

梭梭萌生与初期存活的关键影响因素

田媛¹, 李建贵^{1,*}, 潘丽萍^{2,3}, 赵岩²

(1. 新疆农业大学林学与园艺学院, 新疆乌鲁木齐 830052; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所 阜康荒漠生态站;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 在校梭梭的主要分布区——古尔班通古特沙漠南缘, 就种子萌发、幼苗存活展开研究, 以确定在校梭梭萌生初期, 决定其成活的关键影响因素。实验于 2008 年 3—6 月进行, 设置了 9 个水分处理 (3 倍降雪、正常降雪、无降雪条件与人工降雨、自然降雨、无降雨处理的交叉组合), 同步监测梭梭萌发、存活数量动态及春季短命植物数量。结果表明, 梭梭种子萌发数量与积雪量增加无显著相关关系, 短命植物萌发数量与积雪量呈显著正相关。总体水分条件较好时, 梭梭幼苗与短命植物萌发数量都增多, 但由于短命植物竞争, 幼苗成活率未必高; 反之, 在水分条件较差时, 梭梭幼苗与短命植物萌发数量都降低, 短命植物消耗的水分减少, 梭梭幼苗存活率反而高。也就是说, 在校梭梭幼苗的生长初期, 它在与短命植物的水分竞争中处于劣势, 直接的降水增加并不能提高其存活率。

关键词: 梭梭幼苗; 存活率; 短命植物; 萌发

The key factors affecting *Haloxylon ammodendron* germination and survival at very early stage

TIAN Yuan¹, LI Jianguai¹, PAN Liping^{2,3}, ZHAO Yan²

¹ College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China

² Fukang Station of Desert Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

³ Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: Plant water-use strategy is considered to be a function of the complex interactions between species of different functional types and the prevailing environmental conditions. Within the current background of global climate change, significant increase in precipitation has been recorded in the arid region of central Asia over the past 50 years. In addition, in some transition regions between sandy deserts and oases, the groundwater table has fallen significantly as a result of the over exploitation of groundwater. Variation in precipitation in arid ecosystem is leading to plant adaptation in water use strategies; significant inter-species difference in responses will change the composition of desert plant communities. To understand the effects of these widely acknowledged changes in water conditions, the current study is carried out at south fringe of Guerbantonggute Desert, where *H. ammodendron* is a typical dominated species. The aim of the study is to test what are the key factors that affect the success of *H. ammodendron* at germination and very early stage of seedling. The basic hypothesis is that the water is the key factor affecting germination or survival/death of *H. ammodendron* at its very beginning of life cycle. On March 2008, 9 treatments with 3 replicates each (3m by 3m) were set up, which were normal snow, 3 times of normal snow and no snow, and on each snow treatment there was normal rainfall, rainfall plus, and no rainfall. At each treatment, soil moistures, the amount of *H. ammodendron* seedling and epidermal plants were monitored every 5 days from April 11 to June 2008. The result revealed that *H. ammodendron* germination was not significantly correlated with water conditions (snow amount); the number of *H. ammodendron* germination has no significantly difference among snow treatments. However, the amount of epidermal plants germinated was significantly correlated with snow

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30760200); 国家教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-06-0919)

收稿日期: 2009-08-10; **修订日期:** 2010-02-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lijiaogui@xjau.edu.cn

amount; under 3 times of snow treatment the amount of epidermal plants germinated was highest; in contrast, the amount was lowest under no snow treatment. Apparently because of competition for water, at treatments with good water conditions, the survival ratio of *H. ammodendron* seedling was low. On the other hand, at treatments with poor water conditions, because of low competition from epidermal plants, the survival ratio of *H. ammodendron* seedling was high. Namely, at the very early stage, *H. ammodendron* seedling was at disadvantage in competition for water with early spring epidermal plants. As a result, because of competition for water from epidermal plants, good water condition does not necessarily result in high survival ratio of *H. ammodendron* seedling. In conclusion, this integrated study has advanced our understanding of the *H. ammodendron* regeneration at very early stage.

Key Words: *Haloxylon ammodendron* seedlings; survival ratio; epidermal plants; germination

降水是决定全球植被类型分布的主要因素之一,它在不同尺度上影响着植物的各种生理和生态过程。降水的有效性则直接影响着植物的光合作用、生存以及群落生产力^[1],其季节变化影响着建群种和优势种的水分利用方式及形态调整,从而决定了植物群落的分布格局和结构组成。干旱区生态系统结构较为简单,是对全球气候变化响应最为剧烈的生态系统类型之一^[2]。荒漠植物的生理活动受到水分有效性的严格制约,降水量和蒸发量巨大的反差决定了荒漠植物在其生长的各个阶段都面临着水分的匮乏^[3-5]。

荒漠生态系统中,年降水量较少且年际间变化明显^[6]。近 20a 来,在全球气候变化的影响下,位于天山北坡冲洪积扇与古尔班通古特沙漠南缘地区,表现出降水增多的明显趋势^[7]。但同时,由于对水资源过度开采和利用,使得该地区的地下水位骤降,加剧了植物的物种间竞争,现有植物群落已表现出衰退迹象。这些趋势表明,对于该区域的自然植被而言,作为关键影响因素的水分条件,将会有更大的变化幅度。

藜科梭梭(*Haloxylon ammodendron*)属植物主要分布在亚非大陆温带和亚热带的干旱区,是中亚荒漠中分布最广的荒漠植被类型。在亚非大陆连续分布区,梭梭属有 11 种,主要生长于流动沙丘、半固定沙丘及砾质戈壁^[8-9]。梭梭是古尔班通古特沙漠南缘原始盐生、旱生荒漠中最典型的优势种之一,在地下水位高于 5m、土壤含盐量较低的地区,有大面积天然梭梭灌木群落。近年来,由于梭梭具有的生态价值与经济价值,国内外学者对梭梭的种子萌发、幼苗发生、定居、成熟各生长阶段的水分关系都进行了大量研究。这些研究包括:梭梭的更新复壮技术及其效益^[10];温度、水分、光照、土壤等对梭梭种子萌发,定居以及对苗期生理指标,如光合、蒸腾、酶活性、水分利用效率等的影响^[11-14];群落的分布及生理特性,人工林适生立地条件评价等方面研究^[15-17]。对于不同生境下梭梭的研究表明,降水是决定梭梭光合与生长、养分循环、群落生产力和更新的关键因素^[18-21]。但对于在荒漠生境中不同水分条件下,梭梭幼苗的萌发、存活及其与短命植物间的竞争关系尚缺乏系统的研究。本文以生长在古尔班通古特沙漠南缘中的当年生梭梭幼苗为研究对象,在生境中设置了不同的水分梯度,研究梭梭幼苗在不同土壤水分条件下萌发、生长、存活及其与短命植物间的竞争关系,以期确定梭梭更新最初阶段的关键影响因素,为自然梭梭群落的更新演替及梭梭植被的人为协助恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 物种生境与水分梯度

在准噶尔盆地,梭梭主要生长于天山北坡冲洪积扇扇缘与古尔班通古特沙漠南缘,该区处于欧亚大陆腹地,属于典型的温带大陆性荒漠区,夏季炎热干燥,冬季寒冷。年均气温 6.6℃;年均降水量 160mm;年均蒸发量 1000mm。以梭梭(*Haloxylon ammodendron*)等典型荒漠小乔木、灌木、半灌木等为建群种的荒漠植被,形成了准噶尔盆地相对良好的植被覆盖。该地还分布着中国荒漠区系中十分独特的早春短命植物群落,在其发育盛期盖度可达 30%—40%,是该群类在中国最主要和最重要分布区^[22]。

实验于 2008 年 3—6 月中旬,在古尔班通古特沙漠南缘进行(44°22'N, 87°55'E, 海拔 448m)。在春季融雪开始前,选择地势平坦的丘间沙地(梭梭天然分布地),设置 27 块 3m×3m 的样地,并以每 9 块样地为一组。

根据常年观测的降雪量波动范围,设置了3种降雪处理,分别是3倍降雪:通过平移同等面积、深度的积雪实现;正常降雪:无人为干扰下的降雪量;无降雪:清除样地地表所有降雪。根据室内预实验得到的梭梭种子萌发率与预期幼苗萌发的总数量,以0.4m为行间距,在每块9m²样地中,成行播种梭梭种子50g。对古尔班通古特沙漠南缘1998—2007年的降雨数据分析结果表明:该区降雨模式为小降雨量,高频率,1—4mm的小雨量降水占总降雨频次的89.8%,平均降水间隔在5d左右。故在积雪融化后,进一步对每种降雪处理设置3个降水处理,分别是自然降雨:无人为干扰下的降雨;无降雨:通过遮雨棚挡雨实现;模拟降雨:每5d进行1次2mm补水。同时在每块样地中随机设置一个1m×1m的小样地,用于监测样地内短命植物的数量。

1.2 土壤重量含水率观测

自2008年4月11日积雪完全融化(梭梭幼苗萌发38d)起,以5d为周期,分别在每组处理的3块样地中随机选取5点,以内径5cm土钻取样,取样深度为50cm。0—10cm每5cm取一个样,10—50cm每10cm取一个样。用烘干法测定土壤含水率。

1.3 幼苗存活率及短命植物数量观测

在梭梭幼苗萌发后的第38天,积雪已完全融化,梭梭幼苗地上部分长度约为1cm左右,数量基本保持稳定,开始进行梭梭幼苗及短命植物数量监测。以5d为周期,对27块样地内的梭梭幼苗计数,以每次监测得到的梭梭幼苗总数与初次监测时的梭梭幼苗总数相比,得到存活率。为避免边缘效应,在进行梭梭幼苗数量监测时,只对每块样地中间2.5m×2.5m中的梭梭幼苗计数,样地四周0.5m作为保护区域,不做监测。在每次对梭梭幼苗的监测完成后,对同一样地内1m×1m的小样方的短命植物数量同步进行监测。

1.4 气象因子观测

气象要素的监测,由位于44°26'N,87°57'E的自动气象站完成。记录的气象因子包括:气温(最高,最低及平均值)、相对湿度、风速、风向、总辐射与降水量,由数据采集器(CR-10, Campbell Scientific Cor, USA)每隔30min记录气象因子的平均值。

1.5 数据分析

利用SPSS11.5进行数据分析,描述性统计用于计算重复的平均值和标准方差,单因素方差分析(ANOVA)用于处理间差异的显著性检验,平均值的标准方差用误差棒示。

2 结果与分析

2.1 不同降雪和降雨处理下的土壤含水量

图1a显示了正常、3倍和无降雪处理样地在自然降雨条件下,0—30cm土壤的水分动态变化。如图所示,在监测前期,3倍降雪条件下土壤水分条件最好,而正常降雪和无降雪条件下土壤水分变化差异不明显($P=0.05$)。在监测后期,3种降雪处理下的土壤水分状况基本相同。这表明增加的冬季降雪,会在春季早期提高土壤表层的含水量,在一定程度上缓解了土壤干旱,有利于植物的萌发,生长。但它同时也表明,增加的水分促进了植物发育,从而增加了植物对土壤水分的消耗,这使得在监测后期,各处理间水分状况趋于一致。

图1b显示的是在正常降雪处理样地上,待积雪融化后,分别进行无降雨,自然降雨和定期模拟降水处理后0—30cm的土壤水分动态变化。在监测前期,人工降雨样地的表层土壤水分含量低于正常降水下的土壤含水,5月份以后,增加的降雨才从土壤表层水分含量中体现出来,表明了监测前期,人工降雨样地上的植物耗水量大于正常降雨样地上的植物耗水量。

2.2 不同降雪处理下的梭梭种子有效萌发

图2显示了不同积雪厚度下梭梭幼苗的萌发数量,3倍降雪处理下,幼苗萌发数量是210株/m²;自然降雪量下幼苗萌发数量为222株/m²;无降雪处理下,幼苗萌发量比较低,为181株/m²。表明冬季降雪量对于梭梭幼苗萌发有一定的影响,但幼苗萌发数量并非与冬季降雪量呈正相关。3倍降雪与自然降雪条件下梭梭幼苗萌发数量差异并不显著,无降雪样地梭梭幼苗萌发量显著低于其他两处理下梭梭幼苗萌发量

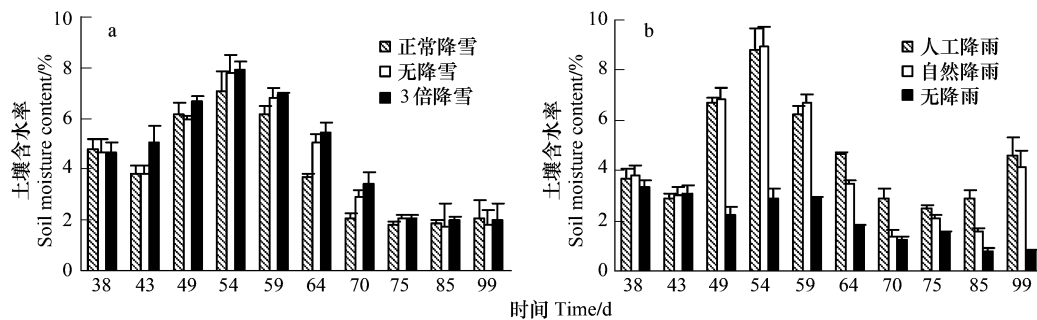


图1 不同降水处理下0—30cm 土壤水分的动态变化

Fig.1 Dynamics of soil water conditions under different precipitation treatments

($P=0.05$)。这表明梭梭在种子萌发期表现出对该区环境条件的良好适应,自然降雪形成的融水,可以在梭梭种子的萌发期,提供足够的水分,增加的降雪量没有提高梭梭种子的萌发数量。而无降雪处理梭梭种子萌发数量的显著降低则表明,本区稳定的冬季积雪对于梭梭种子的萌发至关重要。

2.3 不同降雪处理与梭梭幼苗存活率

图3显示了在春季进行不同降雨处理后原3倍降雪,无降雪和自然降雪样地中梭梭幼苗存活率。在进行人工降雨处理后,无降雪样地中梭梭幼苗存活率要高于3倍和正常降雪条件下梭梭幼苗存活率。3倍降雪样地上梭梭幼苗存活率的下降趋势,在5月中旬,即幼苗生长70d左右后,这种下降有所缓和(图3a)。图3b显示,无降雨处理条件下,降雪量的不同对梭梭幼苗成活率影响不明显($P=0.05$)。自然降雨处理下,同样是无降雪条件下,梭梭幼苗存活率要高于3倍和正常降雪条件下存活率,且3倍降雪样地存活率下降的趋势也在70d左右趋于平缓(图3c)。

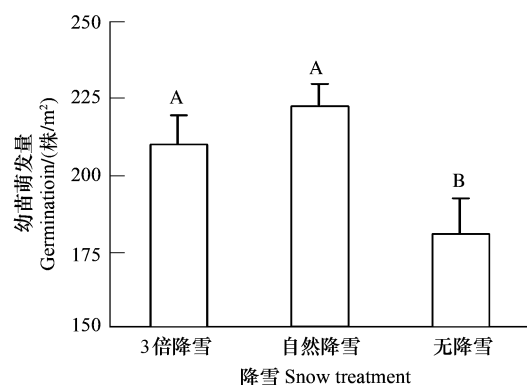


图2 不同积雪厚度下梭梭幼苗萌发数量

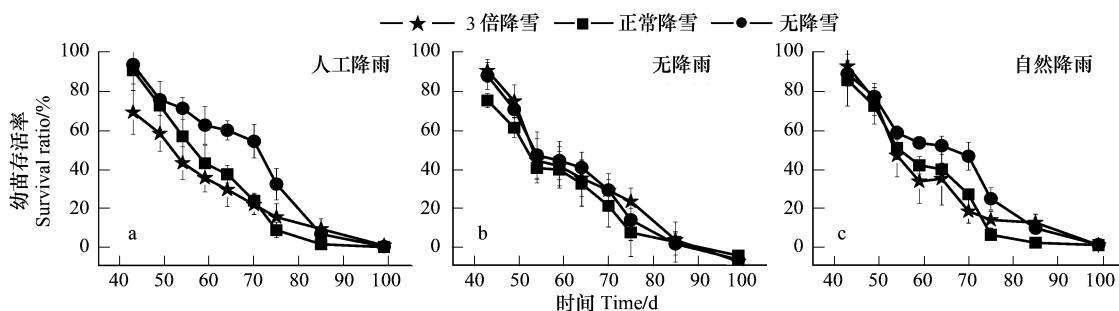
Fig.2 Germination of *Haloxylon ammodendron* seedlings under different snow treatment

图3 不同降雨处理下正常降雪、无降雪和3倍降雪样地中梭梭幼苗的存活率

Fig.3 The dynamics of survival ratio of *Haloxylon ammodendron* seedlings under different precipitation treatments

2.4 不同降雨处理与梭梭幼苗存活率

图4显示了在自然降雪、无降雪和3倍降雪样地中,不同降雨处理对梭梭幼苗存活的影响。在梭梭幼苗生长前期,幼苗存活率对于不同降雨处理响应并不明显($P=0.05$),无降雨处理下梭梭幼苗的存活率在监测后期稍高(图4a)。在无降雪样地中,监测前期,梭梭幼苗在人工降雨处理下存活率较高,但最终梭梭幼苗在无降雨处理下成活率最高(图4b)。在3倍降雪样地中,同样也是在没有降雨处理下梭梭幼苗存活率较高(图

4c)。不同的降雨处理综合结果表明,无降雨处理梭梭幼苗存活率较高。

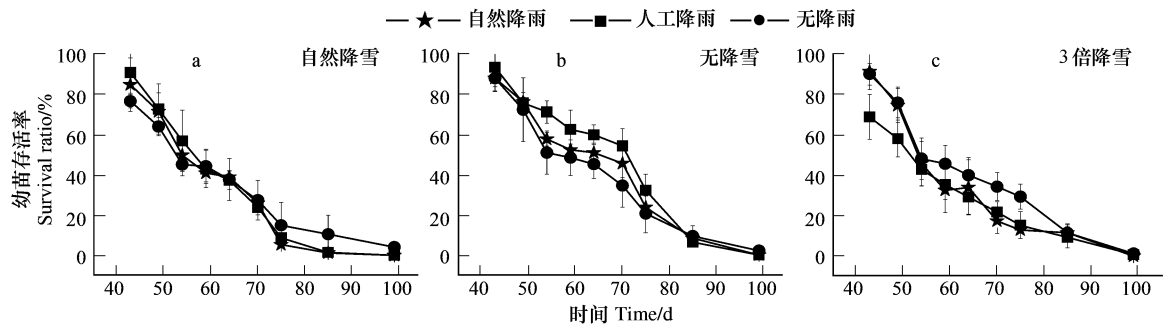


图4 不同降雪量下人工降雨、自然降雨和无降雨样地中梭梭幼苗存活率

Fig. 4 The dynamics of survival ratio of *Haloxylon ammodendron* seedlings under different snow treatments

2.5 不同降水处理下短命植物生长状况与梭梭幼苗的关系

图5显示了在不同降雪处理下,短命植物密度和梭梭幼苗存活率。图5a中,无降雪样地短命植物数量显著低于其他两降雪处理样地短命植物数量($P=0.05$),说明降雪量是短命植物萌发的主要限制因素。3倍降雪和自然降雪处理下,短命植物数量差异不大($P=0.05$)。图5b中,自然降雪处理下梭梭幼苗最终存活率最高,为1.62%,每块样地平均存活约16株;无降雪时,幼苗最终存活率是1.07%,每块样地平均存活约11株;3倍降雪处理下幼苗最终存活率最低,为0.89%,每块样地平均存活约7株。这表明了由于受到短命植物竞争影响,梭梭幼苗存活率在土壤水分充沛的处理中,反而会降低。也就是说,在水分条件好的情况下,梭梭幼苗和短命植物萌发数量都多,但由于短命植物的竞争的影响,梭梭幼苗存活率降低;而在水分条件差的情况下,梭梭幼苗和短命植物萌发数量都少,但由于短命植物数量较少,消耗了较少的土壤水分,梭梭幼苗反而能够维持比较高的存活率。

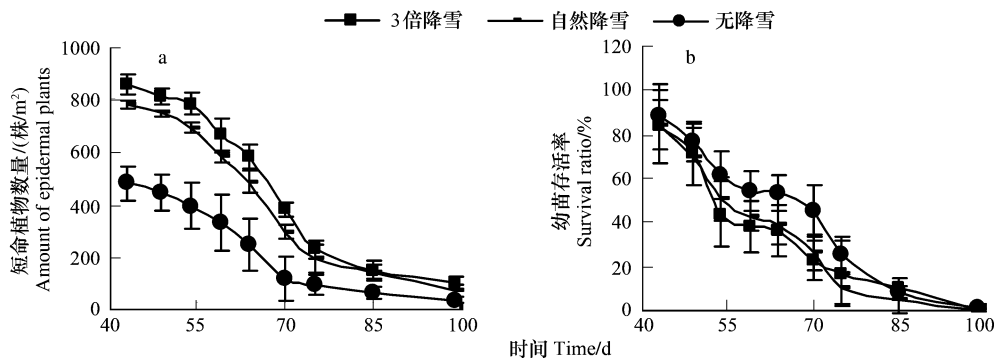


图5 不同降雪量下短命植物数量与梭梭幼苗存活率

Fig. 5 The amount of living epidermal plants and the survival ratio of *Haloxylon ammodendron* seedlings under different snow treatment

2.6 极端条件下短命植物数量与梭梭幼苗存活

图6显示了无降雪条件下,不同降雨处理的短命植物峰值数量与梭梭幼苗存活数量。图6a中,无降雨处理下梭梭幼苗存活27株,显著高于人工降雨、自然降雨两处理的3株、2株($P=0.05$)。图6b中,人工降雨处理下短命植物为546株,自然降雨处理下短命植物为496株,无降雨处理下短命植物为413株,梭梭幼苗存活数量与短命植物数量呈显著负相关,这表明在与短命植物进行的水分竞争中,梭梭幼苗处于劣势。

3 讨论与结论

根据赵兴梁^[23]对沙坡头固沙植物与沙层水分关系的研究成果,当沙层湿度 $\geq 2\%$ 时,固沙植物能正常生长;当沙层湿度在 $1\%—2\%$ 时,固沙植物生长衰退、萎缩;沙层湿度 $\leq 1\%$ 时,沙层植物趋于枯死,沙层含水率

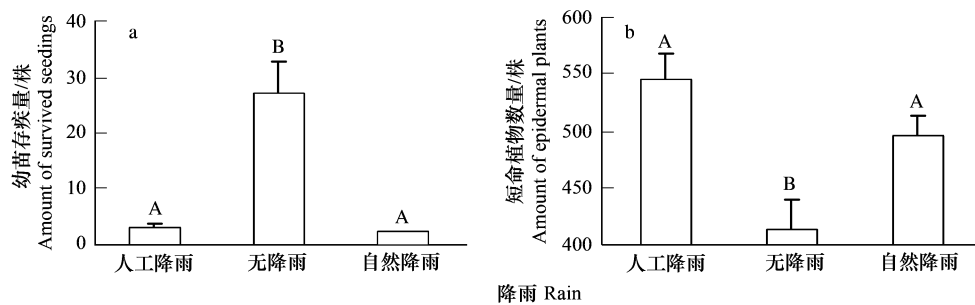


图6 短命植物萌发与梭梭幼苗存活率

Fig.6 The amount of epidermal plants and the amount of survived *Haloxylon ammodendron* seedlings under no snow treatment with different rainfall

低于0.73%时则梭梭将会永久萎蔫。在本研究中,不同降水处理下的土壤含水量基本都 $>1.5\%$,梭梭幼苗生长并非处于严重的水分胁迫下,但其存活率只有1.2%,说明在古尔班通古特沙漠南缘,土壤水分条件最为充沛的春季,土壤含水量并不是梭梭幼苗存活的最主要限制因子。

在资源动态两阶段说中,个体在资源的正波动期迅速抢先利用土壤中资源的能力决定了对其它植物的竞争能力强弱^[24]。本实验中,短命植物密度要大于梭梭幼苗密度,其对土壤水分的竞争能力也强于梭梭幼苗,这导致在3倍降雪,无降雪和自然降雪条件下,梭梭幼苗存活数量不与土壤含水量呈正相关,而与短命植物数量呈明显负相关(图2—图6)。在无降雪条件下,短命植物与梭梭种子的萌发都受到抑制,但梭梭幼苗存活率最高;在自然降雪和3倍降雪条件下,短命植物和梭梭种子萌发数量显著高于无降雪条件下的萌发量,但梭梭幼苗存活率却较低,3倍降雪处理下梭梭幼苗存活率下降趋势在短命植物生长期过后有所平缓,但最终存活率最低,仅为0.89%。

梭梭幼苗存活率对于不同降水处理响应并不明显,仅在无降雪条件下对不同梯度降雨处理有较显著响应。土壤水分丰富时,虽然梭梭种子的萌发数量多,但由于短命植物的萌发数量同样增多,对资源竞争的加剧,梭梭幼苗存活率很低;而土壤水分匮乏时,虽然梭梭种子萌发数量较少,但短命植物的萌发数量也大幅下降,梭梭幼苗的存活率反而显著提高。也就是说,在土壤水分相对丰富的春季,决定梭梭幼苗存活率的环境因子并非水分,而是资源竞争者短命植物数量的多寡。这表明,荒漠生态系统及荒漠植物对于水分条件变化响应是多方面的:一方面水分条件好转可以缓解其对初级生产力的限制;另一方面,水分条件较好时植物数量总体增加,物种间资源竞争加剧,竞争关系决定其生存。

由此可见:(1)梭梭萌发数量对降雪量的增加响应不明显,但对降雪量的降低有显著响应;而短命植物萌发数量与降雪量变化则呈显著正相关。(2)在土壤水分条件较好时,水分并不是制约梭梭幼苗存活的最主要因素,与其竞争的短命植物数量对幼苗存活起着决定性作用。(3)由于短命植物的竞争,梭梭幼苗在早春水分条件好、萌发数量多时,成活率未必高,反而在水分条件较差,短命植物对资源竞争减弱时,梭梭幼苗存活率更高。

References:

- [1] Phoenix G K, Gwynn-Jones D, Callaghan T V, Sleep D, Lee J A. Effects of global change on a sub-Arctic heath: effects of enhanced UV-B radiation and increased summer precipitation. *Journal of Ecology*, 2001, 89(2): 256-267.
- [2] Smith S D, Huxman T E, Zitzer S F, Charlet T N, Housman D C, Coleman J S, Fenstermaker L K, Seemann J R, Nowak R S. Elevated CO_2 increases productivity and invasive species success in an arid ecosystem. *Nature*, 2000, 408: 79-82.
- [3] Lawlor D W, Cornic G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, 2002, 25: 275-294.
- [4] Molles M C. *Ecology: Concepts and Applications*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc, 2001:344-345.
- [5] Horton J L, Kolb T E, Hart S C. Leaf gas exchange characteristics differ among Sonoran desert riparian trees species. *Tree Physiology*, 2001, 21:

233-241.

- [6] Loik M E, Breshears D D, Lauenroth W K, Belnap J. A multi-scale perspective of water pulses in dry land ecosystems: climatology and ecohydrology of the western USA. *Oecologia*, 2004, 141(2): 269-281.
- [7] Xu G Q, Wei W S. Climate change of Xinjiang and its impact on eco-Environment. *Arid Land Geography*, 2004, 27(1): 14-17.
- [8] Xu Hao, Li Yan, Zou T, Xie J X, Jiang L X. Ecophysiological response and morphological adjustment of *Haloxylon ammodendron* towards variation in summer precipitation. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5019-5028.
- [9] Li H S, Zhang X L, Hou C X, Ma J. The study on diversity of adaptation of *Haloxylon ammodendron* to drought. *Arid Zone Research*, 1995, 12(1): 15-17.
- [10] Jia Z Q, Lu Q, Guo B G. Progress in the study of Psammophyte-Haloxylon. *Forest Research*, 2004, 17(1): 125-132.
- [11] Zhang X, Deng B J, Yao X H, Man Z H, Wang S M. Physio-biochemistry effect of PEC on seeds priming of *H. persicum* under stress conditions. *Seed*, 2006, 25(12): 5-7.
- [12] Huang Z Y, Zhang X S, GUTTERMAN Y, Zheng G H. Influence of light, temperature and salinity on the seed germination of *Haloxylon ammodendron*. *Acta Phytophysiological Sinica*, 2001, 27(3): 275-280.
- [13] Ji X M, Ning H S, Lin R, Gao X H, Liang Y J, Wang Q, Jin H X. Tree planting experiment of *Haloxylon bge* of different provenances. *Journal of West China Forestry Science*, 2005, 34(4): 85-87.
- [14] Li S Y, Li H Z, Lei J Q, Xu X W, Li B W, Zhou H W. Underground biomasses of nursery grown plants irrigated with highly mineralized Water in Taklimakan Desert. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2005, 25(5): 999-2006.
- [15] Shan L S, Zhang X M, Wei J, Yan H L, Hua Y H, Zhang J J. Distribution characteristics of effective roots density of two shrubs in hinterland of Taklimakan Desert. *Arid Land Geography*, 2007, 30(3): 400-405.
- [16] Li Y F, Yang G. The studies on artificial forest density of *Haloxylon ammodendron*. *Journal of Desert Research*, 1998, 18(1): 22-26.
- [17] Xu H, Li Y. Water use strategies and corresponding leaf physiological performance of three desert Shrubs. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*. 2005, 25(7): 1309-1316.
- [18] Yan S G, Sosebee R E, Wester D B, Fish E B, Zartman R E, Wan C G. Responses of photosynthesis and water relations to rain fall in the desert shrub creosote bush (*Larrea triden tateas*) influenced by municipal biosolids. *Journal of Arid Environments*, 2000, 46: 397-412.
- [19] Su P X, Zhao A F, Zhang L X, Du W M, Chen H S. Characteristic in photosynthesis, transpiration and water use efficiency of *Haloxylon ammodendron* Calligonum mongolicum of desert. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2003, 23(1): 11-17.
- [20] Li X Y, Zhang X M, He X Y, Thomasf M, Foetzkia. Drought stress and irrigation effects on water relations of *Tamarix amosissima* in the Qira oasis. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(5): 644-650.
- [21] Liu X Y, Liu S. Study on ecosystem of *Haloxylon ammodendron*. *Journal of Desert Research*, 1996, 16(3): 287-292.
- [22] Zhang L Y, Chen C D. On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut Sandy Desert. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1923-1932.
- [23] Sharptou station of institute of desert research, Lanchow, CAS edited. *Studies on Sand Sunes Sontrolled in Tengger Sesert*. Yingchuan: Ningxia People Press, 1991: 27-57.
- [24] Kropff M J, Vanlaar H H. *Modelling crop-weed interactions*. Oxon: CAB international, 1993.

参考文献:

- [7] 徐贵青, 魏文寿. 新疆气候变化及其对生态环境的影响. *干旱区地理*, 2004, 27(1): 4-18.
- [8] 徐皓, 李彦, 邹婷, 谢静霞, 蒋理学. 梭梭生理与个体用水策略对降水改变的响应. *生态学报*, 2007, 27(12): 5019-5028.
- [9] 李洪山, 张晓岚, 候彩霞, 马纪. 梭梭适应干旱环境的多样性研究. *干旱区研究*, 1995, 2(1): 11-17.
- [10] 贾志清, 卢琦, 郭保贵. 沙生植物——梭梭研究进展. *林业科学研究*, 2004, 17(1): 125-132.
- [11] 张霞, 邓必建, 姚新花, 满振鸿, 王绍明. 不同温度条件下 PEG 引发梭梭种子对其幼苗生理生化的影响. *种子*, 2006, 25(12): 5-7.
- [12] 黄振英, 张新时, GUTTERMAN Y, 郑光华. 光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响. *植物生理学报*, 2001, 27(3): 275-280.
- [13] 吉小敏, 宁虎森, 蔺蕊, 高祥花, 梁远强, 王强, 金辉兴. 不同地理种源的梭梭植苗造林实验. *西部林业科学*, 2005, 34(4): 85-87.
- [14] 李生宇, 李红忠, 雷加强, 徐新文, 李丙文, 周宏伟. 塔克拉玛干沙漠高矿化度水灌溉苗木地下生物量研究. *西北植物学报*, 2005, 25(5): 999-1006.
- [15] 单丽山, 张希民, 魏疆, 闫海龙, 花永辉, 张建军. 塔克拉玛干沙漠腹地两种灌木有效根系密度分布规律的研究. *干旱区地理*, 2007, 30(3): 400-404.
- [16] 李银芳, 杨戈. 梭梭人工林密度研究. *中国沙漠*, 1998, 18(1): 22-26.
- [17] 许皓, 李彦. 3种荒漠灌木的用水策略及相关的叶片生理表现. *西北植物学报*, 2005, 25(7): 1309-1316.
- [19] 苏培玺, 赵爱芬, 张立新, 杜明武, 陈怀顺. 荒漠植物梭梭和沙拐枣光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征. *西北植物学报*, 2003, 23(1): 11-17.
- [20] 李向义, 张希明, 何兴元, 曾凡江, THOMASFM, FOETZKIA. 绿洲前沿地区多枝怪柳水分关系的特征及灌溉的影响. *植物生态学报*, 2004, 28(5): 644-650.
- [21] 刘晓云, 刘速. 梭梭荒漠生态系统(初级生产力及其群落结构的动态变化). *中国沙漠*, 1996, 16(3): 287-292.
- [22] 张立运, 陈昌笃. 论古尔班通古特沙漠植物多样性的一般特点. *生态学报*, 2002, 22(11): 1923-1932.