12	年均降水量	mm
bio13	最湿月降水量	mm
bio14	最干月降水量	mm
bio15	季节性降水变异系数	—
bio16	最湿季度降水量	mm
bio17	最干季度降水量	mm
bio18	最暖季度降水量	mm
bio19	最冷季度平均降水量	mm
elev	海拔	m

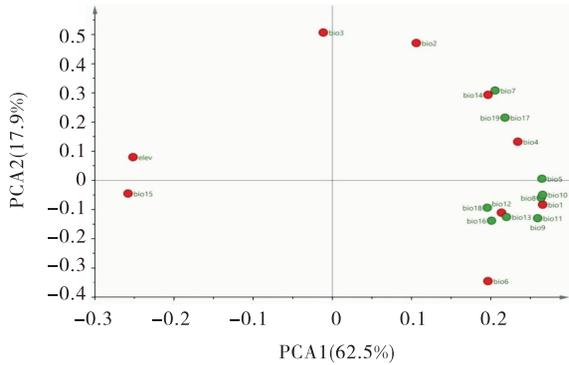


图2 30个样地的20个环境因子PCA得分图

Fig. 2 PCA score plot of 20 environmental variables from 30 sample plots

注:红色表示选择的用于关联分析的环境因子

方内所有植物种的高度或盖度之和。

多样性指数分析:基于各样地样方调查的物种数和重要值,按如下公式分别计算 $\alpha$ -多样性和 $\beta$ -多样性指数<sup>[21]</sup>:

$\alpha$ -多样性中的Patrick丰富度指数( $R$ )计算公式为: $R=S$  (1)

式中: $S$ 为样方植物物种数。

$\alpha$ -多样性中的Shannon-Wiener多样性指数( $H$ )计算公式为: $H=-\sum Pi \times \ln Pi$  (2)

式中: $P_i$ 为第*i*种植物的重要值。

$\alpha$ -多样性中的Simpson优势度指数( $D$ )计算公式为: $D=1-\sum Pi^2$  (3)

式中: $P_i$ 为第*i*种植物的重要值。

$\alpha$ -多样性中的Pielou均匀度指数( $J$ )计算公式为: $J=\frac{H}{\ln S}$  (4)

式中: $H$ 为 $\alpha$ -多样性中的Shannon-Wiener多样性指数, $S$ 各为样方植物物种数。

$\beta$ -多样性中的Sorenson's相似性指数( $So$ )计算公式为: $So=\frac{2S_{12}}{S_1+S_2}$  (5)

式中: $S_{12}$ 为2个群落共有物种数, $S_1$ 为群落1物种数, $S_2$ 群落2物种数。

$\beta$ -多样性中的Jaccard's相似性指数( $Ja$ )计算公式为: $Ja=\frac{S_{12}}{S_1+S_2-S_{12}}$  (6)

式中: $S_{12}$ 为2个群落共有物种数, $S_1$ 为群落1物种数, $S_2$ 群落2物种数。

群落数量分类:基于30个网格的物种与重要值组成的矩阵,采用双向指示种法(TWINSPAN),对植物群落进行数量分类,根据分类结果和群落命名原则,再结合各群落生境特征,以指示物种或优势种命名群落<sup>[22]</sup>。

物种生活型构成:基于Raunkiaer生活型分类系统<sup>[23]</sup>,将植物生活型划分为:高位芽植物(Phanerophytes)、地上芽植物(Chamaephytes)、地面芽植物(Hemicryptoph)、地下芽植物(Cryptophytes)和一年生植物(Therophytes)五大生活型类群,用于分析皋兰县各植物群落的生活型谱。

#### 1.4 数据分析

采用Excel2019整理数据,由30个网格90个样地270个样方中118种植物的重要值建立物种-重要值矩阵。利用Rstudio中的“TwinspanR”包的“twinspan”函数进行双向指示种聚类分析,对30个网格进行聚类,并采用Origain2023作图,SPSS23对不同群落的植被数量特征进行单因素方差分析(One-way ANOVA),数据表示为均值(Mean)±标准误(Standard error of mean, SEM)。采用SIMCA软件(13.0版;Umetrics,Umeå,瑞典)进行主成分分析(PCA分析)。Canoco 5进行CCA分析用于探讨样地植被重要

值与环境因子之间关系。在探讨植被与环境因子之间关系时,先对物种重要值一样方矩阵数据进行除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA),根据DCA分析结果中排序轴的最大值选择适宜的排序方法<sup>[1]</sup>。DCA预排序结果为4.7(大于4),故而选择基于单峰模型的CCA排序方法。CCA二维排序图中,箭头代表环境因子,箭头的长短表示某个环境因子与群落分布的相关性,连线越长,说明相关性越大,反之越小。箭头连线和排序轴的夹角代表某个环境因子与排序轴的相关性大小,夹角越小,相关性越高,反之越低。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物群落数量分类

TWINSPAN将调查区的植物群落划分为7类(图3)。具体如下:

群落Ⅰ(红砂+细叶亚菊群落),包括网格26、29和30。该群落优势种为红砂、次优势种为细叶亚菊(*Ajania tenuifolia*),主要伴生种有小叶铁线莲(*Clematis nannophylla*)、中亚紫菀木(*Asterothamnus centralasiaticus*)、灌木亚菊(*A. fruticulosa*)、细裂叶莲蒿(*Artemisia gmelinii*)、多叶锦鸡儿(*Caragana pleiophylla*)、短花针茅、滩地韭(*Allium oreoprasum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)等。

群落Ⅱ(盐爪爪+滩地韭群落),仅包括网格4。该群落优势种为盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、次优势种滩地韭,主要伴生种有合头草(*Sympegma regelii*)、蓍状亚菊(*Ajania achilleoides*)、红砂、栉叶蒿(*Neopallasia pectinata*)、短花针茅、茵陈蒿(*A. capillaris*)、骆驼蓬(*Peganum harmala*)、无芒隐子草(*Cleistogenes songorica*)等。

群落Ⅲ(红砂+蓍状亚菊群落),包括网格15、16、17、18、19、20、21、22、23、24、25、27和28。该群落的优势种为红砂、次优势种为蓍状亚菊,主要伴生种有骆驼刺(*Alhagi camelorum*)、刺叶锦鸡儿(*C. acanthophylla*)、盐爪爪、合头草、戈壁天门冬(*Asparagus gobiicus*)、灌木亚菊、栉叶蒿等。

群落Ⅳ(盐爪爪+栉叶蒿群落),包括网格6、9、10、11、13和14。该群落优势种为盐爪爪,次优势种为栉叶蒿,主要伴生种有红砂、燕麦(栽培)(*Avena sa-*

*tiva*)、盐生草(*Halogeton glomeratus*)、合头草、短花针茅、大麦(栽培)(*Hordeum vulgare*)、丝裂亚菊(*A. nematoloba*)、小藜(*Chenopodium ficifolium*)、醉马草(*Achnatherum inebrians*)等。

群落Ⅴ(锦鸡儿+短花针茅群落),仅包括网格12。该群落优势种为锦鸡儿(*C. sinica*),次优势种为短花针茅,主要伴生种有红砂、栉叶蒿、赖草(*Leymus secalinus*)、小果白刺(*Nitraria sibirica*)、滩地韭、冷蒿(*A. frigida*)、虱子草(*Tragus berteronianus*)、戈壁天门冬等。

群落Ⅵ(红砂+长芒草群落),包括网格1、2、3和7。该群落的优势种为红砂,次优势种为长芒草(*Stipa bungeana*),主要伴生种有盐爪爪、红砂、合头草、盐生草、滩地韭、蓍状亚菊、冷蒿、蒙古莠(*Caryopteris mongholica*)等。

群落Ⅶ(中亚紫菀木+长芒草群落),包括网格5和8。该群落的优势种为中亚紫菀木,次优势种为长芒草,主要伴生种有披针叶黄华(*Thermopsis lanceolata*)、假苇拂子茅(*Calamagrostis pseudophragmites*)、阿尔泰狗娃花(*Aster altaicus*)、赖草、茵陈蒿、黄花鸢尾(*Iris wilsonii*)、大蓟(*Cirsium spicatum*)、硬质早熟禾(*Poa sphondylodes*)等。

### 2.2 植物群落数量特征

植物群落数量特征结果显示,各群落优势种的重要值整体较高,且不同群落间差异不显著。草本和灌丛的高度和盖度在不同群落间差异显著( $P < 0.05$ ) (表2);其中,群落Ⅳ(盐爪爪+栉叶蒿群落)的草本和群落Ⅰ(红砂+细叶亚菊群落)的灌丛高度最大,群落Ⅱ(盐爪爪+滩地韭群落)与群落Ⅵ(红砂+长芒草群落)的草本和灌丛高度最低。群落盖度为群落Ⅶ(中亚紫菀木+长芒草群落)和群落Ⅳ的草层盖度最大,群落Ⅱ与群落Ⅵ的草层盖度最低,灌丛盖度为群落Ⅳ最大,群落Ⅴ(锦鸡儿+短花针茅群落)最小。

### 2.3 植物群落物种组成及物种多样性

不同植物群落间物种组成结果显示,群落Ⅰ(红砂+细叶亚菊群落)和群落Ⅲ(红砂+蓍状亚菊群落)的物种组成最丰富,两个群落都包含有21科植物,占总科数的67.74%,其中,前者有45属53种,后者有44属55种;群落Ⅱ(盐爪爪+滩地韭群落)物种组成最少,有9科植物,仅占总科数的29.03%,包含21属22

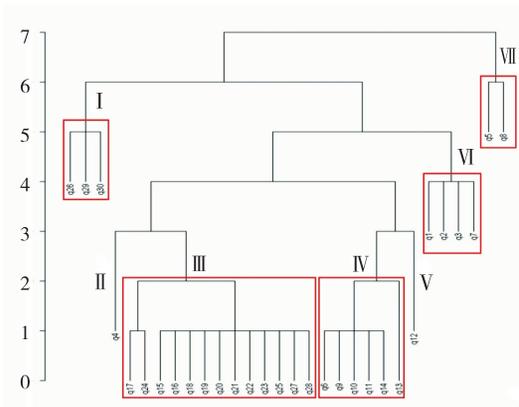


图 3 皋兰县荒漠草原 30 个网格的 TWINSpan 分类树状图  
Fig. 3 TWINSpan tree classification diagram of 30 grids of desert steppe in Gao Lan County

注: q1—q30 网格编号; I 红砂+细叶亚菊群落 *R. songarica*+*A. tenuifolia*; II 盐爪爪+滩地韭群落群 *K. foliatum*+*A. oreoprasum*; III 红砂+蓍状亚菊群落 *R. songarica*+*A. achilleoides*; IV 盐爪爪+栉叶蒿群落 *K. foliatum*+*N. pectinate*; V 锦鸡儿+短花针茅群落 *C. sinica*+*S. breviflora*; VI 红砂+长芒草群落 *R. songarica*+*S. bungeana*; VII 中亚紫菀木+长芒草群落 *A. centralasiaticus*+*S. bungeana* 种; 其次是群落 V (锦鸡儿+短花针茅群落) 和群落 VI

(红砂+长芒草群落) 出现有 15 科植物, 群落 IV (盐爪爪+栉叶蒿群落) 和群落 VII (中亚紫菀木+长芒草群落) 出现有 13 科植物, 占总科数的 48.39% 和 41.94%, 其中群落 V 有 28 属 30 种, 群落 VI 有 33 属 42 种, 群落 IV 有 35 属 40 种, 群落 VII 有 32 属 37 种(表 3)。

不同群落多样性指数结果显示, Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数在不同群落间变化趋势相似, Patrick 丰富度指数和 Shanno—Wiener 多样性指数在群落间变化不同(图 4)。丰富度指数在群落 I 中最高, 物种组成最丰富, 其次是群落 III 和群落 V, 群落 IV、群落 VI 和群落 VII 整体最低, 物种组成最少; 均匀度指数在群落 VII 最大, 物种分布最均匀, 其次是群落 III 和群落 IV, 群落 II 最低, 物种分布不均匀。优势度指数为群落 I 和群落 III 最高, 群落 II 最低。

各群落的  $\beta$ -多样性分析结果显示, 群落 I 和群落 III 的相似性最高, Sorenson's 相似性指数和 Jaccard's 相似性指数分别为 0.647 和 0.479, 其次是群落 II 和群落 VI。群落 I 和群落 VII 的相似性最低, 相似指数分别为 0.222 和 0.125(表 4), 两群落间共有种较少, 物种组成差异较大。

表 2 皋兰县荒漠草原植物群落数量特征

Table 2 Plant communities quantitative characteristics of desert steppe in Gaolan County

群落	优势种	优势种重要值	草本高度/cm	灌丛高度/cm	草本盖度/%	灌丛盖度/%
I	红砂	0.28±0.07 <sup>ab</sup>	17.41±3.58 <sup>abc</sup>	32.39±4.14 <sup>a</sup>	24.41±5.90 <sup>b</sup>	14.8±1.42 <sup>b</sup>
II	盐爪爪	0.41±0.02 <sup>ab</sup>	6.89±0.56 <sup>c</sup>	19.56±1.79 <sup>b</sup>	10.78±3.85 <sup>b</sup>	18.22±1.56 <sup>ab</sup>
III	红砂	0.40±0.05 <sup>ab</sup>	11.78±1.05 <sup>bc</sup>	26.51±2.00 <sup>ab</sup>	14.58±1.13 <sup>b</sup>	16.23±0.26 <sup>ab</sup>
IV	盐爪爪	0.53±0.11 <sup>a</sup>	24.46±6.63 <sup>a</sup>	22.89±1.13 <sup>ab</sup>	30.46±11.59 <sup>ab</sup>	23.22±3.89 <sup>a</sup>
V	锦鸡儿	0.39±0.01 <sup>ab</sup>	20.34±2.33 <sup>ab</sup>	19.94±5.31 <sup>b</sup>	26.22±3.53 <sup>ab</sup>	12.00±3.21 <sup>b</sup>
VI	红砂	0.42±0.02 <sup>ab</sup>	7.89±0.29 <sup>c</sup>	16.51±2.62 <sup>b</sup>	11.52±2.25 <sup>b</sup>	16.46±1.77 <sup>ab</sup>
VII	中亚紫菀木	0.42±0.01 <sup>ab</sup>	15.06±4.91 <sup>abc</sup>	20.67±2.80 <sup>b</sup>	50.89±15.80 <sup>a</sup>	12.67±1.30 <sup>b</sup>

注: 同列不同小写字母表示不同群落间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.4 植物群落生活型

植物群落生活型谱显示, 研究区以地面芽植物和一年生植物为主, 分别有 54 和 36 种, 占总物种的 45.8% 和 30.5%, 其次是地上芽和高位芽植物各有 15 种和 10 种, 占总物种的 12.7% 和 8.5%, 地下芽植物种类 3 种, 仅占有所有物种的 2.5%(图 5-A)。不同群落植物生活型构成与研究区植物生活型构成相似, 以地

面芽和一年生植物占据优势, 其中, 群落 I (红砂+细叶亚菊群落)、群落 III (红砂+蓍状亚菊群落)、群落 V (锦鸡儿+短花针茅群落)、群落 VI (红砂+长芒草群落) 和群落 VII (中亚紫菀木+长芒草群落) 的地面芽植物占各自生活型谱的 40% 以上, 群落 II (盐爪爪+滩地韭群落)、群落 IV (盐爪爪+栉叶蒿群落)、群落 V、群落 VI 和群落 VII 的一年生植物占各自生活型谱的

表3 皋兰县荒漠草原植物物种组成

Table 3 Plant Species composition of desert steppe in Gaolan County

群落	科数(占比/%)	属数(占比/%)	种数(占比/%)
I	21(67.74)	45(55.56)	53(44.92)
II	9(29.03)	21(25.93)	22(18.64)
III	21(67.74)	44(54.32)	55(46.61)
IV	13(41.94)	35(43.21)	40(33.90)
V	15(48.39)	28(34.57)	30(25.42)
VI	15(48.39)	33(40.74)	42(35.59)
VII	13(41.94)	32(39.51)	37(31.36)

注:括号为该群落科、属、种占植物总科、属、种的比例

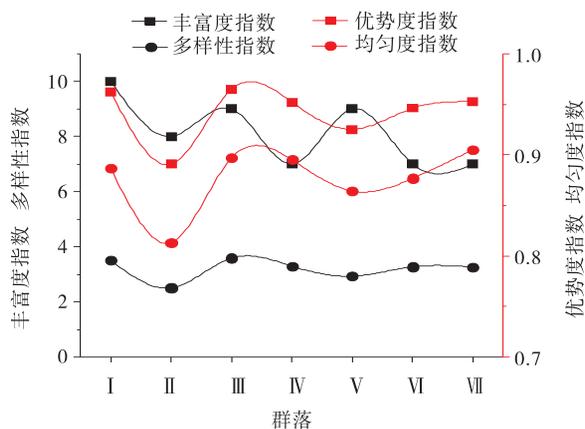


图4 皋兰县荒漠草原植物群落多样性指数变化曲线

Fig. 4 Change curve of desert steppe plant community diversity index in Gaolan County

37%以上(图5-B)。所有群落中,除群落Ⅶ的生活型谱中仅有地面芽、地上芽植物和一年生植物构成外,其他群落的生活型谱组成完整,五种生活类型在群落中均出现。

表4 皋兰县荒漠草原植物群落 Sorenson's 和 Jaccard's 相似性

Table 4 Similarity of Sorenson's and Jaccard's plant communities of desert steppe in Gaolan County

群落	I	II	III	IV	V	VI	VII
I		0.230	0.479	0.218	0.221	0.319	0.125
II	0.374		0.328	0.348	0.368	0.422	0.135
III	0.647	0.493		0.338	0.308	0.386	0.165
IV	0.366	0.515	0.506		0.373	0.344	0.222
V	0.361	0.538	0.471	0.543		0.286	0.155
VI	0.484	0.3595	0.558	0.513	0.445		0.234
VII	0.222	0.238	0.282	0.364	0.269	0.379	

注:左下半栏为 Sorenson's 相似性,右上半栏为 Jaccard's 相似性。

## 2.5 植物群落分布与环境因子的关系

CCA分析影响群落分布的主要环境因子,结果如图6所示,前4个排序轴累积解释了物种-环境关系总方差的70.53%,其中前2轴的方差累积贡献率达46.37%,说明CCA前2轴能较好地反映物种群落分布与环境因子的关系。第一主轴解释了总变异的55.31%,与elev(海拔)呈最大正相关,其次是bio3(等温性);与bio6(最冷月最低温)呈最大负相关,其次是bio1(年均温)。第二轴解释了总变异的35.34%,与bio15(季节性降水变异系数)呈最大正相关,其次是bio6(最冷月最低温);与bio4(温度季节性变化标准差)呈最大负相关,其次是bio2(昼夜温差月均值)。从箭头长短来看,箭头最长的是bio6和bio4,其次是bio2和bio1,说明温度是影响皋兰县植物群落分布最重要的环境因子。

结合 TWINSpan 分类(图3)和 CCA 排序结果

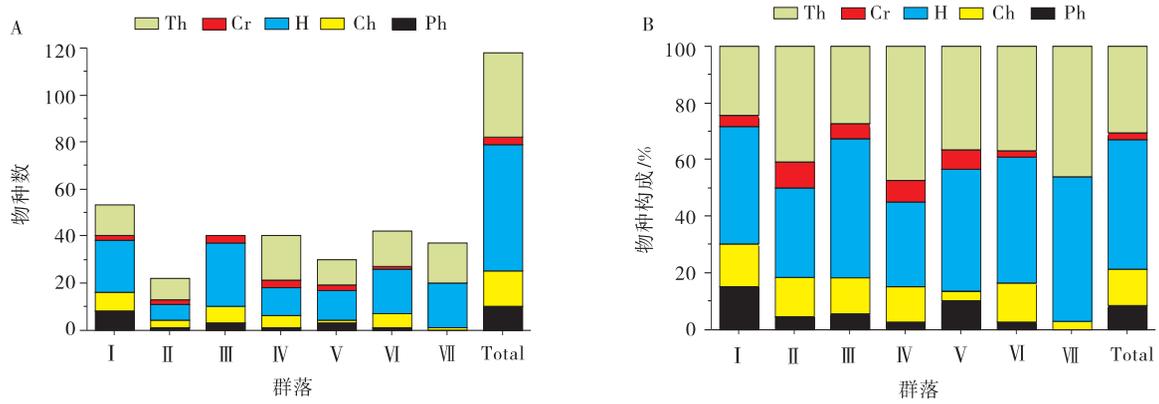


图 5 皋兰县荒漠草原植物群落生活型谱

Fig. 5 Plant communities life patterns of desert steppe in Gaolan County

注:Th 一年生植物;Cr 地下芽植物;H 地面芽植物;Ch 地上芽植物;Ph 高位芽植物。

(图 6)可以看出,群落 I (网格 26、29 和 30)、群落 V (网格 12)、群落 VII (网格 5 和 8)在排序图上呈现明显的分布规律。群落 I 分布在最冷月最低温(bio6)较高,温度季节性变化标准差(bio4)较小时,海拔(elev)较低的区域,群落 V 和群落 VII 刚好相反,分布在温度较低,海拔较高的区域。群落 II (q4),群落 III (q15—q25、q27 和 q28),群落 IV (q6、q9—q11、q13 和 q(14)),群落 VI (q1—q3、q7)在排序图上没有明显分开,说明气候因子不是造成它们分布差异的主要环境因子。但是仍然可以看出 TWINSpan 分类的群落在 CCA 排序图中基本聚集在同一范围内,说明 CCA 排序和 TWINSpan 分类结果基本一致,能很好地反映出实际观测的结果。

### 3 讨论

皋兰县的荒漠草原是该地区生态系统的重要组成部分,对于维护区域生态平衡、保护生物多样性具有不可替代的作用,本研究采用 TWINSpan 分类,将皋兰县境内的荒漠草原植物种划分为 7 个类群,各群落特征明显,且与 CCA 排序结果基本保持一致,说明分类结果能可靠地反映皋兰县植物群落分布情况<sup>[14-15]</sup>。其中群落 I (红砂+细叶亚菊群落)和群落 III (红砂+蓍状亚菊群落)的物种组成最丰富,且群落 III 分布范围最广,在 13 个网格中均有分布;表明皋兰县境内主要优势种为红砂、细叶亚菊群落、蓍状亚菊,该结果与刘旻霞等<sup>[14]</sup>、夏素娟等<sup>[15]</sup>在皋兰县境内的研究结果相同。大部分群落的分布在空间上表现出一定的连续性,如群落 III (红砂+蓍状亚菊群落),在网

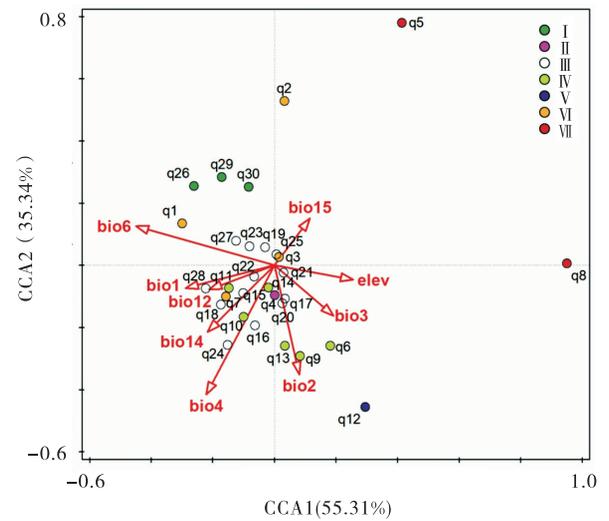


图 6 皋兰县荒漠草原植物群落 20 个样方的 CCA 二维排序图

Fig. 6 Two-dimensional CCA ordination diagram of 20 grips of desert steppe plant communities in Gaolan County

注:红色箭头表示环境因子; q1—q30 代表网格编号,圆点的不同颜色代表不同群落。

格 15—25 中均有分布,该结果与山丹等<sup>[24]</sup>在呼伦贝尔沙地北部沙带上对植物群落分布格局的研究结果相似,而 CCA 分析发现群落 III 的分布受气候因子的影响较小,群落 III 的分布可能是受其他非气候环境因子的调控,如相同的土壤理化性质或放牧干扰等条件下,其群落类型也是相同的。

群落物种多样性是指群落中物种数目的多少及各物种个体数目分配的均匀度<sup>[25]</sup>,它是表征植物群落生境差异、群落稳定程度及演替阶段的重要工具,对反映群落的功能有重要意义<sup>[26]</sup>。本研究中 Simpson 优势度指数和 Pielou 均匀度指数在不同群落间有着相同

的变化趋势,说明研究区各植物群落的优势种及其分布的均匀程度相似;Patrick丰富度指数和Pielou均匀度指数在群落间的变化趋势不完全一致,其原因可能与二者所代表的含义不同有关,丰富度是指群落中种的绝对密度,而均匀度则是指群落中种的相对密度。本研究中,群落Ⅰ和群落Ⅲ相似性最高,说明二者共有种较多,群落间分布的植物种类相似,群落间的竞争较小、稳定性较高。群落Ⅰ和群落Ⅲ的物种组成最丰富,在科属水平上分别占总科属的一半以上,而他们分别在3个和13个网格中有分布,群落Ⅳ(盐爪爪+栉叶蒿群落)在6个网格中有分布,但其物种组成在科属水平上仅占总科属的三分之一,由此可见,群落物种的组成和丰富度与群落分布的面积大小没有必然联系。

环境因子对植物群落的分布影响非常大,CCA分析能够将环境因子的影响展示在排序轴上,直观明了地反映环境因子对群落分布的影响<sup>[6]</sup>。本研究发现,与CCA第一主轴相关性最高的是bio6最冷月最低温,其次是bio1年均温、elev海拔等因子;与第二排序轴相关性最高的是bio4温度季节性变化标准差,其次是bio2昼夜温差月均值的变化。因此,温度是影响皋兰县植物群落分布最重要的环境因子。本研究选取的9个环境因子关于物种与环境关系方差解释的累计比例只有70.53%,剩余未解释的部分可能与其他环境因子(土壤理化性质,放牧干扰等)有关,在未来的研究中应该重视。

植被的生长易受到环境因子的影响,植被特征也常随环境因子变化而发生改变,因此植被特征在一定程度上能反应植被区域的气候特点<sup>[27]</sup>。本研究中,群落Ⅳ优势种的重要值最大,且分布在bio4温度季节性变化标准差较大的区域,其原因可能是研究区气候环境的巨大波动致使群落内竞争性较弱的物种减少,而盐爪爪等适应性强的旱生植物保持相对稳定甚至增加所导致的。

植物生活型是植物对生境条件长期适应而在外貌上表现出来的生长类型,是不同植物对相同环境条件趋同适应的结果<sup>[28]</sup>。从研究区的植物生活型谱看,该地区的地面芽植物比重最大,其次为一年生植物,这可能与研究区的温带气候利于地面芽植物生长,以

及研究区夏季多炎热少雨,冬季多寒冷干燥,利于一年生植物在短时间内完成生命周期,以种子的形势渡过不利的生活期有关<sup>[29]</sup>。此外,研究区各植物群落的生活型谱组成与其整体的植物生活型谱相同,仍以地面芽和一年生植物为主,表明研究区的气候环境在整个区域变动不大,不同群落间的植物有着相同的生活型组成。

## 4 结论

本研究运用TWINSPAN分类,将皋兰县植物群落划分为7类:群落Ⅰ(红砂+细叶亚菊群落)、群落Ⅱ(盐爪爪+滩地韭群落)、群落Ⅲ(红砂+蓍状亚菊群落)、群落Ⅳ(盐爪爪+栉叶蒿群落)、群落Ⅴ(锦鸡儿+短花针茅群落)、群落Ⅵ(红砂+长芒草群落)和群落Ⅶ(中亚紫菀木+长芒草群落);各群落间物种组成差异较大,物种多样性和丰富度较低;皋兰县境内主要优势种为红砂、细叶亚菊群落、蓍状亚菊,植被生活型谱表现为与其温带半干旱气候相适应的地面芽和一年生植物为主。CCA分析结果显示温度是影响皋兰县植物群落分布最重要的环境因子。

### 参考文献:

- [1] 刘润红,涂洪润,李娇凤,等. 桂林岩溶石山青冈群落数量分类与排序[J]. 生态学报, 2019, 39(22): 8595-605.
- [2] 刘璐,刘志成,杨瑞莹,等. 永定河干涸段(卢梁段)河流廊道植物群落数量分类及多样性特征[J]. 生态学报, 2020, 40(24): 9129-9137.
- [3] 张峰,张金屯. 我国植被数量分类和排序研究进展[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2000(3): 278-282.
- [4] Harthy L A, Grenyer R. Classification and ordination of the main plant communities of the Eastern Hajar Mountains, Oman[J]. Journal of Arid Environments, 2019, 169: 1-18.
- [5] 王琴. 希拉穆仁草地不同干扰条件下植物群落特征研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2017.
- [6] 苏金娟,刘永萍,刘丽燕,等. 新疆阿勒泰地区典型植物群落数量分类与排序分析[J]. 草业学报, 2023, 32(9): 50-67.
- [7] 李帅锋,郎学东,黄小波,等. 云南普洱 30 hm<sup>2</sup>季风常绿阔叶林动态监测样地群丛数量分类[J]. 植物生态学报, 2020, 44(3): 236-247.
- [8] 马惠成,李小伟,杨君珑,等. 蒙古沙冬青群落区系组成及

- 分类研究[J]. 西北植物学报, 2020, 40(4): 706—716.
- [9] Wang T, Wang J, Ding Y, *et al.* Quantitative Classification and Ordination of Plant Communities in the Upper and Middle Reaches of the Yarlung Zangbo River Basin [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2019, 10(4): 389.
- [10] Dítě D, Eliáš P, Dítě Z, *et al.* Vegetation classification and ecology of Pannonian salty lake bed [J]. *Phytocoenologia*, 2017, 47(4): 329—344.
- [11] Haq F, Ahmad H, Iqbal Z, *et al.* Multivariate approach to the classification and ordination of the forest ecosystem of Nandiar valley western Himalayas [J]. *Ecological Indicators*, 2017, 80: 232—241.
- [12] 唐庄生, 安慧, 邓蕾, 等. 荒漠草原沙漠化植物群落及土壤物理变化[J]. 生态学报, 2016, 36(4): 991—1000.
- [13] 巨天珍, 陈学林, 赵传燕. 兰州地区草原植被的植物群落类型—干草原和荒漠草原[J]. 草业学报, 1997, (3): 61—66.
- [14] 刘旻霞, 南笑宁, 夏素娟, 等. 皋兰老虎台红砂种群在不同坡向的空间格局及关联性[J]. 干旱区地理, 2019, 42(6): 1359—1367.
- [15] 夏素娟, 刘旻霞, 朱恭, 等. 荒漠植物红砂与西北针茅种群的空间格局及其关联性[J]. 西北植物学报, 2018, 38(11): 2129—2137.
- [16] 段桂芳, 单立山, 李毅, 等. 甘肃中西部地区红砂种群结构及空间格局特征[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1): 67—74.
- [17] 南笑宁, 刘旻霞, 朱恭, 等. 黄土高原中部红砂与荒漠锦鸡儿种群空间分布格局及关联性[J]. 生态学杂志, 2019, 38(2): 354—360.
- [18] 于潇, 刘金银, 于应文. 封育对兰州北部荒漠化草原植被构成及物种多样性的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2022, 37(4): 672—678.
- [19] 刘晋文, 代宝峰. 兰州市皋兰县基于GIS的地质灾害风险评价[J]. 资源信息与工程, 2023, 38(2): 64—68+73.
- [20] 李兴发. 基于土壤养分的皋兰县耕地质量评价[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [21] 郝智如, 侯瑞萍, 张克斌, 等. 宁夏盐池县人工封育区植物群落的 $\beta$ 多样性[J]. 水土保持通报, 2014, 34(3): 257—261+299.
- [22] 金玲, 陆颖, 马红彬, 等. 内蒙古鄂托克前旗荒漠草原植物群落数量分类与排序[J]. 草业学报, 2022, 31(4): 12—21.
- [23] McKeon C M, Kelly R, Börger L, *et al.* Human land use is comparable to climate as a driver of global plant occurrence and abundance across life forms [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2023, 32, 1618—1631.
- [24] 山丹, 朱媛君, 王百竹, 等. 呼伦贝尔沙地北部沙带植物群落分布格局与土壤特性的关系[J]. 中国沙漠, 2020, 40(1): 145—155.
- [25] 熊斌梅. 七姊妹山自然保护区黄杉林群落学特征研究[D]. 武汉: 湖北大学, 2017.
- [26] Shary P A, Sharaya L S, Sidiyakina L V, *et al.* Impact of Environmental Factors on the Life—Form Diversity of Grassland Vegetation in the Southern Forest—Steppe [J]. *Russian Journal of Ecology*, 2020, 51(1): 11—99.
- [27] 陈文业, 戚登臣, 李广宇, 等. 甘南高寒退化草地生态位特征及生产力研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(1): 80—90.
- [28] 焉志远, 黄庆阳, 王继丰, 等. 黑龙江兰远草原自然保护区植物的种类组成与生活型谱分析[J]. 国土与自然资源研究, 2012, (3): 94—96.
- [29] 刘守江, 苏智先, 张璟霞, 等. 陆地植物群落生活型研究进展[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2003(2): 155—159.

# Quantitative classification and vegetation characteristics of plant communities of Desert Steppe in Gaolan County

ZHOU Shan-shan<sup>1\*</sup>, YUAN Zu-lin<sup>2</sup>, XI Shou-gang<sup>2</sup>, KOU Xiao-xue<sup>2</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Shanxi Institute of Science and Technology, Jincheng 048000, China; 2. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** **[Objective]** This research takes quantitative classification and vegetation characteristics of plant communities for desert steppe in Gaolan County, and explores the main environmental factors affecting community distribution, so as to understand the current status of vegetation resources and provide vital information for ecological restoration and species diversity protection. **[Method]** Based on the vegetation characteristics survey data of 30 grids in the study area, the bidirectional indicator species method (TWINSPAN) and canonical correspondence analysis (CCA) were used to quantitatively classify and sort the plant community composition and the dominant factors affecting the community distribution in Gaolan County. **[Result]** 30 grids were divided into 7 categories by TWINSPAN quantitative classification method: Community I (*Reaumuria songarica* + *Ajania tenuifolia*), Community II (*Kalidium foliatum* + *Allium oreoprasum*), Community III (*R. songarica* + *Ajania achilleoides*), Community IV (*K. foliatum* + *Neopallasia pectinate*), Community V (*Caragana sinica* + *Stipa breviflora*), Community VI (*R. songarica* + *Stipa bungeana*) and Community VII (*Asterothamnus centralasiaticus* + *S. bungeana*) respectively. There were significant differences in species composition among different communities, and the height and coverage of each community were low. In these communities, Community I and Community III had the richest species composition and the highest species similarity, while Community III had the highest uniformity index and widest distribution range. The vegetation life-form spectrum was mainly composed of hemicryptophytes and therophytes. The CCA ranking showed that the distribution of communities was most affected by Minimum Temperature of Coldest Month and Temperature Seasonality, followed by Mean Monthly Temperature Range and Annual Mean Temperature. **[Conclusion]** The main dominant species in Gaolan County were *R. songarica*, *A. tenuifolia* and *A. achilleoides*. Temperature is the most important environmental factor affecting the distribution of plant communities in this area. The community type was single, the structure was simple and the species diversity and richness were low. The government should strengthen the management and protection of plants in this area to ensure ecological security and sustainable development.

**Key words:** Desert Steppe; TWINSPAN; CCA; quantitative classification of community; vegetation characteristics

(责任编辑:康宇坤)