

DOI: 10.5846/stxb201306181733

温都日呼, 王铁娟, 张颖娟, 吴芳芳. 沙埋与水分对科尔沁沙地主要固沙植物出苗的影响. 生态学报, 2015, 35(9): 2985-2992.

Wendurihu, Wang T J, Zhang Y J, Wu F F. Effects of water supply and sand burial on seed germination and seedling emergence of three sand-fixing *Artemisia* plants in Horqin Sandy Land. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(9): 2985-2992.

沙埋与水分对科尔沁沙地主要固沙植物出苗的影响

温都日呼, 王铁娟*, 张颖娟, 吴芳芳

内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 呼和浩特 010022

摘要: 蒿属半灌木乌丹蒿 (*Artemisia wudanica*)、白沙蒿 (*A. sphaerocephala*)、差不嘎蒿 (*A. halodendron*) 是科尔沁沙地的主要固沙植物。其中乌丹蒿和差不嘎蒿是科尔沁沙地的本土植物, 白沙蒿为来自于库布齐沙漠、毛乌素沙地的飞播植物。设置了 5 个沙埋深度 (0.5、1.0、1.5、2.0 和 3.0 cm) 和 4 个水分梯度 (86、171、257 和 342 mL, 分别模拟每月 25、50、75 和 100 mm 的降雨量), 以探讨 3 种植物幼苗出土对沙埋和水分的响应。结果表明, 沙埋与水分均显著影响着 3 种蒿属植物的幼苗出土 ($P < 0.001$)。3 种植物最适沙埋深度在 0.5—1.5 cm 范围内, 萌发出土时适宜水量要高于当地种子萌发期的平均降水量 (50 mm/月)。两种固沙先锋植物乌丹蒿和白沙蒿的种子出苗率均显著高于差不嘎蒿, 乌丹蒿较白沙蒿也明显为高, 尤其在水分缺乏时, 表现出两种先锋植物种子出苗对干旱有更好的适应性。协方差分析表明, 乌丹蒿幼苗死亡率显著高于白沙蒿和差不嘎蒿 ($P < 0.05$), 在达到 75 mm/月降水量时, 3 种植物的出苗较好, 但不能满足乌丹蒿幼苗生长对水分的需求, 而实际种子萌发期的降水量平均只有 50 mm/月。因而降水的缺乏导致乌丹蒿种群更新出现问题, 加之飞播植物的竞争, 使得近几年科尔沁沙地较多乌丹蒿种群出现衰退。

关键词: 沙埋; 水分; 种子萌发; 幼苗出土; 蒿属

Effects of water supply and sand burial on seed germination and seedling emergence of three sand-fixing *Artemisia* plants in Horqin Sandy Land

Wendurihu, WANG Tiejuan*, ZHANG Yingjuan, WU Fangfang

College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China

Abstract: Semi-shrubs, *Artemisia wudanica*, *A. halodendron* and *A. sphaerocephala*, are major sand-fixing plants in Horqin Sandy Land. *A. wudanica* is a native pioneer species growing in shifting, semi-shifting sandy land and *A. halodendron* is the dominant species in semi-shifting, semi-fixed and fixed sand dunes. *A. sphaerocephala*, sown by aerial seeding to Horqin, was imported from Qubqi Desert and Mu Us Sandy Land as a sand-fixing pioneer plant. Seed germination and seedling establishment are critical to the recruitment of individuals into plant communities, and therefore studies on seed germination and seedling emergence characters of the three sand-fixing plants are of great significance to vegetation restoration in Horqin Sandy Land. Seedling emergence is closely related to sand burial depth and soil moisture in sandy land. In this study, five sand burial depths (0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 3.0 cm) and four water supply levels (86, 171, 257 and 342 mL) were adopted to investigate the responses of three plants to sand burial and water supply during seedling emergence. Water treatments are equivalent to mean monthly precipitation of 25, 50, 75 and 100 mm, respectively, and the average monthly precipitation during grass germination period (late May to early June) in the study area is about 50 mm. The results showed that, sand burial depth and water supply quantity had significant effects on seedling emergence in three plants ($P < 0.001$).

基金项目: 国家自然科学基金 (31160130); 内蒙古自治区自然科学基金 (2011MS0524); 内蒙古师范大学科学研究基金项目 (RCPY-2-2012-K-049)

收稿日期: 2013-06-18; 网络出版日期: 2014-05-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wtj105@163.com

The optimum depth for three species was 0.5—1.5 cm, suitable water supply at seed germination stage was higher than local monthly precipitation level (171 mL, i. e. 50 mm per month), which resulted in a very low emergence rate. Within the scope of water supply in this study, the emergence and germination rates were the highest at 342 mL (100 mm per month) in most conditions, and the highest rates in three species was all appeared at 342 mL water supply and 1.5 cm burial depth, showing that water supply contributed to seed emergence from slightly deep soil. Seedling emergence rates of two sand-fixing pioneer plants (*A. wudanica* and *A. sphaerocephala*) were significantly higher than that of *A. halodendron*, especially under water deficient conditions, showing their higher adaptability to drought. Covariance analysis showed that, seedling mortality of *A. wudanica* was significantly higher than those of *A. sphaerocephala* and *A. halodendron* ($P < 0.05$), especially in 257 mL water treatment ($P < 0.01$), but the difference declined with the increase of water. That is to say, when precipitation reached 75 mm per month, it met the requirements for seed germination of three plants, but not enough for *A. wudanica* seedling growth. In fact, average precipitation at seed germination stage is lower than this treatment. *A. wudanica* is mainly distributed over a very narrow region in western Horqin Sandy Land, and many populations disappeared in recent years, showing *A. wudanica* has been declining in Horqin. According to the results, rainfall deficiency led to regeneration difficulty for *A. wudanica*, water stress combined with competition with aerial seeding plants, *A. wudanica* populations degraded in Horqin Sandy Land.

Key Words: sand burial; water supply; seed germination; seedling emergence; *Artemisia*

菊科蒿属半灌木乌丹蒿 (*Artemisia wudanica*)、白沙蒿 (又名籽蒿、圆头蒿 *A. sphaerocephala*)、差不嘎蒿 (又名盐蒿 *A. halodendron*) 是科尔沁沙地主要固沙植物。其中乌丹蒿和差不嘎蒿是科尔沁沙地本土植物, 乌丹蒿主要生于流动及半流动沙地, 为固沙的先锋植物; 差不嘎蒿则主要生于半流动、半固定和固定沙地, 为沙地主要建群种。白沙蒿为飞播植物, 来自于内蒙古中部的鄂尔多斯地区 (库布齐沙漠或毛乌素沙地), 也是固沙的先锋物种^[1]。3种植物对科尔沁沙地的治理及生态恢复均起着重要作用。

在半干旱及干旱地区, 因植被稀疏土地荒漠化常常引起风沙活动, 导致植物在风沙区常处在不同深度的沙埋中。在这里植物能否定植与它的幼苗出土及生长对沙埋的适应有着很大的关系。目前, 很多研究表明在荒漠化环境中沙埋是影响幼苗出土及存活的关键因子之一^[2-4]。沙埋的深度直接影响植物种子的萌发出土及存活, 而合适的沙埋深度, 可以改变出苗的生物和非生物条件, 能够提高幼苗的生存能力^[5-7]。除了沙埋深度, 土壤水分、土壤温度、光照和通气性等也影响着种子萌发和出苗^[8]。在沙区环境中, 水分的影响尤为重要, 降水的次数和多少直接决定着不同深度土层的含水量, 影响不同沙埋深度的出苗^[9]。种子萌发和幼苗定植对于植物群落个体的补充起着关键作用^[10-11], 在科尔沁沙地, 对于以乌丹蒿、差不嘎蒿、白沙蒿各自占优势的群落中, 种子萌发和定植决定着群落中实生苗的多少, 进而影响着群落的发展。其中乌丹蒿主要分布于科尔沁沙地西部, 即内蒙古翁牛特旗, 分布区十分狭小, 而近十年种群呈减少趋势。内蒙古翁牛特旗乌丹镇西北部巴林桥附近存在着大面积的流动沙地, 2002年考察时乌丹蒿在一个个沙丘顶部均有分布, 2006年考察时, 明显减少, 但2010年考察时已不见踪迹。并且在乌丹镇东北和东部找到的乌丹蒿群落中, 也很少或难以见到本种的实生苗。由于乌丹蒿的生存年龄一般为5龄, 如果没有实生苗的补充, 种群就会走向衰退。作为这样一个优良的、狭域分布的固沙物种, 一些种群的消失是值得关注的问题。因而开展科尔沁沙地3种蒿属固沙植物幼苗出土对沙埋和水分响应的研究, 阐明它们在不同沙埋深度和水分条件下的最适条件, 对3种植物耐沙埋以及耐旱能力进行比较, 可为治理科尔沁沙地以及飞播物种的选择提供重要参考, 同时也对乌丹蒿的保护和利用提供重要依据。

1 材料与方法

1.1 研究地区自然概况

研究地区位于科尔沁沙地西部内蒙古赤峰市翁牛特旗乌丹镇 (E 119°15.935', N 43°02.636', 595 m)。年

均温 6.4 ℃, 极端最高温度 40.5 ℃, 极端最低温度 -30.1 ℃。年降水量 369.1 mm, 多集中于 6—8 月, 7 月份的降水量最高。

1.2 研究方法

实验所用沙土、植物种子于 2010 年 11 月取自研究地。试验开始前进行了种子萌发能力测定, 将 3 种植物的种子各 50 粒摆放到铺有双层滤纸的培养皿中, 各设 3 个重复, 置于培养箱中, 25 ℃ 恒温, 定期补充蒸馏水, 得到的种子发芽率分别为: 乌丹蒿 (97.33±3.10)%, 白沙蒿 (94.67±3.06)%, 差不嘎蒿 (92.67±5.03)%, 这可作为各自的最大萌发率, >90% 的结果说明 3 种植物的种子均有良好的萌发能力, 且植物间的萌发率差异不显著 ($P < 0.05$)。2011 年 6 月初, 将 100 ℃ 下烘干 48 h 的沙土装在塑料圆柱型容器 (内经 6.6 cm、高度 9 cm) 内, 塑料容器底部开排水孔, 排水孔上方垫有细尼龙网防止细沙渗漏。从水平沙面往上测出设计好的沙埋深度做标记。沙埋深度包括 0.5、1.0、1.5、2.0、3.0 cm 共 5 个处理。每个处理包括 3 个重复, 每个重复 36 粒种子, 6 行 6 列均匀摆放, 再均匀铺撒沙土至事先标记的沙埋深度处。

根据当地降水量资料 (1971—2000 年), 上述 3 种植物种子主要萌发期 (5 月下旬至 6 月上旬) 月平均降水量约为 50 mm, 在此基础上本实验模拟每月 25、50、75 和 100 mm 的降水量, 根据容器大小换算出各梯度对应的供水量分别为 86、171、257 和 342 mL。参照聂春雷等^[12]人的方法, 实验期间每隔 3 d 加水 1 次, 每次加水量为总水量的十分之一, 实验进行 30 d。

所有处理均置于光照、通风一致, 并能挡雨的户外实验室阳台上, 除了水分外, 使实验的其它因子尽量接近自然状况。种子沙埋并供水后开始计时, 每天观察出土幼苗和死亡幼苗并对其总数做详细记录。

1.3 数据分析

本实验采用出苗率、出苗速率、死亡率 3 项指标描述了 3 种沙蒿幼苗出土情况。

出苗率为露出沙面的幼苗个数占实验使用种子个数的百分率。

出苗速率^[13]是描述幼苗出土快慢的指标, 其计算公式为:

$$G_R = \sum \frac{100G_i}{nt_i}$$

式中, n 代表每个处理中使用的种子个数, G_i 代表 t_i ($t_i = 0, 1, 2, 3, \dots, \infty$ d) 的出苗个数。出苗速率值越大, 表示出苗速率越快。

死亡率, 即实验过程中死亡幼苗的个数占出土幼苗个数的百分率。

使用 SPSS16.0 进行统计分析, 由于出苗率、死亡率为百分率数据, 对它们进行反正弦转换 ($\theta = \sin^{-1}\sqrt{p}$, p 为相应的百分率, θ 为转换后值), 进而进行方差分析和协方差分析。在进行方差分析时先对数据进行方差齐次性检验, 方差具齐性时采用 Duncan 法进行多重比较, 方差非齐的情况下, 采用 Dunnett's T3 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同植物、水分梯度和沙埋深度下出苗率和出苗速率的变化

对出苗率和出苗速率数据进行三因素方差分析, 结果表明: 不论是出苗率还是出苗速率, 3 种植物、水分梯度和沙埋深度, 以及它们两两间的交互作用均表现出极其显著的差异性 ($P < 0.01$) (表 1)。

2.1.1 水分梯度和沙埋深度对出苗率的影响

分别对 3 种植物在不同水分梯度、沙埋深度下的出苗率做两因素方差分析, 结果如图 1 所示。

从图 1 乌丹蒿的结果可知, 供水量 171 mL 时, 种子只在浅层沙埋 0.5、1.0 cm 下出苗, 但出苗率很低, 均为 1.85%; 在供水量 257 mL 时, 乌丹蒿出苗率随着沙埋深度的增加而减少, 0.5、1.0 cm 条件下的出苗率明显比 1.5、2.0、3.0 cm 高 ($P < 0.05$); 而供水量 342 mL 时, 乌丹蒿的出苗率随着沙埋深度的增加呈现先增长后减少的趋势, 沙埋深度 1.5 cm 时出苗率最高。不同的水分梯度间, 沙埋 0.5、1.0 cm 时, 均表现为供水量 257、342 mL

下的出苗率比 171 mL 明显高,257 mL 也较 342 mL 高,但前两者之间差异不显著;沙埋 1.5、2.0 cm 时,342 mL 下的出苗率均比 257 mL 高,且 1.5 cm 条件下,两种水分梯度间差异显著;沙埋 3 cm 时,只有 257 mL 供水量下有出苗,但仅有 0.93%。

表 1 不同植物、水分梯度和沙埋深度下出苗率和出苗速率的三因素方差分析

Table 1 Three-way ANOVA of percentage and speed of seedling emergence based on different species, water supply gradient and sand burial depth

偏差来源 Deviation source	自由度 Degree of freedom	出苗率 Emergence percentage		出苗速率 Emergence rate	
		F	P	F	P
3 种植物 Three Species(S)	2	37.068	<0.001	34.082	<0.001
水分梯度 Water supply gradient (W)	2	93.355	<0.001	48.993	<0.001
深度 Depth (D)	4	35.427	<0.001	18.513	<0.001
3 种植物×水分梯度 (S×W)	4	7.743	<0.001	8.610	<0.001
3 种植物×深度 (S×D)	8	2.303	0.027	3.307	0.002
水分梯度×深度 (W×D)	8	12.390	<0.001	9.101	<0.001
3 种植物×水分梯度×深度 (S×W×D)	16	0.905	0.565	1.417	0.152
误差 Error					
总和 Total	90				
	135				

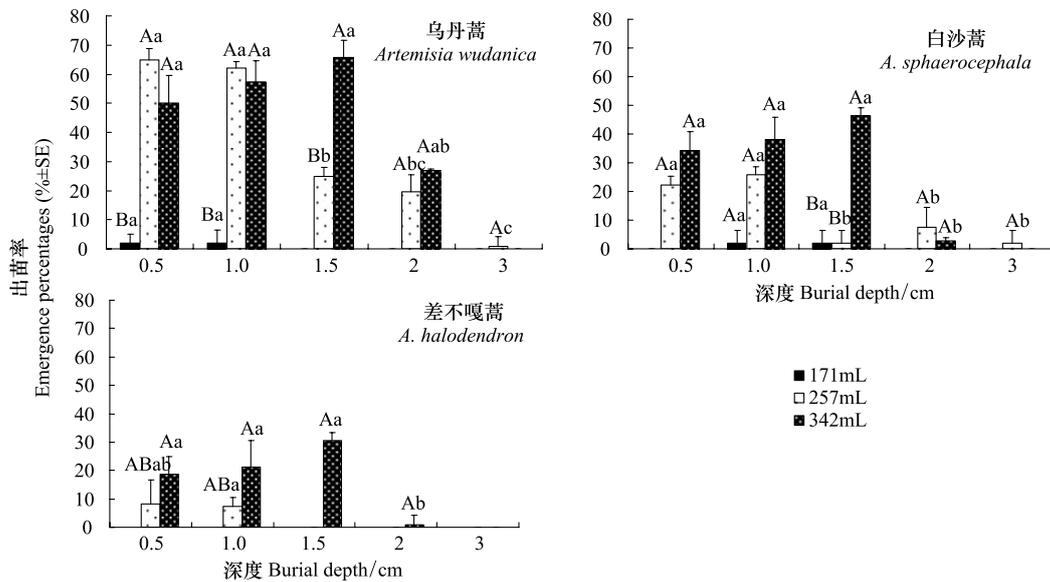


图 1 乌丹蒿、白沙蒿、差不嘎蒿种子在不同水分梯度和沙埋深度的出苗率

Fig.1 Seedlings emergence percentage of *Artemisia wudanica*, *A. sphaerocephala*, *A. halodendron* under different water supply gradient and burial depth 不同大写字母表示同一沙埋深度,不同水分梯度之间差异达到显著 ($P < 0.05$);不同小写字母表示同一水分梯度,不同沙埋深度之间差异达到显著 ($P < 0.05$)

就白沙蒿而言(图 1),供水量 171 mL 时,只在沙埋 1.0、1.5 cm 下有很低的出苗率,均为 1.85%。另两个水分梯度下,白沙蒿的出苗率均呈现出随着沙埋深度的增大先增长后减少的趋势:供水量 257 mL 时,在沙埋为 1 cm 时达到最高值,之后显著下降;在供水为 342 mL 条件下,在沙埋 1.5 cm 时达到最大,随后显著降低 ($P < 0.05$)。对于相同沙埋深度不同水分梯度之间的差异表明,沙埋深度在 0.5、1.0、1.5 cm 时,出苗率均随着供水量的增大而增大;大于 1.5 cm 时,各供水量条件下的出苗率很低,3 cm 时只有 257 mL 供水量下有出苗。

差不嘎蒿(图 1)在供水量 171 mL 时,各沙埋条件下均未出苗;257 mL 时,0.5、1.0 cm 条件下有很低的出苗率,均小于 10%,而深于 1.0 cm 后没有幼苗出土;342 mL 时,出苗率随着沙埋深度的增大先增大后减少,在

1.5 cm 时出苗率最高。对于不同的水分梯度,沙埋 0.5、1.0 cm、1.5 cm 时,出苗率有随着供水量的增大而增大的趋向;沙埋 2 cm,出苗率极低,3 cm 时不出苗。

就 3 种植物而言,种子出苗率有着显著的差异($P<0.001$,表 1),乌丹蒿明显高于其他两种植物,白沙蒿也显著高于差不嘎蒿,表现出两种固沙先锋植物有着更高的出苗率。

2.1.2 水分梯度和沙埋深度对出苗速率的影响

表 2 显示,3 种植物的种子出苗速率在各沙埋条件下,有着随供水量的增加而增大的趋势,但 257 mL 与 342 mL 间差异多数表现为不显著。在沙埋深度 0.5 cm 和 1.0 cm 时,乌丹蒿的出苗速率均表现为在 171 mL 下的出苗速率明显低于另两个供水量,而另两者之间差异不显著;白沙蒿除沙埋 0.5 cm、171 mL 未出苗外,供水量间差异均不显著;差不嘎蒿则表现为 171 mL 供水量均未出苗,另两个供水条件同样差异不显著。在沙埋深度 1.5 cm 时,乌丹蒿与白沙蒿均表现为供水量 342 mL 下的出苗速率明显为高,而差不嘎蒿在此沙埋条件下,仅 342 mL 的供水出了苗。沙埋深度 ≥ 2 cm 时,3 种植物出苗速率均较低或未出苗。从供水的情况来看,3 种植物在同一水分梯度、不同沙埋深度下的出苗速率结果较为一致,供水量 171 mL 时,出苗速率均很低或未出苗;供水量 257 mL 时,在沙埋深度 0.5、1 cm 条件下的出苗速率均比其它沙埋深度明显高($P<0.05$);供水量 342 mL 时,沙埋 1.5 cm 下的出苗速率最高,且 3 种植物在此条件下均达到所有设置的最高值。

表 2 不同水分梯度、沙埋深度下 3 种植物出苗速率的比较

Table 2 Comparison of seeding emergence rate under different water supply gradient and burial depth (\pm SE)

种名 Species	水分梯度/mL Water supply gradient	沙埋深度 Burial depth				
		0.5 cm	1 cm	1.5 cm	2 cm	3 cm
乌丹蒿	171	0.06 \pm 0.03 Ba	0.06 \pm 0.06 Ba			
<i>Artemisia wudanica</i>	257	4.07 \pm 0.49 Aa	4.13 \pm 0.14 Aa	1.36 \pm 0.41 Bb	1.12 \pm 0.76 Ab	0.04 \pm 0.04 Ab
	342	3.05 \pm 0.95 Aab	3.90 \pm 1.23 Aab	4.45 \pm 1.03 Aa	1.46 \pm 0.09 Abc	
白沙蒿	171		0.06 \pm 0.11 Aa	0.07 \pm 0.13 Ba		
<i>A. sphaerocephala</i>	257	0.90 \pm 0.17 ABa	1.25 \pm 0.15 Aa	0.09 \pm 0.09 Bb	0.38 \pm 0.24 Ab	0.08 \pm 0.08 Ab
	342	1.68 \pm 0.51 Aab	2.17 \pm 1.56 Aab	3.10 \pm 0.35 Aa	0.15 \pm 0.00 Ab	
差不嘎蒿	171					
<i>A. halodendron</i>	257	0.29 \pm 0.24 Aa	0.31 \pm 0.11 Aa			
	342	1.03 \pm 0.57 Aab	1.19 \pm 0.85 Aab	1.65 \pm 0.27 Aa	0.04 \pm 0.04 Ab	

2.2 不同植物、水分梯度和沙埋深度下幼苗死亡率的变化

由于每个处理间出苗数不同,考虑到出苗数量的不一致可能会影响到死亡率,因而采用了协方差分析。结果表明(表 3),幼苗出苗率对死亡率没有显著的回归影响,即出苗的多少并不显著影响死亡率($P>0.05$)。去除掉回归影响后的方差分析表明,3 种植物间死亡率差异显著,而各水分梯度间和各沙埋深度间幼苗死亡率均无显著差异,不过水分梯度间的概率值为 0.071,接近 0.05。从因子的交互作用来看,3 种植物和水分梯度的交互作用间差异显著($P<0.05$),经分析表明,乌丹蒿在不同水分梯度间差异显著,另两个种差异不显著。对 3 种植物间的死亡率做多重比较(表 4)。由于 171 mL 的供水量出苗率极低,且差不嘎蒿在此供水下没有出苗,因而只比较分析了另两个水分梯度,表中数据是 3 种植物分别在同一供水量下各沙埋深度的平均结果。可以看出,乌丹蒿在不同供水条件下的死亡率均高于另两个种,在 257 mL 时呈现极显著的差异性($P<0.01$),但较多的供水(342 mL)时差异变得不明显。两个水分梯度间,257 mL 供水量下的死亡率均高于 342 mL,乌丹蒿、白沙蒿、差不嘎蒿分别高出 173.3%、43.5%和 137.4%,乌丹蒿表现得最为明显,说明乌丹蒿幼苗的高死亡率与水分的缺乏有着直接的关系。

表 3 不同植物、水分梯度和沙埋深度下幼苗死亡率的协方差分析

Table 3 Analysis of covariance for seedlings mortality of different species, water supply gradient and burial depth

偏差来源 Deviation source	自由度 Degree of freedom	均方 Mean Square	F	P
出苗率 Emergence percentage	1	1.466	0.004	0.948
3 种植物 three Species (S)	2	1233.879	3.670	0.037
水分梯度 Water supply gradient (W)	2	968.381	2.881	0.071
深度 Depth (D)	4	300.972	0.895	0.478
3 种植物×水分梯度 (S×W)	3	1012.822	3.013	0.044
3 种植物×深度 (S×D)	5	734.690	2.185	0.080
水分梯度×深度 (W×D)	4	262.614	0.781	0.546
3 种植物×水分梯度×深度 (S×W×D)	3	297.905	0.886	0.459
误差 Error				
总和 Total	32	336.178		
	57			

表 4 不同水分梯度条件下 3 种植物死亡率的比较

Table 4 Comparison on mortality rate of 3 species under different water supply gradient (%±SE)

物种 Species	水分梯度 Water supply gradient		总死亡率 Total mortality
	257 mL	342 mL	
乌丹蒿 <i>A. wudanica</i>	63.12±8.51 aA	23.10±6.19 aA	42.24±5.83 aA
白沙蒿 <i>A. sphaerocephala</i>	4.78±3.61 bB	3.33±5.65 aA	4.09±3.19 bB
差不嘎蒿 <i>A. halodendron</i>	19.44±10.98 bAB	8.19±5.01 aA	11.00±4.65 bB

同一列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)

3 结论与讨论

3.1 沙埋对 3 种植物出苗的影响

就沙埋深度而言, 3 种植物出苗的最适条件在 0.5—1.5 cm 范围内, 具有较高的出苗率和出苗速率。总的来说, 0.5 cm 和 1.0 cm 更好, 这与聂春雷等^[9]对白沙蒿的研究结果一致。但 1.5 cm 时得到的结果不同, 在本研究中 1.5 cm 时仍有着较高的出苗率, 不过只出现在模拟 100 mm 月降水量 (342 mL 供水量) 的条件下。沙埋深度 ≥ 2 cm 时, 3 种蒿属植物种子不能出苗或者出苗延迟。因为沙埋越深, 种子萌发后穿透沙层的可能性越小, 并且过度的沙埋会造成氧气的缺乏, 因而在深层沙埋条件下会出现种子萌发但幼苗不能出土的现象^[14-16]。

3.2 水分对 3 种植物出苗的影响

在荒漠化生境中, 降水的强度和频度决定了不同深度土层的含水量, 因而影响不同沙埋深度的种子萌发出苗^[9]。本研究结果显示, 供水量的多少显著影响着 3 种植物的出苗 ($P < 0.001$)。在设置的水分梯度下, 白沙蒿和差不嘎蒿种子的出苗率在适宜沙埋深度下 (0.5—1.5 cm), 均随着供水量的增大而增大, 但乌丹蒿种子只在沙埋 ≥ 1.5 cm 时, 才表现出相同的趋势。而在水分缺乏的条件下, 如供水量 86 mL 时, 3 种植物均没有出苗, 供水量 171 mL 时, 差不嘎蒿仍没出苗, 乌丹蒿、白沙蒿也只有很低的出苗率, 这反映出水分对 3 种植物种子萌发的限制作用。沙埋深度 1.5 cm、供水量 342 mL 时, 3 种植物的出苗率均达到最大值, 反映出沙埋深度与水分间的交互作用, 说明较多的供水量有利于较深层的种子萌发出苗, 这可能与土壤在这一深度 (1.5 cm) 能够保持更多的水分有关。出苗速率的变化与出苗率的结果相似, 在各沙埋条件下, 出苗速率有着随供水量的增加而增大的趋势, 不过 257 mL 与 342 mL 间的差异多为不显著, 即在基本满足 3 种植物对水分的需求后, 出苗速率的差异变得不明显。

171 mL 的供水量是模拟的当地种子萌发期 50 mm 平均月降水量, 但在这种条件下, 3 种植物的出苗率均

很低,这样的结果不同于聂春雷等^[12]的研究,他们所得的结论是 50 mm 降水量完全可以满足白沙蒿种子的萌发。原因在于他们所做的试验是在温室内进行,本研究是在户外进行,充分接受了自然光照和受到风的影响,因而相同供水的情况下,土壤的蒸发量大于室内条件,所以土壤的实际含水量要低。低的出苗率与我们 2010 年在野外看到的 3 种植物的实生苗很少相一致。但在 2011 年研究区乌丹镇的降水量明显增加,6 月实际降水量达到 83.5 mm,之后看到群落中有较多的实生苗,尤其是乌丹蒿出现大量实生苗,此降水量略高于模拟的 75 mm/月降水量(257 mL 供水量)。

相同条件下乌丹蒿的种子有着最高的出苗率,同为固沙先锋植物的白沙蒿也较高,而差不嘎蒿最低,且随着水分的减少这种差异更为明显,因而反映出 3 种植物的出苗对干旱的适应能力大小。乌丹蒿和白沙蒿均高于差不嘎蒿,这可能是由于前两者主要生于流动沙地,种子遇水分泌粘液的速度快。曾做过实验表明,白沙蒿分泌粘液的时间是 5 min 左右,乌丹蒿近 30 min,而差不嘎蒿则需要近 180 min。这样,前两者能迅速粘结土粒,可使种子周围保持更多的有效水分,因而更易萌发出土。

3.3 沙埋和水分对 3 种植物幼苗死亡率的影响

与出苗率不同的是乌丹蒿幼苗死亡率明显高于白沙蒿和差不嘎蒿($P < 0.05$),也就是说,对于乌丹蒿,虽然有较高的出苗率,但是幼苗出土之后存活率却显著为低。而在干旱地区水分的补充主要靠雨水,并且年降水波动性较大。在月平均降水量为 50 mm 或更低的条件下,3 种沙蒿的萌发受限制,当达到 75 mm/月降水量时,有利于 3 种植物的出苗,但仍不能满足乌丹蒿幼苗生长对水分的需求。从野外实际观测的结果发现,83.5 mm/月的降水量可满足乌丹蒿幼苗的需水,不过这只是月平均降水量,并未考虑降水的频率。如遇连年干旱,尤其是在种子萌发期降水的缺乏,乌丹蒿种群的更新就会出现問題。

在乌丹蒿的主要分布区乌丹镇,目前仍存在着大面积的流动沙丘,曾经在流动沙丘广泛分布的乌丹蒿,多数被白沙蒿、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)等飞播植物所取代。尤其在前面所述的巴林桥附近,2002 年乌丹蒿在各沙丘顶部普遍分布,但 2010 年考查时已看不到乌丹蒿,在流动沙丘的顶部代之而起的是锦鸡儿,直到目前也没有发现乌丹蒿。因此在相同的生境下,先锋植物间的替代还不属于沙地群落随固定而呈现的演替。以往研究了飞播植物白沙蒿、柠条锦鸡儿和羊柴(*Hedysarum laeve*)对乌丹蒿的化感作用,以及乌丹蒿自身的化感作用,结果表明四种植物的水浸提液,尤其是根部水浸提液对乌丹蒿种子萌发及幼根的生长均具有显著的抑制作用^[17]。不过在自然条件下,土壤中化感物质的浓度还难以测定,因而在分析乌丹蒿衰退的成因中,化感作用起到多大的作用还无法准确定量分析。而在本研究中从乌丹蒿在不同水分梯度下幼苗死亡率来看,它的幼苗生长需要更多的水分,幼苗的耐旱能力低于白沙蒿和差不嘎蒿。根据翁牛特旗(乌丹镇为该旗政府所在地)6 月份的降水数据,2001—2005 年为 67.3(平均数)±14.1 mm(标准差),2006—2010 年为(50.7±28.8) mm,后者降水减少且年际间波动性大,其中 2007 年和 2010 年降水量分别只有 8.8 mm 和 3.5 mm。因而水分,主要是降水的缺乏影响着乌丹蒿的更新,不过在一些背风坡上由于水分较好,还保留着一些乌丹蒿种群,由于飞播植物具有更强的耐旱性并且对乌丹蒿存在化感作用,因而在竞争中占据了优势,使得近几年科尔沁沙地较多乌丹蒿种群出现衰退。

参考文献(References):

- [1] 王铁娟, 杨持, 吕桂芬, 马春明, 陈海英. 中国北部六种沙蒿的地理替代规律及其主导生态因子. 生态学报, 2005, 25(5): 1012-1018.
- [2] 李秋艳, 赵文智. 五种荒漠植物幼苗出土及生长对沙埋深度的响应. 生态学报, 2006, 26(6): 1802-1808.
- [3] 闫巧玲, 刘志民, 李雪华, 马君玲. 埋藏对 65 种半干旱草地植物种子萌发特性的影响. 应用生态学报, 2007, 18(4): 777-782.
- [4] 郑明清, 郑润涛, 姜联合. 毛乌素沙地 4 种沙生植物种子萌发及出苗对沙埋及单次供水的响应. 生态学报, 2006, 26(8): 2474-2484.
- [5] Brown J F. Effects of experimental burial on survival, growth, and resource allocation of three species of dune plants. *Journal of Ecology*, 1997, 85(2): 151-158.
- [6] Ren J, Tao L, Liu X M. Effect of sand burial depth on seed germination and seedling emergence of *Calligonum* L. species. *Journal of Arid Environments*, 2002, 51(4): 603-611.
- [7] 苏延桂, 李新荣, 贾荣亮, 冯丽. 沙埋对六种沙生植物种子萌发和幼苗生长的影响. 中国沙漠, 2007, 27(6): 968-971.

- [8] Tobe K, Zhang L P, Omasa K. Seed germination and seedling emergence of three annuals growing on desert sand dunes in China. *Annals of Botany*, 2005, 95(4): 649-659.
- [9] 罗亚勇, 赵学勇, 黄迎新, 左小安, 王少昆, 张永锋. 三种一年生藜科沙生植物出苗对沙埋深度和水分条件的响应. *草业学报*, 2009, 18(2): 122-129.
- [10] Rees M. Seed dormancy // Crawley M J, ed. *Plant Ecology*. Oxford: Blackwell Science, 1997: 214-238.
- [11] White T A, Campbell B D, Kemp P D. Laboratory screening of the juvenile responses of grassland species to warm temperature pulses and water deficits to predict invasiveness. *Functional Ecology*, 2001, 15(1): 103-112.
- [12] 聂春雷, 郑元润. 鄂尔多斯高原 4 种主要沙生植物种子萌发与出苗对水分和沙埋的响应. *植物生态学报*, 2005, 29(1): 32-41.
- [13] Rozema J. The influence of salinity, inundation and temperature on the germination of some halophytes and non-halophytes. *Oecologia Plantarum*, 1975, 10: 341-353.
- [14] Vleeshouwers L M. Modelling the effect of temperature, soil penetration resistance, burial depth and seed weight on pre-emergence growth of weeds. *Annals of Botany*, 1997, 79(5): 553-563.
- [15] 朱雅娟, 董鸣, 黄振英. 沙埋和种子大小对固沙禾草沙鞭的种子萌发与幼苗出土的影响. *植物生态学报*, 2005, 29(5): 730-739.
- [16] 杨慧玲, 曹志平, 董鸣, 叶永忠, 黄振英. 沙埋对无芒雀麦种子萌发和幼苗生长的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2438-2443.
- [17] 温都日呼, 王铁娟, 韩文娟, 代亭亭. 4 种植物水浸提液对乌丹蒿的化感作用研究. *植物研究*, 2013, 33(1): 86-90.