

科尔沁沙地差巴嘎蒿群落及种群生态特征*

尹航¹ 朴顺姬^{1,2,*} 王振杰¹ 颜秀灵¹ 张斌才¹ 翟继武¹ 丁勇¹

(¹ 内蒙古大学生命科学学院, 呼和浩特 010021; ² 内蒙古草地生态学重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地, 呼和浩特 010021)

【摘要】 对科尔沁不同类型沙地上差巴嘎蒿群落内物种重要值、多样性等生态特征进行分析后, 将其划分为3个类型: 差巴嘎蒿-1年生植物群聚、差巴嘎蒿-禾草类群丛、冷蒿-黄蒿+禾草类群丛, 分别分布于流动、半固定和固定沙地上。随着沙地基质固定程度的增加, 差巴嘎蒿群落由差巴嘎蒿-1年生植物群聚(先锋群落、盖度<10%、多样性指数0.33)演替到差巴嘎蒿-禾草类群丛(盖度30%~35%、多样性指数0.56)再演替到冷蒿-黄蒿+禾草类群丛(草原群落、盖度40%~45%、多样性指数0.59)。在差巴嘎蒿群落演替过程中, 差巴嘎蒿种群年龄结构的变化趋势是: 在流动沙地上为增长型; 在半固定和固定沙地上为衰退型。人工种植5年后差巴嘎蒿种群年龄结构为增长型, 人工种植18年后为稳定型。

关键词 差巴嘎蒿 不同类型沙地 群落类型 年龄结构

文章编号 1001-9332(2006)07-1169-05 中图分类号 Q948 文献标识码 A

Ecological characteristics of *Artemisia halodendron* community and population on Horqin sandy land. YIN Hang¹, PIAO Shunji^{1,2,*}, WANG Zhenjie¹, YAN Xiuling¹, ZHANG Bincai¹, ZHAI Jiwu¹, DING Yong¹ (¹ College of Life Science, Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China; ² Inner Mongolia Key Laboratory of Grassland Ecology & National Key Laboratory Incubation Base Co-sponsored by Inner Mongolia and Education Ministry, Huhhot 010021, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(7): 1169 ~ 1173.

Based on the analysis of species important values and Shannon-Wiener index of *Artemisia halodendron* community on different type sandy lands in Horqin, *A. halodendron* community was classified into three types, i. e., *A. halodendron* - annual herbage, *A. halodendron* - perennial grass, and *A. frigida* - *A. scoparia* + perennial grass, which distributed on shifting sandy land, semi-fixed sandy land, and fixed sandy land, respectively. With the sand fixed, the community succession was ranked from *A. halodendron* - annual herbage (pioneer stage, coverage < 10%, Shannon-Wiener index 0.33) to *A. halodendron* - perennial grass (coverage 30% ~ 35%, Shannon-Wiener index 0.56), and then to *A. frigida* - *A. scoparia* + perennial grass (steppe community, coverage 40% ~ 45%, Shannon-Wiener index 0.59). The *A. halodendron* population on shifting sandy land and that planted 5 years ago showed growing age distribution, that planted 18 years ago showed stable age distribution, and that on semi-fixed and fixed sandy lands showed declining age distribution. The results proved that *A. halodendron* populations had different ecological effects on *A. halodendron* community.

Key words *Artemisia halodendron*, Different kind sandy land, Community type, Age structure.

1 引言

差巴嘎蒿 (*Artemisia halodendron*) 为高蒸腾、高耗水型沙地旱生植物^[4,14,16], 主要分布于科尔沁沙地和呼伦贝尔沙地, 为流动、半固定沙地植被建群种, 是十分优良的固沙植物。近年来, 国内外学者在植物生理、生态、种群特征等方面, 对差巴嘎蒿及其无性系构件热值在不同类型沙地上的变化^[7]、不同类型沙地降雨前后种群地下生物量的分布特点^[5]、种群的繁殖机制^[3]、根系和水分与其生长关系^[15]、地下根分布特点及生长动态进行了研究^[11], 但有关差巴嘎蒿群落演替及种群生态特征的研究尚不多见。本文比较分析了不同类型沙地差巴嘎蒿群落的物种多样性、生活型、水分生态类型等生态特征, 探讨差巴嘎蒿群落在沙地植被演替过程中的发展趋势, 根据群落中差

巴嘎蒿种群的存活与年龄结构特点, 预测沙地植被的演替趋势及其与生境变化的相关性, 为沙地植被的生态恢复建设提供生态学理论依据。

2 研究区域与研究方法

2.1 自然概况

研究区位于内蒙古自治区科尔沁沙地腹地通辽市奈曼旗昂乃乡境内(120°42'E, 42°55'N), 海拔358 m。科尔沁沙地为东北平原向内蒙古高原过渡地带, 属农牧交错区, 气候特征为从半湿润向半干旱过渡。年平均气温3~7℃, 最冷月均气温-12.7℃, 最热月均气温为23.7℃, ≥10℃有效积温为2300℃~3200℃, 无霜期90~140 d。年降水量350~

* 国家自然科学基金项目(30260022)和内蒙古自治区自然科学基金资助项目(20010905-12)。

** 通讯联系人, E-mail: shunjipiao@163.com
2005-07-08 收稿, 2006-05-17 接受。

450 mm,降水量最低年份和最高年份相差 1 倍以上. 蒸发量为 2 000 ~ 2 500 mm^[1]. 年均风速 3.5 ~ 4.5 m · s⁻¹, 年大风日数 20 ~ 60 d. 冬春季干旱, 多大风, 降雨多集中在夏季. 地貌以缓起伏沙丘为主, 相间分布大片平坦的沙质草甸和农田. 地带性土壤为栗钙土, 由于沙漠化影响, 很大一部分已经演变成风沙土^[6]. 原生植被为沙地疏林草原, 目前多数已被处于不同发育阶段的沙地植被、农田和撂荒地取代.

2.2 研究方法

2.2.1 样地设置与调查方法 2004 年 8 和 9 月在流动、半固定和固定 3 种不同类型沙地上各设置 10 m × 10 m 样方两个, 统计差巴嘎蒿的株数、年龄、株高和冠幅. 在每个样方内同期设置 6 个 1 m × 1 m 样方并编号, 登记植物种类, 测定株高、冠幅和株丛数, 用收获法获得其地上生物量(干重).

选取人工种植差巴嘎蒿种群 18 年和 5 年后的地段, 各设置 50 m × 2 m 样条 1 个, 统计内容同上. 以差巴嘎蒿株丛的枝龄来判断株丛年龄, 判断方法如图 1.

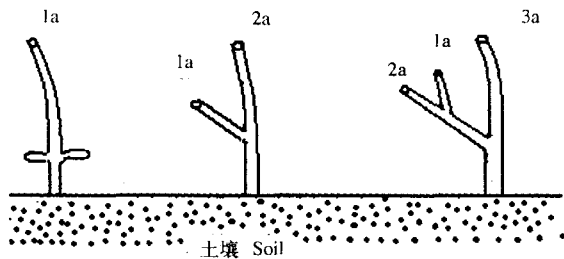


图 1 差巴嘎蒿年龄判断

Fig. 1 Accounting the age of *A. halodendron*.

1a) 1 年生 Annuals; 2a) 2 年生 Biennials; 3a) 多年生 Perennials.

2.2.2 数据处理

1) 重要值计算^[2]: 重要值 = (相对密度 + 相对高度 + 相对生物量) / 3.

2) 差巴嘎蒿种群年龄结构: 观测 10 m × 10 m 样方内的差巴嘎蒿种群不同年龄段存活的个体数 n_x , 并计算 n_x 占总个体数的百分比, 利用 Microsoft Excel 做出年龄结构图.

3) Shannon-Wiener 指数^[2]: $H = - \sum \frac{n_i}{N} \lg \frac{n_i}{N}$

式中, H 值越高, 群落越复杂, n_i 表示第 i 个种的个体数, N 表示群落中包含所有种的总个体数.

3 结果与分析

3.1 差巴嘎蒿群落的生态学特征

3.1.1 差巴嘎蒿群落的一般特征 在观测样地内共统计到 28 种植物, 分属于 10 科 27 属. 双子叶植物有藜科、玄参科、豆科和菊科等, 共 14 种, 占总数的 57.14%. 其中菊科 3 种, 占总数的 10.7%; 禾本科植物 7 种, 占总数的 28.5%. 植物生活型以 1、2 年生草本植物为主, 占总数的 50%. 植物的水分生态类型以中生植物为主, 占 48.3%; 其次为旱生植物, 占 34.5%; 而湿生植物仅占 17.2%.

表 1 差巴嘎蒿群落的生态特征

Table 1 Ecological characters of *A. halodendron* community in Horqin sandy land (mean ± SE)

生境特征 Habit character	样方号 Samples number	盖度 Coverage (%)	生物量 Biomass (g · m ⁻²)	物种数 Species
流动基质 Shifting soil	1, 2, 3, 10, 11, 12, 19 ~ 21, 28 ~ 30	5 ~ 10	34.96 ± 5.96	3.25 ± 0.22
结皮 Crust	4 ~ 6, 13 ~ 15, 22 ~ 24, 31 ~ 33	30 ~ 35	49.75 ± 8.46	7.75 ± 0.39
大片结皮 Large area crust	7 ~ 9, 16 ~ 18, 25 ~ 27, 34 ~ 36	40 ~ 45	82.67 ± 10.79	9.83 ± 0.86

由表 1 可以看出, 流动沙地上种类组成单一, 物种数平均为 3.25 种 · m⁻²; 植被盖度较低, 为 5% ~ 10%; 草本植物的平均生物量为 34.96 g · m⁻². 在有结皮的基质上, 植被盖度较流动沙地显著增加, 为 30% ~ 35%, 平均物种数增加到 7.75 种 · m⁻², 以差巴嘎蒿种群 4 龄和 5 龄个体为主, 除易受人类活动影响的草本植物狗尾草 (*Stearia viridis*)、雾冰藜 (*Bassia dasyphylla*)、地锦 (*Euphorbia humifusa*)、三芒草 (*Aristida adscensionis*) 外, 还出现了一些多年生草本植物, 如扁蓄豆 (*Melilotoides ruthenica*)、糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、砂葱 (*Allium bidentatum*) 等, 同时仍能见到虫实等先锋植物; 草本植物的生物量较高, 均值为 49.75 g · m⁻², 在植被的作用下, 基质得到了一定程度的固定; 在形成大片结皮的固定沙地上, 植被盖度和生物量均高于前两者, 分别为 40% ~ 45%、82.67 g · m⁻²; 物种数平均为 9.83 种 · m⁻², 差巴嘎蒿种群多由老齡个体组成, 多年生的丛生小禾草-糙隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、豆科植物胡枝子 (*Lespedeza bicolor*)、菊科蒿属植物冷蒿 (*Artemisia frigida*)、黄蒿 (*Artemisia scoparia*) 等物种的生态作用有所增强. 因此, 结合上述特征, 可把生长于不同发育阶段沙地上的植被分别称为流动、半固定和固定沙地植被.

3.1.2 差巴嘎蒿群落的重要值比较 由表 2 可以看出, 1、2 年生草本层片的作用随着沙丘固定程度的增加而下降, 如沙米重要值高达 0.61, 为流动沙地植被的优势种, 而在半固定与固定沙地中没有出现; 虫实、狗尾草、雾冰藜和地锦在半固定沙地植被中重要值相对较高, 在流动、固定沙地植被中有所下降; 在固定沙地植被中出现了多年生草本层片和灌木层片, 如豆科植物胡枝子以及丛生禾草糙隐子草等, 标志着植物群落向着更稳定的沙地草原群落方向发展. 根据以上重要值分析, 可将差巴嘎蒿群落划分为差巴嘎蒿-1 年生植物群聚、差巴嘎蒿-禾草类群丛、冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛 3 类.

表 2 样方内主要物种的重要值

Table 2 Important values of the major species in the numbered samples

层片 Synusia	物种 Species	流动沙地 Shifting dune	半固定 沙地 Semi- fixed dune	固定沙地 Fixed- dune
1,2 年生 草本 Annuals and biennials	沙米 <i>Agriophyllum scoparrosum</i>	0.61	-	-
	虫实 <i>Corispermum ditutum</i>	0.14	0.19	0.01
	狗尾草 <i>Stearia viridis</i>	0.19	0.30	0.16
	雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	0.02	0.08	0.02
grasses	黄蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	-	-	0.16
	稗草 <i>Echinochloa crusgalli</i>	-	0.01	0.21
	地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	-	0.13	-
	蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	-	0.01	0.06
	画眉草 <i>Eragrostic pilosa</i>	-	0.02	0.10
	三芒草 <i>Aristida adscensionis</i>	-	0.06	0.10
	尖头叶藜 <i>Chenopodium acumiatum</i>	-	0.02	0.01
多年生 草本 Perennials	柳穿鱼 <i>Linaria vulgaris</i>	0.02	-	-
	地梢瓜 <i>Cynanchum thesioides</i>	0.02	0.03	-
grasses	扁蓿豆 <i>Melilotoides ruthenica</i>	-	0.04	-
	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	-	0.01	0.02
	沙葱 <i>Allium bidentatum</i>	-	0.01	0.02
灌木 Shrubs	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	-	-0.04	-
	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	-	-	0.03

3.1.3 差巴嘎蒿群落的生态特征

由表 3 可以看出不同类型沙地上差巴嘎蒿群落的生态特征。

差巴嘎蒿-1 年生植物群聚:位于流动沙地上,差巴嘎蒿种群密度为 $1.32 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$,1 龄、2 龄幼苗达 $0.66 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;除差巴嘎蒿半灌木层片外,主要层片还有沙米、虫实等 1 年生草本植物层片,其中沙米生物量干重达 $25.85 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,占草本植物总生物量干重的 61.00%;物种以中生植物为主,Shannon-Wiener 指数为 0.33。

差巴嘎蒿-禾草类群丛:位于半固定沙地上,差巴嘎蒿和沙米种群的密度有所下降,差巴嘎蒿种群的密度为 $0.75 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$,未见实生苗;地锦、狗尾草、虫实等 1 年生草本层的生物量占总生物量的 43.00%,物种以中生、旱生植物为主,物种多样性有

所提高,Shannon-Wiener 指数为 0.57。

冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛:位于固定沙地上,半灌木层片差巴嘎蒿种群已被冷蒿、黄蒿种群所替代,优势种为黄蒿、冷蒿、狗尾草和稗草等。差巴嘎蒿种群密度进一步下降,为 $0.35 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$,以 5 龄和 6 龄植株为主,未见实生苗和幼龄个体。而黄蒿种群的平均生物量达到 $37.52 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,占总生物量的 25.70%。草本层片虽以 1、2 年生禾草为主,平均生物量占总生物量的 43.10%,但出现了糙隐子草多年生禾草层片。植物的水分生态类型和物种多样性均与差巴嘎蒿-禾草类群丛相似,以中生和旱生为主。Shannon-Wiener 指数为 0.59。

比较上述植物群落的相似性系数表明,差巴嘎蒿-1 年生植物群聚与差巴嘎蒿-禾草类群丛相似性系数最高为 38.10%;差巴嘎蒿-禾草类群丛与冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛相似性系数最高为 64.86%,表明两个植物群落较相似。差巴嘎蒿-1 年生植物群聚与冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛相似性系数仅为 21.42%。

3.2 不同类型群落中差巴嘎蒿种群特征比较

3.2.1 差巴嘎蒿种群的生长状态

在差巴嘎蒿-1 年生植物群聚中,差巴嘎蒿种群的实生苗和幼龄株为 $53 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$,未发现死亡株;差巴嘎蒿-禾草类群丛中实生苗和幼龄株很少,出现死亡株;在冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛中无实生苗和幼龄株,死亡株最多,为 $0.11 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$;种群密度逐渐降低,差巴嘎蒿-1 年生植物群聚中差巴嘎蒿种群密度约为冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛中的 3.5 倍;各龄级的株高、冠幅(图 2)也都随着基质固定程度的增加而逐渐降低。随着基质固定程度的增加,差巴嘎蒿种群的生态状态在群落演替过程中逐渐衰退。

表 3 不同类型差巴嘎蒿群落的生态特征

Table 3 Ecological characters of the different kinds of *Artemisia halodendron* community

群落类型 Community types	生境 Niche	差巴嘎蒿 种群密度 Density of <i>Artemisia</i> <i>halodendron</i> population ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$)	盖度 Coverage (%)	物种数 Species number	生活型 Life form	优势层片 Dominant synusia	Shannon- Wiener 指数 Shannon- Wiener index	水分生态 类型 Hydrologic ecological type
差巴嘎蒿-1 年生植物群聚 <i>A. halodendron</i> -annual herbage	流沙 Shifting dune	1.32	< 10	6	1,2 年生草本和旱生 半灌木 Annuals-biennials grasses and xeric semi-shrubs	旱生半灌木 Xeric semi- shrubs	0.33	中生 Mesophyte
差巴嘎蒿-禾草类群丛 <i>A. halodendron</i> - perennial grass	结皮 Crust	0.75	30 ~ 35	15	1,2 年生草本和旱生 半灌木 Annuals-biennials grasses and xeric semi-shrubs	旱生半灌木 Xeric semi- shrubs	0.56	旱生、中生 Xerophil, mesophyte
冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛 <i>A. frigid</i> - <i>A. scoparia</i> + perennial grass	大片结皮 Large area crust	0.35	40 ~ 45	18	多年生草本和 1、2 年生草本 Perennials grasses and annuals- biennials grasses	多年生草本 Perennials grasses	0.59	旱生、中生 Xerophil, mesophyte

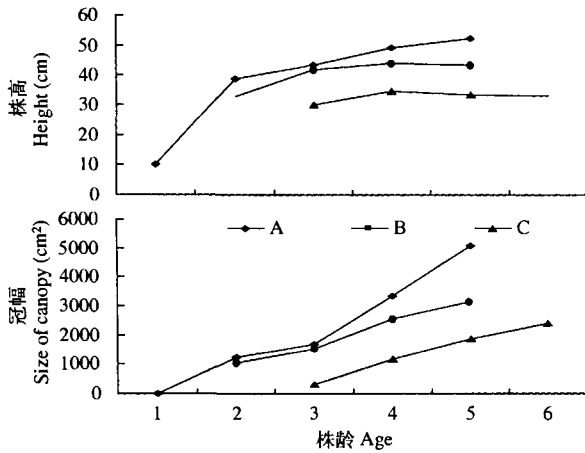


图2 不同类型差巴嘎蒿群落中差巴嘎蒿株高和冠幅
Fig. 2 Height and size of canopy of *A. halodendron* in different kinds of *A. halodendron* community.

A: 差巴嘎蒿-1年生植物群聚 *A. halodendron*-annual herbage; B: 差巴嘎蒿-禾草类群丛 *A. halodendron*-perennial grass; C: 冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛 *A. halodendron* - *A. scoparia* + perennial pgrass. 下同 The same below.

3.2.2 差巴嘎蒿种群的年龄结构 比较图3发现: 在差巴嘎蒿-1年生植物群聚中, 差巴嘎蒿种群随着年龄增长存活的个体数量下降, 除实生苗的死亡率较高(76.09%)导致2龄个体急剧下降外, 种群的出生率大于死亡率, 年龄结构基本为增长型; 在差巴嘎蒿-禾草类群丛中, 未出现差巴嘎蒿实生苗, 其种群存活个体数量随年龄增长而逐年增加, 种群的死亡率大于出生率, 年龄结构为衰退型; 而在冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛中, 既无实生苗又不见2龄株, 且种群密度也显著下降, 种群年龄结构特征与差巴嘎蒿-禾草类群丛一致, 均为衰退型。

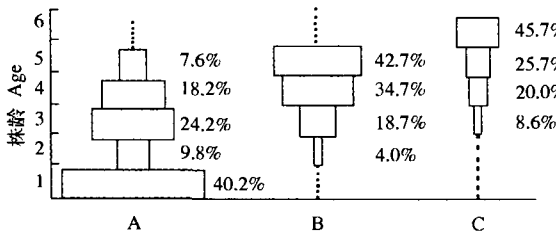


图3 自然差巴嘎蒿种群的年龄锥体
Fig. 3 Age structure of natural *A. halodendron* population.

不同群落中差巴嘎蒿种群的实生苗死亡率由极高发展到几乎看不到. 究其原因, 差巴嘎蒿实生苗成活率很低, 引起2龄株数陡降, 表明在群落演替过程中, 差巴嘎蒿种群依赖有性繁殖进行种群自然更新的过程受到影响。

3.3 人工种植的差巴嘎蒿种群年龄结构特征

由图4可以看出, 人工种植18年后的差巴嘎蒿样地1, 其地表形成部分结皮, 差巴嘎蒿株数较少,

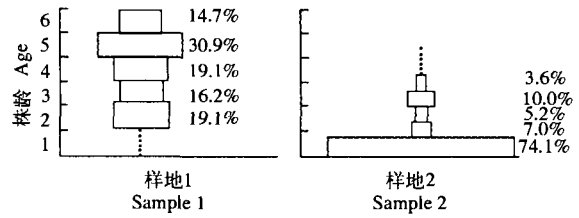


图4 人工样地差巴嘎蒿年龄锥体
Fig. 4 Age structure of artificially planting *Artemisia halodendron* population.

密度为 $0.68 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 没有实生苗, 种群年龄结构呈稳定型; 种植5年后的差巴嘎蒿样地2, 种群密度为 $14.9 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 远远高于前者, 且实生苗密度为 $11.07 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-2}$, 在 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 范围内幼苗成苗率为 0.35, 高于流动沙地上自然种群的成苗率(0.24), 且随着年龄的增长, 差巴嘎蒿存活的个体数逐渐下降, 种群年龄结构呈增长型。

4 讨 论

4.1 沙地植被演替过程中差巴嘎蒿群落的变化

差巴嘎蒿、多年生丛生小禾草随沙地基质固定程度而变化. 差巴嘎蒿群落的演替趋势为流动沙地上的差巴嘎蒿-1年生植物群聚(先锋群落) → 半固定沙地上的差巴嘎蒿-禾草类群丛 → 固定沙地上的冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛(草原群落)。

研究表明, 科尔沁沙地上演替20年的植物群落物种多样性最高, 是半固定沙地差巴嘎蒿群落向固定沙地糙隐子草群落演替的中间类型^[9]. 持续过牧将导致草场植被严重退化和土地沙漠化^[12]. 在冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛中, 物种相对丰富, 虽有草原典型种糙隐子草出现, 但重要值较低, 而草原退化指示种冷蒿、黄蒿以及1年生植物狗尾草等的重要值相对较高. 这在一定程度上说明曾经演替为沙地草原群落的丛生小禾草草原经人为过度放牧的扰动后, 又退化为冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛. 若人为扰动强度持续增加, 将成为土地沙漠化的隐患。

4.2 群落演替过程中差巴嘎蒿种群的变化

差巴嘎蒿群落演替过程中差巴嘎蒿种群年龄结构的变化趋势是: 在差巴嘎蒿-1年生植物群聚中为增长型; 而在差巴嘎蒿-禾草类群丛和冷蒿-黄蒿 + 禾草类群丛中为衰退型. 这说明在群落演替过程中, 差巴嘎蒿种群的生长状态逐渐衰退, 与图2中差巴嘎蒿种群的株高、冠幅、密度等数量特征变化趋势相一致. 同时, 在两个群丛中, 差巴嘎蒿种群的年龄结构特征相同, 而且二者的群落相似性系数也较高(64.86%)。

4.3 人工种植差巴嘎蒿种群随时间的变化

人工种植 5 年的差巴嘎蒿种群年龄结构为增长型,而人工种植 18 年的为稳定型。

差巴嘎蒿种群作为科尔沁沙地的主要生物资源,既为家畜采食,又为人们提供燃料。通过问卷调查了解到,差巴嘎蒿种群在自然生长状态下可存活 6、7 年,与其年龄结构特征相一致:人工种植 18 年后的差巴嘎蒿最大株龄仍为 6 龄,年龄结构处于稳定状态。在研究区域内,人们常常对人工种植的差巴嘎蒿种群平茬、刈割。这种干扰促使其以无性繁殖方式完成种群的更新,维持着种群的稳定,延缓了衰退过程。这也说明适度的人为干扰增强了差巴嘎蒿种群的固沙生态功能,并使其成为用于防风固沙的首选物种,在治理沙漠化和恢复沙地植被中具有重要的生态学意义^[8]。

研究表明,流动和固定沙地土壤表层(0~20 cm)颗粒组成存在明显差异;土壤类型^[13]、质地的改变和大气降水随土层深度再分配的过程,直接影响根际土壤含水量随时空分布^[10,12],进而影响差巴嘎蒿种群的年龄结构。刘士刚等^[5]指出,差巴嘎蒿细根在地下空间的分布比例可视为其种群生长活力随沙地固定程度增加而下降的指标之一,并成为导致其衰退的重要因素之一。因此,差巴嘎蒿种群年龄结构随沙地基质的变化特征,也可作为判断沙地植被演替阶段的一个重要依据。

参考文献

- Jiang D-M (蒋德明), Liu Z-M (刘志民), Kou Z-W (寇振武). 2002. Prospect of the study on desertification and its restoration of Kerqin sandy land. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(12): 1695~1698 (in Chinese)
- Li B (李 博), Yang C (杨 持), Lin P (林 鹏). 1990. *General Ecology*. Huhhot: Inner Mongolia University Press. (in Chinese)
- Li J (李 进). 1994. Approach to some basic problems of reproduction of *Artemisia halodendron*. *J Desert Res* (中国沙漠), **14**(3): 60~65 (in Chinese)
- Li X-H (李雪华), Jiang D-M (蒋德明), Alamusa (阿拉木萨). 2002. A comparative study on drought-resistance of four plant species in Kerqin sandy land. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(11): 1385~1388 (in Chinese)
- Liu S-G (刘士刚), Piao S-J (朴顺姬). 2003. Distribution dynamics of *Artemisia halodendron* absorbent roots in different kinds of sandy land. *Acta Phytocol Sin* (植物生态学报), **27**(5): 684~689 (in Chinese)
- Liu X-M (刘新民), Zhao H-L (赵哈林). 1996. *Desertification Environment and Vegetation of Horqin Sandy Land*. Beijing: Science Press. 3~22 (in Chinese)
- Piao S-J (朴顺姬), Chao L-M (潮洛蒙). 1999. Heat values of *Artemisia halodendron* in different desertified land types. *J Desert Res* (中国沙漠), **19**(S1): 83~87 (in Chinese)
- Su Y-Z (苏永中), Zhao H-L (赵哈林), Zhang T-H (张铜会). 2002. Influencing mechanism of several shrubs and subshrubs on soil fertility in Kerqin sandy land. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(7): 802~806 (in Chinese)
- Zhang J-Y (张继义), Zhao H-L (赵哈林), Zhang T-H (张铜会). 2004. Dynamics of species diversity of communities in restoration processes in Horqin sandy land. *Acta Phytocol Sin* (植物生态学报), **28**(1): 86~92 (in Chinese)
- Zhang T-H (张铜会), Zhao H-L (赵哈林), Chang X-L (常学礼). 2000. Various measures for moving-sand dune control and changes of vegetation in Horqin sandy land. *J Desert Res* (中国沙漠), **20**(S1): 48~52 (in Chinese)
- Zhao A-F (赵爱芬). 1994. Distribution and dynamics of root systems of *Artemisia halodendron* and *Caragana microphylla*. *Grassland China* (中国草地), (3): 15~19 (in Chinese)
- Zhao H-L (赵哈林), Huang X-W (黄学文), He Z-Y (何宗颖). 1996. Study on desertification of farmland soil in Korqin region, Inner Mongolia. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), **33**(3): 242~248 (in Chinese)
- Zhao H-L (赵哈林), Zhao X-Y (赵学勇), Zhang T-H (张铜会). 2003. *The Desertification Process and Restoration Mechanism in Horqin Sandy Land*. Beijing: Ocean Press. 37 (in Chinese)
- Zhou H-Y (周海燕). 1999. The comparison of drought resistant mechanism between two constructive species in Horqin sandy land. *Inner Mongolia For Sci Technol* (内蒙古林业科技), (3~4): 84~87 (in Chinese)
- Zhou H-Y (周海燕). 2000. Physioecological characteristics of four dominant plant species in Kerqin sandy land. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **11**(4): 587~590 (in Chinese)
- Zhou H-Y (周海燕), Zhao A-F (赵爱芬). 2002. Ecophysiological characteristics and their competition mechanism of the two dominant grasses in Horqin sandy land: *Artemisia halodendron* and *Artemisia frigida*. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **22**(6): 894~900 (in Chinese)

作者简介 尹 航,女,1982年生,硕士研究生。主要从事种群生态学研究。Tel: 13265480782; E-mail: yinhang82@163.com

责任编辑 李凤琴