

引文格式: 南小霞, 白振清, 曾新德, 等. 石羊河下游天然柠条锦鸡儿群落的种间关联及生态位[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2024, 39(5): 160–167. DOI: [10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).202401029](https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).202401029)

石羊河下游天然柠条锦鸡儿群落的 种间关联及生态位*

南小霞¹, 白振清², 曾新德^{2**}, 王承勋², 邱作金², 许雅娟²

(1. 甘肃兴隆山国家级自然保护区管护中心, 甘肃 兰州 730100;

2. 甘肃民勤连古城国家级自然保护区管护中心, 甘肃 民勤 733399)

摘要:【目的】探讨石羊河下游柠条锦鸡儿 (*Caragana korshinskii*) 群落的资源利用状况, 揭示其结构与稳定性, 为柠条锦鸡儿群落的保护、恢复和利用提供科学依据。【方法】对石羊河下游柠条锦鸡儿群落进行实地调查, 采用方差比率法、 χ^2 检验、Ochiai 联结系数、Spearman 秩相关分析、生态位宽度和生态位重叠度等方法, 研究群落的种间关联及生态位。【结果】石羊河下游柠条锦鸡儿群落整体呈极显著的正联结。柠条锦鸡儿在群落中与其他物种表现为负联结, 整体上群落种间负联结占优势, 物种间相互作用较小, 种间联结较松散。柠条锦鸡儿在群落中的重要值和生态位宽度明显高于其他物种, 对群落结构及其稳定性具有重要作用。柠条锦鸡儿与其他物种具有不同的生物学特性和生态适应性, 与其他物种呈负关联和负相关; 沙生针茅 (*Stipa caucasica*)、无芒隐子草 (*Cleistogene songorica*)、蒙古韭 (*Allium mongolicum*) 和荒漠黄芪 (*Astragalus grubovii*) 具有相似的生物学特性和生态适应性, 但由于生态位重叠, 种间呈负关联和负相关。【结论】石羊河下游柠条锦鸡儿群落总体处于稳定状态, 柠条锦鸡儿在群落中占据重要地位, 对群落稳定性起关键作用。

关键词: 柠条锦鸡儿; 群落; 种间关联; 生态位; 生态位宽度

中图分类号: S793.302

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X (2024) 05-0160-08

Interspecific Association and Niche of the Natural *Caragana korshinskii* Community in the Lower Reaches of the Shiyang River

NAN Xiaoxia¹, BAI Zhenqing², ZENG Xinde², WANG Chengxun², QIU Zuojin², XU Yajuan²

(1. Managing and Protecting Centre of Gansu Xinglongshan National Nature Reserve, Lanzhou 730100, China;

2. Managing and Protecting Centre of Gansu Minqin Liangucheng National Nature Reserve, Minqin 733399, China)

Abstract: [Purpose] To explore the resource utilization of *Caragana korshinskii* community in the lower reaches of the Shiyang River, revealing its structure and stability, and providing a scientific basis for the protection, restoration, and rational utilization of the *C. korshinskii* community.

[Methods] Field surveys of *C. korshinskii* community in the lower reaches of the Shiyang River were carried out, and the interspecific association and niche were studied by the variance ratio meth-

收稿日期: 2024-01-28

修回日期: 2024-09-18

网络首发日期: 2024-10-09

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (31960334, 32060378); 甘肃省林业和草原科技计划项目 (2022kj065, 2019kj105)。

作者简介: 南小霞 (1975—), 女, 甘肃会宁人, 学士, 高级工程师, 主要从事荒漠化防治研究。

E-mail: Nxx740709@163.com

**通信作者 Corresponding author: 曾新德 (1972—), 男, 甘肃民勤人, 学士, 正高级工程师, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: lgezxd@163.com

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/53.1044.S.20241009.1104.001>



od, χ^2 -test, Ochiai association coefficient, Spearman's rank correlation coefficient, and niche width and niche overlap degree. [Results] The interspecific associations of the *C. korshinskii* community in the lower reaches of the Shiyang River were extremely significantly positive. *C. korshinskii* exhibited negative interspecific associations with other species, with the overall community being dominated by negative associations. The interactions between species in the community were relatively weak, and the interspecific connections were loose. The importance value and niche breadth of *C. korshinskii* were obviously higher than those of other species in the community, which played an important role in community structure and stability. *C. korshinskii* showed negative associations and correlations with other species due to differences in biological characteristics and ecological adaptability. Interspecific associations between *Stipa caucasica*, *Cleistogene songorica*, *Allium mongolicum*, and *As-tragalus grubovii* exhibited negative associations and correlations, despite having similar biological characteristics and ecological adaptability to similar habitats, primarily due to their highly overlapping niches. [Conclusion] The *C. korshinskii* community in the lower reaches of the Shiyang River River is in a stable state. *C. korshinskii* plays an important role in the community and plays a key role in the stability of the community.

Keywords: *Caragana korshinskii*; community; interspecific association; niche; niche breadth

运用物种种间关联和生态位来解释群落中物种间的共存与竞争机制是生态研究的热点之一^[1]。种间关联作为衡量群落中2个物种相似性的重要尺度,对于正确认识群落结构特征、种群进化和群落演替动态具有重要意义^[2-3]。生态位体现了种群在群落中的地位、作用和重要性^[4],也是研究群落种间联结性及群落演替的重要方法。种间关联与生态位相结合,能够客观地测定群落内物种间及物种与环境间的相互作用关系,有助于更好地解释群落对环境的适应性和资源利用能力,从而掌握群落格局、演替动态和稳定性^[5-7]。

柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)是干旱和半干旱荒漠区水土保持、植被恢复和固沙造林的重要树种,也是研究气候变迁、环境演变及植物系统进化的珍贵材料。在石羊河下游,柠条锦鸡儿主要集中分布于阿拉古山和红敖包,覆盖面积达13 259 hm²,是中国保存最完好、分布最集中、面积最大的天然柠条锦鸡儿林之一。在石羊河下游荒漠区,柠条锦鸡儿作为相对高大的植物,与其他矮小植物组成了稀疏的植被群落,共同面对降水稀少、蒸发强烈和水资源匮乏的环境。为了深入了解柠条锦鸡儿群落中物种之间的相互关系,掌握群落的内在联系、数量和结构特征以及群落的稳定性,本研究基于野外群落学调查,分析植物种间关联和生态位,旨在明确天然

柠条锦鸡儿群落的稳定性及其对环境的适应性,为石羊河下游柠条锦鸡儿的管理、保护、恢复和利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

石羊河下游位于甘肃省民勤县,气候四季分明,常年干燥,昼夜温差较大。研究区年平均气温9.82℃;年降水量122.7 mm,主要集中在7—9月,占全年降水量的60.4%;年平均蒸发量2 359 mm,是降水量的18.59倍;年平均日照时间3 177 h,其中4—8月的日平均日照时间超过9 h。该地区降水稀少,日照充足,多风^[8]。石羊河下游天然荒漠植被群落的物种多样性较低,结构简单,分布有绵刺(*Potania mongolica*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、泡泡刺(*N. sphaerocarpa*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、柠条锦鸡儿、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、膜果麻黄(*Ephedra przewalskii*)、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)等稀有和珍贵的天然植被群落,植被覆盖度为25%~30%。

1.2 样地布设及调查

通过实地调查,在石羊河下游的阿拉古山和红敖包柠条锦鸡儿集中分布区,根据典型群落和生境特征,从南到北每间隔500 m设置1个100 m×100 m的样地,共设置5个样地(图1)。在每个

样地中采用四角和中心五点法布置 5 个 10 m×10 m 的样方, 统计并记录样方内所有植物的种类、数量、高度和冠幅。

1.3 指标计算

1.3.1 总体联结性分析

采用方差比率 (variance ratio, VR) 法测定群落种间的总体关联性^[9], 并使用 W 检验显著性。计算公式为:

$$VR = \frac{S_T^2}{Q_T^2} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2}{\sum_{i=1}^S P_i(1 - P_i)};$$

$$P_i = n_i / N;$$

$$W = VR \times N。$$

式中: S_T^2 表示所有样方物种的方差; Q_T^2 表示总体物种方差, 即所有物种出现频度的方差; T_j 为样方 j 中出现的物种总数; t 为样方中物种的平均数; S 为总物种数; n_i 为物种 i 出现的样方数; N 为样方总数。VR=1 表示种间无关联; VR>1 或 VR<1 表示物种间总体上呈净正关联或负关联。 W 是检验 VR 显著性的指数, 当 $\chi_{0.95}^2(N) < W < \chi_{0.05}^2(N)$ 时, 物种间关联不显著 ($P > 0.05$); 反之, 关联显著 ($P < 0.05$)。

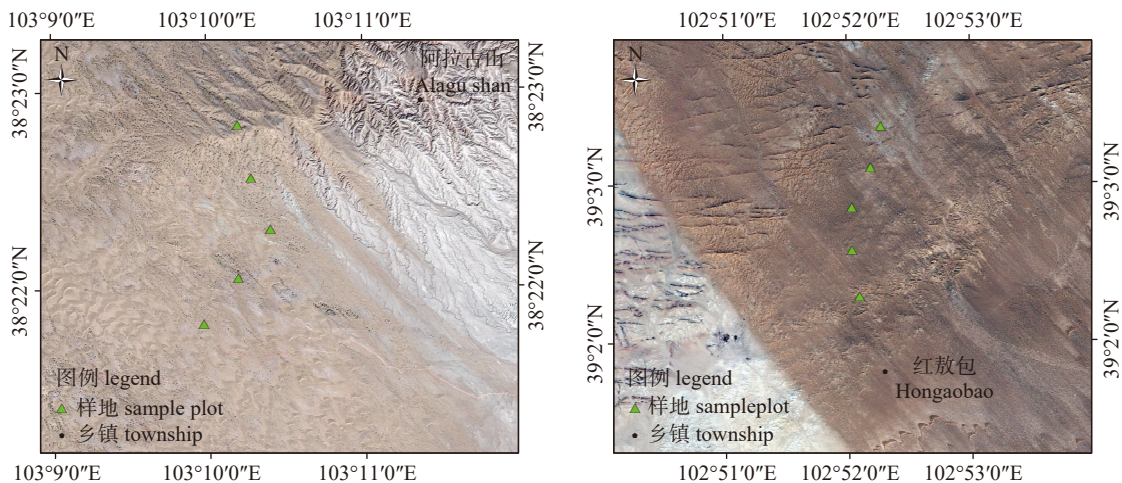


图 1 阿拉古山和红敖包的柠条锦鸡儿群落调查样地

Fig. 1 Sample plots for investigating *Caragana korshinskii* communities in Alagushan and Hongaobao

1.3.2 种间联结性分析

采用 χ^2 定性检验分析种间联结性, 根据 2×2 列联表的 χ^2 统计量测定成对种间联结性^[7, 10-12]。由于取样为非连续数据, χ^2 值的计算采用 Yates 连续校正公式^[7]:

$$\chi^2 = \frac{N(|ad - bc| - 0.5N)^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}。$$

式中: a 为 2 个物种共同出现的样方数, b 、 c 为仅有 1 个物种出现的样方数, d 为 2 个物种均未出现的样方数。当 $ad > bc$ 时, 为正联结; $ad < bc$ 时, 为负联结。当 $\chi^2 < 3.841$ 时, 表示种间独立分布; 当 $3.841 \leq \chi^2 < 6.635$ 时, 表示种间联结显著; 当 $\chi^2 \geq 6.635$ 时, 表示种间联结极显著 ($P < 0.01$)。

1.3.3 种间关联度测定

Ochiai 指数 (O_i) 用于表示物种对之间的共现概率和关联程度^[11-12], 其计算公式为:

$$O_i = \frac{a}{\sqrt{a+b} \times \sqrt{a+c}}。$$

式中: O_i 的值域为 $[0, 1]$, O_i 越接近 1, 表示物种对之间的正关联越显著。

1.3.4 Spearman 秩相关

χ^2 检验无法准确反映物种间联结性的差异性^[13], 而 Spearman 秩相关检验可以更准确地量化物种间的线性关系, 并有效补充和完善 χ^2 检验。Spearman 秩相关系数 (r_s) 的计算公式为:

$$r_s(i, j) = \frac{6 \sum_{k=1}^N d_k^2}{N^3 - N}。$$

式中: $d_k = (x_{ik} - x_{jk})$, x_{ik} 和 x_{jk} 分别为种 i 和种 j 在样方 k 中的秩。

1.3.5 生态位宽度及重叠度计算

物种重要值的计算公式^[14-15]为: 物种重要

值=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3。

生态位宽度的测定采用 Shannon-Wiener 指数与 Levins 公式进行^[16-17]。物种的生态位宽度反映了物种在生态梯度上利用资源的广度, 其计算公式为:

$$B_i = - \sum_{j=1}^r (P_{ij} \ln P_{ij})。$$

式中: B_i 为第 i 个物种的生态位宽度; r 为样方数; P_{ij} 为第 i 个物种在第 j 个资源状态下的重要性值比例, 即: $P_{ij} = n_{ij}/N_i$, n_{ij} 为第 i 个物种在第 j 个资源状态下的重要性值, N_i 为第 i 个物种的总重要性值。

生态位重叠度的计算采用 Pianka 重叠指数, 其计算公式为:

$$O_{ik} = \sum_{j=1}^r P_{ij} P_{kj} / \sqrt{\sum_{j=1}^r P_{ij}^2 \sum_{j=1}^r P_{kj}^2}。$$

式中: O_{ik} 为第 i 个物种与第 k 个物种的生态位重叠度, P_{ij} 和 P_{kj} 分别为第 i 个物种和第 k 个物种在资源状态 j 上的重要性值比例。

1.4 数据处理与统计分析

使用 R 语言 spaa 包中的函数 sp.pair() 和 sp.assoc() 分别计算物种间的关联性和 Ochiai 指数, 并通过 Spearman 秩相关系数检验种间关联性。生态位宽度和生态位重叠度的计算则在 Excel 2010 中完成, 通过手动输入数据并进行公式计算实现相关指标的统计分析。

2 结果与分析

2.1 总体关联性分析

石羊河下游阿拉古山和红敖包两地的柠条锦鸡儿群落总体方差比率分别为 2.237 和 1.504, 依据方差比率法, VR 均大于 1, 表明两地的物种间联结性均为正联结。然而, 阿拉古山的统计量值为 55.926, 显著大于临界值 $\chi_{0.95}^2(N)$ ($P < 0.05$), 为显著正联结; 而红敖包的统计量值为 37.594, 位于临界值 $[\chi_{0.95}^2(N), \chi_{0.05}^2(N)]$ 区间, 正联结不显著(表 1)。这表明阿拉古山的柠条锦鸡儿群落结构比红敖包更稳定。

表 1 石羊河下游柠条锦鸡儿群落总体关联性

Tab. 1 Overall association of *Caragana korshinskii* communities in the lower reaches of Shiyang River

分布区域 distribution area	方差比率 variance ratio (VR)	统计量 statistics (W)	联结类型 connection type	$\chi_{0.95}^2(N)$	$\chi_{0.05}^2(N)$	显著性 significance
阿拉古山 Alagushan	2.237	55.926	正联结 positive connection	37.652	14.611	显著 significant
红敖包 Hongaobao	1.504	37.594	正联结 positive connection	37.652	14.611	不显著 not significant

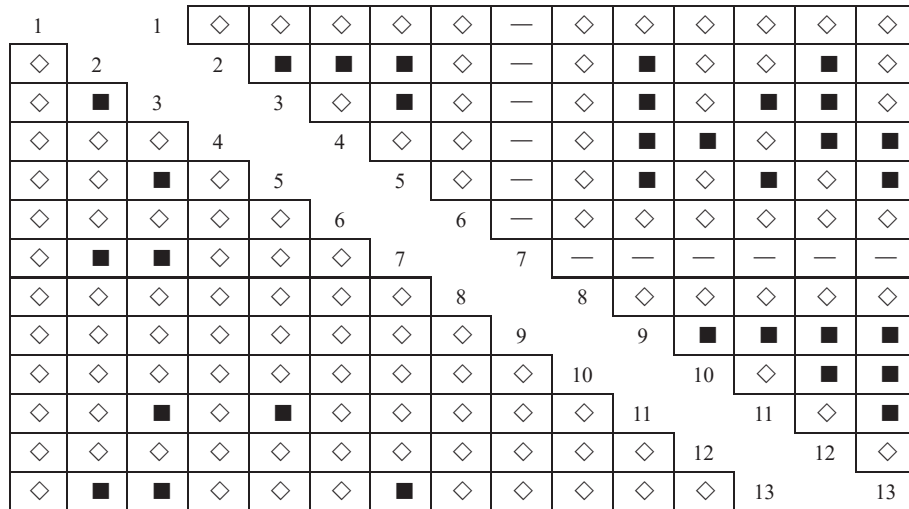
2.2 种间关联分析

χ^2 检验结果(图 2)显示: 在阿拉古山的柠条锦鸡儿群落中, 由 12 个物种组成的 66 个种对均表现为显著的正、负联结, 其中, 正联结种对 23 个(占 34.8%), 负联结种对 43 个(占 65.2%), 正、负联结种对比值为 0.53, 表明负联结占优势; 在红敖包的柠条锦鸡儿群落中, 由 13 个物种组成的 78 个种对也表现出极显著的正、负联结, 其中, 正联结种对 9 个(占 11.54%), 负联结种对 69 个(占 88.46%), 正、负联结种对比值为 0.13, 表明负联结在红敖包群落中占据绝对优势。此外, 柠条锦鸡儿在群落中均与其他物种表现出极显著的负联结, 表明其在群落中的生态作用可能导致资源竞争加剧或栖息地占有能力增强。

2.3 种间相关分析

Spearman 秩相关系数检验结果(图 3)显示: 在阿拉古山柠条锦鸡儿群落中, 正相关种对 25 个(占 37.88%), 其中, 不显著正相关种对 17 个(占 25.80%), 显著正相关种对 8 个(占 10.60%); 负相关种对 41 个(占 62.10%), 其中, 不显著负相关种对 25 个(占 25.80%), 显著负相关种对 3 个(占 4.60%), 极显著负相关种对 13 个(占 19.70%)。正、负相关种对比值为 0.61, 表明负相关占优势。显著相关种对共 24 个, 检验显著率为 36.40%; 不显著相关种对 42 个, 占 63.60%。

由图 3 还可知: 在红敖包柠条锦鸡儿群落中, 正相关种对 17 个(占 21.80%)。其中, 不显著正相关种对 7 个(占 8.90%), 显著正相关种对 9 个



注: 1. 柠条锦鸡儿, 2. 白刺, 3. 泡泡刺, 4. 猫头刺, 5. 蒙古韭, 6. 无芒隐子草, 7. 沙蒿, 8. 沙生针茅, 9. 荒漠黄芪, 10. 碟果虫实, 11. 假狼紫草, 12. 刺沙蓬, 13. 白茎盐生草; +. 不显著正相关, ▲. 显著正相关, ■. 极显著正相关, ◇. 极显著负相关, △. 显著负相关, ×. 不显著负相关; “—”表示群落中无对应物种; 下同。

Note: 1. *Caragana korshinskii*, 2. *Nitraria tangutorum*, 3. *N. sphaerocarpa*, 4. *Oxytropis aciphylla*, 5. *Allium mongolicum*, 6. *Cleistogene songorica*, 7. *Artemisia desertorum*, 8. *Stipa caucasica*, 9. *Astragalus grubovii*, 10. *Corispermum patelliforme*, 11. *Nonea caspica*, 12. *Salsola tragus*, 13. *Halogeton arachnoideus*; +. not significant positive correlation, ▲. significant positive correlation, ■. extremely significant positive correlation, ◇. extremely significant negative correlation, △. significant negative correlation, ×. not significant negative correlation; “—” indicates no corresponding species in the community; the same as below.

图 2 阿拉古山(右上)和红敖包(左下)的柠条锦鸡儿群落种间关联 χ^2 检验半矩阵

Fig. 2 Semi-matrix χ^2 correlation test of interspecific association of *C. korshinskii* communities in Alagushan (upper right) and Hongaobao (lower left)

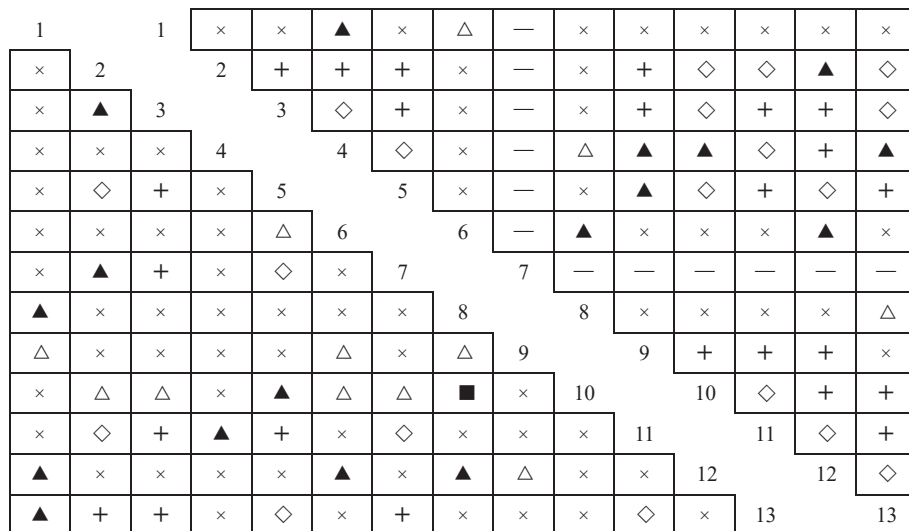


图 3 阿拉古山(右上)和红敖包(左下)的柠条锦鸡儿群落 Spearman 秩相关系数半矩阵

Fig. 3 Semi-matrix diagram of Spearman of *C. korshinskii* communities in Alagushan (upper right) and Hongaobao (lower left)

(占 11.50%), 极显著正相关种对 1 个(占 1.30%); 负相关种对 61 个(占 78.20%), 其中, 不显著负相关种对 46 个(占 58.90%), 显著负相关种对 9 个(占 11.50%), 极显著负相关种对 6 个(占 7.70%)。正、负相关种对比值为 0.28, 负相关占绝对优势。显著相关种对共 25 个, 占 32.10%; 不显著

相关种对 53 个, 占 67.90%。

2.4 群落物种重要值

由表 2 可知: 群落中柠条锦鸡儿的重要值高于其他物种, 灌木类植物在柠条锦鸡儿群落分布区中占重要地位, 分别占总重要值的 50.70% (阿拉古山) 和 43.50% (红敖包), 对群落稳定性起着

关键作用。阿拉古山柠条锦鸡儿群落中, 无芒隐子草、碟果虫实、沙生针茅等物种的重要值较高; 红敖包柠条锦鸡儿群落中, 白刺、猫头刺、沙生针茅、刺沙蓬等物种的重要值较高。

2.5 生态位宽度

由表 2 还可知: 在阿拉古山的柠条锦鸡儿群落中, 物种的生态位宽度从大到小依次为: 沙生

针茅 (3.211)、无芒隐子草 (3.205) 和柠条锦鸡儿 (3.179), 其他物种如蒙古韭、荒漠黄芪、碟果虫实的生态位宽度相对较小; 在红敖包的柠条锦鸡儿群落中, 生态位宽度最大的物种为荒漠黄芪 (3.217) 和无芒隐子草 (3.216), 其次为猫头刺和碟果虫实。整体来看, 重要值较高的物种往往也具有较大的生态位宽度。

表 2 柠条锦鸡儿群落物种重要值和生态位宽度
Tab. 2 Importance value and niche breadth of species in *C. korshinskii* community

生活型 life form	物种 species	重要值 importance value		生态位宽度 niche breadth	
		阿拉古山 Alagushan	红敖包 Hongaobao	阿拉古山 Alagushan	红敖包 Hongaobao
灌木 shrub	柠条锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i>	0.456	0.202	3.179	3.051
	白刺 <i>Nitraria tangutorum</i>	0.014	0.129	1.792	2.847
	泡泡刺 <i>N. sphaerocarpa</i>	0.007	0.042	1.099	3.062
	猫头刺 <i>Oxytropis aciphylla</i>	0.031	0.062	2.478	3.206
	小计 subtotal	0.507	0.435	8.547	12.166
多年生草本 perennial herb	蒙古韭 <i>Allium mongolicum</i>	0.038	0.023	2.770	2.772
	无芒隐子草 <i>Cleistogene songorica</i>	0.097	0.056	3.205	3.216
	沙蒿 <i>Artemisia desertorum</i>	—	0.019	—	2.640
	沙生针茅 <i>Stipa caucasica</i>	0.071	0.147	3.211	3.131
	荒漠黄芪 <i>Astragalus grubovii</i>	0.032	0.040	2.561	3.217
	小计 subtotal	0.237	0.283	11.748	14.977
一年生草本 annual herb	碟果虫实 <i>Corispermum patelliforme</i>	0.195	0.047	2.548	3.200
	假狼紫草 <i>Nonea caspica</i>	0.028	0.015	2.484	2.398
	刺沙蓬 <i>Salsola tragus</i>	0.010	0.207	1.375	3.192
	白茎盐生草 <i>Halogeton arachnoideus</i>	0.023	0.014	2.194	2.303
	小计 subtotal	0.255	0.282	8.601	11.092

注: “—”表示群落中无对应物种; 下同。
Note: “—” indicates no corresponding species in the community; the same as below.

2.6 生态位重叠度

2.6.1 柠条锦鸡儿群落的生态位重叠度

在阿拉古山的柠条锦鸡儿群落中, 物种间的生态位重叠平均值为 0.515, 种对生态位重叠度小于 0.5 的占 50.00%, 大于 0.5 的也占 50.00%。相比之下, 红敖包柠条锦鸡儿群落的平均生态位重叠值为 0.758, 仅 6.41% 的种对生态位重叠度小于 0.5, 而大于 0.5 的占 93.59%。整体来看, 红敖包群落的物种生态位重叠程度显著高于阿拉古山 (表 3), 这可能反映了红敖包群落中物种间资源利用的高度相似性。

2.6.2 柠条锦鸡儿与其他物种的生态位重叠度

由表 3 可知: 在阿拉古山的柠条锦鸡儿群落中, 无芒隐子草和沙生针茅与柠条锦鸡儿的生态位重叠度最高 (分别为 0.948 和 0.940), 荒漠黄芪和猫头刺次之; 在红敖包群落中, 猫头刺和刺沙蓬

与柠条锦鸡儿的生态位重叠度最高 (分别为 0.871 和 0.854), 此外, 无芒隐子草和沙生针茅与柠条锦鸡儿也具有较高的生态位重叠度。

2.6.3 其他物种的生态位重叠度

由表 3 还可知: 在阿拉古山柠条锦鸡儿群落中, 生态位重叠度最高的物种对为无芒隐子草和沙生针茅 (0.981), 荒漠黄芪和白茎盐生草的重叠度为 0.840; 群落内物种间的平均重叠度为 0.515, 显示出较高的生态位重叠水平。相比之下, 在红敖包柠条锦鸡儿群落中, 多数物种间的生态位重叠度在 0.8 以上, 群落内物种的平均重叠度达到 0.758, 整体重叠程度较高。

3 讨论

3.1 种间联结性和相关性

种间联结性和相关性受取样大小的显著影响,

表 3 阿拉古山 (右上) 和红敖包 (左下) 两地柠条锦鸡儿群落物种生态位重叠度

Tab. 3 Niche overlap of species of *C. korshinskii* community in Alagushan (upper right) and Hongaobao (lower left)

编号 number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1		0.559	0.449	0.772	0.743	0.948	—	0.940	0.776	0.585	0.679	0.470	0.673
2	0.820		0.240	0.314	0.420	0.494	—	0.516	0.434	0.194	0.228	0.626	0.303
3	0.801	0.854		0.157	0.431	0.371	—	0.365	0.464	0.080	0.476	0.362	0.203
4	0.871	0.801	0.889		0.417	0.675	—	0.643	0.753	0.555	0.390	0.393	0.737
5	0.495	0.595	0.777	0.789		0.792	—	0.790	0.654	0.410	0.577	0.146	0.600
6	0.845	0.811	0.911	0.987	0.773		—	0.981	0.729	0.576	0.723	0.422	0.601
7	0.733	0.813	0.787	0.725	0.527	0.746		—	—	—	—	—	—
8	0.836	0.755	0.917	0.896	0.679	0.922	0.696		0.695	0.622	0.678	0.418	0.548
9	0.836	0.833	0.91	0.984	0.802	0.996	0.739	0.912		0.397	0.636	0.384	0.840
10	0.784	0.729	0.858	0.968	0.798	0.975	0.671	0.912	0.975		0.340	0.231	0.399
11	0.575	0.393	0.549	0.706	0.599	0.67	0.480	0.542	0.657	0.647		0.172	0.557
12	0.854	0.752	0.882	0.969	0.716	0.979	0.714	0.954	0.967	0.976	0.672		0.220
13	0.722	0.668	0.674	0.607	0.485	0.622	0.595	0.673	0.634	0.572	0.284	0.623	

注: 1. 柠条锦鸡儿; 2. 白刺; 3. 泡泡刺; 4. 猫头刺; 5. 蒙古韭; 6. 无芒隐子草; 7. 沙蒿; 8. 沙生针茅; 9. 荒漠黄芪; 10. 碟果虫实; 11. 假狼紫草; 12. 刺沙蓬; 13. 白茎盐生草。

Note: 1. *Caragana korshinskii*; 2. *Nitraria tangutorum*; 3. *N. sphaerocarpa*; 4. *Oxytropis aciphylla*; 5. *Allium mongolicum*; 6. *Cleistogene songorica*; 7. *Artemisia desertorum*; 8. *Stipa caucasica*; 9. *Astragalus grubovii*; 10. *Corispermum patelliforme*; 11. *Nonea caspica*; 12. *Salsola tragus*; 13. *Halogeton arachnoideus*.

样方过大或过小都会导致种间关联性偏离实际^[18]。在较小的样方中, 物种之间通常表现为正相关; 随着样方增大, 负相关性逐渐增强; 当样方增大至足以包含多个生态格局时, 正相关的比例又会再次增加。本研究在阿拉古山中分析了 12 个植物种, 形成了 66 个种对。正、负联结种对的比值为 0.53, Spearman 秩相关系数检验的结果为 0.61, 二者相差不大, 表明取样尺度合理, 能够准确反映群落物种的分布情况。在石羊河下游阿拉古山和红敖包的柠条锦鸡儿群落中, 总体关联性均为正联结。然而, 阿拉古山群落的关联性显著, 而红敖包群落的关联性不显著, 表明阿拉古山的群落结构更稳定。物种间的显著正关联或负关联多由种间竞争引起^[19]。在这一区域, 负相关性占据主导地位, 说明物种间的相互作用较弱, 群落的联结性较松散, 物种独立性较高。

3.2 生态位

生态位宽度不仅反映了物种的环境适应能力和生境地位, 还反映了物种的分布均匀程度^[20-21]。在石羊河下游的柠条锦鸡儿群落中, 沙生针茅、无芒隐子草、蒙古韭、荒漠黄芪等物种的生态位宽度较大, 这些物种与柠条锦鸡儿的生态位重叠度也较高, 彼此间的生态位重叠度同样较大。表明这些物种具备较强的资源利用能力和环境适应

能力, 在群落稳定性中起着重要作用。

3.3 种间关联与生态位

种对正关联和正相关通常是由于它们具有相似的生物学特性, 并适应相似的生境, 且它们的生态位相互分离; 相反地, 种对负关联和负相关的原因则在于这些物种具有不同的生物学特性, 适应不同的生境, 并且它们的生态位相互重叠^[22-23]。在石羊河下游的柠条锦鸡儿群落中, 柠条锦鸡儿、沙生针茅、无芒隐子草、蒙古韭和荒漠黄芪的生态位宽度较大, 且它们之间的生态位重叠度较高。然而, 这些物种之间大多表现为负关联和负相关。这可能是由于柠条锦鸡儿作为相对高大的植物, 具有与其他物种不同的生物学特性, 导致其与其他物种之间的负关联。而沙生针茅、无芒隐子草、蒙古韭和荒漠黄芪则具有相似的生物学特性, 生态位高度重叠, 在干旱环境下, 它们之间发生了竞争, 因此呈负关联和负相关。

4 结论

石羊河下游阿拉古山和红敖包的柠条锦鸡儿群落总体上处于相对稳定的状态, 但柠条锦鸡儿与其他物种之间的种间联结较为松散, 反映出其较高的独立性。柠条锦鸡儿作为相对高大的物种, 在群落中的重要值明显高于其他物种, 对群

落的结构与稳定性起到关键作用。灌木类物种在柠条锦鸡儿群落中占据重要地位,对群落的稳定性发挥着决定性作用。沙生针茅、无芒隐子草、蒙古韭、荒漠黄芪等物种具有较强的环境适应能力,对群落结构的维持和生态环境的变化起到至关重要的作用。

[参考文献]

- [1] 张静,才文代吉,索南才仁,等.青海玛多梭罗以礼草生存群落种间关联及生态位[J].草业科学,2019,36(11): 2752. DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0310.
- [2] 张金屯.数量生态学[M].北京:科学出版社,2011.
- [3] 赵慧宏,曾新德,张有佳,等.石羊河下游绵刺群落生态位特征研究[J].云南农业大学学报(自然科学),2017,32(5): 920. DOI: 10.16211/j.issn.1004-390x(n).2017.05.025.
- [4] 李燕芬,铁军,张桂萍,等.山西蟒河国家级自然保护区人工油松林生态位特征[J].生态学杂志,2014,33(11): 2905. DOI: 10.13292/j.1000-4890.20141022.012.
- [5] 狄晓艳,李素清.晋西皇姑梁小流域人工植物群落优势种生态位和种间关系研究[J].干旱区资源与环境,2017,31(12): 179. DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2017.399.
- [6] 闫好原,许明,曾新德,等.石羊河下游裸果木群落生态位特征研究[J].西北林学院学报,2020,35(6): 89. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2020.06.12.
- [7] 徐高兴,赵鹏,陈思航,等.民勤绿洲荒漠过渡带沙拐枣群落种间关联及生态位研究[J].西北林学院学报,2023,38(1): 25. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2023.01.04.
- [8] 高万林,王承勋,曾新德,等.石羊河下游柠条锦鸡儿群落结构特征研究[J].温带林业研究,2023,6(2): 63. DOI: 10.3969/j.issn.2096-4900.2023.02.010.
- [9] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications[J]. Ecology, 1984, 65(3): 998. DOI: 10.2307/1938071.
- [10] DICE L R. Measures of the amount of ecologic association between species[J]. Ecology, 1945, 26(3): 297. DOI: 10.2307/1932409.
- [11] 申旭芳,康永祥,李华,等.黄土区土坎植被群落草本优势种的种间关联性研究[J].西北林学院学报,2021,36(2): 38. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2021.02.06.
- [12] 满厚,刘敏,翟大彤,等.植物种间联结研究内容与方法评述[J].生态学报,2016,36(24): 8224. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2286.2007.01.014.
- [13] 张东梅,赵文智,罗维成.荒漠草原带盐碱地优势植物生态位与种间联结[J].生态学杂志,2018,37(5): 1307. DOI: 10.13292/j.1000-4890.201805.027.
- [14] 戈峰.现代生态学[M].北京:科学出版社,2002.
- [15] 韩路,王家强,王海珍,等.塔里木荒漠绿洲过渡带主要种群生态位与空间格局分析[J].植物科学学报,2016,34(3): 352. DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2016.30352.
- [16] 徐凤玲,刘小军,马建全,等.桥山林区不同坡向麻栎林种群生态位特征分析[J].西北林学院学报,2018,33(5): 38. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2018.05.06.
- [17] 胡文杰,潘磊,唐万鹏,等.虫害侵扰初期华山松群落草本层生态位特征和种间关系[J].东北林业大学学报,2023,51(3): 36. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.2023.03.017.
- [18] 陈中义,陈家宽.长喙毛茛泽泻的种群分布格局和群落内种间关联[J].植物生态学报,1999,23(1): 56. DOI: 10.1088/0256-307X/16/12/025.
- [19] 黄世能,李意德,骆土寿,等.海南岛尖峰岭次生热带山地雨林树种间的联结动态[J].植物生态学报,2000,24(5): 569. DOI: 10.1088/0256-307X/17/9/008.
- [20] 刘加珍,陈亚宁,张元明.塔里木河中游主要植物种群的生态特征分析[J].地理研究,2003,22(5): 663. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0585.2003.05.015.
- [21] 邹丰虎,周雯,柴宗政.近自然经营对马尾松林优势树种生态位及种间关系的影响[J].西部林业科学,2024,53(1): 55. DOI: 10.16473/j.cnki.xblykx1972.2024.01.008.
- [22] 张峰,上官铁梁.山西翅果油树群落种间关系的数量分析[J].植物生态学报,2000,24(3): 351. DOI: 10.1007/s11769-000-0028-3.
- [23] 胡文杰,崔鸿侠,潘磊,等.神农架国家公园华山松退化群落生态位特征及种间关系[J].西南林业大学学报(自然科学),2023,43(6): 26. DOI: 10.11929/j.swfu.202212032.

责任编辑:何承刚