

文章编号: 1008 - 2786 - (2013) 6 - 647 - 09

# 高寒河谷流动沙地生境因子变化 及其对播种期的影响

李海东<sup>1</sup>, 沈渭寿<sup>1</sup>, 燕守广<sup>1</sup>, 王涛<sup>1</sup>, 唐军<sup>2</sup>

(1. 环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042;

2. 中国环境科学研究院 地下水与环境系统工程创新基地, 北京 100012)

**摘 要:** 在雅鲁藏布江中游河谷 野外观测了流动沙地植被恢复试验期间的生境因子(降水、地温、土壤水分和风沙运动) 结合文献[13]所报道的 2008—2011 年人工模拟飞播试验结果, 分析了西藏高寒河谷流动沙地生境因子变化特征及其对最佳播种期的影响, 以为该区域正在进行的风沙化土地植被恢复提供依据。结果表明: 1. 降水量大小及其时间分布、不同类型沙地和沙丘坡向的土壤水分状况, 决定着种子发芽、出苗和生长过程中能否得到持续不断的土壤水分补给, 从而保证新播植物的根系前在越冬穿过旱季的干沙层, 到达土壤水分较稳定的土层而顺利越冬。2. 裸露于沙丘表面的种子因高温灼烧而干瘪、开裂, 丧失发芽能力, 尤其是刚出土的新生芽和幼苗对日灼很敏感, 常出现 3~4.5 cm 幼苗与地表接触的根茎结合部受日灼而死亡的现象。3. 选择 6 月下旬前后作为植被恢复的最佳播种时间, 通过河谷风向变换频繁引起的风沙运动, 完成飞播植物种子的自然覆沙, 既能满足新播植物种子发芽和出苗对土壤水分的需求, 亦能提供相应的生长期, 使植株高和根系长度生长到一定程度而保证新播苗顺利越冬。

**关键词:** 风沙化土地; 植被恢复; 生境因子; 雅鲁藏布江高寒河谷

**中图分类号:** Q151.5 X144

**文献标志码:** A

青藏高原平均海拔超过 4 000 m, 气候干旱寒冷、多大风, 生态环境极其脆弱<sup>[1]</sup>。雅鲁藏布江流域位于青藏高原南部, 现有风沙化土地 2 736.97 km<sup>2</sup>, 风沙危害不仅影响当地农牧业生产和群众的生活质量, 而且严重影响高原重要空口岸的飞行安全<sup>[2]</sup>。近 20 年来, 西藏自治区在雅鲁藏布江中游河床和河滩沙地开展了大规模人工造林, 对减轻风沙灾害起到了一定的作用。然而, 由于海拔高、流动性强、坡度大、水分条件差等, 河岸流动沙地特别是山坡流动沙地的植被恢复和环境治理, 基本上不可

能实施植树造林。2001 年西藏自治区林业部门在日喀则、拉萨和山南等地区的风沙化土地上开展的人工模拟飞播试验(即人工撒播)<sup>[3]</sup>, 均因生境胁迫造成的种子发芽和出苗率低、植株生长较慢无法完成生活史而失败。

相关研究表明, 干旱、低温是影响高海拔区域植物地理分布、种子萌发与幼苗定居的主要限制因素<sup>[4-5]</sup>, 而植物成苗与否将会直接影响到物种的生存与分布<sup>[6]</sup>。植物种子萌发与幼苗出土受许多因素影响, 其中温度、光照、土壤水分和种子埋藏深度

收稿日期(Received date): 2013-02-12; 改回日期(Accepted): 2013-06-24。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41301611), 江苏省自然科学基金(BK20130103), 环境保护部南京环境科学研究所中央级公益性科研院所基本科研业务专项(NIES2011)和国家环保公益性行业科研专项(200809010)资助。[This project was funded by the Natural Science Foundation of China(No.41301611), the Natural Science Foundation of Jiangsu Province(BK20130103), A Basic Special Business Fund for Research and Development for the Central Level Scientific Research Institutes, Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection(NIES2011) and National Special Public Welfare Study on Environmental Protection in China(200809010).]

作者简介(Biography): 李海东(1984-), 男, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为气候变化生态响应与应对、生态恢复与荒漠化防治。[Li Haidong(1984-), male, Ph D, associate researcher, mainly engaged in ecological protection and climate changes response, ecological restoration and desertification control.] E-mail: lihd2020@163.com

为主要因素<sup>[7-8]</sup>。然而,人工模拟飞播能否成功的关键取决于适生植物种和最佳播种期的选择,以及幼苗能否顺利出土与定居<sup>[9-10]</sup>。播种时间过早,土壤水分不足,或温度偏低,会推迟种子的发芽期甚至不能发芽;过晚,虽然土壤水分较好对种子发芽有利,但缩短了幼苗生长时间,给幼苗越冬造成困难<sup>[11-12]</sup>。因此,选择适宜的播种时间对开展高寒流动沙地植被恢复具有重要的实践意义。本文通过观测和分析降水状况、沙丘地温、土壤水分和风沙运动等生境因子变化,结合雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地人工模拟飞播试验成果<sup>[13]</sup>探讨和确定了高寒河谷流动沙地植被恢复的最佳播种时间。

## 1 研究区自然概况

试验地位于雅鲁藏布江中游山南地区贡嘎县境内,平均海拔 3 600 m,属高原温带季风半干旱气候区,冬春干旱多风,夏季温暖湿润,雨热同季;年平均降水量为 300~450 mm,90%以上集中于 6—9 月,且具暴雨性质。热量水平不高,年平均气温 6.3~8.7℃,6~7 月平均气温 14.5~16.6℃,1 月平均气温 -0.8~4.7℃。每年 10 月至次年 4 月有冻土出现,除 1 月和 12 月外,均为日融冻土。无霜期 130~140 d。蒸发量为 2 688.5 mm,几乎是降水量的 7 倍。干旱季长达 7~8 个月,且大风盛行。风沙化土地土壤 pH 值呈中性、碱性和强碱性,土壤有机质和全氮含量均很低,全磷和全钾均很高,土壤粒度组成表现为砂粒含量(53.83%~95.93%)最大,粘粒和粉粒含量很小<sup>[14]</sup>。

雅鲁藏布江中游沙地植被基本上属于同一植被型,即山地灌丛草原<sup>[15]</sup>,主要植物群系有砂生槐群系(Form. *Sophora moorcroftiana*)、藏沙蒿群系(Form. *Artemisia wellbyi*)、藏白蒿群系(Form. *Artemisia younghusbandii*)、日喀则蒿群系(Form. *Artemisia xigazeensis*)、白草群系(Form. *Pennisetum centralasicum*)、固沙草群系(Form. *Orinus thoroldii*)、三刺草群系(Form. *Aristida trisetata*)等。人工林有西藏柳(*Salix xizangensis*)、新疆杨(*Populus alba* var. *pyramidalis*)和榆树(*Ulmus pumila*)等。

## 2 研究方法

按流沙沉积和堆滞的地貌单元、土壤水分受河

流水位变动影响的大小,在雅鲁藏布江北岸、隔江与拉萨国际机场相望的风沙化土地上,选择河滩流动沙地、河岸流动沙地和山坡流动沙地 3 种类型的流动沙地进行植被恢复试验。

试验期间观测的主要生境因子包括:降水量、地温、土壤水分和土壤风积风蚀量。其中,降雨量由距离试验地 9 km 处的贡嘎气象站测定。沙丘表层地温由直角五组地温计测定,测量范围 -20~50℃,深度为 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 和 25 cm。于 2009 年 5 月下旬、7 月中旬和 9 月上旬,利用 MP-160 便携式土壤水分测定仪( ICT International Pty Ltd, Armidale, Australia)以 10 cm 间隔,分层测定不同沙地类型和沙丘坡向(流动沙地的迎风坡、背风坡和沙丘顶部,以及覆沙河滩地和沙砾地)湿沙层的土壤容积含水量,每层测 3 个重复,共测定 60 个样点,要求采样前一个星期无明显降水。风速、湿度和温度等采用多功能便携气象仪 Kestrel 3500 测定。选择发育完好的流动沙丘,于 2009 年 6 月至 8 月,通过布设标桩法进行土壤风蚀风积量观测,由于沙丘基本呈南北走向,分别在流动沙丘东坡、西坡和沙丘顶布设标桩,共在 7 个沙丘布设标桩 60 组。每隔 5~7 d 野外调查一次,风蚀记为负(-),风积记为正(+),试验结束后,除去风倒、缺测的部分标桩数据,整理得到 27 组完整数据。

供试主要植物种<sup>[13]</sup>包括:1. 北方优良飞播沙生植物种:花棒(*Hedysarum scoparium*)、籽蒿(*Artemisia sphaerocephala*)、杨柴(*H. mongolicum* Turcz.)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)、柠条(*C. korshinskii*)和中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis*)等。2. 西藏乡土沙生植物种:砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)、变色锦鸡儿(*C. versicolor*)、西藏锦鸡儿(*C. spinifera*)、藏沙蒿(*A. wellbyi*)、藏龙蒿(*A. waltonii*)、西藏沙棘(*H. thibetana*)和江孜沙棘(*H. rhamnoides* subsp. *gyantsensis*)等。植被恢复主要采用人工模拟飞播(撒播)方式。2008 年播种时间为 5 月 31 日、6 月 4 日和 7 日;2009 年播种时间为 5 月 21 日、6 月 6 日和 16 日;2010 年播种时间为 6 月 3 日和 4 日;2011 年播种时间为 6 月 30 日和 7 月 1 日。

## 3 结果和分析

### 3.1 降水状况

由图 1 可见,2008 年降水量较大,为 426.5

mm, 2009年和2010年降水量分别为232.7 mm和376.6 mm。2008—2010年的5—10月的降水量占年降水量的比例分别为98.6%、98.2%和98.8%。其中, >10 mm降水次数以2008年最多, 达14次, 且分布较均匀, 7月和8月各有5次, 其他每月至少有1次。2008年植被恢复的播种时间为5月31日、6月4日和7日, 而这之前和期间5月5日和22日降水量分别为9.1 mm和12.2 mm, 6月3日降水量为19.4 mm, 2次较大的降水为所播植物种的发芽和出苗提供了良好的土壤水分补给。6月5日—7月2日的28 d里, 共有21 d观测到降水, 降水量为41.8 mm, 几乎不间断的降水保证了种子发芽、成苗和幼苗的正常生长, 而不出现大面积的枯萎死亡。之后, 处于植物生长关键时期的7月和8月的降水量分别为144.9 mm和141.2 mm, 远大于5月(25.5 mm)和6月(58.9 mm)的降水量, 一系列的>10 mm降水为幼苗的茁壮成长提供了充分的降水, 9月(37.3 mm)和10月(12.8 mm)的后续降水, 又为从我国北方引进的优良沙生植物种在西藏高寒河谷的顺利过冬, 提供了良好的生长环境。

2009年>10 mm降水次数较少, 共有6次, 7月、9月和10月各1次, 8月3次。2009年播种时间为5月21日、6月6日和16日, 而这之前、期间和之后一段时间, 均没有>10 mm的降水出现, 仅有6月22日—7月3日的一个弱降水期, 几乎每天均有很少量的降水, 最高的为6月27日的8.5 mm, 这期间观测到11次降水, 降水量为29.9 mm。同时, 试验观测表明, 流动沙地表面的干沙层一直没有打通, 土壤水分得不到有效补给, 严重影响了新播种子的发芽和成苗。直至7月27日才出现>10 mm降水, 降水量为14.9 mm, 但此时由于沙丘表面的高温灼伤和较剧烈的风沙运动, 当年新播种子大都被风蚀, 裸露在沙丘表面, 而发生日灼、干瘪而丧失发芽能力。8月虽然有3次以上的>10 mm降水, 之后2个月亦各有一次, 但在7月底和8月中旬新发芽生长的幼苗, 由于生长期缩短, 仅有很少量的植株不会由于冬春季节的风蚀、干旱和低温, 出现过冬死亡现象<sup>[13]</sup>。

2010年>10 mm降水次数共有12次, 降水较好, 且不同月分布均匀。2010年播种时间为6月3日和6月4日, 虽然5月没有>10 mm降水, 但由于播种时间是在6月, 对新播植物种影响较小。6月5日出现>10 mm降水, 降水量10.4 mm, 能为种子发

芽提供必要的土壤水分, 但之后的16 d里, 几乎没有降水, 仅6月22日出现降水量为8.9 mm的较大降水, 接下来直至7月9日前的16 d里亦是几乎无降水, 对新播植物种的发芽和成苗极其不利, 闷芽和日灼现象严重, 使刚发芽的种子来不及进行根生长或破土而死亡。此后, 由于7月和8月各有>10 mm降水3次, 9月4次, 10月1次, 能经受上述较长干旱期而得以保留下来的种子, 基本上就能成苗而顺利生长。

### 3.2 沙丘地温状况

由图2可见, 植被恢复试验期间的7月13日、18日、23日和9月6日, 表层0~5 cm地温在12—

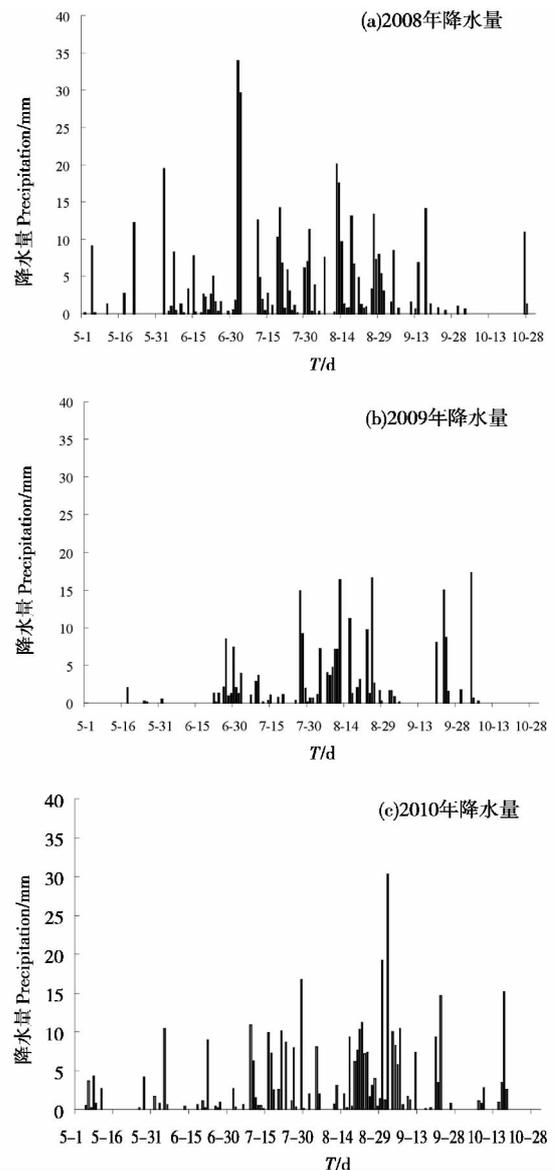


图1 2008—2010年试验地降水状况

Fig. 1 The precipitation of the experimental field from 2008 to 2010

16时高于其他各层的地温,其中7月23日的16时最高地温达49.4℃,7月13日和23日的地温超过42℃的时间达4h以上。表层0~5cm地温受外界环境因子变化的影响显著,8月2日的最高地温出现在14时(37.5℃),而16时的地温(23.4℃)却低于12时(31.9℃);8月28日的最高地温虽然出现在16时(34.0℃),但最低地温却出现在10时(11.9℃),而且该日14时竟然出现20~25cm地温(29.8℃)大于0~5cm地温(29.5℃)的现象。这主要是受河谷天气变化的影响所致,8月2日16时的气温突然降至17.5℃,平均风速为10.5m/s,最

大风速达14.6m/s,湿度为51.9%,致使流动沙丘表层温度急剧下降,深层地温则由于受外界环境因子变化具有一定的滞后性,其地温高于上层。8月28日为阴天,太阳辐射强度小、气温低,沙丘表层温度累积升高缓慢。

就不同深度地温的变化而言,表层0~5cm和5~10cm的最高地温出现在14时或16时,最低地温除8月28日出现在10时外,其他均出现在8时。0~5cm和5~10cm的地温变化剧烈(升高或下降),随着土壤深度的增加,地温的变化幅度变小,以0~5cm的变化幅度较大,5~10cm次之。每日

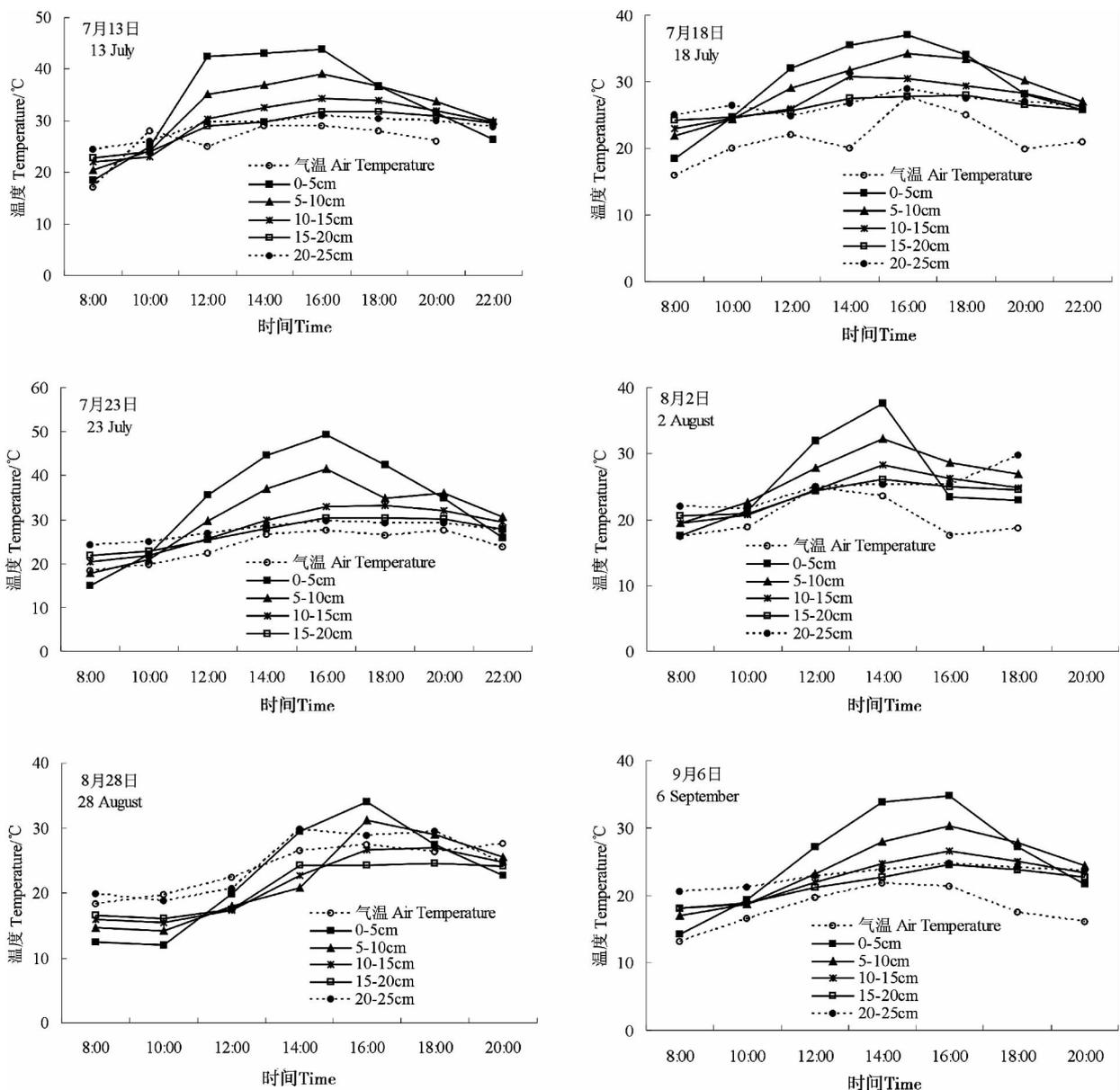


图2 2009年7—9月流动沙丘不同深度的地温状况

Fig. 2 Soil temperature in different depths of shifting sand dunes from July to September in 2009

8 时不同深度的地温较为稳定,且随着土壤深度的增大而升高,以 0~5 cm 地温最低、20~25 cm 地温最高。表层 0~5 cm 的 8 时地温以 8 月 28 日的 12.5℃ 最低。随着太阳升高、高度角增大,太阳辐射增强、气温升高,沙丘表面受热伴着表层地温的不断累积,开始向下传导,致使深层地温升高。随着热量的累积,沙丘表层地温逐渐超过下层地温,出现与每日 8 时不同深度地温相反的现象,而上层地温高于下层地温的时间长短,取决于不同季节的太阳辐射强度和每日的天气状况。

### 3.3 土壤水分状况

由图 3 可见,5 月下旬不同类型沙地各深度土壤水分平均值为 4.04%~5.59%,7 月中旬为 6.14%~14.20%,9 月上旬为 8.47%~11.70%。可以看出,7 月中旬和 9 月上旬不同深度的土壤水分含量均高于 5 月下旬的土壤水分含量。不同月份的覆沙河滩地和流动沙丘迎风坡的土壤水分含量均较好,明显高于背风坡、平缓沙砾地和沙丘顶,其中,夏季覆沙河滩地的土壤水分含量高达 53.7%。由于相对海拔高于覆沙河滩地,流动沙丘迎风坡受地下水水位升高的影响较小,不同深度土壤水分含量均小于覆沙河滩地。受风沙运动和小地形的影响,覆沙河滩地和平缓沙砾地风蚀严重、沙粒较粗,背风坡和沙丘顶部干沙层厚度变化较大、沙粒较细,背风坡和沙丘顶土壤水分含量明显低于迎风坡。

由于青藏高原辐射强度大、蒸发强烈,即使在雨季,高寒河谷流动沙丘表面也普遍存在 3~10 cm 的干沙层。其中,迎风坡干沙层的厚度小于沙丘顶和背风坡,表层 0~10 cm 土壤水分散失较快,含量仅为 2.22%,略高于背风坡的土壤水分(2.01%)。就土壤水分含量的垂直变化而言,不同月份的覆沙河滩地和迎风坡土壤含水量均呈随深度增加而增大的趋势,平缓沙砾地、沙丘顶和背风坡均出现一个土壤水分下降层,夏季平缓沙砾地和沙丘顶出现在 20~50 cm,背风坡出现在 20 cm。这一方面是由于平缓沙砾地和背风坡上生长的植物根系主要分布于该层,对土壤水分吸收利用较大;另一方面,与土壤水分观测前的降水量和流动风沙土的渗透性有关<sup>[16-17]</sup>。从 6 月 1 日至 7 月 10 日,共有降雨事件 11 次,计 37.8 mm,前期有效降雨量较小使得土壤水分的补给量较小。由于土壤特性和微地形的差异,平缓沙砾地和沙丘顶的土壤水分下渗作用较弱,出现一个较厚的低含水量缓变层;背风坡则由于风

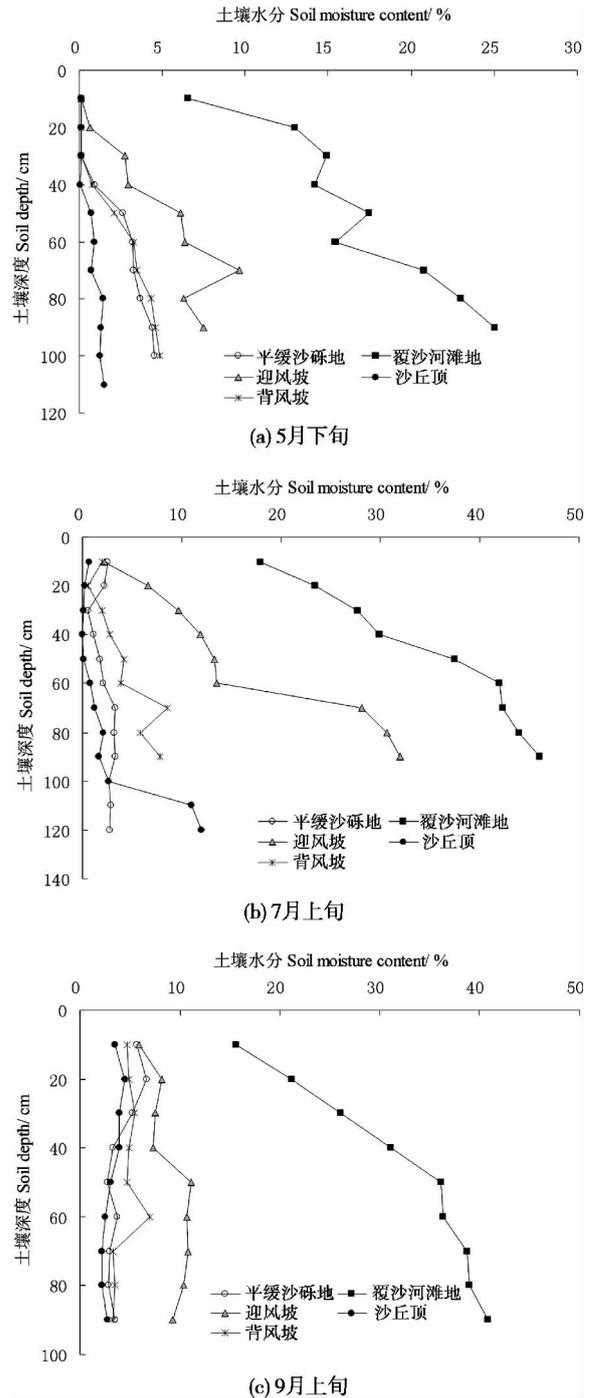


图 3 2009 年不同类型沙地土壤含水量的剖面分布

Fig. 3 Vertical distribution of soil moisture in different sandy land types in 2009

积作用、沙质松软,降雨容易下渗,表现出低含水量缓变层较薄的现象;裸露沙砾地由于质地较粗、土壤紧实,对降雨入渗率和入渗的深度影响较大。

### 3.4 风沙运动

以拉萨国际机场气象台观测的 1980—2006 年的风状资料,统计得出高寒河谷不同风向的次数和每

月的平均风速状况(图4)。由图4可见,西风(W)、东风(E)和东北东风(ENE)次数均>600次,以西风(W)次数最多(708次),为主导风向;西南西(WSW)、西北西(WNW)和西南风(SW),均>400次;东南风(SE)、东北北(NNE)和北风(N)较少,以北风最少(67次)。2—7月的平均风速较大,均>2 m/s,以3月最大(3.05 m/s),其他月的平均风速均<2 m/s,以12月最小(1.19 m/s)。6—8月的多年平均风速分别为2.34 m/s、2.05 m/s和1.99 m/s,该期间风速中等,介于最大月与最小月之间。因此,选择呈南北走向的流动沙丘东坡、西坡和沙丘顶进行试验观测,与河谷内主导风向垂直,基本能满足试验地风沙运动状况的观测要求。

流动沙丘植被恢复试验期间不同坡向的土壤风蚀量观测结果见图5,可以看出,河谷风沙运动造成的流动沙丘土壤风蚀量在不同坡向上差异较大,沙丘顶以风蚀作用为主,仅在8月底出现微弱的风积作用;东坡在6月26日之前以风积作用为主,之后以风蚀作用为主;西坡在6月26日之前以风蚀作用为主,之后以风积作用为主。不同坡向的土壤风蚀量总体上表现为西坡(9.9 cm)>沙丘顶(-22.6 cm)>东坡(-4.9 cm)<sup>[14]</sup>。由此可见,6月下旬是河谷风向变化的转折点,之前东坡为背风坡、西坡为迎风坡,其后东坡为迎风坡、西坡为背风坡,这主要是由于雅鲁藏布江中游河谷内风向变换频繁所致。

## 4 讨论

大气降水是西藏高寒河谷风沙化土地土壤水分

的主要补给源,植被恢复中种子的发芽和成苗与降水量的大小、降水时间的分配和降水强度的关系极大<sup>[9]</sup>。受降水季节性变化和降水量大小的影响,雅鲁藏布江中游沙地的土壤水分含量具有明显的季节性变化,对植被恢复影响较大。相关研究表明,2009年是继1982年(降水量为203.9 mm)<sup>[9]</sup>之后最干旱的一年,降水量在近10 a中仅次于2005年(280.3 mm),属于极端干旱年。因此,选择2009年开展高寒河谷流动沙地生境因子变化研究,对指导该区域风沙化土地人工植被建设具有重要意义。土壤水分含量是人工模拟飞播植物种子的发芽和出苗的关键,沈渭寿等<sup>[13]</sup>研究表明,人工模拟飞播效果较好的沙地类型和沙丘坡向的土壤水分含量均较高,为植物种子的发芽、出苗和生长提供了持续不断的土壤水分补给,使新播植物的根系能在越冬前穿过旱季的干沙层,到达土壤水分较稳定的土层而顺利越冬。同时,野外观测表明,2009年新播种子的发芽和保苗率是3 d中最低的,仅为10%,2008年是进行人工模拟飞播效果最好的一年,2010年次之。2009年在5月下旬以前进行人工模拟飞播,由于土壤水分含量较低,对植物种子的发芽和出苗造成严重影响;5月下旬和7月中旬之间几乎没有>10 mm的有效降水,7月中旬和9月上旬的土壤水分含量较高(见图3),对新播植物种子的发芽、出苗和生长有利,因此,根据极端干旱年的土壤水分和植被恢复结果,播种时间应选择在5月下旬和7月中旬之间。

西藏高原辐射强、蒸发剧烈,流动沙丘表面的高温灼烧对裸露于地表种子发芽和幼苗的存活、生长

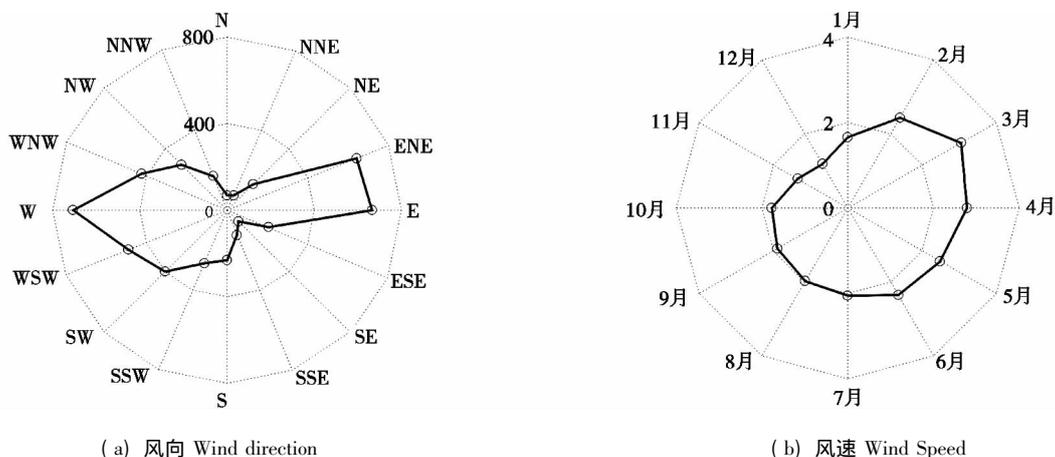


图4 试验区1980—2006风速>4 m/s的风向和月平均风速状况

Fig. 4 Wind direction and monthly mean wind-velocity when it >4 m/s around the experimental field from 1980 to 2006

影响颇大,但因种子发芽和幼苗出土受降水和地形的作用有其不一致性,开展其存活情况调查较为困难,因此,对种子和幼苗的日灼现象,定量连续的调查数据难于给出,只能定性予以描述。4 a 植物发芽和出苗试验观测表明<sup>[13]</sup>,由于沙丘地温较高,新生芽和幼苗出现灼烧致死现象较明显的试验植物种有沙拐枣、杨柴、柠条、中间锦鸡儿、中国沙棘、变色锦鸡儿、西藏沙棘和江孜沙棘。其中,柠条受日灼影响最为严重,沙面裸露的种子因高温灼烧而干瘪、开裂,丧失发芽能力,刚出土的新生芽和幼苗与地表的根茎结合部对日灼现象敏感,常出现 3~4.5 cm 幼苗因干枯萎缩而死亡的现象。同时,高温与干旱相互促进作用,对发芽和出土较慢的植物种显然不利,在其播种深度内,它们有可能因干旱发不了芽,也有可能出现发芽后得不到足够的水分而被旱死的现象<sup>[18]</sup>。

人工模拟飞播期的选择依赖于降水和风速等气象因子,降水是满足种子发芽的基本条件,而风作为沙粒起动的动力,是种子自然覆沙的必要条件<sup>[8]</sup>。飞播后,种子散落在干燥的沙面上,遇有适宜的降水、温度和适当厚度的覆沙,即能满足发芽和出苗的基本条件。然而,风沙运动对人工模拟飞播的影响有正反两个方面,稍大于起沙风的风速可完成种子的自然覆沙,而风速太大又使种子产生位移和幼苗遭风蚀,影响飞播成效。因此,分析试验地周边的风况条件,选择合适的风向交替期和飞播期,从而保证飞播种子能自然覆沙(见图4),对人工模拟飞播的成败与否具有重要意义。相关研究表明,适度的沙埋可以为种子萌发创造比较适宜的环境<sup>[19-20]</sup>,但过度沙埋则会造成氧气的缺乏或小范围的温度波动,抑制种子萌发和出苗<sup>[8,20-21]</sup>。风沙运动观测表明,6月26日之前东坡因风积作用引起的沙埋深度为18.5 cm,西坡因风蚀作用引起的风蚀深度为-4.9 cm,沙丘的风蚀风积作用和沙丘的摆动极不利于固沙植物的定居(图5)。对于风蚀作用较强的流动沙丘,可通过适当的地面处理措施,减轻风沙运动对人工模拟飞播植物种子发芽和成苗的不利影响。土壤含水量随着深度的增加而增加,土壤温度随着深度的增加而下降,同时沙埋亦可以削弱光强的影响。由此可见,风沙运动产生的沙埋可以降低植物种子周围的温度,减轻沙丘表面高温对种子的伤害,在一定程度上为新播种子的发芽和出苗提供了荫庇作用。

试验期间,沙丘西坡的风积作用引起新播植物种子的沙埋,沙丘顶和东坡的风蚀作用引起新播植物种子裸露,且沙丘顶更为明显。由于高寒河谷风大而频、沙丘移动快,致使东坡和西坡的土壤风蚀和风积量相互抵消,而沙丘顶基本上维持在风蚀状态,风积作用则较弱。观测表明,风蚀作用造成的土壤侵蚀量大于风积作用引起的沙埋量,不同坡向的土壤风蚀状况随着河谷风向的改变而相互中和,呈现流动沙丘的季节性摆动现象<sup>[14]</sup>。因此,可以利用流动沙丘的这种摆动现象,选择6月下旬前后作为人工模拟飞播期,通过河谷风向交换频繁引动的风沙运动,完成飞播植物种子的自然覆沙。

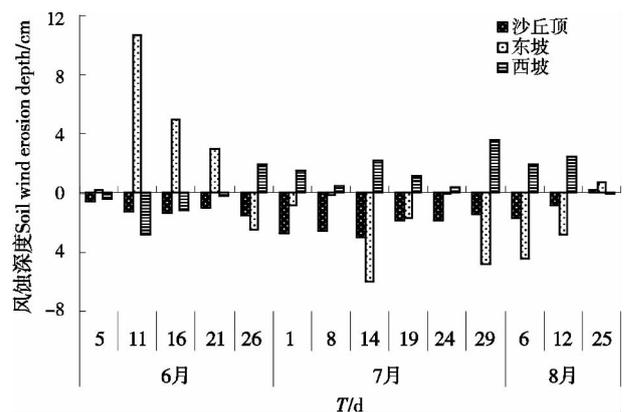


图5 2009年6—8月人工模拟飞播试验期间流动沙丘的土壤风蚀量变化

Fig. 5 Soil wind erosion depth of different aspects of shifting sand dunes from June to August in 2009

## 5 结论

降水状况、沙丘地温、土壤水分和风沙运动等生境条件,影响着高寒风沙化土地植被恢复的种子发芽、出苗和生长情况,决定着人工模拟飞播的成败与否。选择6月下旬前后作为最佳播种期,既能满足新播植物种子发芽和出苗对土壤水分的需求,亦能提供相应的生长期,使植株高和根系长度生长到一定程度而顺利越冬。基于此,2011年的播种时间定为6月30日和7月1日,既考虑到降水的年度变化,又预留出足够的生长时间,使植株高和根系长在越冬前达到足够大小,从而能经受高寒河谷冬春季干旱和风蚀的强烈考验,取得了良好的效果。

## 参考文献(References)

- [1] Zhong Xianghao, Wang Xiaodan, Liu Shuzhen. Ecological security

- of the Xizang Plateau [M]. Beijing: Science Press, 2008: 5 - 7 [钟祥浩, 王小丹, 刘淑珍. 西藏高原生态安全[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 5 - 7]
- [2] Shen Wenshou, Li Haidong, Sun Ming, et al. Dynamics of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet, China from 1975 to 2008 [J]. *Global and Planetary Change*, 2012, (86 - 87): 37 - 44
- [3] Xizang Autonomous Region Forestry Bureau. Stage summary of the artificial seedling trial for forestation in Xizang Autonomous Region [R]. Lhasa: Xizang Autonomous Region Forestry Bureau, 2001: 124 [西藏自治区林业局. 西藏自治区人工模拟飞播造林试验阶段性总结[R]. 拉萨: 西藏自治区林业局, 2001: 124]
- [4] Luo Daqing, Xue Huiying, Quan Hong, et al. Physio - biochemical characteristics and drought resistance of *Sophora moorcroftiana* and *Caragana maximovicziana* under drought stress [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(9): 122 - 127 [罗大庆, 薛会英, 权红, 等. 干旱胁迫下砂生槐、锦鸡儿的生理生化特性与抗旱性[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(9): 122 - 127]
- [5] Liu Zhimin, Jiang Deming, Gao Hongying, et al. Relationships between plant reproductive strategy and disturbance [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, (3): 418 - 422 [刘志民, 蒋德明, 高红瑛, 等. 植物生活史繁殖对策与干扰关系的研究[J]. *应用生态学报*, 2003, (3): 418 - 422]
- [6] Ma Miao, Li Bo, Chen Jiakuan. Convergent adaptation of desert plants to their arid habitats [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3861 - 3869 [马淼, 李博, 陈家宽. 植物对荒漠生境的趋同适应[J]. *生态学报*, 2006, 26(11): 3861 - 3869]
- [7] Zhou Zesheng, Li Li, Cao Hongyun. Study on the selection of the suitable sowing period of *Astragalus adsurgens* Pall. in arid and semi - desertified grassland regions [J]. *Forest Science and Technology*, 1986, (12): 4 - 7 [周泽生, 李立, 董鸿运. 干旱半荒漠草原地区飞播沙打旺适宜期选择的研究[J]. *林业科技通讯*, 1986, (12): 4 - 7]
- [8] Nie Chunlei, Zheng Yuanrun. Effects of water supply and sand burial on seed germination and seedling emergence of four dominant psammophytes in the ordos plateau [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(1): 32 - 41 [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]
- [9] Dong Guangrong, Dong Yuxiang, Li Sen, et al. The plan for desertification control in the middle reaches of the Yarlung Zangbo River and its two tributaries in Xizang [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1996: 9 - 10 [董光荣, 董玉祥, 李森, 等. 西藏“一江两河”中部流域土地沙漠化防治规划研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996: 9 - 10]
- [10] Shen weishou, Li haidong, Zhang Tao, et al. Feasibility Study of Air-seeding on alpine desertified land in Tibet, China [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25(1): 106 - 111 [沈渭寿, 李海东, 张涛, 等. 西藏高寒风沙化土地飞播可行性分析[J]. *生态与农村环境学报*, 2009, 25(1): 106 - 111]
- [11] Zhou Zesheng. Selection of the sowing period of *Pinus tabulaeformis* and its ecological factors analysis [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1983, (6): 72 - 16 [周泽生. 油松飞播期选择及其生态因子分析[J]. *水土保持通报*, 1983, (6): 72 - 16]
- [12] Zhao Yibing, Xu Junchang, Dou Shen, et al. The seeding time determination of the aerial seeding based on the meteorological elements in Xianyang [J]. *Forest Resources Management*, 2007, (1): 83 - 86 [赵奕兵, 徐军昶, 窦慎, 等. 基于气象因子的咸阳市飞播造林播期确定[J]. *林业资源管理*, 2007, (1): 83 - 86]
- [13] Shen Weishou, Li Haidong, Lin Naifeng, et al. Screening trial for the suitable plant species growing on sand dunes in the alpine valley and its recovery status in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(17): 5609 - 5618 [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]
- [14] Li Haidong, Shen Weishou, Zou Changing, et al. Soil nutrients content and grain size fraction of aeolian sandy land in the Shannan Wide Valley of the Yarlung Zangbo River, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(16): 4981 - 4992 [李海东, 沈渭寿, 邹长新, 等. 雅鲁藏布江南宽谷风沙化土地土壤养分和粒度特征[J]. *生态学报*, 2012, 32(16): 4981 - 4992]
- [15] Shen Weishou. Classification and sorting of the psammophytic vegetation in the middle Yarlung Zangbo River Basin, Tibet [J]. *Journal of Desert Research*, 1997, 17(3): 269 - 273 [沈渭寿. 雅鲁藏布江中部流域沙地植被的分类和排序[J]. *中国沙漠*, 1997, 17(3): 269 - 273]
- [16] Li Pingfang, Li Baoguo. Study on some characteristics of evaporation of sand dune and evapotranspiration of grassland in Mu Us Desert [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2000, (3): 24 - 28 [李品芳, 李保国. 毛乌素沙地水分蒸发和草地蒸发散特征的比较研究[J]. *水利学报*, 2000, (3): 24 - 28]
- [17] Yuan Pengfei, Ding Guodong, Wang Weiwei, et al. Characteristics of rainwater infiltration and evaporation in Mu Us Sandland [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(4): 23 - 27 [原鹏飞, 丁国栋, 王炜炜, 等. 毛乌素沙地降雨入渗和蒸发特征[J]. *中国水土保持科学*, 2008, 6(4): 23 - 27]
- [18] Liu Zhimin. A comparative study of introduced plant species for fixing sand dune at Xigaze in Tibet [J]. *Journal of Desert Research*, 1996, (3): 326 - 330 [刘志民. 西藏日喀则固沙植物引种的比较研究[J]. *中国沙漠*, 1996, 16(3): 326 - 330]
- [19] Harper J L, Benton R A. The behavior of seeds in soil. The germination of seeds on the surface of a water supplying substrate [J]. *Journal of Ecology*, 1966, (54): 151 - 156
- [20] Zhu Yajuan, Dong Ming, Huang Zhenying. Adaptation strategies of seed germination and seedling growth to sand dune environment [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, (1): 137 - 142 [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, (1): 137 - 142]
- [21] Van Assche J A, Vanlerberghe V A. The role of temperature on dormancy cycle of seeds of *Rumex obtusifolia* L [J]. *Functional Ecology*, 1989, (3): 107 - 115

## Variations of Habitat Factors on Sand Dunes in the Alpine Valley and Its Influences on the Best Sowing Period

LI Haidong<sup>1</sup>, SHEN Weishou<sup>1</sup>, YAN Shouguang<sup>1</sup>, WANG Tao<sup>1</sup>, TANG Jun<sup>2</sup>

(1. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China;

2. Research Center of Groundwater and Environmental System Engineering, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** We carried out a continuous test of the field artificial seeding by choosing northern psammophyte species and native species of Tibet from 2008 to 2011, and the habitat factors including precipitation, soil temperature, soil moisture and sand movement, as well as the germination, emergence and growth processes of the testing plant species were observed simultaneously. Based on these, the best sowing period was discussed. The results showed that the germination, emergence and growth processes were affected greatly by the amount of precipitation and its time distribution, soil moisture content of different aeolian sandy land types and sand dune parts. The plant roots could grow quickly under the condition of sufficient soil moisture, pass through the dry sand bed before the dry season coming, and get in touch with the groundwater table in the deeper soil bed. Due to the high temperature of sand, the seeds exposing on the dune surface mummified, cracked in great numbers and lost the ability of germination eventually. The sprout and seedling were sensitive from sunburn, and the withering and burning phenomenon could be seen everywhere when the drought event occurred, and the sprout and seedling at the height of 3 to 4.5 cm died frequently. The best sowing period was from mid June to early July, and the wind exchange was frequent during this period, the seeds sowed by the field artificial seeding could be buried naturally by sand movement. This period not only meet the demand of the germination and emergence for soil moisture, but also provide a sufficient growing season for the growth of plant size and plant roots, so that the plants could go through the winter and survive.

**Key words:** Aeolian sandy land; vegetation restoration; habitat factors; alpine valley of the Yarlung Zangbo River