

沙埋和种子大小对沙蒿种子萌发及幼苗生长的影响

王方琳,柴成武*,尉秋实,纪永福,王飞,朱淑娟

(甘肃省治沙研究所 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室,甘肃 武威 733000)

摘要:研究实验室条件下不同深度的沙埋和种子大小对沙蒿种子萌发及幼苗生长的影响。结果表明,沙埋深度对沙蒿的种子萌发率、休眠率、幼苗出土率及生物量均有显著影响。没有沙土覆盖时沙蒿种子即可萌发;0.5~5 cm 的浅层沙埋下,种子萌发率、出苗率、幼苗存活率及生物量最高,休眠率最低;沙埋深度>5 cm 时,沙蒿的种子萌发率、出苗率、幼苗存活率及生物量随沙埋深度增加显著降低,而休眠率却显著升高;沙埋深度为 12 cm 时,种子不出苗,幼苗也不能存活。种子大小对沙蒿种子萌发率、出苗率、幼苗存活率及休眠率均无显著影响,但对幼苗生物量大小具有显著影响,在 0~12 cm 的沙埋深度中,除 5 cm 和 7 cm 深度下中粒种子和小粒种子萌发的幼苗的生物量间没有显著差异外,其他深度处理时,大粒种子萌发的幼苗的生物量显著高于同一沙埋深度下中粒种子萌发的幼苗生物量,后者又显著高于小粒种子萌发幼苗的生物量,因此研究认为,沙蒿种子最适宜沙埋深度为 1~3 cm 的浅层沙埋。

关键词:沙蒿;沙埋深度;种子大小;种子萌发;幼苗生长

中图分类号:S723.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2020)06-0129-06

Effects of Sand Burying and Seed Size on the Germination and Seedling Growth
of *Artemisia desertorum*

WANG Fang-lin, CHAI Cheng-wu*, YU Qiu-shi, JI Yong-fu, WANG Fei, ZHU Shu-juan

(The State Key Laboratory of Desertification Combating Prevention and Sandstorm Disaster, Gansu Province & Gansu Desert Control Research Institute, Wuwei 733000, Gansu, China)

Abstract: The effects of different sand burial depths and seed sizes on the seed germination and seedling growth of *Artemisia desertorum* were studied under laboratory conditions. The results showed that the seed germination rate, dormancy rate, seedling emergence rate and biomass of *A. desertorum* were significantly affected by the sand burial depths. The seeds could germinate without sand burying. The germination rate, seedling emergence rate, seedling survival rate and biomass were the highest, and the dormancy rate was the lowest when the burial depths were 0.5—5 cm. When the burial depths were more than 5 cm, the seed germination rate, emergence rate, seedling survival rate and biomass decreased significantly with sand burial depth, but the dormancy rate increased significantly. When the sand burial depth was 12 cm, the seeds did not emerge, and the seedlings could not survive. Seed size had no significant effects on seed germination rate, seedling emergence rate, seedling survival rate and dormancy rate, but had significant effect on seedling biomass. The biomass of seedlings from large-size seeds was significantly higher than that from medium-size seeds with the same sand burial depth, and the biomass of seedlings from medium-size seeds

收稿日期:2019-12-26 修回日期:2020-05-22

基金项目:甘肃省林业科技计划项目(2017kj024);国家自然科学基金项目(41761051,41661064,31700339);中央财政林业科技推广示范项目([2017]ZYTG14)。

作者简介:王方琳,硕士,副研究员。研究方向:荒漠植物生态生理。E-mail:wangfanglin2008@163.com

*通信作者:柴成武,硕士,副研究员。研究方向:水土保持与荒漠化防治。E-mail:chaichw@163.com

was significantly higher than from small-size seeds in the same sand burial depth ranged from 0—12 cm. Under 5 cm and 7 cm depths, no significant differences were found in biomass of seedlings from different seed sizes. Therefore, it is considered that the seed of *A. desertorum* is suitable for sand burial depth of 1—3 cm.

Key words: *Artemisia desertorum*; sand burial depth; seed size; seed germination; seedling growth

种子在植物生活史中处于承上启下的重要阶段,种子萌发和幼苗出土对荒漠植物群落产生巨大的补给作用^[1]。干旱半干旱荒漠地区,风蚀和沙埋是导致种子生长微环境如光照、温度、水分、氧气、土壤有机质及土壤微生物等发生变化的关键因子及重要驱动力,它们常使植物种子裸露于地表或埋藏于地下^[2-5];此外,植物自身的遗传因素、资源有限的竞争等可使植物产生大小各异的种子^[6-8],这些种子的传播能力、萌发率、萌发速度以及萌发的时间可能不同,导致其形成的幼苗大小、活力以及生存能力也可能不同,这种现象在植物种内和种间同时存在^[9-12];而植物能否在风沙环境中成功定植,与自身种子大小、萌发及休眠特性、幼苗出土能力及幼苗对沙埋的耐受力等密切相关^[13-15]。因此,深入研究不同沙埋深度和种子大小对荒植物种子萌发与幼苗生长的影响,具有重要的理论和现实意义。

沙蒿(*Artemisia desertorum*)是流动沙丘主要防风固沙植物,根系发达,繁殖能力强,是荒漠植被演替中的优势物种^[16]。目前已有一些关于沙蒿灌丛及其根系、生物量分布特征等对风蚀响应方面的研究^[17-18],但关于不同大小的沙蒿种子是如何响应沙埋的研究鲜有报道。为此,研究了不同沙埋深度和种子大小对沙蒿种子萌发、出苗及其幼苗生长的影响,旨在了解沙蒿对沙埋环境的生态适应对策,探讨荒漠植物种子对沙埋干扰的适应机制,为荒漠区植被恢复、重建和生物多样性保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 种子来源

2017年10月在石羊河下游民勤治沙综合试验站(37°56'13.8"N, 102°35'53.8"E)生长健壮、无病虫害的沙蒿母株上采收达到生理成熟期的种子,之后经室内风干、脱粒并去除杂质,自然条件下贮藏备用。

1.2 试验设计与处理

1.2.1 种子大小及质量测定 试验于2018年4月初在甘肃省治沙研究所武威绿洲站省部共建国家重点实验室培育基地进行。选取沙蒿种子,用精度0.000 1 g的天平对单粒种子称重,同时用游标卡尺测定种子直径和长度,并将种子按照质量分为大粒、中粒、小粒测定千粒重,每组3个重复。

1.2.2 沙埋深度和种子大小对种子萌发、出苗及幼

苗存活和生长的影响 试验用沙取自甘肃省民勤治沙综合试验站附近,过筛去杂后,于100℃下烘干48 h以杀死其中可能存在的植物种子。试验设0、0.5、1、2、3、5、7、9、12 cm 9个深度沙埋处理,即准备长10 cm、深25 cm且底部有孔的正方体透明容器,容器底部铺双层滤纸,以防止沙子漏出并保持通气良好;在容器外壁距其底部22 cm处划线,之后分别装入厚22、21.5、21、20、19、17、15、13、10 cm的沙子;选取大、中、小种子各30粒均匀播种于沙子表面,之后覆盖沙子至划线处,即可得到试验设置的覆沙厚度,每处理(同一沙埋深度同一大小种子)13个重复(3个用于测定种子出苗,其他处理用于测定沙埋对幼苗存活和生长的影响)。充分浇水,之后每天10:00观察幼苗出土情况并视沙子干湿情况补充水分,记录出苗数、苗高,播种后35 d结束试验。之后采用孔径800目的土壤筛过滤容器内的沙土和未萌发的种子以及萌发但未出土的幼苗种子,最后在室温条件下采用TTC法染色测定未萌发种子的活力状况,统计处于休眠状态的种子数量,计算种子萌发率(包括萌发出苗的种子和萌发但未出苗的种子)、出苗率及休眠率。

幼苗生物量计算:将不同沙埋深度条件下大、中、小3组种子长出的幼苗间苗至每盆保留3株,每处理(同一深度同一种子大小)10个重复;待35 d试验结束后,将幼苗连根挖出冲洗干净,测量各株的茎长、绝对株高(全株高度)和根长,植株地上、地下生物量,之后放入烘箱内(70℃,48 h)烘干,用精度0.000 1 g的天平称重、计算。

1.3 数据分析

采用SPSS 25.0对不同深度沙埋处理间进行数据处理和方差分析,Excel 2007作图,Duncan法进行差异显著性多重比较。

2 结果与分析

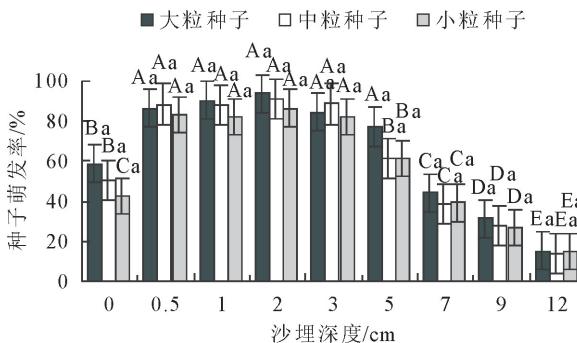
2.1 种子大小和质量

沙蒿种子多为棕褐色,呈梭形,大粒种子千粒重为(0.962±0.195)g;中粒种子为(0.874±0.015)g,小粒种子千粒重为(0.757±0.033)g。种子单粒直径0.08~0.14 cm,长0.11~0.24 cm,质量为0.000 7~0.001 g,其中大粒种子质量0.000 9~0.001 g/粒,平均(0.000 93±0.036)g/粒;中粒种

子质量为 $0.000\ 8\sim0.000\ 89\ g/粒$,平均($0.000\ 84\pm0.56\ g/粒$);小粒种子质量为 $0.000\ 7\sim0.000\ 79\ g/粒$,平均($0.000\ 77\pm0.082\ g/粒$),所占比例分别为33.45%、42.91%、23.64%。

2.2 沙埋深度和种子大小对沙蒿种子萌发及休眠的影响

沙埋深度对不同大小的沙蒿种子萌发具有显著影响($P<0.05$),没有沙土覆盖时,45%~60%的种子能够萌发;沙埋深度0.5~3 cm时,种子萌发率均>80%;沙埋5~12 cm时,种子萌发率随着沙埋深度增加而显著降低,沙埋12 cm时萌发率仅为10%左右,但在各个沙埋深度下,除5 cm处大粒种子的萌发率显著高于中粒和小粒种子外,其他各沙埋深度下不同大小种子的萌发率差异均不显著。种子大小及其与沙埋深度间的相互作用对沙蒿种子萌发均没有显著影响($P>0.05$) (图1)。但在试验期间,大部分深层沙埋时种子均能萌发,但却不能长出沙土表面。



注:不同大写字母标记在 $P=0.05$ 水平上同一大大小的种子在不同沙埋深度下萌发率之间的差异显著;不同小写字母标记在 $P=0.05$ 水平上在同一沙埋深度下不同大小的种子萌发率之间的差异显著。下同。

图1 沙埋深度和种子大小对沙蒿种子萌发的影响

Fig. 1 Effects of sand burial depth and seed size on seed germination of *Artemisia desertorum*

沙埋深度对沙蒿种子休眠率具有显著影响($P<0.05$),在整个沙埋深度范围内,不同大小的种子表现出相似的休眠趋势;但在同一沙埋深度条件下,不同大小种子间休眠率差异均不显著($P>0.05$);没有沙土覆盖时,约有40%的种子处于休眠状态;沙埋0.5~2 cm时,种子的休眠率仅为10%左右;沙埋3 cm时,种子休眠率略有增加,达20%以上;沙埋深度从5 cm增加至12 cm时,种子休眠率也显著增加,约有50%~90%的种子处于休眠状态。与种子萌发趋势相似,沙埋深度和种子大小的相互作用对种子休眠率大小均无显著影响(图2)。

2.3 沙埋深度和种子大小对沙蒿幼苗出土及存活的影响

沙埋深度对沙蒿幼苗出土率具有显著影响

($P<0.05$),在整个沙埋深度范围内,不同大小的种子萌发后表现出相似的幼苗出土趋势;在沙土表面不同大小种子的幼苗出土率约为40%;沙埋深度0.5~3 cm时,幼苗出土率最高,并显著高于其他沙埋深度下的出土率;沙埋深度5~12 cm时,幼苗出土率随沙埋深度增加而显著降低;沙埋9 cm时幼苗出土率约为20%;沙埋深度为12 cm时幼苗不出土。各个沙埋深度下,不同大小种子间幼苗出土率无显著差异;沙埋深度和种子大小的相互作用对幼苗出土率的影响不显著(图3)。

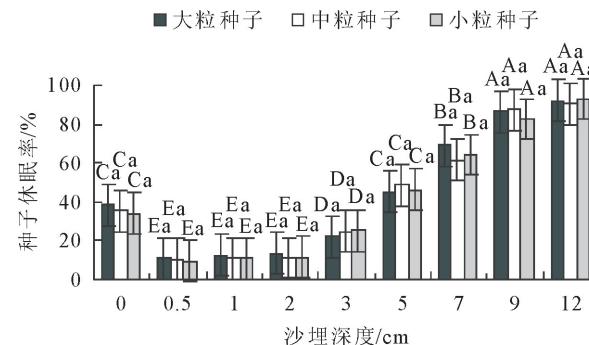


图2 沙埋深度和种子大小对沙蒿种子休眠的影响

Fig. 2 Effects of sand burial depth and seed size on seed percentages of *A. desertorum*

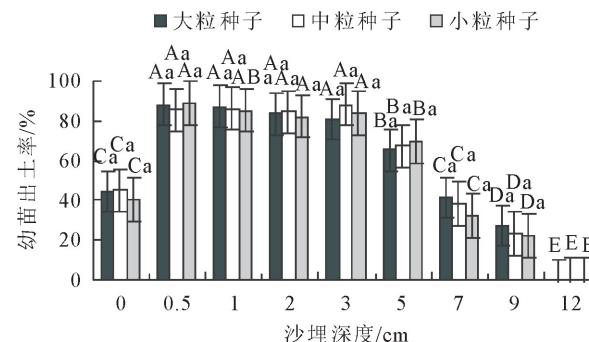


图3 沙埋深度和种子大小对沙蒿幼苗出土率的影响

Fig. 3 Effects of sand burial depth and seed size on seedling emergence rate of *A. desertorum*

沙埋深度对沙蒿幼苗存活率具有显著影响($P<0.05$),没有沙土覆盖时,不同大小的种子均可萌发、出苗,但难以存活,种子萌发出苗后第4天,沙埋0 cm的沙蒿幼苗开始死亡,存活率降低为10%左右;沙埋深度为0.5 cm时,幼苗成活率>80%;沙埋深度为1~7 cm时,不同大小种子萌发长出的幼苗出苗后全部存活;沙埋9 cm时幼苗存活率下降为70%左右;沙埋深度12 cm时没有幼苗存活。各个沙埋深度下,不同大小种子的幼苗存活率间无显著差异($P>0.05$);沙埋深度和种子大小的相互作用对幼苗存活率的影响也不显著($P>0.05$)(图4)。

2.4 沙埋深度和种子大小对沙蒿幼苗生物量的影响

沙埋深度与种子大小及二者间的相互作用对沙

蒿幼苗生物量均有显著影响($P < 0.05$)。沙埋深度为0~3 cm时,不同大小种子生长的沙蒿幼苗生物量均随沙埋深度增加而增大,并在沙埋3 cm时达到最大值;沙埋深度为5~9 cm时,幼苗生物量均随沙埋深度增加而显著减小,同一沙埋深度下,除5 cm和7 cm的沙埋处理下中粒种子幼苗生物量与小粒种子没有显著差异外,其他深度沙埋处理下大粒种子的幼苗生物量均显著高于中粒种子的幼苗生物量,后者又显著高于小粒种子的幼苗生物量(表1)。

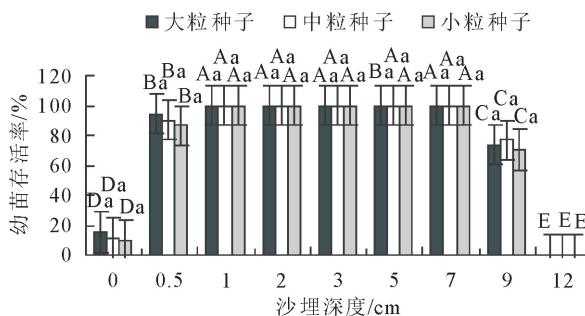


图4 沙埋深度和种子大小对沙蒿幼苗存活率的影响

Fig. 4 Effects of sand burial depth and seed size on survival rate of *A. desertorum*

表1 沙埋深度和种子大小对沙蒿幼苗生物量的影响

Table 1 Effects of sand burial depth and seed size on seedling biomass of *A. desertorum*

沙埋深度 /cm	幼苗总生物量/g		
	大粒种子	中粒种子	小粒种子
0	2.49±0.35 ^{Ca}	2.18±0.33 ^{Cb}	2.67±0.88 ^{Cc}
0.5	4.95±1.36 ^{Ca}	4.16±0.55 ^{Bb}	4.34±0.91 ^{Dc}
1	6.05±0.58 ^{Aa}	5.01±0.91 ^{Ab}	4.63±0.61 ^{Ac}
2	6.29±0.24 ^{Aa}	5.49±1.52 ^{Ab}	4.97±1.07 ^{Ac}
3	6.52±1.17 ^{Aa}	5.52±0.64 ^{Ab}	5.61±1.33 ^{Ac}
5	6.04±0.28 ^{Aa}	5.51±0.84 ^{Ab}	5.28±0.05 ^{Ab}
7	5.27±0.96 ^{Ba}	4.07±1.17 ^{Bb}	3.74±0.82 ^{Bb}
9	4.49±0.35 ^{Ca}	3.18±0.33 ^{Cb}	2.67±0.88 ^{Cc}
12	0	0	0

3 结论与讨论

荒漠植物多生长于自然条件恶劣的生境中,植物种子成熟后除面临昆虫或鸟类啃食外,还会由于雨水冲洗、风沙吹袭、凋落物分解等因素而被埋入沙土中,然后随沙子运动再被埋到不同的深度,遭受沙埋后的种子可能面临萌发且幼苗出土、萌发但幼苗没有出土、没有萌发或种子进入休眠状态并成为土壤种子库4种命运^[19]。

种子在不同沙埋深度下萌发率的高低受光照、土壤水分和土壤温度等多种因素综合作用的影响,适量的沙埋能增加种子周围土壤的紧实度及相对湿

度,从而提高种子萌发的机会^[20-21]。本研究中沙埋深度对沙蒿种子萌发具有显著影响。种子置于沙土表面时,强烈的水分蒸发抑制了种子萌发,虽然有少量沙蒿种子在沙子表面萌发,但其根系也难以扎入沙层中,幼苗难以定居成活;沙埋深度0.5~5 cm时,不同大小的沙蒿种子萌发率较高,但当沙埋深度>5 cm时,种子萌发率随沙埋深度增加而显著降低,种子萌发率与沙埋深度呈负相关,不同大小种子的萌发率在各个沙埋深度时无显著差异。

另有研究表明,沙埋深度对幼苗出土的影响大于其对种子萌发的影响^[22]。沙埋超过一定的深度后,某些植物种子虽然可以萌发,但幼苗难以出土。如 *Agropyron psammophilum* 的种子在沙埋2~12 cm时萌发率均可达90%以上,但沙埋超过8 cm时幼苗难以出土^[23];当沙埋深度≤5 cm时,对不同大小的沙蒿种子幼苗出土率影响不显著,而沙埋深度为7~10 cm时,沙蒿种子出土率随沙埋深度增加显著降低。由此可见,当沙埋过深时,沙蒿种子虽然可以萌发,但其幼苗却不能出土。这可能是因为沙层太厚,种子没有足够的能量使其幼苗出土,没有出土的幼苗由于沙层中光照不足表现出明显的黄化现象,这些黄化苗可能会在沙层中死亡并腐烂;此外,沙埋深度越深,幼苗出土所需的时间越长。

沙蒿的种子休眠率与沙埋深度呈正相关。沙埋过深可能导致土壤通气不良,土壤含水量过高,土壤温度过低或过高及光强不足等^[21,24]。沙埋深度超过沙蒿幼苗能够出土的最大深度后,部分种子的萌发被抑制,沙埋7 cm时60%以上的种子处于强迫休眠状态,这些种子可能会随着沙子运动(风蚀或沙埋),在沙埋深度减小的情况下萌发出苗;但研究表明,这种沙层移动的调节机制使土壤种子库里的种子在一定时间只有部分种子萌发并出苗,而大量种子会形成长期的种子库,种子库的形成有利于物种的长期生存,但是沙埋过深时,沙层里的种子可能会因为O₂含量太低而通气不良,遭受真菌侵染等而变质腐烂^[25-26]。这与朱雅娟等的研究结果相似,且前人在对蒿属(*Artemisia*)植物种子萌发的生态学研究中也得出了相似的结论。结合前人的观点,本研究认为沙蒿种子最适宜沙埋深度为1~3 cm的浅层沙埋^[10,27]。

资源有限时种子之间的竞争、遗传因素以及种子大小与种子数量的权衡等因素都会使植物产生大小不同的种子,这些种子所含能量多少与其大小密切相关^[23]。种子所含能量的多少对种子萌发率的影响通常表现为有些植物大粒种子大于小粒种子、小粒种子大于大粒种子或两者无差异^[10];此外,种

子大小还可能对植物种子传播能力、萌发速度、形成幼苗的大小、活力以及生存、结实能力等产生影响^[28]。本研究中尽管沙埋条件下不同大小沙蒿种子的萌发率、出土率、休眠率等差异不显著,但当沙埋深度>7 cm时,同一沙埋处理下大粒种子出苗率显著高于中粒和小粒种子,且形成的幼苗生物量也较高;由此可见种子萌发后,其大小可对幼苗能否出土及后期生长产生一定的影响。前人在对沙鞭(*Psammochloa villosa*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)的研究中也表明,植物种子越大,形成的幼苗穿透的沙层的能力就越强,其原因可能是由于大粒种子本身含有较多的贮藏物质而具有生态优势,能保证处于沙土之下一定深度的种子萌发之后形成的幼苗能及时出土。另外,大粒种子形成的幼苗具有较长的茎,从而形成具有较大生物量的幼苗,增加幼苗定居的机会,从而促进种群的更新^[9,29-30]。

在沙地生态系统中,频繁发生的沙埋对植物的生存产生重大影响,能够忍耐沙埋可使一个物种将其生存空间拓殖到发生沙粒堆积的生境中^[19]。而沙蒿种子具有大小的多样性,增加了萌发后的幼苗在不同沙埋深度建成的机会,提高了其适应这种环境胁迫的能力,减少了生存的风险;也可能正是这种对沙埋环境的生态适应性为沙蒿在巴丹吉林沙漠南缘荒漠生境中成功定居并形成优势种群奠定了基础。

参考文献:

- [1] 张景光,王新平,李新荣,等.荒漠植物生活史对策研究进展与展望[J].中国沙漠,2005,25(3):306-314.
ZHANG J G, WANG X P, LI X R, et al. Advances and prospect of researches on desert plant life history strategies[J]. Journal of Desert Reserch, 2005, 25(3):306-314. (in Chinese)
- [2] 曲浩,赵哈林,周瑞莲,等.沙埋对两种一年生藜科植物存活及光合生理的影响[J].生态学杂志,2015,34(1):79-85.
QU H, ZHAO H L, ZHOU R L, et al. Effects of sand burial on survival and photosynthesis characteristics of two Chenopodiaceae annual[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(1): 79-85. (in Chinese)
- [3] 安桂香,曾凡江,刘波.胡杨种子出苗对沙埋和供水条件的响应[J].中国沙漠,2011,20(2):436-441.
ANG X, ZENG F J, LIU B, et al. Effects of sand burial and water supply conditions on seedling emergence of *Populus euphratica* Oliv[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 20(2): 436-441. (in Chinese)
- [4] SAMSONE I, DRUVA-LFISITE I, ANDERSONE U, et al. Plasticity of a dune plant *Alyssum gmelinii* in response to sand burial in natural conditions[J]. Acta Universitatis Latviensis, 2009, 753:125-136.
- [5] ZHANG J H, Maun M A. Effects of sand burial on seed germination, survival and growth of *Agropyron psammophilum* [J]. Canadian Journal of Botany, 1990, 68(2):304-310.
- [6] HANG C Y, YU F H, DONG M. Effects of sand burial on the survival, growth and biomass allocation in semi-shrub *Hedysarum* leave seedlings[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(3):337-343.
- [7] DECH J P, MAUN M A. Adventitious root production and plastic resource allocation to biomass determine burial tolerance in woody plants from central Canadian coastal dunes[J]. Annals of Botany, 2006, 98(5):1095-1105.
- [8] 黄振英, Guterman Y, 胡正海,等.白沙蒿种子萌发特性的研究Ⅱ环境因素的影响[J].植物生态学报,2001,25(2):240-246.
HUANG Z Y, GUTTERMAN Y, HU Z H, et al. Seed germination in *Artemisia Sphaerocephala* II. the influence of environmental factors[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(2): 240-246. (in Chinese)
- [9] 杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等.沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出土和幼苗生长的影响[J].生态学报,2012,32(24):7757-7763.
YANG H L, LIANG Z L, ZHU X W, et al. Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of *Caragana korshinskii* kom. [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24):7757-7763. (in Chinese)
- [10] 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[J].植物生态学报,2005,29(5):730-739.
ZHU Y J, DONG M, HUANG Z Y. Effects of sand burying and seed size on seed germination and seedling emergence of sand-fixing grass *Psammochloa villosa* [J]. Plant Ecology, 2005, 29(5):730-739. (in Chinese)
- [11] 蔡仕珍,潘远智,陈其兵,等.PEG 胁迫对柠条种子萌发及生理特性的影响[J].种子,2011,30(5):42-45.
CAI S Z, PAN Y Z, CHEN Q B, et al. Effects of PEG stress on seed germination and physiological characteristics of *Caragana intermedia* and *C. korshinskii* kom. [J]. Seed, 2011, 30(5):42-45. (in Chinese)
- [12] GUTTERMAN Y. Survival strategies of annual desert plants, adaptations of desert organisms[J]. Berlin: Springer-Verlag, 2002:211-280.
- [13] SUN J K, ZHANG W H, ZHANG J M, et al. Response to droughty stresses and drought-resistances evaluation of four species during seed germination[J]. Acta Botanica Boreali-Ocidentalia Sinica, 2006(9):1811-1818.
- [14] 刘有军,马全林,张德魁,等.腾格里沙漠南缘3种一年生植物出苗率对沙埋和GA3的响应[J].干旱区研究,2010,27(5):699-704.
LIU Y J, MA Q L, ZHANG D K, et al. Response of seedling emergence rate of three annuals to sand burial and GA₃ at the Southern edge of Tengger desert [J]. Arid Zone Study, 2010, 27(5):699-704. (in Chinese)
- [15] 彭鸿嘉.六种牧草种子大小和播种深度对出苗的影响[J].草业科学,2001,18(6):30-34.
- [16] 马全林,郑庆中,贾举杰,等.乌兰布和沙漠沙蒿与油蒿群落的

- 物种组成与数量特征[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3423-3431.
- MA Q L,ZHENG Q Z,JIA J J,*et al.* Species composition and quantitative characteristics of *Artemisia desertorum* and *Artemisia ordosica* communities in Ulan Buh desert[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(11): 3423-3431. (in Chinese)
- [17] 马全林,卢琦,张德魁,等. 沙蒿与油蒿灌丛的防风阻沙作用[J]. 生态学报, 2012, 31(7): 1639-1645.
- MA Q L,LU Q,ZHANG D K,*et al.* Effects of *Artemisia desertorum* and *Artemisia ordosica* on wind and sand prevention[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 31(7): 1639-1645. (in Chinese)
- [18] 赵明,王文科,王周峰,等. 半干旱区沙地沙蒿生物量及根系分布特征研究[J]. 干旱区地理, 2018, 41(4): 786-792.
- ZHAO M,WANG W K,WANG Z F,*et al.* Biomass and root distribution of *Artemisia desertorum* Krasch in semi-arid region [J]. *Arid Zone Geography*, 2018, 41(4): 786-792. (in Chinese)
- [19] MAUN M A. Adaptations enhancing survival and establishment of seedlings on coastal dune systems[J]. *Vegetatio*, 1994, 111(1): 59-70
- [20] ZHENG M Q,ZHENG Y R,JIANG L H. Effects of one-time water supply and sand burial on seed germination and seedling emergence of four popular psammophyte in Mu Us sandy land [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2474-2484.
- [21] YANG H L,CAO Z P,DONG M,YE Y Z,*et al.* Effects of sand burying on caryopsis germination and seedling growth of *Bromus inermis* Leyss[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2438-2443.
- [22] MAUN M A. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes[J]. *Canadian Journal of Botany*, 1998, 76: 713-738.
- [23] ZHANG J H,MAUN M A. Seed size variation and its effects on seedling growth in *Agropyron psammodophilum*[J]. *Botanical Gazette*, 1990, 151(1): 106-113.
- [24] HUANG Z Y,GUTTERMAN Y. *Artemisia monosperma* acetone germination in sand: effects of sand depth, sand/water content, cyanobacterial sand crust and temperature[J]. *Journal of Arid Environments*, 1998, 38(1): 27-43.
- [25] HUANG Z Y,DONG M,GUTTERMAN Y. Caryopsis dormancy, germination and seedling emergence in sand, of *Leymus racemosus*, a perennial sand-dune grass inhabiting the Junggar Basin of Xinjiang, China[J]. *Australian Journal of Botany*, 2004, 52(4): 519-528.
- [26] 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(1): 71-80.
- [27] 赵哈林,曲浩,赵学勇,等. 差巴嘎蒿幼苗对沙埋的生态适应和生理响应[J]. 生态学报, 2014, 34(20): 5832-5839.
- ZHAO H L,QU H,ZHAO X Y,*et al.* Ecological adaptation and physiological response of *Artemisia halodendron* seedlings to sand burial[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(20): 5832-5839. (in Chinese)
- [28] GUTTERMAN Y. Survival strategies of annual desert plants adaptations of desert organisms[J]. Berlin: Springer-Verlag, 2002: 211-280.
- [29] 陈丽茹,李秧秧. 柠条锦鸡儿种子生产和活力对模拟降雨量改变的响应[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(6): 20-25.
- CHEN L R,LI Y Y. Responses of seed production and vigor in *Caragana corshinskii* to simulated precipitation variation [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2018, 33(6): 20-25. (in Chinese)
- [30] 唐卫东,魏林源,马全林,等. 不同因素对沙蓬种子萌发和出苗的影响[J]. 西北林学院学报, 2011, 32(3): 156-161.
- TANG W D,WEI L Y,MA Q L,*et al.* Influences of different factors on the germination and seedling of *Agriophyllum squarrosum*[J]. *Journal of Northwest Forestry University*. 2017, 32(3): 156-161. (in Chinese)