

乌兰布和沙漠沙冬青群落特征的研究

董 雪, 辛智鸣, 李新乐, 黄雅茹, 郝玉光*

(中国林业科学研究院 沙漠林业实验中心, 内蒙古磴口 015200)

摘 要: 基于对乌兰布和沙漠地区植被调查数据, 采用物种多样性和种群联结性相结合的分析方法, 对珍稀植物沙冬青群落生存状况进行分析评价, 以揭示群落稳定性及更新演替趋势。结果表明: (1) 研究区沙冬青群落的种类组成比较丰富, 与沙冬青伴生的植物共有 25 种, 其中灌木 12 种, 草本植物 13 种。 (2) 灌木层物种多样性水平较草本层高, 但无论是灌木层还是草本层, 固定沙丘生境的沙冬青群落物种多样性均较大, 物种均较为丰富; 物种均匀度减小是群落草本层多样性下降的主要原因。 (3) 种间总体联结性测定结果显示, 沙冬青群落中灌木层种间有轻微正关联; 总体竞争性较弱, 表明沙冬青在群落中处于优势地位。 (4) 从种间联结来看, 大多数种对为正联结, 或联结性较小且均不显著, 说明沙冬青作为该群落的建群种, 它的分布和存在似乎不受其他物种的影响或所受影响很小, 有独立分布特征; 但即使联结性不强的物种也可能有较高的相伴出现机率。研究认为, 可通过保护和选择与之正联结较强的物种来保护和建立沙冬青生存环境, 以维持沙冬青分布群落的稳定性, 最终达到实效保护目的。

关键词: 沙冬青; 物种多样性; 种群联结性; 群落稳定性

中图分类号: Q948.12⁺2.1; Q948.15⁺4 **文献标志码:** A

Analysis on *Ammopiptanthus mongolicus* Community Characteristics in Ulanbuh Desert

DONG Xue, XIN Zhiming, LI Xinle, HUANG Yaru, HAO Yuguang*

(Experimental Center of Dorestry, Chinese Academy of Forestry, Dengkou, Inner Mongolia 015200, China)

Abstract: Based on vegetation investigation data in the Ulanbuh Desert, we used a combination analytical method of species diversity and population connectivity to evaluate the survival status of rare plant community (*Ammopiptanthus mongolicus*), and to further reveal the stability and update of plant community and its succession trend. The result shows that: (1) the species composition of *A. mongolicus* community is abundant. There are 25 species associated with the *A. mongolicus*, including 12 species of shrubs and 13 species of herbaceous plants. (2) Species diversity level of the shrub layer is higher than that of the herb layer. But one thing is similar whether it is shrub or herbaceous that species diversity values of the *A. mongolicus* community in fixed dune habitat are all very large. The decrease of species uniformity is the main reason for the decrease of herbaceous layer diversity. (3) Interspecific overall association analysis shows that there has a slight positive correlation between the species in the shrub layer. However, even the species with low connectivity may also have a higher chance of accompanying. (4) In the case of inter-

收稿日期: 2017-03-24; 修改稿收到日期: 2017-08-08

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2014MA016); “十二五”农村领域国家科技计划(2012BAD16B0103)

作者简介: 董 雪(1986—), 女, 工程师, 主要从事荒漠化防治研究。E-mail: dongxue98765@126.com

* 通信作者: 郝玉光, 研究员, 主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail: hyuguang@163.com

specific connections, most species are positively connected or have less connectivity. The interaction relationship between *A. mongolicus* and other species are very small and non-significant, indicating that the distribution and existence of the plant are not affected by other species and have independent distribution characteristics. The results suggest that we can protect and choose other species which have strong positive associations with *A. mongolicus* to maintain the living environment of the *A. mongolicus* community, thus improve the stability of the community, and ultimately achieve the purpose of effective protection.

Key words: *Ammopiptanthus mongolicus*; species diversity; population associativity; community stability

沙冬青 (*Ammopiptanthus mongolicus*) 为亚洲中部荒漠地区特有的超旱生常绿灌木, 一般高 0.4~2 m, 具丛生和多分枝的特性, 花期 4~5 月, 果期 5~6 月^[1]。据报道, 沙冬青有隔年结实现象, 结实量大, 种子成熟期早而短, 耐贮藏, 发芽力可保持 5~6 a^[2-3]。沙冬青的抗逆能力极强, 但是人工栽培却极为困难, 保护和开发利用沙冬青的研究主要集中在繁殖与栽培技术^[4]、平茬复壮技术^[5]、濒危原因及迁地保护^[6]、群落结构和空间分布^[7]、生理适应性^[8]等方面。关于乌兰布和沙漠天然沙冬青群落多样性、种群联结性研究尚未见报道。

群落多样性就是指生物群落在物种组成、空间结构、功能和动态方面表现出的丰富多彩的差异。物种多样性包括两个方面: 一方面是指一定区域内物种种类的丰富程度; 另一方面是指生态学方面的物种个体分布的均匀程度。只有当群落所含的种数越多, 各个种的相对密度越均匀, 群落的多样性才能越大。群落多样性研究的理论意义在于认识群落的结构和功能, 实践意义主要包括保护与监测两个方面。在生物多样性保护实践中, 人们常以多样性指数为依据评价群落或生态系统的状况, 从而采取相应的保护措施。其理论根据是群落的多样性指数越高则表明群落处于一个复杂、稳定的阶段, 相反物种多样性低则说明群落处于一个简单的、不稳定的阶段, 有可能因为自然因素或物种的生态入侵产生群落的演替^[9-10]。乌兰布和沙漠天然沙冬青主要分布在固定沙丘和半固定沙丘, 本实验对该地区沙冬青群落物种多样性特征进行了初步研究, 以加深对本区植物群落性质的认识, 为本区生态环境和生物多样性保护与持续利用提供基础数据。种间联结指种间相互吸引或排斥的性质, 即不同物种间进行相互竞争、相互促进的作用。通过种间联结种群自身调节演化对维护植物群落稳定性, 保护植物群落多样性具有重要作用, 同时, 种间联结性研究对于特定珍稀物种的保护也有比较重要的作用^[11-12]。因此, 从种间联结性方面研究珍稀濒危植物的保护措施具有

一定的参考价值。沙冬青是乌兰布和沙漠地区分布的典型灌木, 对该地区植被的外貌、结构、动态甚至种类组成都有重要作用。本研究采用群落多样性和种群联结性相结合的分析方法, 对乌兰布和沙漠沙冬青群落进行种群现状分析, 目的是确定沙冬青与主要伴生物种的联结关系, 揭示群落的稳定性及动态更新演替机制。为珍稀植物的抚育保护、种群恢复与重建等提供理论基础, 同时对乌兰布和沙漠生态系统的保护具有重要意义。

1 研究区自然概况

乌兰布和沙漠是中国八大沙漠之一, 位于内蒙古自治区阿拉善盟阿拉善左旗和巴彦淖尔市磴口县 2 个旗县境内, 地理区域为 E106°09'~106°57', N39°16'~40°57' 之间。该区属于中温带干旱性气候, 年均降水量 110~160 mm, 年均蒸发量 2 400~3 200 mm, 是降水量的 20 倍多; 年均气温 7.5~8.5℃, 年平均风速 3.5 m/s, 常见风力 3~5 级, 主风方向为东南风或偏南风, 年日照总时数 3 000 h 以上。气候干旱少雨, 昼夜温差大, 季风强劲, 沙尘暴灾害性天气较频繁^[13]。土壤类型以风沙土为主, 沙漠南部多流沙, 中部多垄岗形沙丘, 北部多固定和半固定沙丘。

2 研究方法

2.1 样地的设置与调查

于 2016 年 7 月实地考察中, 采用考察沿线记录与典型样地调查相结合的方法在乌兰布和沙漠天然沙冬青分布的 5 个典型地段, 即沙漠的西北边缘、沙漠北部、南部、中部、东部分别设置 6 个 20 m×20 m 的标准群落样方, 在每块样地内再依据对角线方法选取 3 个 2 m×2 m 的草本样方, 进行草本植物调查, 记录植物种名, 测量盖度、频度。根据植被盖度大于 40% 为固定沙丘, 在 25%~40% 之间的为半固定沙丘的划分原则, 将沙冬青群落分为两种不同生境, 从而进行沙冬青群落多样性分析。

群落联结性分析的样地选在植被盖度大于 40%,沙冬青集中连片分布的典型地段内,设置 6 块 60 m×60 m 样地,沿东西方向布设 6 个样带,每个样带间隔 10 m。取样时采用隔带抽样的方法,从第 2 带开始,每隔 10 m 抽取 1 个样带,共抽取 3 个样带,每个样带上采用相邻格子法划分 6 个 10 m×10 m 小样方,共计 18 个 10 m×10 m 小样方。实测并记录每个样方内灌木层植物种名、株数、高度、盖度、冠幅等指标。

2.2 数据分析及计算公式

2.2.1 重要值 分别计算灌木层和草本层各植物种重要值,计算方法^[14-15]为:

灌木层重要值=(相对密度+相对盖度+相对频度)/3

草本层重要值=(相对盖度+相对频度)/2

2.2.2 丰富度指数^[16,17]

- ① Gleason 指数: $D = S / \ln A$
S 为群落中的物种数目;A 为面积。
- ② Margalef 指数: $D = (S - 1) / \ln N$
S 为群落中总种数;N 为观察到的个体总数。

2.2.3 均匀度指数^[16,17]

- ① Pielou 均匀度指数 $J = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S$
- ② McIntosh 均匀度指数
 $J = (1 - \sum P_i^2) / (1 - 1/S)$
S 为种 i 所在样方的物种总数,即丰富度指数。

2.2.4 物种多样性^[16,17]

- ① Shannon-Wiener 多样性指数 $D = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$
式中, P_i 为第 i 个种的个体数占有所有物种个体总数的比例, S 为群落中物种总数。
- ② Simpson 多样性指数
 $D = N(N - 1) / \sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)$

式中, n_i 为第 i 个种的个体数, N 为所有物种个体总数, S 为群落中物种总数。

2.2.5 多物种间关联显著性检验 用方差比率法^[18](variance ratio, VR)检验多物种间的总体关联性,说明在某地出现的多物种间是否存在显著的关联性:

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S p_i(1 - p_i)$$
$$S_T^2 = (1/N) \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2$$
$$P_i = n_i / N$$

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2$$

式中, S 为调查样地的总物种数, N 为总样方数, n_i 为物种 i 出现的样方数, T_j 为样方 j 内出现物种的总数, t 为全部样方中种的平均数。

其中,当 $VR > 1$ 表示物种间表现出正的关联; $VR < 1$ 表示物种间存在负的净关联。采用统计量 $W = VR \times N$ 来检验 VR 值偏离 1 的显著程度,若物种不显著相关联,则 W 落入由下面 χ^2 分布给出的界限的概率为 90%: $\chi_{0.95}^2(N) < W < \chi_{0.05}^2(N)$ 。

2.2.6 物种对的关联性检验 根据 2×2 联列表的 χ^2 统计量检验物种间的关联性^[19,20],并建立统计量,进一步判断关联的显著性:

$$X^2 = \frac{\left[(ad - bc) - \frac{1}{2}N \right]^2 N}{(a + b)(a + c)(b + d)(c + d)}$$

其中 a 为两个种都出现的样方数, b 为 B 种出现而 A 种不出现的样方数, c 为 A 种出现而 B 种不出现的样方数, d 为两个种都不出现的样方数, N 为取样总数。在计算连接系数 AC 时,为避免 a, b 或 d 为 0 而导致 $AC = 1$ 或 $AC = -1$ 出现无法比较关联程度的状况,把 a、b、c、d 凡是为 0 的都加权为 1。

X^2 值本身没有负值的,判定正、负连接的方法是:当 $ad - bc = 0$ 时,两个物种是相互独立的;当 $ad - bc < 0$ 时,两个物种之间呈负联结,当 $ad - bc > 0$ 时,两个物种之间呈正联结。若 $X^2 > 3.841$,则表示种对间联结性显著,若 $X^2 > 6.635$,则表示种对间联结性极显著。

2.2.7 种间关联程度

- (1) Ochiai 指数: $OI = \frac{a}{\sqrt{(a + b)(a + c)}}$
- (2) Dice 指数: $DI = \frac{2a}{2a + b + c}$
- (3) Jaccard 指数(即共同出现百分率 PC):
 $JI = \frac{a}{a + b + c}$

2.2.8 种间联结系数 用联结系数来进一步检验由 X^2 所测出的结果,说明种间联结程度。

- 若 $ad \geq bc$ 时, $AC = \frac{ad - bc}{(a + b)(b + d)}$
- 若 $bc > ad$ 且 $d \geq a$ 时, $AC = \frac{ad - bc}{(a + b)(a + c)}$
- 若 $bc > ad$ 且 $d < a$ 时, $AC = \frac{ad - bc}{(b + d)(d + c)}$

2.2.9 点相关系数

$$PPC = \frac{ad - bc}{(a + b)(a + c)(c + d)(b + d)}$$

3 结果与分析

3.1 群落物种组成及数量特征

对半固定沙丘和固定沙丘上的各样方的调查数据分析表明(表 1 和表 2): 半固定沙丘上灌木层树种 11 种, 隶属 6 科 8 属; 草本层植物共 11 种, 隶属 7 科 11 属。固定沙丘上灌木层树种 11 种, 隶属 5 科 8 属; 草本层植物共 10 种, 隶属 6 科 9 属。说明沙冬青群落灌木层和草本层物种组成比较丰富。

重要值是用来表示某个种在群落中的地位和作用的综合数量指标^[21]。由表 1 可以看出, 固定沙丘群落中种群优势相当明显, 沙冬青的重要值(40.41%)远远超过排在第 2 位的白刺(18.87%), 为优势树种, 白刺、红砂、泡泡刺、霸王只有零星单株分布。但在半固定沙丘中沙冬青的优势度不是特别明显, 其重要值仅为 29.85%, 且群落中的伴生种红

砂和泡泡刺的重要值分别达到了 24.45% 和 20.25%。从表 2 则可以看出, 固定沙丘草本层的优势种是多年生草本骆驼蓬(48.29%)和一年生草本芨芨草(47.54%), 且物种的重要值较为分散。在半固定沙丘中, 重要值排在第 1 位的是一年生草本芨芨草(42.18%), 其次是一年生草本虫实(31.78%)。说明固定沙丘沙冬青群落中, 一年生沙生植物重要值逐渐减小, 而多年生草本植物的重要值显著增加, 表明有多年生草本骆驼蓬大量侵入。从表中可以看出各样地内群落灌木层的物种组成和一年生草本植物基本一致。两种生境内出现的植物除各样地建群种外, 多为芨芨草、虫实、雾冰藜、猪毛菜等一年生先锋固沙植物。

3.2 植物群落物种多样性特征

由表 3 和表 4 可以看出, 灌木层物种多样性水平比草本层高, 有一点相似, 无论是灌木层还是草本

表 1 半固定沙丘和固定沙丘灌木层植物种重要值
Table 1 Important values of shrub layer species in the semi-fixed dunes and fixed dunes

生境 Community habitat	灌木层物种 Shrub layer species	相对密度 Relative density/%	相对盖度 Relative coverage/%	相对频度 Relative frequency/%	重要值 Important value/%
半固定沙丘 Semi-fixed dunes	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	23.21	48.96	17.39	29.85
	红砂 <i>R. songarica</i>	37.36	27.28	8.70	24.45
	泡泡刺 <i>N. sphaerocarpa</i>	28.97	23.07	8.70	20.25
	白刺 <i>N. tangutorum</i>	16.76	17.41	13.04	15.74
	霸王 <i>Z. xanthoxylum</i>	12.24	7.33	13.04	10.87
	梭梭 <i>H. ammodendron</i>	15.52	4.89	8.70	9.70
	木本猪毛菜 <i>S. arbuscula</i>	13.43	3.60	8.70	8.58
	蒙古沙拐枣 <i>C. mongolicum</i>	9.07	3.51	8.70	7.09
	大白刺 <i>N. roborowskii</i>	4.29	2.45	4.35	3.69
	长叶红砂 <i>R. trigyna</i>	4.29	1.54	4.35	3.39
	珍珠猪毛菜 <i>S. passerina</i>	2.86	1.26	4.35	2.82
固定沙丘 Fixed dunes	沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	31.06	71.97	18.18	40.41
	白刺 <i>N. tangutorum</i>	24.84	22.68	9.09	18.87
	红砂 <i>R. soongorica</i>	28.13	4.70	9.09	13.97
	泡泡刺 <i>N. sphaerocarpa</i>	20.63	9.34	9.09	13.02
	霸王 <i>Z. xanthoxylum</i>	17.87	2.73	13.64	11.41
	大白刺 <i>N. roborowskii</i>	8.13	11.72	9.09	9.64
	盐爪爪 <i>K. foliatum</i>	21.25	3.11	4.55	9.64
	木本猪毛菜 <i>S. arbuscula</i>	13.48	0.32	9.09	7.63
	长叶红砂 <i>R. trigyna</i>	3.75	1.55	9.09	4.80
	梭梭 <i>H. ammodendron</i>	1.72	0.12	4.55	2.13
	珍珠猪毛菜 <i>S. passerina</i>	1.25	0.10	4.55	1.97

表 2 半固定沙丘和固定沙丘草本层植物种重要值

Table 2 Important values of herb layer species in the semi-fixed dunes and fixed dunes

生境 Community habitat	草本层物种 Herb layer species	相对盖度 Relative coverage/%	相对频度 Relative frequency/%	重要值 Importance value/%
半固定沙地 Semi-fixed dunes	芨芨草 <i>A. splendens</i>	71.87	12.50	42.18
	虫实 <i>C. hyssopifolium</i>	51.07	12.50	31.78
	雾冰藜 <i>B. dasyphylla</i>	30.93	18.75	24.84
	盐生草 <i>H. glomeratus</i>	10.69	6.25	8.47
	骆驼蓬 <i>P. harmala</i>	1.44	12.50	6.97
	砂引草 <i>M. sibirica</i>	5.30	6.25	5.77
	猪毛菜 <i>S. collina</i>	4.61	6.25	5.43
	沙葱 <i>A. mongolicum</i>	1.53	6.25	3.89
	黄花补血草 <i>L. aureum</i>	1.33	6.25	3.79
	叉枝鸦葱 <i>S. divaricata</i>	0.51	6.25	3.38
	蓝刺头 <i>E. sphaerocephalus</i>	0.15	6.25	3.20
	骆驼蓬 <i>P. harmala</i>	91.02	5.56	48.29
固定沙地 Fixed dunes	芨芨草 <i>A. splendens</i>	89.52	5.56	47.54
	虫实 <i>C. hyssopifolium</i>	40.13	16.67	28.40
	猪毛菜 <i>S. collina</i>	23.50	11.11	17.30
	砂珍棘豆 <i>O. psamocharis</i>	10.87	11.11	10.99
	盐生草 <i>H. glomeratus</i>	5.24	16.67	10.95
	雾冰藜 <i>B. dasyphylla</i>	3.12	16.67	9.89
	砂蓝刺头 <i>E. gmelinii</i>	4.11	5.56	4.83
	黄花补血草 <i>L. aureum</i>	0.78	5.56	3.17
	蓝刺头 <i>E. sphaerocephalus</i>	0.10	5.56	2.83

表 3 半固定沙地和固定沙地灌木层植物多样性指数

Table 3 Diversity indices of shrub layer species in the semi-fixed dunes and fixed dunes

生境 Community habitat	丰富度指数		多样性指数		均匀度指数	
	Gleason	Margalef	Shannon-Wiener	Simpson	Pielou	McIntosh
半固定沙地 Semi-fixed dunes	1.04±0.01a	1.20±0.02a	1.46±0.04a	0.74±0.01a	0.86±0.03a	0.91±0.01a
固定沙地 Fixed dunes	1.14±0.02a	1.32±0.03 a	1.53±0.05a	0.75±0.02a	0.88±0.03a	0.91±0.01a

表 4 半固定沙地和固定沙地草本层植物多样性指数

Table 4 Diversity indices of herb layer species in the semi-fixed dunes and fixed dunes

生境 Community habitat	丰富度指数		多样性指数		均匀度指数	
	Gleason	Margalef	Shannon-Wiener	Simpson	Pielou	McIntosh
半固定沙地 Semi-fixed dunes	0.85±0.02a	0.47±0.02a	0.43±0.01b	0.21±0.01b	0.29±0.01b	0.28±0.01b
固定沙地 Fixed dunes	0.89±0.04a	0.64±0.03a	0.92±0.03a	0.66±0.02a	0.62±0.02a	0.80±0.03a

层,固定沙丘生境的沙冬青群落物种多样性值较大,物种较为丰富,主要是由于固定沙丘的土壤含水量较高,有助于植物的生长和繁殖。虽然固定沙丘生境的沙冬青群落灌木层物种多样性值较大,但与半固定沙丘生境的沙冬青群落灌木层物种多样性的差异不显著($P>0.05$);两种生境下沙冬青群落灌木

层均较为丰富,物种数量差异不大,且两者差异均未达到显著水平($P>0.05$)。与半固定沙丘相比,固定沙丘植被总盖度显著增加,灌木和多年生草本盖度增加,一年生草本盖度减小。草本层均匀度减小是半固定沙丘物种多样性下降的主要原因;半固定沙丘与固定沙丘相比,Simpson 指数减小了 4.5%,因此固定沙丘生境的沙冬青群落草本层物种多样性值较大,且两者的差异性显著($P<0.05$);不同沙丘类型物种多样性指数与物种均匀度指数呈正相关。固定沙丘和半固定沙丘两种生境下,天然沙冬青群落多年生草本和灌木类植物受到的影响最大,而一年生草本可存活于不同沙丘类型。

3.3 多物种间总体联结性分析

野外调查数据处理分析出共有 12 种植物出现在调查样方的灌木层中,根据样方内沙冬青群落灌木层所有物种重要值的数量分布情况,得出 12 种植物的重要值排序具体为:沙冬青>白刺>红砂>泡泡刺>霸王>梭梭>木本猪毛菜>唐古特白刺>长叶红砂>蒙古沙拐枣>珍珠猪毛菜>盐爪爪。选取了 6 种重要值大于 9.90% 的物种进行种间关联性分析,可以认为涵盖了样方中所有的优势种,以探讨乌兰布和沙漠沙冬青群落的稳定性,揭示隐含的物种种间的功能关系。

多物种间总体联结性反映了群落内各种间相关性的总体趋势。根据沙冬青群落中 6 个主要树种之间存在与不存在的关系,即 2×2 列表,计算出群落中主要物种对的各项相关系数,从表 5 看出 VR 值: $VR=1.19>1$,说明这 6 个种间有轻微正关联。说明在沙冬青群落中一些种的出现对另一些种是有利的。群落种间总体关联性能反映出群落的稳定性。一般来说,随着植被群落演替的过程,群落结构及其组成种类将逐渐趋于完善和稳定,种间关系也将同步趋于正相关,以求得多物种间的稳定共存,乌兰布和沙漠沙冬青群落整体呈现出的正相关关系,说明这个沙冬青群落基本上已处在一个相对稳定的状态。检验统计量 $W=21.39$,落入 $X^2_{0.95}(100)$ 与 $X^2_{0.05}(100)$ 之间,即 VR 值偏离 1 不显著。因此,检验表

明:沙冬青群落中 6 个种间在总体上正关联,但未达到显著水平。

3.4 种对间的联结性分析

由表 6 可以看出,在沙冬青群落中重要值排名前 6 种植物组成的 15 对种对中,有白刺-霸王、白刺-梭梭和红砂-泡泡刺表现出显著关联性($X^2>3.841$),并以红砂-泡泡刺值最大($X^2=11.025$),其余均不显著。这说明珍稀植物沙冬青种群与绝大多数种群关联性极小,即使种对间存在正或负的联结性,但呈显著和极显著关联种对比率很低,即使多物种总体为正相关,但沙冬青与优势种间联结性不显著,种对间的关系并不紧密,表现为物种分布独立性和随机性。

乌兰布和沙漠沙冬青群落各种对间的联结性大部分表现为正联结,其中有 9 对种对表现出正关联性,这说明了它们对环境有相似的需求或一个种的存在对另一物种有利;6 对种对表现出负关联性,这主要是两者在竞争资源中相互排斥,造成其利用不同资源空间的结果,也是生态位分离的反映。可以看出这与多种关联性的检验结果基本一致,即在沙冬青群落种间多呈现轻微的正关联性。一般情况下,成熟的群落物种多表现为正联结,以求物种的稳定共存。说明该群落已经发育到成熟阶段,群落结构和功能比较稳定,形成了多物种共存的复杂而稳定的群落。

通常采用关联系数度量种间关联性的程度。而 X^2 检验方法较准确地描述了种间关联性之间的差异,因此关联的显著性与关联度的大小成为了种间关联研究常用的两个方面。通过表 6 可以看出,OI、DI、JI 值的变化基本一致,尤其是 OI 和 DI 值极为接近,表现出了显著相关。PCC 值与以上 3 个参数差异较大而且二者间差异也较大,均没有显著相关。在共同出现率,即相伴出现率方面有 7 个种对的概率高于 50%,占总对数的 46.67%;而点相关系数指标,则总体表现出较低的水平,6 个种对表现出负的点相关,9 个种对表现出正的点相关,分别占总对数的 40% 和 60%。

表 5 沙冬青群落主要物种间的整体关联性分析						
Table 5 Analysis on the overall association of dominant species <i>A. mongolicus</i> community						
系数 Coefficient	δ^2	s^2	方差比率 Variance ratio	检验统计量 W Test statistics W	X^2 临界值 X^2 Critical value ($X^2_{0.95} N, X^2_{0.05} N$)	测度结果 Result
测度值 Measure-valued	2.42	2.88	1.19	21.39	(9.76, 28.45)	总体正关联,但不显著 Positive correlation and non-significant

表 6 沙冬青群落主要物种间联结性 X^2 统计检验和关联指数

种对 Species	X^2 检验 X^2 -test	AC	JI	OI	DI	PCC
沙冬青-白刺 <i>A. mongolicus</i> - <i>N. tangutorum</i>	0.183	0.182	0.588	0.754	0.741	0.162
沙冬青-红砂 <i>A. mongolicus</i> - <i>R. songarica</i>	0.045	-0.250	0.471	0.653	0.640	-0.167
沙冬青-泡泡刺 <i>A. mongolicus</i> - <i>N. sphaerocarpa</i>	0.345	0.100	0.500	0.707	0.667	0.625
沙冬青-霸王 <i>A. mongolicus</i> - <i>Z. xanthoxylum</i>	0.222	0.077	0.647	0.788	0.786	0.103
沙冬青-梭梭 <i>A. mongolicus</i> - <i>H. ammodendron</i>	0.070	0.063	0.375	0.612	0.545	0.521
白刺-红砂 <i>N. tangutorum</i> - <i>R. songarica</i>	3.445	-0.550	0.125	0.224	0.222	-0.688
白刺-泡泡刺 <i>N. tangutorum</i> - <i>N. sphaerocarpa</i>	3.740	-0.455	0.176	0.302	0.300	-0.722
白刺-霸王 <i>N. tangutorum</i> - <i>Z. xanthoxylum</i>	8.128	0.625	0.833	0.913	0.909	1.042
白刺-梭梭 <i>N. tangutorum</i> - <i>H. ammodendron</i>	4.753	0.400	0.600	0.775	0.750	0.833
红砂-泡泡刺 <i>R. songarica</i> - <i>N. sphaerocarpa</i>	11.025	0.800	0.889	0.943	0.941	1.111
红砂-霸王 <i>R. songarica</i> - <i>Z. xanthoxylum</i>	0.703	-0.400	0.250	0.408	0.400	-0.417
红砂-梭梭 <i>R. songarica</i> - <i>H. ammodendron</i>	0.250	-0.333	0.154	0.272	0.267	-0.309
泡泡刺-霸王 <i>N. sphaerocarpa</i> - <i>Z. xanthoxylum</i>	0.595	-0.299	0.200	0.342	0.333	-0.388
泡泡刺-梭梭 <i>N. sphaerocarpa</i> - <i>H. ammodendron</i>	2.250	0.667	0.500	0.680	0.667	0.617
霸王-梭梭 <i>Z. xanthoxylum</i> - <i>H. ammodendron</i>	2.431	0.245	0.538	0.734	0.700	0.699

注:AC、JI、OI、DI 和 PCC 分别表示种间联结系数、共同出现百分率、种间联结程度 Ochiai 指数和 Dice 指数、点相关系数
Note:AC, JI, OI, DI and PCC indicate that coefficient of interspecific association, percentage of co-occurrence, interspecies coupling index and point correlation coefficient

4 结 论

在一定意义上来说,群落稳定性是种群多样性和联结性的体现形式,群落的演替是种内和种间相互促进、相互竞争的一个动态过程,群落的组成成分将不断趋向于正(负)关联,不同种群之间稳定共存,才能维持群落的可持续发展。在研究乌兰布和沙漠天然沙冬青群落生存状况时,将种群多样性和群落联结性放在一起,二者得出的结论可以相互印证,有很大的实践意义。

(1) 经野外实地调查表明:乌兰布和沙漠自然分布的沙冬青种群为小片状均匀分布,数量较多,局部大尺度上分布频度相对较低。与沙冬青伴生的植物共有 22 种,其中灌木 12 种,草本植物 13 种。乌兰布和沙漠天然沙冬青群落组成比较丰富,结构层次明显,具灌木层和草本层 2 个层片。灌木层优势种沙冬青是国家二级重点保护植物和内蒙古一级重点保护植物,在科学研究上具有特殊意义,且在内蒙古分布最广,主要分布在固定或半固定沙丘,因此在荒漠化治理方面有重要的应用价值,具有广阔的开发应用前景。植物群落灌木层的丰富度指数、多样性指数、均匀度指数均显著高于草本层,且无论是灌木层还是草本层,固定沙丘的多样性值更高,物种更

加丰富。物种均匀度减小是群落草本层多样性下降的主要原因。从植物的生活型来看,多年生草本和灌木类植物受沙丘类型的影响较大,而一年生草本虫实、芨芨草等作为先锋固沙植物可存活于不同沙丘类型。

(2) 从种对间的联结性来看,种群内不同种对间大多数种对为正联结,显著正联结的种对有 3 种,显著负联结种对为 0。总体而言,无显著关联种占所有植物总数的 80%。因此种间总体联结性测定结果表明沙冬青群落种间有轻微正关联,但未达到显著水平。计算得到正联结种对占总种对数的 60%,负联结种对占的比例为 40%,正负关联比为 1.5。沙冬青与各物种的联结性极小且均不显著,说明沙冬青作为该群落的建群种,它的分布和存在似乎不受其他物种的影响或所受影响很小,有独立分布特征,各物种关系相对比较松散,有很大的随机性。沙冬青在群落中表现出较强的稳定性并占据显著优势,这可能是它们在群落中长期占据优势并稳定存在的一个缘由。但是,即使联结性不强的物种也可能有较高的相伴出现机率。研究区内天然沙冬青集中连片分布,总体竞争性较弱,表明沙冬青在群落中处于优势地位,群落演替正向着有利于沙冬青的方向发展,形成了稳固的沙丘,整个群落处于稳定状态。

参考文献:

- [1] 马毓泉. 内蒙古植物志(第2版)[M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1988.
- [2] 刘颖茹, 杨 持. 濒危物种四合木(*Tetraena mongolica* Maxim)种子活力时空变异的比较研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2001, **32**(3): 297-300.
LIU Y R, YANG C. Comparative study on vitality of *Tetraena mongolica* Maxim seeds in different time and different places[J]. *Journal of Inner Mongolia Univerty*, 2001, **32**(3): 297-300.
- [3] 杨建中. 克州小沙冬青的分布及保护利用研究[J]. 资源保护, 2002, (3): 44.
YANG J Z. Protection and utilization of *Ammopiptanthus mongolicus* germplasm resources in Kezhou[J]. *Resource Protection*, 2002, (3): 44.
- [4] 马彦军, 段慧荣, 曹致中, 等. 沙冬青种子萌发期抗逆性研究[J]. 中国沙漠, 2011, **31**(4): 963-967.
MA Y J, DUAN H R, CAO Z Z, *et al.* Stree resistance of *Ammopiptanthus mongolicus* seeds during germination period[J]. *Journal of Desert Research*, 2011, **31**(4): 963-967.
- [5] 董 雪, 杨永华, 高 永, 等. 西鄂尔多斯沙冬青平茬效应初探[J]. 中国沙漠, 2013, **31**(6): 1 723-1 730.
DONG X, YANG Y H, GAO Y, *et al.* Effectes of cutting on *Ammopiptanthus mongolicus* in the western Ordos Plateau, Mongolia, China[J]. *Journal of Desert Research*, 2013, **31**(6): 1 723-1 730.
- [6] 潘伯荣, 尹林克. 我国干旱荒漠区珍稀濒危植物资源的综合评价及合理利用[J]. 干旱区研究, 1991, **8**(3): 29-39.
PAN B T, YIN L K. Comprehensive evaluation and utilization of rare and endangered plants of arid zone in China[J]. *Arid Zone Research*, 1991, **8**(3): 29-39.
- [7] 靳虎甲, 王继和, 马全林. 乌兰布和沙漠沙冬青种群结构和空间分布[J]. 西北植物学报, 2010, **30**(11): 2 300-2 306.
JIN H J, WANG J H, MA Q L. Size structure and distribution pattern of *Ammopiptanthus mongolicus* population in Ulanbuh desert. [J]. *Acta Bot. Boreali. -Occident. Sin.*, 2010, **30**(11): 2 300-2 306.
- [8] 周宜君, 刘春兰. 沙冬青抗旱、抗寒机理的研究进展[J]. 中国沙漠, 2001, **21**(3): 312-315.
ZHOU Y J, LIU C L. Advances of drought-resistance and frigid-resistance mechanism research on *Ammopiptanthus mongolicus* [J]. *Journal of Desert Research*, 2001, **21**(3): 312-315.
- [9] 李新荣, 谭会娟, 何明珠, 等. 阿拉善高原灌木种的丰富度和多度格局对环境因子变化的响应: 极端干旱荒漠地区灌木多样性保育的前提[J]. 中国科学: D辑, 2009, **39**(4): 504-515.
LI X R, TAN H J, HE M Z, *et al.* Abundance of shrub species to several environmental change factors in a Alxa Plateau, Inner Mongllia: shrub diversity in extreme drought area[J]. *Science in China: D Edit*, 2009, **39**(4): 504-515.
- [10] 刘普幸, 张杰. 瓜州绿洲胡杨种群结构与动态研究[J]. 中国沙漠, 2012, **32**(2): 407-412.
LIU P X, ZHANG J. Structure and dynamics of populus euphratica population in Guazhou Oasis, northwest China[J]. *Journal of Desert Research*, 2012, **32**(2): 407-412.
- [11] 曹培健, 丁炳扬, 李伟成, 等. 凤阳山福建柏群落主要种群种间联结性研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2006, **33**(6): 676-681.
CAO P J, DING B Y, LI W C, *et al.* Study on the interspecific association of dominant populations of *Fokienia hodginsii* communities in Fengyang Mountain[J]. *Journal of Zhejiang University* (Science Edition), 2006, **33**(6): 676-681.
- [12] 赵则海, 祖元刚, 杨逢建, 等. 东灵山辽东栎林木本植物种间联结取样技术的研究[J]. 植物生态学报, 2003, **27**(3): 396-403.
ZHAO Z H, ZU Y G, YANG F J, *et al.* Study on the sampling technique of interspecific association of ligneous plant in *Quercus liaotungensis* forest in Dongling Mountain[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2003, **27**(3): 396-403.
- [13] 吴鸿宾. 内蒙古主要气象灾害分析[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [14] 杨 光, 郝玉光, 包斯琴, 等. 乌兰布和沙漠绿洲边缘植被群落结构及物种多样性研究[J]. 水土保持研究, 2016, **23**(3): 257-261.
YANG G, HAO Y G, BAO S Q, *et al.* Study on the community structure and species diversity in the eastern Margin of the Ulanbuh desert Osis[J]. *Res. of Soil and Water Conservation*, 2016, **23**(3): 257-261.
- [15] 张德魁, 马全林, 靳虎甲, 等. 乌兰布和沙漠典型草本植物群落特征[J]. 中国农学通报, 2011, **27**(4): 53-59.
ZHANG D K, MA Q L, JIN H J, *et al.* Analysis on typical herbaceous plant community characteristics in Ulanbuh Desert[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, **27**(4): 53-59.
- [16] 马克平. 生物多样性的测度方法 I. α 多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1994, **2**(2): 162-168.
MA K P. Method of evolution and measurement of Biodiversity I. α [J]. *Chinese Biodiversity*, 1994, **2**(2): 162-168.
- [17] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 II. β 多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1995, **3**(1): 38-43.
MA K P. Method of evolution and measurement of Biodiversity II. β [J]. *Chinese Biodiversity*, 1995, **3**(1): 38-43.
- [18] SCHLUTER D. A vatiance test for detecting species associations, with some example applications[J]. *Ecology*, 1984, **65**(3): 998-1005.
- [19] LUDWING J A, REYNOLDS J F. Statistical Ecology[M]. New York: Academic Press, 1991.
- [20] 黄祥童, 王绍先, 黄炳军, 等. 珍稀植物对开蕨与其伴生物种的联结性及群落稳定性[J]. 生态学报, 2015, **35**(1): 80-90.
HUANG X T, WANG S X, HUANG B J, *et al.* Analyses of community stability and inter-specific associations between the rare plant *Phyllitis scolopendrium* and its associated species[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, **35**(1): 80-90.
- [21] 李秀芹, 张国斌, 曹健康. 安徽岭南森林群落物种多样性的研究[J]. 江苏林业科技, 2007, **34**(1): 28-31.
LI X Q, ZHANG G B, CAO J K. Study on plant species diversity in the forest communities in Lingnan in Anhiu Province[J]. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 2007, **34**(1): 28-31.

(编辑: 潘新社)