

## 沙冬青与霸王群落交错区种内与种间竞争关系

都兰 王铁娟\* 周雪萌 张蕊 张冰冰 冯婧

(内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 内蒙古自治区高等学校蒙古高原生物多样性保护与可持续利用重点实验室, 呼和浩特 010022)

**摘要** 为了研究珍稀濒危植物沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)受到的竞争影响, 选择沙冬青与霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)群落交错区, 利用Hegyi单木竞争模型, 通过对25株沙冬青对象木的调查, 分析沙冬青的种内与种间竞争关系。结果表明: 沙冬青的种内和种间竞争强度分别占总竞争强度(341.32)的5.09%和94.91%, 说明沙冬青的竞争主要来源于种间。群落交错区内沙冬青的竞争木种类较多, 竞争强度由大到小依次为内蒙古旱蒿(*Artemisia xerophytica*)、矮脚锦鸡儿(*Caragana brachypoda*)、霸王、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)、沙冬青、长叶红砂(*Reaumuria trigyna*)、驼绒藜(*Krascheninnikovia ceratoides*)、红砂(*Reaumuria soongarica*)、绵刺(*Potaninia mongolica*)、戈壁天门冬(*Asparagus gobicus*)。种间竞争指数和总竞争指数与沙冬青冠幅之间的关系均近似服从幂函数关系, 竞争强度随对象木冠幅的增加而减小。当对象木的冠幅小于1.0 m时, 受到的竞争压力较大, 所得的模型能很好地反映沙冬青受到的竞争强度。

**关键词** 濒危植物; 沙冬青; 灌木; 种内和种间竞争; 竞争指数

中图分类号: Q948 文献标识码: A doi: 10. 7525/j. issn. 1673-5102. 2025. 06. 016

## Intraspecific and Interspecific Competition Relationship Between *Ammopiptanthus mongolicus* and *Zygophyllum xanthoxylum* in the Ecotone

DU Lan WANG Tiejuan\* ZHOU Xuemeng ZHANG Rui ZHANG Bingbing FENG Jing

(College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Key Laboratory of Biodiversity Conservation and Sustainable Utilization in Mongolian Plateau for College and University of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010022)

**Abstract** In order to clarify the competitive influence of rare and endangered plant *Ammopiptanthus mongolicus*, this study selected the ecotone between *A. mongolicus* and *Zygophyllum xanthoxylum*, and used Hegyi single tree competition model to analyze the intraspecific and interspecific competition relationship by investigating 25 target trees of *A. mongolicus*. The results showed that intraspecific and interspecific competition intensity of *A. mongolicus* accounted for 5.09% and 94.91% of the total competition intensity (341.32), respectively, indicating that the competition of *A. mongolicus* was mainly derived from interspecific competition. There were many competing tree species of *A. mongolicus* in the ecotone, and the competition intensity from high to low was *Artemisia xerophytica*, *Caragana brachypoda*, *Z. xanthoxylum*, *Oxytropis aciphylla*, *A. mongolicus*, *Reaumuria trigyna*, *Krascheninnikovia ceratoides*, *Reaumuria soongarica*, *Potaninia mongolica*, *Asparagus gobicus*. The relationship of the interspecific competition index and the total competition index with the crown width of *A. mongolicus* was approximately subject to the power function relationship, and the competition intensity decreased with the increase of crown width of target trees. When the crown width of target trees was less than 1.0 m, the competitive pressure was greater, and the obtained model could well reflect the competitive intensity of *A. mongolicus*.

**Key words** endangered plant; *Ammopiptanthus mongolicus*; shrub; intraspecific and interspecific competition; competition index

基金项目: 内蒙古自治区科技计划项目(2020GG0124)。

第一作者简介: 都兰(1999—), 女, 硕士研究生, 主要从事植物生态学研究。

\* 通信作者: E-mail: wtj105@163.com。

收稿日期: 2024年11月30日。

植物群落内的竞争现象在自然界中普遍存在,它是指2个或2个以上有机体在所需的环境资源或空间相对不足的情况下发生的相互关系。主要表现为植株之间对共同所需的有限资源环境的争夺,这种争夺在同种间表现为种内竞争,在异种间表现为种间竞争,竞争的结果是一个有机体阻碍另一个有机体的正常生长发育<sup>[1]</sup>。国内外许多学者用不同的竞争模型<sup>[2-4]</sup>开展了相关的研究,其中Hegyi提出的单木竞争指数模型被广泛应用<sup>[4]</sup>。

沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)为豆科(Fabaceae)沙冬青属(*Ammopiptanthus*)强旱生常绿阔叶灌木,是古老的第三纪残遗种,国家二级重点保护植物。在我国主要分布于内蒙古的西部、贺兰山、宁夏北部及甘肃河西走廊北部,在蒙古国南部也有分布<sup>[5]</sup>。沙冬青具有较强的抗逆性<sup>[6]</sup>,被视作优良的水土保持植物,能防风固沙,在维持荒漠生态系统稳定性方面具有重要作用<sup>[7]</sup>。霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)为蒺藜科(Zygophyllaceae)驼蹄瓣属(*Zygophyllum*)强旱生灌木,主要分布于内蒙古、甘肃、新疆、西藏等省(区),蒙古国也有分布<sup>[8]</sup>,是我国西北荒漠区重要的固沙植物和主要建群种之一。在沙冬青群落的周围常可见霸王群落,2个群落的过渡地带形成群落交错区,这一区域被看作是植物竞争的紧张地带。本研究以沙冬青为对象,利用Hegyi竞争指数模型分析交错区内沙冬青种内与种间竞争关系,可为研究沙冬青群落的动态变化提供参考,为这一濒危植物的保护提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区概况

西鄂尔多斯地处鄂尔多斯高原西缘至黄河东岸,位于我国“八大特有属的多度中心”之一的南蒙古中心(阿拉善—鄂尔多斯中心)东部<sup>[9]</sup>,分布着大量干旱区古老与珍稀濒危植物,具有多样的灌木与半灌木群落类型。沙冬青群落、霸王群落为常见的群落类型,主要分布于西鄂尔多斯西北部。沙冬青群落均呈小斑块出现在沙质或沙砾质地生境中,霸王群落分布较为广泛,以小群落或较大群落出现在沙质生境中。

研究区位于西鄂尔多斯北部杭锦旗巴拉贡镇东北,为草原化荒漠带,属于温带大陆性气候。年平均气温5.6℃,年均降水量不超过150mm<sup>[10]</sup>。

样地地理坐标40°15′23.18″N,107°8′48.12″E,海拔1158.69m。沙冬青群落与霸王群落相邻,2个群落的交错区中灌木沙冬青与霸王共优,下层的小半灌木内蒙古旱蒿(*Artemisia xerophytica*)优势度大,小灌木矮脚锦鸡儿(*Caragana brachypoda*)也占一定的优势。

### 1.2 样地设置与调查

在典型的沙冬青与霸王交错区中,设置1个60m×30m的样地(根据交错区范围大小确定),样地内间隔10m设置3条样线,在每条样线上间隔6m以上随机选取8~9株沙冬青作为对象木,共25株,以每株对象木为中心,设置样圆,根据最大对象木和竞争木的冠幅半径之和确定样圆半径<sup>[11]</sup>。基于野外调查发现,沙冬青和竞争木的最大冠幅半径之和不超过3m,因此样圆半径确定为3m。测量和记录每个样圆内的对象木和竞争木(灌木、半灌木)的种名、冠幅及对象木和竞争木之间的距离。

### 1.3 竞争指数的确定

植物种群的竞争强度大小通常用竞争指数(competition index,  $I_c$ )表示,本研究采用Hegyi的单木竞争指数模型。林建勇等<sup>[11]</sup>、刘虹佑等<sup>[12]</sup>在研究灌木种内和种间竞争时,提出由于对象木的主干不明显,无法测量胸径,分别采用了株高和基径代替胸径进行研究,本研究采用冠幅替代胸径进行种内和种间竞争关系研究。 $I_c$ 的计算公式为

$$I_c = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K (B_j/B_i) \times \frac{1}{L_{ij}} \quad (1)$$

式中: $I_c$ 为竞争指数( $I_c$ 值越大,表明对象木受到的竞争越剧烈); $N$ 为对象木的株数; $K$ 为竞争木的株数; $B_i$ 为对象木冠幅; $B_j$ 为竞争木冠幅; $L_{ij}$ 为对象木和竞争木之间的距离。

### 1.4 数据处理

利用SPSS 27.0对对象木的冠幅与竞争指数进行回归拟合分析,并获得最优模型。

## 2 结果与分析

### 2.1 对象木与竞争木概况

本研究共调查对象木25株,根据冠幅大小,按0.5m间隔将对象木分为5个冠幅级(表1),以(0.5, 1.0]m的对象木最多,(1.0, 1.5]m次之。(1.5, 2.0]m仅有1个个体,>2.0m仅有3个个体,表明这2个冠幅级植株幼苗期补充不足或生长过程中死亡较多。从沙冬青受到的种内竞争和种间竞争来看

(表 1), 种内竞争木的数量仅有 32 株, 种内竞争指数为 17.37, 只占总竞争强度的 5.09%; 种间竞争木的数量为 1 032 株, 种间竞争指数为 323.95, 占总竞争强度的 94.91%。种间竞争远大于种内竞争, 说明沙冬青的竞争主要来源于种间。由各冠幅级来看, 小冠幅级受到的竞争压力大, 尤其是 (0.5, 1.0] m

冠幅级, 总竞争指数达到 171.33, 占全部冠幅级总竞争指数和 (341.32) 的 50.20%, 承担着主要的竞争压力, 与该级的对象木株数较多有关。平均竞争指数可以反映每个对象木受到的竞争压力, 从结果看, 不论是种内还是种间, 均显示随沙冬青个体的增大, 受到的平均竞争压力减弱。

表 1 沙冬青种内与种间竞争强度

Table 1 Intraspecific and interspecific competition intensity of *Ammopiptanthus mongolicus*

对象木冠幅级 Target tree crown width scale/m	种内竞争 Intraspecific competition				种间竞争 Interspecific competition				总竞争 Total competition			
	对象木株数 Number of target tree	竞争木株数 Number of competitive tree	竞争指数 Competition index	平均竞争指数 Averaged competition index	对象木株数 Number of target tree	竞争木株数 Number of competitive tree	竞争指数 Competition index	平均竞争指数 Averaged competition index	对象木株数 Number of target tree	竞争木株数 Number of competitive tree	竞争指数 Competition index	平均竞争指数 Averaged competition index
(0,0.5]	1	3	3.07	3.07	2	68	114.20	57.10	2	71	117.26	58.63
(0.5,1.0]	9	17	10.58	1.18	13	572	160.75	12.37	13	589	171.33	13.18
(1.0,1.5]	5	11	3.57	0.71	6	227	39.09	6.52	6	238	42.67	7.11
(1.5,2.0]	0	0	0	—	1	34	3.65	3.65	1	34	3.65	3.65
>2.0	1	1	0.15	0.15	3	131	6.26	2.09	3	132	6.41	2.14
总计均值 Total/mean	16	32	17.37	1.09	25	1 032	323.95	12.96	25	1 064	341.32	13.65

## 2.2 竞争木组成与竞争强度

本次调查共测量 10 种共 1 064 株竞争木, 不同种类的竞争木对沙冬青种群的竞争强度各有不同 (表 2)。从垂直结构来讲, 沙冬青群落的灌木层可分为 2 个亚层: 灌木层和小灌木层 (含半灌木), 灌木层只有霸王和沙冬青, 其他位于小灌木层中。来自小灌木层的竞争木对沙冬青的竞争强度更大, 其中小半灌木内蒙古旱蒿的竞争强度最大, 该种个体小, 但数量多, 共 374 株, 竞争指数达 144.03, 占总竞争强度的 42.20%, 所以对沙冬青的竞争压力比较大; 其次是小灌木矮脚锦鸡儿, 该种同样个体不大, 但数量达 472 株, 竞争指数为 121.80, 占总竞争强度的 35.68%; 竞争强度最小的是戈壁天门冬 (*Asparagus gobicus*), 竞争指数仅有 0.05。10 种竞争木的竞争强度由大到小依次为内蒙古旱蒿、矮脚锦鸡儿、霸王、猫头刺 (*Oxytropis aciphylla*)、沙冬青、长叶红砂 (*Reaumuria trigyna*)、驼绒藜 (*Krascheninnikovia ceratoides*)、红砂 (*Reaumuria soongarica*)、绵刺 (*Potaninia mongolica*)、戈壁天门冬。竞争木的平均竞争指数最高的是霸王, 作为群落共优种, 霸王数量较多、个体大, 在荒漠环境中生存能力强, 因此, 个体的竞争强度大, 沙冬青和红砂的个体平均竞争指数次之。

## 2.3 对象木冠幅与竞争强度

荒漠群落中, 植株个体的大小对竞争有着较大影响, 本研究以冠幅代表个体大小并作为自变量, 以竞争指数为因变量, 采用对数、线性、双曲线、逆函数、幂函数等数学模型对竞争指数与对象木冠幅进行回归分析, 发现种间竞争与总竞争指数均与对象木冠幅呈幂函数关系。由图 1~2 可以看出, 模型的显著性检验均达极显著水平 ( $P < 0.01$ ), 且  $R^2$  均大于 0.8, 说明模型能很好地拟合沙冬青受到的竞争压力。种内竞争指数和沙冬青冠幅的相关性并不显著, 这是种内竞争个体较少且沙冬青个体间分布不均匀所致。由于种内竞争强度低, 种间竞争强度占绝对优势, 因而种间竞争与总竞争的回归模型图呈现高度的一致性, 且回归方程的参数也非常接近。由图 1~2 可知, 无论是总竞争还是种间竞争, 随着对象木冠幅增加, 竞争强度均呈下降趋势。其中, 冠幅小于 1.0 m 时, 沙冬青受到的竞争强度较大且随着冠幅增加竞争指数下降趋势较为明显, 中幼小个体处于压迫状态, 周围的竞争木对空间等资源产生的竞争较为剧烈; 当冠幅大于 1.0 m 时, 竞争指数下降幅度减小; 当冠幅大于 1.5 m 时, 竞争指数趋于平稳, 受到的竞争逐渐减弱。

表 2 竞争木的种类组成与竞争强度  
Table 2 Species composition and the competition intensity of competitive trees

种名 Species	株数 Number	占总株数百分比 Percentage of total number/%	平均冠幅 Average of crown width/cm	竞争指数 Competition index	平均竞争指数 Average of competition index	竞争指数百分比 Percentage of competition index/%	竞争指数排名 Competition index ranking
内蒙古旱蒿 <i>Artemisia xerophytica</i>	374	35.15	32.37	144.03	0.39	42.20	1
矮脚锦鸡儿 <i>Caragana brachypoda</i>	472	44.36	32.53	121.80	0.26	35.68	2
霸王 <i>Zygophyllum xanthoxylum</i>	56	5.26	98.93	32.25	0.58	9.45	3
猫头刺 <i>Oxytropis aciphylla</i>	108	10.15	21.56	21.99	0.20	6.44	4
沙冬青 <i>Ammopiptanthus mongolicus</i>	32	3.01	70.44	17.37	0.54	5.09	5
长叶红砂 <i>Reaumuria trigyna</i>	12	1.13	26.54	1.62	0.13	0.47	6
驼绒藜 <i>Krascheninnikovia ceratoides</i>	4	0.38	30.63	0.97	0.24	0.28	7
红砂 <i>Reaumuria soongarica</i>	2	0.19	65.25	0.88	0.44	0.26	8
绵刺 <i>Potaninia mongolica</i>	3	0.28	57.17	0.36	0.12	0.11	9
戈壁天门冬 <i>Asparagus gobicus</i>	1	0.09	6.00	0.05	0.05	0.02	10
总计/均值 Total/mean	—	100.00	—	341.32	—	100.00	—

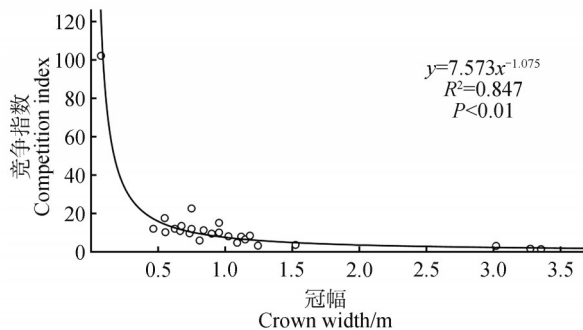


图 1 对象木冠幅与种间竞争指数关系

Fig.1 Relationship between the crown width and interspecific competition index of target tree

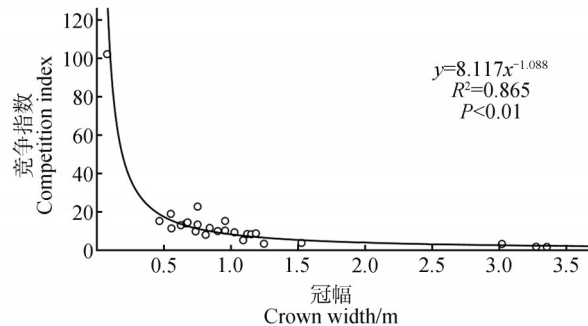


图 2 对象木冠幅与总竞争指数关系

Fig.2 Relationship between the crown width and total competition index of target tree

### 3 讨论

干旱区植物之间是否存在竞争是多年来热议的话题<sup>[1]</sup>,有的学者<sup>[13]</sup>认为干旱区植物分布的空间较大,较少发生竞争,而一些学者<sup>[14]</sup>则通过试验验证了竞争的存在,如将灌木的幼苗移植到优势灌木的周围,幼苗的存活率和生长速度都降低<sup>[15]</sup>,去除某个物种其他物种的盖度增加<sup>[16]</sup>,种群分布格局由聚集分布转向随机分布和均匀分布<sup>[17-18]</sup>,这些

均说明植物之间发生了竞争。对濒危植物来讲,竞争是导致植物死亡的主要驱动因素,分析种内、种间竞争关系是探究其濒危原因的一个重要角度<sup>[19]</sup>,干旱区濒危植物也不例外。研究区属于荒漠地区,资源匮乏,生长环境恶劣,由于降水的缺乏和恶劣的环境条件,对水分等资源的竞争不可避免。从本研究结果来看,沙冬青受到的种间竞争强度远大于种内竞争强度,这与大别山五针松

(*Pinus dabeshanensis*)<sup>[20]</sup>、南方红豆杉(*Taxus chinensis*)<sup>[21]</sup>、叉叶苏铁(*Cycas micholitzii*)<sup>[11]</sup>、泰山柳(*Salix taishanensis*)<sup>[12]</sup>等濒危植物的研究结果一致。由于种内竞争仍然存在,其结果会导致弱势个体被淘汰<sup>[22]</sup>,即自疏现象,所以调查的样圆内,沙冬青数量较少且分布相隔较远,从而减少了种内竞争的压力。而在同一样圆内其他种的种类和数量较多,使沙冬青受到较大的种间竞争。在竞争对象中,霸王与沙冬青同属灌木,也是群落的共优种,个体的竞争力强,是沙冬青的主要竞争对象,竞争的结果导致形成沙冬青占优的群落和霸王占优的群落呈斑块相间毗邻分布。小半灌木内蒙古旱蒿和小灌木矮脚锦鸡儿对沙冬青的群体竞争力强,它们数量多、密度大,但它们个体小,位于群落的下层,体现了竞争导致的生态位分化。

沙冬青在生长过程中,竞争指数随着冠幅的增大而逐渐降低,即受到的竞争压力逐渐减少。这一现象与植物生长动态是一致的,即在植物幼苗阶段,其根系尚未完全成熟,因此,植物对光照和水分等资源的吸收能力相对较弱,在种间竞争中没有优势。而随着冠幅的增加,沙冬青各器官逐渐发育完全,且沙冬青属于强旱生植物,根系十分发达,因此,在之后的种间竞争中其优势逐渐显现,竞争指数呈下降趋势。本研究中,沙冬青冠幅级>2.0 m对象木仅有3株,且冠幅均为3.0 m以上,(2.0, 2.5]、(2.5, 3.0] m 2个冠幅级没有对象木,(1.5, 2.0] m冠幅级仅有1株对象木,说明在沙冬青种群发展过程中,一方面表现出老龄级个体不断死亡,另一方面表现出阶段性更新受到限制,后一种情况由(0, 0.5] m幼龄级仅有3株对象木得以印证。刘果厚<sup>[23]</sup>、赵新艳<sup>[24]</sup>的研究结果表明,沙冬青繁殖与种子萌发受降水与温度的影响,其中降水是主要的限制因子,同时种子的虫蛀率高且易被动物取食,这些因素均会影响沙冬青种群更新。本研究中,沙冬青某些冠幅级对象木的缺乏可能主要受气候的影响,荒漠地区降水的波动性大,对植物的生长与繁殖影响十分明显。沙冬青种子在6月萌发<sup>[24]</sup>,而分布区6月处于干早期,如遭遇极端气候,如降水严重缺乏,种子萌发会大大减少;加之,干旱会导致高的幼苗损失率,同时幼小个体竞争力弱,受到的竞争压力大,这些因素叠加致使沙冬青某一年龄段缺失。因此,对沙冬青的保护应注重幼苗的补充和生长状况的监测,在苗期适

当加以人为干预,减少竞争者,有利于种群的健康发展。

## 参 考 文 献

- [1] 邹春静,徐文铎.沙地云杉种内、种间竞争的研究[J].植物生态学报,1998,22(3):269-274.  
ZOU C J, XU W D. Study on intraspecific and interspecific competition of *Picea mongolica* [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 1998, 22(3): 269-274.
- [2] 吴晓慧,单熙凯,董世魁,等.基于改进的Lotka-Volterra种间竞争模型预测退化高寒草地人工恢复演替结果[J].生态学报,2019,39(9):3187-3198.  
WU X H, SHAN X K, DONG S K, et al. Prediction of alpine artificial grassland restoration based on an improved Lotka-Volterra interspecific competition model [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(9): 3187-3198.
- [3] 汤孟平,陈永刚,施拥军,等.基于Voronoi图的群落优势树种种内种间竞争[J].生态学报,2007,27(11):4707-4716.  
TANG M P, CHEN Y G, SHI Y J, et al. Intraspecific and interspecific competition analysis of community dominant plant populations based on Voronoi diagram [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4707-4716.
- [4] 徐道伟,刘金福,洪伟.森林群落种内种间竞争研究进展[J].亚热带农业研究,2014,10(3):199-204.  
XU D W, LIU J F, HONG W. Advances in forest community intraspecific and interspecific competition [J]. Subtropical Agriculture Research, 2014, 10(3): 199-204.
- [5] 赵一之,赵利清,曹瑞.内蒙古植物志[M].3版.呼和浩特:内蒙古人民出版社,2020:9-10.  
ZHAO Y Z, ZHAO L Q, CAO R. Flora Intramongolica [M]. 3rd ed. Hohhot: Inner Mongolian People's Publishing House, 2020: 9-10.
- [6] 任美艳,唐宽刚,薛敏,等.沙冬青*AmNAC3*转录因子基因在抗旱性和抗寒性中的功能鉴定[J].中国生物工程杂志,2019,39(8):32-39.  
REN M Y, TANG K G, XUE M, et al. Functional analysis of the *AmNAC3* transcription factor gene from *Ammopiptanthus mongolicus* in drought and cold resistances [J]. China Biotechnology, 2019, 39(8): 32-39.
- [7] 刘家琼,邱明新,杨堃,等.沙冬青植物群落研究[J].中国沙漠,1995,15(2):109-115.  
LIU J Q, QIU M X, YANG K, et al. Studies on the plant community of *Ammopiptanthus mongolicus* [J]. Journal of Desert Research, 1995, 15(2): 109-115.
- [8] 李亚,李得禄,朱国庆,等.民勤荒漠区霸王群落植物生态位研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(1):120-124.

- LI Y, LI D L, ZHU G Q, *et al.* Study on the niche of *Zygophyllum xanthoxylum* community in Minqin desert area [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(1): 120-124.
- [9] 王荷生, 张懿铨. 中国种子植物特有属的生物多样性和特征[J]. 云南植物研究, 1994, 16(3): 209-220.
- WANG H S, ZHANG Y L. The bio-diversity and characters of spermatophytic genera endemic to China [J]. Acta Botanica Yunnanica, 1994, 16(3): 209-220.
- [10] 闫宇, 郭强, 党晓宏, 等. 西鄂尔多斯地区四合木与红砂灌丛的阻沙能力对比研究[J]. 水土保持通报, 2024, 44(2): 137-145.
- YAN Y, GUO Q, DANG X H, *et al.* Comparative study on sand-blocking ability of *Tetraena Mongolica* and *Reaumuria Soongorica* shrubs in west Ordos area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(2): 137-145.
- [11] 林建勇, 李娟, 梁瑞龙. 灌木层的叉叶苏铁种内和种间竞争[J]. 森林与环境学报, 2019, 39(2): 159-164.
- LIN J Y, LI J, LIANG R L. Intraspecific and interspecific competition of *Cycas micholitzii* in the shrub layer [J]. Journal of Forest and Environment, 2019, 39(2): 159-164.
- [12] 刘虹佑, 马燕, 吴其超, 等. 濒危植物泰山柳种内与种间的竞争关系[J]. 森林与环境学报, 2020, 40(2): 178-183.
- LIU H Y, MA Y, WU Q C, *et al.* Intraspecific and interspecific competition of the endangered plant *Salix taishanensis* [J]. Journal of Forest and Environment, 2020, 40(2): 178-183.
- [13] GRIME J P. Plant strategies and vegetation processes [M]. Chichester: Wiley, 1979: 120-154.
- [14] FOWLER N. The role of competition in plant communities in arid and semiarid regions [J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 1986, 17(1): 89-110.
- [15] FRIEDMAN J. The effect of competition by adult *Zygophyllum dumosum* Boiss. on seedlings of *Artemisia herba-alba* Asso in the Negev desert of Israel [J]. Journal of Ecology, 1971, 59(3): 775-782.
- [16] WHITFORD W G, DICK-PEDDIE S, WALTERS D, *et al.* Effects of shrub defoliation on grass cover and rodent species in a Chihuahuan desert ecosystem [J]. Journal of Arid Environments, 1978, 1(3): 237-242.
- [17] 张丽, 王铁娟, 郭金停, 等. 西鄂尔多斯珍稀濒危植物四合木种群分布格局分析[J]. 草地学报, 2023, 31(2): 551-557.
- ZHANG L, WANG T J, GUO J T, *et al.* Population distribution pattern analysis of the rare and endangered plant *Tetraena mongolica* in western Ordos China [J]. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(2): 551-557.
- [18] 李想, 刘万生, 周玮, 等. 蒙古栎次生林群落结构及优势种群点格局分析[J]. 植物研究, 2020, 40(6): 830-838.
- LI X, LIU W S, ZHOU W, *et al.* Analysis on community structure and dominant population point pattern of secondary forest of *Quercus mongolica* [J]. Bulletin of Botanical Research, 2020, 40(6): 830-838.
- [19] 陈小红, 陈浩杰, 王雅竹, 等. 濒危植物峨眉含笑种内、种间竞争[J]. 生物多样性, 2022, 30(11): 22003.
- CHEN X H, CHEN H J, WANG Y Z, *et al.* Intraspecific and interspecific competition of the endangered plant *Michelia wilsonii* [J]. Biodiversity Science, 2022, 30(11): 22003.
- [20] 项小燕, 吴甘霖, 段仁燕, 等. 大别山五针松种内和种间竞争强度[J]. 生态学报, 2015, 35(2): 389-395.
- XIANG X Y, WU G L, DUAN R Y, *et al.* Intraspecific and interspecific competition of *Pinus dabeshanensis* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(2): 389-395.
- [21] 徐佳文, 石福习, 张朝晖, 等. 中亚热带濒危植物毛红椿和南方红豆杉种内与种间竞争差异[J]. 应用生态学报, 2020, 31(1): 1-8.
- XU J W, SHI F X, ZHANG Z H, *et al.* Difference in intra- and inter-specific competition of two endangered plant species (*Toona ciliata* var. *pubescens* and *Taxus chinensis* var. *mairei*) in the middle subtropical zone of China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(1): 1-8.
- [22] 刘晓婷, 王铁娟, 苏日古嘎, 等. 东阿拉善不同发育阶段沙冬青种群的空间分布格局[J]. 草地学报, 2023, 31(10): 3157-3166.
- LIU X T, WANG T J, SU R G G, *et al.* Spatial distribution patterns of *Ammopiptanthus mongolicus* population at different developmental stages in the eastern Alashan [J]. Acta Agrestia Sinica, 2023, 31(10): 3157-3166.
- [23] 刘果厚. 阿拉善荒漠特有植物沙冬青濒危原因的研究[J]. 植物研究, 1998, 18(3): 341-345.
- LIU G H. Study on the endangered reasons of *Ammopiptanthus mongolicus* in the desert of Alashan [J]. Bulletin of Botanical Research, 1998, 18(3): 341-345.
- [24] 赵新艳. 沙冬青繁殖行为与种群自组织更新[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- ZHAO X Y. Reproductive behavior and population self-organization regeneration of *Ammopiptanthus mongolicus* [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2009.