

朱雅娟,赵晨光,李慧瑛,等.阿拉善高原东部4种飞播灌木种子萌发的适宜条件[J].中国沙漠,2024,44(1):96-101.

# 阿拉善高原东部4种飞播灌木种子萌发的适宜条件

朱雅娟<sup>1</sup>, 赵晨光<sup>2</sup>, 李慧瑛<sup>2</sup>, 王阿晴<sup>1</sup>

(1. 中国林业科学研究院生态保护与修复研究所, 北京 100091; 2. 阿拉善盟林业与草原研究所, 内蒙古 阿拉善左旗 750306)

**摘要:** 阿拉善高原地处内蒙古西部, 沙漠和戈壁广泛分布, 是中国北方主要沙尘源地。飞播是当地治理土地荒漠化的重要途径。通常, 飞播之后植物的萌发主要受气象和生境等自然因素影响。沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、花棒(*Corethroedendron fruticosum*)、柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)和蒙古扁桃(*Prunus mongolica*)是阿拉善高原荒漠的4种优势灌木。通过温室盆栽实验, 研究降雨量、播种深度和土壤类型对4种灌木种子萌发的影响, 优化飞播技术, 为精准治沙提供理论依据。模拟的3个降雨量分别是首次浇水10、15、20 mm, 之后每2天浇水5 mm, 共10次。4个播种深度分别是0.5、1、2、3 cm。4种土壤类型分别是微细沙、细沙、中沙和粗沙。结果表明: 沙冬青种子萌发的适宜条件是首次浇水15~20 mm, 其他3种灌木则为首次浇水10~20 mm。沙冬青种子的适宜播种深度是0.5~1 cm, 其他3种灌木则是0.5~2 cm; 3 cm只有少量花棒萌发。沙冬青在微细沙、细沙和中沙里的萌发率较高, 而在粗沙中的萌发率较低; 其他3种灌木在4种土壤中的萌发率都较高。因此, 在阿拉善高原东部, 沙冬青适宜15 mm以上降雨后在流动、半流动和半固定沙丘飞播, 不适宜戈壁飞播; 其他3种灌木则适宜10 mm以上降雨后在流动、半流动、半固定沙丘和戈壁飞播。

**关键词:** 飞播; 降雨量; 播种深度; 土壤类型

**文章编号:** 1000-694X(2024)01-096-06

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2023.00060

**中图分类号:** Q948.1

**文献标志码:** A

## 0 引言

飞播治沙是模拟风力传播, 在春夏降雨前通过飞机低空航行, 在沙漠或沙地上撒播植物种子, 利用适宜自然条件促进先锋植被定居, 从而快速固定流沙的一种治沙技术。其机理是充分利用适宜的温度和充足的水分, 人为补充土壤种子库, 种子落地后依靠风力自然覆沙, 降雨后能够萌发, 从而迅速实现荒漠植被的恢复。与封育和造林相比, 它具有速度快、范围广、成本低、面积大和成效高等优势<sup>[1]</sup>。中国的飞播治沙始于1958年。1964—1966年, 陕西省榆林市在毛乌素沙地东南部飞播的花棒(*Corethroedendron scoparium*)一直保存至今<sup>[2]</sup>。1978—1988年, 内蒙古自治区伊金霍洛旗在毛乌素沙地北部飞播试验成功。阿拉善左旗在腾格里沙

漠经过连续8年试验飞播治沙成功<sup>[3]</sup>。随后, 飞播治沙技术逐渐应用到内蒙古东部科尔沁沙地<sup>[4]</sup>、浑善达克沙地<sup>[5]</sup>、巴音温都尔沙漠<sup>[6]</sup>、青海省共和盆地和柴达木盆地<sup>[7]</sup>以及西藏自治区一江两河(雅鲁藏布江、拉萨河、年楚河)<sup>[8]</sup>等地区。

多年来, 中国对飞播治沙的研究集中在树(草)种的选择、种子处理技术以及飞播植被监测等方面。通过反复的实践检验, 人们筛选出了适合不同沙区的灌木和草本植物, 并且确定了适宜的飞播时间。例如, 鄂尔多斯高原适宜在5月下旬到6月下旬飞播羊柴(*Corethroedendron fruticosum*)、籽蒿(*Artemisia sphaerocarpa*)、沙打旺(*Astragalus laxmanii*)和草木樨(*Melilotus officinalis*)<sup>[9]</sup>。在流动沙丘迎风坡和平沙地设置沙柳或沙蒿沙障, 能够有效增加羊柴的成苗率和保存率<sup>[10]</sup>。羊柴、花棒和籽蒿以

收稿日期: 2023-02-14; 改回日期: 2023-04-27

资助项目: 内蒙古自治区科技计划项目(2021GG0306); 中国林业科学研究院基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB2021MA012)

作者简介: 朱雅娟(1980—), 女, 陕西眉县人, 博士, 副研究员, 主要研究荒漠植被生态学。E-mail: zhuyj@caf.ac.cn

3:3:2混播,适合6月中下旬在巴音温都尔沙漠东南缘飞播<sup>[6]</sup>。阿拉善高原月降雨量大于65 mm时,适宜沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、沙鞭(*Psammochloa villosa*)和籽蒿生存;月降雨量小于40 mm则只适宜白沙蒿生存<sup>[11]</sup>。籽蒿、沙拐枣、花棒以及从土库曼斯坦引进的头状沙拐枣(*Calligonum caput-medusae*)和乔木状沙拐枣(*Calligonum arborescens*)适宜在腾格里沙漠飞播<sup>[12]</sup>。沙蒿(*Artemisia desertorum*)和芨芨草(*Achnatherum splendens*)适宜在黄河上游青海省龙羊峡水库岸边沙地飞播<sup>[13]</sup>。籽蒿、花棒、沙拐枣、羊柴以及乡土植物砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)适宜雅鲁藏布江河谷飞播<sup>[14]</sup>。

阿拉善高原东部主要包括腾格里沙漠、乌兰布和沙漠以及贺兰山西麓的荒漠草原。自1984年以来,阿拉善左旗在荒漠草原和沙漠交界地带进行了多年的飞播固沙,形成了稳定的灌草带,显著改善了当地的环境<sup>[15]</sup>。然而,随着自然条件较好的播区逐渐被治理,周边的戈壁和低山残丘等条件较差的地区也需要通过飞播改善植被覆盖。以往对飞播固沙植物的研究多集中在沙漠和沙地,对于戈壁研究非常少。这些优良固沙灌木能否在戈壁飞播?因此,本研究选择阿拉善高原东部的4种灌木,研究降雨量、播种深度和土壤类型对其种子萌发的影响。其中,沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、花棒和柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)是沙漠和山前洪积扇的优势灌木;蒙古扁桃(*Prunus mongolica*)则主要分布在山前洪积扇和低山。根据生境特征和植物的生态特性选择适宜的飞播植物,从而优化飞播树种的选择,为精准治沙提供科学的理论依据。

## 1 材料和方法

2021年6月,在阿拉善左旗超格图忽热苏木采集沙冬青种子;7月,分别在超格图忽热苏木和吉兰泰镇采集蒙古扁桃和柠条锦鸡儿种子;11月,在额尔克哈什哈苏木采集花棒种子。手工去除沙冬青和柠条锦鸡儿的豆荚、蒙古扁桃的果皮,花棒的荚果不去皮。将健康的种子保存在棉布袋中,室温下干燥储藏。

2022年4—5月,在温室通过盆栽实验研究降雨量对4种灌木种子萌发的影响。所用基质为河沙,从北京森德瑞拉科技有限公司购买,用孔径1 mm的土壤筛除砾石。容器为直径16 cm、高度13 cm的

塑料花盆。每盆播种25粒种子,深度为1 cm,每个处理4个重复。首次浇水量分别为模拟10、15、20 mm降雨量,即150、225、300 mL;之后每2天浇水一次,每次5 mm,即75 mL。3个处理共计48盆。每天记录幼苗出土情况,出土的标准是子叶露出沙子表面5 mm。补充浇水10次,实验在21天之后结束,总模拟降雨量分别是60、65、70 mm,总浇水量分别是900、975、1 050 mL。

2022年5—6月,研究不同播种深度对4种灌木种子萌发的影响。所用基质同上。播种深度分别为0.5、1、2、3 cm。4个处理共计64盆。首次浇水量为模拟20 mm降雨量,即300 mL,之后每2天浇水一次,每次5 mm,即75 mL。盆栽和观测方法同上。

2022年8—9月,研究不同土壤类型对4种灌木种子萌发的影响。4种土壤分别是微细沙(河沙)、细沙、中沙和粗沙,从北京森德瑞拉科技有限公司购买,分别模拟流动、半流动和半固定沙丘以及戈壁的土壤,颗粒直径分别是0.5~1、1~2、2~3、3~6 mm。4个处理共计64盆。其他实验方法同上。

通过SPSS 17.0进行双因素方差分析法,分别分析树种和浇水量、播种深度和土壤类型对种子萌发率的影响。如果影响显著( $P<0.05$ ),再通过Duncan's多重比较,分析不同树种或不同处理之间的差异。作图用Excel 2013完成。

## 2 结果

### 2.1 降雨量对4种飞播灌木种子萌发的影响

树种( $P<0.001$ )及其与浇水量的相互作用( $P<0.05$ )均显著影响萌发率,但是浇水量对萌发率的影响不显著( $P>0.05$ ,表1)。3种浇水量下,4种灌木种子的萌发率差异均显著( $P<0.01$ )。首次浇水10 mm后花棒和蒙古扁桃的萌发率显著高于其他两种灌木( $P<0.05$ ),而且柠条锦鸡儿的萌发率也显著高于沙冬青( $P<0.05$ ,图1)。首次15 mm浇水后蒙古扁

表1 树种和浇水量对种子萌发影响的双因素方差分析  
Table 1 Two-way ANOVA of effect of trees and irrigation on seed germination

变异来源	SS	均方	F值	P值
树种	1.694	0.565	29.784	<0.001
浇水量	0.012	0.006	0.323	0.726
相互作用	0.285	0.048	2.509	0.039

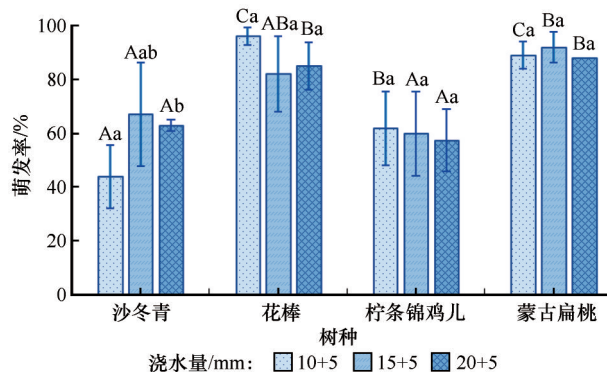


图1 浇水量对阿拉善高原东部4种飞播灌木种子萌发的影响

Fig.1 Effects of irrigation on seed germination of four air seeding shrubs on east Alxa Plateau

桃的萌发率显著高于沙冬青和柠条锦鸡儿 ( $P < 0.05$ )。首次20 mm浇水后花棒和蒙古扁桃的萌发率也显著高于其他两种灌木 ( $P < 0.05$ )。沙冬青在不同浇水量下的萌发率差异接近显著水平 ( $P = 0.073$ )。首次浇水20 mm沙冬青的总萌发率(67%)显著高于10 mm ( $P < 0.05$ )。柠条锦鸡儿、花棒和蒙古扁桃在不同的首次浇水后总萌发率差异均不显著 ( $P > 0.05$ )，分别为57.5%~62.0%、82.0%~96.0%和88.0%~92.0%。因此，沙冬青的萌发适宜条件是首次浇水20 mm，柠条锦鸡儿、花棒和蒙古扁桃为首次浇水10~20 mm，以后每2天浇水5 mm。

## 2.2 播种深度对4种飞播灌木种子萌发的影响

播种深度为0.5~2 cm时，4种灌木种子都萌发；3 cm时只有部分花棒种子萌发，萌发率仅有18.67%。树种 ( $P < 0.001$ ) 和播种深度 ( $P < 0.05$ ) 均显著影响种子萌发率，但是二者的相互作用对其影响不显著 ( $P > 0.05$ , 表2)。3种播种深度下4种灌木的萌发率差异均显著 ( $P < 0.01$ )。0.5 cm花棒的萌发率显著高于沙冬青和柠条锦鸡儿。1 cm花棒和蒙古扁桃的萌发率显著高于其他两种灌木，而且沙冬青的萌发率也显著高于柠条锦鸡儿。2 cm花棒的萌发率显著高于沙冬青和柠条锦鸡儿。播种深度显

表2 树种和播种深度对种子萌发影响的双因素方差分析  
Table 2 Two-way ANOVA of effect of trees and seeding depths on seed germination

变异来源	SS	均方	F值	P值
树种	0.880	0.293	15.098	<0.001
播种深度	0.170	0.085	4.371	0.020
相互作用	0.152	0.025	1.305	0.280

著影响沙冬青种子的萌发 ( $P < 0.01$ , 图2)；1 cm的总萌发率最高，达到74%；0.5 cm的萌发率其次，为64%；2 cm的萌发率最低，仅为46%。柠条锦鸡儿、花棒和蒙古扁桃在0.5~2 cm的萌发率差异均不显著，分别为52%~70%、85%~92%和80%~98%。因此，花棒、柠条锦鸡儿和蒙古扁桃的适宜播种深度均为0.5~2 cm，沙冬青的适宜播种深度是0.5~1 cm。

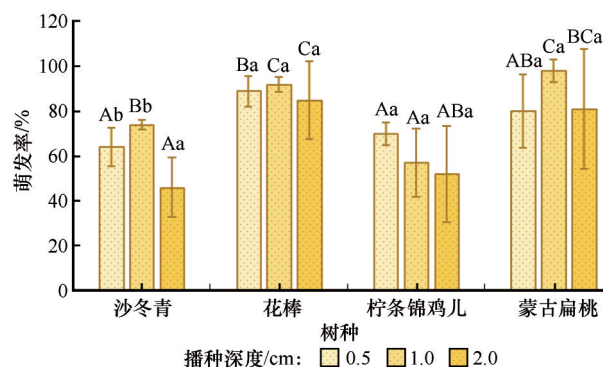


图2 播种深度对阿拉善高原东部4种飞播灌木种子萌发的影响

Fig.2 Effects of seeding depths on seed germination of four air seeding shrubs on east Alxa Plateau

## 2.3 土壤类型对4种飞播灌木种子萌发的影响

树种 ( $P < 0.001$ )、土壤类型 ( $P < 0.05$ ) 及其相互作用 ( $P < 0.001$ ) 均显著影响萌发率 (表3)。4种土壤类型中，不同树种的萌发率差异均显著 ( $P < 0.05$ , 图3)。微细沙中蒙古扁桃(86%)的萌发率显著高于沙冬青和柠条锦鸡儿 ( $P < 0.05$ )。细沙中花棒的萌发率(95%)显著高于其他灌木，蒙古扁桃的萌发率显著高于沙冬青和柠条锦鸡儿 ( $P < 0.05$ )。中沙中花棒(95%)的萌发率显著高于其他3种灌木 ( $P < 0.05$ )。粗沙中花棒的萌发率(98%)显著高于其他3种灌木，蒙古扁桃的萌发率(91%)显著高于柠条锦鸡儿和沙冬青，柠条锦鸡儿的萌发率也显著高于沙冬青 ( $P < 0.05$ )。土壤类型显著影响沙冬青和花棒种子的萌发 ( $P < 0.01$ , 图3)。其中，微细沙、细沙和中沙中

表3 树种和土壤类型对种子萌发影响的双因素方差分析  
Table 3 Two-way ANOVA of effect of trees and soil types on seed germination

变异来源	SS	均方	F值	P值
树种	1.071	0.357	54.933	<0.001
土壤类型	0.072	0.024	3.682	0.018
相互作用	0.500	0.056	8.550	<0.001



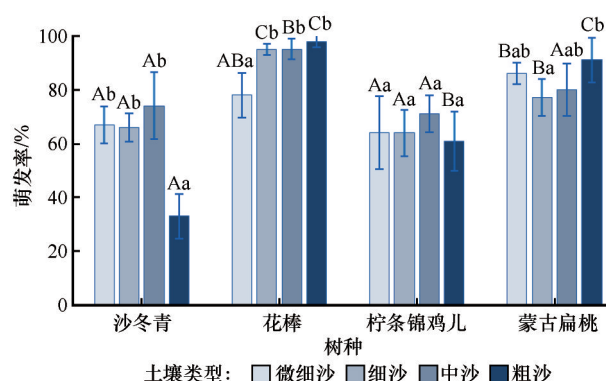


图3 土壤类型对阿拉善高原东部4种飞播灌木种子萌发的影响

Fig.3 Effects of soil types on seed germination of four air seeding shrubs on east Alxa Plateau

沙冬青的萌发率(67%~74%)显著高于粗沙( $P < 0.05$ )。细沙、中沙和粗沙中花棒的萌发率(95%~98%)显著高于微细沙( $P < 0.05$ )。不同土壤类型对柠条锦鸡儿的萌发率影响不显著,为61%~71%( $P > 0.05$ )。土壤类型对蒙古扁桃萌发率的影响接近显著水平( $P = 0.089$ ),粗沙的萌发率(91%)高于细沙。因此,沙冬青飞播适宜沙丘土壤,但是不适宜戈壁的粗沙;而其他3种灌木飞播适宜沙丘和戈壁的土壤。

### 3 讨论

飞播是中国治沙的重要技术。然而,以往关于飞播固沙植物的研究多关注环境因素对沙漠或沙地的优势植物种子萌发的影响<sup>[13-14, 20-27, 29-31]</sup>,对于濒危植物关注较少。而且,大部分研究都使用细沙这种单一介质,没有考虑荒漠中的土壤类型差异。本研究既分析了阿拉善高原东部的优势植物花棒和柠条锦鸡儿,也研究了濒危植物沙冬青和蒙古扁桃种子萌发的适宜水分和播种深度。同时,结合这些植物所在生境的异质性,探讨了不同土壤类型对种子萌发的影响。

在严酷的荒漠生态系统中,植物的种子萌发受多种环境因子影响,包括水分、温度、光照、沙埋、盐分和干旱等<sup>[16-19]</sup>。其中,水分是荒漠植物种子萌发的主要限制条件。在适宜的土壤水分条件下,荒漠植物的种子萌发率较高。土壤含水量为15%~20%时,黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)、沙冬青和沙棘(*Hippophae rhamnoides*)的种子萌发率高<sup>[20]</sup>。由于浅层土壤水主要来自降水补充,生长季降雨是荒漠植物种子萌发的一个决定因素。梭梭(*Haloxylon am-*

*modendron*)的萌发需要8~20 mm降雨<sup>[21]</sup>。柠条锦鸡儿、羊柴和黑沙蒿萌发的最佳降雨量分别是10、10~15、15~20 mm<sup>[22]</sup>。随着降雨量的增加,荒漠植物的种子萌发一般会增加,例如籽蒿<sup>[23]</sup>和红砂(*Reaumuria songarica*)<sup>[24]</sup>。此外,荒漠的降雨多为脉冲式,种子萌发过程需要启动降雨量。籽蒿、黑沙蒿和沙蒿完成萌发需要16 mm初始降雨和随后每天3 mm降雨<sup>[25]</sup>。本研究结果表明:在阿拉善高原东部,沙冬青的种子萌发率在15 mm以上首次降雨量后较高,而花棒、柠条锦鸡儿和蒙古扁桃在10 mm以上较高。荒漠植物种子萌发启动降雨量的差异反映了它们应对干旱气候采取不同的适应对策。因此,需要较低降雨量就可以完成种子萌发过程的植物一般采取机会主义式的种子萌发和种群更新策略,而需要更高降雨量的植物则采取比较谨慎的策略。此外,降雨频率的变化也会影响荒漠植物的种子萌发。例如月降雨量50 mm、降雨频率为每月10次时,巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠的梭梭种子萌发率较高<sup>[26]</sup>。因此,今后应从降雨量和降雨频率两个方面研究降雨变化对荒漠植物种子萌发的影响。

沙埋是流动、半流动和半固定沙丘生境影响种子萌发的一个重要因素。它通过改变光照、土壤温度和水分等条件调节种子萌发。大部分荒漠木本植物种子在沙子中的最适萌发深度是2 cm以内,并且随着深度的增加而降低<sup>[18]</sup>,例如梭梭、白梭梭(*Haloxylon persicum*)、柠条锦鸡儿、甘蒙怪柳(*Tamarix austromongolica*)、沙冬青、蒙古扁桃、长叶红砂(*Reaumuria trigyna*)和沙棘在1 cm萌发率最高<sup>[20, 27-29]</sup>,而花棒、霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)和黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)在2 cm萌发率最高<sup>[27-28, 30]</sup>。其中,梭梭在1 cm沙埋的种子萌发率最高,但是2 cm沙埋有利于幼苗生存<sup>[31]</sup>。这些研究多考虑1 cm以上的沙埋深度,大部分没有考虑0.5 cm的浅层沙埋。流动沙丘飞播之前,一般要先设置草方格沙障减轻风蚀和沙埋。飞播一般在春季降雨后进行,此时沙子表面因雨水湿润而暂时固定。另外,种子飞播之前一般要经过丸粒化处理<sup>[32]</sup>。因此,实际的沙埋深度可能更浅。本研究结果表明,0.5~2 cm浅层沙埋后,阿拉善高原东部的沙冬青、花棒、柠条锦鸡儿和蒙古扁桃均可以萌发,只有部分花棒可以忍耐3 cm沙埋。这体现了花棒作为先锋物种更适应流动沙丘的剧烈

沙埋环境。关于一种荒漠植物种子萌发的适宜沙埋深度,不同研究报道的结果不尽相同。这可能与种子质量差异,以及采集地点的气候和地理条件差异有关。因此,未来需要大范围采集同一种荒漠植物的种子,研究其萌发特征的地理差异。

土壤类型也会影响荒漠植物的种子萌发。不同类型的土壤,由于物理特征不同,特别是持水力和容重也有差异,影响种子获得水分的能力以及幼苗生长和出土的过程。荒漠的土壤多为砾石、砂石或沙,持水力较弱<sup>[18]</sup>。而且,随着土壤粒径的增加,容重增大,种子萌发后幼苗出土的阻力也增强。以往的研究大多只在育苗技术中考虑土壤类型对种子萌发的影响。例如,白刺在河沙中的萌发率高于森林土和耕作土<sup>[33]</sup>。沙冬青在风沙土、沙壤土+腐殖质土(1:1)以及沙壤土中的种子萌发率相近,但是沙壤土的保苗率和幼苗质量高<sup>[34]</sup>。本研究结果表明,阿拉善高原东部的花棒、柠条锦鸡儿和蒙古扁桃在微细沙、细沙、中沙和粗沙中均可以萌发,但是沙冬青在粗沙中的萌发率较低。这可能是由于粗沙中的萌发阻力高,前3种灌木种子均为近球形,而沙冬青种子为扁肾形。因此,荒漠植物在沙质土壤中的萌发率较高,体现了它们对生境土壤条件的适应性。

## 4 结论

在阿拉善高原东部,沙冬青种子适宜15 mm以上降雨后飞播,其他3种灌木适宜10 mm以上降雨后飞播。4种灌木萌发均适应0.5~2 cm的浅层沙埋,只有花棒可以部分忍耐3 cm沙埋。沙冬青的萌发适应微细沙、细沙和中沙,但是不适应粗沙;其他3种灌木的萌发亦适应粗沙。因此,沙冬青适宜15 mm以上降雨后在流动、半流动和半固定沙丘飞播,不适宜戈壁飞播;其他3种灌木则适宜10 mm以上降雨后在流动、半流动和半固定沙丘以及戈壁飞播。今后,阿拉善高原和中国西北其他沙区应根据不同植物的萌发特性,选择适宜的时间和生境实施飞播固沙,从而提高飞播后的萌发率,进一步优化精准治沙技术体系。

## 参考文献:

- [1] 漆建忠. ABT生根粉在飞播治沙中的应用[J]. 当代生态农业, 1995, 4(增刊1): 112-113.
- [2] 刘健华. 我国飞播种草治沙的成就及其发展前景[J]. 当代生态农业, 1995, 4(增刊1): 36-41.
- [3] 闫德仁, 闫婷. 内蒙古流动沙地治理技术发展回顾[J]. 中国沙漠, 2022, 42(1): 66-70.
- [4] 王涛, 陈广庭, 董治宝, 等. 内蒙古巴林右旗沙漠化治理模式与效益分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 750-756.
- [5] 曹瑞, 刘果厚, 兰庆, 等. 浑善达克沙地飞播区植被动态[J]. 中国沙漠, 2018, 38(3): 535-544.
- [6] 曹辉. 飞播封育措施治理沙漠环境浅谈: 以巴音温都尔沙漠为例[J]. 现代园艺, 2019, 42(2): 168-169.
- [7] 张进. 青海高寒地区飞播造林技术研究[M]. 西宁: 青海人民出版社, 2014.
- [8] 李森, 董光荣, 董玉祥, 等. 西藏“一江两河”中部流域地区土地荒漠化防治目标、对策与治沙工程布局[J]. 中国沙漠, 1994, 14(2): 55-63.
- [9] 魏江生, 董智, 左合君. 对影响飞播成效因子的研究: 研究对象区为内蒙古鄂尔多斯地区[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(9): 138-141.
- [10] 康世勇, 夏素华, 李志忠, 等. 鄂尔多斯沙区飞播杨柴固沙技术的研究[J]. 中国沙漠, 1998, 18(1): 57-63.
- [11] 周志宇, 张冈, 马斌, 等. 阿拉善退化沙地飞播植物群落演替趋势研究[J]. 生态科学, 2007, 26(1): 10-13.
- [12] 刘焱心, 黄兆华. 腾格里沙漠治理40年[J]. 中国沙漠, 1997, 17(3): 219-225.
- [13] 石蒙沂. 黄河上游沙质滩地模拟飞播试验[J]. 林业科学, 2006, 42(9): 39-43.
- [14] 沈渭寿, 李海东, 林乃峰, 等. 雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地适生植物种筛选和恢复效果[J]. 生态学报, 2012, 32(17): 5609-5618.
- [15] 赵晨光, 李慧瑛, 鱼腾飞, 等. 腾格里沙漠东北缘人工植被对土壤物理性质的影响[J]. 干旱区研究, 2022, 39(4): 1112-1121.
- [16] 张勇, 薛林贵, 高天鹏, 等. 荒漠植物种子萌发研究进展[J]. 中国沙漠, 2005, 25(1): 106-112.
- [17] 朱雅娟, 董鸣, 黄振英. 种子萌发和幼苗生长对沙丘环境的适应机制[J]. 应用生态学报, 2006, 17(1): 137-142.
- [18] 袁伟, 吴建国, 刘艳红. 荒漠木本植物种子萌发研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 436-444.
- [19] 任珺, 余方可, 陶玲. 荒漠植物种子逆境萌发研究进展[J]. 植物研究, 2011, 31(1): 121-128.
- [20] 贺宇, 丁国栋, 汪晓峰, 等. 水分和沙埋对4种沙生植物种子萌发和出苗的影响[J]. 中国沙漠, 2013, 33(6): 1711-1716.
- [21] Tobe K, Li X, Omasa K. Effects of irrigation on seedling emergence and seedling survival of a desert shrub *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae) [J]. Australian Journal of Botany, 2005, 53: 529-534.
- [22] Zheng M Q, Zheng Y R, Zhou G S, et al. Effects of watering regime and depth of burial on seedling emergence of four dominant psammophytes in the Mu Us Sandy Land, Inner Mongolia, China, and relevance to revegetation of a desertified region [J]. Annals of Applied Biology, 2009, 154: 87-96.
- [23] Yang X, Baskin C C, Baskin J M, et al. Seed mucilage improves seedling emergence of a sand desert shrub [J]. PLoS ONE, 2012, 7(4): e34597.
- [24] Shan L, Zhao W, Li Y, et al. Precipitation amount and frequen-

- cy affect seedling emergence and growth of *Reaumuria soongarica* in northwestern China[J]. *Journal of Arid Land*, 2018, 10(4): 574–587.
- [25] Tobe K, Zhang L P, Omasa K. Seed germination and seedling emergence of three *Artemisia* species (Asteraceae) inhabiting desert sand dunes in China[J]. *Seed Science Research*, 2006, 16: 61–69.
- [26] Zhu Y, Jia Z, Wang G, et al. Response of seed germination and seedling emergence of *Haloxylon ammodendron* to rain frequency and temperature change from four desert ecosystems, Northwest China[J]. *AoB Plants*, 2023, 15: 1–9.
- [27] 苏延桂, 李新荣, 贾荣亮, 等. 沙埋对六种沙生植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(6): 965–971.
- [28] 张颖娟, 王玉山. 沙埋对西鄂尔多斯珍稀植物种子萌发和幼苗出土的影响[J]. *西北植物学报*, 2010, 30(1): 126–130.
- [29] 刘国军, 张希明, 李建贵, 等. 供水量及沙埋厚度对两种梭梭出苗的影响[J]. *中国沙漠*, 2010, 30(5): 1085–1091.
- [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.
- [31] 王国华, 赵文智. 埋藏深度对梭梭(*Haloxylon ammodendron*)种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *中国沙漠*, 2015, 35(2): 338–344.
- [32] 贾冰, 司建华, 武志博, 等. 飞播种子丸粒化技术应用对植被和土壤的影响[J]. *中国沙漠*, 2023, 43(2): 195–204.
- [33] 马明呈. 唐古特白刺在不同基质中的育苗实验[J]. *青海师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 28(1): 78–81.
- [34] 李得禄, 尉秋实, 张进虎, 等. 沙冬青种子萌发及育苗试验[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(2): 30–34.

## The favorable conditions for germination of four shrubs with air seeding on east Alxa Plateau

Zhu Yajuan<sup>1</sup>, Zhao Chenguang<sup>2</sup>, Li Huiying<sup>2</sup>, Wang Aqing<sup>1</sup>

(1. Institute of Ecological Conservation and Restoration, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Alxa Institute of Forestry and Grassland, Alxa Left Banner 750306, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** Alxa Plateau is located in Western Inner Mongolia with widely distributed desert and gobi, which is one of the main sand and dust sources of North China. Air seeding is one of the main measures to control land desertification in this area. Generally, germination of plants was influenced by many natural factors after air seeding, e.g. climate and habitat. *Ammopiptanthus mongolicus*, *Corethroedendron scoparium*, *Caragana korshinskii* and *Prunus mongolica* are four dominant shrubs in desert region of Alxa Plateau. In this study, the effects of precipitation, seeding depth and soil type on germination of four shrubs were investigated by pot experiment in the greenhouse. Our aims were to improve air seeding technology and to give theoretical support for precisely sand control. Three precipitation were 10, 15 and 20 mm first irrigation, then irrigated 5 mm once every two days for 10 times. Four seeding depths were 0.5, 1, 2 and 3 cm, respectively. Four soil types were micro-fine sand, fine sand, medium sand and coarse sand. The results showed that the favorable condition of germination was 15–20 mm first irrigation for *A. mongolicus*, whereas were 10, 15 and 20 mm first irrigation for other three shrubs. Germination were higher in 0.5 and 1 cm seeding depth for *A. mongolicus*, but were higher in 0.5, 1 and 2 cm for other three shrubs. There were only few germination of *C. scoparium* in 3 cm seeding depth. Germination of *A. mongolicus* was higher in micro-fine sand, fine sand and medium sand, but was lower in coarse sand. However, germination of other three shrubs was higher in all four soil types. Thus, it is suggested that in air seeding on east Alxa Plateau, *A. mongolicus* seed should be used after 15 mm rain on moving, semi-moving and semi-fixed sand dune, but not on gobi. However, *C. korshinskii*, *C. scoparium* and *P. mongolica* seed should be applied in air seeding after rain exceeds 10 mm on moving, semi-moving, semi-fixed sand dune and gobi.

**Key words:** air seeding; precipitation; seeding depth; soil type