

卢燕,吴万平,曾勇.天山北麓绿洲荒漠过渡带优势植物的生态位特征与种间联结[J].中国沙漠,2024,44(2):254-263.

天山北麓绿洲荒漠过渡带优势植物的生态位特征与种间联结

卢燕,吴万平,曾勇

(新疆师范大学 地理科学与旅游学院/新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要: 天山北麓绿洲荒漠过渡带生境脆弱,通过揭示该区域植被生态学特性,进而推测其演替趋势,以期为生态保护提供理论基础或参考建议。在该区设置39个典型样地进行调查,运用重要值、生态位宽度、生态位重叠度、 χ^2 检验、Pearson相关检验和Spearman秩相关检验等方法对优势植物生态位特征与种间联结性进行分析。结果显示:(1)研究区优势物种28种,生态位宽度差异显著,生态位宽度测定结果与重要值变化趋势无显著相关。骆驼刺(*Alhagi camelorum*)、角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)等生态宽度指数较大,其中骆驼刺 B_L 和 B_S 分别为12.11和2.77,占绝对竞争优势。(2)研究区优势植物的生态位重叠指数普遍偏小,对环境资源的需求相似性不大,种间竞争较弱。簇生泉卷耳(*Cerastium fontanum*)和白车轴草(*Trifolium repens*)、早熟禾(*Poa annua*)和簇生泉卷耳等竞争关系明显,角果藜和早熟禾,早熟禾和骆驼刺等竞争较弱。(3)研究区植物群落呈不显著正联结,3种检验显示多数种对间呈不显著关系,各物种间呈独立分布格局,稳定性相对较差,关联性相对较弱,处于演替的初期阶段,结构和功能尚未完善,有正向演替的趋势。(4)物种间的Pearson相关系数、Spearman秩相关系数与相应的生态位重叠程度之间均显著正相关($P<0.01$,斜率 >0),表现为种间正(负)联结越强,生态位重叠程度越大(小)。

关键词: 天山北麓; 绿洲荒漠过渡带; 种间联结性; 生态位

文章编号: 1000-694X(2024)02-254-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00174

中图分类号: Q948

文献标志码: A

0 引言

生态位指群落中各种群所利用的资源总和及与其他相关种群间的功能关系^[1],表示生态系统中每种生物生存必需的生境最小阈值^[2]。生态位理论对于研究物种间关系、种群间共存机制和群落动态演替等方面有着重要的作用^[3-6]。生态位宽度和生态位重叠度,通过种间关系反映种群在生态系统中的时空位置,可供预测群落演替发展方向^[7]。生态位宽度反映物种对各种资源的利用程度,与物种对资源利用效率、适应环境能力呈正比^[8]。生态位重叠指不同物种对同一资源共同利用程度,反映物种间生态相似性与竞争强度^[9]。种间联结指不同物种在空间分布上的相互关联性,反映群落中各物种在不同生境中相互影响、相互作用所形成的有机关系^[10],利用二元数据定性或定量分析植物种间的相

关性^[11]。生态位与种间联结可以解释物种对资源的利用能力,反映种间协同与竞争关系,可被用于分析群落稳定性和演替趋势^[12],在生态修复中具有一定的实践参考价值。生态位、 n 维生态位理论^[13-17]被广泛应用于物种多样性、群落结构演替与种群进化等研究^[18-21]。植物生态位和种间联结性是种群生态学和群落生态学的重要内容,生态位特征和种间关系对群落的结构、功能和分类的作用,为当前热点研究内容。

目前诸多学者对多种脆弱生态地区进行研究,如砒砂岩区^[22]、喀斯特地貌区^[1]、干热河谷^[23]、黄土高原^[24]、林火后^[9]、岛屿^[25]等,认为脆弱生态系统下植被保护对生态建设有着重要意义。针对不同植被类型的研究(如苔藓植物^[12]、浮游植物^[5]、木本植物^[26]、草本植物^[27]等)表明物种资源利用的相似性导致种间竞争。研究者分别探究了乔木层^[19]、灌木

收稿日期:2023-09-14; 改回日期:2024-01-06

资助项目:新疆师范大学博士启动基金项目(XJNBS2113);新疆师范大学人文社会科学重点研究基地招标课题(XJNURWJD2019A05)

作者简介:卢燕(1982—),女,新疆库尔勒人,博士,助理研究员,主要从事干旱区环境演变研究。E-mail: xjnuly@qq.com

层^[25]、草本层^[27],认识群落的组成、结构和功能及群落与环境的相互关系,预测群落演替方向。西北区域物种多样性较低、生境较脆弱,天山是一道气候和生态环境的天然屏障^[28]。天山北麓绿洲荒漠过渡带受植被的特殊生境条件和人为干扰双重影响,是具有双重特征且敏感退化趋势的生态脆弱带,是绿洲与荒漠进退消涨地带^[29]。近年来天山北麓绿洲荒漠过渡带植被研究,侧重于生态位特征即物种组成、优势物种的多样性与生态位特征等方向^[30-31],关于优势植物生态位特征和种间联结的研究尚未有报道。

研究天山北麓绿洲荒漠过渡带优势植物的生态位特征与种间联结,探讨群落的稳定性,对今后生态系统的恢复、构建都具有重要意义。本文以天山北麓绿洲荒漠过渡带为研究区,采用Levins生态位宽度(B_L)、Shannon生态位宽度(B_S)、Schoener重叠指数(C_{ik})、Pianka重叠指数(O_{ik})、方差比率(VR)及 χ^2 检验、Pearson相关检验、Spearman秩相关检验等方法进行分析,以期揭示该区优势物种生态位宽度和生态位重叠特征,进而推测其演替趋势,为生态保护提供理论基础或参考建议。

1 数据来源及研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于新疆维吾尔自治区天山北麓,地理坐标为44°05′45″—44°37′45″N、87°48′07″—88°19′23″E,海拔383.29—683.56 m。研究区中包含了荒漠地带(古尔班通古特沙漠)、荒漠草原地带以及森林草原地带,存在一定过渡性。该地气候为温带荒漠气候,平均气温4~6℃,年降水量115 mm左右,年蒸发量1 942 mm。年降水量地区差异大,南部年降水量130—150 mm,沙漠区少于130 mm。无霜期达140~150 d。 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温3 000~3 500℃,全年日照时数3 100~3 200 h,干燥度达16。土壤为碱化漠钙土,局部出现草甸盐土或盐化草甸土。植被组成简单、稀疏,乔灌木三层结构明显。其中主要物种包括榆树(*Ulmus pumila*)、角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)、早熟禾(*Poa annua*)等。

1.2 数据来源

经野外实地调查,于2022年5—6月在天山北麓绿洲荒漠过渡带地区,选取具有代表性的地段共

设置39个10 m×10 m样方(表1),其中受人为干扰较轻的过渡荒漠群落分布区9个,古尔班通古特沙漠边缘地段30个。对样方内胸径 ≥ 2.5 cm的树种采用每木调查法。在每个样方设置4个5 m×5 m的小样方,调查并记录灌木层内所有灌木个体(包括胸径 ≤ 2.5 cm的乔木幼树)。调查数据包括样地内灌草总盖度,灌木、草本层的平均高度和盖度,样方内灌木层各物种个体坐标值、高度、基径、冠幅,草本层不同物种的个体数量、高度、盖度和基径,并调查灌草层各物种的频度。同时,各样方采用GPS定位,记录其经度、纬度、海拔、生境类型等生态因子。

1.3 研究方法

1.3.1 总体联结性检验^[10]

方差比率(VR)和 W 值:

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i (1 - P_i) \quad (1)$$

$$S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2 \quad (2)$$

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2 \quad (3)$$

$$W = VR \times N \quad (4)$$

式中: δ_T^2 为总体样本方差; S_T^2 总种数方差; S 为总物种数; N 为总样地数; P_i 为物种*i*出现的频度; n_i 为物种*i*出现的样地数; T_j 为样地*j*中出现的物种数; t 为样地中物种的平均数。 VR 为灌木层主要物种间的总体联结指数,在独立性零假设条件下, VR 的期望值为1,其中种间独立则 $VR=1$,种间正关联则 $VR>1$,种间负关联则 $VR<1$ 。 $W>\chi_{0.05}^2(N)$ 或 $W<\chi_{0.95}^2(N)$,为关联显著($P<0.05$), $\chi_{0.95}^2(N)<W<\chi_{0.05}^2(N)$ 内,为关联不显著($P>0.05$)。

1.3.2 种间联结性分析

用卡方检验、相关系数分析反映种间联结性^[11]。数据为非连续性取样,采用Yates的连续校正公式进行卡方检验:

$$\chi^2 = \frac{N[|ad - bc| - 0.5N]^2}{(a+b)(b+d)(c+d)(a+c)} \quad (5)$$

式中: N 为总样地数; a 为2个物种同时出现的样地数; b 、 c 分别为2个物种单独出现的样地数; d 为2个物种都不出现的样地数。当 $ad=bc$ 时,两个种相互独立;当 $ad>bc$ 时,两个种之间呈正联结;当 $ad<bc$ 时,两个种之间呈负联结。若 $\chi^2<3.841$ ($P>0.05$),为不显著联结,种对间基本独立;若 $3.841\leq\chi^2\leq 6.635$ ($0.01\leq P\leq 0.05$),为显著联结;若 $\chi^2>6.635$ ($P<0.01$),

表 1 天山北麓样地信息

Table 1 Information table of sample plots the northern foot of Tianshan Mountains

编号	经度	纬度	海拔/m	生境类型	编号	经度	纬度	海拔/m	生境类型
1	87.78°E	44.05°N	592.96	沙漠	21	87.15°E	44.06°N	369.96	沙漠
2	87.80°E	44.05°N	649.23	沙漠	22	87.14°E	44.06°N	398.12	沙漠
3	87.83°E	44.04°N	618.36	绿洲	23	87.80°E	44.40°N	396.78	沙漠
4	87.84°E	44.12°N	563.99	人工林	24	88.05°E	44.16°N	396.76	绿洲
5	87.84°E	44.13°N	468.74	绿洲	25	88.05°E	44.15°N	592.96	沙漠
6	87.84°E	44.13°N	458.05	人工林	26	87.14°E	44.06°N	401.26	绿洲
7	87.87°E	44.37°N	341.17	绿洲	27	87.87°E	44.38°N	435.12	沙漠
8	87.87°E	44.37°N	383.29	沙漠	28	87.87°E	44.37°N	389.83	沙漠
9	87.87°E	44.37°N	470.36	沙漠	29	87.88°E	44.46°N	538.23	绿洲
10	87.88°E	44.38°N	443.30	人工林	30	87.87°E	44.38°N	383.32	沙漠
11	87.98°E	44.63°N	445.56	沙漠	31	87.87°E	44.38°N	391.62	沙漠
12	87.98°E	44.62°N	431.15	沙漠	32	87.87°E	44.37°N	430.26	沙漠
13	87.88°E	44.37°N	592.96	沙漠	33	87.88°E	44.38°N	430.59	沙漠
14	87.87°E	44.15°N	390.12	绿洲	34	87.68°E	44.35°N	432.51	沙漠
15	87.88°E	44.38°N	383.29	沙漠	35	87.88°E	44.38°N	425.76	沙漠
16	87.87°E	44.63°N	384.42	绿洲	36	87.88°E	44.38°N	424.86	绿洲
17	87.88°E	44.38°N	379.53	沙漠	37	88.19°E	44.16°N	530.69	沙漠
18	87.80°E	44.05°N	592.96	绿洲	38	88.19°E	44.15°N	683.56	绿洲
19	87.14°E	44.06°N	396.76	沙漠	39	88.19°E	44.16°N	544.18	沙漠
20	87.80°E	44.65°N	396.70	绿洲					

则是极显著联结。

χ^2 检验仅定性判断了种间联结性是否显著,补充采用 Pearson 相关检验和 Spearman 秩相关检验,分析物种间相伴出现的概率,确定物种间联结程度和差异。

Pearson 相关系数:

$$r_p(i,k) = \frac{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^N (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}} \quad (6)$$

Spearman 秩相关系数:

$$r_s(i,k) = 1 - \frac{6 \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_k)}{N^3 - N} \quad (7)$$

式中: $r_p(i,k)$ 和 $r_s(i,k)$ 分别是物种*i*和物种*k*在样地*j*中的 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数;*N*为样地总数; x_{ij} 和 x_{kj} 分别是物种*i*和物种*k*在样地*j*中的重要值; \bar{x}_i 和 \bar{x}_k 分别是*j*个样地中物种*i*和物种*k*

重要值的平均值。 $r_p(i,k)$ 和 $r_s(i,k)$ 的值域为 $[-1, 1]$,反映正负相关性。

最后,对天山北麓主要物种间的 Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数与生态位相似性和生态位重叠值运用 SPSS17.0 进行线性回归分析,计算重要值和生态位与种间联结的相关性特征。

2 结果与分析

2.1 重要值与生态位宽度

样地统计植物共有 117 种,选取重要值(大于 0.5%)的前 28 位物种视为种群优势种,占比 80.32%(表 2),并进行生态位特征和种间联结分析。其中榆树的相对显著度在 28 个优势种中最高,早熟禾次之。群落中榆树重要值最高,角果藜、白梭梭(*Haloxylon persicum*)、早熟禾次之,而簇生泉卷耳(*Cerastium fontanum*)重要值最小,说明榆树和角果藜在植物群落中起主导作用,为群落中的主要优势

表 2 天山北麓绿洲荒漠过渡带优势植物的相对频度、相对密度、相对显著度、重要值和生态位宽度

Table 2 Relative frequency, relative density, relative significance, important values and niche width of major dominant plants in the northern foot of Tianshan Mountains

物种 编号	种名	相对频度 /%	相对密度 /%	相对显著度 /%	重要值	Levins 指数 B_L	Shannon 指数 B_s
1	角果藜(<i>Ceratocarpus arenarius</i>)	8.36%	11.50	0.21	6.69	10.47	2.69
2	猪毛菜(<i>Salsola collina</i>)	6.18	10.84	0.10	5.71	5.87	2.15
3	早熟禾(<i>Poa annua</i>)	4.00	0.56	14.26	6.28	1.06	0.15
4	骆驼刺(<i>Alhagi camelorum</i>)	8.36	4.42	2.43	5.07	12.11	2.77
5	月见草(<i>Oenothera biennis</i>)	1.45	9.17	0.03	3.55	1.31	0.49
6	梭梭(<i>Haloxylon ammodendron</i>)	5.45	1.21	10.26	5.64	8.17	2.35
7	白车轴草(<i>Trifolium repens</i>)	0.36	5.92	0.00	2.09	1.00	0.00
8	芦苇(<i>Phragmites australis</i>)	1.82	3.66	0.10	1.86	2.55	1.21
9	白梭梭(<i>Haloxylon persicum</i>)	1.09	17.69	0.01	6.26	4.37	1.80
10	独尾草(<i>Eremurus chinensis</i>)	1.45	1.89	0.38	1.24	6.18	1.93
11	萎蒿(<i>Artemisia selengensis</i>)	1.82	2.36	0.12	1.43	2.46	1.08
12	灰绿藜 (<i>Oxybasis glauca</i>)	2.18	1.63	0.04	1.28	1.97	0.92
13	骆驼蓬(<i>Peganum harmala</i>)	3.27	0.48	0.03	1.26	1.41	0.62
14	尖喙牻牛儿苗(<i>Erodium oxyrhinchum</i>)	1.45	1.78	0.07	1.10	1.63	0.69
15	驼绒藜(<i>Krascheninnikovia ceratoides</i>)	0.73	2.31	0.01	1.02	1.12	0.22
16	盐生草(<i>Halogeton glomeratus</i>)	1.82	0.75	0.09	0.89	3.20	1.29
17	拉拉藤(<i>Galium spurium</i>)	0.73	2.07	0.01	0.94	1.86	0.65
18	榆树(<i>Ulmus pumila</i>)	1.45	0.96	23.65	8.69	1.18	0.35
19	藜(<i>Chenopodium album</i>)	0.73	1.82	0.02	0.85	1.12	0.21
20	白茎绢蒿(<i>Seriphidium terrae-albae</i>)	1.45	0.53	0.52	0.84	1.92	0.91
21	碱蓬(<i>Suaeda glauca</i>)	1.45	0.09	0.09	0.55	2.52	1.14
22	苦豆子(<i>Sophora alopecuroides</i>)	0.73	0.88	0.08	0.56	1.21	0.32
23	簇生泉卷耳(<i>Cerastium fontanum</i>)	0.36	1.16	0.00	0.51	1.00	0.00
24	刺榆(<i>Hemiptelea davidii</i>)	1.09	0.07	13.58	4.91	1.81	0.80
25	裂叶榆(<i>Ulmus laciniata</i>)	0.73	0.03	11.00	3.92	1.96	0.68
26	怪柳(<i>Tamarix chinensis</i>)	0.73	0.02	4.53	1.76	2.00	0.69
27	青甘杨(<i>Populus przewalskii</i>)	0.36	0.01	8.57	2.98	1.00	0.00
28	旱柳(<i>Salix matsudana</i>)	0.36	0.00	6.95	2.44	1.00	0.00

种。主要物种的 B_L 和 B_s 的变化范围分别为 1.00~12.11 和 0.00~2.69。群落中骆驼刺(*Alhagi camelorum*)的 B_L 和 B_s 分别为 12.11 和 2.77,生态位宽度最大。角果藜、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、白梭梭等物种的生态位宽度较大。青甘杨(*Populus przewalskii*)、旱柳(*Salix matsudana*)、白车轴草(*Trifolium repens*)、簇生泉卷耳这 4 个物种的生态位宽

度最小。重要值较大(小)的物种,生态位宽度一般较大(小),但两者排序并非完全一致。如灰绿藜(*Oxybasis glauca*)的重要值比萎蒿(*Artemisia selengensis*)大,但生态位宽度较小。

2.2 生态位重叠程度

生态位重叠指数能量化种间资源的竞争程度,

是判断物种间生态相似性与竞争强弱的重要指标。Schoener 重叠指数 (C_{ik}), 为物种 i 和 k 的生态位相似性系数; Pianka 重叠指数 (O_{ik}), 为物种 i 和 k 的生态位重叠指数, 值域均为 $[0, 1]$ 。天山北麓绿洲荒漠过渡带的 28 个主要物种, 共有 378 个种对, 其 C_{ik} 平均值为 0.121, $C_{ik} \geq 0.50$ 有 37 个种对数, 簇生泉卷耳和白车轴草 C_{ik} 最大, 青甘杨和白车轴草, 青甘杨和簇生泉卷耳的重叠值高达 1, 表明生态位完全重叠无法共存, 竞争关系明显。 C_{ik} 处于 (0.2, 0.49) 的有 33 个种对数, C_{ik} 介于 (0.01, 0.19) 的有 108 个种对数, 而角果藜和早熟禾, 早熟禾和拉拉藤, 早熟禾和骆驼刺等 200 个种对 C_{ik} 均为 0 (图 1)。

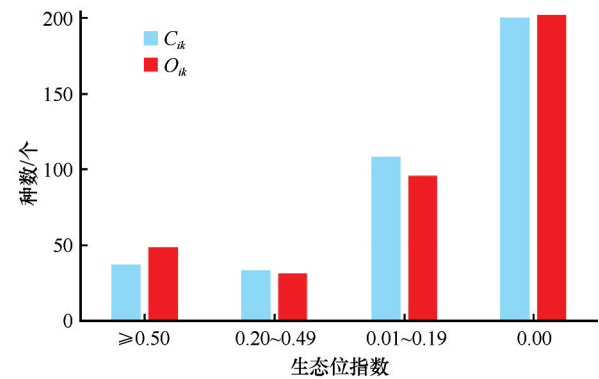


图 1 天山北麓绿洲荒漠过渡带优势植物 Schoener 重叠指数 (C_{ik}) 和 Pianka 重叠指数 (O_{ik}) 分布
Fig.1 Schoener overlap index (C_{ik}) and Pianka overlap index (O_{ik}), the main plant species in the northern foot of Tianshan Mountains

O_{ik} 平均值为 0.15, 其中 $O_{ik} \geq 0.50$ 有 49 个种对数, O_{ik} 最大的是白车轴草和早熟禾, 簇生泉卷耳和早熟禾等种间的生态位重叠值高达 1, 表明了生态位完全重叠二者无法共存。而角果藜和早熟禾, 早熟禾和骆驼刺等 202 个种对 O_{ik} 均为 0。有 31 个种

对数 O_{ik} 为 (0.20, 0.49), 有 96 个种对数 O_{ik} 介于 (0.01, 0.19), 有 202 个种对数 O_{ik} 为 0 (图 1)。总体上来看天山北麓绿洲荒漠过渡带优势植物的少数种间存在较强竞争, 其余多数竞争较弱, 只有部分资源会被共同利用, 而其他部分被各个物种各自占据。

2.3 总体联结性

由计算所得, 总体联结性的方差比率 $V/R = 1.18 > 1$, 表明天山北麓绿洲荒漠过渡带优势物种间总体呈正联结关系 (表 3)。检验统计量 $W=45.87$, 而 $\chi^2_{0.95(56)} < W < \chi^2_{0.05(56)}$, W 值落入 χ^2 分布的 90% 置信区间, 由此可以得出天山北麓绿洲荒漠过渡带优势物种间的总体联结性并不显著。

表 3 天山北麓绿洲荒漠过渡带优势植物主要物种总体联结性

Table 3 Overall interspecific association of main woody plant species in northern Tianshan Mountains				
方差比率	检验统计量	χ^2 临界值($\chi^2_{0.95(56)}$, $\chi^2_{0.05(56)}$)		检验结果
1.18	45.87	43.19, 79.08		不显著

2.4 主要种对间的联结性

天山北麓绿洲荒漠过渡带主要物种经 χ^2 检验全部显示正联结, 其中呈极显著正联结的有 17 对, 呈显著正联结的有 30 对, 呈不显著正联结的有 331 对 (87.57%, 表 4、图 2A)。Pearson 相关检验显著率为 10.53%, 显示正负相关种对比值 0.43 (表 4、图 2B)。正相关种对数有 113 对 (其中呈极显著正相关的有 38 对, 呈显著正相关的有 19 对, 呈不显著正相关的有 56 对); 呈不显著负相关的有 265 对 (70.11%)。不显著相关种对有 321 对, 绝大部分种对呈不显著相关, 与 χ^2 检验的结果一致。

表 4 主要物种的 χ^2 检验、Pearson 相关检验和 Spearman 秩相关检验结果比较

Table 4 Comparison of chi-square test, Pearson correlation test and Spearman rank correlation test results among main species								
检验方法	正联结(相关)				负联结(相关)			
	极显著 ($P < 0.01$)	显著 ($0.01 \leq P \leq 0.05$)	不显著 ($P > 0.05$)	总数	极显著 ($P < 0.01$)	显著 ($0.01 \leq P \leq 0.05$)	不显著 ($P > 0.05$)	总数
χ^2 检验	17(4.50)	30(7.93)	331(87.57)	378(100.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Pearson 相关	38(10.05)	19(5.03)	56(14.81)	113(29.89)	0 (0.00)	0 (0.00)	265(70.11)	265(70.11)
Spearman 秩相关	22(5.82)	42(11.11)	78(20.64)	142(37.57)	0 (0.00)	3(0.79)	233(61.64)	236(62.43)

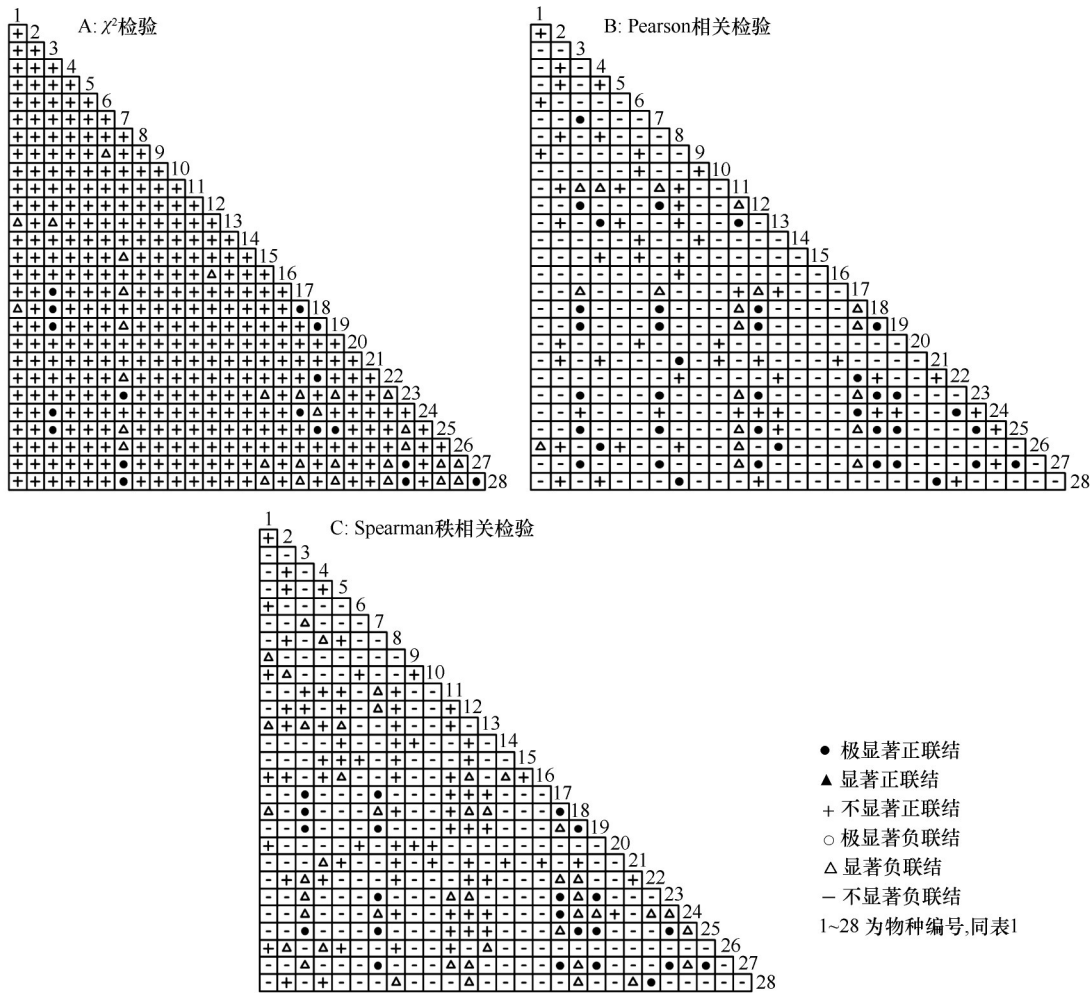


图2 主要物种的 χ^2 检验、Pearson 相关检验、Spearman 秩相关检验半矩阵图

Fig.2 Semi-matrix diagrams of chisquare test, Pearson correlation test, Spearman rank correlation test among main species

Spearman 秩相关检验的结果显示正相关的种对数有 142 对, 其中呈不显著正相关占比最高, 显著正相关次之, 有 42 对(表 4、图 2C)。负相关种对数有 236 对, 呈不显著负相关 233 对。正负相关种对比值为 0.60, 检验显著率为 11.90%, 表明大部分种间呈不显著相关, 如表 4 所列。3 种检验方法具有一致性, 说明种间联结性较差, 空间分布呈一定的独立性。

2.5 种间联结系数与生态位重叠指数的回归分析

对天山北麓绿洲荒漠过渡带主要物种的 Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数与生态位重叠指数进行回归分析, 三者之间均呈极显著正相关 ($P<0.01$, 斜率 >0), 表明该过渡带主要物种的生态位重叠程度与 Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数呈正比(图 3~4), 即样地主要物种的种间正联结性越强, 种间相伴生长几率越高, 其生态位重

叠指数越大。

3 讨论

3.1 绿洲荒漠过渡带优势树种的生态位特征

天山北麓绿洲荒漠过渡地带中不同生态环境孕育出不同类型植被, 其群落 Levins 和 Shannon 生态位宽度测定结果具有一致性, 表明未达到稳定阶段, 处于群落结构变化较的时期^[32]。其中白梭梭、梭梭等物种生态位宽度较宽, 具有一定发展潜力, 具有耐高温、耐旱、耐盐等特性, 生态适应性强, 进而对养分资源的利用能力大, 因此植被出现概率较高, 空间分布范围广, 成为绿洲荒漠过渡带生态系统中的优势种, 可作为防沙治沙的优良品种进行开发与利用。另有部分物种重要值较大而生态位宽度却较小, 如灰绿藜与萎蒿、猪毛菜与早熟禾等。物种的分布频度与数量也会影响生态位宽度^[1,10],

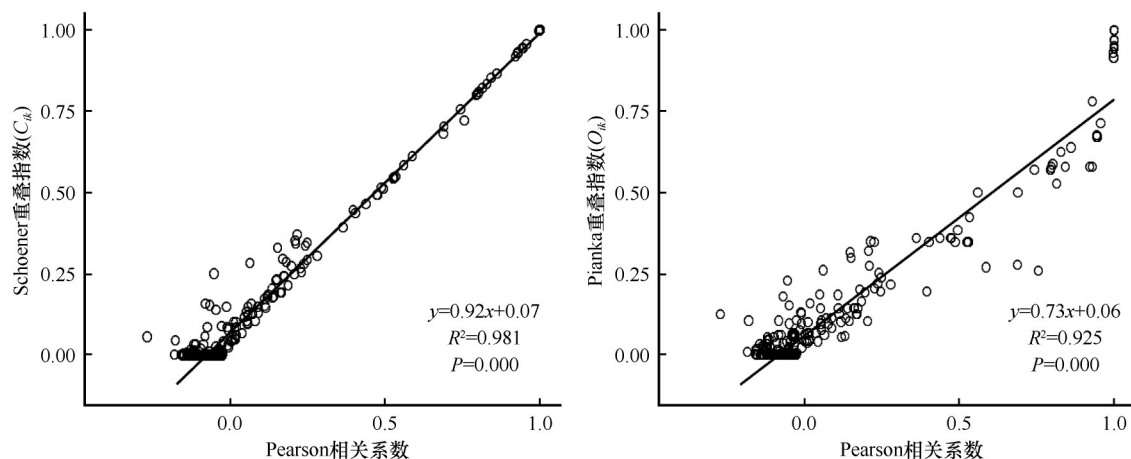


图3 主要物种 Pearson 相关系数和生态位重叠指数的回归分析

Fig.3 Regression analysis between Pearson correlation coefficient and niche overlap among main species

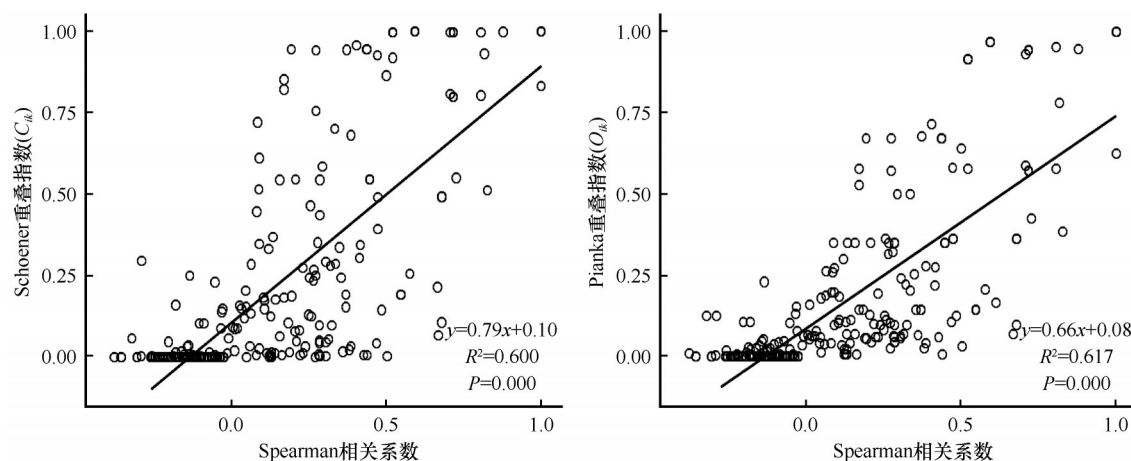


图4 主要物种 Spearman 秩相关系数和生态位重叠指数的回归分析

Fig.4 Regression analysis between Spearman rank correlation coefficient and niche overlap among main species

其中白车轴草、簇生泉卷耳等喜湿物种在湿度较大的样地中优势明显,大量出现在某一样地中,提高了其在整体重要值的排名。但研究区内湿热气候存在较少,在调查时出现特定生境的样方内,对资源环境存在着一定的依赖性,生态位宽度很低,有较大可能会发展为特化种。而干旱气候地貌占大部分区域,降水量小,蒸发量大,因此耐旱植被适应性强,不同植被出现频率、数量不同。研究发现,骆驼刺的生态位宽度和重要值大小的排序结果并非完全一致。骆驼刺的生态位宽度最大,表明其在研究区分布范围较均匀,其性喜光、耐旱、耐贫瘠土壤,喜欢沙漠地带,因此在恶劣的干旱环境下的群落内部具有较强的竞争适应能力。天山北麓绿洲荒漠过渡带的环境异质性使得两者的相关性并不显著,说明群落资源还有待充分利用,群落正在朝着结构复杂化,功能不断完整的方向发展。

通常认为重叠指数(C_{ik} 和 O_{ik}) ≥ 0.500 ,则种间具有较大的生态和资源利用相似性,竞争比较严重^[33-35]。种间生态位宽度与生态位重叠值一般呈正比。但本研究发现研究区出现物种的生态位宽度与生态位重叠呈反比的现象,例如角果藜和白车轴草等物种的生态位宽度较大,而生态位重叠程度较小。这可能是由天山北麓绿洲荒漠过渡带生境的脆弱与恶劣引起的,该区土壤分区差异性较大;其次不同空间区域内出现不同强度人为干扰破坏,造成部分地块土层浅薄、土壤含水量低和土壤养分差,不适应植物生长^[29],物种间资源利用竞争激烈,某些物种为生存发育抢夺资源,导致对资源利用能力较差的物种多聚集在局部适宜的生境斑块中,其他空间分布较少,最终出现物种生态位宽度较小,但生态位重叠却较大^[10]。这与陈龙涛等^[36]研究发现的現象一致。对于生态位重叠指数为0的物种,

说明物种生态习性和对环境资源要求不同,不存在竞争关系。天山北麓绿洲荒漠过渡带约一半物种生态位重叠指数为0,这可能与土壤理化性质不同而形成的生境异质性有关。研究区多数优势物种间的生态位重叠指数较低,生态位分化比较明显,说明优势种占据的生境资源不在同一空间,对资源的需求差异较大,造成物种分布不连续,受外界人为破坏严重时对植物群落的破坏较为严重,使得不同优势种难以形成同一稳定的生存环境。

3.2 种间联结特征

种间联系能很好地反映植物之间的相互作用,也能反映群落的动态变化。在次生演替的早期,物种之间正、负相关系数都很小,说明群落处在一个不稳定的时期,种间关系也是离散的。随演替进程的进行,种间连接趋向于正向连接,正-负连接比例增大,群落稳定性提高,进而向顶极演化。通过对天山北麓绿洲荒漠过渡带种间关系的测量,发现该地区主要植物的整体联结度呈极低的正相关性,与 χ^2 试验的正、负相关性相符合,Spearman秩相关和Pearson相关系数都小于1,表明该区域处于不稳定状态,群落结构和物种构成尚不完备,处于演替早期。综合 χ^2 检验、Pearson相关检验和Spearman秩相关检验,群落内主要物种多呈不显著联结,种对间联结程度较低,多呈独立空间分布^[37-38]。3种检验方法的结果均表明呈显著正联结的种对数大于显著负联结种对数,种对的显著率较低,说明群落演替初期物种间竞争较弱,种间联结较为分散,这在一定程度上可以缓和物种间对资源和空间的竞争关系,有利于演替初期物种的共存^[9]。此外Pearson相关检验与Spearman秩相关检验相对的显著率明显高于 χ^2 检验。这是因为Pearson相关对数据的正态分布有较高的要求,而野外采集的数据难以保证呈正态分布。而Spearman秩相关分析与物种如何分布不相关,所以为补充相关系数检验的不足,需引入Spearman秩相关分析做补充。 χ^2 是基于二元数据的检验结果,虽能够较好地反映物种间关联的显著程度,但在反映物种间联结大小方面存在不足,还需结合Spearman秩相关及Pearson相关进行分析^[32-33]。

植物的种间连接关系与植物的生态位交叠关系紧密,它们之间的正向关系反映了植物的生态位重叠,负联结表明植物间呈生态位分离^[35]。通过对

天山北麓绿洲荒漠的研究,发现天山北麓绿洲荒漠过渡带主要物种间Pearson相关系数、Spearman秩相关系数与生态位重叠值回归分析均呈极显著正相关,即生态位重叠程度随种间正联结增加而增大。这与诸多研究结果一致^[39-41],若对研究区进行植被修复,选择显著正相关种对更有利于提高群落稳定性。

4 结论

从天山北麓绿洲荒漠过渡带主要物种的生态位与种间联结特征来看,群落优势种间整体呈不显著的正联结,有正向演替的趋势群落优势物种的生态位宽度差异较大,种间重叠与联结程度均较低,种间关系分散,竞争较缓和。在对天山北麓绿洲荒漠过渡带进行植被保护与恢复时,应参照当前群落演替的初级阶段特征,将生物学特点、生态学习性和生境需求相似,种间正联结较强的物种进行搭配种植,先锋种选择生态位宽度高的物种,伴生种选取生态位重叠程度低的物种。结合有限的环境资源,适当进行人工植被修复,促使群落形成有利的协调关系,维持群落稳定性和丰富群落多样性,促进群落可持续发展。

参考文献:

- [1] 杜忠毓,邢文黎,薛亮,等.喀斯特石漠化锑矿区植物群落主要物种生态位特征及其种间联结[J].生态学报,2023,43(7):1-16.
- [2] 薛卫星,李春辉,艾训儒,等.鹅掌楸天然林优势树种生态位与种间联结性[J].森林与环境学报,2023,43(1):26-34.
- [3] Winemiller K O, Fitzgerald D B, Bower L M, et al. Functional traits, convergent evolution, and periodic tables of niches [J]. Ecology Letters, 2015, 18(8): 737-751.
- [4] Rota E, Caruso T, Bargagli R. Community structure, diversity and spatial organization of enchytraeids in Mediterranean urban holm oak stands [J]. European Journal of Soil Biology, 2014, 62: 83-91.
- [5] 马一明,李秋华,潘少朴,等.贵州高原花溪水库浮游植物优势种生态位及种间联结性动态分析[J].湖泊科学,2021,33(3):785-796.
- [6] 王自力,陈勇,陈晓鸣,等.白蜡虫及其3种优势寄生蜂的时空生态位[J].生态学报,2011,31(4):914-922.
- [7] Vannette R L, Fukami T. Historical contingency in species interactions: towards niche-based predictions [J]. Ecology Letters, 2014, 17(1): 115-124.
- [8] 张婷,张建利,张晨,等.FAST周边喀斯特土壤养分资源轴的植物优势种生态位[J].生态学杂志,2023,42(8):1820-1828.
- [9] 刘鲁光,朱兆棋,陈曦,等.喜德县中坝村火烧迹地植被恢复

- 初期优势种生态位与种间联结[J].西部林业科学,2022,51(1):110-117.
- [10] 刘润红,陈乐,涂洪润,等.桂林岩溶石山青冈群落灌木层主要物种生态位与种间联结[J].生态学报,2020,40(6):2057-2071.
- [11] 徐满厚,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):8224-8233.
- [12] 刘艳,郑越月,敖艳艳.不同生长基质的苔藓植物优势种生态位与种间联结[J].生态学报,2019,39(1):286-293.
- [13] Colwell R K, Futuyma D J. On the measurement of niche breadth and overlap[J].Ecology,1971,52(4):567-576.
- [14] Mueller L D, Altenberg L. Statistical inference on measures of niche overlap[J].Ecology,1985,66(4):1204-1210.
- [15] Yu S X, Orloci L. On the fundamental, realized niche and niche center[J].Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni,1993,32(4):70-80.
- [16] Leibold M A. The niche concept revisited: mechanistic models and community context[J].Ecology,1995,76(5):1371-1382.
- [17] Vandermeer J. The niche construction paradigm in ecological time[J].Ecological Modelling,2008,214(2/4):385-390.
- [18] 张甜,贾荣亮,高艳红,等.沙坡头人工固沙植被演替过程中主要结皮生物生态位和种间关联变化特征[J].中国沙漠,2021,41(4):100-108.
- [19] 肖艳梅,解婧媛,姚义鹏,等.桂林岩溶石山常绿落叶阔叶混交林乔木层优势物种生态位研究[J].生态学报,2021,41(20):8159-8170.
- [20] 郝建锋,李艳,齐锦秋,等.人为干扰对碧峰峡栲树次生林群落物种多样性及其优势种群生态位的影响[J].生态学报,2016,36(23):7678-7688.
- [21] 梁玉莲,国庆喜.基于地形汇流值的东北天然次生林主要树种的生态位[J].生态学报,2010,30(11):2874-2882.
- [22] 孙成,秦富仓,包雪源,等.砒砂岩区人工油松林下草本植物的生态位特征[J].水土保持通报,2021,41(3):81-86.
- [23] 何聪,吴世祥,杨丹,等.元谋干热河谷干湿季侵蚀沟草本群落优势种种间关系研究[J].西部林业科学,2020,49(4):124-129.
- [24] 郭连金,张文辉,刘国彬.黄土丘陵区沙棘人工林发育过程中物种多样性及种间关联变化[J].应用生态学报,2007,18(1):9-15.
- [25] 肖集泓,熊宽洪,陈越琳,等.福建琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种生态位与种间联结[J].热带亚热带植物学报,2023,31(6):805-815.
- [26] 魏亚情,宋希强,赵莹,等.吊罗山石碌含笑群落木本植物种间联结性研究[J].热带作物学报,2022,43(12):2606-2613.
- [27] 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):36-40.
- [28] 郭文章,井长青,邓小进,等.天山北坡典型草地土壤呼吸特征及其对环境因子的响应[J].中国农业科技导报,2022,24(10):189-199.
- [29] 班卫强,严成,尹林克,等.古尔班通古特沙漠南缘不同立地条件植物多样性和优势种群生态位特征研究[J].中国沙漠,2012,32(6):1632-1638.
- [30] 张凯,王润元,张强,等.绿洲荒漠过渡带夏季晴天地表辐射和能量平衡及小气候特征[J].中国沙漠,2007,27(6):1055-1061.
- [31] 张林静,岳明,张远东,等.新疆阜康绿洲荒漠过渡带植物群落物种多样性特征[J].地理科学,2003,23(3):329-334.
- [32] 金俊彦,覃文更,谭卫宁,等.濒危植物单性木兰群落主要种群种间联结性研究[J].西部林业科学,2013,42(3):86-94.
- [33] Yang Q, Liu S, Hu C, et al. Ecological species groups and interspecific association of vegetation in natural recovery process at ejadian landslide after 2008 Wenchuan earthquake[J].Journal of Mountain Science,2016,13:1609-1620.
- [34] Walker B. Conserving biological diversity through ecosystem resilience[J].Conservation Biology,1995,9(4):747-752.
- [35] 沈雪梨,吴远密,朱艺璇,等.濒危植物百花山葡萄群落物种生态位特征与种间联结研究[J].植物科学学报,2020,38(2):195-204.
- [36] 陈海涛,石晓东,高润梅.山西陵川南方红豆杉群落种间联结与生态位特征研究[J].植物科学学报,2016,34(4):521-529.
- [37] 张零念,朱贵青,杨宽,等.滇中云南杨梅灌丛主要木本植物生态位与种间联结[J].植物生态学报,2022,46(11):1400-1410.
- [38] 李帅锋,刘万德,苏建荣,等.滇西北云南红豆杉群落物种生态位与种间联结[J].植物科学学报,2012,30(6):568-576.
- [39] 郭忠玲,马元丹,郑金萍,等.长白山落叶阔叶混交林的物种多样性、种群空间分布格局及种间关联性研究[J].应用生态学报,2004(11):2013-2018.
- [40] 李丘霖,宗秀虹,邓洪平,等.赤水桫欏群落乔木层优势物种生态位与种间联结性研究[J].西北植物学报,2017,37(7):1422-1428.
- [41] 白晓航,施佳颖.黑龙江丰林国家级自然保护区红松+紫椴+硕桦群系优势树种生态位特征与种间联结分析[J].园林,2023,40(10):14-21.

Niche characteristics and interspecific connection of dominant plants in the oasis desert transition zone at the northern foot of Tianshan Mountains

Lu Yan, Wu Wanping, Zeng Yong

(School of Geography and Tourism / Key Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Region, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: The oasis desert transition zone at the northern foot of Tianshan Mountain has a fragile habitat. By revealing the ecological characteristics of vegetation in this area, we can then speculate on its succession trends, hoping to provide a theoretical basis or reference suggestions for ecological protection. Based on the investigation of 39 typical sites in research area, the dominant plant niche and interspecies connection are analyzed by important values, niche width, niche overlap, χ^2 test, Pearson correlation test and Spearman rank correlation test. The results show that: (1) There are 28 dominant species in the study area, and the niche breadth was significantly different. There was no significant correlation between the niche breadth measurement results and the change trend of important values. The ecological width index of *Alhagi camelorum*, *Ceratocarpus arenarius*, *Haloxylon ammodendron* is large. The B_L and B_S of *Alhagi camelorum* are 12.11 and 2.77, are the largest. (2) The niche overlap index of dominant plants in the study area is generally small, the demand for environmental resources is not similar, and the interspecific competition is weak. Competitive relationship between *Cerastium fontanum* and *Trifolium repens*, *Poa annua* and *Cerastium fontanum* is obvious, and it is weak between *Ceratocarpus arenarius* and *Poa annua*, *Poa annua* and *Alhagi camelorum*. (3) The plant communities in the study area show no significant positive association. The three tests show that most species pairs had no significant relationship, and the species show an independent distribution pattern. The stability is relatively poor, and the correlation is relatively weak. It is in the early stage of succession, and the structure and function are not perfect. (4) The Pearson correlation coefficient and Spearman rank correlation coefficient between species are significantly positively correlated with the degree of niche overlap, which show that the stronger the positive (negative) association between species, the greater (smaller) the degree of niche overlap.

Key words: northern foot of Tianshan Mountains; oasis desert transition zone; interspecific connection of dominant plants; ecological niche