

# 气候变化和种子萌发特性对轮叶马先蒿种群扩张的影响

隋晓琳<sup>1,2</sup>, 李爱荣<sup>2</sup>, 管开云<sup>2,3\*</sup>

1. 中国科学院大学, 北京 100049; 2. 中国科学院昆明植物研究所资源植物与生物技术重点实验室, 云南 昆明 650201;

3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011

**摘要:** 轮叶马先蒿 (*Pedicularis verticillata*) 是一种根部半寄生性杂草, 在新疆巴音布鲁克草原迅速蔓延, 严重危害了当地畜牧业的利用和发展。通过分析巴音布鲁克草原近 30 年的气候变化并结合轮叶马先蒿种子的萌发特性和传播特点, 探讨气候因素对近些年来轮叶马先蒿种群在巴音布鲁克草原迅速扩张的影响。结果显示: 1) 1980—2010 年新疆巴音布鲁克草原轮叶马先蒿生长季内的日平均温, 最高温, 最低温均表现出增高趋势, 且气候倾向率在 0.3 °C (10 a) 左右; 此外马先蒿生长季内的有效积温和年积温也有显著的增长, 增幅分别为 48.755 °C (10 a) 和 61.469 °C (10 a); 生长季内的平均降雨量和年均降水量也出现了明显的增多, 每 10 年的增幅在 20 mm 以上; 说明巴音布鲁克草原的气候朝着“暖湿化”的方向发展。2) 轮叶马先蒿种子具有循环休眠的现象, 属条件休眠状态。而这个状态主要受温度条件的变化所影响, 萌发率随温度升高而显著提高。室温储藏和赤霉素处理下轮叶马先蒿种子在 3/16 °C 和 5/20 °C 这 2 个变温条件下萌发率最高, 可达 50% 以上; 而湿冷层积处理中种子的萌发率虽然也表现为随温度的升高而提高, 但 5/20 °C 时的最大萌发率仅为 (44.44±2.94)%。3) 巴音布鲁克草原气候的“暖湿化”变化有利于轮叶马先蒿种子的萌发和扩散, 这可能是导致轮叶马先蒿在巴音布鲁克草原迅速蔓延的主要原因之一。

**关键词:** 马先蒿; 根部半寄生植物; 气候变化; 种群扩张; 萌发率

**中图分类号:** Q948

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2013) 07-1099-06

**引用格式:** 隋晓琳, 李爱荣, 管开云. 气候变化和种子萌发特性对轮叶马先蒿种群扩张的影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1099-1104.

SUI Xiaolin, LI Airong, GUAN Kaiyun. Impacts of climatic changes as well as seed germination characteristics on the population expansion of *Pedicularis verticillata* [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(7): 1099-1104.

巴音布鲁克草原, 位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州和静县西北、天山山脉中部, 由两个高位山间盆地和山区丘陵草场组成。总面积 2.3 万多平方公里, 海拔约为 2 400~3 800 m, 是我国仅次于鄂尔多斯草原的第二大草原<sup>[1]</sup>。

其独特的地理位置和地形特点, 造就了其独特的高寒气候<sup>[2]</sup>。巴音布鲁克草原的枯草期长达 8 个月, 牧草长势受气候影响较大<sup>[2-3]</sup>; 并且草原土层较薄, 土壤为砂砾土, 易发生水土流失, 是一个生态脆弱区<sup>[4]</sup>。一种根部半寄生杂草——轮叶马先蒿 (*Pedicularis verticillata* L.) 的出现及迅速蔓延使巴音布鲁克草原的生态平衡面临着严重的考验<sup>[5-7]</sup>。据新疆和静县政府工作报告记载, 从 2000 年开始, 短短几年内马先蒿的种群数量在草原上迅速蔓延, 对牧草的生长发育造成了直接的威胁, 严重影响了畜牧业的发展。截至到 2008 年, 轮叶马先蒿在巴音布鲁克草原的危害面积已超过  $2.33 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>, 而

且每年仍以  $3.30 \times 10^3$  hm<sup>2</sup> 的速度蔓延<sup>[8]</sup>。国家和当地政府投入了大量的人力、物力和财力, 采取人工、机械和化学防除的方法对马先蒿进行防治, 虽然有了一定的成效, 但整体防治效果甚微<sup>[5, 9]</sup>。

轮叶马先蒿在新疆的分布具有悠久历史, 先前仅呈局部或零星分布<sup>[10]</sup>, 为什么近年来突然泛滥成灾? 据报道, 气候变化的影响会导致植物种群分布发生较大变化<sup>[11]</sup>。轮叶马先蒿的种群扩张是否与气候变化有关尚未有过报道。本研究试图从气候变化的角度入手, 结合轮叶马先蒿的种子萌发特性和散布特点, 分析巴音布鲁克草原气候变化对轮叶马先蒿种群扩张的影响。旨在为气候变化大背景下, 预测马先蒿属植物的潜在危害并为预警提供借鉴和参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 气象数据分析

气象信息数据由中国气象局提供的巴音布鲁

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (30970288); 云南省自然科学基金项目 (2009CD114); 中国科学院青年创新促进会项目 (Y1269311T1)

**作者简介:** 隋晓琳 (1983 年生), 女, 博士研究生, 主要从事植物引种驯化与保护生物学研究。E-mail: suixiaolin@mail.kib.ac.cn

\*通信作者: 管开云。E-mail: guanky@mail.kib.ac.cn

**收稿日期:** 2013-03-11

克地区 1981—2010 年的日值数据,包括平均降水量,平均气温,最高气温和最低气温数据(1981—2010 年)。积温的数值经对不同阶段内 $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的平均温累积后得到。本实验选取马先蒿生长季节内(5—9 月)和全年的数据建立数据库,用 Excel 软件进行分析并绘制气温及降水变化曲线;SPSS(16.0)对回归系数进行显著性检验。

## 1.2 种子萌发实验

轮叶马先蒿种子于 2011 年 10 月采于巴音布鲁克草原( $42^{\circ}52'48''\text{ N}$ ,  $83^{\circ}42'12''\text{ E}$ ; 2472 m)。采集后的种子进行 3 种方式(室温储藏 1 个月(SRT),低温层积 30 d(30DMC)和室温储藏 30 d 后用  $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  赤霉素浸泡( $\text{GA}_3$ ) 24 h)和 6 个温度梯度下处理。温度的设计是通过分析 2001—2010 年 5 月下旬和 6 月上旬(马先蒿的萌发季节<sup>[12]</sup>)的气温数据,分别选取高中低 3 组恒温 and 3 组变温( $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0.5/13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $3/16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $5/20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )作为培养温度来进行试验。本实验共 18 个处理,每处理设 3 重复,每重复为 30 粒种子。

种子萌发实验于 2011 年 11 月开始,所有室温储藏的种子实验前均用 4.5%的 NaClO 消毒 5~8 min,随后用蒸馏水冲洗 3~5 次。赤霉素处理的方式参考 Ren 和 Guan<sup>[13]</sup>,将预处理好的种子于实验前 1 d 浸泡于  $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的赤霉素溶液中 24 h。湿冷层积的处理方式为:将刚收获的种子按上述方法消毒后与经高温灭菌( $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 2 h)的湿沙混合,于  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$  的冰箱中保存 30 d。所有经过处理的种子分别放于铺有 2 层滤纸的培养皿(直径为 5 cm)中,每处理设 3 重复,每重复为 30 粒种子。

所有处理的培养皿分别放于 6 种温度条件下的

光照培养箱中进行培养。光照时间为 12 h/d,并在较高温时提供  $22.2\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  的日光灯照度。每 2 d 记录发芽情况,当胚根刚突破种皮时即视为发芽。发芽后的种子被移出丢弃。当连续 5 d 没有种子萌发时即视为发芽结束。发芽率(germination rate, GR)和平均发芽时间(mean germination time, MGT)按下列公式计算:

$$\text{GR} = \sum n_i / N; \text{MGT} = \sum (t_i \times n_i) / \sum n_i$$

式中:  $N$  是每处理中的种子总数;  $n_i$  为第  $n$  天发芽的种子数;  $t_i$  为实验开始的天数。

数据处理:利用 PERMANOVA 软件对处理温度,处理方式及其交互对轮叶马先蒿种子萌发率和平均发芽时间的影响进行分析;单因素分析时不同处理内的多重比较采用 S-N-K 法(SPSS 16.0),显著差异分析基于  $P < 0.05$  水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 气候变化

#### 2.1.1 温度

通过对马先蒿生长季节内的气温数据进行分析发现:总体趋势为温度升高(图 1A)。且平均增温为  $0.319\text{ }^{\circ}\text{C}$  (10 a),与前人的研究结果<sup>[14]</sup>一致。线性方程为  $y = 0.0319x + 7.9652$ ,相关系数为  $R^2 = 0.2856$ ;最高温的平均增温为  $0.389\text{ }^{\circ}\text{C}$  (10 a),最低温的平均增幅为  $0.338\text{ }^{\circ}\text{C}$  (10 a)。结果显示近 30 年来,马先蒿生长季节内巴音布鲁克草原无论在平均气温,最高温还是最低温均出现了明显的增温趋势,并均到达  $P < 0.01$  的显著性水平。

有效积温( $>0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )也有增大的趋势(图 1B)。全年的有效积温在 30 年中的增长率为  $61.469\text{ }^{\circ}\text{C}$  (10 a);马先蒿生长季内的积温也以每 10 年  $48.755\text{ }^{\circ}\text{C}$

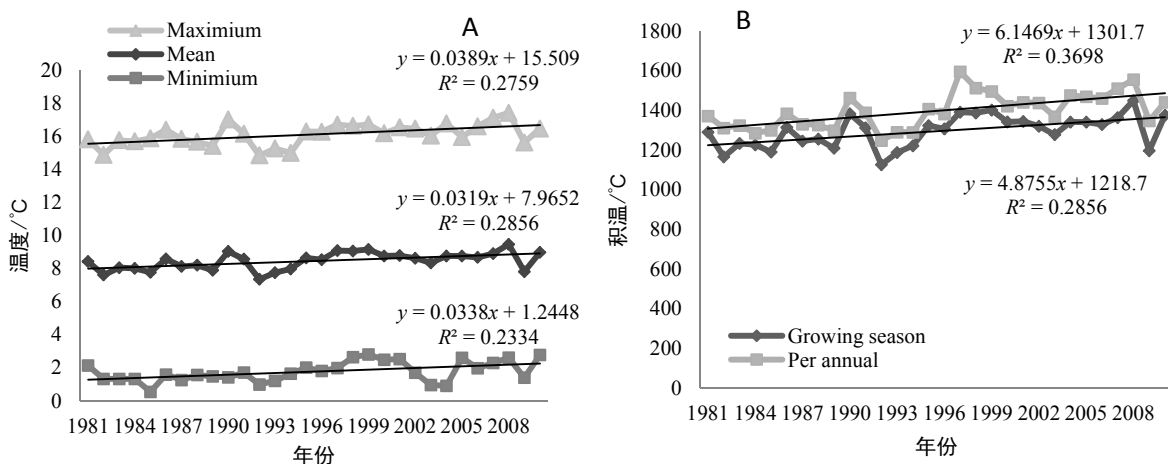


图 1 马先蒿生长季(5 月到 9 月)内巴音布鲁克草原 1981—2010 年气温和积温变化趋势图

Fig. 1 Average temperature and accumulation temperature trend from 1981 to 2010 in Bayanbulak grassland during the growth stage (from May to September) of *Peculiaris verticillata*

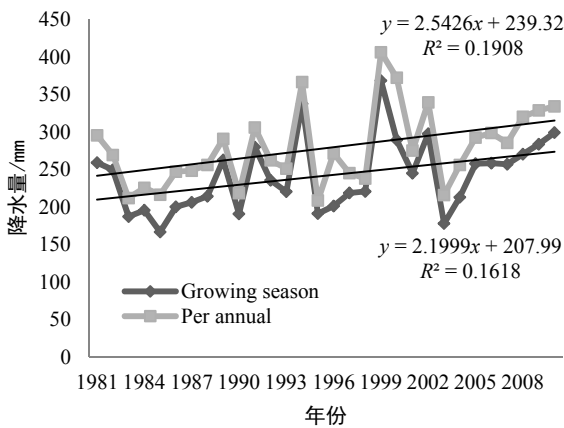


图2 1981—2010年间巴音布鲁克草原轮叶马先蒿年降水量和生长季内(5月—9月)总降水量

Fig. 2 Annual precipitation and total precipitation during the growth stage (May to September) of *Pedicularis verticillata* in Bayanbulak grassland

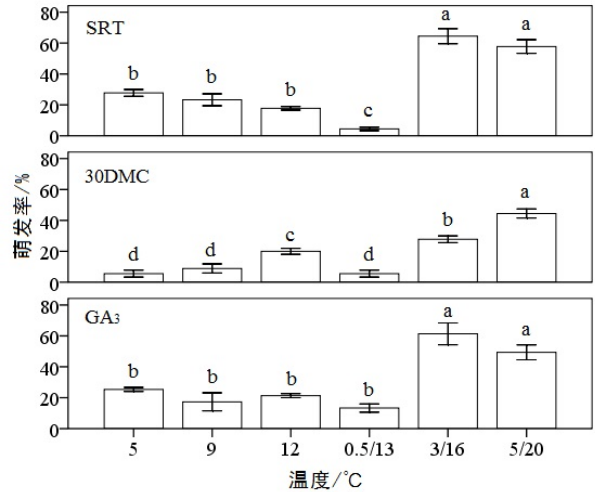
的幅度增长,且增长显著 ( $P<0.01$ )。

2.1.2 降水量

从降水情况来看,巴音布鲁克草原 1981 年至 2010 年的年降水量虽然出现一定程度的波动,但是总体上仍然表现出显著的上升趋势( $P<0.05$ ) (图 2),线性方程为  $y=2.5426x+239.32$ ,  $R^2=0.1908$ 。马先蒿每年生长季内的总降雨量也表现出显著的增长 ( $P<0.05$ ),增长幅度为 21.99 mm (10 a)略低于全年总降水量的增幅。年降水量和马先蒿生长季内总降水量变化趋势一致,说明降雨是巴音布鲁克草原降水的主要来源。

2.2 种子萌发情况

室温储藏 1 个月时,马先蒿种子在 3 个恒温条件下的萌发率较低,且无显著差异;在 0.5/13 °C 的变温条件下,萌发率非常低;但是在 3/16 °C 和 5/20 °C 这 2 个变温条件下萌发率最高,分别达到 (64.44±4.84)%和(57.78±4.44)%。平均萌发时间则表现为,在恒温条件下萌发时间随着温度的升高而缩短;变温条件则表现为 3/16 °C 下最长, 0.3/13 °C 下较短,而 5/20 °C 下最短。



SRT: 室温储藏 30 d; 30DMC: 30 d 湿冷层积; GA<sub>3</sub>: 室温储藏 30 d 后用 500 mg L<sup>-1</sup> 的赤霉素处理 24 h

图3 不同处理方式下处理温度对轮叶马先蒿种子萌发的影响

Fig. 3 Effects of different culture temperatures under different treatment on seed germination of *Pedicularis verticillata*

30 d 的湿冷层积处理后,轮叶马先蒿的种子在 12 °C 下的萌发率有了一定的升高,但仅为 (20.00±1.92)%,仍然低于 3/16 °C [(27.78±2.22)%] 和 5/20 °C [(44.44±2.94)%] 下的萌发率。平均萌发时间的变化趋势与 SRT 处理下的结果一致。

赤霉素的处理结果也显示了温度对轮叶马先蒿种子萌发的显著影响,亦表现为在 3/16 °C 和 5/20 °C 的变温条件下萌发率较高。而恒温条件和 0.3/16 °C 下的萌发率无显著差别,均比较低。平均萌发时间的变化趋势依然如前两种处理 (SRT 和 30DMC)。

相同温度下不同处理间的萌发结果显示:在 5 °C, 9 °C 较低的恒温处理下 30 d 的湿冷层积处理明显抑制了轮叶马先蒿的种子的萌发;而 0.5/13 °C 的变温处理下 3 种处理的种子萌发率均显示最低;而 3/16 °C 的处理下 30 d 湿冷层积也明显低于其他 2 种处理方式 (表 1)。

平均萌发时间的统计结果显示:在 5 °C 恒温条件下,湿冷层积和赤霉素处理显著缩短了种子的萌

表 1 不同培养温度和处理方法对轮叶马先蒿种子萌发率 (GR, %) 和平均萌发时间 (MGT, d) 的影响  
Table 1 Effects of different culture temperatures and handling methods on the seed germination rate (GR, %) and mean germination time (MGT, d) of *Pedicularis verticillata*.

Treatment	Index	5 °C	9 °C	12 °C	0.5/13 °C	3/16 °C	5/20 °C
SRT	GR	27.78±2.22aA	23.33±3.85aA	17.78±1.11aA	4.44±1.11bB	64.44±4.84aA	57.78±4.44aA
	MGT	29.82±0.86aA	12.72±0.71aA	10.37±0.14aA	10.68±0.32aA	16.00±2.94aA	9.05±0.10aA
30DMC	GR	5.56±2.22bB	8.89±2.94bB	20.00±1.92aA	5.55±2.22bB	27.78±2.22bB	44.44±2.94aA
	MGT	14.89±0.59cC	8.71±1.29aB	6.83±1.03bB	6.55±1.03bB	8.17±0.17bB	6.10±0.53bB
GA <sub>3</sub>	GR	25.33±1.33aA	17.33±5.81aA	21.33±1.33aA	13.33±2.67aA	61.33±7.06aA	49.33±4.81aA
	MGT	26.10±1.07bB	10.31±0.71aB	10.41±0.41aA	10.83±0.92aA	16.50±1.26aA	9.27±0.18aA

数据为均值±标准误。不同字母 (小写字母代表不同处理温度, 大写字母代表不同处理方式) 代表在  $P<0.05$  水平下的显著差异

发时间,并且湿冷层积的效果最为明显;9℃下也表现为湿冷层积和赤霉素处理对种子萌发时间的显著缩短作用;其他4种温度条件下,赤霉素处理与SRT处理下的结果无异;而湿冷层积显著缩短了轮叶马先蒿种子的平均萌发时间(表1)。

PERMANOVA的处理结果也显示,处理温度和处理方式以及两者的互作对马先蒿种子的萌发率和平均萌发时间均产生了显著地影响(表2)。以上结果显示,轮叶马先蒿种子的萌发受温度的变化影响显著。可以表现为变温优于恒温;较高温度好于较低温度。

表2 处理温度,处理方式及其交互作用对轮叶马先蒿种子萌发率和平均萌发时间的置换多元方差分析结果

Table 2 PERMANOVA results for effects of temperature, treatment and its interaction on seed germination rate (GR) and mean seed germination time (MGT) of *Pedicularis verticillata*

Factor	GR		MGT	
	F	P	F	P
Temperature(Te)	26.3996	0.0001	89.7730	0.0001
Treatment (Tr)	10.0777	0.0001	106.8980	0.0001
Te×Tr	4.4411	0.0001	3.3357	0.0027
Residual	36		36	

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

气候是决定地球上植被类型及其分布的主要因素,因此气候与植被的关系在全球变化与陆地生态系统关系研究中具有十分重要的意义<sup>[15]</sup>。气候不但决定生物群落的分布<sup>[16]</sup>和植被覆盖度<sup>[17]</sup>,也在生态系统的生产力方面产生着重大的影响。很多研究显示,气候变化对植物生产力存在显著地影响,主要变现为暖湿型气候的促进作用,和冷干型的抑制作用<sup>[18]</sup>,也就是说水热匹配的重要性。雷占兰等<sup>[19]</sup>的研究显示降水量和气温以及水热匹配关系与牧草产量存在显著地正相关性。通过对1961—2007年间天山山区的气温和降水进行分析后发现虽然存在一定的周期性震荡,但总体呈较明显的“暖湿化”趋势,并且在七八十年代开始显著增加<sup>[20-21]</sup>。巴音布鲁克草原高寒沼泽,高寒草甸和高寒草原盖度的NDVI分析发现3种植被型均表现出波动性增加,但在1982—1985年,因气温和降水的减少而明显降低至历史最低水平。之后至2001年因水热条件的提升而明显好转<sup>[2]</sup>。

本研究结果也显示巴音布鲁克草原近30年来的气温和降水量方面虽然存在一定的波动,但是总体表现出升温和多雨的趋势。通过对1981—2010期间马先蒿生长季节内的气温数据进行分析发现,

无论是平均温度,最高温或最低温,年积温还是生长季内的积温都表现出显著地增加。而全年降水量和马先蒿生长期内的(5—9月)的总降水量也从1981到2010年间有一定幅度的增加。因此,水热条件的匹配对马先蒿的生长和扩散应该具有非常重要的推动作用。

此外,马先蒿种子的传播表现出“随水而进、随水而居、随水而散”的特征<sup>[9]</sup>。巴音布鲁克草原四面雪山环绕,温度的升高加剧了高山冰雪的融化再有降水的配合,使地表水流量增加,对轮叶马先蒿的扩散起到了巨大的推动作用。柳妍妍等<sup>[22]</sup>对轮叶马先蒿群落土壤种子库特征的研究也显示距离水源越近,轮叶马先蒿分布越多,种子数量越多。因此,温度的升高和降水量的充足无疑为轮叶马先蒿的种子萌发以及后期的生长和蔓延提供了优良的前提条件。

作为一种根部半寄生植物,马先蒿通过形成吸器从寄主植物处获得的大量水分和营养物质<sup>[23]</sup>以维持和促进自身的生长。尽管马先蒿的寄主范围广泛,但对寄主种类仍然有偏好性<sup>[24-25]</sup>。柳妍妍等的研究也表明,在巴音布鲁克草原,轮叶马先蒿的种群数量和禾本科牧草的生物量呈显著的负相关,而对其它植物的影响则不明显<sup>[5]</sup>。这说明不同寄主植物对轮叶马先蒿寄生的抵抗能力和耐受能力不同,其中禾本科牧草受轮叶马先蒿寄生的影响较大。我们通过对轮叶马先蒿的寄主范围进行调查发现,草原上常见的与马先蒿伴生的禾草类,豆科植物以及非豆科双子叶植物均可被轮叶马先蒿寄生。后期的栽培试验也显示出三大功能类群植物均对轮叶马先蒿的生长发育存在极为显著地促进作用,而在马先蒿苗期对寄主进行修剪发现寄主的损伤显著抑制了马先蒿的生长。这就说明寄主植物的生长状态显著影响着马先蒿的生长。巴音布鲁克草原气温和降水增加所带来的牧草生产力的恢复,必然更加有利于马先蒿的生长和繁殖。

马先蒿属植物种子一般被认为具有一定的生理休眠,而这种生理休眠可以被赤霉素或者湿冷层积所打破<sup>[13,26]</sup>。我们的实验发现采集后经一个月室温储藏的轮叶马先蒿种子在3/16℃和5/20℃的温度下萌发率可以达到60%以上,而相同温度条件下赤霉素处理的结果并无显著变化,也就说明此时轮叶马先蒿种子的休眠已被打破或者未进入休眠。而30d的湿冷层积处理发现,轮叶马先蒿种子的萌发率受到了明显的抑制。因此,我们怀疑轮叶马先蒿种子具有循环休眠的现象,属条件休眠状态。而这个状态主要受温度条件的变化所影响。巴音布鲁克草原地处高原高寒地带,气候寒冷多变,因此马

先蒿自身特有的休眠现象是对当地气候的一种适应,也是保证其种群定居和扩散的一个前提。

### 3.2 结论

1980—2010年新疆巴音布鲁克草原的气温和降水量均出现了显著的增加,当地气候“暖湿化”趋势变化明显。轮叶马先蒿种子萌发受温度变化影响显著,表现出其萌发率随着温度升高而显著提高。因此,当地气温的升高大大提高了轮叶马先蒿种子的萌发和后期种苗的建成,是轮叶马先蒿在新疆巴音布鲁克草原迅速蔓延的重要驱动力之一。此外,巴音布鲁克草原充足的水源和年降雨量的增加更加有助于轮叶马先蒿的繁殖和散播。

作为一种根部半寄生植物,轮叶马先蒿的生长发育受到寄主植物生长状况的显著影响。当地暖湿化的气候变化有利于寄主植物(牧草等)的生长,从而可以为马先蒿的寄生提供前提和保障,为马先蒿的生长繁殖提供充足的养分供应。

综上所述,巴音布鲁克草原气候变化对轮叶马先蒿种子萌发和种苗建成的直接影响和通过作用于寄主植物而对轮叶马先蒿的间接影响,均有利于其在该地区的生长、繁殖和扩散。

**致谢:** 本研究的开展得到了中国科学院新疆生态与地理研究所胡玉昆研究员及其课题组成员的大力支持,同时中国科学院昆明植物研究所中国西南野生生物种质资源库种子实验室郭云刚和杨静老师提供了实验平台,在此一并表示衷心的感谢!

### 参考文献:

[1] 曾朦瑶. 浅议新疆巴音布鲁克草原生态旅游可行性发展[J]. 现代营销, 2012, 2: 142-143.

[2] 丁涛, 李远, 刘艳. 巴音布鲁克草原主要植被 ndvi 变化与气候因子的关系[J]. 遥感信息, 2009, 1: 53-59.

[3] 宋宗水. 巴音布鲁克草原生态恢复与综合治理调查报告[J]. 绿色中国: 理论版, 2005: 16-19.

[4] 李毓堂. 巴音布鲁克草原生态破坏调查和治理对策[J]. 草原与草坪, 2006, 4: 12-14.

[5] 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.

[6] 桑格吉. 浅析马先蒿防治措施及存在问题[J]. 巴州科技, 2010, 2: 7-9.

[7] 李文利, 何文革. 新疆巴音布鲁克草原退化及其驱动力分析[J]. 青

海草业, 2008, 17(2): 44-47.

[8] 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.

[9] 王文香, 桑格吉, 李莉. 新疆巴音布鲁克草原毒害草马先蒿防治技术研究[J]. 草食家畜, 2009, 2: 49-50.

[10] 张晓艳, 胡玉昆, 姬承东, 等. 2, 4-丁酯对轮叶马先蒿的防除效果及对草地植被的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(4): 168-174.

[11] 汪诗平, 王艳芬, 陈佐忠, 等. 气候变化和放牧活动对糙隐子草种群的影响[J]. 植物生态学报, 2003, 27(3): 337-343.

[12] 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.

[13] REN Y Q, GUAN K Y. Effects of moist-chilling and GA(3) applications on seed germination of three *Pedicularis* species from Yunnan, China[J]. Seed Science and Technology, 2008, 36(1): 225-229.

[14] 张家宝, 陈洪武, 毛炜峰, 等. 新疆气候变化与生态环境的初步评估[J]. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(4): 1-11.

[15] 李镇清, 刘振国, 陈佐忠, 等. 中国典型草原区气候变化及其对生产力的影响[J]. 草业学报, 2003, 12(1): 4-10.

[16] 郭瑞芹. 全球气候变化的影响及策略[J]. 剑南文学: 下半月, 2010, 5: 243-243.

[17] 蔡承侠. 植被净第一性生产力及其对气候变化响应研究进展[J]. 新疆气象, 2003, 26(6): 1-7.

[18] 高素华, 潘亚茹. 气候变化对植物气候生产力的影响[J]. 气象, 1994, 20(1): 30-33.

[19] 雷占兰, 周华坤, 刘泽华, 等. 气候变化对高寒草甸垂穗披碱草生育期和产量的影响[J]. 中国草地学报, 2012, 34(5): 10-18.

[20] 普宗朝, 张山清, 王胜兰. 近47年天山山区自然植被净初级生产力对气候变化的响应[J]. 中国农业气象, 2009, 3: 283-288.

[21] 李珍, 姜逢清. 1961—2004年新疆气候突变分析[J]. 冰川冻土, 2007, 29(3): 351-359.

[22] 柳妍妍, 胡玉昆, 王鑫, 等. 轮叶马先蒿群落土壤种子库特征研究[J]. 自然资源学报, 2011, (01): 48-57.

[23] IRVING L J, CAMERON D D. You are what you eat: interactions between root parasitic plants and their hosts[J]. Advances in Botanical Research, 2009, 50(50): 87-138.

[24] LI A R, SMITH F A, SMITH S E, et al. Two sympatric root hemiparasitic *Pedicularis* species differ in host dependency and selectivity under phosphorus limitation[J]. Functional Plant Biology, 2012, 39(9): 784-794.

[25] REN Y Q, GUAN K Y, LI A R, et al. Host dependence and preference of the root hemiparasite, *Pedicularis cephalantha* Franch. (Orobanchaceae)[J]. Folia Geobotanica, 2010, 45(4): 443-455.

[26] LI A R, GUAN K Y, PROBERT R J. Effects of light, scarification, and gibberellic acid on seed germination of eight *Pedicularis* species from Yunnan, China[J]. Hortscience, 2007, 42(5): 1259-1262.

## Impacts of climatic changes as well as seed germination characteristics on the population expansion of *Pedicularis verticillata*

SUI Xiaolin<sup>1,2</sup>, LI Airong<sup>2</sup>, GUAN Kaiyun<sup>2,3\*</sup>

1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Key Laboratory of Resource Plants and Biotechnology, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204, China;

3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

**Abstract:** *Pedicularis verticillata* is a kind of root hemiparasite, which has recently been expanding in Bayanbulak Grassland of Xinjiang, and reducing productivity of grassland. Hence, threatening the utilization and development of local animal husbandry industry. In this research, we focused on the patterns of climatic change in past 30 years and the effect of temperature on seed germination. We then analyzed the reasons for population expansion of *P. verticillata* along the Bayanbulak Grassland. The results showed: 1) during 1980 to 2010, the mean, maximum and minimum temperature was increased with the rate of 0.3 °C each 10 years. The rate of effective accumulate temperature in the growing season of *P. verticillata* increased by about 48.755 °C (10 a) and per annual increased at 61.469 °C (10 a). Precipitation was increased significantly during the growth stage of *P. verticillata*. It indicated that the climate in Bayanbulak Grassland was getting warmer and wetter. 2) Seed of *P. verticillata* has the phenomena of dormancy cycle, which is an adaptation to the changeful alpine climate. Germination rate was significantly increased with the rise in temperature. Seeds stored in root temperature germinated highest in 3/16 °C and 5/20 °C, and the germination rate was more than 50%. After moist-chilling, seed germination rate of *P. verticillata* also improved with the increase in temperature, but only up to (44.44±2.94)% in 5/20 °C. 3) The “warm-wet” trend may facilitate seed germination and dispersal, contributing to the population expansion of *P. verticillata*.

**Key words:** *Pedicularis*; hemiparasitic plant; climate change; population expansion; germination rate