

不同水分下准噶尔无叶豆分株种群特征 和生物量分配差异

王建成, 施 翔, 张道远*, 尹林克

(中国科学院生物地理与生物资源重点实验室, 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011
中国科学院新疆生态与地理研究所吐鲁番沙漠植物园, 吐鲁番 838008)

摘要: 准噶尔无叶豆是豆科无叶豆属小半灌木, 在中国仅片断化分布于新疆古尔班通古特沙漠局部区域。该种自然种群种子萌发率极低 (<3%), 主要靠克隆繁殖维持种群。为研究克隆生长在异质性生境中的可塑性特征及其生态适应意义, 对生境土壤含水量存在差异的两个准噶尔无叶豆自然种群 (河边种群, 沙漠种群) 的分株种群特征、生物量及其分配比重进行了比较, 研究发现: ①在分株种群特征上, 河边种群的分株显著高于沙漠种群, 分株间距也显著大于沙漠种群。沙漠种群分株密度和根的密度显著大于河边种群, 但每一分株拥有根的概率显著小于河边种群; ②在生物量分配方面, 河边种群具有比沙漠种群大的根生物量, 但根茎生物量则要显著的小于沙漠种群; ③在植株各部分生物量比重随植株大小的变化趋势上, 河边种群各部分的比重随植株大小变化的趋势平缓, 而沙漠种群各部分的比重变化趋势则较为急剧, 表明河边准噶尔无叶豆分株种群随着植株的大小变化, 资源分配比例并没有发生很明显的变化, 而沙漠种群变化较大。结果表明, 准噶尔无叶豆种群对所处生境水分条件存在可塑性响应, 并通过分株种群特征变化和生物量分配差异应对水分条件的变化, 形成自身的适应对策。

关键词: 表型可塑性; 分株种群特征; 生物量分配; 水分; 准噶尔无叶豆

文章编号: 1000-0933 (2009) 12-6475-07 中图分类号: Q948 文献标识码: A

Ramet population characteristics and biomass allocation of *Eremosparton songoricum* growing under different water conditions

WANG Jian-Cheng, SHI Xiang, ZHANG Dao-Yuan*, YIN Lin-Ke

Key Laboratory of Biogeography and Bioresource, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China;
Turpan Eremophytes Botanical Garden, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6475 ~ 6481.

Abstract: *Eremosparton songoricum* is a dwarf shrub found in mobile or semi-fixed sand dunes of central Asia. The germination of *E. songoricum* seeds in the natural populations is less than 3%, thus clonal propagation seems to be particularly important. Understanding clonal growth characteristics of *E. songoricum* is potentially helpful for vegetation restoration and conservation efforts. In this paper, two natural populations in the Gurbantuggut Desert of Xinjiang, China, one located along a riverside (GPS location: 46°31.09'N, 88°33.06'E, sand dune slope 15°) and another located in the desert hinterland (GPS location: 46°28.07'N, 88°33.07'E, sand dune slope 30°), were investigated in late June of 2007. Height and density of ramets were investigated within three 4m 4m sites in the two populations. Biomass of above and underground (0–60cm) of ramets was measured and the proportions of biomass in each plant part (foliage, flower, adventitious roots (rhizomes) and vertical roots) were calculated in one of three sites. The results were as follows: ① Ramet density and adventitious root density were significantly higher, but ramet height and distance between individuals were significantly lower in the desert population than those in the riverside population. ② The biomass of adventitious roots

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2009CB825104); 国家自然科学基金资助项目 (30970547); 新疆维吾尔自治区科技支撑计划资助项目 (200933122)

收稿日期: 2008-08-20; 修订日期: 2009-04-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: daoyuanzhang@163.net

(rhizomes) was significantly lower and the biomass of vertical roots was significantly higher in the desert population compared to the riverside population. ③The change in proportion of biomass in each plant part with increasing plant biomass were more dramatic in the desert population than in the riverside population, suggesting different resource allocation strategies with increasing plant biomass for the two populations. These findings indicate that the clonal growth of ramet populations of *E. songoricum* have greater morphological plasticity under different water conditions, which are attributed to survival in the arid and stressful sand dune environment.

Key Words: phenotypic plasticity; ramet population characteristics; biomass allocation; water; *Eremosparton songoricum*

表型可塑性是指一个生物个体生长发育过程中遭受不同环境条件作用时产生不同表型的能力^[1],大量物种和种群的研究表明,可塑性是一个可被选择并使物种适应不同环境的复合性状^[2]。克隆植物具有基株以分株为单位的克隆构件性和分株以其分枝为单位的有机体构件性的双构件性^[3],因此呈现出比非克隆植物更广泛的表型可塑性^[4]。克隆分株种群特征(尤其是种群密度和分株间隔距离及其在不同生境中的变化)能反应和指示植物的生态适应对策^[5]。植物的克隆构型与分株种群特征是紧密相关的,克隆构型和分株种群特征是植物克隆生长及其生态适应对策研究的基本内容^[6]。同一物种的克隆构型,由于可塑性,在不同环境中也可能不同,进而,克隆分株种群特征也表现出不同。对克隆植物在不同生境中分株种群特征的比较研究,是深入研究克隆植物资源利用对策(即觅食行为)的有效途径^[5],有助于理解表型可塑性的生态适应意义。

准噶尔无叶豆系豆科无叶豆属超旱生小半灌木,中亚荒漠特有种,稀有种^[7]。该种分布区和生态幅狭窄,在中国仅片断化分布于新疆古尔班通古特沙漠局部区域^[8,9]。准噶尔无叶豆多分布在流动或半固定沙丘的迎风坡中下部和风蚀谷地的侧坡地段,是典型的兼性克隆植物,既能开花结实进行有性繁殖,又能通过水平根茎进行无性克隆繁殖。但该种自然种群种子萌发率小于3%^[10],克隆生长与克隆繁殖对准噶尔无叶豆的生存繁衍发挥重要作用。准噶尔无叶豆种群近几十年来受到人类活动的强烈干扰(主要是沙漠油田开发、农垦开荒、筑路修渠等行为),使得种群数量减少,面积逐渐缩小,种群间日益隔绝且发生显著遗传分化^[11],因此,对该物种进行研究迫在眉睫。然而国内外关于准噶尔无叶豆的研究较少,主要集中在引种驯化^[12]、化学成分^[13~15]、种子萌发特性^[16]、遗传变异及克隆多样性^[11]、生物生态学特性^[10]、开花物候^[17]等方面,而对于其克隆生长特性的研究尚未见报道。对于克隆植物而言,克隆结构与克隆种群动态的背景知识对加深理解物种繁殖过程及生态适应很有必要,因此,本文通过调查不同生境条件下准噶尔无叶豆自然种群的分株种群特征、生物量及其分配的可塑性变化,探讨植物克隆生长对土壤水分条件变化的生态适应对策,从而丰富植物表型可塑性的理论研究,深化对克隆生长机理的了解和对种群适应与调节机制的认识,并为准噶尔无叶豆的资源保护、培育和利用提供有意义的参考。

1 材料和方法

1.1 研究地区概况

研究区域位于古尔班通古特沙漠。古尔班通古特沙漠坐落于北疆准噶尔盆地中央低洼部分,面积4.88万km²,是我国第二大沙漠^[18]。古尔班通古特沙漠年平均气温为6~10℃,7月份平均气温为24~27℃,极端最高气温高达40℃以上,≥10℃的活动年积温可达3000~3500℃;空气相对湿度平均为50%~60%;冬春有雨雪,年降水量普遍不超过150mm,沙漠腹地年降水量仅有70~100mm;而蒸发量却高达2000mm以上,是降水量的20~30倍。干旱少雨,温差大,蒸发强烈,因此该地区属于典型的温带内陆荒漠气候区。尽管降水很少,但由于季节分配较均匀,冬春有一定雨雪,使短命和类短命植物获得一定发育。沙漠中小半乔木种群广泛分布,植被较内亚其它荒漠茂密。整个古尔班通古特沙漠是固定和半固定沙漠^[9,19]。

研究地点位于古尔班通古特沙漠最北缘阿尔泰地区富蕴县杜热乡境内自然分布的准噶尔无叶豆种群。其中一个种群边缘有乌伦古河经年流淌,沙土水分条件较好(简称“河边种群”,GPS: 46°31.09'N, 88°33.06'

E);而另一个种群距河边种群约 5km,四周被流动-半流动沙丘包围,干旱程度严重(简称“沙漠种群”,GPS: 46°28.07'N, 088°33.07'E)。因此,这两个生境土壤含水量存在差异的自然分布种群是开展荒漠克隆植物表型可塑性研究的理想场所。

1.2 研究方法

2007 年 6 月下旬,分别选择河边种群和沙漠种群作为样地。在两处样地各设置 3 个 4m×4m 样方,对样方内土壤按对角线设 3 点,分别在 0~20cm、20~40cm 和 40~60cm 层面进行取样,测土壤含水量。在每一样方内调查分株高度和分株数。另外,把每一样地的其中一个样方划分成 16 个 1m×1m 的基本样方,以基本样方为单位,挖深 60cm,进行地上和地下植物部分收获,带回实验室。挖掘时记录基本样方内的各分株是否存在根和根的数目,存在根记为 1,不存在记为 0,以平均数作为基本样方内的根存在率。收获部分在 70℃ 下烘干至恒重,测定地上枝叶生物量、花果生物量、地下根茎生物量和根生物量(g)(本文中地下水平部分作为根茎,其余的作为根),计算生物量对各部分的分配比例(%)。

$$\text{分株平均间距} = (\text{样方面积} / \text{样方内个体数})^{1/2} [5]$$

株高和分株平均间距以大样方为单位,重复数为 3,其余各量以基本样方为单位,重复数为 16。

通过植株的形态结构来判断准噶尔无叶豆无性系年龄结构较难操作,截至目前,还没有明确判断野生准噶尔无叶豆分株年龄的有效方法。同一区域植株的大小不同主要是生长年限的差异,因此,可通过分析植株各部分生物量占植株生物量的比重随植株大小变化的趋势图,研究植株各年龄段在生物量分配的动态变化。

1.3 数据分析

所有数据先用 Excel 2003 处理,各量以平均值±标准误差表达。再用 SPSS14.0 软件进行统计分析和作图,用独立样本 *T* 检验方法比较两样地准噶尔无叶豆分株种群特征差异的显著性,用 Legacy Dialogs 中的 Bar Charts 作图 1,用 Interactive 中的 Create Scatterplot 作图 2。数据的正态性根据 Kolmogorov-Smirnov 指数和 Shapiro-Wilk 指数综合考虑,方差齐性检验用 Levene 检验法。

2 结果与分析

2.1 两个种群的土壤含水量比较

6 月下旬,由于地表干沙层的保护作用,古尔班通古特沙漠距地表数厘米的层面存在着最大含水层——悬湿沙层。在本研究中,河边种群悬湿沙层位于距地表 6~35cm 的深度位置,而沙漠种群悬湿沙层位于距地表 8~30cm 的深度位置。对所调查的 3 个层面土壤含水量进行比较,发现两样地在 0~20cm 层面的土壤含水量没有显著区别(表 1),而且均高于其下两个层面的土壤含水量,而在 40~60cm 层面两样地土壤含水量有显著差异($P=0.046$),其中河边种群的样地土壤含水量明显高于沙漠种群。

表 1 两个种群土壤含水量比较

Table 1 Comparison of soil moisture in two populations of *E. songoricum*

取样深度 Depth in soil	0~20cm(%)	20~40cm(%)	40~60cm(%)
河边种群 Riverside population	1.87 ± 0.44 ^a	1.18 ± 0.17 ^a	0.62 ± 0.073 ^a
沙漠种群 Desert population	1.75 ± 0.60 ^a	1.14 ± 0.48 ^a	0.31 ± 0.078 ^b

不同的字母(a, b)表示两样本差异显著($P<0.05$) Different letters(a, b) indicate different significance($P<0.05$); 下同 the same below

2.2 分株种群形态特征

两个种群在分株种群特征上存在显著差异(表 2)。河边种群的准噶尔无叶豆分株显著的高于沙漠种群($P=0.005$),分株间距也显著的大于沙漠种群($P=0.004$)。而沙漠种群分株密度和根的密度显著大于河边种群($P=0.007$ 和 $P<0.001$),但每一分株拥有根的概率显著小于河边种群($P=0.012$)。

2.3 植株不同部分的生物量分配

在生物量分配方面(图 1),河边种群具有比沙漠种群大的根生物量($P=0.006$),根茎生物量则要显著的小于沙漠种群($P<0.001$)。两种群在花果生物量、枝条生物量以及植株总体生物量方面没有显著性差异。

表 2 两个种群的形态特征比较

Table 2 Comparison of morphological characteristics in two populations of *E. songoricum*

种群 Population	高 (cm) Height	分株间距 (cm) Distance	种群密度 (No·m ⁻²) Ramet density	根存在率 (%) root existing rate	根密度 (No·m ⁻²) Root density
河边种群 Riverside population	60.60 ± 3.17 ^a	76.39 ± 5.40 ^a	1.77 ± 0.27 ^b	78.65 ± 8.67 ^a	1.88 ± 0.27 ^b
沙漠种群 Desert population	41.73 ± 1.26 ^b	39.13 ± 3.01 ^b	6.75 ± 0.95 ^a	52.66 ± 3.84 ^b	4.25 ± 0.35 ^a

2.4 两个种群植株不同部分的生物量分配比重变化

比较两个种群的植株不同部分的生物量分配比重变化趋势(图2)发现:河边种群根茎生物量的分配比重显著地小于沙漠种群($P < 0.001$),而根生物量的分配比重显著地大于沙漠种群($P < 0.001$)。整体上,河边种群各部分的比重随植株大小变化的趋势比较缓和,基本上保持不变,而沙漠种群植物各部分的比重变化趋势则较为急剧,表明河边种群植株各部分的比重随着植株大小的不同变化很小,沙漠种群植株各部分的比重随着植株大小的不同变化较大,即河边准噶尔无叶豆分株种群随着植株的大小变化,资源分配比例并没有发生很明显的变化,而沙漠种群变化较大。沙漠种群的花果和枝条比重变化的趋势线斜率为负,表明随着分株的生长,花果和枝条部分的生物量比重越来越小。根茎和根比重变化的趋势线斜率为正,表明随着分株的生长,根茎和根部分的生物量比重越来越大。

3 讨论

干旱荒漠区年降水量稀少,水成为影响环境变异的重要因素。对于植物的生长,土壤水分是最大的限制因子^[20]。随着植物所处的环境水分条件的不同,克隆植物会适应这种差异而发生一系列表型可塑性变化,在分株种群特征和资源分配方面反映出来。本研究选择的两个种群土壤含水量有差异,其中沙漠种群水分条件较河边种群差,悬湿沙层厚度小,在距地表 40 ~ 60cm 层面的土壤含水量与河边种群有显著差别。野外观察发现:与河边种群相比,沙漠种群准噶尔无叶豆分株植株冠幅小,形成的根直径较小,占有的资源分配量不大;而在悬湿沙层分布的根茎直径较大,资源分配量大。这使得沙漠种群在以下两点与河边种群有所不同,一是在根茎中资源的贮藏率的提高,加强了植株对环境干扰的抵御能力,二是根茎作为克隆生长器官,对其分配较多的资源,可能使其所进行的水平扩张增快,形成寻找新水源和对当前环境逃避的策略。可以认为两种群根与根茎的变化是克隆植物表型可塑性的一种适应性的表现。同时,可能因为沙漠种群根茎贮藏了更多的营养,更容易萌生新的分株,此处的种群分株密度大于河边种群。另一方面,根的数目和质量的变化也是可塑性变化的一种反映,虽然沙漠种群每一个分株所拥有根的比率较小,但样方内根的密度较大,根较细且短,主要分布在悬湿沙层,以此部分缓解了水分的不足。同时也说明了每个根所能供给的分株数目有限,克隆整合起作用的空间范围并不大。两种群在花果生物量和枝条生物量方面没有显著性的差异,则可能是由于植株根与根茎比例的调整缓解了水分差异所带来的影响。

生境中的资源状况胁迫和干扰程度形成选择压力,使植物在营养生长、无性生殖和有性生殖中按需分配能量,合成初级代谢产物或次级代谢产物来应对选择压力,形成自身的适应对策,最终与生境相互作用过程中表现出的相应的适合度^[21,22]。生物量分配既受到环境差异的影响,也受到个体大小的影响。有研究表明,不同林冠环境间,华西箭竹(*Fargesia nitida*)分株生物量、分株构件生物量和分株构件的生物量分配百分率均有

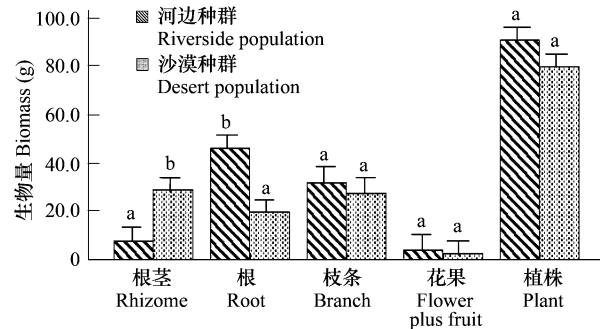


图1 准噶尔无叶豆分株种群的生物量分配

Fig. 1 Biomass of different parts of *Eremosparton songoricum* ramet populations

不同的字母(a, b)表示两样本差异显著($P < 0.05$) Different letters(a, b) indicate different significance($P < 0.05$)

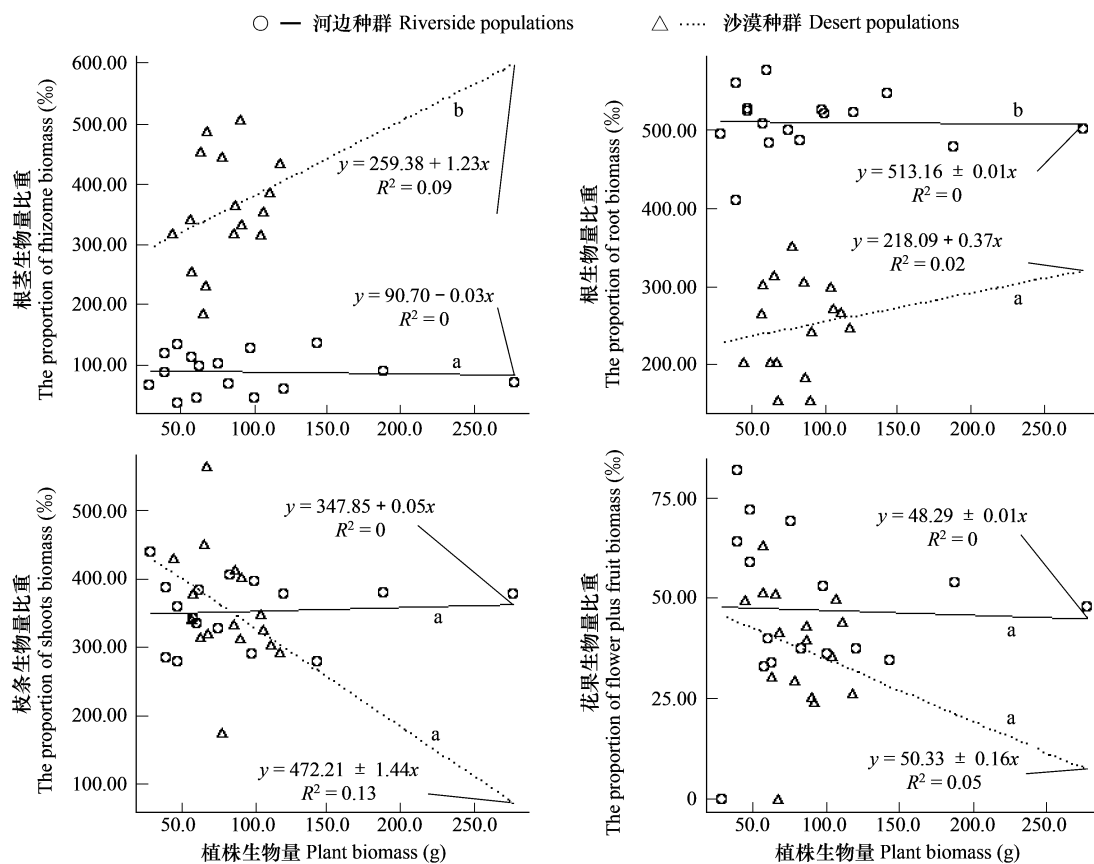


图2 植株各部分生物量比重随植株大小变化的趋势

Fig. 2 The trends of different parts proportion with changing of the plant biomass

不同的字母(a, b)表示两样本差异显著($P < 0.05$) Different letters(a, b) indicate different significance($P < 0.05$)

显著差异^[23];油蒿(*Artemisia ordosica*)的生物量分配随着盖度的不同发生显著的变化^[24]。羊柴(*Hedysarum laeve*)的根茎生物量和花果生物量与植株资源获取结构(根+枝叶生物量)的回归直线不过原点则说明了生物量分配随植株大小的不同发生了变化^[5]。本文中,通过比较两种种群植株各部分生物量比重的变化趋势,可以得出以下结论:(1)随着植株的大小变化,河边准噶尔无叶豆分株种群资源分配比例变化较小,而沙漠种群变化较大。同时,河边种群与沙漠种群相比,具有较小的根茎生物量的分配比重和较大的根生物量的分配比重。尤其是趋势线在植株生物量最小时的截距的差异,表明了河边种群与沙漠种群相比,在分株生长初期,具有较大的根生物量和较小的上一级根茎生物量。这两方面共同说明河边种群所在的环境水分因素对植株限制作用较小,在分株生长初期,植株即可从环境中吸取资源,不需要来自上一级根茎太多的营养,克隆整合作用较小;而沙漠种群在分株生长初期,则主要靠上一级根茎的营养供给,克隆整合作用较大。(2)准噶尔无叶豆是豆科多年生半灌木,在冬季,植株上部枯萎,仅主茎下端很少一部分保留活性,次年由保留活性的主茎和地下部分重新形成芽,发育成枝或分株。在沙漠种群中,随着植株大小的变化,根和根茎比重变化的斜率为正,反映出沙漠种群不断将固定的营养储蓄在根和根茎中。而河边种群根和根茎比重变化的斜率基本为零,意味着在积累营养方面,植株只是保持原有的营养贮藏比例,可能是因为对未来环境的预期较好,植株不需要积累太多的营养去抵御干扰。总体上,针对所处生境的不同,准噶尔无叶豆分株种群具有以下特点:当生境水分条件较好时,种群中分株较为独立,分株间克隆整合作用变小,对营养的贮藏比例也减小;当所处生境水分贫乏时,种群中的分株走向联合,分株间克隆整合作用变大,对营养的贮藏比例也增大。

References:

- [1] Pigliucci M. Evolution of phenotypic plasticity: where are we going now? *Trends Ecology & Evolution*, 2005, 20(9): 481—486.
- [2] Zhu Z H, Liu J X, Wang X A. Review of phenotypic plasticity and hierarchical selection in clonal plants. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(4): 588—598.
- [3] Dong M. Hierarchical structure and hierarchical selection in clonal plants. In: Zhang X S, Gao Q eds. *Information Ecology Studies*. Beijing: Science Press, 1997. 136—141.
- [4] Dong M. Plant clonal growth in heterogeneous habitats: risk spreading. *Acta Phytocologica Sinica*, 1996, 20(6): 543—548.
- [5] Chen Y F, Dong M. Genet characters of *Hedysarum laeve* and its characters of ramet population in different habitats in Mu Us Sandland. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(1): 40—45.
- [6] Dong M, Alateng B, Xing X R, *et al.* Genet features and ramet population features in the rhizomatous grass species *Psammochloa villosa*. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(4): 302—310.
- [7] Yin L K, Tan L X, Wang B. Rare and Endangered Higher Plants Endemic to Xinjiang. Urumchi: Xinjiang Scientific and Technical Publishing House, 2006. 74—75.
- [8] Liu Y X. *Flora in Desertis Reipublicae Populorum Sinarum Tomus II*. Beijing: Science Press, 1987. 174.
- [9] Zhang L Y, Hai Y. Plant communities excluded in the book of “The Vegetation and Its Utilization in Xijiang”. I. The desert plant communities. *Arid Land Geography*, 2002, 25(1): 84—89.
- [10] Zhang D Y, Ma W B, Wang J C, *et al.* Distribution and bio-ecological characteristics of *Eremosparton songoricum*, a rare plant in Gurbantunggut desert. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(3): 430—436.
- [11] Lu X Y, Zhang D Y, Ma W B. Genetic variation and clonal diversity in fragmented populations of the desert plant *Eremosparton songoricum* based on ISSR markers. *Biodiversity Science*, 2007, 15(3): 282—291.
- [12] Liu S L, Wang L D, Gao Z H, *et al.* Introduction of Endangered Plant *Eremosparton songoricum*. *Arid Zone Research*, 1997, 14(2): 31—35.
- [13] Ding L, Deng Y R, Wang H Q. Analysis of chemical constituents from the volatile oil of *Eremosparton songoricum*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2004, 29(12): 1154—1157.
- [14] Ding L, Liu G A, He L, *et al.* Studies on the flavonoid constituents in herb of *Eremosparton songoricum*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2005, 30(2): 126—128.
- [15] Liu G A, Ding L, Yang H, *et al.* Studies on the chemical constituents and their cytotoxicity of *Eremosparton songoricum* (Litv) Vass. *Journal of Northwest Normal University(Natural Science)*, 2006, 42(1): 65—68.
- [16] Ma W B, Zhang D Y, Yin L K. Variation of seed sizes of *Eremosparton songoricum* geographic populations and germination characteristics. *Arid Land Geography*, 2007, 30(5): 674—679.
- [17] Ma W B, Shi X, Zhang D Y, *et al.* Flowering phenology and reproductive features of the rare plant *Eremosparton songoricum* in desert zone, Xinjiang, China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(4): 760—767.
- [18] Hu S Z, Lu Y T, Wu Z. The scientific investigation of the desert of Junggar Basin in Xinjiang. In: Sand Control Team, Chinese Academy of Sciences ed. *Researches on Sand Control (No. 3)*. Beijing: Science Press, 1962. 43—64.
- [19] Wu Z Y. *Vegetation of China*. Beijing: Science Press, 1980. 956—965, 979—983.
- [20] Berndtsson R, Chen H. Variability of soil water content along a transect in a desert area. *Journal of Arid Environments*, 1994, 27(2): 127—139.
- [21] O'Connell L M, Eckert C G. Differentiation in reproductive strategy between sexual and asexual populations of *Antennaria parlinii* (Asteraceae). *Evolutionary Ecology Research*, 2001, 3(3): 311—330.
- [22] Dole J A. Reproductive assurance mechanisms in three taxa of the *Mimulus guttatus* complex (Scrophulariaceae). *American Journal of Botany*, 1992, 79(6): 650—659.
- [23] Tao J P, Song L X. Response of clonal plasticity of *Fargesia nitida* to different canopy conditions of subalpine coniferous forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4019—4026.
- [24] Liu F H, Liu J, Dong M. Response of biomass allocation to small-scale variation of vegetation coverage in dominant clonal semi-shrubs in the MU Us Sandland. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3415—3419.

参考文献:

- [2] 朱志红, 刘建秀, 王孝安. 克隆植物的表型可塑性与等级选择. *植物生态学报*, 2007, 31(4): 588—598.
- [3] 董鸣. 克隆植物的等级结构和等级选择. 见: 张新时, 高琼. *信息生态学研究*. 北京: 科学出版社, 1997. 136—141.

- [4] 董鸣. 异质性生境中的植物克隆生长: 风险分摊. 植物生态学报, 1996, 20(6): 543 ~ 548.
- [5] 陈玉福, 董鸣. 毛乌素沙地根茎灌木羊柴的基株特征和不同生境中的分株种群特征. 植物生态学报, 2000, 24(1): 40 ~ 45.
- [6] 董鸣, 阿拉腾宝, 邢雪荣, 等. 根茎禾草沙鞭的克隆基株及分株种群特征. 植物生态学报, 1999, 23(4): 302 ~ 310.
- [7] 尹林克, 谭丽霞, 王兵. 新疆珍稀濒危特有高等植物. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2006. 74 ~ 75.
- [8] 刘嫫心. 中国沙漠植物志(第二卷). 北京: 科学出版社, 1987. 174.
- [9] 张立运, 海鹰. 《新疆植被及其利用》专著中未曾记载的植物群落类型 I. 荒漠植物群落类型. 干旱区地理, 2002, 25(1): 84 ~ 89.
- [10] 张道远, 马文宝, 王建成. 准噶尔无叶豆的地理分布和生物生态学特性研究. 中国沙漠, 2008, 28(3): 430 ~ 436.
- [11] 陆雪莹, 张道远, 马文宝. 准噶尔无叶豆片断化居群的遗传及克隆多样性. 生物多样性, 2007, 15(3): 282 ~ 291.
- [12] 刘生龙, 王理德, 高志海, 等. 沙区濒危植物准噶尔无叶豆引种试验. 干旱区研究, 1997, 14(2): 31 ~ 35.
- [13] 丁兰, 邓雁如, 汪汉卿. 准噶尔无叶豆挥发性成分研究. 中国中药杂志, 2004, 29(12): 1154 ~ 1157.
- [14] 丁兰, 刘国安, 何荔, 等. 准噶尔无叶豆黄酮成分的研究. 中国中药杂志, 2005, 30(2): 126 ~ 128.
- [15] 刘国安, 丁兰, 杨红, 等. 准噶尔无叶豆化学成分及其细胞毒活性研究. 西北师范大学学报(自然科学版), 2006, 42(1): 65 ~ 68.
- [16] 马文宝, 张道远, 尹林克. 准噶尔无叶豆地理种群种子萌发特性. 干旱区地理, 2007, 30(5): 674 ~ 679.
- [17] 马文宝, 施翔, 张道远, 等. 准噶尔无叶豆的开花物候与生殖特征. 植物生态学报, 2008, 32(4): 760 ~ 767.
- [18] 胡适之, 卢云亭, 吴正. 新疆准葛尔盆地沙漠考察. 见: 中国科学院治沙队主编. 治沙研究(第3号). 北京: 科学出版社, 1962. 43 ~ 64.
- [19] 吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980. 956 ~ 965, 979 ~ 983.
- [23] 陶建平, 宋利霞. 亚高山暗针叶林不同林冠环境下华西箭竹的克隆可塑性. 生态学报, 2006, 26(12): 4019 ~ 4026.
- [24] 刘凤红, 刘建, 董鸣. 毛乌素沙地优势克隆半灌木生物量配置对小尺度植被盖度变异的响应. 生态学报, 2005, 25(12): 3415 ~ 3419.