

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

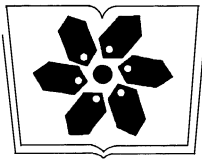
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第17期 Vol.32 No.17 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 17 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

基于生物生态因子分析的长序榆保护策略.....	高建国,章 艺,吴玉环,等 (5287)
闽江口芦苇沼泽湿地土壤产甲烷菌群落结构的垂直分布.....	余晨兴,仝 川 (5299)
涡度相关观测的能量闭合状况及其对农田蒸散测定的影响.....	刘 渡,李 俊,于 强,等 (5309)
地下滴灌下土壤水势对毛白杨纸浆林生长及生理特性的影响.....	席本野,王 焯,邸 楠,等 (5318)
绿盲蝽危害对枣树叶片生化指标的影响.....	高 勇,门兴元,于 毅,等 (5330)
湿地资源保护经济学分析——以北京野鸭湖湿地为例.....	王昌海,崔丽娟,马牧源,等 (5337)
湿地保护区周边农户生态补偿意愿比较.....	王昌海,崔丽娟,毛旭峰,等 (5345)
湿地翅碱蓬生物量遥感估算模型.....	傅 新,刘高焕,黄 翀,等 (5355)
增氮对青藏高原东缘典型高寒草甸土壤有机碳组成的影响.....	郑娇娇,方华军,程淑兰,等 (5363)
大兴安岭 2001—2010 年森林火灾碳排放的计量估算.....	胡海清,魏书精,孙 龙 (5373)
基于水分控制的切花百合生长预测模型.....	董永义,李 刚,安东升,等 (5387)
极端干旱区增雨加速泡泡刺群落土壤碳排放.....	刘殿君,吴 波,李永华,等 (5396)
黄土丘陵区土壤有机碳固存对退耕还林草的时空响应.....	许明祥,王 征,张 金,等 (5405)
小兴安岭 5 种林型土壤呼吸时空变异	史宝库,金光泽,汪兆洋 (5416)
疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素.....	刘文杰,陈生云,胡凤祖,等 (5429)
COII 参与茉莉酸调控拟南芥吲哚族芥子油苷生物合成过程	石 璐,李梦莎,王丽华,等 (5438)
Gash 模型在黄土区人工刺槐林冠降雨截留研究中的应用	王艳萍,王 力,卫三平 (5445)
三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异.....	刘维湄,王 杰,王 勇,等 (5454)
基于 SPEI 的北京低频干旱与气候指数关系	苏宏新,李广起 (5467)
山地枣树茎直径对不同生态因子的响应.....	赵 英,汪有科,韩立新,等 (5476)
幼龄柠条细根的空间分布和季节动态	张 帆,陈建文,王孟本 (5484)
山西五鹿山白皮松群落乔灌木层的种间分离.....	王丽丽,毕润成,闫 明,等 (5494)
长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响.....	马晓霞,王莲莲,黎青慧,等 (5502)
基于归一化法的小麦干物质积累动态预测模型.....	刘 娟,熊淑萍,杨 阳,等 (5512)
上海环城林带景观美学评价及优化策略	张凯旋,凌焕然,达良俊 (5521)
旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例.....	窦银娣,刘云鹏,李伯华,等 (5532)
一种城市生态系统现状评价方法及其应用.....	石惠春,刘 伟,何 剑,等 (5542)
黄海中南部细纹狮子鱼的生物学特征及资源分布的季节变化.....	周志鹏,金显仕,单秀娟,等 (5550)
蓝藻堆积和螺类牧食对苦草生长的影响.....	何 虎,何宇虹,姬娅婵,等 (5562)
黑龙江省黄鼬冬季毛被分层结构及保温功能.....	柳 宇,张 伟 (5568)
虎纹蛙选择体温和热耐受性在个体发育过程中的变化	樊晓丽,雷焕宗,林植华 (5574)
水丝蚓对太湖沉积物有机磷组成及垂向分布的影响	白秀玲,周云凯,张 雷 (5581)
专论与综述	
城市绿地生态评价研究进展.....	毛齐正,罗上华,马克明,等 (5589)
全球变化背景下生态学热点问题研究——第二届“国际青年生态学者论坛”	万 云,许丽丽,耿其芳,等 (5601)
研究简报	
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.....	沈渭寿,李海东,林乃峰,等 (5609)
学术信息与动态	
生态系统服务时代的来临——第五届生态系统服务伙伴年会述评	吕一河,卫 伟,孙然好 (5619)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 334 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-09	



封面图说: 带雏鸟的白枕鹤一家——白枕鹤是一种体型略小于丹顶鹤的优美的鹤。体羽蓝灰色,腹部较深,背部较浅,脸颊两侧红色,头和颈的后部及上背为白色,雌雄相似。其虹膜暗褐色,嘴黄绿色,脚红色。白枕鹤常常栖息于开阔平原芦苇沼泽和水草沼泽地带,有时亦出现于农田和海湾地区,尤其是迁徙季节。主要以植物种子、草根、嫩叶和鱼、蛙、软体动物、昆虫等为食。繁殖区在我国北方和西伯利亚东南部。我国白枕鹤多在黑龙江、吉林、内蒙古繁殖,与丹顶鹤的繁殖区几乎重叠,为国家一级保护动物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112201940

沈渭寿, 李海东, 林乃峰, 张涛, 袁磊, 孙明, 孙俊, 纪迪. 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. 生态学报, 2012, 32(17): 5609-5618.

Shen W S, Li H D, Lin N F, Zhang T, Yuan L, Sun M, Sun J, Ji D. 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. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(17): 5609-5618.

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

沈渭寿, 李海东*, 林乃峰, 张涛, 袁磊, 孙明, 孙俊, 纪迪

(环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042)

摘要:通过 4a 的人工模拟飞播试验研究(2008—2011 年),观测了北方优良沙生植物种和西藏乡土沙生植物种在雅鲁藏布江中游高寒河谷流动沙地上的出苗、保存、生长和繁殖情况,筛选和确定了西藏高寒流动沙地人工模拟飞播的适生植物种。结果表明:籽蒿、花棒、沙拐枣、杨柴和砂生槐在高寒河谷流动沙地的适应性较好。籽蒿在播后第 2 年便有花序和种子出现,花棒和沙拐枣在第 3 年开花结实,籽蒿、花棒和沙拐枣均能完成生活史。籽蒿的再繁殖能力较弱,花棒和沙拐枣的再繁殖能力较强。不同类型沙丘的形态特征对人工模拟飞播效果影响较大,最适宜型(第 I 类)流动沙地的人工模拟飞播效果最好,植被盖度达 35%;较适宜型(第 II 类)流动沙地的效果较好,植被盖度达 30%;不适宜型(第 III 类)流动沙地的效果最差,植被盖度尚不足 10%;基本适宜型(第 IV 类)流动沙地的效果较差,但采用沿等高线人工脚踩回头撒播法,植被盖度可达 20%。不同沙丘部位的人工模拟飞播效果差异明显。

关键词:流动沙地; 植被恢复; 物种选择; 试验研究; 西藏高寒河谷

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

SHEN Weishou, LI Haidong*, LIN Naifeng, ZHANG Tao, YUAN Lei, SUN Ming, SUN Jun, JI Di

Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China

Abstract: There was a total of 273 697.54 hm² of aeolian sandy lands in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet in 2008. The fast development of aeolian sand lands has caused immense damages to its social and economic development, it is urgent to choose appropriate plant species for vegetation restoration of the moving sand dunes in the basin. Thus, we carried out a continuous trial of the field artificial seeding on sand dunes in the middle reaches of the Yarlung Zangbo River basin, the main testing plant species included the northern China's psammophyte species and the Tibet's native species. The germination, emergence, growth processes and reproduction of the testing plant species were observed from 2008 to 2011, based on these, the best suitable species on sand dunes in the alpine valley were determined, which could be used to guide the ongoing vegetation recovery and reconstruction on aeolian sandy land in the studied area. The results showed that the plant height and plant size growth of northern China's psammophyte species were larger than that of native psammophyte species in the field artificial seeding trial, and the species such as *Artemisia sphaerocephala*, *Hedysarum scoparium*, *Calligonum mongolicum*, *H. fruticosum* var. *mongolicum* and *Sophora moorcroftiana* all exhibited good adaptability to

基金项目:国家环保公益性行业科研专项(200809010); 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)资助

收稿日期:2011-12-20; 修订日期:2012-06-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hdli2009@yahoo.com.cn

moving sand land. So far as the status of reproduction of the testing species, *Artemisia sphaerocephala* began to flower and seed in the second year, while *H. scoparium* and *C. mongolicum* began to flower and seed in the third year, it was the most important finding that *A. sphaerocephala*, *H. scoparium* and *C. mongolicum* were all able to complete the life cycle in the alpine valley under the special climate zone on the Tibetan Plateau, however, the reproducibility of *A. sphaerocephala* was weak, but *H. scoparium* and *C. mongolicum* both showed strong reproducibility. The morphological characteristics and different parts of sand dunes influenced the trial results of field artificial seeding greatly, and the vegetation coverage varied from 5% to 40% on different sand dune types. The approach which sowed seeds into footprints trampled on slope sand land by feet following the contours of mountain artificially proved to be a good measure to improve the results of field artificial seeding trial. The observed results showed that habitat conditions such as precipitation, soil temperature of sand dune, soil moisture content and sand movement affected the germination, emergence and plant growth greatly, but these need to be discussed in detail in the next step.

Key Words: Sand dunes; vegetation recovery; main species; trial observation; alpine valley in Tibet

西藏自治区是青藏高原的主体,现有沙化土地 21.62 km²,仅次于新疆和内蒙古,面积居全国第 3 位^[1]。雅鲁藏布江自西向东横贯西藏南部,其中部流域是西藏的社会经济中心,然而,由于地表沙物质丰富、气候干冷多风、植被稀疏低矮等,该区域风沙地貌极其发育^[2-4]。许多学者研究了雅鲁藏布江河谷风沙地貌的形成机制、发育模式^[3]和发展演化的驱动因素^[2, 5-6]。目前,青藏高原高寒地区退化沙化生态系统的恢复和重建研究,主要集中在柴达木盆地和三江源地区^[7-11],对雅鲁藏布江高寒河谷风沙化土地植被恢复和重建的研究较少。沈渭寿等^[12-14]通过研究雅鲁藏布江中游沙地植被的区系特征、分类和排序,指出蒿属和锦鸡儿属的许多种是西藏“一江两河”中部流域地区流沙治理的非常有前途的固沙植物种;赵文智等^[15]指出砂生槐(*Sophora moorcroftiana*) + 多花亚菊(*Ajania myriantha*)群落是雅鲁藏布江中游下段沙地植被的顶极群落,本区植物固沙的先决条件是防止江边砂所引起的风沙流活动,砂生槐、藏沙蒿(*Artemisia wellbyi*)是主要固沙植物;刘志民等^[16-17]研究表明大多数内地固沙植物不适应日喀则地区的流动沙丘,沙面高温和生长季短是主要制约因素,有效的植物固沙程序是:在保护措施下,播种外来种沙木蓼(*Atraphaxis bracteata*)、籽蒿(*A. sphaerocephala*)和油蒿(*A. ordosica*)或移栽籽蒿,同时播种乡土植物砂生槐。上述研究成果对开展该区域风沙化土地植被恢复和环境治理奠定了初步的基础。

近 20a 来,西藏林业部门在雅鲁藏布江中游山南和日喀则宽谷开展了大规模人工造林,对减轻河谷地区的风沙灾害起到了一定的作用。然而,要从根本上减轻或消除雅鲁藏布江中游河谷特别是拉萨市和贡嘎机场的风沙危害,仅通过河谷内河床沙地的人工造林是不够的,关键是要对河谷内存在的大面积河岸流动沙地,特别是河谷两岸山坡上分布的流动沙地进行植被恢复和重建。但上述沙地不仅相对海拔高、流动性强、面积大,而且坡度陡、水分条件差、地形条件复杂,基本上不可能实施人工植树造林。2001 年西藏林业部门在日喀则、拉萨和山南等地区的风沙化土地上开展了人工模拟飞播试验,但均因流动性强、地形条件复杂和植物种选择不当而宣告失败。

雅鲁藏布江中游河谷的风沙化土地虽然海拔高、流动性强、地形条件复杂、水分条件差,但本区年降水量 400—500 mm,雨量条件甚至优于飞播效果很好的毛乌素沙地和科尔沁沙地^[18-19],而且主要集中在 6—9 月,雨热同季,光温水配合较好。同时每年 6 月前河谷地区风向交换频繁,有利于播后种子自然覆沙,具有开展人工模拟飞播造林的潜在条件^[18]。基于此,项目组于 2008—2011 年在雅鲁藏布江中游高寒河谷风沙化土地开展了为期 4a 的人工模拟飞播试验,进行了北方优良飞播沙生植物和西藏乡土沙生植物种的野外出苗、生长和越冬保存情况的试验观测,筛选和确定了西藏高寒河谷流动沙地生态恢复的适生植物种。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验地位于雅鲁藏布江中游山南宽谷,平均海拔 3 600 m。研究区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 月份,且具暴雨性质,水土流失较为严重。热量水平不高,年平均气温 6.3—8.7 °C,6—7 月份平均气温 14.5—16.6 °C,1 月份平均气温-0.8—4.7 °C。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,生长季平均气温仅及喜凉作物适宜生长温度的下限。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。河谷风向以东西风为主导风向,3 月份平均风速最大(3.05 m/s),12 月份最小(1.19 m/s),6—8 月的平均风速分别为 2.34 m/s,2.05 m/s 和 1.99 m/s。土壤为风沙土和沙砾地,成土时间短,质地粗,结构和保水保肥能力差。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。

植被基本上属于同一植被型,即山地灌丛草原^[13],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 centrasiaticum*)、固沙草群系(Form. *Orinus thoroldii*)、三刺草群系(Form. *Aristida trisetia*)等。人工林有西藏柳(*Salix xizangensis*)、新疆杨(*Populus alba* var. *pyrarridalis*)和榆树(*Ulmus pumila*)等。

1.2 试验地选择

雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地系指地表以风成沙堆积为主、植被盖度小于 10% 的风沙化土地,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、隔江与拉萨贡嘎机场相望的风沙化土地上,选择以下 3 种类型的流动沙地进行人工模拟飞播试验地(图 1)。



图 1 3 种类型的试验样地分布图

Fig. 1 Distribution map of three different moving sandy land types of the experiment field

(1) 河滩流动沙地(样地 1)

地理位置 N 29°19'58"和 E 90°54'27"。分布于河心滩、河漫滩上的流动沙地,土壤水分同时受降雨、河流水位丰枯变化和河谷风沙活动的影响,主要类型包括流动沙丘、沙带、覆沙河滩地和平缓沙砾地等。所选试验地西北部为平缓沙砾地,中部为东北—西南向发育的流动沙丘,相对于覆沙河滩地高 3—5 m,东部为有沙带、东南—西北向发育的覆沙河滩地,西北部相对东南部高差为 3—4 m。

(2) 河岸流动沙地(样地 2)

地理位置 N 29°19'14"和 E 90°50'12"。分布于河流阶(台)地或河谷冲洪积扇上的流动沙地,土壤水分主要依靠降雨补给,受河流水位变动的影响较小,主要类型包括新月形流动沙丘、低矮沙带、平缓沙砾地和格状沙丘。所选试验地发育有 8 条呈东南—西北走向的新月形流动沙丘,相对高度为 5—7 m,宽度达 8—15 m,丘间地为平缓沙砾地,宽度达 12—20 m;此外,还有东西走向的沙带、格状沙丘等。

(3) 山坡流动沙地(样地 3)

地理位置 N 29°20'21"和 E 90°53'15"。分布于河谷两岸山坡上的流动沙地,雅鲁藏布江中游主要分布于北岸,土壤水分主要依靠降雨补给,不受河流水位变动的影响,主要类型包括流动沙丘、格状沙丘和具有一定坡度的沙砾地等。此类沙地坡度大,亦可划分出迎风坡、背风坡和丘间地,而沙丘顶部不明显,常与背风坡、迎风坡相连。所选试验地相对高达 150 m,最大坡度达 40°,东坡向和东南坡向,由于受重力作用^[19],山坡沙地在达到一定的休止角时,沙粒便顺坡向下滑动,堆积在坡脚,成为被风力再次搬运的二次沙源。

样地 1 和样地 3 位于雅鲁藏布江大桥东侧,样地 2 位于雅鲁藏布江大桥西侧。

1.3 供试植物种和播种方法

供试主要植物种包括北方优良飞播沙生植物种和西藏乡土沙生植物种。

2008 年进行北方优良飞播沙生植物种在高寒河谷流动沙地的适生性观测研究,主要物种有:花棒(*Hedysarum scoparium*)、籽蒿(*A. sphaerocephala*)、杨柴(*H. mongolicum Turcz.*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)、柠条(*C. korshinskii*)、中国沙棘(*Hippophae rhamnoides subsp. sinensis*)、罗布麻(*Apocynum venetum*)和梭梭(*Haloxylon ammodendron*)等。除中国沙棘由甘肃省张掖市林业站提供外,其他种子均由鄂尔多斯市碧森种业有限公司提供。

2009—2010 年进行西藏乡土沙生植物种在不同类型流动沙地上的适生性观测研究,主要物种有:砂生槐(*S. 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。这些种子均由西藏自治区林木种苗科技示范基地提供。2011 年,继续开展上述北方优良沙生植物种的人工模拟飞播,以提高植被盖度。

主要采用人工模拟飞播(即人工撒播)方式在上述 3 种类型的流动沙地开展供试植物种的适生性试验研究。对坡度较小的河滩流动沙地(样地 1)和河岸流动沙地(样地 2),在撒播前后为利用河谷风向交换频繁的特点、增加种子的自然覆沙能力,采用羊群踩踏流动沙地和沿等高线设置带状麦草沙障(以 1m 间距规格进行带状布设,植物层厚度为 10—20 cm,高为 30—40 cm,材料为青稞或小麦秸秆)的方法,增加流动沙地的地面粗糙度,减轻风沙活动造成的流动性强的不利影响;对坡度较大的山坡流动沙地(样地 3),人工模拟飞播时采用沿等高线人工脚踩回头撒播法,以减轻坡度大对种子位移造成的严重不利影响。

1.4 植物出苗和生长情况调查

对新播植物种的出苗、生长和保存情况,采用人工实地连续抽样调查法,即根据降水和土壤水分情况,采用 1 m×1 m 的样方,在上述 3 种类型的流动沙地和沙丘部位,于生长期 3—5 d 调查 1 次供试植物种的出苗、生长情况,于越冬前 10 月份和第 2 年 5 或 6 月份调查供试植物种的保存情况,以观测不同供试植物种人工模拟飞播后的适应能力和越冬状况。同时,对花棒、籽蒿、杨柴、沙拐枣和砂生槐等生长较好的植物种,采用固定植株编号定期调查法,于 2008—2011 年的生长期 7—15 d 调查 1 次,观测指标有植株高、植株高、冠幅和基径等,基径用游标卡尺测量。为反映人工模拟飞播植物的植株体积大小,以沙生植物的冠幅和植株高乘积的立方根作为植株形体大小的测度^[20]。由于河滩流动沙地(样地 1)和山坡流动沙地(样地 3) 2 个试验地均设置了围栏,而河岸流动沙地(样地 2)没有设置围栏,供试植物种子发芽和出苗受羊群放牧、践踏干扰影响严重,造成该试验地的人工模拟飞播试验不理想、数据不完整,本研究所进行的植物出苗调查和保存情况调查主要在样地 1 和样地 3 内开展。

流沙地貌,尤其是沙丘类型、沙丘高度、密度、部位等对人工促进植被恢复和进行模拟飞播成效起关键作用^[21-22],本研究根据该区域风沙化土地的形成机制和发育程度,将其分为格状沙丘、新月形沙丘、沙丘链、沙带等类型的流动沙地,以及平缓沙砾地、灌丛沙包等半流动沙地,这些沙地广泛分布在河岸交错带、河谷山坡等地貌单元上,其中,流动沙丘的迎风坡坡度介于 5—30°,落沙坡约 45°左右。结合野外调查,以沙丘形态、沙丘高度和沙丘密度作为分类变量,进行不同类型沙地和沙丘部位的人工模拟飞播植被恢复效果评价。

2 结果和分析

2.1 不同供试植物种的出苗和保存情况

由表 1 可见,河滩流动沙地的中间锦鸡儿于播种后 12 d 出苗,19 d 后相继枯萎死亡。籽蒿和杨柴于 16 d 出苗,花棒、沙拐枣和柠条于 19 d 出苗。籽蒿出苗后植株生长较慢、但根系却生长迅速,7 月 21 日调查时植株高 1.7 cm,根系长则有 4.5 cm,其后生长迅速,至 10 月 25 日调查时植株高 33 cm,根系长则有 42 cm (图 2)。花棒、杨柴、沙拐枣和柠条前期生长速度较快,7 月 12 日前植株高度差异较小,其后,沙拐枣生长速度超过花棒、杨柴和柠条,但花棒于 7 月 30 日后超过沙拐枣。于 10 月 25 日调查时,1 年生花棒的植株高为 26 cm,沙拐枣为 21 cm,杨柴为 9 cm,根系长分别为 40 cm,26 cm 和 28 cm,可见,除籽蒿外,各试验植物种后期生长速度均有所放缓。由于与河滩流动沙地生境条件的差异性,山坡流动沙地的中间锦鸡儿于播种后 11 d 出苗,花

表 1 试验植物种播后的出苗和保存情况

Table 1 Seedling emergence time and saving situation of the testing plant species in 2008

植物种 Plant species	播种时间 Seedling time/d	出苗时间 Seedling emergence time/d		死亡时间 Death time/d	植株高 Plant height/cm	根系长 Root length/cm
		播后天数	雨后天数			
籽蒿 <i>A. sphaerocephala</i>	6 月 7 日 / 6 月 4 日	16 / 23	16 / 20	— / 146	33 / —	42 / —
花棒 <i>H. scoparium</i>	6 月 7 日 / 5 月 31 日	19 / 14	19 / 10	—	26 / 25	40 / 50
杨柴 <i>H. mongolicum</i> Turcz	6 月 7 日 / 5 月 31 日	16 / 18	16 / 14	—	9 / —	28 / —
沙拐枣 <i>C. mongolicum</i>	6 月 7 日 / 5 月 31 日	19 / 16	19 / 12	—	21 / 26	26 / 45
柠条 <i>C. korshinskii</i>	6 月 7 日 / 5 月 31 日	19 / 14	19 / 10	— / 44	—	—
中间锦鸡儿 <i>C. intermedia</i>	6 月 7 日 / 5 月 31 日	12 / 11	12 / 7	19 / 18	—	—

/前表示河滩流动沙地,/后表示山坡流动沙地;—表示无数据

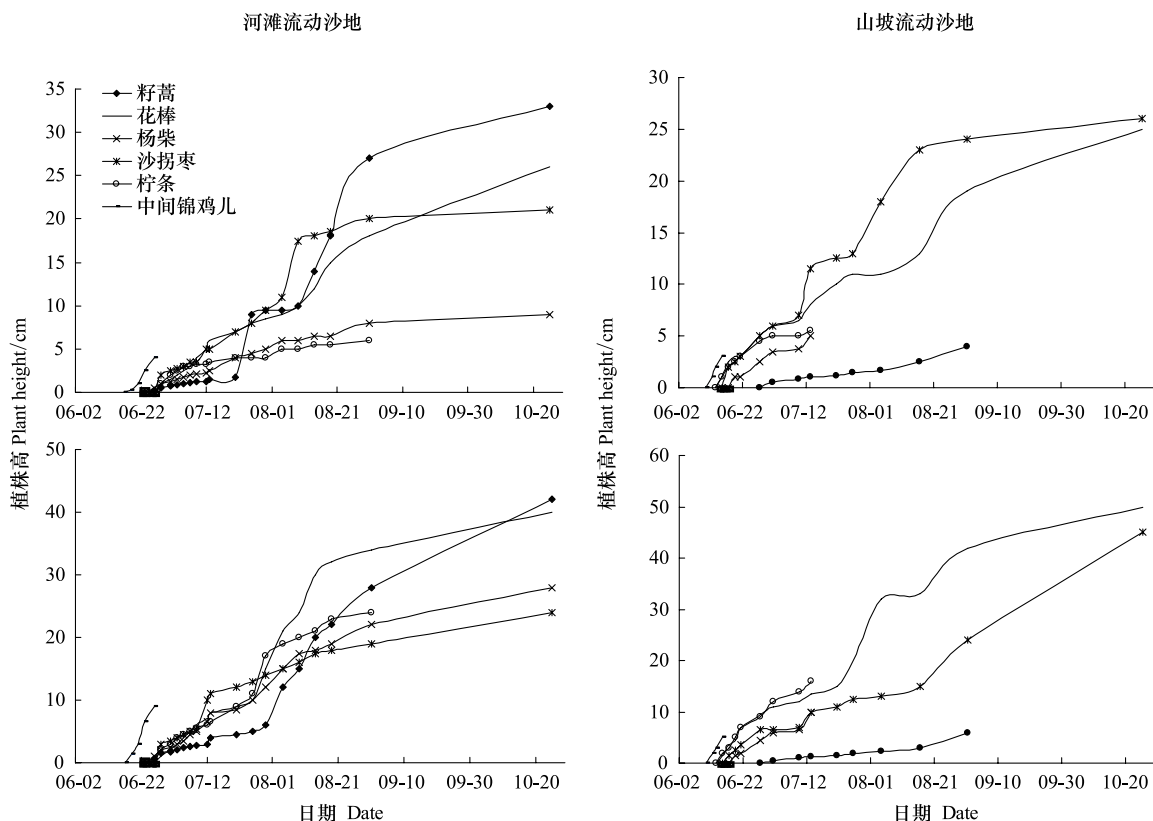


图 2 2008 年河滩流动沙地和山坡流动沙地几种北方优良沙生植物种的植株高和根系生长情况

Fig. 2 Plant height and root growth of several northern psammophyte species in different moving sandy land types in 2008

棒和柠条于 14 d 出苗,杨柴和沙拐枣于 18 d 和 16 d 出苗。籽蒿播种时间较晚(6 月 4 日),于播后 23 d 观测到发芽和出苗现象。图 2 显示,花棒、沙拐枣、柠条和中间锦鸡儿的前期生长速度接近,但柠条于 44 d (7 月 13 日)、中间锦鸡儿于 18 d (6 月 17 日)后出苗数量急剧下降、幼苗相继枯萎死亡,花棒与沙拐枣仍保持较快的生长速度。籽蒿和杨柴的生长速度较慢,杨柴生长量大于籽蒿。10 月 25 日调查时该试验地仅保存有花棒和沙拐枣,植株高分别达 25 cm 和 26 cm,根系长分别为 50 cm 和 45 cm,籽蒿未见保存,萎焉死亡期为 8 月 31 日至 10 月 25 日。可以看出,山坡流动沙地的花棒和沙拐枣植株高度均大于河滩流动沙地,柠条发芽和出苗能力较强,但后期适应较差。

鉴于 2009 年是继 1982 年(降水量为 203.9 mm)^[18]之后最干旱的 1a,属于极端干旱年,这里只能定性描述供试植物种的出苗和保存情况。该年播种的砂生槐、变色锦鸡儿和西藏锦鸡儿生长较好,但这些植物种的生长量均明显小于北方沙生植物种。2011 年调查时 3 年生砂生槐植株高度仅达 35 cm,而变色锦鸡儿和西藏锦鸡儿于 2010 年调查时未见保存,可以推断,这 2 种植物在越冬时,不能适应高寒河谷流动沙地的风蚀或沙埋作用。藏沙蒿和藏龙蒿由于种子较小、重量较轻,受风沙活动的影响,不易覆沙而随风吹走,未观测到发芽和出苗现象。供试验的 3 个沙棘植物种出苗和保存情况亦很差,其中,江孜沙棘和西藏沙棘在流动沙丘迎风坡脚有零星的发芽和出苗现象,但生长至 2 cm 后停滞很快枯萎死亡,而不同处理措施的中国沙棘种子均未观测到发芽和出苗现象。

试验表明,在北方优良沙生植物种中,籽蒿、花棒的出苗和保存状况最好;沙拐枣、杨柴和柠条的出苗和保存状况较好;中间锦鸡儿和中国沙棘的出苗保存状况较差,不能发芽或越冬后几乎没有保存。在西藏乡土沙生植物种中,砂生槐能在流动沙地上发芽和出苗,适应性较好,但发芽率较低;变色锦鸡儿、西藏锦鸡儿的发芽和出苗状况较差,幼苗较少,只有零星分布,越冬后未见保存;西藏沙棘、江孜沙棘、藏沙蒿和藏龙蒿的出苗和保存状况最差,在降水后能发芽和出苗,但由于流动沙丘上无任何遮蔽,幼苗受日灼很快枯萎死亡。

2.2 主要植物种的生长和繁殖情况

鉴于不同试验植物种的出苗和保存情况,能进行生长动态观测的植物种主要有花棒、籽蒿、沙拐枣、杨柴和砂生槐,而后 3 者由于受生境胁迫,植株生长缓慢、停滞或枯死,变动较大,难以进行固定植株编号定期调查,只能定性给出其生长和繁殖情况的描述。

表 2 显示 2008—2011 年花棒和籽蒿的植株高、形体大小和基径的统计情况,可以看见,花棒植株高的平均生长量以第 4 年最大,达 65.2 cm/a,第 1 年最小(24.6 cm/a);植株高的最大生长量以第 3 年最大,为 94 cm/a,但以第 1 年最小(66.0 cm/a)。籽蒿植株高的平均生长量以第 2 年最大,为 51.8 cm/a,以第 4 年最小(7.0 cm/a);植株高的最大生长量以第 1 年最大,为 75.0 cm/a,以第 4 年最小(9.0 cm/a)。花棒植株形体大小第 4 年的平均增长量(100.8 cm/a)大于第 3 年(67.4 cm/a),而籽蒿植株形体大小第 3 年的平均增长量(66.8 cm/a)大于第 4 年(20.5 cm/a)。据 2011 年 9 月 10 日调查,4 年生花棒的最大冠幅(4.3 m×3.3 m)大于籽蒿(3.1 m×2.9 m)、沙拐枣(2.4 m×2.0 m)、杨柴(0.7 m×0.5 m)和砂生槐(0.5 m×0.3 m),而 4 年生籽蒿的最大基径(11.2 cm)大于花棒(4.9 cm)、沙拐枣(3.0 cm)、砂生槐(1.3 cm)和杨柴(1.2 cm)。

4 年生花棒、籽蒿、沙拐枣和杨柴的生长和繁殖情况见图 3,野外观测显示,籽蒿在第 2 年便有花序和种子出现,花棒和沙拐枣在第 3 年开花结实,杨柴尚未见开花、结实现象。采集上述几种开花结实产生的植物种子进行盆植试验结果表明,引进到西藏高寒河谷的籽蒿繁殖生长出的种子能发芽,由于部分种子未能成熟导致发芽率很低,达 5%—10%;花棒和沙拐枣种子能成熟和发芽,且发芽率较高,达 80%—95%。由此可见,籽蒿、花棒和沙拐枣能在西藏高寒河谷的完成生活史,但籽蒿的再繁殖能力较弱,花棒和沙拐枣的再繁殖能力较强。

2.3 不同类型流动沙地的人工模拟飞播效果

由表 3 可见,不同类型沙地的沙丘形态、沙丘高度和沙丘密度对人工模拟飞播的影响差别较大。其中,最适宜型(第 I 类)的沙丘形态以低矮沙带、平缓沙砾地或覆沙河滩地为主,主要分布在河岸交错带上,沙丘高

表 2 2008—2011 年花棒和籽蒿的植株高、形体大小和基径的统计特征值

Table 2 Statistical values of plant height, plant size and diameter at basic height of *Hedysarum scoparium* and *Artemisia sphaerocephala* from 2008 to 2011

年份 Year	花棒 <i>H. scoparium</i>	个数 No. of individuals	最小值 Minimum/cm	最大值 Maximum/cm	均值 Mean/cm	标准偏差 SD	变异系数 C. V. /%
2008	植株高	150	1.0	66.0	24.6	20.7	84.5
2009	植株高	120	25.2	156.0	74.7	24.7	33.1
	形体大小	120	29.8	168.3	71.9	26.6	37.0
2010	植株高	88	34.0	250.0	133.0	45.8	34.5
	形体大小	88	48.1	249.6	139.3	47.1	33.8
	基径	88	0.31	3.1	1.2	0.57	47.1
2011	植株高	81	92.0	337.0	198.2	49.6	25.0
	形体大小	81	129.2	363.1	240.1	55.6	23.2
	基径	81	1.1	4.9	2.1	0.85	41.9

年份 Year	籽蒿 <i>A. sphaerocephala</i>	个数 No. of individuals	最小值 Minimum/cm	最大值 Maximum/cm	均值 Mean/cm	标准偏差 SD	变异系数 C. V. /%
2008	植株高	100	1.0	75.0	16.3	20.4	125.1
2009	植株高	92	30.2	118.0	68.1	19.0	27.9
	形体大小	92	15.8	116.0	52.9	20.3	38.4
2010	植株高	68	68.0	144.0	104.4	20.7	19.8
	形体大小	68	63.5	182.8	121.5	36.5	30.4
	基径	68	1.3	8.3	3.2	1.6	50.0
2011	植株高	75	71.0	153.0	111.4	21.2	19.2
	形体大小	75	71.1	242.1	142.0	38.7	27.2
	基径	75	1.5	11.2	3.8	1.5	39.5

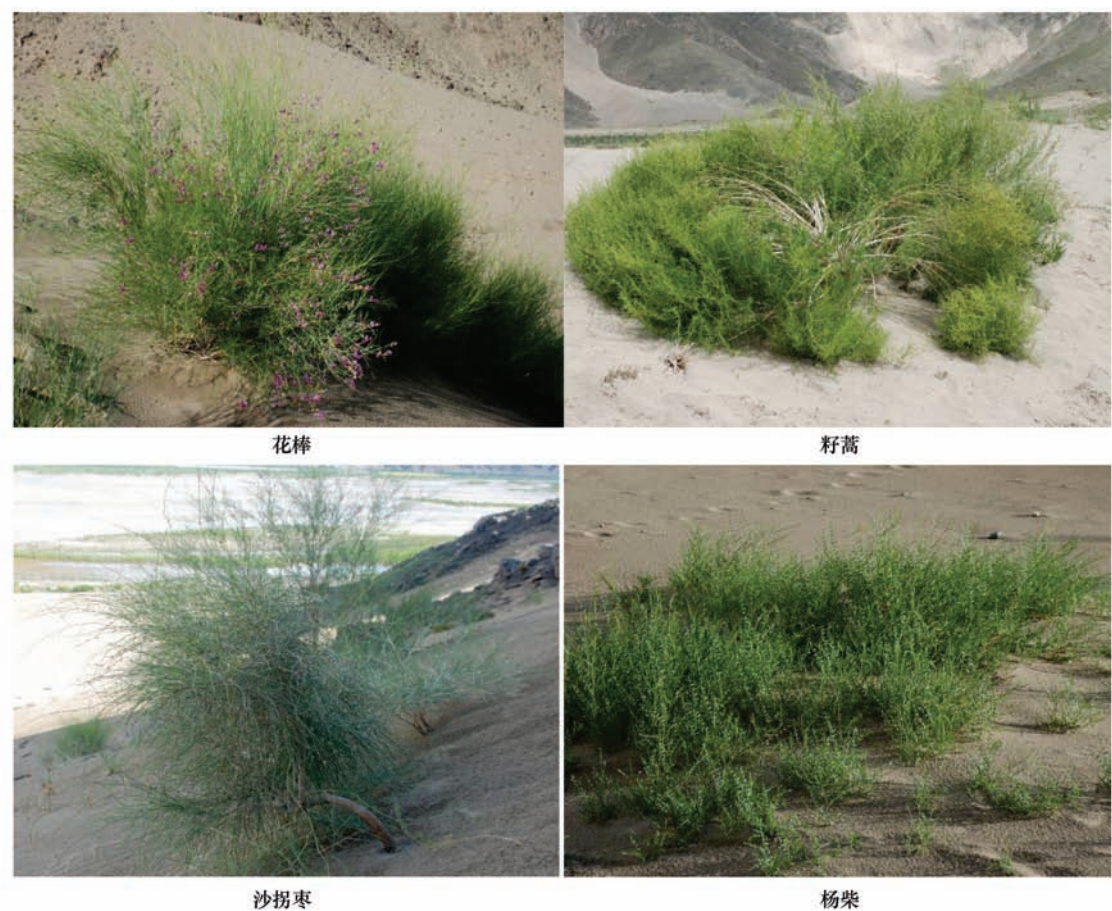


图 3 2011 年几种主要北方优良植物种的生长和结实情况

Fig. 3 Plant growth, flowering and fruiting situation of several northern psammophyte species in 2011

表 3 2011 年河滩流动沙地和山坡流动沙地不同类型沙丘的人工模拟飞播效果
Table 3 Trial results of the field artificial seeding of different moving sandy land types in 2011

类型 Type	沙丘形态 Dune shape	沙丘高度 Dune height/m	沙丘密度 Dune density	植被盖度 Coverage/%			主要物种组成 Main species composition
				最小值 Min.	最大值 Max.	均值 Mean	
最适宜型 Most appropriate	低矮沙带、平缓沙砾地或覆沙河滩地	<1	< 0.5	5	55	35	籽蒿、花棒、杨柴
较适宜型 More appropriate	新月形沙丘	2—5	0.6—0.7	3	50	30	籽蒿、花棒、砂生槐、沙拐枣
不适宜型 Inappropriate	高大流动沙丘链或格状沙丘	6—15	> 0.8	0	25	9	花棒、杨柴
基本适宜型 Appropriate	山坡动沙地	—	> 0.8	3	45	20	花棒、杨柴、沙拐枣、籽蒿

度 1 m 以下,沙丘密度< 0.5,地形平坦、丘间地比较开阔。此类型沙丘的人工模拟飞播效果最好,撒播后的种子散落均匀、位移较小,2—3 年生的植被基本上可占满整个播区,有苗面积率高,播后流沙固定速度快,2011 年 9 月调查时,平均植被盖度已达 35%。较适宜型(第 II 类)的沙丘形态以新月形沙丘为主,沙丘高度介于 2—5 m,沙丘密度 0.6—0.7。此类型沙丘的人工模拟飞播效果较好,植被首先在丘间地和沙丘中下部定居,结合适当的地面处理措施,可逐渐扩大其定居范围,最终 3—4 年生的植被仍能占据整个播区,但对个别高大流动沙丘,因受河谷风影响,沙丘摆动剧烈、幼苗根部风蚀严重,结合适当的地面处理措施,流沙基本上也可得到全部固定,但时间要相对长一些,平均植被盖度已达 30%。不适宜型(第 III 类)的沙丘形态以高大流动沙丘链或格状沙丘为主,沙丘高度在 6—15 m,沙丘密度> 0.8,丘间地面积小,有些地段基本上看不到明显的丘间地。此类型沙丘的人工模拟飞播效果最差,植被仅能在丘间地和沙丘下部定居,而且很难扩展其定居范围,经过 4 年的人工促进植被恢复试验,平均植被盖度尚不足 10%,风沙活动仍很强烈。基本适宜型(第 IV 类)的沙丘形态以山坡流动沙地为主,相对海拔可达 100 m 上下,在背风坡窝风处最高可达 300—500 m,沙丘密度> 0.8,受河谷风和小地形的影响,山坡上亦有新月形沙丘、沙带等发育,只是不够典型。此类型沙丘的人工模拟飞播效果较差,撒播后的种子因坡度较大、坡面较长,位移严重,容易在坡脚处累积,经反复试验,采用沿等高线人工脚踩回头撒播法,取得了良好的效果,平均植被盖度已达 20%。

此外,不同沙丘部位的人工模拟飞播效果差异明显,2011 年对没有地面处理措施和沿等高线人工脚踩回头撒播的不同类型沙丘、不同沙丘部位的调查结果表明:沙丘下部至上部,人工模拟飞播效果越来越差。成苗面积率最高的为丘间地和迎风坡脚,其次为背风坡中下部,而迎风坡上坡、背风坡上部和沙丘顶几乎无植物生长。但对于有地面处理措施的流动沙丘,籽蒿、花棒和砂生槐等均能在不同沙丘部位生长,植被盖度较高。由此可见,就人工模拟飞播出苗、保苗情况和植被恢复效果来看,不同类型沙地所在的播区有所差异,而且同一播区内由于地形和沙丘部位的差异,人工模拟飞播效果也有明显的差异。因此,应针对不同的沙丘类型和地形状况,辅以适当的地面处理措施,提高地表粗糙度,减轻风沙活动对新播植物发芽、出苗和生长的影响,提高人工模拟飞播的效果(图 4)。这对准确选择人工模拟飞播的沙丘类型和播区具有重要的指导意义。

3 结论

(1) 在北方优良沙生植物种中,籽蒿、花棒的出苗和保存状况最好;沙拐枣、杨柴和柠条的出苗和保存状况较好;中间锦鸡儿和中国沙棘的出苗保存状况最差。在西藏乡土沙生植物种中,砂生槐能在流动沙地上发芽和出苗,适应性较好;变色锦鸡儿、西藏锦鸡儿的发芽和出苗状况较差;西藏沙棘、江孜沙棘、藏沙蒿和藏龙蒿的出苗和保存状况最差。人工模拟飞播植物应具有发芽快、出土早、幼苗耐高温的特性。

4a 的试验表明,北方优良沙生植物种的生长速度和生长量均明显大于西藏乡土沙生植物种。不论是北方优良沙生植物种,还是西藏乡土沙生植物种,种子发芽和出苗的快慢均受降雨和土壤水分的影响较大,而后期成苗和生长阶段,受高寒河谷生境胁迫的影响较大。

(2) 籽蒿在第 2 年便有花序和种子出现,花棒和沙拐枣在第 3 年开花结实。籽蒿、花棒和沙拐枣能在西

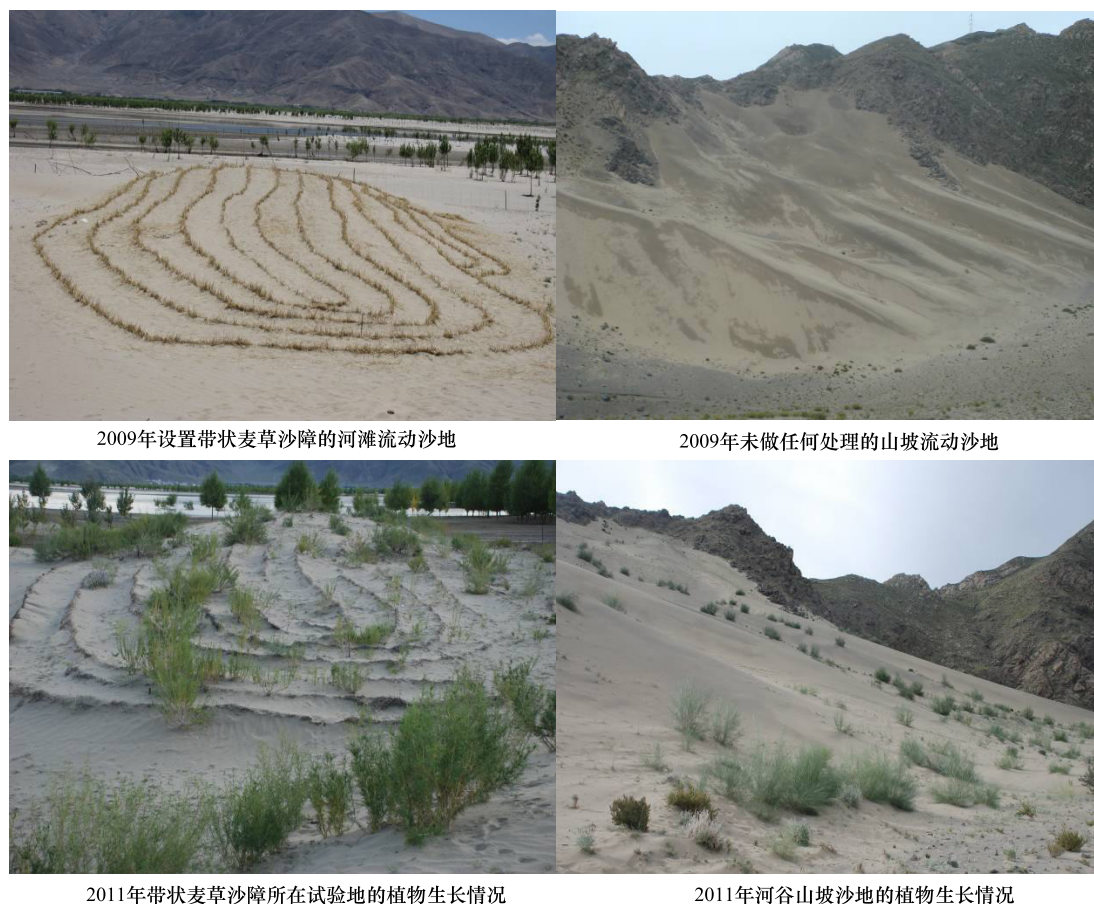


图4 2011年河滩流动沙地和山坡流动沙地的人工模拟飞播效果

Fig. 4 Plant growth situation of different moving sandy land types in 2011

藏高寒河谷的完成生活史,但籽蒿的再繁殖能力较弱,花棒和沙拐枣的再繁殖能力较强。2011年9月调查时,4年生花棒的最大冠幅已达 $4.3\text{ m}\times 3.3\text{ m}$,大于籽蒿($3.1\text{ m}\times 2.9\text{ m}$)、沙拐枣($2.4\text{ m}\times 2.0\text{ m}$)、杨柴($0.7\text{ m}\times 0.5\text{ m}$)和砂生槐($0.5\text{ m}\times 0.3\text{ m}$),而4年生籽蒿的最大基径达 11.2 cm ,大于花棒(4.9 cm)、沙拐枣(3.0 cm)、砂生槐(1.3 cm)和杨柴(1.2 cm)。

(3) 不同类型的流动沙地和沙丘部位对人工模拟飞播的影响较大。最适宜型(第Ⅰ类)流动沙地的人工模拟飞播效果最好,2—3年生的植被基本上可占满整个播区,植被盖度可达35%。较适宜型(第Ⅱ类)流动沙地人工模拟飞播效果较好,3—4年生的植被仍能占据整个播区,植被盖度可达30%。基本适宜型(第Ⅳ类)流动沙地的人工模拟飞播效果较差,但采用沿等高线人工脚踩回头撒播法,植被盖度可达20%。高大流动沙丘链或格状沙丘为不适宜型(第Ⅲ类),人工模拟飞播效果最差,植被盖度尚不足10%。流动沙丘下部至上部,人工模拟飞播效果逐渐变差,成苗面积率最高的为丘间地和迎风坡脚。

致谢: 感谢西藏自治区环境保护厅对本研究提供的支持和帮助。

References:

- [1] State Forestry Administration, P R China. A Bulletin of Status Quo of Desertification and Sandification in China. Beijing: State Forestry Administration, P R China, 2011.
- [2] Dong G R, Dong Y X, Li S, Jin J, Jin H L, Liu Y Z. The causes and developmental trend of desertification in the middle reaches of the Yarlung Zangbo River and its two tributaries in Xizang. Chinese Geographical Science, 1995, 5(4): 355-364.
- [3] Li S, Dong G R, Shen J Y, Yang P, Liu X W, Wang Y, Jin H L, Wang Q. Formation mechanism and development pattern of aeolian sand landform in Yarlung Zangbo Rive valley. Science in China Series D: Earth Sciences, 1999, 42(3): 272-281.
- [4] Dong Y X, Li S, Dong G R. Tentative study on the status and the causes of desertification in Yarlung Zangbo River basin. Scientia Geographica

- Sinica, 1999, 19(1): 35-41.
- [5] Shen W S. Desertification and its developing trend in Shannan region of Tibet. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1998, 12(2): 36-43.
- [6] Shen W S, Yang P. Land desertification and its developing trend in Lasa area of Tibet. *Journal of Desert Research*, 1999, 19(1): 33-37.
- [7] Lu Q, Wang X Q, Wu B, Yang H X. Can mobile sandy land be vegetated in the cold and dry Tibetan Plateau in China? *Frontiers of Biology in China*, 2009, 4(1): 62-68.
- [8] Yang H, Lu Q, Wu B, Yang H, Zhang J, Lin Y. Vegetation diversity and its application in sandy desert revegetation on Tibetan Plateau. *Journal of Arid Environments*, 2006, 65(4): 619-631.
- [9] Ma Y S. Studies on Formation Mechanism of 'Black Soil Type' Degraded Grassland and Restoring Pattern in the Source Region of Yangtze, Yellow and Lantsang Rivers [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2006.
- [10] Li X R, Jia X H, Dong G R. Influence of desertification on vegetation pattern variations in the cold semi-arid grasslands of Qinghai-Tibet Plateau, North-west China. *Journal of Arid Environments*, 2006, 64(3): 505-522.
- [11] Liu Y C, Horisawa S, Mukohata Y. Effect of seed coating on plant growth and soil conditions: a preliminary study for restoration of degraded rangeland in the Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Grassland Science*, 2010, 56(3): 145-152.
- [12] Shen W S. Floristic features of sand vegetation in the middle reaches of the Yarlung Zangbo, Xizang (Tibet). *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1996, 34(3): 271-281.
- [13] Shen W S. Classification and sorting of the psammophytic vegetation in the middle Yarlung Zangbo river basin, Tibet. *Journal of Desert Research*, 1997, 17(3): 269-273.
- [14] Shen W S. Moving sandy land governance in the middle reaches of 'One river and two rivers' in Tibet. *Tibet's Science & Technology*, 1994, (2): 21-25.
- [15] Zhao W Z, Li S, Liu Y Z, Shen J Y. Study on sand vegetation in bottom of middle reaches of Yaluzangbo River in Tibeat. *Journal of Desert Research*, 1994, 14(1): 68-74.
- [16] Liu Z M. A comparative study of introduced plant species for fixing sand dune at Xigaze in Tibet. *Journal of Desert Research*, 1996, 16(3): 326-330.
- [17] Liu Z M, Gao H Y, Jiang D M. Issues Concerning Shifting Sand Stabilization at Zigaze, Tibet. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(6): 665-669.
- [18] Shen W S, Li H D, Zhang T, Zou C X, Yan S G, Yuan L. Feasibility study of air-seeding on alpine aeolian desertified land in Tibet, China. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25(1): 106-111.
- [19] Li H D, Shen W S, Zou C X, Sun M, She G H. Spatial distribution and evolution of aeolian sandy land in the areas around Lhasa Airport (Tibet, China) since 1990. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5716-5727.
- [20] Li H D, Shen W S, Fang Y, Yan S G, Zhang H, Zhao W. Point pattern analysis of several psammophyte populations in the riparian ecotone in the middle reaches of Yarlung Zangbo River of Tibet, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(8): 834-843.
- [21] Shen W S. Vegetation development and effect evaluation after air seeding on Mu us sandy land. *Journal of Desert Research*, 1998, 18(2): 143-148.
- [22] Shen W S. Successional stage and rate of the aerial seeding vegetation in the Maowusu sandyland. *Scientia Silvae Sinicae*, 1999, 35(3): 103-108.

参考文献:

- [1] 国家林业局. 中国荒漠化和沙化状况公报. 北京: 国家林业局, 2011.
- [4] 董玉祥, 李森, 董光荣. 雅鲁藏布江流域土地沙漠化现状与成因初步研究—兼论人为因素在沙漠化中的作用. *地理科学*, 1999, 19(1): 35-41.
- [5] 沈渭寿. 西藏山南地区土地沙漠化现状与趋势. *干旱区资源与环境*, 1998, 12(2): 36-43.
- [6] 沈渭寿, 杨萍. 西藏拉萨市土地沙漠化现状与趋势. *中国沙漠*, 1999, 19(1): 33-37.
- [9] 马玉寿. 三江源区“黑土型”退化草地形成机理与恢复模式研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006.
- [12] 沈渭寿. 雅鲁藏布江中游沙地植物区系特征. *植物分类学报*, 1996, 34(3): 271-281.
- [13] 沈渭寿. 雅鲁藏布江中部流域沙地植被的分类与排序. *中国沙漠*, 1997, 17(3): 269-273.
- [14] 沈渭寿. 西藏“一江两河”中部流域地区流沙的治理. *西藏科技*, 1994, (2): 21-25.
- [15] 赵文智, 李森, 刘玉璋, 申建友. 西藏雅鲁藏布江中游下段沙地植被研究. *中国沙漠*, 1994, 14(1): 68-74.
- [16] 刘志民. 西藏日喀则固沙植物引种的比较研究. *中国沙漠*, 1996, 16(3): 326-330.
- [17] 刘志民, 高红瑛, 蒋德明. 西藏日喀则流沙固定的几个问题. *中国沙漠*, 2003, 23(6): 665-669.
- [18] 沈渭寿, 李海东, 张涛, 邹长新, 燕守广, 袁磊. 西藏高寒风沙化土地飞播可行性分析. *生态与农村环境学报*, 2009, 25(1): 106-111.
- [19] 李海东, 沈渭寿, 邹长新, 孙明, 余光辉. 西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势. *生态学报*, 2010, 30(21): 5716-5727.
- [20] 李海东, 沈渭寿, 方颖, 燕守广, 张慧, 赵卫. 雅鲁藏布江中游河岸带几种主要沙生植物种群点格局分析. *植物生态学报*, 2011, 35(8): 834-843.
- [21] 沈渭寿. 毛乌素沙地飞播植被现状与评价. *中国沙漠*, 1998, 18(2): 143-148.
- [22] 沈渭寿. 毛乌素沙地飞播植被演替的阶段与速度. *林业科学*, 1999, 35(3): 103-108.

CONTENTS

Conservation strategies for <i>Ulmus elongata</i> based on the analysis of biological and ecological factors	GAO Jianguo, ZHANG Yi, WU Yuhuan, et al (5287)
Vertical distribution of methanogen community structures in <i>Phragmites australis</i> marsh soil in the Min River estuary	SHE Chenxing, TONG Chuan (5299)
Energy balance closure and its effects on evapotranspiration measurements with the eddy covariance technique in a cropland	LIU Du, LI Jun, YU Qiang, TONG Xiaojuan, et al (5309)
Effects of soil water potential on the growth and physiological characteristics of <i>Populus tomentosa</i> pulpwood plantation under subsurface drip irrigation	XI Benye, WANG Ye, DI Nan, et al (5318)
Physiological indices of leaves of jujube (<i>Zizyphus jujuba</i>) damaged by <i>Apolygus lucorum</i>	GAO Yong, MEN Xingyuan, YU Yi, et al (5330)
Economic analysis of wetland resource protection: a case study of Beijing Wild Duck Lake	WANG Changhai, CUI Lijuan, MA Muyuan, et al (5337)
Comparative studies on the farmers' willingness to accept eco-compensation in wetlands nature reserve	WANG Changhai, CUI Lijuan, MAO Xufeng, et al (5345)
Remote sensing estimation models of <i>Suaeda salsa</i> biomass in the coastal wetland	FU Xin, LIU Gaohuan, HUANG Chong, LIU Qingsheng (5355)
Effects of N addition on soil organic carbon components in an alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau	ZHENG Jiaojiao, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (5363)
Estimating carbon emissions from forest fires during 2001 to 2010 in Daxing'anling Mountain	HU Haiqing, WEI Shujing, SUN Long (5373)
Predicting the effects of soil water potential on the growth of cut lily	DONG Yongyi, LI Gang, AN Dongsheng, et al (5387)
Rain enrichment-accelerated carbon emissions from soil in a <i>Nitraria sphaerocarpa</i> community in hyperarid region	LIU Dianjun, WU Bo, LI Yonghua, et al (5396)
Response of soil organic carbon sequestration to the "Grain for Green Project" in the hilly Loess Plateau region	XU Mingxiang, WANG Zheng, ZHANG Jin, et al (5405)
Temporal and spatial variability in soil respiration in five temperate forests in Xiaoxing'an Mountains, China	SHI Baoku, JIN Guangze, WANG Zhaoyang (5416)
Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin	LIU Wenjie, CHEN Shengyun, HU Fengzu, et al (5429)
COI1 is involved in jasmonate-induced indolic glucosinolate biosynthesis in <i>Arabidopsis thaliana</i>	SHI Lu, LI Mengsha, WANG Lihua, et al (5438)
Modeling canopy rainfall interception of a replanted <i>Robinia pseudoacacia</i> forest in the Loess Plateau	WANG Yanping, WANG Li, WEI Sanping (5445)
The differences of plant community diversity among the different altitudes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir	LIU Weiwei, WANG Jie, WANG Yong, et al (5454)
Low-frequency drought variability based on SPEI in association with climate indices in Beijing	SU Hongxin, LI Guangqi (5467)
Response of upland jujube tree trunk diameter to different ecological factors	ZHAO Ying, WANG Youke, HAN Lixin, et al (5476)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a young <i>Caragana korshinskii</i> plantation	ZHANG Fan, CHEN Jianwen, WANG Mengben (5484)
Interspecific segregation of species in tree and shrub layers of the <i>Pinus bungeana</i> Zucc. ex Endl. community in the Wulu Mountains, Shanxi Province, China	WANG Lili, BI Runcheng, YAN Ming, et al (5494)
Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season	MA Xiaoxia, WANG Lianlian, LI Qinghui, et al (5502)
A model to predict dry matter accumulation dynamics in wheat based on the normalized method	LIU Juan, XIONG Shuping, YANG Yang, et al (5512)
Optimization strategies and an aesthetic evaluation of typical plant communities in the Shanghai Green Belt	ZHANG Kaixuan, LING Huanran, DA Liangjun (5521)
Carbon footprint evaluation research on the tourism transportation system at tourist attractions; a case study in Hengshan	DOU Yindi, LIU Yunpeng, LI Bohua, et al (5532)
An urban ecosystem assessment method and its application	SHI Huichun, LIU Wei, HE Jian, et al (5542)
Seasonal variations in distribution and biological characteristics of snailfish <i>Liparis tanakae</i> in the central and southern Yellow Sea	ZHOU Zhipeng, JIN Xianshi, SHAN Xiujuan, et al (5550)
Effects of cyanobacterial accumulation and snail grazing on the growth of <i>vallisneria natans</i>	HE Hu, HE Yuhong, JI Yachan, et al (5562)
The structure and thermal insulation capability of <i>Mustela sibirica manchurica</i> winter pelage in Heilongjiang Province	LIU Yu, ZHANG Wei (5568)
Ontogenetic shifts in selected body temperature and thermal tolerance of the tiger frog, <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	FAN Xiaoli, LEI Huanzong, LIN Zhihua (5574)
The influence of tubificid worms bioturbation on organic phosphorus components and their vertical distribution in sediment of Lake Taihu	BAI Xiuling, ZHOU Yunkai, ZHANG Lei (5581)
Review and Monograph	
Research advances in ecological assessment of urban greenspace	MAO Qizheng, LUO Shanghua, MA Keming, et al (5589)
Ecological hot topics in global change on the 2 nd International Young Ecologist Forum	WAN Yun, XU Lili, GENG Qifang, et al (5601)
Scientific Note	
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	SHEN Weishou, LI Haidong, LIN Naifeng, et al (5609)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 17 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 17 (September, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元