

## 内蒙古退化草原狼毒种子的种群分布格局与散布机制

邢 福, 王艳红, 郭继勋

(东北师范大学草地科学研究所, 植被生态教育部重点实验室, 长春 130024)

**摘要:**狼毒(*Stellera chamaejasme*)为瑞香科多年生草本植物,是主要的草地有毒植物种类之一。采用邻接格子样方法和分布指数( $DI$ )以及平均拥挤度( $m^*$ )指标,研究了内蒙古西辽河平原北部典型草原区内的狼毒(*Stellera chamaejasme*)种子种群分布格局强度、类型与规模;根据顺序远离母株的取样调查,定量地分析了狼毒种子在 8 个方向上的散布格局。结果表明,狼毒种子在落种期之前为随机分布,而在落种期结束后为聚集分布,种子种群斑块大小平均为  $0.08\text{m}^2$ 。狼毒种子在 8 个方向上的散布表现为不同的散布格局模式。在不同方向随着累积面积增加狼毒种子散布数量变化符合 Logistic 曲线增长。各方向种子散布数量与顺风风向频率显著正相关。狼毒种群具有“近母株散布”的种子散布机制,基本散布半径为  $0\sim 50\text{cm}$ 。狼毒种群通过种子散布扩展其分布空间的能力是很有限的。

**关键词:**狼毒;种子种群;分布格局;散布机制

## Spatial distribution patterns and dispersal mechanisms of the seed population of *Stellera chamaejasme* on degraded grasslands in Inner Mongolia, China

XING Fu, WANG Yan-Hong, GUO Ji-Xun (Institute of Grassland Science Northeast Normal University, Key Laboratory for Vegetation Ecology, Ministry of Education, China, Changchun 130024). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 143~148.

**Abstract:** *Stellera chamaejasme* is a perennial herbaceous plant of *Thymelaceae*. It is poisonous to herbivores and widely distributes on grasslands in Northern and Northwestern China. *S. chamaejasme* population increases rapidly on degraded grasslands, which can negatively affect the health of livestock. The objective of this study was to determine the distribution and dispersal patterns of *S. chamaejasme* seed population, to determine its spatial dynamics and to provide baseline for its control.

The research site was located at a typical steppe in Alukerqin County, Chifeng Prefecture, Inner Mongolia ( $120^{\circ}25'E$ ,  $43^{\circ}43'N$ ). Vegetation is *S. chamaejasme* + *Enneapogon borealis* association and with *S. chamaejasme* being the dominant species. The sampling of soil seed bank was conducted both before and after the onset of seed dispersal of *S. chamaejasme* (early May and late June, respectively) with the Contiguous Grid Quadrat (CGQ) design. Seeds were separated from soil samples using a sieve with apertures of  $0.45\text{mm}$  and then counted. Seed distribution pattern of *S. chamaejasme* was measured by the two parameters, dispersion index ( $DI$ ) and mean crowding index ( $m^*$ ), and tested for Poisson and Negative Binomial Distribution using  $\chi^2$  test. Data were analyzed with the Greig-Smith's method—Paired Quadrat Variance (PQV). Eight directions (E, S, W, N, NE, SE, SW and NW) were selected from the basal tiller of *S. chamaejasme* for seed dispersion. Soil samples were collected from the basal tiller along each direction at  $5\text{cm}$  intervals. Correlation analysis was conducted between total seed density at different sampling directions and tail wind frequency, and between seed density and mean wind speed.

Results show that before the onset of seed dispersal, the distribution of seed population of *S. chamaejasme* was random, but the distribution was aggregated distribution after seeds had been dispersed. The dispersion indices were 1.16 and 1.70,

**基金项目:**国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018606);国家自然科学基金资助项目(30170668)

**收稿日期:**2002-11-29; **修订日期:**2003-05-21

**作者简介:**邢 福(1964~),男,内蒙古阿荣旗人,博士,副教授,从事植物种群生态学、草地生态学研究。E-mail: xingf@nenu.edu.cn

**Foundation item:** National Key Project for Basic Research in China(No. G2000018606) and National Natural Science Foundation of China(No. 30170668)

**Received date:** 2002-11-29; **Accepted date:** 2003-05-21

**Biography:** XING Fu, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in the study on plant population ecology and grassland ecology.

E-mail: xingf@nenu.edu.cn

respectively, for seeds before and after dispersal, and mean patch size for seed population was 0.08 m<sup>2</sup>. Patterns of seed dispersal varied according to directions. The increase in accumulative seed number with increasing sampling area followed the Logistic model. The dispersed seed quantity was significantly positively correlated with the tail wind frequency, but was not significantly correlated with mean wind speed. We conclude that *S. chamaejasme* seed population has a dispersion mechanism as "short-distance to parent tiller" (the dispersion radius was 0~50 cm in this experiment). The diffusion capacity of *S. chamaejasme* seed populations is limited by its physical structures (i. e., cannot be dispersed by animal and wind).

**Key words:** *Stellera chamaejasme*; seed population; spatial distribution; mechanism of seed dispersion

文章编号:1000-0933(2004)01-0143-06 中图分类号:Q948.1 文献标识码:A

种子种群作为潜在的植物种群,赋予了植被恢复和更新的基础。植物种群的一系列生活史对策是通过种子的形成、散布、贮藏及萌发等环节体现出来的。因此,种子种群研究成为植物种群生态学研究热点问题之一<sup>[1~5]</sup>。国内外学者在种子种群分布格局、散布格局与散布机制等方面进行了比较深入的研究<sup>[6~11]</sup>。国内采用邻接格子样方法研究种子种群分布格局尚未见报道。

狼毒,别名瑞香狼毒、断肠草等,分布于我国东北、西北和西南地区,在蒙古、俄罗斯、朝鲜亦有分布。在我国北方和西北天然草原的某些区域,狼毒大量滋生,对放牧家畜构成危害。近年来,狼毒控制方法的研究及其种群繁殖与扩散机制的研究逐渐受到重视<sup>[12~16]</sup>。种子繁殖是狼毒种群繁殖后代的唯一途径。研究狼毒种子种群的分布格局及其散布规律,可为揭示该种群空间动态提供新的视角,并为控制该种群增长与蔓延提供理论依据。

## 1 样地概况与研究方法

### 1.1 样地概况

样地位于内蒙古赤峰市阿鲁科尔沁旗道德苏木(乡)阿拉善嘎查一队居民点的西侧,东经 120°24'25"~120°25'10",北纬 43°42'50"~43°43'20",海拔高度 320m,地势起伏平缓。土壤为栗钙土。样地处于典型草原地带,所在地区属温带大陆性季风气候,年平均气温 6℃,年降水量 300mm,无霜期 140d。由于长期过度放牧草地退化严重,处于极度放牧演替阶段<sup>[14]</sup>。群落类型为狼毒—冠芒草(*Enneapogon borealis*)群落,植被盖度 25%~35%。主要植物种类有狼毒、冠芒草、白花黄芪(*Astragalus galactites*)、糙叶黄芪(*A. scaberrimus*)、阿氏旋花(*Convolvulus ammannii*)、狭叶山苦荬(*Ixeris chinensis var. intermedia*)、狭叶米口袋(*Gueldentia stenophylla*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarosa*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)等。狼毒在群落中处于优势地位。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 野外取样方法** 分别于狼毒种群落种开始前(2001年5月上旬)和落种结束后(2001年6月下旬)采用邻接格子样方法取地表土样,每小格子规格为 10cm(长)×10cm(宽)×4cm(深),共 128 个小格子。用 0.45mm 孔径的筛子(狼毒种子不会漏出)分离,挑出种子记数。

2001年7月上旬进行狼毒种子散布格局取样。选定 3 个相对独立分布的较大的株丛,距其最近的植株在 100cm 以外。3 个植株的高度分别为 25cm、26cm、28cm;株丛上部直径分别为 25cm、30cm、34cm;每株丛花序数分别为 13、14、11。从株丛中心沿 8 个方向即北、东北、东、东南、南、西南、西和西北顺序远离母株取样,每 5cm 为 1 个取样距离,取样规格为 5cm×10cm×4cm 即 1 个取样单位,每个方向各取 8 个土样,取样半径 0~40cm。总计 192 个取样单位。筛分法分离记数种子。罗盘仪定位。

### 1.2.2 数据分析方法

(1) 格局类型与格局强度 ①分布指数(DI) 分布指数亦称方差均值比或扩散系数<sup>[17]</sup>。设有  $N$  个样方, $X$  为每个样方内的种子粒数的观测值, $S^2$  为种子多度的方差, $\bar{X}$  是种子多度的均值,则分布指数的表达式为:

$$DI = \frac{S^2}{\bar{X}} \quad (1)$$

理论上,当  $DI=1$  时,则符合泊阿松分布即随机分布;当  $DI>1$  时,则趋向于聚集分布,最大聚集性时  $DI=N$ ;当  $DI<1$  时,则趋向于均匀分布,最大均匀性时  $DI=0$ 。

为了检验分布格局偏离泊阿松分布的显著性,须对  $DI$  值进行  $t$  检验, $t$  值表达式为:

$$t = \frac{\frac{S^2}{\bar{X}} - 1}{S} \quad (2)$$

其中, $S$  是标准误差。此文中样方数即小格子数为  $N=128$ 。以自由度  $N-1$  查  $t$  值表进行显著性检验。当  $|t| \leq t_{N-1,0.05}$  时,为随机分布,否则为聚集分布或均匀分布<sup>[18]</sup>。

②泊阿松分布和负二项分布的  $X^2$  拟合检验 为了更准确判断种群的分布格局是服从泊阿松分布还是负二项分布,用  $X^2$

检验来判断其拟合程度<sup>[17,19]</sup>。两种分布拟合过程相同,先求出个体的理论频数,然后计算  $X^2$  值:

$$X^2 = \sum_{i=1}^q \frac{(Q_i - T_i)^2}{T_i} \quad (3)$$

其中,  $Q$ 、 $T_i$  分别是种群的实际频数和理论频数,  $q$  是实际频数所分的组数。

格局强度是指某一规模下斑块与斑块或斑块与间隙的内的植物个体密度差异。采用 Lloyd 的平均拥挤度 ( $m^*$ ) 作为格局强度的度量指标<sup>[20]</sup>, 计算公式如下:

$$m^* = \bar{X} + \frac{S^2 - \bar{X}}{\bar{X}} \quad (4)$$

式中,  $m^*$  表示一个样方内每个个体的平均拥挤程度, 数值越大格局强度越大, 表示一个个体受其他个体的拥挤效应越大。

(2) 格局规模 采用 Greig-Smith 的区组样方方差法绘制格局分析图, 对种子种群进行格局规模分析<sup>[18]</sup>。以平均方差/均值 (简称均方差) 对区组规模作图, 如果曲线有明显峰值, 则其所对应的区组规模即为斑块的平均大小即格局规模。

(3) 散布格局 把 3 次重复的平均数作为散布到单位面积上的种子数。将此平均数按远离母株顺序累加作为累积面积的种子数。分别统计 8 个方向相应序号取样单位内的种子数 ( $x'$ ) 和累积面积的种子数 ( $\sum x'$ )。对不同方向远离母株累积面积种子散布的定量分析, 采用 Logistic 曲线拟合, 其方程为:

$$Y = \frac{K}{1 + e^{a-bx}} \quad (5)$$

式中,  $Y$  为种子散布的数量,  $K$  为种子散布数量所能达到的最大数值,  $a$  为曲线对原点的相对位置函数,  $b$  为种子随距离累积面积的平均增长速率,  $x$  为距离累积面积。

(4) 种子散布与风因子的相关性分析 将各个方向散布种子总数与落种期相对应的顺风风向频率及顺风风向的平均风速作相关分析。狼毒种子成熟脱落集中于 6 月份, 故将落种期界定为 6 月 1 日~6 月 30 日。风向及风速数据来自当地气象站, 每日 3 次定时观测 (08:00, 14:00, 20:00), 共 120 次观测。气象观测为 16 个风向的数据, 将其中的“西北北 (N-N-W)、东北北 (N-N-E)、东北东 (E-N-E)、东南东 (E-S-E)、东南南 (S-S-E)、西南南 (S-S-W)、西南西 (W-S-W)、西北西 (W-N-W) 8 个临界偏风向各用两次分配到 8 个主风向中<sup>[11]</sup>, 使主风向的风向频率分别为 3 个风向 (即 1 个主风向和 2 个临界偏风向) 的全体观测数据的累加。主风向的平均风速分别为 3 个风向观测数据的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 狼毒种子种群的分布格局

2.1.1 格局类型与格局强度 落种前后狼毒种子种群的分布格局类型及格局强度测定结果见表 1。落种开始之前狼毒种子为随机分布, 而落种结束之后则为聚集分布。落种开始之前的分布格局实际上是上一年落种结束之后经历大约 11 个月的变化结果。 $DI$  和  $m^*$  也都反映出落种之后的聚集强度明显高于落种之前。

种子种群的聚集强度乃至格局类型发生改变, 主要原因有两方面: 一是土壤表层种子库的输出如萌发、动物取食; 二是种子在外力作用下 (如动物搬运、家畜践踏和风力作用等) 发生空间位移 (亦称“第二次散布”), 从而使种子斑块被“疏散”或“均匀化”。

表 1 狼毒种子种群分布格局类型及格局强度

Table 1 The types and intensity of the spatial distribution of seed population of *Stellera chamaejasme*

取样时间 Sampling time	平均值 Mean ( $\bar{x} \pm S.E.$ )	分布指数 Spatial index ( $DI$ )	$t$ 值 $t$ value	平均拥挤度 Mean crowding ( $m^*$ )	泊阿松分布 Poisson distribution	负二项分布 Negative binomial distribution	格局类型 Pattern types
落种开始前 Before the onset of seed releasing	0.3828 ± 0.0607	1.1568	1.2494	0.5396	$P > 0.05$	$P < 0.05$	随机 Random
落种结束后 After the end of seed releasing	0.5938 ± 0.1137	1.6993**	5.5721	1.2931	$P < 0.005$	$P > 0.05$	聚集 Clump

\*\*  $t$  检验显著水平  $P < 0.01$  Significant level for  $t$  test  $P < 0.01$

当地放牧家畜主要为绒山羊, 它有刨食草根的习性, 常使地表出现大小不等的坑穴, 风沙又逐渐将坑穴填平, 从而使种子有机会被埋入较深层的土壤中。据测定, 在 8~10cm 土层内仍有狼毒种子分布。因此认为, 放牧干扰能够改变种子分布的格局强度甚至格局类型。另据 2001、2002 年两个生长季的观测, 仅在 2001 年 7 月上旬发现有狼毒当年生幼苗。经调查, 在 30 个 0.25m<sup>2</sup> 随机样方内共测得 8 株幼苗, 数量极少。因此认为, 种子萌发不是狼毒种子种群聚块疏散的主要原因。

2.1.2 格局规模 如图 1 所示, 均方值在区组规模 8 处出现一个明显的峰值。因此, 落种结束后狼毒种子斑块的平均大小为 8

个  $10 \times 10\text{cm}^2$  即  $0.08\text{m}^2$ 。狼毒株丛的平均株丛径为  $18.18 \pm 2.35\text{cm}$ ， $0.08\text{m}^2$  的斑块大约相当于 3 个株丛大小。这表明，狼毒种子脱落后散布于距母株较近的距离内。

2.2 狼毒种子种群的散布格局

2.2.1 种子散布数量与距离 不同方向单位面积狼毒种子数和累积面积狼毒种子数见表 2。据表 2，各方向累积散布种子总数，以西南方向最多，达 12.68 粒；东北方向最少，仅为 4 粒。从散布距离看，除北方在第 8 个取样单位上没有种子外，其他 7 个方向在顺序远离母株的 8 个取样单位上都有种子分布。

不同方向、同一序号取样单位内的种子数，以第 1 至第 6 个取样单位（即  $0 \sim 30\text{cm}$  半径内）较多。结实株丛半径为  $14.50 \pm 1.08\text{cm}$ ，这意味着有相当一部分种子直接散布于株丛内部。据调查，测定的 3 个相对孤立株丛的产种量平均为 137 粒。按实际测得种子密度折算， $0 \sim 40\text{cm}$  半径的取样圆周内分布种子总数为 120 粒，占单株产种量的 87.59%。按实测种子密度进一步推算，

$0 \sim 50\text{cm}$  半径的圆周内种子数应为 188 粒，这已经超出了单株种子产量。这表明绝大部分种子散布在母株周围  $40\text{cm}$  以内，基本散布半径小于  $50\text{cm}$ 。当然，随时间推移，母株周围的种子有可能被传播到更远的距离，其潜在生态位空间不仅局限于  $50\text{cm}$ 。

2.2.2 单位面积种子散布格局 研究种子散布格局时，通常用某种理论分布的密度函数形式来反映不同方向距离单位面积的种子散布格局，如对数正态分布、Weibull 分布等等。狼毒种子在 8 个散布方向上几乎没有共同的变化趋势，难以用一、两种分布曲线加以描述或拟合。这表明，狼毒种子的散布几乎不遵循某种共同的散布格局模式，散布格局呈现极大的随机性。

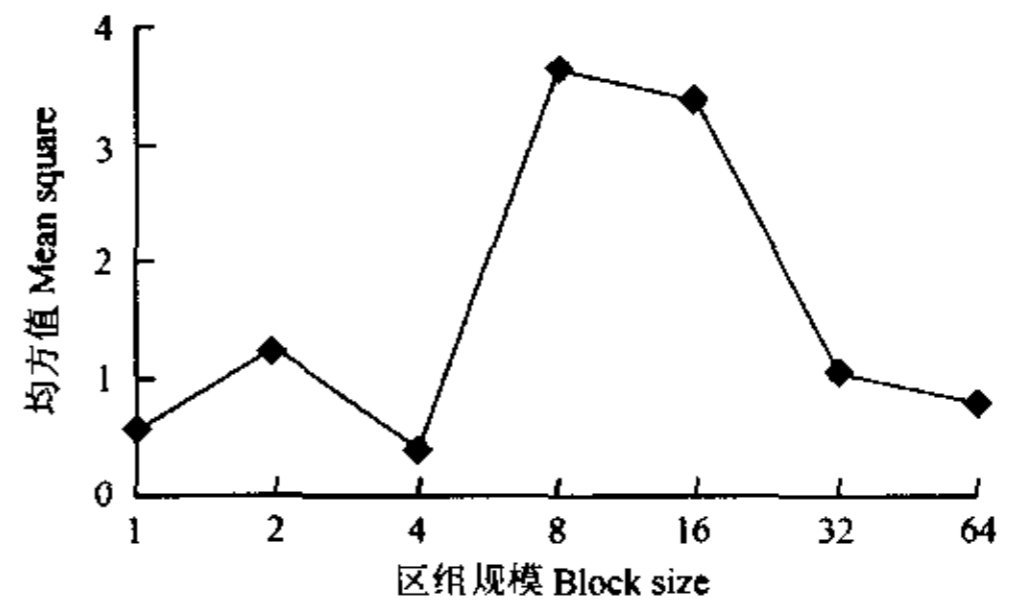


图 1 狼毒种子种群格局规模分析

Fig. 1 Analysis of pattern scale of *Stellera chamaejasme* seed population

表 2 狼毒种群不同方向单位面积种子数 ( $x'$ ) 和累积面积种子数 ( $\sum x'$ )

Table 2 Seed numbers of *Stellera chamaejasme* in unit area ( $x'$ ) and accumulative unit area ( $\sum x'$ ) in different orientations

序号 No.	北 N		东北 NE		东 E		东南 ES		南 S		西南 WS		西 W		西北 WN		平均 Mean	
	$x'$	$\sum x'$	$x'$	$\sum x'$	$x'$	$\sum x'$	$x'$	$\sum x'$	$x'$	$\sum x'$	$x'$	$\sum x'$	$x'$	$\sum x'$	$x'$	$\sum x'$	$x' \pm S. E.$	$(\sum x') \pm S. E.$
1	3.00	3.00	0.67	0.67	0.33	0.33	1.00	1.00	2.33	2.33	0.67	0.67	3.00	3.00	1.00	1.00	$1.50 \pm 0.39$	$1.50 \pm 0.39$
2	2.67	5.67	0.33	1.00	0.67	1.00	1.67	2.67	1.33	3.66	1.33	2.00	2.67	5.67	1.33	2.33	$1.50 \pm 0.30$	$3.00 \pm 0.66$
3	1.00	6.67	0.33	1.33	1.00	2.00	1.33	4.00	1.00	4.66	3.00	5.00	1.00	6.67	0.67	3.00	$1.17 \pm 0.28$	$4.17 \pm 0.70$
4	2.33	9.00	0.67	2.00	0.67	2.67	2.00	6.00	0.67	5.33	1.67	6.67	2.33	9.00	1.67	4.67	$1.50 \pm 0.26$	$5.67 \pm 0.92$
5	0.33	9.33	0.67	2.67	0.67	3.34	1.67	7.67	1.67	7.00	1.67	8.34	0.33	9.33	1.33	6.00	$1.04 \pm 0.21$	$6.71 \pm 0.90$
6	1.33	10.66	0.67	3.34	3.67	7.01	1.33	9.00	1.33	8.33	0.67	9.01	1.33	10.66	0.67	6.67	$1.38 \pm 0.35$	$8.09 \pm 0.85$
7	1.00	11.66	0.33	3.67	0.67	7.68	1.33	10.33	0.67	9.00	1.00	10.01	1.00	11.66	0.67	7.34	$0.83 \pm 0.11$	$8.92 \pm 0.94$
8	0.00	11.66	0.33	4.00	1.33	9.01	1.00	11.33	0.67	9.67	2.67	12.68	0.33	11.99	1.00	8.34	$0.92 \pm 0.29$	$9.84 \pm 1.00$

表 3 不同方向累积面积狼毒种子散布数量的 Logistic 曲线参数及显著性检验

Table 3 The parameters and significance tests of simulated Logistic equations on seed dispersal of *Stellera chamaejasme* in accumulative unit area and in different orientations

方向 Orientations		K	a	b	n	$F_{0.01}$	F	r
北	N	12	1.7602	0.6891	7	16.26	112.09	-0.9784
东北	NE	5	2.3473	0.4816	8	13.74	1016.79	-0.997
东	E	10	3.7676	0.6956	8	13.74	126.17	-0.977
东南	SE	12	2.8542	0.6892	8	13.74	578.60	-0.9948
南	S	10	1.9821	0.6150	8	13.74	202.31	-0.9854
西南	SW	13	3.3309	0.7749	8	13.74	68.86	-0.9591
西	W	12	2.5943	0.9671	8	13.74	33.26	-0.9204
西北	NW	9	2.4720	0.6054	8	13.74	380.63	-0.9922

2.2.3 累积面积种子散布 回归分析表明，不同方向狼毒种子远离母株的种子散布数量，均随着累积面积的增加呈 Logistic 曲线形式增长。各方向拟合方程的参数见表 3。各个散布方向均出现了  $F \gg F_{0.01}$  情况，说明不同方向累积面积上狼毒种子散布具有相同的规律性。平均增长速率 b 值，以种子散布数量较多的西南、西两个方向较大，说明种子散布数量的增长速率随累积面积的增大而迅速增加，其他各方向的 b 值差异不明显。8 个散布方向比较，以西南方向种子散布数量最大值 K 为最大，而相反的

东北方向  $K$  值最小。

**2.2.4 种子散布与风因子的相关分析** 狼毒种子卵形,长径 2.5~3.0mm,短径 1.0~1.5mm。种子脱落时小坚果被疏松、膜质的花冠筒基部所包被,果实顶端具 5~7mm 长的干枯的花冠筒和花冠,可以起到一定的“翼”的作用。将各个方向散布种子总数与落种期内的顺风风向频率及顺风风向的平均风速作相关分析。结果表明(表 4),各方向种子散布总数与顺风风向频率显著正相关( $P < 0.05$ ),但与顺风风向平均风速相关不显著。狼毒落种期间当地盛行东北风,因此在西南方向散布的种子数最多。

各方向种子散布总数与顺风风向平均风速相关不显著,这可能是有两方面的原因:一是落种期间为 6 月份,此时不是当地风力最大的时期;二是风力作用的时间较短,随着时间的推移风力对种子的“搬运”可能会有累积效应。

### 3 讨论

放牧干扰影响狼毒种子种群格局强度乃至格局类型的主要因素之一。有研究表明,放牧可增加冷蒿(*Artemisia frigida*)草原种子库的均匀度<sup>[21]</sup>。均匀度的改变就意味着种子分布格局强度发生变化甚至会出现格局类型的改变。本研究中落种前后狼毒种子分布格局强度和乃至格局类型发生了显著变化,此结果与上述冷蒿草原的情况相类似。

在研究种群更新时,将有利于种子保存和萌发的微域环境称为“安全岛”。较大的狼毒株丛必然对改善其周围小环境起到一定作用,如降低风速、降低土壤水分蒸发、减少牲畜践踏、拦截枯枝落叶等。调查发现,较大狼毒母株周围确有较多年轻的小型株丛分布<sup>[15]</sup>。因此,可以将狼毒“近母株散布”的种子散布机制的生态学意义理解为,对种子保存和幼苗存活及其生长有利即有利于该物种的延续。

狼毒种群并不具备远距离扩散的能力。即使在风力作用和放牧干扰下其传播距离也很有限,总体上,其侵入新生境或地区的能力较弱。由于外来种子侵入造成狼毒大量生长的可能性是很小的。狼毒种群的增长主要表现为在其原有分布区域内的种群密度增大。就一定面积的草地而言,在退化草地群落中狼毒之所以大量繁衍,主要是因为狼毒具有较强的耐旱性、有毒性和无强烈的竞争者。这提示人们,在草地经营中预防狼毒危害的根本策略在于科学、合理的利用草地,防止过度利用造成优良牧草种群衰退而给狼毒的生长创造有利条件,在防除技术上应重视控制其种子形成方面的研究。

影响种子分布格局的因素是十分复杂的。狼毒种群的开花期与结实期重叠现象严重,种子边成熟边脱落,落地后的种子便面临遭受捕食或损坏的危险。因此,种子成熟脱落时间不一致会对格局测定结果产生一定影响。从表土层取样分离出的种子并非都是当年种子雨的成分,其中包括历年累积的种子(尽管其数量可能很少)。鸟类、啮齿类、昆虫等都可能是狼毒种子的捕食者或搬运者。这些问题有待进一步研究。

### References:

- [1] Yang Y F, Zhu L, Zhang H Y. Analysis on the flux of soil seed bank and the seedling mortality in the communities of two species of *Suaeda* in the Songnen plain of China. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(1): 66~71.
- [2] Huang Z Y, Gutterman Y. Comparison of germination strategies of *Artemisia ordosica* with its two congeners from deserts of China and Israel. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(1): 71~80.
- [3] Kalamees R, Zobel M. Soil seed bank composition in different successional stages of a species rich wooded meadow in Laelatu, western Estonia. *Acta Oecologica*, 1998, 19(2): 175~180.
- [4] Fenner M. *Seed Ecology*. New York: Chapman and Hall, 1985.
- [5] Kalamees R, Zobel M. The role of the seed bank in gap regeneration in a calcareous grassland community. *Ecology*, 2002, 83(4): 1017~1025.
- [6] Houle G. Seed dispersal and seedling recruitment of *Betula alleghaniensis*: spatial inconsistency in time. *Ecology*, 1998, 79(3): 807~818.
- [7] Kollmann J, Schill H P. Spatial patterns of dispersal, seed predation and germination during colonization of abandoned grassland by *Quercus petraea* and *Corylus avellana*. *Vegetatio*, 1996, 125(2): 193~205(13).
- [8] Nathan R, Safriel U N and Noy-Meir I. Field validation and sensitivity analysis of a mechanistic model for tree seed dispersal by wind. *Ecology*, 2001, 82(2): 374~388.

表 4 狼毒种子散布与顺风风向频率及平均风速的相关分析

Table 4 Correlative analysis between seed dispersal of *Stellera chamaejasme* and frequency of free wind and it's mean speed

方 向 orientations	种子总数 Total numbers of seeds	风向频率 Frequency of wind orientations	平均风速 Mean speed of wind(m/s)±S. E.
北 N	8.67	0.17	2.68±0.36
东北 NE	4.00	0.04	2.00±0.51
东 E	9.00	0.04	2.25±0.48
东南 ES	10.67	0.18	5.25±0.96
南 S	9.67	0.15	3.36±0.50
西南 WS	13.00	0.27	3.42±0.35
西 W	12.33	0.21	2.84±0.32
西北 WN	8.33	0.18	3.44±0.42
相关系数 $r$	—	0.8044*	0.4797

\* 显著水平  $P < 0.05$  Significant level  $P < 0.05$

- [ 9 ] Yang Y F. The study on seed dispersal of *Puccinellia tenuiflora* on alkalization meadow in the Songnen plain of China. *Acta Ecologica Sinica*, 1990, **10**(3):288~290.
- [10] Yang Y F, Zhu L. Pattern of a seed dispersal of *Hordeum brevisubulatum* on alkalized meadow in the Songnen plain of China. *Acta Botanica Sinica*, 1994, **36**(8):636~644.
- [11] Yang Y F, Zhu L. Analysis on the mechanism of seed dispersal of *Puccinellia chinampoensis* on alkalized meadow in the Songnen plain of China. *Acta Botanica Sinica*, 1995, **37**(3):222~230.
- [12] Xing F, Wang Z W. Poisonous plants in Kerqin grassland and strategy to secure safety for livestock. *Acta Prataculturae Sinica*, 2000, **9**(3):66~73.
- [13] Xing F, Liu W G, Wang Ch W. Advances of Researches on Poisonous Plants in Chinese Grassland. *Grassland of China*, 2000, **23**(5):56~61.
- [14] Xing F, Guo J X. Comparative analysis of interspecific association for the three grazing successional stages on *Cleistogenes squarrosa* steppe. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, **25**(6):693~698.
- [15] Xing F, Song R. Population distribution pattern and dynamic of *Stellera chamaejasme*, a poisonous grassland plant. *Pratacultural Science*, 2002, **19**(1):16~19.
- [16] Shen J L, Meng Y, Tan G, et al. Study on the influence of applying herbicide to control *Stellera chamaejasme* on grassland vegetation. *Grassland of China*, 2000, **40**:48~50, cover 3.
- [17] Ludwig J A, Reynolds J F translated by Li, Y Z, Wang W, Pei H. *Statistical ecology, a primer on methods and computing*. Huhhot: Inner Mongolia University Press, 1990. 10~34; 121~130.
- [18] Greig-Smith P. *Quantitative Plant Ecology*(3d ed.). Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1983. 54~128.
- [19] Zhang J T. *Quantitative methods of vegetation ecology*. Beijing: China Science and Technology Press, 1995. 256~286.
- [20] Lloyd M. Mean crowding. *J. Anim. Ecol.*, 1967, **36**:1~30.
- [21] Sudebilige H, Li Y H, Yong S P, et al. Germinable soil seed bank of *Artemisia frigida* grassland and its response to grazing. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(1):43~48.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 杨允菲, 祝玲, 张宏一. 松嫩平原两种碱蓬群落土壤种子库通量及幼苗死亡的分析. *生态学报*, 1995, **15**(1): 66~71.
- [ 2 ] 黄振英, Gutterman Y. 油蒿与中国和以色列沙漠中的两种蒿属植物种子的萌发策略的比较. *植物学报*, 2000, **42**(1): 71~80.
- [ 9 ] 杨允菲. 松嫩平原碱化草甸星星草种子散布的研究. *生态学报*, 1990, **10**(3): 288~290.
- [10] 杨允菲, 祝玲. 松嫩平原碱化草甸野大麦的种子散布格局. *植物学报*, 1994, **36**(8):636~644.
- [11] 杨允菲, 祝玲. 松嫩平原碱化草甸朝鲜碱茅种子散布机制的分析. *植物学报*, 1995, **37**(3):222~230.
- [12] 邢福, 王正文. 科尔沁草地有毒植物及保障家畜安全的对策. *草业学报*, 2000, **9**(3):66~73.
- [13] 邢福, 刘卫国, 王成伟. 中国草地有毒植物研究进展. *中国草地*, 2000, **23**(5):56~61.
- [14] 邢福, 郭继勤. 糙隐子草草原 3 个放牧演替阶段种间联结对比分析. *植物生态学报*, 2001, **25**(6):693~698.
- [15] 邢福, 宋日. 草地有毒植物狼毒种群分布格局与动态. *草业科学*, 2002, **19**(1):16~19.
- [16] 沈景林, 孟杨, 谭刚, 等. 应用除草剂防除草地狼毒对草地植被影响的研究. *中国草地*, 2000, **40**:48~50, 封 3.
- [17] Ludwig, J A, Reynolds J F. 李育中, 王炜, 裴浩译. *统计生态学——计算和方法入门*. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1990. 10~34; 121~130.
- [19] 张金屯. *植被生态学数量方法*. 北京: 中国科学技术出版社, 1995. 256~286.
- [21] 苏德毕力格, 李永宏, 雍世鹏, 等. 冷蒿草原土壤可萌发种子库特征及其对放牧的响应. *生态学报*, 2000, **20**(1):43~48.