

马娟,张卫红,宫燕,等.宁夏草地植物多样性及群落稳定性[J].中国沙漠,2025,45(3):243-252.

宁夏草地植物多样性及群落稳定性

马娟¹,张卫红¹,宫燕¹,胡洁¹,刘志鹏¹,潘颜霞²

(1.宁夏回族自治区生态环境监测中心,宁夏 银川 750002; 2.中国科学院西北生态环境资源研究院 沙坡头沙漠
研究试验站/干旱区生态安全与可持续发展国家重点实验室,甘肃 兰州 730000)

摘要:本研究基于宁夏回族自治区63个草地样地的调查数据,系统分析了该地区不同类型草地的植物多样性及群落稳定性。研究共记录了344种植物,分布于61科195属,其中灌木层物种丰富度较低,而草本层表现出较高的物种多样性。通过计算Sprengel相似性系数、重要值指数、多样性指数,并运用Godron稳定性测定方法,评估了不同类型草地群落的物种组成差异性、物种重要性、多样性水平和稳定性特征。结果显示:宁夏不同类型草地群落的物种丰富度和多样性指数存在显著差异,草甸草地的物种丰富度和多样性最高,典型草地居中,荒漠草地最低;群落稳定性分析表明,草甸草地群落的稳定性最高,荒漠草地最低。这种差异与区域间的气候条件、土壤类型、养分状况等密切相关。

关键词:宁夏;草地类型;植物多样性;群落稳定性;生态管理

文章编号: 1000-694X(2025)03-243-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2025.00157

中图分类号: S812

文献标志码: A

0 引言

草地生态系统覆盖了地球约40.5%的陆地面积,具有至关重要的生态功能^[1]。首先,草地通过植物根系结构,显著增强土壤的抗风蚀和抗水蚀能力,尤其在干旱和半干旱地区,草地能够有效减少水土流失,并在水源涵养和水文循环调节中发挥关键作用^[2-3]。草地的固土作用对防治沙漠化和保持土地生产力具有重要意义,尤其在中国西北沙漠化严重的地区尤为突出^[2]。其次,草地在全球碳循环中扮演着重要角色,草地植物通过光合作用吸收二氧化碳,并将其以有机物的形式储存在土壤中,从而对气候变化的缓解起到了积极作用^[4-5]。草地的碳储存能力在全球范围内仅次于森林,是地球碳汇的重要组成部分^[6]。草地的生物多样性不仅为多种植物、昆虫、鸟类和大型草食性动物提供栖息地,还通过复杂的食物链维持生态系统的稳定性和恢复力,这对于应对气候变化、土地退化等环境问题尤为重要^[7-9],草地中不同物种之间的互作关系可增强生态系统对外界干扰的适应性与恢复力^[10]。因此,

草地不仅是地球生态系统的重要组成部分,也是全球气候调节与生态服务的关键力量,保护和合理利用草地资源,对于应对环境变化、实现可持续发展具有深远的意义^[11]。

宁夏回族自治区位于黄河流域,且被划定为北方防风固沙带与“三北”防护林建设的核心区域,在中国生态安全战略中占有重要地位。草地作为宁夏的主要土地利用类型,是该区陆地生态系统的重要组成部分,具有维系西北内陆农牧交错带生态安全、调节区域气候、维持生物多样性和保障生态平衡的重要作用^[12]。然而,气候变化加剧导致草地退化,生态服务功能下降,已成为制约区域生态安全与可持续发展的关键因素^[13]。宁夏草地6.64万km²,其中温性荒漠草原占主要地位,草地的水源涵养、土壤保持和碳汇等生态功能不可忽视^[14]。深入研究草地植物多样性及群落稳定性,不仅有助于揭示草地生态系统的内在机理,还能为草地退化防治与恢复提供科学依据和实践指导,进而提升草地生态系统的韧性与稳定性,为应对气候变化和加强生态保

收稿日期:2025-04-24; 改回日期:2025-05-03

资助项目:国家自然科学基金项目(32471969)

作者简介:马娟(1987—),女,宁夏人,高级工程师,主要从事生态监测与治理研究。E-mail: mj_116@163.com

通信作者:潘颜霞(E-mail: panyanxia@lzb.ac.cn)

护提供支持^[15]。

近年来,宁夏草地生态系统的植物多样性和群落稳定性成为生态学研究的重要课题。目前对群落结构分析及多样性评估的研究多局限于局部区域(如罗山草地)或特定草地类型,缺乏对宁夏全区不同草地类型的全面调查与综合分析,且未能充分考虑区域间差异,导致对宁夏草地生态系统群落结构特征及稳定性的理解仍不完善^[16-18]。部分学者指出,现有草地生态研究模型偏重于静态物种多样性测度,忽视了草地群落动态演替的复杂性,无法全面评估草地生态系统的长期稳定性^[19]。虽然草地恢复与管理的研究已取得一定进展,但多关于特定草地的恢复过程或某一时期的群落变化,缺乏跨区域比较与长期监测^[2,15]。

本研究通过在宁夏全区不同地区开展地面调查,综合分析宁夏不同类型草地植物多样性和群落稳定性的差异性,弥补了现有研究对区域间差异性考虑不足的局限。研究重点在于评估各类草地群落的稳定性与物种多样性,并探讨其对环境因素的响应机制,旨在为草地生态系统的保护、恢复与可持续管理提供科学依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

宁夏回族自治区位于中国西北内陆,地势总体南高北低、西部高差较大、东部起伏较缓。宁夏属于典型的温带大陆性半湿润半干旱气候,冬季寒冷干燥,夏季炎热短暂,降水较少,且分布不均,多年平均降水量为183~677 mm,集中在夏季,空间分布呈现南多北少的趋势^[20]。草地是宁夏生态系统的关键组成部分,广泛分布于黄土高原丘陵区 and 风沙干旱区,是黄河中游上段的重要水源涵养与生态保护屏障。宁夏的草地类型丰富,包括荒漠草地、典型草地和草甸草地,其中荒漠草地主要分布在北部和中部风沙带,典型草地和草甸草地则集中在中部和南部的黄土丘陵区及六盘山一带^[21-22]。

本研究选取了63个草地样地,覆盖了宁夏回族自治区不同草地类型(28个荒漠草地样地,29个典型草地样地,6个草甸草地样地,图1),其中荒漠草地以黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)群落、红砂(*Reaumuria soongarica*)群落、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)群落等为主,群落盖度2.54%~45.52%;典型草地

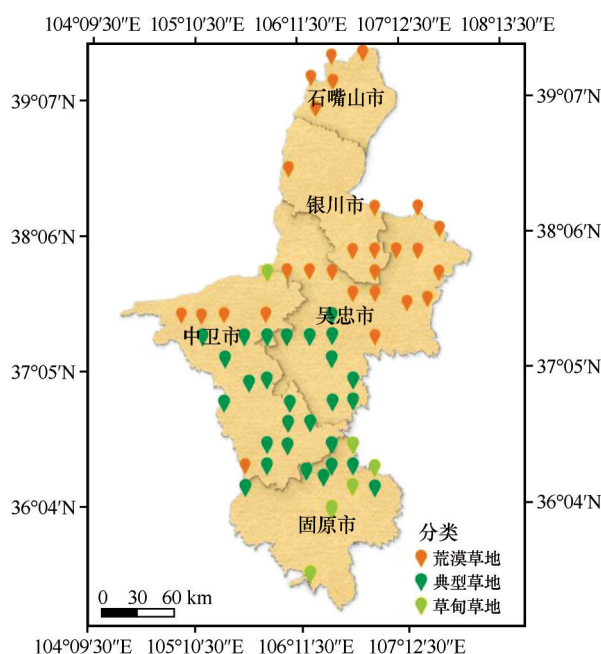


图1 宁夏草地调查样地分布

Fig.1 Distribution of grassland survey sample plots in Ningxia

以柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)群落、黑沙蒿群落、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)群落等为主,盖度10.33%~75.50%;草甸草地分别为木蓝(*Indigofera pseudotinctoria*)群落、秀丽槭(*Acer elegantulum*)群落、芦苇(*Phragmites australis*)群落、水榆子(*Cotoneaster multiflorus*)群落、榆树(*Ulmus pumila*)群落和山桃(*Prunus davidiana*)群落,盖度37.40%~95.25%。所选样地的地理跨度较大,覆盖了宁夏从南至北、从低海拔到高海拔的各类地理区域(表1),这些样地的分布充分反映了宁夏地区多样的气候条件与生态环境差异,为本研究提供了丰富的生态学研究素材,为深入分析宁夏草地生态系统的多样性及其对环境变化的适应性提供了重要支撑,确保了研究结果的科学性和代表性。

1.2 研究方法

按照2024年中国环境监测总站颁发的《全国生态质量监督监测技术指南(试行)》方案要求,每个样地面积100 m×100 m,样地内部随机布设3组样方,每组3个,以实现灌对灌木和草本层的分层监测,共计9个样方。灌木层样方面积为5 m×5 m,草本层样方面积为1 m×1 m。样方采用嵌套式布局,即每个灌木层样方内部嵌套草本层样方,以便对不同植被层次进行系统性分析。

表1 样地位置及概况

Table 1 The location and general situation of the sample plots

草地类型	所在地区	样地数	海拔/m	群落盖度/%	主要群落类型
荒漠草地	石嘴山市、银川市、中卫市、吴忠市	28	1 122.9~2 134.7	2.54~45.52	黑沙蒿群落、柠条锦鸡儿群落、红砂群落、猫头刺群落、胡枝子群落、合头藜(<i>Sympegma regelii</i>)群落、沙枣(<i>Elaeagnus angustifolia</i>)群落等
典型草地	中卫市、吴忠市、固原市	29	1 187.7~2 192.5	10.33~75.50	柠条锦鸡儿群落、黑沙蒿群落、胡枝子群落、珍珠柴(<i>Salsola passerina</i>)群落
草甸草地	固原市、吴忠市	6	1 122.9~1 904.1	37.40~95.25	芦苇群落、木蓝群落、水栒子群落、秀丽槭群落、榆树群落、山桃群落

灌木层记录物种名称、多度/密度、高度、基径、丛幅、群落总盖度等。草本层需记录物种名称、多度/密度、高度、群落总盖度等。

1.3 数据分析方法

通过计算不同样地植物物种相似性指数 Sprenson 系数,对草地样地植物物种差异性进行分析^[23]

Sprenson 系数= $[2C/(A+B)] \times 100\%$ (1)
式中: A 代表某一样地全部物种数; B 代表另一样地全部物种数; C 代表 A 、 B 区域共有物种数。

重要值(IV)表示某个物种在群落中的相对重要性,综合考虑了物种的多度、盖度、频度等多个指标,在植被生态学研究中被广泛应用^[24],灌木层和草本层植物的重要值分别根据式(2)、(3)进行计算^[25]:

$$IV=(RA+RC+RH)/3$$
 (2)

$$IV=(RC+RH+RA+RAG)/4$$
 (3)

式中: IV 为重要值; RA 为相对多度; RH 为相对高度; RC 为相对盖度; RAG 为相对地上生物量。

统计样地中灌木层、草本层植物的科、属、种,并计算多样性指数。本文选取 Patrick 丰富度指数(R)、Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 指数(D)、Pielous 均匀度指数(J)4个常用指标对研究区草地群落物种多样性进行分析^[26]。

$$R = S$$
 (4)

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$
 (5)

$$D = 1 - \sum_{i=1}^n P_i^2$$
 (6)

$$J = \frac{H}{\ln S}$$
 (7)

式中: S 代表物种数目; P_i 是第 i 种的概率。

运用当前国际上广泛采用的 Godron 稳定性测定方法^[27],并结合郑元润^[28]对 Godron 所做的改进数

学方法评价群落的稳定性。首先将群落中所有植物的频度按照从大到小的顺序进行排列;接着计算总种数倒数的累计百分数以及相对频度的累积百分数,并据此绘制出两者的散点图;之后,对这个散点图进行平滑曲线的模拟操作。在这个过程中,我们规定了一个稳定性参考点,它是由平滑曲线与直线方程的交点所确定的,其中,直线方程为(9),而平滑曲线模型的表达式为(8)。通过将式(9)代入式(8)来求解交点坐标时,会得到两个解,一个解的值远大于100,另一个解的值处于0~100。考虑到我们的研究情况,交点坐标应该位于第一象限,所以我们选择0~100内的解,以此解与稳定点(坐标为(20,80))进行比较。当该交点坐标越趋近于点(20,80)时,就表明该群落的稳定性越高;反之,若偏离该点越远,则说明群落的稳定性越低。

$$y = ax^2 + bx + c$$
 (8)

$$y = -x + 100$$
 (9)

2 结果与分析

2.1 宁夏草地植物群落组成及相似性

宁夏63个草地样地共记录了10 275个植物个体,覆盖了61科195属344种。蔷薇科(Rosaceae)表现出显著的优势,其物种数量占总物种数的21.28%(图2);其次,禾本科(Poaceae)和牻牛儿苗科(Geraniaceae)的物种占比分别为12.23%和11.17%;其他重要科类包括苋科(Amaranthaceae)、石蒜科(Amaryllidaceae)、豆科(Fabaceae)和忍冬科(Caprifoliaceae),其物种占比分别为4.79%、4.26%、3.72%和3.19%。此外,夹竹桃科(Apocynaceae)和石竹科(Caryophyllaceae)各占2.66%;茜草科(Rubiaceae)的占比比较低;在占比较低的科类中,存在一些单科、单属或单种的特殊现象。

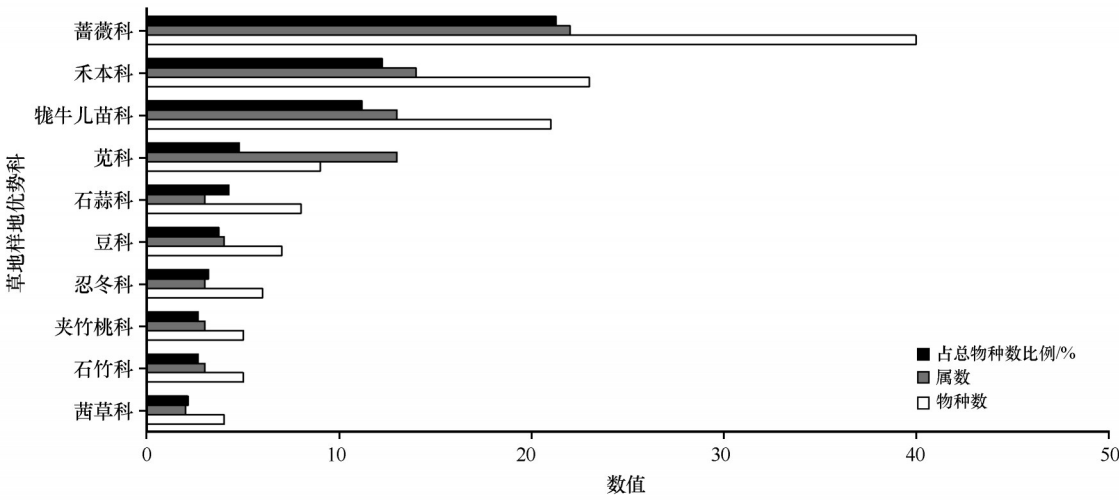


图2 宁夏草地优势科的属数、物种数及其占总物种数比例

Fig.2 The number of genera and species of dominant families in grassland sample plots and their proportions in the total number of species, Ningxia

对不同植物重要值的分析表明(表2),柠条锦鸡儿在灌木层中的重要值高达0.260419,该物种在宁夏草地群落中具有显著的生态地位,在维持草地生态系统稳定性方面发挥着关键作用,并对草地群落的多样性产生重要影响;其次是胡枝子,重要值为0.148273,显示了该物种在宁夏不同区域草地上

表2 宁夏草地群落主要物种组成及重要值

Table 2 Main species composition and important value of grassland community in Ningxia

植被类型	科	属	物种名	重要值
灌木	豆科(Fabaceae)	锦鸡儿属(<i>Caragana</i>)	柠条锦鸡儿(<i>Caragana korshinskii</i>)	0.260419
	豆科(Fabaceae)	胡枝子属(<i>Lespedeza</i>)	胡枝子(<i>Lespedeza bicolor</i>)	0.148273
	菊科(Asteraceae)	蒿属(<i>Artemisia</i>)	黑沙蒿(<i>Artemisia ordosica</i>)	0.133795
	苋科(Amaranthaceae)	珍珠柴属(<i>Caroxylon</i>)	珍珠柴(<i>Caroxylon passerinum</i>)	0.119035
	豆科(Fabaceae)	棘豆属(<i>Oxytropis</i>)	猫头刺(<i>Oxytropis aciphylla</i>)	0.091956
	怪柳科(Tamaricaceae)	红砂属(<i>Reaumuria</i>)	红砂(<i>Reaumuria songarica</i>)	0.088037
	旋花科(Convolvulaceae)	旋花属(<i>Convolvulus</i>)	刺旋花(<i>Convolvulus tragacanthoides</i>)	0.051809
	豆科(Fabaceae)	苦参属(<i>Sophora</i>)	苦豆子(<i>Sophora alopecuroides</i>)	0.042104
	藜科(Zygophyllaceae)	驼蹄瓣属(<i>Zygophyllum</i>)	霸王(<i>Zygophyllum xanthoxylum</i>)	0.038149
	菊科(Asteraceae)	亚菊属(<i>Ajania</i>)	蓍状亚菊(<i>Ajania achilleoides</i>)	0.026423
	禾本科(Poaceae)	针茅属(<i>Stipa</i>)	针茅(<i>Stipa grandis</i>)	0.215057
草本	苋科(Amaranthaceae)	猪毛菜属(<i>Salsola</i>)	猪毛菜(<i>Salsola collina</i>)	0.157010
	苋科(Amaranthaceae)	雾冰藜属(<i>Grubovia</i>)	雾冰藜(<i>Grubovia dasyphylla</i>)	0.124972
	菊科(Asteraceae)	蒿属(<i>Artemisia</i>)	猪毛蒿(<i>Artemisia scoparia</i>)	0.103118
	禾本科(Poaceae)	冰草属(<i>Agropyron</i>)	冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)	0.101060
	菊科(Asteraceae)	蒿属(<i>Artemisia</i>)	冷蒿(<i>Artemisia frigida</i>)	0.077903
	禾本科(Poaceae)	针茅属(<i>Stipa</i>)	大针茅(<i>Stipa grandis</i>)	0.069942
	蔷薇科(Rosaceae)	蒿属(<i>Artemisia</i>)	茵陈蒿(<i>Artemisia capillaris</i>)	0.066327
	菊科(Asteraceae)	蒿属(<i>Artemisia</i>)	白莲蒿(<i>Artemisia gmelinii</i>)	0.044108
	禾本科(Poaceae)	针茅属(<i>Stipa</i>)	短花针茅(<i>Stipa breviflora</i>)	0.040504

的高出现频度和广泛分布；黑沙蒿的重要值为 0.133795,其在草地生态系统灌木层中同样分布广泛,对生物多样性和生态平衡的维持起着至关重要的作用。珍珠柴的重要值为 0.119035,在群落组成中也占据着重要位置,对群落的结构和功能维持具有一定作用。相比之下,其他物种的重要值均低于 0.1,说明这些物种在群落中的地位和作用相对较小,它们在群落的组成、结构和功能发挥等方面所起的作用不如上述优势种显著。

草本层中,针茅(*Stipa grandis*)的重要值以 0.215057 占据了重要的生态位,影响着其他物种的分布和数量,对宁夏草地整个群落的稳定性和生态平衡起到重要作用。此外,重要值为 0.1~0.2 的草本植物包括猪毛菜(*Salsola collina*,0.157010)、雾冰藜(*Grubovia dasyphylla*,0.124972)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*, 0.103118)和冰草(*Agropyron cristatum*, 0.101059)。尽管冷蒿(*Artemisia frigida*,0.077903)、大针茅(*Stipa grandis*,0.069942)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris*, 0.066327)、白莲蒿(*Artemisia gmelinii*, 0.044108)和短花针茅(*Stipa breviflora*,0.040504)的重要值相对较低,但它们在草本层的物种多样性构成以及生态平衡的维持中扮演着不可或缺的角色,这些物种的存在有助于增加群落的物种丰富度,促进生态位的分化,从而增强群落对环境变化的适应能力和抵抗力。

本研究选取的 63 个草地样地可划分为荒漠草地、典型草地和草甸草地,荒漠草地以耐旱灌木和半灌木为主,植物种类较少,优势种明显;典型草地植物多样性较高,以草本植物为主,兼有少量灌木;草甸草地植物种类以湿生或中生草本为主,常见于水分条件较好的区域。荒漠草地调查到物种数 3 662 个,属于 42 科 99 属 146 种,典型草地物种数 4 057 个,隶属 48 科 112 属 189 种,草甸草地物种数 2 556 个,包含 48 科 140 属 209 种。

Sprensen 系数为 21.34%~58.89%(表 3),表明不同草地群落之间的物种组成相似性较低,且存在明

显的差异性。荒漠草地与典型草地之间的相似性最高,Sprensen 系数达到 58.89%;其次,典型草地与草甸草地之间的 Sprensen 系数为 44.52%,也表现出较高的相似性;相比之下,荒漠草地与草甸草地之间的 Sprensen 系数较小,表明两者的草地群落组成差异较大。因此,不同类型间的草地群落组成差异性较为显著,尤其是荒漠草地与草甸草地之间的差异最为突出。

表 3 宁夏不同类型草地共有物种数和相似性指数
Table 3 Number of shared species and similarity index in different type grasslands, Ningxia

	荒漠草地	典型草地	草甸草地
荒漠草地		58.89	21.34
典型草地	76		44.52
草甸草地	52	89	

注:上三角为不同草地群落物种相似性指数 Sprensen 系数(%),下三角为不同类型草地群落间共有物种数。

从共有物种数来看,典型草地与草甸草地之间的共有物种数达到了 89 种,这一较高的共有物种数反映了两者在生态条件上的相似性;此外,典型草地和草甸草地本身物种丰富,较高的植物种类数也促进了两者之间共有物种数的增加,即,这两种类型各自具有较为丰富的物种多样性,从而增强了它们之间的物种共享。相比之下,荒漠草地与草甸草地之间的共有物种数仅为 52 种,表明两者在生态条件上存在较大差异。

2.2 宁夏草地植物群落多样性

宁夏荒漠草地、典型草地和草甸草地群落的物种丰富度表现出显著差异,丰富度指数为 132~198(表 4)。草甸草地的物种丰富度指数最高,达到 198,其中灌木层主要由木蓝、水栒子和秀丽槭等群落构成,这些灌木物种凭借其生态适应性,在南部草甸草地的生态环境中形成了稳定的群落结构,为生态系统提供了重要的结构支撑;草本层则以冰草、针茅、野艾蒿(*Artemisia argyi*)和大针茅为主,这

表 4 宁夏不同类型草地群落植物物种多样性指数

Table 4 Plant species diversity index of different type glassland community in Ningxia

草地类型	Shannon-Wiener 指数(<i>H</i>)	Simpson 指数(<i>D</i>)	Pielous 均匀度指数(<i>J</i>)	Patrick 丰富度指数(<i>R</i>)
荒漠草地	3.844±0.543	0.935±0.044	0.876±0.094	132
典型草地	4.095±0.635	0.954±0.056	0.810±0.053	169
草甸草地	4.165±0.588	0.976±0.072	0.785±0.061	198

些草本植物的共存形成了复杂多样的草本植物群落,显著增强了草甸草地的生物多样性。相比之下,荒漠草地的物种丰富度低于典型草地和草甸草地,灌木层主要由红砂和黑沙蒿构成,这些物种适应了宁夏北部相对干旱、风沙较大的环境特征;草本层则以猪毛菜和针茅为主。

各样地的 Shannon-Wiener 多样性指数(H)为 3.844~4.165, Simpson 优势度指数(D)为 0.935~0.976, Pielou 均匀度指数(J)为 0.785~0.876。草甸草地的多样性指数(H)和优势度指数(D)最高,表明该类型草地的物种多样性较高,优势种较为突出;荒漠草地的物种多样性指数(H)最低,但其优势度指数(D)也最低,表明优势种不明显,均匀度指数(J)较高;典型草地的多样性指数(H)、优势度指数

(D)和 Pielous 均匀度指数(J)均处于中等水平,表明该类型群落丰富度和均匀度均处于中等状态,这样的群落结构具有一定的复杂性,在面对外界干扰时,具有一定的恢复能力和缓冲能力。

2.3 宁夏不同类型草地植物群落稳定性

宁夏不同类型草地样地的植物群落稳定性分析结果表明(图 3),所有样地植物群落稳定性模拟曲线的 R^2 值均较高,Godron 稳定性测定方法可用于评价宁夏不同类型草地植物群落的稳定性特征。不同植物群落稳定性拟合曲线与 $y=-x+100$ 直线的交点距稳定点(20, 80)的欧式距离表现为荒漠草地>典型草地>草甸草地,即植物群落的稳定性表现为草甸草地>典型草地>荒漠草地。

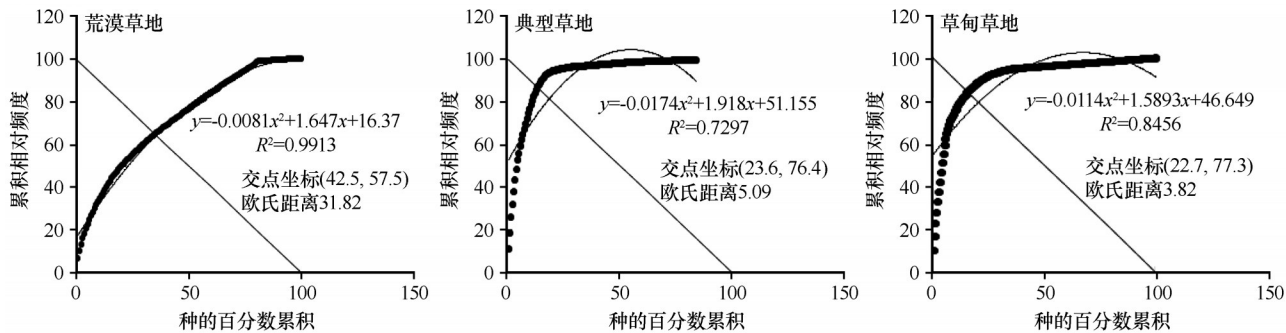


图 3 宁夏不同类型草地群落稳定性模拟曲线

Fig.3 M. Godron stability simulation curve in different type grassland community, Ningxia

2.4 宁夏不同类型草地环境因子分析

环境因子在不同草地类型间存在显著差异,对草地的植物多样性和群落稳定性产生了重要影响(表 5)。草甸草地的年降水量(580.25 ± 74.18 mm)显著高于典型草地(420.75 ± 50.36 mm)和荒漠草地(220.50 ± 35.28 mm),表明草甸草地拥有更为丰富的水分条件,促进了植物多样性的增加。同时,草甸草地的年均气温(10.82 ± 2.13 $^{\circ}\text{C}$)也较高,为植物生

长提供了更为适宜的温度条件。相比之下,荒漠草地的年均气温(8.53 ± 2.11 $^{\circ}\text{C}$)较低,且降水量最少,导致植物生长受限,从而影响物种多样性和群落稳定性。

土壤类型在不同草地类型间存在差异,草甸草地主要为山地草甸土,典型草地为黄绵土和黑垆土,而荒漠草地则以风沙土和灰钙土为主。草甸草地的土壤有机质含量($2.437\% \pm 0.382\%$)显著高于典型草地($1.514\% \pm 0.221\%$)和荒漠草地($0.942\% \pm$

表 5 宁夏不同类型草地样地环境因子

Table 5 Environmental factors of different grassland types in Ningxia

草地类型	年降水量 /mm	年均气温 / $^{\circ}\text{C}$	土壤类型	土壤有机质 含量/%	土壤全氮 含量/%	土壤全磷 含量/%	气象站点位置
荒漠草地	220.50 \pm 35.28	8.53 \pm 2.11	风沙土、灰钙土	0.942 \pm 0.183	0.096 \pm 0.033	0.084 \pm 0.016	39.02 $^{\circ}$ N,106.37 $^{\circ}$ E;37.47 $^{\circ}$ N, 106.27 $^{\circ}$ E; 37.23 $^{\circ}$ N,105.15 $^{\circ}$ E
典型草地	420.75 \pm 50.36	6.29 \pm 1.82	黄绵土、黑垆土	1.514 \pm 0.221	0.181 \pm 0.032	0.131 \pm 0.034	36.53 $^{\circ}$ N,105.18 $^{\circ}$ E; 36.72 $^{\circ}$ N, 106.18 $^{\circ}$ E; 36.21 $^{\circ}$ N,106.28 $^{\circ}$ E
草甸草地	580.25 \pm 74.18	10.82 \pm 2.13	山地草甸土	2.437 \pm 0.382	0.261 \pm 0.085	0.177 \pm 0.041	35.51 $^{\circ}$ N,106.28 $^{\circ}$ E; 136.42 $^{\circ}$ N,06.68 $^{\circ}$ E

0.183%),表明草甸草地的土壤肥力较高,有利于植物生长和多样性的维持。土壤有机质含量的高低直接影响土壤的保水能力、养分循环和微生物活性,进而影响植物群落的结构和功能。

土壤全氮和全磷含量是衡量土壤肥力的另外两个重要指标。草甸草地的土壤全氮($0.261\%\pm 0.085\%$)和全磷($0.177\%\pm 0.041\%$)含量均高于典型草地和荒漠草地,进一步证实了草甸草地较高的土壤肥力。较高的土壤氮磷含量有助于植物的生长发育,从而提高草地的物种多样性和群落稳定性。

因此,环境因子如降水量、气温、土壤类型、土壤有机质含量以及土壤全氮和全磷含量在不同草地类型间的差异,对草地的植物多样性和群落稳定性产生了显著影响。这些因子通过影响植物的生长条件和生态系统的结构功能,进而影响草地生态系统的稳定性和生物多样性。这些发现为草地生态系统的保护和管理提供了重要的科学依据。

3 讨论

宁夏地区草地生态系统的植物多样性受到气候因素(如降水量和气温)的显著影响,不同区域的草地植被群落表现出较大的差异,研究这些差异对于揭示气候变化对草地生态系统结构与功能的影响具有重要意义,为区域生态保护与修复提供了科学依据。降水量对草地植物生长起着关键作用,降水量的增加能显著促进草地植物的生长与生物量积累^[29],而气温波动则通过延长生长季节,间接影响植物的多样性和群落结构^[30]。在水分较为充足的地区,草地植物的物种多样性较高,而在干旱地区,尽管物种数量较少,植物表现出较强的抗逆性和适应性^[31]。气候因素对草地生态系统的多样性和稳定性具有深远影响,深入探讨其机制对于草地的可持续管理和修复至关重要。因此,未来研究应进一步分析气候变化如何影响草地植物的多样性、生态功能以及物种间的相互关系。

在宁夏草地群落样地中,共记录了10 275个植物个体,涵盖了61科195属344种植物。这些样地分布在宁夏不同地理区域,能够较为全面地反映该地区半灌木与草本荒漠植被的基本情况,可用于进一步分析群落结构、物种多样性的动态变化,评估不同区域草地生态系统的健康状况。自20世纪70年代以来,物种多样性-群落稳定性的正相关关系已被众多生态学家普遍接受^[24,32-33],群落内物种丰

富度越大、种群分布越均匀,群落的稳定性则越高^[34]。多样性与稳定性关系假说^[35-37]认为,群落内物种组成越丰富,且种群数量越稳定时,群落的整体稳定性也越高,这在多个草地生态系统的研究中得到了验证。祁旭阳等^[38]在云雾山40年的草地生态系统演替研究中发现,物种多样性与群落稳定性呈正相关,群落物种的丰富性和均匀性越高,群落的稳定性也越强。

在物种组成上,蔷薇科、禾本科和牻牛儿苗科占据主要地位,这些科类的植物通常具有较强的适应性,能够在宁夏的半干旱和荒漠化环境中生长繁茂,特别是在一些荒漠化较为严重的区域,蔷薇科和禾本科植物不仅发挥着重要的生态功能,还可能对区域植被的恢复和土地的保水保土等方面起到积极作用。单科、单属或单种植物的存在尽管在物种数量上占比不大,但它们往往在维持生态平衡、促进物种间的相互作用以及推动生态功能的发挥方面具有独特的贡献。例如,夹竹桃科和石竹科在宁夏草地生态系统中虽然占比较小,但可能在某些特定环境条件下,发挥着重要的生态功能,如生物固氮、土壤改良等作用。

宁夏草地群落的重要值揭示了特定物种在生态系统中的主导作用及生态位,一般来说,重要值越大的物种,往往生态位宽度也越大,对资源的利用和对环境的适应能力也越强^[39]。柠条锦鸡儿以最高的重要值展示了其在荒漠草地生态系统中的核心地位,它不仅在资源获取上具备优势,还在防风固沙和土壤养分循环中扮演着关键角色^[40]。胡枝子和黑沙蒿尽管重要值相对低,但它们在半干旱环境中的高适应性表明了它们在生态恢复和土壤保持方面的重要性^[41]。针茅在草本层的高重要值揭示了其在维持草地生态系统稳定性和多样性方面的关键作用,它可能通过其深根系和地上生物量对土壤结构和水分保持产生积极影响^[24]。此外,尽管像冷蒿等物种的重要值很低,但它们对群落的物种多样性和生态平衡的维持仍具有重要贡献,特别是在应对环境变化和维持生态系统的弹性方面^[41]。这些发现不仅强调了主要物种在生态系统中的功能,还揭示了次要物种在增强生态稳定性和多样性方面的潜在作用,未来研究可进一步深入探讨物种之间的相互作用机制,以及环境变化对物种重要值和群落结构的影响,为草地生态系统的保护和管理提供更科学的依据。

不同类型草地群落之间的物种组成相似性较低,典型草地与草甸草地的相似性最高(58.89%),而荒漠草地与草甸草地的差异最为显著(21.34%),表明地理位置和生态条件对草地群落的物种组成有显著影响^[42-43]。从共有物种数来看,典型草地与草甸草地之间较高的共有物种数反映了两者在生态条件上的相似性,这两个区域各自具有较为丰富的物种多样性,从而增强了它们之间的物种共享^[44]。相比之下,荒漠草地与草甸草地之间共有物种数较低表明两者在生态条件上存在较大差异,荒漠和草甸草地分布区域的生态差异可能对物种的分布与迁移构成了制约,进而限制了不同草地类型之间物种共享的可能性。气候条件的差异,如温度和降水量的不同,会直接影响植物的生长和分布^[45]。此外,草地群落的物种多样性也受到人类活动和管理方式的影响,如过度放牧和围封措施等,这些活动会改变群落结构和物种组成^[46]。土壤类型和养分含量的差异也对植物群落的组成产生显著影响,在高寒草地中,土壤因子和植被特征显著影响生态系统的多功能性^[47]。因此,在草地生态系统管理中,需要综合考虑气候变化、人类活动和环境条件的多重影响,以制定更有效的保护策略。

宁夏不同类型草地植物群落的多样性存在显著的差异,草甸草地因湿润的气候和复杂的生态环境展现了最高的物种丰富度和多样性,表明该类型草地植物种类繁多,且生态竞争和共存关系更为复杂^[48];荒漠草地则由于干旱和风沙的限制,物种丰富度较低,且群落结构较为均匀,物种竞争较少^[17];典型草地在多样性指数和优势度指数上居于两者之间,表明该类型草地的群落结构较为平衡,具备较强的生态恢复力^[30]。物种丰富度与多样性指数之间的高度正相关性进一步验证了物种多样性的提高有助于增强群落的稳定性与生态功能^[49]。这些结果表明,环境因素对草地植物群落的多样性和结构具有重要影响,未来的研究可进一步探讨这些差异与气候变化的关系。

宁夏草地植物群落的多样性与稳定性在维持生态系统稳定性方面发挥着关键作用。近年来,改进的 M. Godron 法通过优化传统计算过程,显著提高了群落稳定性评价的效率和准确性,并已广泛应用于森林、草地等生态系统的稳定性分析^[50]。本研究中,所有样地植物群落稳定性模拟曲线的 R^2 值较

高,表明模型拟合效果良好,能够较为准确地反映群落的稳定性,群落稳定性与植物的生态策略、生长特性以及对环境变化的适应能力之间联系紧密。物种多样性是促进植物群落稳定性的关键因素,并且群落的稳定性常常被用物种多样性来表征,物种多样性越高,群落的稳定性通常越强^[24]。本研究的数据支持了这一理论,草甸草地的物种多样性显著高于荒漠和典型草地,且物种多样性的梯度变化与群落稳定性呈正相关关系。这表明,物种丰富度和多样性在一定程度上增强了群落对环境变化的抵抗力和适应力^[51]。群落稳定性的评估是生态学研究中的重要课题,尤其在干旱和半干旱地区,植物群落的稳定性直接关系到生态系统应对气候变化的能力^[33]。因此,深入研究宁夏草地植物群落的稳定性,不仅有助于揭示区域生态系统的动态变化,还为草地生态保护与恢复提供了科学依据。

4 结论

本研究综合评估了宁夏草地的植物多样性和群落稳定性,揭示了不同草地群落的物种组成、多样性和稳定性特征,为理解区域生态系统的动态变化和制定生态保护策略提供了科学依据。研究发现,宁夏不同类型草地群落的物种丰富度和多样性指数存在显著差异,草本层物种多样性较高,而灌木层较低。草甸草地的物种丰富度和多样性最高,荒漠草地最低。群落稳定性分析显示,草甸草地群落的稳定性最高,荒漠草地最低。这种差异可能与区域间的气候条件、土壤类型以及人类活动的强度有关。这些结果强调了在干旱和半干旱地区保护和恢复草地生态系统的重要性,以及在生态保护和草地资源管理中考虑气候、土壤和人类活动因素的必要性。

参考文献:

- [1] Foley J A. Global Consequences of land use[J]. Science, 2005, 309(5734): 570-574.
- [2] 张蕊,赵学勇,李刚,等. 干旱半干旱区草地植物-土壤响应降水和措施的研究综述[J]. 中国沙漠, 2025, 45(1): 131-140.
- [3] 张晓宁,李晓丹,年丽丽,等. 基于文献计量的草地生态系统水源涵养功能研究现状[J]. 草业学报, 2024, 33(5): 1-12.
- [4] 于钊,李奇铮,王培源,等. 退化和恢复过程驱动的荒漠草地生态系统有机碳密度变化[J]. 中国沙漠, 2022, 42(2): 215-222.

- [5] 马晓俊,李云飞.腾格里沙漠东南缘植被恢复过程中土壤微生物量及酶活性[J].中国沙漠,2019,39(6):159-166.
- [6] Lal R.Global potential of soil carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect [Review] [J].Critical Reviews in Plant Sciences,2003,22:151-184.
- [7] 王德利,王岭.草食动物与草地植物多样性的互作关系研究进展[J].草地学报,2011,19(4):699-704.
- [8] 查苏娜,吴桂林,周璋,等.海南岛热带次生草地生物多样性的气候驱动效应[J].生态学报,2024,44(23):10864-10874.
- [9] 张全国,张大勇.生物多样性与生态系统功能:进展与争论[J].生物多样性,2002,10(1):49-60.
- [10] 王德利,王岭,辛晓平,等.退化草地的系统性恢复:概念、机制与途径[J].中国农业科学,2020,53(13):2532-2540.
- [11] 王宗松,姜丽丽,汪诗平,等.草地退化恢复评估方法述评[J].生态学报,2022,42(16):6464-6473.
- [12] 郭婧,张骞,宋明华,等.黄河上游草地生态现状及功能提升技术[J].草地学报,2020,28(5):1173-1184.
- [13] 田海静,黄文广,王林,等.宁夏20年禁牧封育政策对草原植被恢复贡献评估[J].中国沙漠,2024,32(1):37-45.
- [14] 杨航,马彩虹,滑雨琪,等.宁夏草地绿度时空变化图谱及驱动因素分析[J].水土保持研究,2024,31(2):228-239.
- [15] 王堃,吕进英,邵新庆.沙漠化草地的恢复与重建途径[J].中国沙漠,2004,12(3):240-245.
- [16] 马红彬,王宁.宁夏草地的分类[J].宁夏农学院学报,2000,21,2:62-67.
- [17] 龚昕,霍新茹,李雯,等.宁夏罗山山地草原植被群落特征及其空间分异[J].草业学报,2025,34(2):1-15.
- [18] 刘玉祯,赵新全,董全民,等.放牧对草地生态系统结构与功能影响的研究进展[J].草地学报,2023,31(8):2253-2262.
- [19] 陈辰,王靖,潘学标,等.CENTURY模型在内蒙古草地生态系统的适用性评价[J].草地学报,2012,20(6):1011-1019.
- [20] 王素艳,李欣,王璠,等.宁夏降水资源格局演变特征[J].干旱区研究,2021,38(3):733-746.
- [21] 李旭梅,杨钧,李小伟,等.宁夏天然草地土壤有机碳分布格局及驱动因素[J].草原与草坪,2024,44(4):1-8.
- [22] 曹颖,聂明鹤,沈艳,等.宁夏干旱风沙区荒漠草原不同退化阶段植被土壤变化特征及其相关性[J].草业学报,2024,33(8):1-14.
- [23] 韩高玲,霍建强,赵燕翹,等.鄂尔多斯高原砒砂岩地区草本物种组成及多样性[J].中国沙漠,2023,43(3):243-251.
- [24] 雷军,程新平,薛春,等.黑河流域中游北部荒漠区植物群落特征与稳定性[J].中国沙漠,2024,44(6):187-194.
- [25] 张金屯.数量生态学[M].北京:科学出版社,2018.
- [26] 司瑞,刘冰,赵文智,等.黑河下游尾间区植物群落物种多样性与稳定性格局[J].中国沙漠,2021,41(3):174-184.
- [27] Godron M, Daget P, Poissonet J, et al. Some aspects of heterogeneity in grasslands of Cantal [J]. Statistical Ecology, 1972, 3: 397-415.
- [28] 郑元润.森林群落稳定性研究方法初探[J].林业科学,2000,5:28-32.
- [29] 刘万弟,李小伟,黄文广,等.宁夏草原针茅属植物群落物种多样性和生产力格局及影响因素研究[J].草业学报,2021,30(1):12-23.
- [30] 杨阳,刘秉儒.宁夏荒漠草原不同群落生物多样性与生物量关系及影响因子分析[J].草业学报,2015,24(10):48-57.
- [31] Wu Z, Dai E F, Wu Z F, et al. Assessing differences in the response of forest aboveground biomass and composition under climate change in subtropical forest transition zone [J]. Science of the Total Environment, 2020, 706: 135746.
- [32] Fons Van der Plas. Biodiversity and ecosystem functioning in naturally assembled communities [J]. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, 2019, 94(4): 1220-1245.
- [33] 马风云.生态系统稳定性若干问题研究评述[J].中国沙漠,2002,22(4):94-100.
- [34] 杨云涛,秋凯阳,王玉娟,等.氮磷添加对宁夏荒漠草原植物物种多样性和群落稳定性的影响[J].草业学报,2025,33(1):222-230.
- [35] Macarthur R. Fluctuations of animal populations and a measure of community stability [J]. Ecology, 1955, 36(3): 533-536.
- [36] 黄建辉,韩兴国.生物多样性和生态系统稳定性[J].生物多样性,1995,3(1):31-37.
- [37] 李永政.多样性-稳定性关系与环境保护[D].开封:河南大学,2012:3-18.
- [38] 祁旭阳,王欣雨,尹子鸣,等.长时间尺度草地物种多样性-群落稳定性关系及机制[J/OL].草地学报,2025,33(4):1239-1248.
- [39] 钱逸凡,伊力塔,胡军飞,等.普陀山主要植物种生态位特征[J].生态学杂志,2012,31(3):561-568.
- [40] 赵一之.小叶、中间和柠条三种锦鸡儿的分布式样及其生态适应[J].生态学报,2005,25(12):3411-3414.
- [41] 张建玲,于明含,孙慧媛,等.毛乌素沙地不同龄级黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)枝叶功能性状对干旱的响应[J].中国沙漠,2024,44(2):90-98.
- [42] 何明珠.阿拉善高原荒漠植被组成分布特征及其环境解释:III.植物功能群多样性对环境因素的响应[J].中国沙漠,2010,30(2):278-286.
- [43] 张建鹏,李玉强,赵学勇,等.围封对沙漠化草地土壤理化性质和固碳潜力恢复的影响[J].中国沙漠,2017,37(3):491-499.
- [44] 刘玲莉,井新,任海燕,等.草地生物多样性与稳定性及对草地保护与修复的启示[J].中国科学基金,2023,37(4):560-570.
- [45] Zhu K, Song Y L, Lesage J C, et al. Rapid shifts in grassland communities driven by climate change [J]. Nature Ecology & Evolution, 2024, 8: 2252-2264.
- [46] 刘银占,陈安群,郭京伟,等.气候变暖与管理方式对草地群落影响研究综述[J].河南师范大学学报(自然科学版),2023,51(1):130-137.
- [47] 邓得婷,武玉坤,赖锋,等.不同高寒草地植物群落生态系统多功能性分析[J].草地学报,2023,31(8):2505-2515.
- [48] 魏乐,耿森,宋乃平,等.宁夏荒漠草原植物群落物种多样性研究[J].宁夏大学学报(自然科学版),2013,34(4):347-350.

- [49] 朱爱民, 韩国栋, 康静, 等. 长期不同放牧强度下短花针茅荒漠草原物种多样性季节性动态变化[J]. 草地学报, 2019, 27(4): 1013–1021.
- [50] 陆龙龙, 郭忠玲, 范春楠, 等. 吉林磨盘山次生落叶阔叶林群落特征和稳定性分析[J]. 应用生态学报, 2018, 29(7): 2079–2087.
- [51] 曹成有, 朱丽辉, 蒋德明, 等. 固沙植物群落稳定性机制的探讨[J]. 中国沙漠, 2004, 24(4): 83–88.

Plant diversity and community stability in different grassland types of Ningxia

Ma Juan¹, Zhang Weihong¹, Gong Yan¹, Hu Jie¹, Liu Zhipeng¹, Pan Yanxia²

(1. Ningxia Environmental Monitoring Center, Yinchuan 750002, China; 2. Shapotou Desert Research and Experiment Station / State Key Laboratory of Ecological Safety and Sustainable Development in Arid Lands, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: This study systematically analyzes the plant diversity and community stability of grassland ecosystems in the Ningxia Hui Autonomous Region, based on survey data from 63 grassland plots. A total of 344 plant species, belonging to 61 families and 195 genera, were recorded. The species richness of the shrub layer was relatively low, while the herbaceous layer exhibited higher species diversity. By calculating the Sprenson similarity coefficient, importance value index, and diversity index, and applying the Godron stability assessment method, the study evaluated the differences in species composition, species importance, diversity levels, and stability characteristics of different grassland types. The results showed significant differences in species richness and diversity index in Ningxia's different grassland types, with the meadow grassland exhibiting the highest species richness and diversity, while the desert grassland had the lowest. Community stability analysis revealed that grassland communities of meadow grassland had the highest stability, whereas those in the desert grassland had the lowest. These differences are likely related to regional variations in climate conditions, soil types, and the nutrient contents. The findings provide scientific support for the protection and management of Ningxia's grassland ecosystems, emphasizing the necessity of considering climate, soil, and human activities in ecological management.

Key words: Ningxia; grassland type; plant diversity; community stability; ecological management