

轮叶马先蒿群落土壤种子库特征研究

柳妍妍¹, 胡玉昆^{1*}, 王鑫², 公延明^{1,3}, 李凯辉¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院新疆分院, 乌鲁木齐 830011;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 轮叶马先蒿种子小, 数量多, 已成为巴音布鲁克草原的入侵种。为有效遏制其入侵, 论文通过野外植被调查和室内试验分析, 研究了轮叶马先蒿土壤种子库的分布状况及其与生境的关系。结果表明: ①土壤含水量是影响轮叶马先蒿种子水平分布的主要因素, 土壤种子数量垂直分布表现为枯落物层 > 腐殖质层 > 心土层, 各层土壤种子数量差异性显著; ②轮叶马先蒿土壤种子库的大小与轮叶马先蒿的密度、盖度呈显著正相关, 与其他地上植被关系不密切; ③土壤含水量是轮叶马先蒿生长生殖的限制因素, 轮叶马先蒿产生的花苞数以及产生的种子数量在土壤含水量为 0.25 时达到最大值, 当土壤含水量超过轮叶马先蒿的耐受限度, 就不会产生种子, 5 月下旬和 6 月上旬是轮叶马先蒿种子萌发的最佳时期; ④土壤有机质含量是轮叶马先蒿生长和繁殖过程中的另一个主要影响因素。

关键词: 轮叶马先蒿; 土壤种子库; 土壤水分

中图分类号: Q948.118; S154.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3037(2011)01-0048-10

土壤种子库是植物群落的重要组成部分^[1-2], 是特定生态系统的潜在植物种群, 是种群定居、生存、繁衍和扩散的基础^[3-4], 在植被的发生和演替、更新和恢复过程中起着重要的作用^[5-6]。马先蒿属植物是一种生命力顽强的草地害草, 种子传播是其扩散蔓延的主要方式, 每株可生成 600~2 000 粒种子, 通过自然传播并在土壤中保持有较大的种子库^[7]。马先蒿属植物同饲用植物争夺营养、光和水分, 造成了草地群落结构的单一化, 降低了草地的产量和质量, 最终导致草地失去利用价值^[8]。另外, 马先蒿属植物有喜好寒冷的高海拔地区的特性^[9-11], 近年来, 轮叶马先蒿(*Pedicularis verticillata*) 入侵的面积在新疆巴音布鲁克高寒草地迅速扩展^[12], 有些重灾地区在夏季花期时成为“粉红色的海洋”, 目前, 轮叶马先蒿在巴音布鲁克草原的分布和扩散面积已达 $2.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 而且仍以每年 $0.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的速度在增加^[13]。目前对于马先蒿属植物的研究多集中在分类学、孢粉形态学、分子生物学、化学、医药学、微生物学等方面^[7,9-11,14], 但关于马先蒿属植物群落和土壤种子库及其与生境的关系研究还未见报道。本文对巴音布鲁克高寒草地轮叶马先蒿的生长特性、土壤种子库分布特征及其与生境因子的相关关系进行研究, 以期有效抑制轮叶马先蒿的生长和扩散, 为恢复退化草地植被及其生态功能提出有效的对策和实施管理的科学依据, 实现马先蒿型退化草地的综合防治。

收稿日期: 2010-05-18; 修订日期: 2010-08-24。

基金项目: 973 专题“干旱区地下有机碳时空分布”(2009CB825103-1)。”。

第一作者简介: 柳妍妍(1982-), 女, 甘肃庄浪人, 硕士, 主要从事草地/土壤生态学研究。E-mail: liuyan198206@126.com

* 通信作者, E-mail: huyk@ms.xjb.ac.cn

1 研究区概况与方法

1.1 自然概况

巴音布鲁克草场位于中天山山脉南坡中部,地处 $82^{\circ}27' \sim 86^{\circ}17' E$ 、 $42^{\circ}18' \sim 43^{\circ}34' N$,由大尤尔都斯盆地、小尤尔都斯盆地和丘陵草场组成,四周环山围绕。整个地域东西长 270 km,南北宽 136 km,总面积为 $2.384 \times 10^6 \text{ hm}^2$,海拔高度在 2 400~3 600 m 之间。年平均气温 $-4.8^{\circ} C$,1 月最低气温可达 $-48^{\circ} C$ 。年降水量 276.2 mm,年蒸发量高达 1 247.5 mm,全年积雪日达 150~180 d,无绝对无霜期,属典型的高寒气候。该区域拥有植物种类 262 种,分属 50 科 160 属。发育的草地类型有高寒草原、高寒草甸化草原、高寒草原化草甸、高寒草甸、山地灌丛草甸和沼泽化高寒草甸。

近年来,由于草地过度放牧,使得马先蒿属植物大量入侵,目前面积已达 $2.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中严重发生面积 $1.16 \times 10^4 \text{ hm}^2$,而且还在以每年 $0.33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的速度蔓延^[13]。与 20 世纪 80 年代相比,巴音布鲁克高寒草地单位面积产草量平均下降了 30%~35%,牧草覆盖度从 75% 下降到 45% 左右^[12]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

在巴音布鲁克草原大尤尔都斯盆地内,首先分别在沙土、壤土、砾石和沼泽地轮叶马先蒿分布均匀的平坦地带各选取 5 个典型大样方,计 20 个大样方,每个大样方内设置 3 个小样方,每个小样方的面积为 $0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}$,共计 60 个小样方,调查轮叶马先蒿土壤种子库垂直分布状况。其次在距离巴音布鲁克草原生态研究站约 2 km 处,选择地势平坦、土壤深厚、轮叶马先蒿分布比较典型的天然草地。垂直于河流沿土壤水分梯度设置 $50 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ 的样地,在样地内共计 5 条样带,第一条样带距离河流 1 m,每隔 5 m 设置一条样带,样带依次距离河流 6 m、11 m、16 m、21 m。每条样带内设置 5 个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的大样方,计 25 个大样方,调查轮叶马先蒿土壤种子库水平分布状况。每个大样方内设置 3 个小样方,每个小样方的面积为 $0.1 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}$,共计 75 个小样方。本项调查于 2006 年 5—9 月进行。

1.2.2 调查内容

记录样方内的物种组成,用卷尺测定物种的相对高度、用网格法($1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 样方框,每个网格大小为 0.04 m^2)测定植株的分盖度,用收获法分马先蒿和杂类草测定地上生物量。用半径为 0.5 m 样圈测定频度,每个样地测定 15 次。在每个样方内沿对角线分别测定 5 株轮叶马先蒿,记录其生长期天数、分支数和高度,每周观测一次。在测定轮叶马先蒿土壤种子库垂直分布状况的 60 个小样方内,分 3 层采集土样。第一层 0~2 cm 为枯枝落叶层;第二层 2~6 cm 为腐殖质层;第三层 6~10 cm 为心土层。在测定轮叶马先蒿土壤种子库水平分布状况的 75 个小样方内,分一层(0~10 cm)采集土样。各土样记录后分装入布袋中,带回室内统计土内含种子数。用于种子数量统计的土样计 210 份。每条样带内随机选取 5 个样点采集土壤样品。每个样点土壤剖面分 5 层,即 0~10、10~20、20~30、30~40 和 40~50 cm,取适量装入铝盒带回室内测定土壤含水量。再取土壤剖面为 0~30 cm,均匀混合,用密封塑料袋带回室内,分析土壤养分。用于土壤含水量和养分分析的土样共计 50 份。

野外采集回来的土样置于常温下,风干后对每个取样点的样品进行分级筛选,分别依次过筛,筛子孔径分别为 2 mm、1 mm、0.5 mm,然后人工挑选种子;对留在 1 mm 和 0.5 mm 筛上的土壤中的种子在双筒显微镜下进行计数、鉴定。最后进行淘洗,待反复冲洗干净后拣出

各种植物种子进行统计。

1.2.3 数据处理

(1) 土壤含水量测定

烘干法:新鲜土样放入铝盒称其湿重(W'),在 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下连续烘干至恒重(W),称其干重。计算公式: $R_{wc} = \frac{W' - W}{W} \times 100\%$ 。

(2) 土壤养分测定

土壤分析样品阴干后测定土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾和 pH 值。土壤有机质用重铬酸钾法,速效氮用蒸馏法,速效磷用碳酸氢钠法,速效钾用火焰光度法,pH 值用混合指示剂比色法。测定分析由中国科学院新疆生态与地理研究所土壤分析实验室完成。

用 Excel 2003 和 SPSS12.0 软件对得出的实验数据进行整理、统计和分析。

2 结果与分析

2.1 轮叶马先蒿及其种子生物学特性

巴音布鲁克高寒草原轮叶马先蒿生育期约为 110 d。5 月初返青,8 月底停止生长,通过种子或地下根茎越冬。由表 1 可以看出,轮叶马先蒿在分枝期生长最慢,生长速度为 0.13 cm/d ,每株平均分枝数可达 7.4 个;6 月底进入初花期,生长速度逐渐上升,为 0.57 cm/d ;到 7 月中旬的盛花期,日平均生长速度为 0.40 cm ;8 月中旬结实,生长速度呈下降趋势,生长速度仅为 0.20 cm/d 。轮叶马先蒿种子颜色为黑色或紫色,形状多为卵形或长圆形。经测定:株高 $30\sim 40\text{ cm}$ 的植株,可生成种子 $1\ 200\sim 1\ 600$ 粒。株高 $50\sim 60\text{ cm}$ 的植株,可生成 $1\ 200\sim 2\ 000$ 粒种子。株高低于 30 cm 的植株,也可生成种子 $600\sim 1\ 000$ 粒。种子千粒重为 $0.64 \pm 0.02\text{ g}$ 。轮叶马先蒿种子小,单株结实量多,繁殖能力强,生长速度快,在水分养分条件充足的情况下,单株马先蒿可生长至 $50\sim 60\text{ cm}$ 。这些生物学特性是其在巴音布鲁克大面积爆发的关键因子之一。

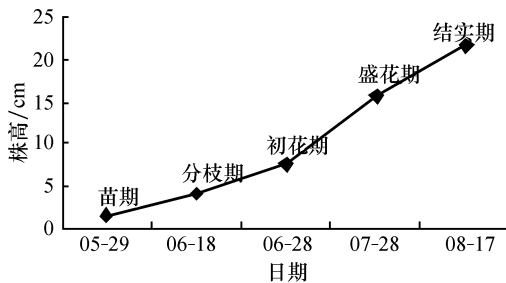


图 1 轮叶马先蒿生育期观测

Fig. 1 The observation of *P. verticillata*'s growth and development period

2.2 土壤种子库的分布特征

2.2.1 水平分布

从表 1 中可以看出,在第一条样带内,即距离水源 1 m 处,马先蒿的盖度、密度、地上生物量和种子数量都达到了最大值,盖度达到 46.8% , 1 m^2 内马先蒿的株数达到了 109 株,地上生物量达到 92.61 g/m^2 ,种子数量更是高达 $56\ 480\text{ 粒/m}^2$ 。随着距离水源的距离越来越远,马先蒿的盖度、密度和种子数量依次梯度减少,这表明,距离水源越近,马先蒿分布越多,其种子数

量越多;距离水源越远,马先蒿分布越少,种子数量也越少。第三、第四条样带内,由于生长的马先蒿没有竞争,因此高度较高,地上生物量较大,单株种子数量较多。在第五条样带内,即距离水源 21 m 处,没有马先蒿的分布,但由于风力或其他自然因素的影响,有轮叶马先蒿种子的分布。各样带内轮叶马先蒿种子数量差异性显著,说明了水流和风传播是轮叶马先蒿种子的主要传播方式,也说明水分在马先蒿的分布和生长过程中起到了至关重要的作用。

表 1 轮叶马先蒿及其种子的水平分布状况

Table 1 The horizontal distribution of *P. verticillata* L and *P. verticillata* L's seeds

样带	马先蒿 种子数/粒	其他种子 数/粒	总数/粒	盖度 /%	密度 /(株/m ²)	高度 /cm	地上生物量 /(g/m ²)
I	56 548 ± 9 325	618 ± 759	57 166 ± 10 084	46.8	109.4	20.07	92.61
II	17 919 ± 4 465	930 ± 326	18 849 ± 4 791	18.4	79.6	17.59	45.06
III	5 629 ± 866	979 ± 213	6 608 ± 1 079	17.4	10	23.75	90.39
IV	2 967 ± 230	2 257 ± 486	5 224 ± 716	11.2	2.4	24.42	43.17
V	1 030 ± 541	1 392 ± 604	2 422 ± 1 145	0	0	0	0

注: I 表示样带 1, 距离河岸 1 m; II 表示样带 2, 距离河岸 6 m; III 表示样带 3, 距离河岸 11 m; IV 表示样带 4, 距离河岸 16 m; V 表示样带 5, 距离河岸 21 m。

2.2.2 垂直分布

从表 2 中可以看出,在不同的土壤类型草地中,轮叶马先蒿种子库有不同的分布状况,其中,轮叶马先蒿在壤土中生长较好,种子分布较多,砾石地中的轮叶马先蒿分布较少,种子也分布较少。垂直分布状况上,沙土质草地枯枝落叶层即 0~2 cm 土壤中包含轮叶马先蒿种子总数的 96.2%,腐殖质层 2~6 cm 土壤中轮叶马先蒿种子数占总数的 3.4%,心土层即 6~10 cm 土壤中只有 0.4%。壤土质草地枯枝落叶层土壤中轮叶马先蒿种子数占总数的 99.8%,腐殖质层中占 0.2%,心土层中没有轮叶马先蒿种子的分布。砾石地 0~2 cm 土壤中轮叶马先蒿种子数占总数的 76.1%,6~10 cm 土壤中占 21.1%,6~10 cm 土壤中占到 2.8%。沼泽地中没有轮叶马先蒿的分布,但由于风力或其他因素,有少量种子分布,但腐殖质层和心土层中没有轮叶马先蒿种子的分布。各样地的土壤种子数量垂直分布表现为枯落物层 > 腐殖质层 > 心土层,各层土壤种子数量差异性显著。4 种土壤质地的土壤颗粒大小、紧实度、孔隙度、含水量和养分等土壤因子有明显不同,是造成轮叶马先蒿土壤种子库垂直分布不均匀的主要原因。

表 2 不同土壤类型轮叶马先蒿土壤种子库的垂直分布状况

Table 2 The vertical distribution of *P. verticillata*'s seeds in different soil types

样地	0~2 cm		2~6 cm		6~10 cm	
	马先蒿种子数	其他种子数	马先蒿种子数	其他种子数	马先蒿种子数	其他种子数
沙土	7 370 ± 2 301	2 857 ± 1 552	260 ± 161	70 ± 64	30 ± 18	25 ± 12
壤土	16 941 ± 5 877	260 ± 78	40 ± 33	57 ± 23	0	0
砾石	1 617 ± 361	2 210 ± 853	448 ± 235	268 ± 147	60 ± 36	15 ± 11
沼泽	67 ± 65	1 261 ± 144	0	22 ± 8	0	0

2.3 土壤种子库与地上植被的关系

对地上植被的多样性指数进行计算,从表 3 中可以看出,轮叶马先蒿土壤中种子的数量与轮叶马先蒿的盖度和密度呈现显著相关关系,与轮叶马先蒿地上生物量和高度相关性不

大,与地上植被多样性指数和均匀度指数呈负相关,与 Simpson 指数呈正相关,但相关关系不显著。且轮叶马先蒿的生长与多样性指数相关系数不大,说明轮叶马先蒿的生长、繁殖与其他植物的生长关系不密切。

表3 轮叶马先蒿土壤种子库与地上植被及多样性指数的相关关系

Table 3 Correlation coefficient of soil seed bank and aboveground vegetation and diversity index

项目	马先蒿种子数	其他种子数	盖度	密度	高度	地上生物量	多样性指数	Simpson 指数
其他种子数	-0.657							
盖度	0.954*	-0.627						
密度	0.912*	-0.714	0.856					
高度	0.230	0.044	0.491	0.214				
地上生物量	0.594	-0.512	0.800	0.486	0.778			
多样性指数	-0.288	0.162	-0.071	-0.036	0.700	0.290		
Simpson 指数	0.724	-0.341	0.567	0.457	-0.286	0.136	-0.848	
均匀度指数	-0.548	0.125	-0.412	-0.213	0.288	-0.064	0.879*	-0.961**

注:**表示 $P < 0.01$; *表示 $P < 0.05$ 。下同。

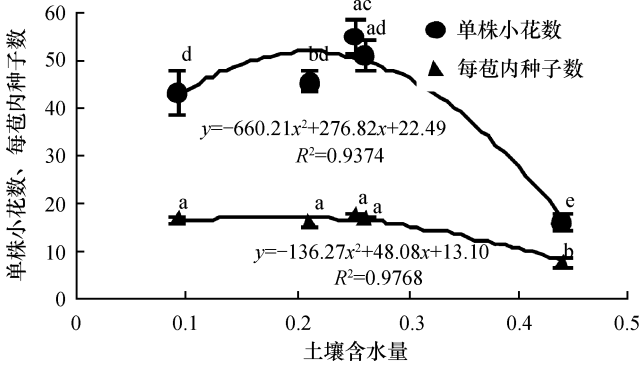
2.4 土壤种子库与生境因子的关系

2.4.1 水分对轮叶马先蒿土壤种子库的影响

从图2中可以看出:随着土壤含水量的增大,轮叶马先蒿的盖度呈现出先增大后减小的趋势,最后为零。当土壤含水量为0.44左右时,其盖度达到最大,为46.8%。但是随着土壤含水量继续增大,轮叶马先蒿的盖度却在逐渐降低。当土壤含水量为0.86时,其盖度为零。说明适当的土壤含水量有利于轮叶马先蒿的生长,但是当土壤含水量超过一定的限度后轮叶马先蒿则不能生长。虽然轮叶马先蒿盖度在土壤含水量为0.44时达到最大值,但轮叶马先蒿单株产生种子量最大值却并不是在盖度最大时出现,轮叶马先蒿产生的花苞数以及产生的种子数量在土壤含水量为0.25时达到最大值,说明土壤含水量是轮叶马先蒿生长生殖的限制因素,当土壤含水量超过轮叶马先蒿的耐受限度,则不产生种子,只有土壤水分适中时,轮叶马先蒿才能最好地生长繁殖。根据拟合曲线,轮叶马先蒿单株产生小花数与土壤含水量的关系符合二次函数 $y = -660.2x^2 + 276.82x + 22.49$, $R^2 = 0.9374$ 。每个花苞内的种子数量与土壤含水量的关系符合二次函数 $y = -136.27x^2 + 48.08x + 13.10$, $R^2 = 0.9768$ 。

2.4.2 温度对轮叶马先蒿土壤种子萌发的影响

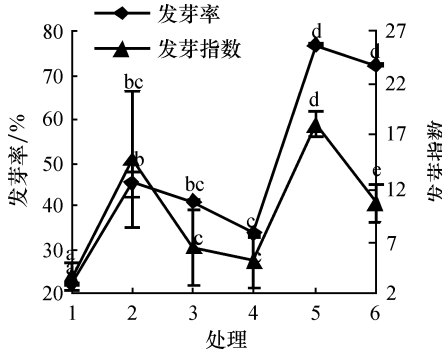
不同温度处理对轮叶马先蒿种子萌发的实验于2004-10至2005-03在中国科学院新疆生态与地理研究所中心实验室完成^[15]。结果表明:发芽率在不同温度条件下表现出一定的差异(图3)。恒温条件下:处理1(恒温28℃)的发芽率最低,为22.1%。处理2(恒温19℃)和处理3(恒温10℃)的发芽率处于中等水平,分别为45.0%和41.0%。变温条件下:处理4(变温,巴音布鲁克草原5月1—15日8:00、12:00、20:00和24:00土壤表面温度:9.66℃、10.21℃、0.15℃和-0.83℃)的发芽率较低,为33.6%。处理5(变温,5月16—31日8:00、12:00、20:00和24:00土壤表面温度:14.76℃、20.9℃、6.31℃和4.01℃)和处理6(变温,6月1—15日8:00、12:00、20:00和24:00土壤表面温度:26.17℃、29.58℃、5.19℃和0.75℃)的发芽率较高,分别为76.9%和72.4%,二者与其它处理表现出极显著差异($P < 0.01$,表4)。



注:a、b、c、d 表示 $P < 0.05$ 时的差异性显著水平。下同。

图2 土壤含水量对轮叶马先蒿花苞数及种子数的影响

Fig. 2 Effect of soil water content on the number of inflorescence and seed



注:恒温处理时间均为 24 h/d,变温每个温度处理时间均为 6 h/d, $P < 0.05$ 。

图3 温度处理对轮叶马先蒿种子发芽率和发芽指数的影响

Fig. 3 Effect of temperature treatment on seed germination rate and index of *P. verticillata*

发芽指数的变化与发芽率略有不同,恒温条件下:处理 1 的发芽指数最小,为 3.5。处理 2 和处理 3 的发芽指数分别为 14.8 和 6.4。变温条件下:处理 4 的发芽指数较低,为 5。处理 6 的发芽指数处于中等水平,为 10.6。处理 5 的发芽指数最高,为 18.1。显著性检验表明(图 3):处理 5 的发芽指数与其余各处理差异极显著($P < 0.01$)。说明在巴音布鲁克草原,5 月下旬和 6 月上旬是轮叶马先蒿种子萌发的最佳时期。

2.4.3 土壤因子对轮叶马先蒿土壤种子库的影响

从表 4 中可以看出,轮叶马先蒿土壤中种子的数量与土壤含水量有极显著正相关关系,

表 4 轮叶马先蒿土壤种子库与土壤因子的相关关系

Table 4 Correlation coefficient of soil seed bank and soil factors

项目	土壤含水量	有机质	速效氮	速效磷	速效钾	pH 值	电导率	全盐
马先蒿种子数	0.988 **	0.382	-0.408	-0.060	0.468	-0.103	0.178	-0.610
其他种子数	-0.639	-0.407	0.554	-0.493	0.089	-0.260	-0.628	0.023
盖度	0.981 **	0.630	-0.143	0.078	0.427	-0.347	-0.043	-0.481
密度	0.862	0.284	-0.500	-0.173	0.083	0.137	0.296	-0.690
高度	0.326	0.810	0.737	0.088	0.020	-0.813	-0.785	-0.080
地上生物量	0.693	0.970 **	0.350	0.491	0.223	-0.676	-0.341	0.040

与土壤速效氮、速效磷、pH值、全盐含量呈负相关,与土壤有机质、速效钾、电导率呈正相关,但结果不显著。轮叶马先蒿的盖度与土壤含水量呈极显著正相关,其地上生物量与土壤有机质含量有极显著正相关关系。说明在繁殖方面,轮叶马先蒿最需要水分的供应,对养分的需求不大,在生长方面,土壤含水量和土壤有机质含量有主要贡献作用。可以看出,无论繁殖或生长,土壤含水量都是主要影响因素。

3 讨论

3.1 水热因子对轮叶马先蒿及其土壤种子库的影响

土壤水分是调节种子萌发与幼苗生长的重要因素之一。土壤水分含量的高低,调节着种子的萌发及幼苗生长速率。种子发芽后能否有效定植成活,取决于立地土壤水分状况和幼苗根系获取水分的能力^[18]。不同的水分条件,对植物种子萌发有显著影响^[19]。在垂直于河流的样带内,不同水分条件下轮叶马先蒿的分布差异性显著。但不同水分条件下,轮叶马先蒿植株产生花苞数和种子数在土壤含水量为0.25时达到最大值。说明轮叶马先蒿的生长和繁殖过程中,土壤含水量是主要影响因素之一,但轮叶马先蒿生长分布与繁殖种子的最大需水量不同,具体的需水规律还有待于进一步研究。王静等研究表明,影响马先蒿属物种丰富度的主要因子之一是温度^[9]。马先蒿属植物喜好寒冷的高海拔地区,适应低温,轮叶马先蒿在温度较低的5月底和6月种子萌发较好。

3.2 植物多样性与轮叶马先蒿种群的关系

在一定程度上,土壤种子库的结构反映了地上植物群落结构,地上植被的特征也影响着土壤种子库的组成和结构^[3-4]。但也有研究表明土壤种子库与地上植被在种类组成上并没有必然的联系^[16-17]。轮叶马先蒿土壤种子库的大小与轮叶马先蒿本身的密度、盖度相关,与地上植被多样性指数相关系数不大,说明轮叶马先蒿的生长、繁殖与其他植物的相关性不大。

3.3 土壤种子库的垂直分布特征

土壤种子库储量随土层加深而减少^[20],轮叶马先蒿土壤种子库也是如此,4种土壤类型下土壤种子数量垂直分布均表现为枯落物层>腐殖质层>心土层,各层土壤种子数量差异性显著。土壤颗粒大小、紧实度、孔隙度、含水量和养分等土壤因子是造成轮叶马先蒿土壤种子库垂直分布不均匀的主要原因。但也有研究表明,土壤种子库中并不是枯落物层中含有的种子数量最多^[21]。

3.4 取样深度有待研究

本文研究轮叶马先蒿土壤种子库时,取样深度为10 cm。根据前人研究结果,土壤种子库中的种子也多集中在10 cm以内^[22-23]。但轮叶马先蒿种子小,在沙土和砾石样地中,8 cm土壤下仍有种子存在,取样深度是否应该加深有待商榷。关于轮叶马先蒿土壤种子库的自然萌发以及在高寒地区快速扩散的机理,还有待进一步深入研究。

4 结论

(1) 轮叶马先蒿种子小,种子千粒重为 0.64 ± 0.02 g,繁殖能力强,单株结实量多,每株平均分枝数可达7.4个,可产生600~2000粒种子,生长速度快,成熟期短,传播方式多样,这些特征是其能在巴音布鲁克大面积爆发的关键因子之一。

(2) 距离水源越近,轮叶马先蒿分布越多,其种子数量越多;土壤含水量为0.25时,轮

叶马先蒿单株产生的花苞数以及产生的种子数量达到最大值,说明土壤含水量是轮叶马先蒿生长生殖的限制因素,也说明水分是影响轮叶马先蒿的生长、繁殖、传播和分布的关键因素之一。土壤有机质是影响轮叶马先蒿群落的另一个重要因素。

(3) 室内试验表明,恒温不利于轮叶马先蒿种子的萌发,而变温有利于轮叶马先蒿种子的萌发。结果表明,5月下旬和6月上旬是轮叶马先蒿种子萌发的最佳时期。

参考文献 (References):

- [1] 李秋艳, 赵文智. 干旱区土壤种子库的研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 350-358. [LI Qiu-yan, ZHAO Wen-zhi. Advances in the soil seed bank of arid regions. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(3): 350-358.]
- [2] Sudebilge H, Li Y H, Yong S P, et al. Germinable soil seed bank of *Artemisia frigida* grassland and its response to grazing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(1): 43-48.
- [3] 张玲, 方精云. 秦岭太白山4类森林土壤种子库的储量分布与物种多样性[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 131-136. [ZHANG Ling, FANG Jing-yun. Reserves and species diversity of soil seed banks in four types of forest on Mt. Taibai, Qinling Mountain. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 131-136.]
- [4] 周国英, 陈桂琛, 王顺忠, 等. 青海湖地区芨芨草草地土壤种子库的初步研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(7): 724-728. [ZHOU Guo-ying, CHEN Gui-chen, WANG Shun-zhong, et al. Soil seed banks of *Achnatherum splendens* steppes in the Qinghai Lake area. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(7): 724-728.]
- [5] 赵凌平, 程积民, 万惠娥. 土壤种子库研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5): 112-118. [ZHAO Ling-ping, CHENG Ji-min, WAN Hui-e. Research progresses in the soil seed bank. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(5): 112-118.]
- [6] Thompson K, Grime J P. Seasonal variation in the seed bank of herbaceous species in ten contrasting habitats [J]. *Journal of Ecology*, 1979, 67: 893-921.
- [7] 于建梅, 胡玉昆, 李凯辉, 等. 天山药用植物轮叶马先蒿的生物学特性研究[J]. 中草药, 2006, 37(12): 1884-1886. [YU Jian-mei, HU Yu-kun, LI Kai-hui, et al. Study on biological characteristics of the medicinal plant—*Pedicularis verticillata* of Tianshan Mountain. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2006, 37(12): 1884-1886.]
- [8] 邱正强, 马玉寿, 施建军, 等. 甘肃马先蒿对“黑土型”退化草地垂穗披碱草人工草地的影响[J]. 草原与草坪, 2006, 5: 26-29. [QIU Zheng-qiang, MA Yu-shou, SHI Jian-jun, et al. Influence of *Pedicularis kansuensis* on *Elymus nutans* artificial grassland in “Black Soil Type” degenerated alpine grassland. *Grassland and Turf*, 2006, 5: 26-29.]
- [9] 王静, 唐亚, 夏怡凡, 等. 川渝地区马先蒿属物种丰富度空间分布格局及其影响因素[J]. 云南植物研究, 2007, 29(1): 51-57. [WANG Jing, TANG Ya, XIA Yi-fan, et al. Geographical pattern of species richness of *Pedicularis* (Scrophulariaceae) in Sichuan and Chongqing and its relationship with main environmental factors. *Acta Botanica Yunnanica*, 2007, 29(1): 51-57.]
- [10] 郁文彬, 蔡杰, 王红, 等. 马先蒿属植物花冠分化与繁殖适应的研究进展[J]. 植物学通报, 2008, 25(4): 392-400. [YU Wen-bin, CAI Jie, WANG Hong, et al. Advances in floral divergence and reproductive adaptation in *Pedicularis* L. (Orobanchaceae). *Chinese Bulletin of Botany*, 2008, 25(4): 392-400.]
- [11] YU Wen-bin, WANG Hong. Pollen morphology of *pedicularis* sect. *cyathophora*, a group endemic to the eastern Himalaya-Hengduan Mountains region [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2008, 50(2): 244-252
- [12] 柳妍妍, 胡玉昆, 于建梅, 等. 轮叶马先蒿危害现状及防除对策[J]. 干旱区研究, 2008, 25(6): 778-782. [LIU Yan-yan, HU Yu-kun, YU Jian-mei, et al. Study on Harmfulness of *Pedicularis verticillata* and its control measures. *Arid zone research*, 2008, 25(6): 778-782.]
- [13] 宋宗水. 巴音布鲁克草原生态恢复与综合治理已迫在眉睫[J]. 中国农业资源与区划, 2006, 27(1): 21-25. [SONG Zong-shui. It is an urgent task to recover and comprehensively manage the grassland ecology of Bayinbuluke. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2006, 27(1): 21-25.]
- [14] Sun S G, Liao K, Xia J, et al. Floral colour change in *Pedicularis monbeigiana* (Orobanchaceae) [J]. *Plant System Evolution*, 2005, 255: 77-85.
- [15] 李凯辉, 胡玉昆, 阿德力·麦地, 等. 温度对轮叶马先蒿种子发芽的影响[J]. 云南植物研究, 2006, 28(4): 421-

424. [LI Kai-hui, HU Yu-kun, Adeli Maily. Impact of temperature on seed germination of *Pedicularis verticillata* (Scrophulariaceae). *Acta Botanica Yunnanica*, 2006, 28(4): 421-424.]
- [16] 罗辉, 王克勤. 金沙江干热河谷山地植被恢复区土壤种子库和地上植被研究[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2432-2442. [LUO Hui, WANG Ke-qin. Soil seed bank and aboveground vegetation in Jinshajing Hot-Dry River Valley Hillslope vegetation restoration site. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2432-2442.]
- [17] Heli M Jutila. Germination in Baltic coastal wetland meadows: similarities and differences between vegetation and seed bank [J]. *Plant Ecology*, 2003, 166: 275-293.
- [18] YUAN Long-yi, LIU Gui-hua, LI Wei. Seed bank variation along a water depth gradient in a subtropical lakeshore marsh, Longgan Lake, China [J]. *Plant Ecology*, 2007, 189: 127-137.
- [19] 王增如, 徐海量, 尹林克, 等. 不同水分处理对激活土壤种子库的影响——以塔里木河下游为例[J]. 自然科学进展, 2008, 18(4): 389-396. [WANG Zeng-ru, XU Hai-liang, YIN Lin-ke, et al. Activation of different water treatments on soil seed bank in the lower reaches of Tarim River. *Progress in Natural Science*, 2008, 18(4): 389-396.]
- [20] 曹敏, 唐勇, 张建侯, 等. 西双版纳热带森林的土壤种子库储量及优势成分[J]. 云南植物研究, 1997, 19(2): 177-183. [CAO Min, TANG Yong, ZHANG Jian-hou, et al. Storage and dominants in soil seed banks under the tropical forests of Xishuangbanna. *Acta Botanica Yunnanica*, 1997, 19(2): 177-183.]
- [21] 张玲, 方精云. 太白山土壤种子库储量与物种多样性的垂直格局[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 880-888. [ZHANG Ling, FANG Jing-yun. Changes in soil seed banks and biodiversity along an altitude gradient in Taibai Mt. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 880-888]
- [22] Kalamees R, Zobel M. The role of the seed bank in gap regeneration in a calcareous grassland community [J]. *Ecology*, 2002, 83(4): 1017-1025.
- [23] Chang E R, Jefferies R L, Carleton T J. Relationship between vegetation and soil seed banks in an arctic coastal marsh [J]. *Journal of Ecology*, 2001, 89: 367-384.

Studies on Characteristics of Soil Seed Bank of *Pedicularis verticilata* Community

LIU Yan-yan¹, HU Yu-kun¹, WANG Xin², GONG Yan-ming^{1,3}, LI Kai-hui¹

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;

2. Xinjiang Branch of Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: *Pedicularis verticilata* has already become an intrusion species on Bayanbulak grassland with the biological characteristics of small and excessive seed. In order to control its expansion effectively, the distribution characteristics and the relation with habitats of *P. verticilata* were studied by field vegetable investigation and laboratory testing analysis. We studied the characteristics of horizontal distribution on soil moisture gradient and the characteristics of vertical distribution under the conditions of different soil types by counting method. Constant temperature and varying temperature treatment methods were used from laboratory germination, *P. verticilata*'s seed germination response to temperature was analyzed. Correlation analysis was used to analyze the relationship between *P. verticilata*'s seed bank and plant diversity and other soil factors. The result shows that: 1) Soil water content is the main influencing factor for *P. verticilata* seed's horizontal distribution. The order of vertical distribution of the seed is litter layer > humus layer > subsoil layer, the amount of seed difference was remarkable between each layer. 2) The amount of seed has a significant positive correlation with *P. verticilata*'s density and coverage, but has little correlation with other plants. 3) Regarding reproduction and growth, soil water content is the limiting factor. The number of inflorescence and the amount of seed reached maximum when soil water content is 0.25, and no seed will be reproduced seed when soil water content exceeded *P. verticilata*'s tolerance limitation. Varying temperature is propitious to seed germination, the last ten-day of May and the first ten-day of June were the optimum period of germination, the germination rate reached to 76.9% and 72.4%. 4) Soil organic matter is another main influencing factor for the growth and reproduction of *P. verticilata*, the correlation coefficient is 0.970 ($p < 0.01$).

Key words: *Pedicularis verticilata*; seed bank; soil water