

# 4 种荒漠植物种子出苗和幼苗生长对沙埋深度的响应

柴成武,张德魁,王方琳\*,王 飞,刘开琳,朱淑娟,孙 涛

(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:**通过室内试验测定了黑果枸杞、沙冬青、沙蒿、霸王 4 种荒漠植物的种子生理特征以及沙埋深度(0、1、2、3、4、5 cm)对 4 种荒漠植物种子出苗及幼苗生长的影响。结果表明,体积较大的沙冬青和霸王种子萌发率与其重量、含水量、形状及活性间存在正相关关系;体积较小的黑果枸杞、沙蒿萌发率与种子重量、含水量、形状之间为正相关关系,与种子活性负相关。随着沙埋深度增加,4 种植物种子出苗率下降、首次出苗时间延迟,茎高、绝对株高和根长及根冠比总体呈先增大后减小的趋势;幼苗生长方面,黑果枸杞和沙蒿分别适宜于 1~2、0~1 cm 的浅层沙埋,均在沙埋深度 5 cm 时种子几乎不萌发;沙冬青、霸王则适宜于 3~4 cm 较深层沙埋,在沙埋 0 cm 时均不萌发。此外,在荒漠区采用这 4 种植物进行植被恢复时,除考虑种子自身性状外,还应充分考虑当地的沙埋、降雨等条件,以提高出苗率、增大幼苗定植率。

**关键词:**种子出苗;幼苗生长;沙埋深度;荒漠植物

**中图分类号:**S723.13      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2020)02-0108-06

## Response of Seed Emergence and Seedling Growth of Four Desert Plant Species on Sand Burial Depth

CHAI Cheng-wu, ZHANG De-kui, WANG Fang-lin\*, WANG Fei, LIU Kai-lin, ZHU Shu-juan, SUN Tao

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

**Abstract:** The seed physiological characteristics and the effects of sand burial depth (0, 1, 2, 3, 4, 5 cm) on seedling emergence and growth of four desert plant species (*Lycium ruthenicum*, *Ammopiptanthus mongolicus*, *Artemisia desertorum*, and *Sarcosygium xanthoxylon*) were determined by laboratory experiments. It was found that for the plant species with large seed volume, such as *A. mongolicus* and *S. xanthoxylon*, there existed positive correlations between the germination rates and seed physiological characteristics (such as the weight, water content, shape, and seed vigor). For the plant species with small seed volume, such as *L. ruthenicum* and *A. desertorum*, the correlations between germination rate and seed weight, water content and shape were positive, while the correlation between the germination rate and seed vigor was negative. With the increase of sand burial depth, the seedling emergence rate decreased and the first seedling emergence time was delayed for all four plant species. In terms of seedling growth, the *L. ruthenicum* and *A. desertorum* were suitable for shallow sand burial of 1–2 cm and 0–1 cm respectively, the seeds hardly germinated when they were buried at 5 cm in depth; while *A. mongolicus* and *S. xanthoxylon* were suitable for deep sand burial of 3–4 cm. Seeds did not germinate when they were buried at the depth of 0 cm. In order to increase the emergence rate and the seedling planting rate, the seed characteristics should be considered and the local conditions such as sand burial and rainfall also should be taken into full

收稿日期:2019-04-28    修回日期:2019-10-22

基金项目:国家自然科学基金项目(41761051,31560236,31700339,31660237,41661064);甘肃省林业科技项目(2017kj024,2017kj025)。

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

\* 通信作者:王方琳,女,副研究员,研究方向:植物生理生态和荒漠化防治。E-mail:wangfanglin2008@163.com

consideration when using these four plant species for vegetation restoration in desert areas.

**Key words:** seed emergence; seedling growth; sand buried depth; desert plant species

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<sup>[1]</sup>。干旱半干旱荒漠地区,风沙活动频繁,植物落种后易埋于沙土中,处于不同沙埋深度下种子的萌发、幼苗生长及存活是荒漠植物能否实现自我更新的关键,同时也影响植物种群的维持和扩张<sup>[2-3]</sup>。深入研究沙埋对荒漠植物种子出苗与幼苗生长的影响,具有重要的理论和现实意义。

风蚀和沙埋常使植物种子裸露于地表或埋藏于地下,是导致其生长微环境如光照、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和重要驱动力<sup>[4-6]</sup>;此外,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<sup>[7-9]</sup>。研究表明,沙埋不但对种子萌发、出苗、存活及资源配置产生影响,还能延缓植物生长、降低生产力甚至导致其死亡<sup>[10-11]</sup>。不同植物种子对沙埋的适应性和耐受性不同,河西走廊地区生长的红砂(*Reaumuria songarica*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)以及胡杨(*Populus diversifolia*)种子在 0~1 cm 无沙埋或浅层沙埋条件下萌发率最高<sup>[12-16]</sup>;毛乌素沙地生长的柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)在 1~3 cm 沙埋深度下种子萌发率、出苗率、幼苗存活率及生物量最高<sup>[17]</sup>;而腾格里沙漠地区生长的沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)种子萌发和幼苗生长的最佳沙埋深度为 5 cm,盐蒿(*Artemisia halodendron*)幼苗最大耐沙埋深度超过 8 cm,沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)幼苗耐沙埋深度超过 10 cm<sup>[15,18-19]</sup>。

黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、沙冬青(*Ammodendron mongolicum*)、霸王(*Sarcocolla xanthoxylon*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)是 4 种常见的荒漠植物。黑果枸杞属耐旱、耐盐碱灌木,果实具有重要的营养和药用价值;沙冬青、霸王是荒漠区濒临灭绝的物种,在防风固沙中发挥着重要作用;沙蒿根系发达,繁殖能力强,适于飞播造林,是荒漠植被演替中的优势物种。目前已有学者对这 4 种植物的种子萌发、无性繁殖、逆境生理、种群生态位等方面开展了深入研究<sup>[20-26]</sup>,但关于沙埋深度对这 4 种不同科、不同植被类型、种子重量和体积不同的荒漠植物种子出苗及幼苗生长影响的研究较少。为此,以这 4 种荒漠植物为材料,研究沙埋深度对其种子出苗和幼苗生长的影响,揭示幼苗出土、生长与沙埋深度之间的关系,探讨荒漠植物种子出苗与幼苗

生长对沙埋干扰的适应机制,为荒漠区植被恢复重建及生物多样性保护提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 种子来源与研究地点

2017 年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)周围生长健壮、无病虫害的母株上采收达到生理成熟期的黑果枸杞、沙冬青、沙蒿、霸王种子,之后在实验室风干、脱粒并去除种子中的杂质,自然条件下贮藏备用(这 4 种荒漠植物种子不需要打破休眠均可萌发)。

### 1.2 试验设计与处理

1.2.1 种子生理指标测定 室内试验于 2018 年 4 月在甘肃省治沙研究所省部共建国家重点实验室培育基地进行。随机选取每种植物种子 1 000 粒为 1 组,用精度 1/10 000 g 的天平称重,5 次重复,计算种子千粒重;随机选取各植物种子 30 粒分别测定种子形状(长、宽、高)、活性(TTC 法)及含水量(风干法),最后分别计算平均值作为种子各生理指标的测定结果<sup>[27]</sup>。

1.2.2 种子萌发率测定 采用培养皿法测定室温自然光照条件下(22±2℃)4 种植物的种子萌发率。即播种后每天观测种子发芽情况并及时向培养皿内补充蒸馏水,每皿 50 粒种子,10 次重复,连续 5 d 没有新种子萌发时试验结束。

1.2.3 不同沙埋深度下种子出苗测定 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,在 100℃下烘干 48 h 以杀死沙中可能存在的种子。试验设 0、1、2、3、4、5 cm 6 个沙埋深度处理,即准备长 25 cm、宽 15 cm、深 12 cm、底部有小孔的透明容器,分别装入厚 10、9、8、7、6、5 cm 的沙子,容器底部铺双层滤纸,以防止沙子漏出并保持通气良好;选取 50 粒饱满完整的种子均匀播种于沙子表面,之后分别覆盖 0、1、2、3、4、5 cm 的沙子,使每盆沙子总厚度为 10 cm,分别得到 0、1、2、3、4、5 cm 的沙埋厚度;每处理 10 次重复,充分浇水后每天 10:00 观测幼苗出土情况,记录出苗数、苗高,播种后 35 d 结束试验。

$$\text{出苗率} = n/N \times 100\%$$

式中, $n$  为每个容器中种子出苗个数; $N$  为每个容器中撒播的种子总数。

1.2.4 不同沙埋深度下幼苗生长测定 出苗后每天记录出土的幼苗数量及幼苗高度(沙子表面至幼

苗顶端的高度)。试验结束后,将4种植物幼苗连根挖出冲洗干净,测量各株的茎高(根茎交接处至幼苗顶端长度)、绝对株高(全株高度)和根长,称量植物地上和地下生物量鲜重,计算根冠比,每种植物5次重复。

$$\text{根冠比} = \text{地下生物量} / \text{地上生物量}$$

1.3 数据处理

采用 SPSS19.0 和 Excel 2007 数据处理和单因素方差分析,利用 Duncan 法对沙埋深度与幼苗生长之间的显著性进行检验。

2 结果与分析

2.1 种子生理特征

4种植物种子生理特征如表1,沙冬青千粒重最大(42.31±0.36),其次分别为霸王(32.69±0.58)、

黑果枸杞(22.38±2.16)和沙蒿(17.19±1.44);种子形状 的方差依次为沙冬青>霸王>黑果枸杞>沙蒿;种子含水量为沙冬青(16.28±0.36)>霸王(13.38±1.25)>黑果枸杞(11.67±0.05)>沙蒿(8.25±1.08);种子活性大小为沙冬青>霸王>沙蒿>黑果枸杞;4种植物种子在培养皿中的萌发率较高,均>75%,依次为沙冬青(89.22±0.32)>霸王(87.29±1.12)>黑果枸杞(84.16±0.26)>沙蒿(76.81±0.11)。

相关性分析显示,4种植物种子形状与重量之间为显著正相关关系( $r=0.831, P<0.05$ )、种子活性与重量为显著负相关关系( $r=-0.564, P<0.05$ ),种子活性与形状为显著负相关关系( $r=-0.564, P<0.05$ );种子萌发率与重量之间为不显著负相关关系,其他各因子间均表现为弱关联性。

表 1 4种荒漠植物种子生理特征

Table 1 Physiological characteristics of the four desert plant species

物种名称	科	生活型	千粒重 /g	种子形状 /mm	种子含水量/%	种子活性/%	萌发率 /%
黑果枸杞	茄科	灌木	22.38±2.16	2.85±2.69	11.67±0.05	85.63±0.66	84.16±0.26
沙冬青	豆科	灌木	42.31±0.36	7.65±6.32	16.28±0.36	94.51±1.42	89.22±0.32
沙蒿	菊科	灌木	17.19±1.44	3.32±1.86	8.25±1.08	91.25±1.06	76.81±0.11
霸王	蒺藜科	灌木	32.69±0.58	9.26±3.41	13.38±1.25	91.65±0.11	87.29±1.12

2.2 沙埋深度对种子出苗的影响

沙埋深度显著影响4种荒漠植物的种子出苗(图1、图2),其中黑果枸杞和沙蒿种子在沙埋0cm时即可出苗,但沙蒿出苗率显著高于黑果枸杞,开始出苗时间均较晚(13.34 d),并与其他沙埋深度间存在显著差异( $P<0.05$ )。随着沙埋深度增加,2种植物出苗率逐渐增大,出苗时间提前,并在沙埋2cm时达到最大出苗率,之后随沙埋深度增加出苗率降低,开始出苗时间延长至6~10 d;沙埋5cm时2种植物种子均不出苗。沙冬青和霸王种子在沙埋0cm时均不出苗,沙埋1~3cm时出苗率随沙埋深度增加而增大,3~4 d开始出苗;沙埋深度>3cm时,2种植物种子出苗率随沙埋深度的增加而减小,开始出苗时间延长至7~8 d左右;沙埋5cm时,种子出苗率均减小,出苗时间延长达半月左右,且均与其他沙埋处理间存在极显著差异( $P<0.01$ )。

2.3 沙埋深度对幼苗生长的影响

2.3.1 不同沙埋深度下幼苗生长变化 黑果枸杞出苗后7~17 d,沙埋深度1~3cm的幼苗迅速生长,之后趋于稳定,第35天时沙埋2cm下幼苗生长最高(5.33 cm),其次为沙埋深度为1cm和3cm的处理,幼苗高分别为4.94 cm和4.65 cm;沙埋0cm和4cm时,幼苗生长缓慢。沙冬青种子在沙埋2~4cm时生长较好,从第9天开始,幼苗迅速生长;沙

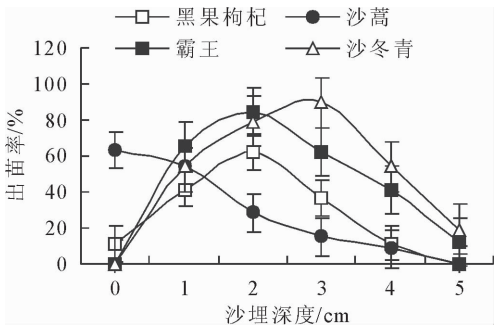


图 1 不同沙埋深度下4种荒漠植物种子出苗率  
Fig. 1 Seed germination rate of the four desert species different burial depths

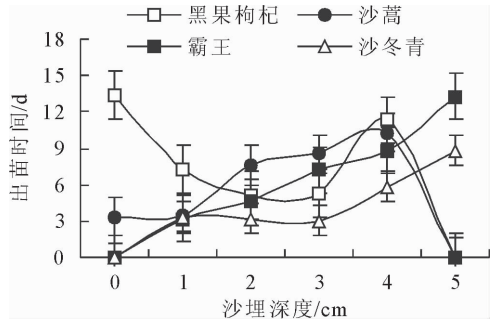


图 2 不同沙埋深度下4种荒漠植物种子出苗时间  
Fig. 2 Seedling emergence of the four desert under species under different burial depths

埋5cm时幼苗后期生长速度较快;第35天时3cm处理下幼苗最高,为6.29 cm。沙蒿种子出苗后9~

21 d,除 4 cm 沙埋处理外,其他几种深度处理下幼苗生长速度较快;第 35 天时 1 cm 沙埋处理的幼苗生长最高,为 4.05 cm,4 cm 沙埋处理下幼苗生长最慢。霸王种子出苗后 13~21 d 幼苗生长较快,35 d 时 2 cm 的沙埋处理幼苗最高,为 5.85 cm,其次为沙埋 1 cm 时的 5.26 cm,3~4 cm 沙埋时幼苗高度均<5 cm(图 3)。

2.3.2 不同沙埋深度对幼苗株高及生物量分配的影响 沙埋对黑果枸杞茎高有显著影响 ( $P<0.01$ ),对绝对株高、根长和根冠比影响较小 ( $P>0.05$ )。沙埋 1~4 cm 时其茎高、绝对株高及根长均随沙埋深度增加而减小,均在埋深 1 cm 时出现最大值,为 5.01、7.59 cm 和 2.57 cm,并与其他沙埋深度处理间存在极显著差异;幼苗根冠比随沙埋深度增加呈先增大后减小的趋势,沙埋 2 cm 时达到最大值 0.61,并与其他处理间存在极显著差异。沙埋对沙冬青茎高、绝对株高和根冠比有显著影响,对根长影响不显著;茎高、绝对株高、根长及根冠比随埋深均呈先增大后减小的趋势,茎高、绝对株高在沙埋 3 cm 达到最大值,分别为 6.30、8.56 cm,其次为埋深 2 cm 的处理,两者间差异不显著,但与其他 3 种

处理间存在极显著差异;沙埋 2 cm 时根长为最大值 2.27 cm,各埋深处理间差异不显著;根冠比在沙埋 3 cm 时为最大值 0.71,之后随沙埋深度增加而减小,与其他 3 种处理间存在极显著差异。沙埋对沙蒿茎高、绝对株高、根长、根冠比均有显著影响;沙埋 1~4 cm 时沙蒿茎高、绝对株高及根长均随沙埋深度的增加而减小,均在沙埋 1 cm 时达到最大值,分别为 5.46、7.76 cm 和 2.29 cm,并与其他沙埋深度处理间差异显著;沙埋 2 cm 时幼苗根冠比为最大值 0.54,之后随沙埋深度增加而增大,沙埋 1 cm 与 4 cm 间差异不显著,但与沙埋深度 0、2、3 cm 处理间存在极显著差异。沙埋对霸王茎高、绝对株高、根长、根冠比均有显著影响;其中茎高和绝对株高在沙埋 3 cm 时出现最大值 6.25 cm 和 8.29 cm,两指标随着沙埋深度增加呈先增大后减小的趋势,沙埋 1 cm 时为最小值,且各沙埋处理间存在极显著差异;根长在沙埋 4 cm 时为最大值 2.56 cm,且各处理间存在极显著差异;幼苗根冠比在沙埋 1~4 cm 时逐渐增大,4 cm 沙埋时为最大值 0.61,1 cm 时为最小值 0.19,且各处理间差异极显著(表 2)。

表 2 不同沙埋深度下 4 种荒漠植物幼苗生长特征					
Table 2 Effects of sand burial depths on seedling growth of the four desert species					
物种	沙埋深度/cm	茎高/cm	绝对株高/cm	根长/cm	根冠比
黑果枸杞	4	3.83±0.56 <sup>c</sup>	5.95±0.89 <sup>b</sup>	2.28±0.16 <sup>a</sup>	0.46±0.82 <sup>b</sup>
	3	4.50±0.19 <sup>b</sup>	6.77±1.31 <sup>ab</sup>	2.31±1.22 <sup>a</sup>	0.53±1.62 <sup>ab</sup>
	2	4.73±1.17 <sup>b</sup>	6.98±0.36 <sup>ab</sup>	2.34±0.43 <sup>a</sup>	0.61±0.06 <sup>a</sup>
	1	5.01±0.21 <sup>a</sup>	7.59±0.07 <sup>a</sup>	2.57±0.96 <sup>a</sup>	0.43±1.14 <sup>b</sup>
	0	2.02±0.33 <sup>d</sup>	5.09±0.67 <sup>b</sup>	2.09±0.23 <sup>ab</sup>	0.41±0.53 <sup>b</sup>
沙冬青	5	4.13±0.16 <sup>c</sup>	6.32±0.05 <sup>c</sup>	2.19±0.16 <sup>a</sup>	0.39±0.54 <sup>c</sup>
	4	5.20±1.09 <sup>b</sup>	7.40±1.31 <sup>b</sup>	2.23±1.22 <sup>a</sup>	0.41±0.32 <sup>c</sup>
	3	6.30±0.76 <sup>a</sup>	8.56±0.13 <sup>a</sup>	2.25±0.43 <sup>a</sup>	0.71±0.37 <sup>a</sup>
	2	6.14±0.44 <sup>a</sup>	8.41±0.37 <sup>a</sup>	2.27±0.96 <sup>a</sup>	0.61±0.83 <sup>b</sup>
	1	5.02±0.73 <sup>bc</sup>	7.08±0.24 <sup>b</sup>	2.03±0.23 <sup>a</sup>	0.35±1.05 <sup>cd</sup>
沙蒿	4	3.19±1.17 <sup>cd</sup>	5.06±0.36 <sup>cd</sup>	1.85±0.77 <sup>cd</sup>	0.41±0.06 <sup>b</sup>
	3	4.15±0.84 <sup>bc</sup>	6.23±0.37 <sup>b</sup>	2.06±0.98 <sup>c</sup>	0.33±1.14 <sup>c</sup>
	2	4.81±0.71 <sup>b</sup>	7.06±0.24 <sup>ab</sup>	2.09±0.63 <sup>a</sup>	0.54±0.53 <sup>a</sup>
	1	5.46±0.76 <sup>a</sup>	7.76±0.05 <sup>a</sup>	2.29±0.11 <sup>b</sup>	0.46±0.82 <sup>b</sup>
	0	3.50±0.22 <sup>c</sup>	5.35±1.31 <sup>c</sup>	1.89±1.27 <sup>cd</sup>	0.29±1.62 <sup>cd</sup>
霸王	5	4.51±0.19 <sup>c</sup>	6.73±1.31 <sup>d</sup>	2.21±1.22 <sup>b</sup>	0.26±1.62 <sup>c</sup>
	4	5.35±0.17 <sup>b</sup>	7.91±0.36 <sup>b</sup>	2.56±0.43 <sup>a</sup>	0.61±0.06 <sup>a</sup>
	3	6.25±0.17 <sup>a</sup>	8.29±0.37 <sup>a</sup>	2.05±0.96 <sup>c</sup>	0.53±1.14 <sup>b</sup>
	2	5.02±0.33 <sup>b</sup>	7.21±0.24 <sup>c</sup>	2.18±0.23 <sup>b</sup>	0.28±0.53 <sup>c</sup>
	1	3.73±0.16 <sup>d</sup>	5.82±0.05 <sup>e</sup>	2.09±0.16 <sup>c</sup>	0.19±0.82 <sup>d</sup>

注:数据为平均值±标准差;同列数据后不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 种子生理特征及其关系

种子重量、形状、含水量,种子活性及萌发率等

是植物种子重要的生理特征,在维持物种演替和群落结构变化中具有重要作用<sup>[28]</sup>。本研究 4 种植物种子均有较高的活性,室内萌发率均较高;其中种子体积较大的沙冬青和霸王的种子萌发率与重量、

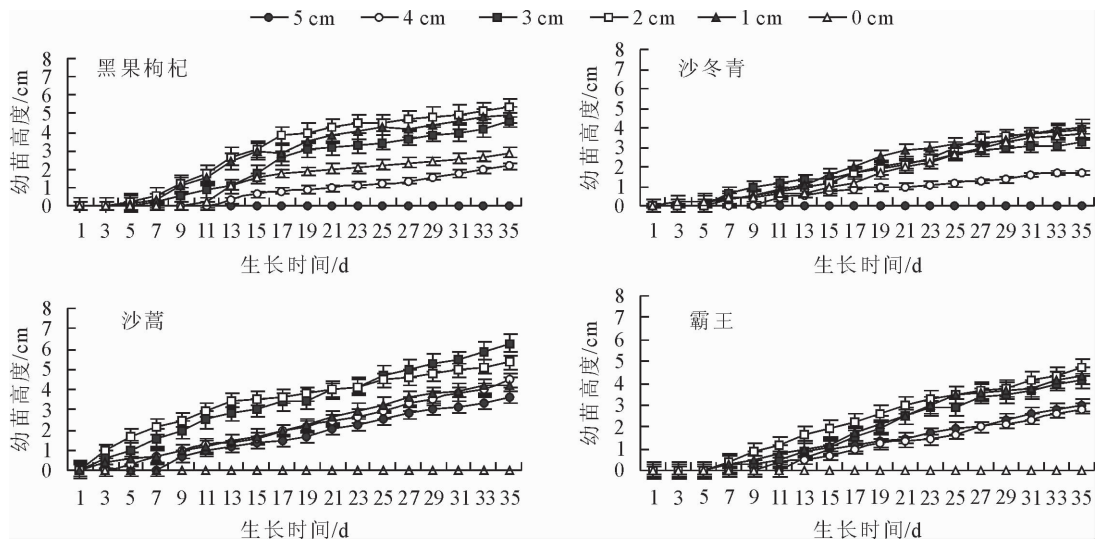


图3 不同沙埋深度下4种荒漠植物幼苗高度

Fig. 3 Seedling height of the four desert species under different sand burial depth

含水量、形状及活性之间存在显著的正相关关系,种子体积较小的黑果枸杞、沙蒿萌发率与种子重量、含水量、形状之间为正相关关系,与种子活性负相关;表明大而不规则种子有较低的活性,小种子扩散时有较高萌发率。该结果与贺宇等<sup>[16]</sup>在黑河流域中游巴丹吉林沙漠南缘对黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)沙棘(*Hippophae rhamnoides*)等的研究相一致。

3.2 种子出苗及幼苗生长对沙埋深度的响应

沙埋是一种综合生态因子<sup>[20]</sup>。沙埋可以维持种子周围的温度和湿度,保护种子不被极端高温、低温及地表动物损坏进而影响种子萌发及出苗<sup>[21-22]</sup>。主要原因在于:一方面一定沙埋深度可以减少幼苗直接暴露于沙漠地区炙热的阳光下;另一方面沙漠环境下浅沙层的土壤水分高于表层土壤,有利于幼苗根系吸水,可为植物幼苗生长提供充足的水分。此外,沙埋可以减少荒漠区频繁风沙活动对幼苗的影响,使幼苗在风沙强烈时保持相对的稳定<sup>[23]</sup>。

本研究结果显示,沙埋深度影响4种荒漠植物种子出苗率,延迟幼苗出土时间,而且随沙埋深度增加,幼苗出土、生长能力逐渐下降。一方面,未沙埋的沙蒿和黑果枸杞种子在沙土表层时具有较高的出苗率,且与其他沙埋深度处理间差异性显著,这可能是由于试验中的沙土水分达到了种子萌发所需的条件,且种子不需要突破表层土壤,因此使出苗率变大,出苗时间变短。随着沙埋厚度的增大,2种子出苗率逐渐减少,当沙埋厚度>2 cm时,大部分沙蒿种子不能出土。另一方面,一定的沙埋又可将植物种子保护于沙土之中,减少水分的蒸发,保证种子发芽所需的水分、温度和空气等条件,为种子发芽提供

适宜的场所。特别是像本研究中的沙冬青和霸王这样的大粒种子,种子在沙土表层时土壤水分迅速蒸发,种子没有足够的吸胀和萌发条件,相反适宜深度的沙埋为其种子萌发提供了良好的温度、湿度及暗环境,加上种子自身充足的营养条件,使这2种大粒种子在较深沙埋时有较高的出苗率。但当沙埋过深时,虽然能保证种子萌发所需的水分和温度,却增大了小粒种子发芽和出苗时的阻力,加上深层土壤氧气交换差、CO<sub>2</sub>浓度高等原因迫使种子休眠,使其出苗受到影响;只有在适宜的沙埋下,种子具备适宜发芽的光照、温度、湿度条件,才能顺利发芽、出苗。

幼苗生长和建植能力方面,4种荒漠植物的茎高、绝对株高和根长总体随着沙埋深度的增加呈减小趋势,但幼苗生物量分配趋势不一致,说明不同物种生物量分配趋势对沙埋的响应也不同,这是植物长期生态适应的结果<sup>[29]</sup>。其原因是,随着沙埋深度增加,植物体首先将较多的能量分配给地下部分,便于植物快速吸收土壤表层的水分和矿物质,使幼苗迅速生长,生物量最大化;当沙埋过深时,茎生长受到影响,进一步阻碍了根的生长,致使地下生物量减小。该结果与陈文等<sup>[30]</sup>在河西走廊中部(张掖)对驼蹄瓣(*Zygophyllum fabago*)、骆驼蒿(*Peganum nigellastrum*)、唐古特白刺(*Nitraria tangutorum*)等植物对沙埋深度响应的研究结果一致。

在荒漠区采用这4种植物进行植被恢复时,除考虑种子自身性状外,还应充分考虑当地的沙埋、降雨等条件,以提高出苗率、增大幼苗定植率。此外,同种植物种子体积大小不同会对沙埋做出怎样的响应,还需进一步研究。

参考文献:

[1] 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.

[2] 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*, 2017, 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)

[3] 张鹏, 何梦雅, 张宇, 等. 温度与浸种处理对沙棘种子萌发的影响[J]. *西北林学院学报*, 2015, 30(6): 130-133.  
ZHANG P, HE M Y, ZHANG Y, *et al.* Effects of temperature and soaking treatments on seed germination[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2015, 30(6): 130-133. (in Chinese)

[4] 王文娟, 贺达汉, 唐小琴, 等. 不同温度和沙埋深度对砂生槐种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(6): 1437-1442.  
WANG W J, HE D H, TANG X Q, *et al.* Effects of different temperature and sand burial depths on seed germination and seedling growth of *Sophora moorcroftiana* [J]. *Journal of Desert Reserch*, 2011, 31(6): 1437-1442. (in Chinese)

[5] 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)

[6] GILBERT M, PAMMENTER N, RIPLEY B. The growth responses of coastal dune species are determined by nutrient limitation and sand burial[J]. *Oecologia*, 2008, 156(1): 169-178.

[7] LIU H J, GUO K. The impacts of sand burial on seedling development of *Caragana intermedia* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 25(10): 2550-2555.

[8] 黄振英, Gutterman 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, 曹志平, 董鸣, 等. 沙埋对无芒雀麦种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2438-2443.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 李秋艳, 方海燕. 沙埋对红砂幼苗出土和生长的影响[J]. *水土保持通报*, 2008, 8(1): 30-33.  
LI Q Y, FANG H Y. Effects of sand burial on the emergence and growth of red sand seedlings[J]. *Soil and Water Conservation Bulletin*, 2008, 8(1): 30-33. (in Chinese)

[13] 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 characteris-tics of two Chenopodiaceae annual[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(1): 79-85. (in Chinese)

[14] 安桂香, 曾凡江, 刘波, 等. 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.  
AN G 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)

[15] 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.  
LI Q Y, ZHAO W Z. The response of seedling and growth of five desert plants to the buried depth of sand[J] *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1802-1808. (in Chinese)

[16] 贺宇, 丁国栋, 汪晓峰, 等. 水分和沙埋对4种荒漠植物种子萌发和出苗的影响[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(6): 1711-1716.  
HE Y, DING G D, WANG X F, *et al.* Effects of water supply and sand burial on seed germination and sand bureal on seedling emergence of four psammophytes[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 33(6): 1711-1716. (in Chinese)

[17] 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、出苗和幼苗生长的影响[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)

[18] 苏延桂, 李新荣, 贾荣亮, 等. 沙埋对六种荒漠植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(6): 968-971.  
SU Y G, LI X R, JIA R L, *et al.* Effects of sand-burying on seed germination and seedling emergence of six psammophytes species[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 27(6): 968-971. (in Chinese)

[19] 赵哈林, 曲浩, 周瑞莲. 沙埋对两种荒漠植物幼苗生长的影响及其生理响应差异[J]. *植物生态学报*, 2013, 37(9): 830-838.  
ZHAO H L, QU H, ZHOU R L. Effects of sand burial on seedling growth and physiological responses of two desert plants[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2013, 37(9): 830-838. (in Chinese)

[20] 王桔红, 陈文. 黑果枸杞种子萌发及幼苗生长对盐胁迫的响应[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(4): 804-810.  
WANG J H, CHEN W. Response of seed germination and seedling growth to salt stress of *Lycium ruthenicum* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(4): 804-810. (in Chinese)

[21] 马彦军, 段慧荣, 曹致中, 等. 沙冬青种子萌发期抗逆性研究[J]. *中国沙漠*, 2011, 30(4): 963-967.  
MA Y J, DUAN H R, CAO Z Z, *et al.* Study on stress resistance in germination stage of *Ammopiptanthus mongolicus* seeds[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(4): 963-967. (in Chinese)



ratory[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(1):129-131. (in Chinese)

[18] 臧睿,黄丽丽,康振生,等. 陕西苹果树腐烂病菌(*Cytospora* spp.)不同分离株的生物学特性与致病性研究[J]. 植物病理学报,2007,37(4):343-351.

ZANG R,HUANG L L,KANG Z S,*et al.* Biological characteristics and pathogenicity of different isolates of *Cytospora* spp. isolated from apple trees in Shaanxi Province[J]. Acta Phytopathologica Sinica,2007,37(4):343-351. (in Chinese)

[19] 齐永志,李海燕,苏媛,等. 小麦纹枯病菌对噻呋酰胺的敏感性 & 抗药性突变体的主要生物学性状[J]. 农药学报,2014,(3):271-280.

[20] 郑媛萍,周连柱,孔繁芳,等. 山东蓬莱葡萄灰霉菌对 7 种杀菌剂的抗药性检测[J]. 植物保护,2019,45(1):164-169.

[21] 张亚,王翀,刘双清,等. 湖南省草莓灰霉病菌对 4 种杀菌剂的抗药性检测[J]. 植物保护,2016,42(5):181-187.

[22] 徐建强,赵建江,胡雪涵,等. 小麦纹枯病菌对三唑酮不同敏感性菌株的生物学特性及对不同杀菌剂的敏感性[J]. 植物保护学报,2018,45(2):359-366.

XU J Q,ZHAO J J,HU X H,*et al.* Biological characteristics of *Rhizoctonia cerealis* isolates with different sensitivities to triadimefon and their sensitivity to different fungicides[J]. Journal of Plant Protection,2018,45(2):359-366. (in Chinese)

[23] 阮宏椿,石姐姐,甘林,等. 稻曲病菌对戊唑醇的敏感基线 & 抗药突变体的生物学性状[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2017,45(6):148-154.

RUAN H C,SHI N N,GAN L,*et al.* Baseline sensitivity of *Ustilaginoidea virens* against tebuconazole and iological characteristics of resistant mutant[J]. Journal of Northwest A&F University:Nat. Sci. Edi.,2017,45(6):148-154. (in Chinese)

[24] 任璐,赵彬彬,韩巨才,等. 黄瓜白粉病菌对甲基硫菌灵的敏感性及室内抗性突变体生物学性状[J]. 植物保护学报,2015,42(2):176-181.

[25] ZIOGAS B N,MARKOGLOU A N,MALANDRAKIS A A. Studies on the inherent resistance risk to fenhexamid in *Botrytis cinerea*[J]. European Journal of Plant Pathology,2003,109(4):311-317.

[26] BI Y,CUI X,LU X,*et al.* Baseline sensitivity of natural population and resistance of mutants in *Phytophthora capsici* to zoxamide[J]. Phytopathology,2011,101(9):1104-1111.

[27] ZHANG X,WU D,DUAN Y,*et al.* Biological characteristics and resistance analysis of the novel fungicide SYP-1620 against *Botrytis cinerea*[J]. Pesticide Biochemistry & Physiology,2014,114(1):72-78.

[28] 王艳. 灰葡萄孢对腐霉利的抗性及其机制研究[D]. 扬州:扬州大学,2007.

[29] 范昆,曲健禄,李林光,等. 苹果轮纹病菌对戊唑醇的敏感基线 & 其室内抗药突变体研究[J]. 果树学报,2013,30(4):650-656.

FAN K,QU J L,LI L G,*et al.* Study on baseline-sensitivity of *Botryosphaeria dothidea* to tebuconazole and the biological characteristics of tebuconazole-resistant mutants[J]. Journal of Fruit Science,2013,30(4):650-656. (in Chinese)

(上接第 113 页)

[22] 曾彦军,王彦荣. 几种生态因子对红砂和霸王种子萌发与幼苗生长的影响[J]. 草业学报,2005,14(5):24-31.

ZENG Y J,WANG Y R. Study on the effects of soil temperature,soil moisture content,sowing depth,and sand cover on seed germination and seedling growth of *Reaumuria soongorica* and *Zygophyllumxanthoxylum* [J]. Acta Pratac Ultraræ Sinica,2005,14(5):24-31. (in Chinese)

[23] 王方琳,柴成武,魏小红,等. 荒漠区药用植物黑果枸杞的组织培养[J]. 干旱区资源 & 环境,2016,30(10):104-109.

WANG F L,CHAI C W,WEI X H,*et al.* Tissue culture of medicinal plants *Lycium ruthenicum* in arid desert[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2016,30(10):104-109. (in Chinese)

[24] 王方琳,徐先英,尉秋实,等. 强旱生濒危植物霸王的组织培养[J]. 干旱区资源 & 环境,2014,28(2):114-118.

WANG F L,XU X Y,WEI Q S,*et al.* Tissue culture of the strong xerophytes and endangered plant of *Zygophyllum xanthoxylum*[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2014,28(2):114-118. (in Chinese)

[25] 杨鑫光,傅华,张洪荣,等. 水分胁迫对霸王苗期叶水势和生物量的影响[J]. 草业学报,2006,15(2):37-41.

YANG X G,FU H,ZHANG H R,*et al.* Effect of soil water stress on leaf water potential and biomass of *Zygophyllum xanthoxylum* during seedling stag [J]. Acta Pratac Ultraræ Sinica,2006,15(2):37-41. (in Chinese)

[26] 董雪,高永,杨永华,等. 平茬措施对天然沙冬青生理特性的影响[J]. 植物科学学报,2015,33(3):388-395.

DONG X,GAO Y,YANG Y H,*et al.* Effects of stubble measures on physiological characteristics of *Ammopiptanthus mongolicus*[J]. Journal of Plant Sciences,2015,33(3):388-395. (in Chinese)

[27] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京:科学出版社,2009:78-82.

[28] HAMMOND D S,BROWN V K. Seed mass of woody plants in relation to disturbance,dispersal,soil type in wet neotropical forestes[J]. Ecology,1995,76:2544-2561.

[29] KOLLER D. Germination regulating mechanissms in some desert seeds-Ⅲ [J]. Calligonum Comsum, Ecology, 1956, 37(3):430-433.

[30] 陈文,王桔红,朱慧,等. 沙埋对河西走廊 4 种旱生植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国沙漠,2015,35(6):1532-1537.

CHEN W,WANG J H,ZHU H,*et al.* Effects of sand burial on seed germination and seedling growth of four xerophytes in hexi corridor[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 35(6):1532-1537. (in Chinese)