

红砂和霸王种子萌发对干旱与播深条件的响应

曾彦军¹, 王彦荣¹, 庄光辉², 杨鬃山²

(1. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃草原生态研究所, 兰州 730020; 2. 内蒙古阿拉善盟草原站, 巴彦浩特 750360)

摘要:红砂(*Reaumuria soongorica*)和霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)分别是我国西北干旱荒漠区重要的超旱生小灌木和灌木。试验室条件下,研究了两种灌木种子萌发对干旱胁迫(以 PEG 模拟干旱条件)和播深的响应。干旱胁迫设 0、-0.3、-0.6、-0.9、-1.2、-1.5、-1.8、-2.1、-2.4、-2.7MPa 共 10 个处理,播深设 0、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、3.0、4.0cm 共 8 个处理。结果显示:模拟干旱条件下,供试种的发芽势(3d 发芽率)皆从-0.3MPa 起即开始显著下降($P<0.05$)。发芽率红砂从-0.9MPa 渗透势、霸王从-0.6MPa 开始显著降低;种子萌发的最低渗透势阈值红砂和霸王分别为-1.8MPa 和-1.5MPa。干旱胁迫对种子胚芽生长有抑制作用,但轻度干旱可促进初生根生长,重度干旱胁迫抑制初生根生长。播深实验表明,红砂和霸王种子均为子叶出土发芽类型。一般情况下,供试种随播深增加胚芽长度呈增加而初生根呈下降趋势,但霸王在播于土表时初生根生长受到抑制。实验室条件下,达到最大出苗率的播深红砂为 0~0.5cm,霸王为 0~2cm。在适宜条件下,红砂和霸王种子萌发的最低需水量分别为 110%和 90%,初始萌发时间分别为 40h 和 48h。红砂种子发芽势低(28%)、萌发持续而分散;霸王种子发芽势高(87%)、萌发整齐。讨论了两种种子发芽对干旱和播深的响应特征及其生态生物学意义。

关键词:种子萌发;干旱胁迫;吸水率;播种深度;荒漠草地

Seed germination responses of *Reaumuria soongorica* and *Zygophyllum xanthoxylum* to drought stress and sowing depth

ZENG Yan-Jun¹, WANG Yan-Rong¹, ZHUANG Guang-Hui², YANG Zong-Shan² (1. College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University; Gansu Grassland Ecological Research Institute, Lanzhou 730020, China; 2. Grassland Station of Alashan Region, Inner Mongolia, Bayanhot 750360, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(8): 1629~1634.

Abstract: *Reaumuria soongorica* and *Zygophyllum xanthoxylum* are very important ultra-xeromorph shrubs in the northwest arid desert region of China. Seeds of the two species were collected at maturity in the Alashan aria desert grassland of China in 2001 and kept at -5°C until use. Responses of seed germination to simulated drought stress (germination paper moistened by PEG 6000 solution) and sowing depths were investigated in this study. The drought stress included 10 treatments ranging from 0 to -2.7MPa, and sowing depth comprised 8 treatments ranging from 0 to 4cm in sand soil medium. All tests were conducted at the Herbage Seed Testing Center, Ministry of Agriculture of China (Lanzhou) from December 2001 to May 2002. Each test was arranged in 4 replicates with 50 seeds for each replication.

Results showed that germinative capacity (3d germination rate) of the test species declined significantly ($P<0.05$) as the osmotic potential decreased. Compared to control (0MPa), final germination percentages started reducing ($P<0.05$) at -0.9MPa in *R. soongorica* and at -0.6MPa in *Z. xanthoxylum*. The lowest thresholds of osmotic potential for seed germination were -1.8MPa in *R. soongorica* and -1.5MPa in *Z. xanthoxylum*. Both plumule and radical length of the test species were significantly ($P<0.05$) reduced as the osmotic potential decreased, except that the radical length increased between 0MPa and -0.3MPa. This result indicated that slight drought stress can promote radical growth in these species.

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000048704);国家自然科学基金重点资助项目(39730100)

收稿日期:2003-09-28; **修订日期:**2004-05-10

作者简介:曾彦军(1964~),男,甘肃景泰人,硕士生,助理研究员,主要从事牧草种子学和干旱荒漠草原生态学研究。E-mail: zengyj@lzu.edu.cn

Foundation item: National Key Basic Research Special Foundation (No. G2000048704) and National Natural Science Foundation of China (No. 39730100).

Received date 2003-09-28 **Accepted date:** 2004-05-10

Biography: ZENG Yan-Jun, Master candidate, Lecturer, mainly engaged in forage seed science and arid desert grassland ecology.

The sowing depth experiment indicated that both test species belong to an epigeal germination type. The maximum seedling emergence percentages were obtained in 0~0.5cm sowing depths for *R. soongorica* and in 0~2cm for *Z. xanthoxylum*, showing that emergence of *Z. xanthoxylum* was more tolerant to the deeper sowing depth. Generally, the plumule length increased and radical length decreased as the sowing depth increased, except that the radical growth of *Z. xanthoxylum* was inhibited for surface sowing. This may have been because water uptake was limited on the surface for the large seed size of this species. The ratio of plumule and radical length showed a tendency to increase as the sowing depth increased, and this was more evident for *Z. xanthoxylum* at a sowing depth from 2 to 4cm.

Under optimum conditions, germination characters for the test species showed that minimum water uptake rates for germination were 110% and 90%, and initial germination times were 40h and 48h for *R. soongorica* and *Z. xanthoxylum*, respectively. *R. soongorica* seeds showed a lower germination capacity and slower germination speed than those of *Z. xanthoxylum*. For instance, germination capacities were 28% for *R. soongorica* and 87% for *Z. xanthoxylum*. The ecological significance of the relationship between germination and germination conditions is discussed.

Key words: seed germination; drought stress; water uptake rate; sowing depth; desert grassland

文章编号:1000-0933(2004)08-1629-06 中图分类号:S330.3;Q948.11 文献标识码:A

种子萌发特性及与生态因子关系的研究是种子生理生态学的重要内容。影响种子萌发的外部生态环境因子包括水分、温度、光照、氧气、化学物质、土壤因子、生物因素等方面^[1~3],且不同植物种子萌发特性及对各种环境因子反应存在很大差别^[1~8]。适应生态理论认为,植物萌发的生理生态学差异是在长期适应生境的过程中形成的。因此,研究干旱荒漠区优势植物种子萌发对环境因子特别是干旱、盐碱等地域性限制因子的响应特征,对丰富种子生理生态、揭示优势种植物适应干旱环境的机理以及进行植被恢复重建具理论意义和实践价值。

红砂(*Reaumuria soongorica*)和霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)分别是我国西北干旱荒漠区重要的超旱生小灌木和灌木^[9],为典型荒漠和草原化荒漠地带的主要优势建群植物^[9~13]。两种植物分布十分广泛,是良好固沙植物,在干旱荒漠区的干旱季节成为家畜采食的主要对象。截止目前,关于红砂幼龄植株分布与生境的关系^[14~16]、红砂种子萌发条件^[17]、霸王种子萌发特性^[18]的研究已见报道,本文进一步探讨两种种子的萌发吸水特性以及萌发对干旱胁迫和播深的响应。

1 材料与方法

1.1 研究材料

供试红砂和霸王种子采收自内蒙古阿拉善盟左旗境内,置于-5℃低温保存。经测定种子千粒重分别为1.0和15.7g。试验于2001年12月至2002年5月在兰州大学、农业部牧草与草坪草种子质量监督检验测试中心(兰州)进行。试验中,各测定项目皆设4次重复,每重复50粒种子。

1.2 研究方法

1.2.1 适宜萌发条件下种子吸水及发芽模式 采用培养皿纸上发芽床^[19],依文献报道的适宜温度,即红砂25℃^[17]、霸王20℃恒温^[18],在培养箱内黑暗条件下发芽。试验期间,逐日统计发芽数,测定种子的发芽动态。另外,在培养8h、16h、24h、32h、40h、48h、56h、64h和72h时,测定种子萌发需水量。测定方法为将50粒种子全部取出用滤纸吸干种皮表面水分称重(精确至小数点后3位),以种子吸水重量占吸水试验前种子重量的百分数表示。

1.2.2 干旱胁迫下种子发芽率 模拟干旱溶液(聚乙二醇,分子量6000)渗透势采用Michel和Kaufmann方法配制^[20]。干旱胁迫设置:0(对照)、-0.3、-0.6、-0.9、-1.2、-1.5、-1.8、-2.1、-2.4、-2.7MPa渗透势溶液共10个处理。发芽条件同1.1。发芽期间隔日统计发芽数,并用重量法检查补充蒸馏水以维持溶液渗透势恒定。3d统计发芽势。10d测量幼苗胚芽(包括胚轴和顶芽)与初生根长度。12d统计发芽率。

1.2.3 不同播深种子出苗率 设置0、0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、3.0、4.0cm共8个播深处理,在适宜温度下发芽(同1.1)。发芽床采用发芽盒(长×宽×高为15cm×15cm×10cm)石英砂($\Phi \leq 0.3\text{mm}$,发芽前用水冲洗并高温消毒)中发芽的方法。发芽期间盖盒盖,隔日统计出苗数,并称重检查补充蒸馏水以维持沙土湿润(水分含量在5%左右的水平上)。15d统计出苗率,测定幼苗胚芽和初生根长度。

1.3 统计分析

应用计算机 Statistica 程序统计分析试验数据,Duncan 方法进行多重比较,Excel 程序绘图。

2 结果与分析

2.1 适宜萌发条件下种子吸水及发芽模式

吸水及发芽试验结果显示,种子初始萌发(种子胚根突破种皮 1mm 时视为初始萌发,)时间红砂和霸王分别为 40h 和 48h,此时种子需水量分别为 110%和 90%(图 1-I),萌发率分别为 7%和 58%。红砂种子发芽势低(3d 发芽率,以下同),为 28%,萌发持续而分散;霸王种子发芽势高,为 87%,萌发整齐(图 1-II)。

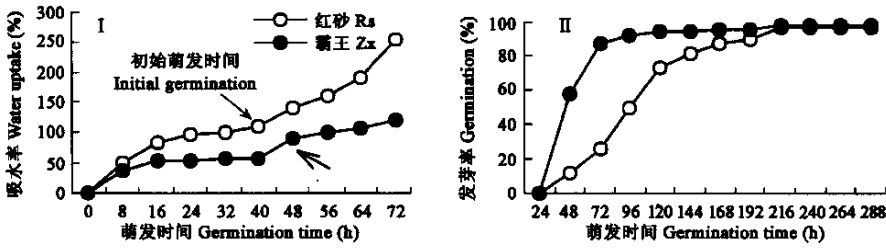


图 1 红砂和霸王种子萌发吸水动态及发芽模式

Fig. 1 Dynamic of water uptake (I) and germination pattern (II) of *Reaumuria soongorica* (Rs) and *Zygophyllum xanthoxylum* (Zx) seed

2.2 萌发对干旱胁迫的响应

模拟干旱条件下,两种种子发芽势从-0.3MPa 渗透势起即显著低于对照(0 MPa 处理,以下同)($P<0.05$),且随着渗透势变小呈显著下降趋势,表明干旱胁迫对两种种子萌发速度有显著的延缓作用(图 2-I)。发芽率(12d 发芽率,以下同)霸王从-0.6MPa 渗透势、红砂从-0.9MPa 起显著低于对照,之后随着渗透势变小呈显著下降趋势。种子萌发的最低渗透势阈值红砂为-1.8MPa、霸王为-1.5MPa,表明红砂种子发芽抗旱性比霸王强(图 2-II)。

萌发 10d 时,红砂和霸王对照组幼苗的胚芽长度分别为 2.2 和 3.6cm,而干旱胁迫下,两种种子胚芽长度从-0.3MPa 即开始显著下降(图 2-III),霸王和红砂对照组的初生根长度分别为 2.5、和 0.5cm,随着渗透势的降低两种子初生根长度呈先增加(红砂在-0.3~-0.6MPa,霸王在-0.6MPa)而后下降的趋势(图 2-IV)。

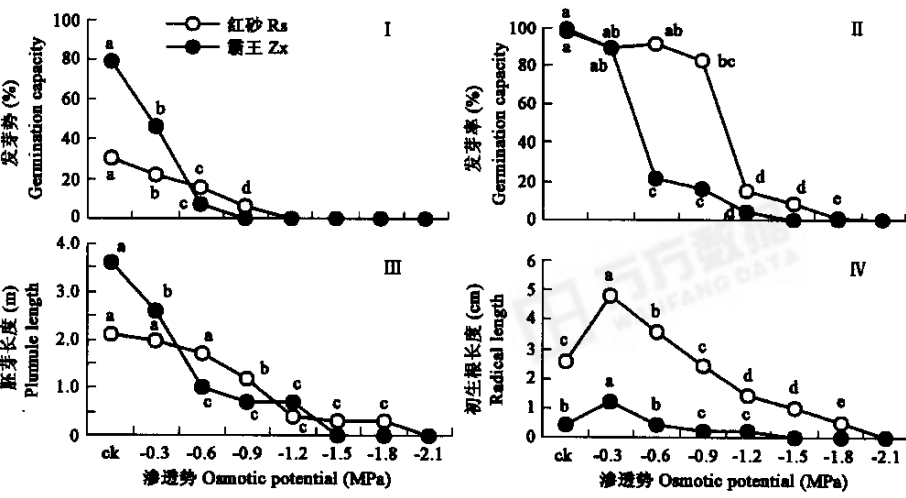


图 2 红砂和霸王种子发芽势、发芽率、胚芽和初生根长度对干旱胁迫的响应

Fig.2 Responses of seed germination capacity (3d) (I), final germination (12d) (II), plumule length (10d) (III) and radical length (10d) (IV) of *Reaumuria soongorica* (Rs) and *Zygophyllum xanthoxylum* (ZX) to different osmotic potentials
图中不同渗透势条件下的每种灌木测定值间,标有不同字母者在 0.05 水平差异显著 For each species, means of each item in different osmotic potentials which share the different letters indicates the significant difference at 0.05 level

2.3 出苗对播深的响应

播种实验观察到红砂和霸王种子发芽均为子叶出土类型。
红砂和霸王种子分别在 0~0.5cm 和 0~2cm 播深处理达到了最大潜力。霸王种子较红砂种子出土能力强。红砂出苗率从 1cm 播深开始显著低于 0~0.5 cm 播深处理,且在播深为 3cm 时未萌发;霸王出苗率从 3cm 播深开始显著低于 0~2 cm 播

深处理,在播深 4cm 处理下出苗率仍达 32%(图 3-I)。

播种试验进行至 10d 时,播深为 0 cm 处理的红砂和霸王幼苗胚芽长度分别为 0.5 和 2.2cm。之后,随着播深的增加胚芽长度呈增加趋势,且霸王幼苗胚芽长度明显大于红砂,为红砂 1.9~3.7 倍(图 3-II)。播深为 0 cm 处理的红砂和霸王初生根长度分别为 1.8 和 0.8cm。之后,除霸王在播深为 0 cm 处理中初生根生长受到抑制外,总体上随着播深的增加两种植物幼苗初生根长度呈下降趋势(图 3-III)。

播深为 0 cm 处理的红砂和霸王胚芽与初生根长度比值(胚芽长度/初生根长度)分别为 0.6 和 2.6。之后,随着播深增加该比值呈现增加趋势,且以霸王在播深 3~4.0cm 处理尤为突出,比值达 6.2~7.5(图 3-IV)。

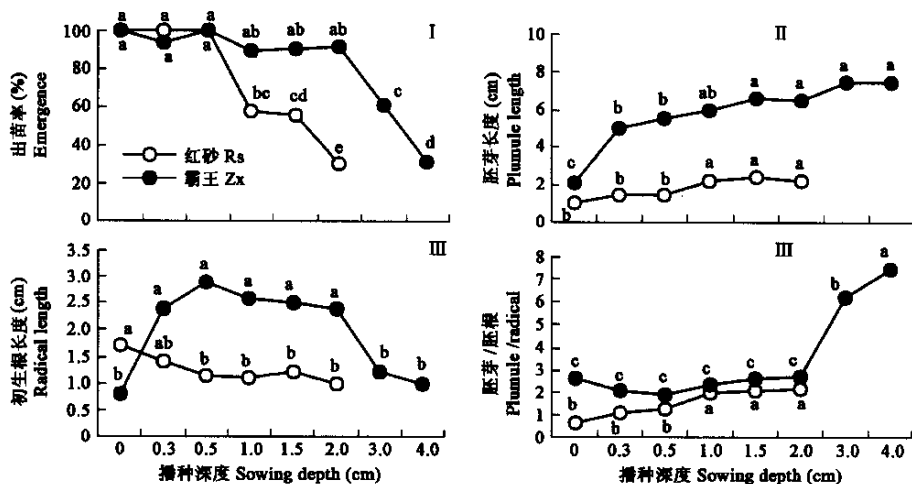


图 3 播深对红砂和霸王种子出苗率、胚芽长度、初生根长度和芽/根比的影响

Fig. 3 Effect of sowing depth on seedling emergence (I), plumule length(II), radical length(III) and prumul/radical ratio (P/R) (IV) of *Reaumuria soongorica* (Rs) and *Zygophyllum xanthoxylum* (Zx) at 10 days of planting

不同渗透势条件下的每种灌木测定值间,标有不同字母者在 0.05 水平差异显著 For each species, means of each item in different osmotic potentials which share the different letters indicates the significant difference at 0.05 level

3 讨论

本研究在实验室不同干旱和播深条件下,探讨了红砂和霸王种子的萌发特性,结果表明:两种灌木种子的萌发特性及其对环境的响应有很大的不同。

红砂种子萌发需水量比霸王高(图 1-I),这可能与 2 种种子的化学成分的差异有关。因为在适宜条件下,种子萌发需水量的大小主要取决于种子的化学成分^[1]。一般情况下,油脂含量高的种子萌发最低需水量较低,淀粉含量高的种子需水量中等,蛋白质含量高的种子需水量较高。例如,水稻(*Oryza sativa*)、玉米(*Zea mays*)、大麦(*Hordeum vulgare*)种子萌发最低需水量分别为 26%、30%、48%;油菜(*Brassica campestris*)、向日葵(*Helianthus annuus*)和亚麻(*Linum usitatissimum*)种子萌发最低需水量分别为 48%、57%和 60%;大豆(*Glycine max*)、蚕豆(*Vicia faba*)和白三叶(*Trifolium repens*)种子萌发最低需水量分别为 107.0%、157.0%和 160.0%^[1]。但是,有关引致 2 种植物种子需水量差异的原因尚有待于通过化学成分分析界定。红砂种子的需水量高于霸王,但发芽势却低于霸王(图 1-II),这与以往文献中关于发芽势低的种子萌发所需的最低水量较大的报道相一致^[5]。此外,以往研究显示,从表象上红砂种子萌发与幼苗建植需要较湿润水分条件,甚至与积水条件相关联^[14~16],这一现象似与红砂种子的萌发最低需水量较高有关。

红砂种子发芽势低、萌发持续而分散,而霸王种子发芽势高、萌发整齐(图 1-II)。就发芽模式似可认为,红砂种子的萌发特性更适应于干旱荒漠区极不确定的降水条件,因为可避免遇到少量降雨即一齐萌发而后遭遇回干“闪苗”的危险^[5~8]。在干旱荒漠区,这一特性的生态学意义在于保证旱生或超旱生植物的物种延续。

红砂种子萌发最低渗透势阈值(-1.8MPa)低于霸王(-1.5MPa),表明前者的萌发抗旱能力高于后者(图 2-II)。以往作者对其他几种灌木种子研究的结果显示:柠条(*Caragana koishinskii*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、白沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)种子的最低渗透势阈值分别为-2.4 MPa、-2.1 MPa 和-1.8 MPa^[22]。若以种子萌发抗旱性从高到低进行排序,则柠条>花棒>白沙蒿和红砂>霸王。上述结果显示了一种值得注意的现象,即中旱生柠条种子的萌发抗旱性却大

于其他旱生和超旱生植物。近年来其他作者的研究也显示了类似结果^[18,21~23]。它所揭示的生物学意义在于,干旱区一些旱生、超旱生植物在其生活史的种子萌发阶段选择了较中旱生植物更为湿润的水分条件,这或许是干旱荒漠区旱生、超旱生植物种子萌发与建植对不确定大气降水条件和干旱环境的特殊生态适应对策。但这种现象是否具有普遍性还需要进一步积累研究加以确证。

霸王种子的出土能力明显比红砂强(图 3-I),显然这与霸王种子千粒重明显大于红砂(分别为 15.7 和 1.0g)有关。因为,通常情况下,大粒种子具较强出土能力。若与生境相联系,这种种子萌发的埋藏生态位差异可能是两种植物对各自分布的土壤环境的适应进化结果。因为根据本文作者于 2001 年 6 月在阿拉善盟左旗牧仁高勒境内针对霸王和红砂种群所作的实生苗比例的调查结果,在分布于半流动沙地的霸王种群内实生苗比例达 6%,而在与之毗邻的不具覆沙的红砂群落中未见霸王实生苗;在覆沙(3~10cm)地境的红砂群落中极少见到红砂实生苗,而在不具覆沙的斑块洼地中实生苗比例达 5%。沙土的水分特征是持水量低、雨后晴天表层土壤水分含量下降十分迅速,因此种子萌发的埋藏生态位应当较深才能避免闪苗的发生;沙土流动性能赋予种子一定的埋深,但需要种子有较强的出土能力。不具覆沙的壤土持水量高,相对而言雨后晴天表层土壤水分含量下降缓慢,土壤固性不能赋予种子较大的埋深,种子往往是通过进入土壤结皮的裂缝或在降水过程中陷入淤泥等实现较浅埋藏的,因而不需要很强的出土能力。

虽然播深对两种植物种子幼苗生长的影响不尽相同。但总体上,2 种子均表现为随着播深的增加胚芽长度呈增加、初生根长度呈下降的趋势。表明播深增加对幼苗生长构成了土层胁迫,在这种胁迫条件下,种子可能是通过某种生理响应机制调整了能量分配,以减少根的生长为代价而确保胚芽尽早出土。此外,在播于土表时霸王初生根生长受到了抑制,可能的原因是霸王种子粒大,在土表与水分接触不充分吸水受到了限制。两种种子胚芽与初生根长度的比值在大于适宜播深后均呈增大(图 3-IV),也反映了种子在受到土层压力胁迫时对能量进行调整性分配的生理特性。

影响植物种子萌发的环境因子是多方面的,不同植物种子萌发对环境的适应机制也是多样的^[24~25]。本文中红砂和霸王种子萌发对干旱胁迫较为敏感的特点,以及播深实验所得结果,均为理解旱生、超旱生灌木植物适应干旱荒漠生态和进行植被恢复重建积累了科学数据。

References:

- [1] Yan Q C. *Seed Science*. Beijing: Agricultural Press of China, 2001. 97~102.
- [2] Huang Z Y, Yitzchak Gutterman, Hu Z H, *et al.* Influences of soil salinity and pre-hydration on seed dispersal and germination on *Artemisia monosperma* (Asteraceae). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(4): 676~680.
- [3] Zhang Z B, Wang F S. Effect of rodent predation on seedling survival and recruitment of wild apricot. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(11): 1762~1768.
- [4] Han J G. *Practical herbage seed science*. Beijing: China Agricultural University Press, 1997. 110~112.
- [5] Ye C F, Dai W X. *Seed science*. China Agriculture Press, 1994. 249~304.
- [6] Liu Z Q, Zhang S C. *Plant resistance physiology*. Beijing: China Agriculture Press, 1994. 86~87.
- [7] Zhong S B. *Germination physiology*. Beijing: Agricultural Press, 1988. 212~226.
- [8] Fu J R. *Seed physiology*. Beijing: Agricultural Press, 1992. 18~21, 68~70.
- [9] Pan X L, Dang R L, Wu G H. *Flora geography resources utilization in northwest arid desert region*. Beijing: Science Press, 2001. 18~19, 140.
- [10] Editorial Committee of Agricultural and Pastoral Division of Alashan Prefecture. *Agricultural and pastoral divisions of Alashan prefecture*. Huhhot: People Press of Inner Mongolia, 1992. 430~452.
- [11] Zeng Y J, Wang Y R, Nan Z B, *et al.* Study on soil seed banks of different grassland types of Alashan arid desert region, Inner Mongolia. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2003, **14**(9): 1457~1463.
- [12] Chen M J, Jia S X. *China forage flora*. Beijing: Agricultural Press of China, 2002. 1185~1186, 1236~1237.
- [13] Wang Y R, Zeng Y J, Fu H, *et al.* Affects of over grazing and enclosure on desert vegetation succession of *Reaumuria soongrica*. *J. Desert Res.*, 2002, **22**(4): 320~327.
- [14] Huang P Y, Nie X P, Zhou J M, *et al.* Study on the habitat of *Reaumuria soongrica* community in Zhungger basin. *J. Xinjiang University*, 1988, **5**(3): 66~71.
- [15] Huang P Y. Preliminary study on the live cycle of xerophilous arbor and shrub passed in dissimilar habitat in arid zone. *J. Xinjiang University*, 1988, **5**(4): 87~93.
- [16] Zeng Y J, Wang Y R, Zang B L, *et al.* Reproductive characteristics of *Reaumuria soongrica* populations. *Acta Pratac Sin.*, 2002, **11**(2): 66~71.

[17] Zeng Y J, Wang Y R, Zhang B L, *et al.* Eco-adaptability studies of seed germination in species of *Reaumuria soongorica* and *Oxytropis aciphylla*. *Acta Pratac Sin.*, 2000, **9**(3): 36~42.

[18] Kazuo Tobe, Zhang L P, Qiu Guoyu Yu, *et al.* Characteristics of seed germination in five non-halophytic Chinese desert shrub species. *J. Arid Environments*, 2001, **47**: 191~201.

[19] International Seed Testing Association. International rules for seed testing. *Seed Sci. and Tech.*, 1996, **24**(supplement): 167~176.

[20] Michel B E and Kaufmann M R. The osmotic potential of Polyethylene Glycol 6000. *Plant Physiol.*, 1973, **51**: 914~916.

[21] Zeng Y J, Wang Y R, SA Ren, *et al.* Responses of seed germination of three xeromorphic shrubs to drought stresses. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2002, **13**(8): 953~956.

[22] Yu L, Wang Y R, Sun J H. Studies on germination condition and stress resistance of *Hordeum brevisubulatum* seeds. *Acta Pratac Sin.*, 1999, **8** (3): 50~57.

[23] Yu L, Wang Y R, Sun J H. Effect of environment stress on germination and seedling length of *Hordeum bogdanii* seeds. *Acta Pratac Sin.*, 2002, **11**(2): 79~84.

[24] Li L, Wang G. Seed germination strategy: theory and practice. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23** (3): 1165~1174.

[25] Borisova I V. Germination capacity and patterns of seed germination in some steppe and meadow plants of Mongolia. *Botanic Zhur*, 1994, **79**(10): 69~75.

参考文献:

[1] 颜启传. 种子学. 北京: 中国农业出版社, 2001. 97~102.

[2] 黄振英, Yitzchak Gutterman, 胡正海, 等. 土壤盐分、预湿处理对 *Artemisia monosperma* (菊科) 种子传播和萌发的影响. 生态学报, 2001, **21**(4): 676~680.

[3] 张知彬, 王福生. 鼠类对山杏种子存活和萌发的影响. 生态学报, 2001, **21**(11): 1762~1768.

[4] 韩建国. 实用牧草种子学. 北京: 中国农业大学出版社, 1997. 110~112.

[5] 叶常丰, 戴心维. 种子学. 北京: 中国农业出版社, 1994. 249~304.

[6] 刘祖琪, 张石城. 植物抗性生理. 北京: 中国农业出版社, 1994. 86~87.

[7] 中山包[日]. 发芽生理学. 北京: 中国农业出版社, 1988. 212~226.

[8] 傅家瑞. 种子生理. 北京: 中国农业出版社, 1992. 18~21, 68~70.

[9] 潘晓玲, 党荣理, 伍光和. 西北干旱荒漠区植物区系地理与资源利用. 北京: 科学出版社, 2001. 4, 18~19, 140.

[10] 阿拉善盟农牧业区划编辑委员会. 阿拉善盟农牧业区划. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1992. 430~452.

[11] 曾彦军, 王彦荣, 南志标, 等. 阿拉善干旱荒漠区不同植被类型土壤种子库的研究. 应用生态学报, 2003, **14**(9): 1457~1463.

[12] 陈默君, 贾慎修. 中国饲用植物. 北京: 中国农业出版社, 2002. 1185~1186, 1236~1237.

[13] 王彦荣, 曾彦军, 付华, 等. 过牧与封育对红砂荒漠植被演替的影响. 中国沙漠, 2002, **22**(4): 320~327.

[14] 黄培佑, 湘潭, 周建民, 等. 准格尔盆地中部琵琶柴 (*Reaumuria soongorica*) 群落的生境研究. 新疆大学学报, 1988, **5**(3): 66~71.

[15] 黄培佑. 荒漠区耐旱树种在异质生境中完成生活周期现象初探. 新疆大学学报, 1988, **5**(4): 87~93.

[16] 曾彦军, 王彦荣, 张宝林, 等. 红砂种群繁殖特性的研究. 草业学报, 2002, **11**(2): 66~71.

[17] 曾彦军, 王彦荣, 张宝林, 等. 红砂和猫头刺种子萌发生态适应性的研究. 草业学报, 2000, **9**(3): 36~42.

[21] 曾彦军, 王彦荣, 萨仁, 等. 几种旱生灌木种子萌发对干旱胁迫的响应. 应用生态学报, 2002, **13**(8): 953~956.

[22] 余玲, 王彦荣, 孙建华. 野大麦种子萌发条件及抗逆性的研究. 草业学报, 1999, **8**(3): 50~57.

[23] 余玲, 王彦荣, 孙建华. 环境胁迫对布顿大麦种子萌发及种苗生长的影响. 草业学报, 2002, **11**(2): 79~84.

[24] 李良, 王刚. 种子萌发对策: 理论与实验. 生态学报, 2003, **23**(6): 1165~1174.