

迁地保护条件下两种沙冬青的开花物候比较研究

李新蓉¹ 谭敦炎^{1*} 郭江²

1 (新疆农业大学林学院, 乌鲁木齐 830052)

2 (新疆吐鲁番地区土肥站, 吐鲁番 838000)

摘要: 沙冬青属(*Ammopiptanthus*)植物是我国西北荒漠区唯一的常绿阔叶灌木。作者对吐鲁番沙漠植物园迁地保护的两种沙冬青的开花物候进行了详细的比较观察,旨在探讨它们在同一生境条件下开花特性的异同点及其影响因素。主要结果如下: (1) 两种植物在开花频率、花序开放顺序、开花振幅曲线及单花寿命等开花参数上相似,但在始花时间、单株花期、花序的开花数及开放持续时间与频率分布、开花振幅等参数上明显不同; (2) 在个体和群体水平上,蒙古沙冬青(*A. mongolicus*)始花时间均比新疆沙冬青(*A. nanus*)早,蒙古沙冬青开花全过程为20–21 d,新疆沙冬青为13–14 d; (3) 蒙古沙冬青花序的开花数比新疆沙冬青多、开放持续时间长,两者在开花数($F=17.51$, $P<0.01$)和持续时间 ($F=14.08$, $P<0.01$) 上均存在显著差异; (4) 花序上的花大多从近基部向两端开放,开花振幅呈单峰曲线,但新疆沙冬青的开花振幅较高; (5) 花序开放持续期的频率分布明显不同,新疆沙冬青较蒙古沙冬青更为集中,但两者的单花寿命稳定,均在7 d左右; (6) 花序上每天的开花数与其座果数呈正相关(蒙古沙冬青, $r=0.885$, $P<0.05$; 新疆沙冬青, $r=0.827$, $P<0.01$),但其开花数和座果数与始花时间存在不同程度的相关关系,这些特点可能与开花对传粉者的吸引以及物种本身的遗传特性有关。对上述观察结果及其影响因素的分析表明,两种植物在开花参数上所表现出的一致性可能是受系统发育限制的,而彼此间的差异可能与其进化历史及所处的环境异质性有关,是在与环境的长期适应过程中分别形成的一些可遗传的变异;而不同年份间两种沙冬青在花序的开花数及开放持续时间上表现出的差异可能与环境温度的变化有关。这些结果对于探讨该属植物的繁殖生物学特性及其保护对策具有重要意义。

关键词: *Ammopiptanthus*, 迁地保护, 开花物候, 开花参数, 开花振幅

Comparison of flowering phenology of two species of *Ammopiptanthus* (Fabaceae) under *ex situ* conservation in the Turpan Eremophytes Botanical Garden, Xinjiang

Xinrong Li¹, Dunyan Tan^{1*}, Jiang Guo²

1 College of Forestry Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052

2 Soil and Fertilizer Station of Turpan Region, Turpan, Xinjiang 838000

Abstract The genus *Ammopiptanthus* (Fabaceae), a typical evergreen broadleaf shrub of the northwestern deserts of China, comprises two species: *A. mongolicus* and *A. nanus*. Both are semi-endemic and relict species in China. In order to detect the differences between the two species in flowering phenology as well as factors influencing flowering, we investigated and compared flowering in the Turpan Eremophytes Botanical Garden in 2004 and 2005. (1) The two species are similar in terms of flowering frequency, flowering order of inflorescences, flowering amplitude curves, and the mean longevity of individual flowers, but differ considerably in the onset, the flowering duration of individuals, flower number per inflorescence, mean and frequency distribution of duration, and flowering amplitude. (2) At both individual and population levels, onset was earlier and duration was longer in *A. mongolicus* than in *A. nanus*. (3) *A. mongolicus* bore more flowers and had longer duration of flowering than *A. nanus*. There were significant differences both in flower number

收稿日期: 2006-01-23; 接受日期: 2006-04-12

基金项目: 国家自然科学基金(90302004, 30460029)和新疆高校科研计划重点项目(XJEDU2004123)资助

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: tandunyan@163.com

($F=17.51$, $P<0.01$) and duration of inflorescences ($F=14.08$, $P<0.01$) between the two species. (4) The flowering of both species initiated from near the base spreading to the two ends, presenting a unimodal flowering amplitude, but *A. nanus* had a relatively higher flowering amplitude. (5) There were obvious differences in the frequency distribution of duration of inflorescences between the two species, but the mean longevity of individual flowers were similar (about seven days). (6) Pearson correlation analysis showed that the fruit number of an inflorescence was positively correlated with its flowering number per day (*A. mongolicus*, $r=0.885$, $P<0.05$; *A. nanus*, $r=0.827$, $P<0.01$), while the flowering and fruit number of inflorescences per day had different correlations with onset, which may result from the different pollinators and genetic characters of the species. The results showed that the similarity in flowering parameters in two species of *Ammopiptanthus* may be explained by their phylogenetic relationships, while the differences, which are hereditary, may result from their evolutionary history in heterogeneous habitats. The differences in flower number and the duration of inflorescences in two years may be caused by temperature changes. These results can provide useful information for research on reproductive biology and conservation for the two *Ammopiptanthus* species.

Key words: *Ammopiptanthus*, *ex situ* conservation, flowering phenology, flowering parameters, flowering amplitude

开花物候是植物重要的生活史特征之一 (Ollerton & Lack, 1992), 同时也是一个重要的适合度因子 (Rathcke & Lacey, 1985; Ollerton & Lack, 1998; Abe, 2001), 它主要研究植物开花式样与非生物因子间的关系以及植物开花的遗传基础和自然选择, 探讨其适应意义 (Ollerton & Lack, 1992; White, 1995; Guo *et al.*, 1998)。植物个体或群体的开花物候可以用一系列参数如开花数、开花时间和开花持续时间等来量化 (Augspurger, 1983; Pickering, 1995), 这些参数能显著影响植物的生殖成功 (Widén, 1991; McInosh, 2002)。比较植物种间和种内开花参数的变化, 可以确定形成特定开花式样的组成成分, 并能确定特定的开花式样是否是一个种或居群在特定时间内本身固有的特性 (Ollerton & Lack, 1992)。因此, 在多个水平上研究植物 (尤其是系统发生关系相近的种类) 的开花物候特征及各物候参数的时空变异程度, 不仅可以探讨开花物候进化受系统发育限制的程度, 还可揭示影响植物开花时间的进化选择压力 (Primack, 1985; Bawa *et al.*, 2003)。

沙冬青属 (*Ammopiptanthus*) 为中亚荒漠东部特有成分, 主要分布在我国境内, 属中国半特有属 (王荷生, 1989)。该属全世界仅有 2 种, 即蒙古沙冬青 (*Ammopiptanthus mongolicus*) 和新疆沙冬青 (*A. nanus*) (Cheng, 1959; 韦思奇, 1998)。其中蒙古沙冬青分布于蒙古及我国内蒙古、宁夏、甘肃等地, 是阿拉善荒漠地区特有的建群植物; 新疆沙冬青主要分

布于新疆乌恰县及邻近的中亚部分地区。它们均是古老的第三纪子遗种, 为亚洲中部荒漠地区特有的常绿阔叶灌木 (王庆锁等, 1995; 尹林克, 1997), 已被列为我国重点保护植物 (傅立国, 1992)。

多年来, 我国学者对该属植物不仅从形态解剖 (刘家琼和丘新明等, 1982)、细胞学 (潘伯荣和黄少甫, 1993)、居群生物学 (陈国庆等, 2005) 及种子特性 (杨期和等, 2004) 等方面进行了不少研究, 还在迁地保护和人工种植方面开展了不少试验 (王继林等, 2000), 但对其物候特征的研究较少 (尹林克和王烨, 1993), 尤其对迁地保护条件下两种植物的开花物候还缺乏详细的比较研究。为此, 本文以中国科学院吐鲁番沙漠植物园为观测地点, 在分析前人研究结果的基础上, 对迁地保护的两种沙冬青开花物候进行了全面观察。重点探讨以下问题: (1) 两种沙冬青的开花物候特点及其影响因子有哪些? (2) 两种植物的开花物候与座果数的相关性。通过上述问题的解决为该属植物的繁殖生物学研究以及迁地保护提供基础理论资料。

1 材料与方法

1.1 研究材料

观察材料为种植于中国科学院吐鲁番沙漠植物园的两种沙冬青, 其中蒙古沙冬青于 1977 年从内蒙古磴口引进种子, 1980 年定植; 新疆沙冬青于 1985 年从新疆乌恰县康苏镇引进种子, 1986 年定植。在该园中, 两种植物生长良好, 其总状花序均

春季开花前花芽及花序迅速膨大,直至开花。它们在个体和群体水平上的开花物候特征见表2。

由表2可见,在个体水平上,蒙古沙冬青始花日期比新疆沙冬青早7–8 d、单株花期长6–7 d;在群体水平上:蒙古沙冬青的始花日期比新疆沙冬青早6–7 d,3 d后进入盛花期,开花全过程20–21 d;新疆沙冬青4 d后进入盛花期,开放过程为14–15 d,两个沙冬青群体的花期重叠约13–14 d。

2.2 花序水平的开花物候

2.2.1 开花数与持续时间

2004年和2005年,两种沙冬青花序上的开花数和开放持续时间统计结果见表3。蒙古沙冬青花序的开花数比新疆沙冬青多、开放持续时间长。对两种植物花序开花数和开放持续时间的单因素方差分析(One-way ANOVA)结果表明:不同年份间,蒙古沙冬青花序的开花数($F=4.79$, $P<0.05$)存在差异,开放持续时间($F=8.06$, $P<0.01$)存在显著差异;新疆沙冬青的开花数存在显著差异($F=9.27$, $P<0.01$),但

开花持续时间无差异。两种植物种间在开花数($F=17.51$, $P<0.01$)和持续时间($F=14.08$, $P<0.01$)上均存在显著差异。

此外,我们还对两种植物2005年花序开放持续时间的频率分布进行了统计,结果如图1。两种沙冬青花序开放持续时间的频率分布明显不同:新疆沙冬青较蒙古沙冬青更为集中。

2.2.2 最先开放花的位置频率分布

2005年两种沙冬青花序上最先开放花的位置频率分布统计结果见图2。蒙古沙冬青花序自基部向上的第2朵花首先开放的频率最高,而新疆沙冬青第3朵花首先开放的频率最高,说明两种植物花序上花的开放顺序基本相似,大多从花序近基部向两端开放。

2.2.3 开花振幅

2004年和2005年蒙古沙冬青和新疆沙冬青在花序水平的开花振幅如图3。在不同年份,两种沙冬青的开花振幅曲线基本相同,均呈单峰曲线。但新

表2 两种沙冬青个体和种群的开花物候(数据显示平均值、标准差和范围)
Table 2 The flowering phenological traits of *Ammopiptanthus mongolicus* and *A. nanus* at individual and population levels. Data shown are the mean \pm standard deviation, and range of values

观察项目 Observation item	蒙古沙冬青 <i>A. mongolicus</i>		新疆沙冬青 <i>A. nanus</i>	
	2004	2005	2004	2005
个体水平 Individual level				
始花日期 Onset	26 \pm 1.51 (March 26)	24 \pm 2.42 (March 24)	32 \pm 1.54 (April 2)	31 \pm 1.50 (March 31)
始花日期的范围 Range	25–36	24–34	28–35	29–35
持续时间 Duration (d)	19 \pm 1.51	20 \pm 2.42	13.2 \pm 1.60	13.0 \pm 1.54
持续时间的范围 Range	9–21	11–20	8–15	7–14
群体水平 Population level				
始花日期 Onset	March 31	March 27	April 4	April 3
开花高峰期 Peak flowering date	April 3	March 30	April 8	April 8
终花期 End date	April 18	April 16	April 18	April 16
持续时间 Duration (d)	21	20	15	14

表3 两种沙冬青花序上的开花数和开放持续时间
Table 3 The flower number and duration of flowering at inflorescence level in *Ammopiptanthus mongolicus* and *A. nanus* (n=50). Data shown are the mean \pm standard deviation, and range of values

观察项目 Observation item	蒙古沙冬青 <i>Ammopiptanthus mongolicus</i>		新疆沙冬青 <i>A. nanus</i>	
	2004	2005	2004	2005
开花数 No. of flowers	9.19 \pm 2.35	11.4 \pm 5.23	8.6 \pm 1.65	7.2 \pm 1.90
开花数的范围 Range	6–17	3–21	6–12	3–11
开放持续时间 Duration (d)	12.11 \pm 2.12	13.7 \pm 2.41	11.63 \pm 1.71	11.61 \pm 1.80
开放持续时间的范围 Range	8–17	9–18	8–15	8–16

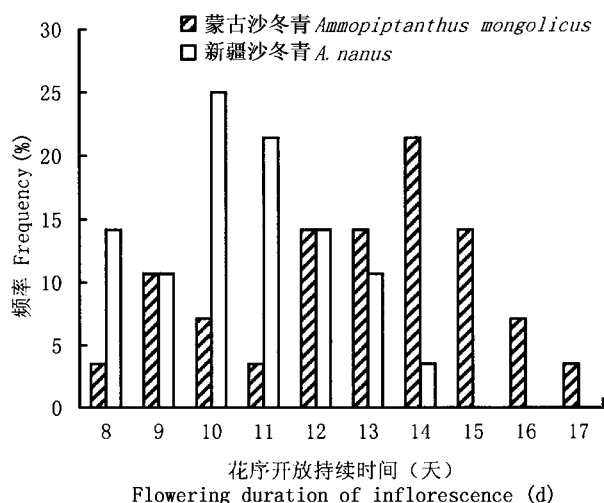


图1 两种沙冬青的花序开放持续时间频率分布(2005年)
Fig. 1 The frequency distribution of inflorescence flowering duration in *Ammopiptanthus mongolicus* and *A. nanus* in 2005

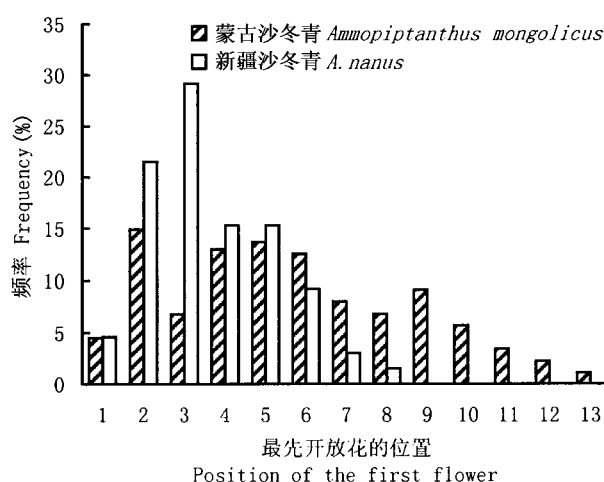


图2 两种沙冬青花序中最先开放花的位置频率分布(自基部向上)
Fig. 2 The frequency distribution of position of the first flower on inflorescences of *Ammopiptanthus mongolicus* and *A. nanus* (from near the base of inflorescence to the top end)

疆沙冬青平均每天开花数比蒙古沙冬青高, 具有较高的开花振幅。蒙古沙冬青始花后第4 d开花量达到高峰, 随后迅速下降, 至第7 d时开始缓慢下降, 开花过程达13 d; 新疆沙冬青始花后第6 d开花量达到高峰, 随后迅速下降, 开花进程达10 d。

2.2.4 单花持续时间

2004年和2005年, 蒙古沙冬青的单花开放持续时间分别为 7.25 ± 0.76 d和 7.13 ± 0.61 d, 新疆沙冬青的分别为 7.23 ± 0.77 d和 7.33 ± 0.92 d, 表明两种植物的单花寿命在年际间较稳定。两种植物的单花开放持续时间的频率分布统计结果见图4。两种沙冬青单花寿命为7 d的频率最高, 但蒙古沙冬青大多数花的寿命在7 d以内, 而新疆沙冬青绝大多数花的寿命在7 d以上。

2.3 开花参数与座果数的相关性

2005年两种植物在花序水平的始花日期(始花时间)、开花数与座果数的关系及其相关分析结果分别见图5和表4。

在花序水平上, 两种沙冬青每天的开花数与其座果数是成正相关的, 开花高峰期开放的花有较多的座果机会。相关分析结果表明: 蒙古沙冬青的开花数和座果数均与始花日期呈负相关($r = -0.730$, $r = -0.680$, $P < 0.05$), 开花数与座果数呈正相关($r = 0.885$, $P < 0.05$); 而新疆沙冬青的开花数和座果数与

始花日期不具相关性, 但开花数与座果数呈显著正相关($r = 0.827$, $P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 开花物候特点及其影响因子

开花物候是植物生活史的一个重要组成部分(Rathcke & Lacey, 1985; Ollerton & Lack, 1992), 它可表现在群落、种群、个体、花序或单花等多个水平上, 可在一定程度上反映植物的开花式样与遗传及环境因子的关系(Augspurger, 1983; Pickering, 1995)。一些研究表明, 开花物候不仅与植物类群的系统发生(常为属内)及遗传特性有关(Kochmer & Handel, 1986; Ollerton & Diaz, 1999), 而且还与环境条件(如纬度、海拔、光照、温度和湿度等)有密切的联系(Rathcke & Lacey, 1985)。

在我国, 对荒漠植物(尤其是在迁地保护条件下)的物候及其环境影响因子的研究已有不少报道, 如尹林克(1987)、王焱和尹林克(1991)、尹林克和王焱(1993)以及严成等(2002)对吐鲁番沙漠植物园引种栽培的荒漠植物的主要物候期进行过大量的观察与统计分析, 认为这些植物的物候特点除与其系统发生有关外, 还与海拔高度以及温度和光照等气

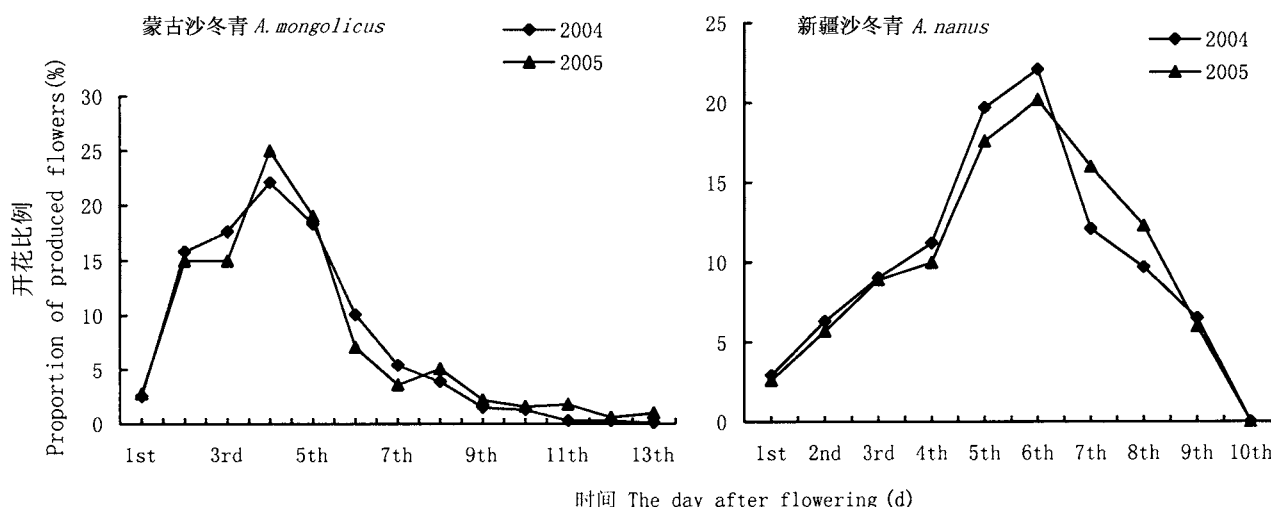


图3 蒙古沙冬青(a)和新疆沙冬青(b)的开花振幅曲线 (2004年和2005年)

Fig. 3 Flowering amplitude curves of *Ammopiptanthus mongolicus* (a) and *A. nanus* (b) in 2004 and 2005

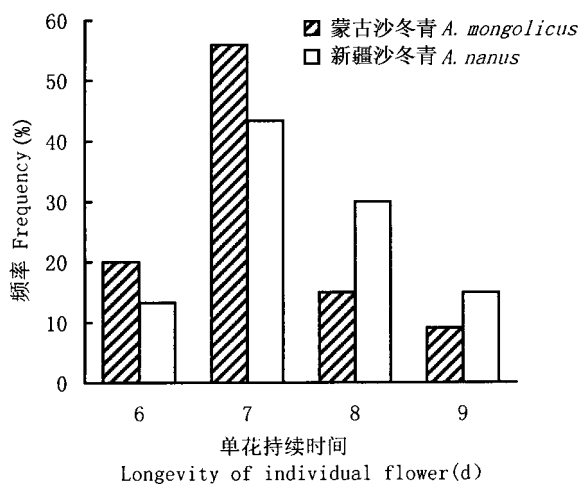


图4 两种沙冬青单花持续时间的频率分布 (2005年)

Fig. 4 The frequency distribution of individual flower longevity in two species of *Ammopiptanthus* in 2005

象因子密切相关。李新荣等(1999)对宁夏沙坡头沙漠实验站引种栽培的我国北方荒漠化地区不同植被地带30种灌木的物候特征进行的观测与分析结果表明, 这些物种的开花和果熟期虽然差异较大, 但其他物候期表现一致, 其物候特征受遗传和环境因子共同作用, 温度和光照是诱导其物候的主要气象因子。方海涛等(2004)对蒙古沙冬青5个群体的花

生物学特性进行了观察, 认为温度和土壤含水量对植株的开花数和始花时间均有影响。

上述研究表明, 荒漠植物的物候除受自身的遗传特性控制外, 还与环境因子密切相关。但以往报道对其具体的开花物候参数以及哪些参数受环境和遗传的影响较大均缺乏详细的比较分析与探讨。

沙冬青属是豆科黄华族中较原始和孤立的类群, 仅有2个种。它们可能是在早第三纪古地中海退却时北上, 至晚第三纪全球气候变冷时退缩至现今的中亚荒漠、砾石戈壁和沙丘(王恒昌和孙航, 2001), 目前间断分布于相距近3000 km的狭域中。前人的研究表明: 这两种植物在生殖年龄和开花时间及单株花期等方面均有所不同, 海拔高度、温度和土壤含水量对开花物候有明显的影响, 但光照的影响不大(尹林克, 1987; 王焘和尹林克, 1991; 尹林克和王焘, 1993; 李新荣等, 1999; 方海涛等, 2004)。在本文中, 我们所观察到的两种沙冬青的开花物候参数均表现为: 每年开花一次; 花序多从近基部向两端开放(图2), 开花振幅呈单峰曲线(图3), 单花寿命基本相同(图4)。所不同的是: 蒙古沙冬青个体和群体水平的始花时间均比新疆沙冬青早、单株花期长(表2); 花序的开花数比新疆沙冬青多、开放持续时间长, 二者存在显著差异, 但新疆沙冬青花序开放持续时间的频率分布较蒙古沙冬青更为集中(图1), 开

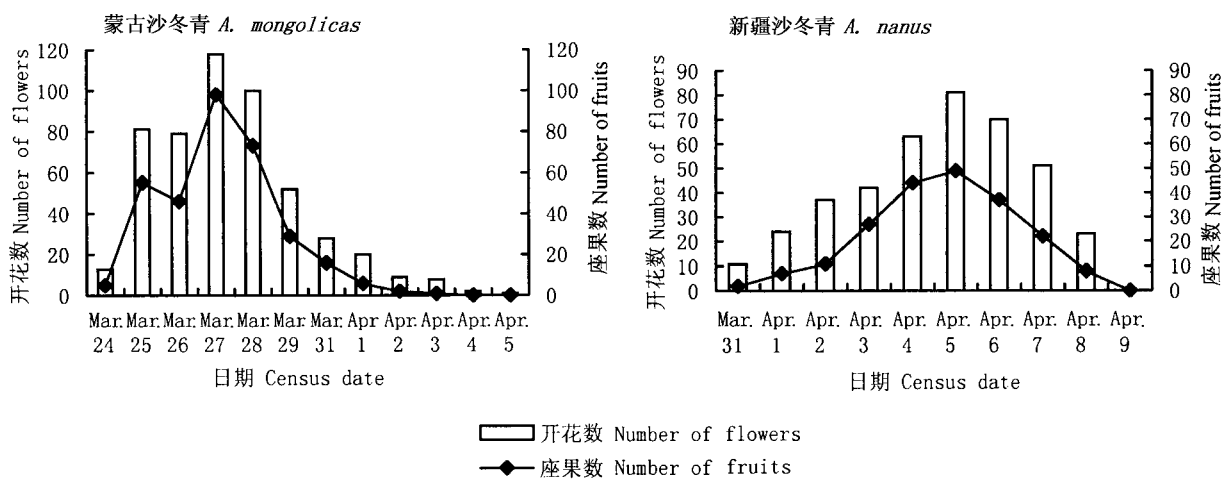


图5 2005年蒙古沙冬青(a)和新疆沙冬青(b)的开花数和座果数的关系
Fig. 5 The relationship between number of flowers each day and number of fruits in two species of *Ammopiptanthus* in 2005

表4 两种沙冬青在花序水平的始花时间、开花数及座果数的相关分析
Table 4 Pearson correlation coefficients of flowering date, flower number per day and fruit number at inflorescence level in *Ammopiptanthus mongolicus* and *A. nanus* in 2005

		始花时间 Flowering date	开花数 Flower number
蒙古沙冬青 <i>A. mongolicus</i>	始花时间 Flowering date	—	—
	每天开花数 Flower number per day	−0.730*	—
	座果数 Fruit number	−0.680*	0.885*
新疆沙冬青 <i>A. nanus</i>	始花时间 Flowering date	—	—
	每天开花数 Flower number per day	0.443	—
	座果数 Fruit number	0.457	0.827**

* Correlation is significant at 0.05 level (2-tailed); ** correlation is significant at 0.01 level (2-tailed).

花振幅高、开花进程短(图3)。

在这些特点中,两种植物在开花时间、单株花期、单花开放时间方面与尹林克和王烨(1993)及方海涛等(2004)的观察结果基本一致。

从影响其开花物候的遗传与环境因子看,上述特点说明两个问题:一方面,由于二者为近缘种,彼此间形态特征相似,可能来自于一个共同的祖先(Ge *et al.*, 2005),因此,它们在开花频率、花序开花顺序、开花振幅曲线及单花寿命上表现出的相同点,可能主要受其系统发生(属内)的限制,属于该属共有的开花物候特征。另一方面,虽然两种植物在吐鲁番沙漠植物园中受到的环境选择压力完全一致,但由于在其进化历史过程中,二者经历了分布的改变、生境片断化和种群隔离,形成了种间在地理分布上严格的空间隔离,在DNA水平上的遗传变异也高达63% (Ge *et al.*, 2005),因此,两种植物在始花

时间、单株花期、花序的开花数及开花持续时间与频率分布、开花振幅等参数上所表现出的差异,可能与其进化历史和长期所处的环境异质性有关,是两种植物在与环境的长期适应过程中分别形成的一些可遗传的变异,反映了二者间的遗传分异。

此外,不同年份间,两种沙冬青在花序的开花数和开放持续时间上存在不同程度的变化(表3),这些变化可能与环境因子的年际变化有关。在吐鲁番沙漠植物园极端干旱的环境中,虽然不同年份间降水量变化很小,但气温变化较大(表1),因此可能主要是由温度的变化引起的。这与王烨和尹林克(1991)、尹林克和王烨(1993)以及严成等(2002)对该园中植物的物候分析结果相似,说明在吐鲁番沙漠植物园中,温度是影响荒漠植物开花物候在不同年份间表现差异的主要环境因素之一。

由此可见,温度和遗传因子可能是导致两种沙

冬青的开花数和开花持续时间在年际间发生变化的重要选择压力。

3.2 始花时间、开花数及座果数的相关性

开花物候对植物的生殖成功具有一定的影响(Primack, 1985)。Augspurger (1983) 认为植物的开花数是决定其座果率的重要因子, 在其观察的6种新热带灌木的开花物候中, 有5种植物个体的开花数与座果率成正相关。而在豆科植物 *Geoffroea decorticans* 中, 开花高峰期开放的花座果率也高(Eynal & Galetto, 2002)。在濒危植物长柄双花木 (*Disanthus cercidifolius* var. *longipes*) 中, 始花时间与开花数及座果率均呈显著负相关, 始花早的比始花迟的座果率高, 而开花数与座果率表现出线性正相关(肖宜安等, 2004)。

本文通过对两种沙冬青花序水平的始花时间、开花数与座果数的关系及其相关分析发现: 在花序水平上, 两种植物每天的开花数与其座果数是成正相关的, 但蒙古沙冬青的开花数和座果数均与始花时间呈负相关, 而新疆沙冬青的开花数和座果数与始花时间不具相关性(图5和表4)。这些特点表明: 对两种沙冬青而言, 在单位时间内开花数量多, 有利于吸引更多的传粉者, 以增加传粉者对每朵花的拜访及传粉机会(另文发表), 从而提高座果的机会。但两种植物的开花数、座果数与始花时间所呈现出的不同的相关关系, 与肖宜安等(2004)在长柄双花木中观察的结果相似, 可能与其物种本身的遗传特性有关。

致谢: 本文的所有观察工作均在中国科学院吐鲁番沙漠植物园进行。在实验过程中, 该园的尹林克主任和张海波、张道远副主任及其他工作人员给予了大力支持和帮助, 谨此致谢。

参考文献

- Abe T (2001) Flowering phenology, display size, and fruit set in an understory dioecious shrub, *Aucuba japonica* (Cornaceae). *American Journal of Botany*, **88**, 455–461.
- Augspurger CK (1983) Phenology, flowering synchrony, and fruit set of six neotropical shrubs. *Biotropica*, **15**, 257–267.
- Bawa KS, Kang H, Grayum MH (2003) Relationships among time, frequency, and duration of flowering in tropical rain forest trees. *American Journal of Botany*, **90**, 877–887.
- Chen GQ (陈国庆), Huang HW (黄宏文), Ge XJ (葛学军) (2005) Allozyme diversity and population differentiation in an endangered plant, *Ammopiptanthus nanus* (Leguminosae). *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物研究), **23**, 131–137. (in Chinese with English abstract)
- Cheng SH (1959) *Ammopiptanthus* Cheng f. a new genus of Leguminosae from central Asia. *Journal of Botany, USSR*, **44**, 1381–1386.
- Dafni A (1992) *Pollination Ecology: a Practical Approach*, Oxford University Press, Oxford.
- Eynard C, Galetto L (2002) Pollination ecology of *Geoffroea decorticans* (Fabaceae) in central Argentine dry forest. *Journal of Arid Environments*, **51**, 79–88.
- Fang HT (方海涛), Wang LY (王黎元), Zhang XG (张晓刚) (2004) A study on flower biology of endangered plant *Ammopiptanthus mongolicus*. *Guihaia* (广西植物), **24**, 478–480. (in Chinese with English abstract)
- Fu LK (傅立国) (1992) *China Plant Red Data Book: Rare and Endangered Plants* (中国植物红皮书: 稀有濒危植物 (第一册)). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Ge XJ, Yu Y, Yuan YM, Huang HW, Yan C (2005) Genetic diversity and geographic differentiation in endangered *Ammopiptanthus* (Leguminosae) populations in desert regions of northwest China as revealed by ISSR analysis. *Annals of Botany*, **95**, 843–851.
- Guo H, Uang H, Mockler TC, Lin C (1998) Regulation of flowering time by *Arabidopsis* photoreceptors. *Science*, **279**, 1360–1363.
- Kochmer JP, Handel SN (1986) Constraints and competition in the evolution of flowering phenology. *Ecology Monographs*, **56**, 303–325.
- Li XR (李新荣), Zhang JG (张景光), Li YJ (李玉俊), Shi QH (石庆辉), Liu XM (刘新民) (1999) A phenological study on main shrub species in the desertification region of northern China. *Journal of Natural Resources* (自然资源学报), **14**, 128–134. (in Chinese with English abstract)
- Liu JQ (刘家琼), Qiu XM (丘新明) (1982) Ecological, physiological and anatomical traits of *Ammopiptanthus mongolicus* grown in desert of China. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **24**, 568–573. (in Chinese with English abstract)
- McIntosh ME (2002) Flowering phenology and reproductive output in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae). *Plant Ecology*, **159**, 1–13.
- Newstrom LE, Frankie GW, Baker HG, Colwell RK (1994) Diversity of long-term flowering patterns. In: *La Selva: Ecology and Natural History of a Neotropical Rain Forest* (eds McDade LA, Bawa KS, Hespdenheide HA, Hartshorn GS), pp.142–160. University of Chicago Press, Chicago.
- Ollerton J, Lack A (1992) Flowering phenology: an example of relaxation of natural selection. *Trends in Ecology and Evolution*, **7**, 274–276.
- Ollerton J, Lack A (1998) Correlation between flowering phenology, plant size and reproductive success in *Lotus corniculatus* (Fabaceae). *Plant Ecology*, **139**, 35–47.
- Ollerton J, Diaz A (1999) Evidence for stabilizing selection

- acting on flowering time in *Arum maculatum* (Araceae): the influence of phylogeny on adaptation. *Oecologia*, **119**, 340–348.
- Pan BR (潘伯荣), Huang SF (黄少甫) (1993) Studies on the cytology of *Ammopiptanthus* genus. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **35**, 314–317. (in Chinese with English abstract)
- Pickering CM (1995) Variation in flowering parameters within and among five species of Australian alpine *Ranunculus*. *Australian Journal of Botany*, **43**, 103–112.
- Primack RB (1985) Longevity of individual flowers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **16**, 15–37.
- Rathcke B, Lacey EP (1985) Phenological patterns of terrestrial plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **16**, 179–214.
- Wang HS (王荷生) (1989) A study on the origin of spermatophytic genera endemic to China. *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **11**, 1–16. (in Chinese with English abstract)
- Wang JL (王继林), Guo ZZ (郭志中), Yu HB (于洪波), Wang SY (王三英), He HL (何虎林) (2000) Comparative trial of 4 cultivating seedlings methods for *Ammopiptanthus mongolicus*. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **20**, 320–322. (in Chinese with English abstract)
- Wang QS (王庆锁), Li Y (李勇), Zhang LZ (张灵芝) (1995) General situation of research on rare and endangered *Ammopiptanthus* plant. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **3**, 153–156. (in Chinese with English abstract)
- Wang HC (王恒昌), Sun H (孙航) (2001) A preliminary study on phytogeography of the tribe Thermopsidae (Papilionaceae). *Acta Botanica Yunnanica* (云南植物研究), **23**, 17–28. (in Chinese with English abstract)
- Wang Y (王烨), Yin LK (尹林克) (1991) The phenology on 19 rare and endangered desert plant species. *Arid Zone Research* (干旱区研究), **4**(4), 25–32. (in Chinese)
- Wei SQ (韦思奇) (1998) Thermopsidae. In: *Flora Reipublicae Popularis Sinicae* (中国植物志), Tomus 42 (ed. Dectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae Agendae Academicae Sinicae Editi (中国科学院中国植物志编委会)), pp.394–397. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- White LM (1995) Predicting flowering of 130 plant at 8 locations with temperature and day length. *Journal of Range Management*, **48**, 108–114.
- Widén B (1991) Environmental and genetic influences on phenology and plant size in a perennial herb *Senecio integerrimus*. *Canadian Journal of Botany*, **69**, 209–217.
- Xiao YA (肖宜安), He P (何平), Li XH (李晓红) (2004) The flowering phenology and reproductive features of the endangered plant *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* H.T. Chang (Hamamelidaceae). *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **24**, 14–21. (in Chinese with English abstract)
- Yan C (严成), Yin LK (尹林克), Wei Y (魏岩) (2002) Analysis on phenology of *Alhagi sparsifolia* (B. Keller et Shap.) Shap. *Journal of Plant Resources and Environment* (植物资源与环境学报), **11**(3), 24–28. (in Chinese with English abstract)
- Yang QH (杨期和), Ge XJ (葛学军), Ye WH (叶万辉), Deng X (邓雄), Liao FL (廖富林) (2004) Characteristics of *Ammopiptanthus nanus* seed and factors affecting its germination. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **28**, 651–656. (in Chinese with English abstract)
- Yin LK (尹林克) (1997) Diversity and *ex situ* conservation of plants in the desert region of temperate zone in China. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **5**, 40–48. (in Chinese with English abstract)
- Yin LK (尹林克) (2004) Turpan Eremophytes Botanic Garden of the Chinese Academy of Sciences - a developing conservation and research base of plant resources diversity in desert area. *Arid Zone Research* (干旱区研究), **21** (Suppl.), 1–4. (in Chinese)
- Yin LK (尹林克), Wang Y (王烨) (1993) Preliminary study on the phenological characteristics of *Ammopiptanthus* during flowering period. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), **10** (2), 54–56. (in Chinese with English abstract)
- Yin LK (尹林克) (1987) Observations on the phenology of 68 species in Turpan Eremophytes Botanic Garden. *Arid Zone Research* (干旱区研究), **4** (4), 25–32. (in Chinese)

(责任编辑: 张大勇 责任编辑: 时意专)