

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

罗亚勇^{1,2}, 赵学勇¹, 黄迎新^{1,2}, 左小安^{1,2}, 王少昆^{1,2}, 张永锋³

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 甘肃省灵台县西屯中学, 甘肃 平凉 744403)

摘要:通过盆栽控制试验,研究了沙米、大果虫实和长穗虫实3种一年生沙生植物在4个模拟降水水平(A、B、C和D)和6种埋深水平(0,10,20,30,40和50 mm)的出苗情况。结果表明,3种植物种子均没有休眠现象。沙米和长穗虫实均在10 mm埋深处的出苗率最大,而大果虫实在30 mm埋深处的出苗率最大,沙米、大果虫实和长穗虫实,各降水处理的平均出苗率分别为50.63%,77.29%和75.21%。在沙土表面的种子,沙米萌发受强烈抑制,而其余2种植物在降水较多的A、B和D处理下萌发较多但成苗较少。这3种植物耐埋深的大小依次为:大果虫实>沙米>长穗虫实。降水量越大,其出苗率越高,沙米和大果虫实单次强降水下其种子出苗率大于等量的多次少量降水的积累,但是长穗虫实相反。这表明在干旱半干旱沙地,降水是调节季节性种子出苗最重要的决定因素,种子在沙土中的垂直分布决定了降水后种子萌发的比例并有助于维持土壤种子库。

关键词:沙米;大果虫实;长穗虫实;出苗;埋深;降水

中图分类号:Q945.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2009)02-0122-08

* 种子萌发行为和幼苗库的建成是植物生活史繁殖对策研究的重要方面^[1,2],种子萌发行为的比较对解释植被构成差异具有重要意义^[3,4]。在荒漠生境中,降水的时间变异性强烈地限制植物的生存。与成熟植株相比,幼苗根系发育尚短,而且仅仅分布在干燥而较薄的土壤表层或近表层,因而更易遭受水分胁迫。植被能否在干旱风沙区生境上定植取决于它的幼苗出土和生长对沙埋的适应能力^[5]。对一年生植物,在整个生活史仅生产1次种子,种子萌发和幼苗出土对于植物群落中幼苗的补充起着关键作用^[6~8]。

降水的强度和频度决定了不同深度土层的土壤水分,也决定了所能湿润的土层深度。一方面,即使少量的降水也能提高表层土壤含水量,但是表层土壤水分的蒸发也快。另一方面,只有较大量的降水才能提高深层土壤含水量,且深层土壤蒸发少,因而容易保持水分。因此分布在不同深度土壤的种子在降水后面临不同的土壤水分条件,这也影响不同沙埋深度的种子萌发率和出苗率。除了土壤水分,其他受土壤深度调节的因素,如土壤温度、光照和通气性等,也影响种子萌发和出苗^[8]。不同植物种子萌发受沙埋深度的影响不同,有些植物种子的萌发与埋深无关^[9,10],而有些植物种子在深沙埋条件下不能萌发^[11,12]或者诱导休眠^[10,13]。即使种子萌发不需要光照,沙埋深度越高,幼苗出土过程中延伸越长,受到沙埋的阻力越大。一般来说出苗率与种子重量有很大关系,种子重量越大,在相同深度沙埋条件下更容易出苗^[5,14,15]。

沙米(*Agriophyllum squarrosum*)、大果虫实(*Corispermum macrocarpum*)和长穗虫实(*Corispermum elongatum*)均为一年生藜科植物。沙米种群主要生长在流动沙丘上,在半固定沙丘和固定沙丘上沙米种群仅生长在其中的裸沙斑中,它是流动沙丘恢复过程中的主要先锋植物种^[16,17]。大果虫实种群主要分布在半流动沙丘上。长穗虫实主要分布在退化的沙质草地和固定沙丘上。它们出现在沙地植被恢复演替过程中的不同阶段,在沙地恢复中有重要作用。因此本研究以这3种植物为研究对象。

关于土壤水分和沙埋对种子萌发和出苗影响的研究报道较多^[8,18,19],但对于一年生植物种子对沙埋和降水

* 收稿日期:2008-04-18;改回日期:2008-06-23

基金项目:国家自然科学基金项目(40601008),中国科学院资环局方向性项目(KZCX2-YW-431)和中国科学院寒区旱区环境与工程研究所创新课题(O65044400)资助。

作者简介:罗亚勇(1983-),男,甘肃平凉人,在读博士。E-mail:luoyy816@126.com

响应的研究较少^[8]。本研究的目的在于阐明这 3 种沙生植物种子出苗对土壤水分及沙埋协同作用的响应过程。阐明它们最适宜的出苗条件,初步解释其在沙地自然植被演替中处于不同阶段的原因,进而为沙地植被的恢复重建工作提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于科尔沁沙地中南部的奈曼旗境内。地理位置 E 120°41', N 42°54', 属半干旱气候, 年均气温 6.5℃, 年平均降水量约为 366 mm。土壤类型主要有风沙土、草甸土、沙质栗钙土和沼泽土。而且土壤基质不稳定, 起沙风频繁强劲, 降水变率大, 生态环境十分脆弱, 是我国最为典型的风沙生态环境脆弱区。植被为处于不同沙漠化阶段的次生沙生植被, 流动沙丘主要建群种是沙米。半流动和半固定沙丘主要植物种有差巴嘎蒿(*Artemisia halodendrom*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、黄蒿(*Artemisia scoparia*)和大果虫实等。固定沙丘主要植物种有白草(*Pennisetum centrasianicum*)、芦苇(*Phragmites communis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza daurica*)和小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)等。

1.2 植物选择与种子收集

所选 3 种植物是沙地最常见的一年生草本, 代表了不同沙漠化演替阶段的植物种类。2006 年秋季种子成熟时期, 在同一地点的不同母株上收集种子。采集后的种子处理干净, 风干后装入布袋置于实验室内自然冷藏。筛选大而饱满的种子, 测量千粒重, 共 5 个重复。种子重量种间差异大, 种内差异小(表 1)。

表 1 3 种植物的种子重量和萌发率

Table 1 Seed mass and germination of the 3 species

植物种 Plant species	所属科 Family	生活型 Lifeform	千粒重 1 000 seed mass (±SD) (g)	萌发率 Germination (±SD) (%)
沙米 <i>A. squarrosus</i>	藜科 Chenopodiaceae	一年生 Annual	1.65±0.04	85.0±3.95
大果虫实 <i>C. macrocarpum</i>	藜科 Chenopodiaceae	一年生 Annual	2.23±0.04	91.5±2.85
长穗虫实 <i>C. elongatum</i>	藜科 Chenopodiaceae	一年生 Annual	1.10±0.06	97.5±1.77

1.3 试验设计

1.3.1 种子萌发预试验 试验在植物组织培养箱(6400Cp4, Contherm Scientific Co. ltd.)进行, 每天光照 14 h, 黑暗 10 h。在光照下温度设定为 25℃, 黑暗下为 15℃。每个培养皿内放入 2 张滤纸, 将 40 粒种子均匀放置在滤纸上, 加适量蒸馏水, 保持滤纸湿润。每天记录种子发芽数, 直到连续 5 d 种子不发芽, 结束试验。每种植物 5 个重复。

1.3.2 沙埋试验 花盆(直径 22 cm, 高 19 cm)内装有已晾干的过 1 mm 土壤筛的风沙土(取自流动沙丘 1 m 以下, 没有种子)。用尼龙网铺在带有排水孔的花盆底部, 既可通气又可阻止沙土漏出。将种子均匀撒在花盆中(距边缘 1 cm 处不撒种子)。

试验处理包括埋深和水分 2 个因素, 采用多因素完全随机试验设计。埋深设 0, 10, 20, 30, 40 和 50 mm 6 个水平。水分设置参照 Tobe 等^[8]的中国 3 种荒漠一年生植物出苗试验, 设置为 A、B、C 和 D 4 个模拟降水水平: A 为首次降水 30 mm(供水 1 139.8 mL), 以后每隔 1 d 降水 5 mm(供水 189.9 mL); B 为首次降水 10 mm(供水 379.9 mL), 以后每隔 2 d 降水 5 mm; C 为首次降水 10 mm, 以后每隔 6 d 降水 5 mm; D 为首次降水 30 mm, 以后不降水。A、B、C 降水处理 1 个月的累积降水量分别为 105, 60 和 30 mm, 分别模拟科尔沁沙地近 50 年(1961—2007 年)来 7, 6 和 5 月份的平均降水量。

每个物种共 6×4=24 个处理, 每个处理 5 个重复, 每个花盆内种植 40 粒种子。在种植 0 mm 的表层的种子时, 尽量使重心之下部分位于沙土中, 重心之上部分露出表面^[14]。除了种植种子的处理外, 每个水分处理设置 12 个空白对照用来测量土壤水分, 测量采用内径为 10 mm 的 PVC 管取土, 分别在播种后第 5, 10, 15 和 20 天用烘干法测量不同深度: 0~10, 10~20, 20~30, 30~40, 40~50 和 50~100 mm 各层土壤含水量, 每个水分处理每次

3个重复。试验在温室内进行,从2007年5月下旬开始,温室白天温度保持在25℃左右,夜间温度保持在20℃左右。每天记录幼苗数量,共30 d。

1.4 数据处理

数据分析采用SPSS 11.5 (SPSS Inc., Chicago, Illinois)软件进行处理,各物种出苗率,去除未出苗的处理,进行平方根数据转换,使之符合方差齐性检验。应用广义线性模型(GLM)分析沙埋和降水对出苗率的影响。

2 结果与分析

2.1 预试验种子萌发结果

3种植物在培养箱内的种子发芽率分别为:沙米(85.0±3.95)%,大果虫实(91.5±2.85)%,长穗虫实(97.5±1.77)%(表1)。这表明,3物种种子发芽率较高,种子没有休眠或休眠种子很少^[8]。因此分别将3种植物预试验中的发芽率作为各种种子沙埋试验种子最大发芽率。试验表明,3种植物种子萌发所需时间明显不同:长穗虫实在不到1 d的时间基本全部萌发,甚至在加水后3 h内就已经萌发了;大果虫实萌发集中在第1~4天;而沙米种子萌发主要集中在第3~6天,萌发持续时间较长,甚至在第10天还有少量种子萌发。

2.2 沙埋对种子出苗率的影响

沙埋深度显著影响着沙米($F=250.662, P<0.001$)、大果虫实($F=124.109, P<0.001$)和长穗虫实($F=244.897, P<0.001$)的出苗率(表2)。沙米和长穗虫实均在10 mm埋深处的出苗率最大,而大果虫实在30 mm埋深处的出苗率最大,各降水处理下沙米、大果虫实和长穗虫实平均出苗率分别为50.63%,77.29%和75.21%。沙米在0 mm埋深下几乎没有萌发,一方面由于该处土壤水分蒸发快,土壤水分含量低,而沙米种子萌发需要较高的土壤水分含量并且所需要的吸水时间较长;另一方面由于沙米种子萌发存在光抑制^[8]。2种虫实种子萌发在0 mm埋深时,A、B和D降水下大量萌发,但是定植的幼苗很少,这是由于它们能够迅速萌发,但是萌发幼苗的胚根不易扎进土壤,容易遭受土壤表层的干旱而死亡。长穗虫实在50 mm沙埋下几乎没有出苗,说明其种子出苗的最大埋深在50 mm。然而在此埋深,A和D降水处理下沙米和大果虫实仍可大量出苗。说明这3种植物耐埋深能力依次为大果虫实>沙米>长穗虫实。GLM分析表明,沙米、大果虫实和长穗虫实埋深的离均差平方和占埋深、降水处理以及其交互作用总离均差平方和的比例分别为56.04%,38.15%和76.56%(表2)。这说明埋深对3种植物种子出苗的影响为长穗虫实>沙米>大果虫实。

3种植物的出苗率都随着沙埋深度的增加先增加后降低(图1),而且除了沙米在C水分处理外其余均遵循着二次函数模型的关系: $E=b_0+b_1x+b_2x^2$ (E 为出苗率, b_0 为截距,而 x 代表沙埋深度)。回归方程如表3所示。

2.3 水分对种子出苗率的影响

4种模拟降水下不同深度土壤在第5,10,15和20天的水分含量结果显示(图2),不同降水处理显著影响着

表2 埋深和水分对3种植物出苗率影响的GLM分析

Table 2 Summary of GLM examining the effects of sand burial depth, irrigation depth and their interaction on seedling emergence of 3 species

项目 Item	df	沙米 <i>A. squarrosus</i>		大果虫实 <i>C. macrocarpum</i>		长穗虫实 <i>C. elongatum</i>	
		F	SS (%)	F	SS (%)	F	SS (%)
埋深 Sand burial depth	5	250.662	31.14***	124.109	10.67***	244.897	33.56***
水分 Irrigation regimes	3	200.718	14.96***	221.560	11.43***	44.744	3.68***
埋深×水分 Sand burial depth×irrigation regimes	15	25.395	9.46***	22.771	5.87***	16.049	6.60***
总计 Total			55.56		27.97		43.84

注:模型中包含截距,df:自由度,SS(%)处理方差平方和占总方差平方和的比例(模型Ⅲ),星号分别表示 $P<0.05$ (*), $P<0.01$ (**), $P<0.001$ (***).

Notes: Intercept was included in the model, df: Degrees of freedom, SS(%): Proportion of sum of squares to the total sum of squares (Type III), asterisks denote significance at $P<0.05$ (*), $P<0.01$ (**), $P<0.001$ (***) .

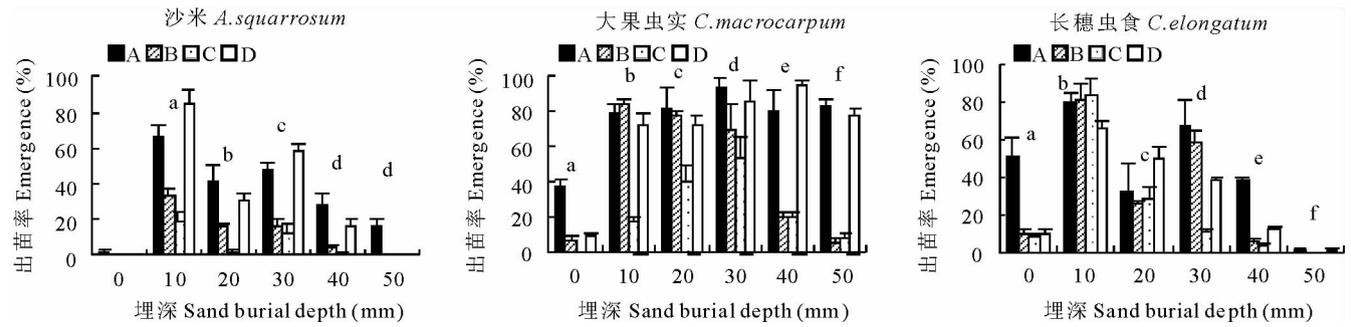


图 1 3 种植物在不同沙埋深度和降水下的出苗率

Fig. 1 Seedling emergence of three species at different sand burial depth and irrigation regimes

表 3 不同降水处理下 3 种沙生植物的出苗率与沙埋深度的二次曲线回归方程

Table 3 Conic functions are fitted between mean emergence and sand burial depth at different irrigation regimes for 3 species

水分 Irrigation regimes	沙米 <i>A. squarrosum</i>	大果虫实 <i>C. macrocarpum</i>	长穗虫食 <i>C. elongatum</i>
A	$E=14.38+3.03x-0.06x^2$ $R^2=0.560, P=0.002$	$E=43.18+2.97x-0.05x^2$ $R^2=0.747, P<0.001$	$E=53.63+1.34x-0.05x^2$ $R^2=0.580, P=0.002$
B	$E=8.01+1.24x-0.03x^2$ $R^2=0.516, P=0.004$	$E=21.31+4.98x-0.11x^2$ $R^2=0.754, P<0.001$	$E=25.33+2.63x-0.07x^2$ $R^2=0.463, P=0.009$
C	$E=4.29+0.56x-0.01x^2$ $R^2=0.508, P=0.100$	$E=-3.12+3.43x-0.07x^2$ $R^2=0.769, P<0.001$	$E=31.73+0.95x-0.04x^2$ $R^2=0.351, P=0.039$
D	$E=16.93+3.58x-0.08x^2$ $R^2=0.508, P=0.005$	$E=16.61+4.51x-0.07x^2$ $R^2=0.869, P<0.001$	$E=22.17+0.272x-0.07x^2$ $R^2=0.690, P<0.001$

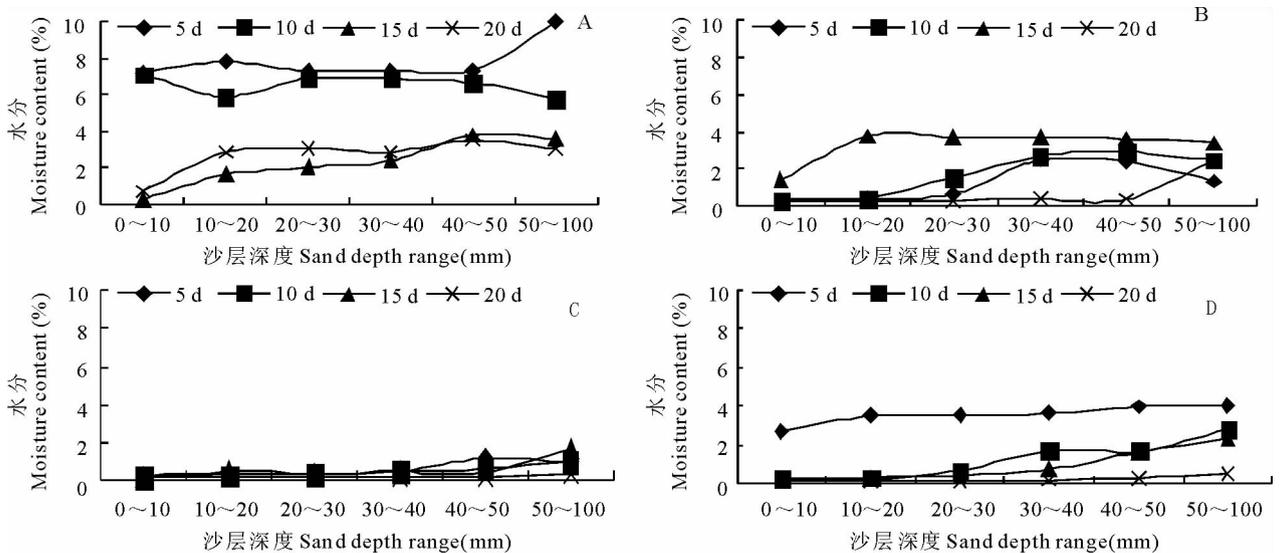


图 2 4 种降水下不同深度土壤水分在第 5, 10, 15 和 20 天的水分含量

Fig. 2 Moisture content in sand at different depth ranges in pots on 5, 10, 15 and 20 day

A、B、C、D 4 种模拟降水: A 为首次降水 30 mm(供水 1139.8 mL),以后每隔 1 d 降水 5 mm(供水 189.9 mL);B 为首次降水 10 mm(供水 379.9 mL),以后每隔 2 d 降水 5 mm;C 为首次降水 10 mm,以后每隔 6 d 降水 5 mm;D 为首次降水 30 mm,以后不降水。分别在播种后第 5, 10, 15 和 20 d 测定土壤水分,每点为 3 个重复的平均值 When the pots were irrigated initially with water equivalent to 30, 10 or 10 mm of irrigation regimes and subsequently with water equivalent to 5 mm of irrigation regimes at 1, 2 and 6 d intervals respectively (A, B and C, respectively). or irrigated initially with water equivalent to 30 mm of irrigation regimes and subsequently not irrigated at all (D). Moisture content in sand was measured 5, 10, 15 and 20 d after the beginning of irrigation. Each point represents the mean of three replications

沙米($F=200.718$, $P<0.001$)、大果虫实($F=221.560$, $P<0.001$)和长穗虫实($F=44.744$, $P<0.001$)的出苗率(表 2)。4 种降水处理对 3 种植物种子出苗率影响差异显著(表 4)。

GLM 分析表明,沙米、大果虫实和长穗虫实降水的离均差平方和占埋深、降水处理及其交互作用总离均差平方和的比例分别为 26.93%, 40.86% 和 8.39%;而且降水对大果虫实出苗率的离均差平方和贡献大于沙埋,其他 2 种相反(表 2)。这说明降水对 3 种植物种子出苗变异的解释:大果虫实>沙米>长穗

虫实。A,B 和 C 降水处理下,沙米、大果虫实和长穗虫实出苗率依次分别降低了 64.86%, 51.28% 及 42.86%, 47.68% 和 32.89%, 25.33%, 下降幅度表现为沙米>大果虫实>长穗虫实。A,B 和 C 降水处理下 3 种植物种子出苗率从大到小依次为大果虫实>长穗虫实>沙米;只有 D 处理下为大果虫实>沙米>长穗虫实。降水后 3 种植物种子出苗率表现为大果虫实>长穗虫实>沙米。

埋深和水分交互作用也显著影响着沙米($F=25.395$, $P<0.001$)、大果虫实($F=22.771$, $P<0.001$)和长穗虫实($F=16.049$, $P<0.001$)的出苗率(表 2)。沙米、大果虫实和长穗虫实沙埋与降水交互作用的离均差平方和占埋深、降水处理以及其交互作用总离均差平方和的比例分别为 17.03%, 21.00% 和 15.05%(表 2)。

3 讨论

种子出苗所需的适宜埋藏深度对一个特定的植物种往往很狭窄,当埋藏过深时,土壤中的低温、低 O_2 浓度、高湿和高 CO_2 浓度会完全抑制种子萌发^[20~22],即使种子可以萌发,也会因为养分消耗过多而难以出苗^[23];相反,当埋藏过浅时,种子的萌发率可能提高,但幼苗的死亡率也会因为表层土壤水分的快速散失而提高^[12]。本研究中,在土壤水分较好时,埋藏深度对大果虫实种子出苗的影响很小;沙米在 50 mm 埋深时仍可少量出苗,但是受埋深的影响较大,长穗虫实在 50 mm 埋深时基本不出苗。

质量较大的种子通常比质量小的种子具有较高的出苗率^[13,14,23,24]。但有时候其他特性也对种子的出苗率有决定性影响。Bowers^[23]发现,一些沙生植物的种子比那些具有相同或较大质量的非沙生植物种子更能从较深土层中出苗。沙米种子的质量为 1.65 mg,大果虫实和长穗虫实分别为 2.23 和 1.10 mg。这可以从一个方面解释大果虫实种子的出苗率比沙米和长穗虫实高的原因。沙米的出苗率小于长穗虫实,一方面是由于试验中沙米种子的萌发率小于长穗虫实;另一方面在于长穗虫实在降水量较少的 B 和 C 处理下的出苗率远大于沙米(表 4)。因此对一年生植物种子来说,出苗率与种子质量不呈线性关系。

荒漠植物种子萌发不会强烈地响应于某一次降水而使有活力的种子同时全部萌发^[25,26]。已有研究表明,干旱半干旱地区植物可以通过将种子滞留在植冠上^[23]、保持长时间连续萌发、综合依赖各种要素^[26]等延缓萌发,降低风险。在降水不可预测的环境下,为了逃避风险,种子不会一次全部萌发从而导致种群灭绝。因此,荒漠环境种子库特性似乎依赖于生长季降水的可靠性和丰富度。

各降水处理下各物种种子出苗率从高到底排列:沙米和大果虫实为 $A>D>B>C$;长穗虫实为 $A>B>D>C$ 。出苗率均在 A 降水处理下最高,C 处理(月降水总量等于 D 处理,但是在 1~15 d 的出苗期内降水总量小于 D 处理)下最低,B 处理的月降水量大于 D 处理,但是在 1~15 d 的出苗期内降水总量等于 D 处理(未发表数据)。这表明降水量越大,3 物种出苗率越高,沙米和大果虫实单次强降水下其种子出苗率大于等量的多次少量降水的积累,但是长穗虫实相反。这表明物种间种子出苗对降水的强度和频度响应过程有所不同。A、B 和 C 分别代表科尔沁沙地 7,6 和 5 月份的降水量,这表明如果不考虑种子库的季节变化及其在土壤中的垂直分布,3 个物种在 5,6 和 7 月份出苗逐渐增加。与科尔沁沙地的降水相比较,在早春和中春由于降水少且频度小,3 个物种出苗和

表 4 不同降水处理下 3 种植物出苗率 (Mean±SE)

降水 Rainfall	沙米 <i>A. squarrosus</i>	大果虫实 <i>C. macrocarpum</i>	长穗虫实 <i>C. elongatum</i>	%
A	33.3±1.0 a	75.6±1.6 a	44.7±1.4 a	
B	11.7±1.0 b	43.2±1.6 b	30.0±1.4 b	
C	5.7±1.0 bc	22.6±1.6 c	22.4±1.4 c	
D	31.7±1.0 d	68.6±1.6 d	29.0±1.4 b	

幼苗存活受到抑制;在晚春到夏末的降水可以促进这些物种的萌发、出苗和幼苗存活。这表明在干旱半干旱沙地,降水是调节季节性种子出苗最重要的决定因素。

各物种种子出苗所需的降水强度和频度不同。对大果虫实和长穗虫实来说,其种子在不利的的水分条件下萌发。出土的幼苗更易遭受干旱胁迫致死而消耗了大量的土壤种子库种子,表明种子在不利的的水分条件下萌发不总是有利于其适应环境。因此,可以说降水格局决定了对哪些物种的定居更有利^[8]。

沙米、大果虫实和长穗虫实分别出现在沙地植被恢复演替过程中的不同阶段。研究表明,沙米在封育 1 年的流动沙丘、封育 5 年的半流动沙丘、封育 15 年的固定沙丘、自由放牧沙质草地以及封育 6 年的沙质草地有效种子库的密度分别为 136 ± 50 , 25 ± 10 , 4 ± 3 , 0.4 ± 0.4 和 1 ± 1 有效种子/ m^2 ;大果虫实分别为 5 ± 2 , 1419 ± 203 , 72 ± 20 , 86 ± 33 和 3 ± 2 有效种子/ m^2 ^[27,28]。沙米主要生活在流动沙丘上,它的种子也许已经发展出了适应沙埋的机制,而大果虫实生活在半流动沙丘,这里的沙埋问题不如流动沙丘严重,大果虫实种子面临的适应沙埋的选择压力也相应较轻,但是其本身耐沙埋的能力却强于沙米。从半流动沙丘到流动沙丘的退化过程中,大果虫实种子库数量急剧减少,这是由于其种子萌发和出苗很多,消耗了大量的种子库中的种子。这表明在干旱半干旱沙地,这 3 种植物的出苗主要受降水的调节。分布在土壤表面的种子和深层的种子中有部分种子在降水后不萌发但是仍然保持种子活力,这些种子在风沙环境中迁移到适合萌发的埋深后,可以在生长季后期的降水或者在未来年份降水后萌发。因此,种子在沙土中的垂直分布决定了降水后种子萌发的比例并有助于维持土壤种子库^[8]。

总之,一年生植物需要严密控制其种子的萌发行^[22,29],因为不利环境条件下的萌发会对其种群生存造成严重威胁;而对多年生植物来说,因为种子的不当萌发对种群的影响要小得多,它们对种子萌发的控制也会相应较松^[30]。沙米种子能够在生长季中期大量而快速地萌发,而在生长季的早期和晚期则避免大量萌发,以此来获得尽可能高的幼苗成活率。相反,大果虫实种子萌发对降水和埋深的响应方式缺少变化;长穗虫实稍遇降水就可大量快速萌发,而且不耐沙埋,因而它们不能有效地保证幼苗成活。这也许就是沙米能够早于大果虫实和长穗虫实成功定居于流沙生境的重要原因。本研究只选择了科尔沁沙地 3 种最常见的一年生植物进行研究,为了阐明种子萌发和出苗在沙地植被恢复中的地位和作用,还需选择更多的物种进行系统的研究。

参考文献:

- [1] 刘志民, 蒋德明, 高红英, 等. 植物生活史繁殖对策与干扰的关系[J]. 应用生态学报, 2003,14(3):418-422.
- [2] Fenner M, Thompson K. Book reviews—The ecology of seeds[J]. Annals of Botany, 2006,97:151-153.
- [3] Grime J P, Mason G, Curtis A V, et al. A comparative study of germination characteristics in a local flora[J]. Journal of Ecology, 1981,69:1017-1059.
- [4] Huang Z Y, Gutterman Y. Comparison of germination strategies of *Artemisia ordosica* with its two congeners from deserts of China and Israel[J]. Acta Botanica Sinica, 2000,42:71-80.
- [5] 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[J]. 生态学报, 2006,26(6):1802-1808.
- [6] Rees M. Seed dormancy[A]. In: Crawley M J (ed.). Plant Ecology[M]. Oxford: Blackwell Science, 1997. 214-238.
- [7] 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[J]. Functional Ecology, 2001,45:103-112.
- [8] Tobe K, Zhang L P, Omasa K. Seed germination and seedling emergence of three annuals growing on desert sand dunes in China[J]. Annals of Botany, 2005, 95(4):649-659.
- [9] Watkinson A R. The demography of a sand dune annual: *Vulpia fasciculata* II. The dynamics of seed populations[J]. Journal of Ecology, 1978,66:35-44.
- [10] Maun M A, Riach S. Morphology of caryopses, seedlings and seedling emergence of the grass *Calamovilfa longifolia* from various depths in sand[J]. Oecologia, 1981,49:137-142.
- [11] Pemadasa M A, Lovell P H. Factors controlling germination of some dune annuals[J]. Journal of Ecology, 1975,63: 41-59.
- [12] Wang Z L, Wang G, Liu X M. Germination strategy of the temperate sandy desert annual chenopod *Agriophyllum squarro-*

- sum[J]. *Journal of Arid Environments*, 1998,40:69-76.
- [13] Zhang J, Maun M A. Effects of sand burial on seed germination, seedling emergence, survival, and growth of *Agropyron psammophilum*[J]. *Canadian Journal of Botany*, 1990,68:304-310.
- [14] 李秋艳,赵文智. 风沙土中荒漠植物出苗和生长的比较研究[J]. *土壤学报*, 2006,43(4):655-661.
- [15] Benvenuti S, Macchia M, Miele S. Light, temperature and burial depth effects on *Rumex obtusifolius* seed germination and emergence[J]. *Weed Research*, 2001,41:177-186.
- [16] Li S G, Harazono Y, Oikawa T, *et al.* Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000,102:125-137.
- [17] Zhang J, Zhao H, Zhang T, *et al.* Community succession along a chronosequence of vegetation restoration on sand dunes in Horqin Sandy Land[J]. *Journal of Arid Environments*, 2005,62:555-566.
- [18] 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[J]. *植物生态学报*, 2005,29(1):32-41.
- [19] 王宗灵,徐雨清,王刚. 沙区有限降水制约下一年生植物种子萌发与生存对策研究[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 1998,34:98-103.
- [20] 郑明清,郑元润,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[J]. *生态学报*, 2006,26(8):2474-2484.
- [21] Harper J L, Benton R A. The behaviour of seeds in soil: The germination of seeds on the surface of a water supplying substrate[J]. *Journal of Ecology*, 1966,54:151-156.
- [22] Ren J, Lin T, Liu X M. Effects of sand burial depth on seed germination and seedling emergence of *Calligonum* L. species[J]. *Journal of Arid Environments*, 2002,51:603-611.
- [23] Bowers J E. Seedling emergence on Sonoran Desert dunes[J]. *Journal of Arid Environments*, 1996,33:63-72.
- [24] Maun M A. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes[J]. *Canadian Journal of Botany*, 1996,74:1322-1330.
- [25] 颜宏,矫爽,赵伟,等. 不同大小碱地肤种子的萌发耐盐性比较[J]. *草业学报*, 2008,17(1):26-32.
- [26] 李荣平,刘志民,闫巧玲. 科尔沁沙地西部草甸植物萌发特征[J]. *草业学报*, 2006,15(1):22-28.
- [27] 赵丽娅,李兆华,赵锦慧,等. 科尔沁沙质草地放牧和围封条件下的土壤种子库[J]. *植物生态学报*, 2006,(4):617-623.
- [28] 赵丽娅,李兆华,李锋瑞,等. 科尔沁沙地植被恢复演替进程中群落土壤种子库研究[J]. *生态学报*, 2005,(12):3204-3211.
- [29] 徐秀丽,齐威,卜海燕,等. 青藏高原高寒草甸 40 种一年生植物种子的萌发特性研究[J]. *草业学报*, 2007,16(3):74-80.
- [30] Wesche K M, Pietsch K, Ronnenberg R, *et al.* Germination of fresh and frost-treated seeds from dry Central Asian steppes[J]. *Seed Science Research*, 2006,16:123-136.

Seedling emergence of three Chenopodiaceae annuals in response to different sand burial depths and irrigation regimes

LUO Ya-yong^{1,2}, ZHAO Xue-yong¹, HUANG Ying-xin^{1,2}, ZUO Xiao-an^{1,2},
WANG Shao-kun^{1,2}, ZHANG Yong-feng³

(1. Naiman Desertification Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. High School of Lingtai County in Gansu Province, Pingliang 744403, China)

Abstract: The interactive effects of irrigation and seed burial depth in sand on seedling emergence and seedling survival in 3 annuals (*Agriophyllum squarrosum*, *Corispermum macrocarpum* and *C. elongatum*) which commonly grow on sand dunes in the experimental region of Inner Mongolia were investigated. Seedling emergence was examined for seeds sown on the surface, or at depths of 10, 20, 30, 40 and 50 mm in sand-filled pots. There were 4 different watering regimes in pots was: Treatments A (30 mm, initial irrigation), B (10 mm), C (10 mm), and D (30 mm). Subsequently, water equivalent to 5 mm of irrigation at 1, 2, or 6-d intervals was added to treatments A, B, and C, respectively, but no further irrigation was applied to treatment D. No seed dormancy was found in any species. *A. squarrosum* and *C. elongatum* seedling emergence was most favoured when seeds were buried at a depth of 10 mm, but for *C. macrocarpum* 30 mm was the most favourable depth. The average of the 4 different irrigation regimes for the 3 species was 50.63% (*A. squarrosum*), 77.29% (*C. macrocarpum*), and 75.21% (*C. elongatum*). When seeds sown on the sand surface were irrigated, seed germination of *A. squarrosum*, was considerably suppressed, but many seeds of *C. macrocarpum* and *C. elongatum*, germinated though few seedlings survived due to water deficiency. The effectiveness of sand burial depth was decreased in the order *C. macrocarpum*, *A. squarrosum* and *C. elongatum*. The more irrigation, the greater the seedling emergence in all species but it was more after one heavy irrigation than after an accumulation of several light irrigations for *A. squarrosum* and *C. macrocarpum*, but was vice versa for *C. elongatum*. It is suggested that precipitation is the most crucial factor in determining the seasonal emergence of seedlings of the three species tested in the field. The vertical distribution of seeds in sand determines the proportion of seeds that germinate after precipitation and acts to maintain seed banks over multiple years.

Key words: *Agriophyllum squarrosum*; *Corispermum macrocarpum*; *Corispermum elongatum*; seedling emergence; sand burial depth; irrigation regimes