

文章编号: 1000-694X(2007)03-0436-06

## 宁夏河东沙地不同植被覆盖度的土壤 起沙特征试验研究

刘 静<sup>1</sup>, 毛军需<sup>2</sup>, 王连喜<sup>1</sup>, 石学军<sup>3</sup>, 何 连<sup>3</sup>

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川 750002; 2. 河南科技大学, 河南 洛阳 471003; 3. 宁夏盐池县绿海苜蓿产业发展有限公司, 宁夏 盐池 751500)

**摘 要:** 为了评价宁夏河东沙地不同生态破坏与植被恢复措施的防沙治沙效果, 利用自行设计的 5 个高度降尘接沙仪和 4 台内蒙古农牧大学生产的水平输沙接沙仪, 通过人工吹风的方式, 于 2004 年 5 月 20—23 日在不同植被覆盖度的下垫面上, 开展不同垂直高度和不同距离的降尘试验和不同垂直高度的沙尘粒子截留试验。植被类型为自然裸露沙丘、低覆盖度天然草场、围栏禁牧的自然恢复草场、人工草方格沙丘治理结合飞播的生态恢复治理草地及原退耕还牧的复垦农田。结果表明, 裸露沙丘土壤风蚀最严重, 防沙治沙以围栏禁牧效果最好, 其次为草网格治理, 复垦农田和流动沙丘均容易起沙。

**关键词:** 沙化; 风蚀; 沙尘暴; 吹沙实验; 尘降; 输沙; 生态治理

**中图分类号:** S157.1 **文献标识码:** A

盐池县位于内蒙古高原、黄土高原之间的交汇地带, 属典型中温带大陆性气候, 干旱少雨, 风大沙多。全境以荒漠草原和干草原为主, 年均降雨量为 293.1 mm, 年均蒸发总量为 2 403.7 mm, 远大于年降水量。干旱是盐池地区自然灾害中最常见、影响范围最广、损失最大的灾害。3—5 月降水总量仅 51 mm, 占年降水总量的 17.4%, 是春季干旱、沙尘暴频发的主要原因。如果连续 3~5 a 出现重旱, 干草原植被景观发生退化性改变, 沙化裸露面积大, 伴生的沙尘暴天气增多, 对生态环境的稳定和恢复影响很大。

盐池县年平均风速  $2.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 年平均大风和沙暴日数分别为 24.2 d 和 20.6 d, 是贺兰山东侧沙尘暴的多发中心<sup>[1]</sup>。马力文等<sup>[2]</sup>认为盐池沙尘暴存在 18 a、22 a、11 a、7 a、3 a 主周期, 其中以 11 a、7 a 和 3 a 最显著, 与李艳春等<sup>[3]</sup>对近百年降水量的突变分析周期相吻合, 表明沙尘暴与降水量的年际波动密切相关。牛生杰等<sup>[1]</sup>认为 20 世纪 70 年代中期以来, 盐池沙尘暴发生日数在波动中逐渐降低, 但赵光平等<sup>[4]</sup>基于宁夏半干旱地带生态环境局部治理、整体恶化的客观事实, 认为在天气强度基本相同的

前提下, 沙尘暴启动风速下降, 季节性荒漠化面积却不断扩大, 并提出造成草场退化的主要原因除垦荒、破坏性挖甘草和过度放牧等人为因素外, 随着盐池县近年来气候变干, 有效降水日趋不足, 气候条件趋于恶劣, 生态自然恢复的难度加大。

遥感调查显示, 盐池县天然草场主要以苦豆子、牛心朴子、甘草、白草、赖草、牛枝子、短花针茅、黑沙蒿、芨芨草、白刺、盐爪爪等 11 大群落为主, 总面积 4 023.93 km<sup>2</sup>, 占总面积的 56.4%, 人工草场面积为 8.21 km<sup>2</sup>, 仅占总面积的 0.12%。近年来, 盐池县大力开展围栏禁牧政策, 开展了围栏禁牧、草网格固沙、退耕还草、退化草场植被重建、封育+补播改良沙质退化草场、适量营建人工柠条固沙饲料林等多项大面积试验与示范。在这些生态治理措施中, 如何从抑制沙尘角度评价这些治理措施的效果, 是本试验研究需要解决的问题。

目前在生态环境治理评价中, 大多数采用不同评价方式开展效益评估, 生态效益价值化是效益评价量化的一种思路<sup>[5]</sup>。有的从生态、经济、社会三大效益方面构建指标<sup>[6]</sup>, 有的涉及生物效益、土壤养分效益、小气候效益、水文效益和经济效益等<sup>[7]</sup>。资源的环境容量评价方面, 有从土壤资源、水资源、气候

收稿日期: 2006-09-18; 改回日期: 2006-11-08

基金项目: 国家“十五”重点科技攻关项目“防沙治沙关键技术与开发”示范区; 宁夏河东沙地退化草场植被恢复与风蚀沙化防治技术示范区(盐池)项目(2002BA517A)资助

作者简介: 刘静(1964—), 男, 回族, 北京市人, 研究员, 主要从事气候生态、农业气候资源、农业气象、遥感应用等方面的研究。

E-mail: Ahmd\_liujing@163.com

资源和经济因素方面的层次分析<sup>[8]</sup>。从评价土壤退化与恢复角度,如土壤侵蚀与水土保持价值评估<sup>[9]</sup>。在评价不同治理措施的效果方面,主要有土壤、微生物、生物多样性、群落演替、水文、气象、灾害等多个侧面的研究,有些涉及遥感分类与评价。如龙健,邓启琼等<sup>[10]</sup>从土壤肥力演变角度评价了不同退耕还林方式,李文忠等<sup>[11]</sup>用基于土壤物理结构和养分的土壤性质函数评价不同退耕还林(草)对土壤质量的影响。邵玉琴等<sup>[12]</sup>研究了恢复草地和退化草地土壤微生物类群数量的分布特征。肖洪浪等<sup>[13]</sup>从植被演替和生物多样性角度研究了固沙42 a土壤-植被系统演变。刘刚才等<sup>[14]</sup>对耕地不同退耕模式的土壤侵蚀量和径流量进行了评价。张俊等<sup>[15]</sup>利用SPOT卫星遥感监测了张北地区不同退耕还草类型和区域。在不同还林(草)模式与气象研究方面,主要集中在降低沙尘暴影响、起沙风速动力模拟等领域。如草网格治沙的降低沙尘暴危害的事实<sup>[16]</sup>。郝成元等<sup>[17]</sup>研究了毛乌素沙地土地利用类型与沙漠化进程的关系。此外,国内多人研究了风沙起动规律、启动风速<sup>[18-19]</sup>。王洪涛等<sup>[20]</sup>对风沙流中风速廓线开展了风洞实验,张克存等<sup>[21]</sup>采用风洞试验研究了自由沙面和草网格输沙过程,并对风速脉动对各高度输沙量的变化进行了实验。李振山、张琦峰<sup>[22]</sup>采用理论计算与风洞实验验证了风沙流的输沙率沿程变化规律。

上述研究从不同侧面研究了不同生态恢复措施的效益。但在对沙尘暴的影响方面,虽然在理论上研究较多,也较深入,但各种生态治理措施难以搬到风洞中实验,即使搬到风洞中,也难以保证地表状况与自然条件的一致性。因为决定起沙状况的因素除了土壤粒径、孔隙度、粗糙度、障碍物等因素外,还与地表植被种类、覆盖度、地表生物结皮、土壤湿度等因素有关,移置到风洞中难以保持沙面的自然状况。为此,我们通过人工吹风的方式,于2004年5月20—23日把自行设计的5个高度降尘接沙仪(0—200 cm高度)和4台内蒙古农牧大学生生产的水平输沙接沙仪(0—120 cm)分别设置在自然裸露沙丘、低覆盖度天然草场、围栏禁牧的自然恢复草场、人工草方格沙丘治理结合飞播的生态恢复治理草地及原退耕还牧的复垦农田上,开展不同垂直高度和不同距离的降尘试验和不同垂直高度的沙尘粒子截留试验。获得不同植被覆盖度下近地层不同垂直高度和水平距离的输沙和沉降数据。证实了裸露沙丘土壤风蚀最严重,防沙治沙以围栏禁牧效果最好,其次为

草网格治理,复垦农田和流动沙丘均容易起沙。虽然这些结果是在自然状况下取得的,精度低,但各处理均处在自然状况下,其影响可大部分归到系统误差内,各处理之间的比较具有一定的可信度。

## 1 试验设计

试验采用两种仪器分别测定降尘与水平输沙。降尘采用自行设计的10个降尘仪,每个制作成直径25 cm,高度20 cm的铁皮桶,内部放置直径1.2 cm的玻璃球100~200个,以防止空气扰动将已落入仪器里的沙尘卷出。水平输沙采用内蒙古农牧大学生生产的水平输沙仪,该仪器在0—1.0 m高度上分别设置24个高度的输沙量截留口,后面配置细棉布袋,各高度和输沙截留面积分别为5 cm×1 cm(0.01 m、0.03 m)、5 cm×2 cm(0.05 m、0.08 m、0.11 m、0.14 m、0.17 m、0.20 m、0.23 m、0.26 m、0.29 m)、5 cm×5 cm(0.35 m、0.40 m、0.45 m、0.50 m、0.55 m、0.60 m、0.65 m、0.70 m、0.75 m、0.80 m、0.85 m、0.90 m和1.20 m),该仪器可在上部风向标作用下始终正对着风的来向。

分别在自然沙丘、围栏禁牧的自然恢复草场(自然植被)、人工草网格治沙结合飞播的生态恢复治理沙地及退耕还牧2 a的复垦农田上选择具有代表性景观的样点,设置人工吹沙试验。每个点的风机采用2台中舞星,额定功率550 W,转速2800 RPB,风轮直径32 cm,风叶4片,叶轴距地高度设计0.4 m。尘降仪设置在风机前方4 m处,在距离地面0 cm、50 cm、100 cm、150 cm和200 cm高度上各安置一个降尘接沙仪,以测定不同高度的降尘量;输沙量测定仪也设置在距离风机4 m处,以测定不同高度输沙量(图1a)。为了解不同植被覆盖度的下垫面不同水平距离的尘降量,在距离风机1—5 m处分别设置5个尘降仪,间隔1 m,开口与地面齐平,并分别在每个尘降仪处设置手持风杯,以确定风机所制造的风速(图1b)。在4种生态景观区域分别进行吹沙试验,每个处理连续吹风2 h,采用5支手持风速仪,固定在相应位置,每隔0.5 h同时测定风机至接沙仪之间的风速变化。在每种下垫面距风机不同距离的降尘试验设计吹沙1 h,以研究不同下垫面的沙尘水平输送距离。吹沙结束后,将各接沙仪截获的沙尘用感量0.001 g的天平称重,获得各处理高度和距离处的尘降量和输沙量。将样本带回室内分析沙尘粒子数和粒径。

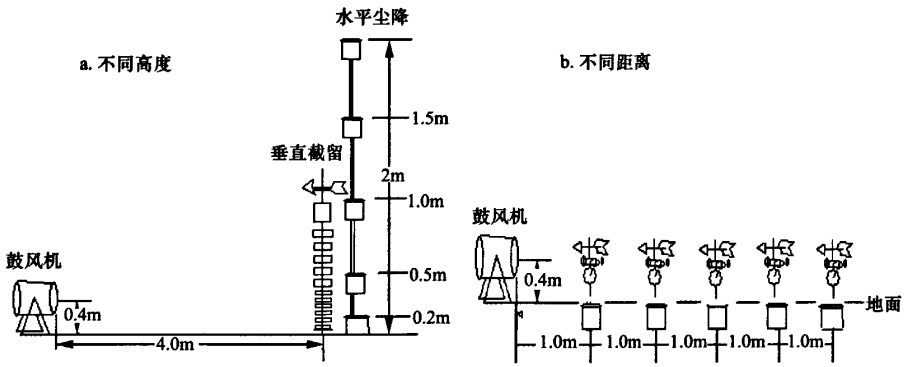


图 1 水平输沙和降尘试验

Fig. 1 Experiment on horizontal dustfall and vertical sand trap

## 2 结果分析

### 2.1 不同植被覆盖度的下垫面的风速分布

图 2 给出了在自然沙丘、围栏草场的自然植被、

草网格沙地治理和复垦农田上分别开展的吹沙试验中离风机不同距离处平均风速的变化。其中,图 2a 为尘降试验,图 2b 为输沙试验。图 2 表明,距离风机越远,吹沙试验期间平均风速越小,其风速衰减与离风机的距离呈非线性衰减。地表粗糙度越小,各

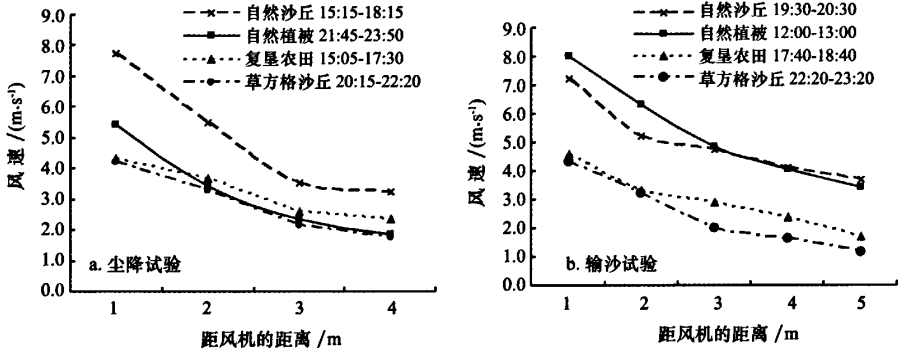


图 2 沉降试验和输沙试验距离风机各处风速

Fig. 2 Wind speed at each site within 1-5 m far from tuyere in every treatment

处风速越大。

以自然沙丘吹沙试验为例(图 3),距风机不同距离的风速在吹沙期间出现的风速脉动是由自然风

速叠加造成的,在野外吹沙试验中,各点风速实际上是风机与自然风速的叠加,因此试验选择在背景风速较小的天气下进行,且始终保持吹风方向与自然风向的一致性,以降低侧风造成的误差。图 4 为不同生态治理区域 0—2 m 风速随高度的变化廓线。裸露沙丘地表粗糙度小,且沙丘顶部高于其他区域,风速整体偏大。由于风机孔径较大,距离风机 4 m 处的风速廓线接近自然风速廓线,即风速随高度增高呈对数增大。

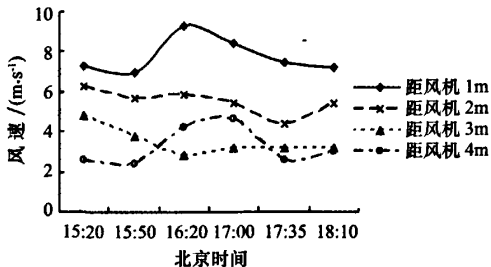


图 3 自然沙丘吹沙试验风速变化

Fig. 3 Wind speed change with time at different site from tuyere

### 2.2 不同植被覆盖度的下垫面水平输沙量

从输沙量随高度的变化来看(图 5),各处理在 80 cm 以下差异显著,80 cm 以上差异不明显。其中裸露沙丘各高度的输沙量均比其他植被覆盖处理大

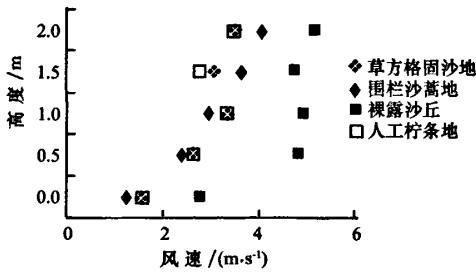


图4 不同生态治理区域风速随高度变化  
Fig. 4 Wind speed profile in each ecological management region

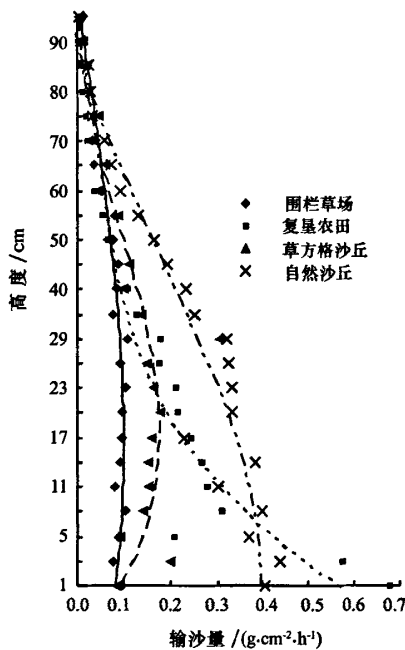


图5 不同高度单位面积截留沙量  
Fig. 5 Amount of intercepted sand per unit area at each height

得多, 下层(0—20 cm)输沙量达 0.33 ~ 0.44  $g \cdot cm^{-2}$ , 0—50 cm 输沙量为 0.165 ~ 0.33  $g \cdot cm^{-2}$ , 50—80 cm 为 0.03 ~ 0.165  $g \cdot cm^{-2}$ , 表明裸露沙丘土壤风蚀非常严重。输沙量次大的是复垦农田, 虽然在 8—80 cm 范围内输沙量少于裸露沙丘, 为 0.31 ~ 0.02  $g \cdot cm^{-2}$ , 但在 8 cm 以下输沙量为 0.40 ~ 0.68  $g \cdot cm^{-2}$ , 远远多于裸露沙丘, 表明一旦地表植被遭到破坏, 表层疏松土壤极易风蚀, 立即会成为比裸露沙丘更严重的沙源地, 成为荒漠化草场最丰富的沙源。这种情况往往发生在农田复耕、乱挖甘草或遭受严重旱灾等导致地表植被遭到严重破坏的情形下。

输沙量相对较少的处理是草网格恢复沙地, 最大输沙量为 0.18  $g \cdot cm^{-2}$ , 高度在 20 cm, 向下向上输沙量均逐步减少。该类型是本项目区主要采用的植被恢复方式, 即先采用草网格将流动沙丘固定, 网格中心的松动土壤经过春季强烈的风蚀作用移动到扎制的网格周围, 自然形成了凹坑, 夏季雨水较多, 且网格内侧的雨水可流向凹坑底部, 并下渗, 使局部土壤湿度大于周边, 形成了有利于植物萌芽的土壤湿度小环境, 加上雨水所携带的泥沙在凹坑底部形成了很薄的一层硬壳, 有利于其下层土壤的保墒。如果在雨季飞播速生草籽, 可先期形成沙蒿等优势植被种群, 达到较快固沙的目的。以后该网格内的草被可进入自然种群的交替和演化, 达到稳定固沙和改良土壤的目的。本试验处理的草网格内以沙蒿、苦豆子为主, 还有一些正在演替的其他植物。

输沙量最少的是自然植被恢复良好的围栏草场, 0—40 cm 输沙量均小于其他处理, 最大输沙量为 0.107  $g \cdot cm^{-2}$ 。综观试验结果, 证明防沙以围栏禁牧效果最好, 其次为草网格治理, 复垦农田和流动沙丘均容易起沙。

### 2.3 不同植被覆盖度的下垫面不同高度降尘量

从不同高度总的降尘来看(图6), 围栏禁牧草场最大, 为 147.7  $g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ , 其次为草网格沙

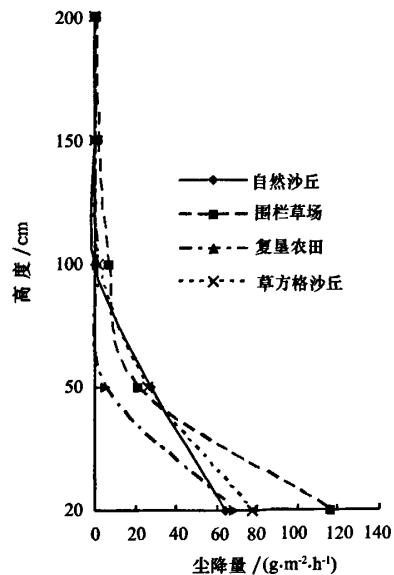


图6 不同植被覆盖度下各高度的水平尘降  
Fig. 6 Amount of horizontal dustfall at each height over different vegetation cover

地,为  $107.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,再次为自然沙丘,为  $93.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ,最少为复垦农田,为  $74.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 。说明围栏禁牧草场吹起的沙尘降落较快,草网格沙地尘降次之,复垦农田尘降较少,大部分漂浮在空中。从所接到的尘降高度来看,围栏禁牧草场 200 cm 以上仍能接收到尘降,复垦农田最大尘降高度为 150 cm,草网格沙地最高接收到的尘降在 100 cm 高度,自然沙丘沙尘仅漂浮到 50 cm 高处。沙尘漂浮得越高,粒径越小,质量越轻。上述结果说明同样的风力下,围栏禁牧草场吹起的沙尘粒子粒径小,自然沙丘吹起的沙尘粒子粒径大。自然沙丘表层细微粒子早已经被吹走,留下的沙尘粒子粒径都较大,因此漂浮高度最低,也证实了裸露沙丘以低层滚动居多,漂浮较远的细小沙尘主要来自天然草场和翻耕的耕地<sup>[22]</sup>。

#### 2.4 不同植被覆盖度下垫面不同水平距离的尘降

图 7 是离风机不同距离的地表降尘分布,可看出,复垦农田和草网格沙地吹起的沙尘降落的较少,漂浮距离远,而围栏禁牧和裸露沙丘的地区尘降较大,漂浮的沙尘许多都降落到地表。一般来说,固定风速的风机吹不同的下垫面,沙尘降落的较近的粒径大,质量也较大,移动、漂浮距离短,反之,沙尘降落较远的粒径小,移动或漂浮距离长。从不同水平距离尘降来看,复垦农田和草网格沙地最大尘降发生在距离风机 1 m 处,表明这些类型的表层土壤被风吹起的大粒径比细小粒径多,受地表粗糙度大的影响,漂浮距离短。而围栏禁牧的地区最大尘降发生在距风机 2 m 处,裸露沙丘则在 3 m 以上,说明随着地表粗糙度的下降,表土中细小粒子占的比重加大,风速衰减慢,尘降距离远。

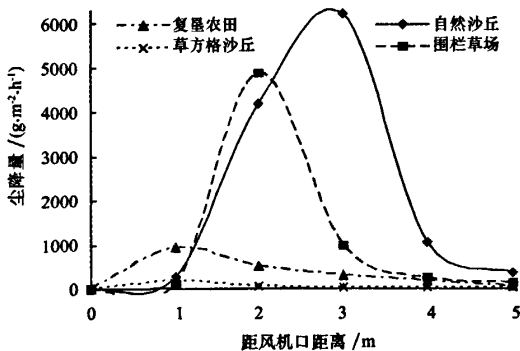


图 7 距离风机不同距离地表水平尘降

Fig. 7 Amount of horizontal dustfall at every spot from tuyere on different vegetation cover

### 3 结论

从这两个试验结果可以得到以下几个结论:

1) 裸露沙丘土壤风蚀最严重,一旦地表植被遭到破坏,表层疏松土壤极易遭受风蚀,成为荒漠化草场最丰富的沙源。农田复耕、乱挖甘草或遭受严重旱灾等导致地表植被遭到严重破坏,均可引起沙尘源的增加。

2) 防沙治沙以围栏禁牧效果最好,其次为草网格治理,复垦农田和流动沙丘均容易起沙。

3) 围栏禁牧草场吹起的沙尘降落较快,草网格沙地尘降次之,复垦农田尘降较少,大部分漂浮在空中。沙尘漂浮得越高,粒径越小,质量越轻。同样的风力下,围栏禁牧草场吹起的沙尘粒子粒径小,自然沙丘吹起的沙尘粒子粒径大。裸露沙丘以低层滚动为主,漂浮较远的细小沙尘主要来自天然草场和翻耕的耕地。

4) 复垦农田和草网格沙地吹起的沙尘降落的较少,漂浮距离远,而围栏禁牧和裸露沙丘的地区尘降较大,漂浮的沙尘许多都降落到地表。

5) 复垦农田和草网格沙地表层土壤被风吹起的大粒径比细小粒径的多,受地表粗糙度大的影响,漂浮距离短。随着地表粗糙度的下降,表土中细小粒子占的比重加大,风速衰减慢,尘降距离远。

#### 参考文献 (References):

- [1] 牛生杰,章澄昌,孙继明. 贺兰山地区沙尘暴若干问题的观测研究[J]. 气象学报, 2001, 59(2): 196-205.
- [2] 马力文,赵光平,陈楠,等. 宁夏盐池地区沙尘暴发生特征的统计分析[J]. 中国沙漠, 2004, 24(2): 218-222.
- [3] 李艳春,李艳芳. 宁夏近百年来气候变化及突变分析[J]. 高原气象, 2001, 20(1): 100-104.
- [4] 赵光平,陈楠,杨建玲. 宁夏中部干旱带生态变化与沙尘暴发生的关系分析[J]. 应用气象学报, 2004, 15(4): 477-484.
- [5] 刘黎明,李蕾,赖敏. 西部地区生态退耕的“效益问题”及其评价方法探讨[J]. 生态环境, 2005, 14(5): 794-797.
- [6] 陈灿灿,谢英荷,张勇,等. 区域土地退耕建设效益评价指标体系的初探[J]. 防护林科技, 2005(3): 105-108.
- [7] 李世荣,李文忠,李福源,等. 青海大通退耕还林生态功能综合评价[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 252-254.
- [8] 孙震,尹林克,孟林,等. 塔河中下游退耕适宜性评价的指标体系及其权重[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(2): 169-173.
- [9] 李蕾,刘黎明,谢花林. 退耕还林还草工程的土壤保持效益及其生态经济价值评估[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 161-167.
- [10] 龙健,邓启琼,江新荣,等. 西南喀斯特地区退耕还林(草)模式对土壤肥力质量演变的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7):

- 1279—1284.
- [11] 李文忠,贺永元,张伟华,等.北川河流域退耕还林(草)对土壤质量影响的评价[J].水土保持研究,2005,12(6):1—3.
- [12] 邵玉琴.恢复草地和退化草地土壤微生物类群数量的分布特征[J].中国沙漠,2004,24(2):223—226.
- [13] 肖洪浪,李新荣,段争虎,等.流沙固定过程中土壤—植被系统演变[J].中国沙漠,2003,23(6):605—611.
- [14] 刘刚才,李兰,周忠浩,等.紫色土丘陵区坡耕地退耕对水土流失的影响及其效益评价[J].中国水土保持科学,2005,3(4):32—36.
- [15] 张俊,周成虎,张永民,等.张北生态退耕遥感监测与评价[J].资源科学,2006,28(2):104—108.
- [16] Dieter J. Desertification and Dune Stabilization Techniques in China[J].中国沙漠,2000,20(2):140—144.
- [17] 郝成元,吴绍洪,杨勤业.毛乌素地区沙漠化与土地利用研究[J].中国沙漠,2005,25(1):33—39.
- [18] 杨具瑞,方铎,毕慧芬,等.非均匀风沙起动规律研究[J].中国沙漠,2004,24(2):248—251.
- [19] 邢茂,郭烈锦.低含水率沙床的临界起沙风速[J].西安交通大学学报,2003,37(3):318—327.
- [20] 王洪涛,董治宝,钱广强,等.关于风沙流中风速廓线的进一步实验研究[J].中国沙漠,2003,23(6):721—724.
- [21] 张克存,屈建军,董治宝,等.风沙流中风速脉动对输沙量的影响[J].中国沙漠,2006,26(3):336—340.
- [22] 李振山,张琦峰.风沙流的输沙率沿程变化规律[J].中国沙漠,2006,26(2):189—193.
- [23] 董玉祥,康国定.中国干旱半干旱地区风蚀气候侵蚀力的计算与分析[J].水土保持学报,1994,8(3):1—7.

## Experimental Research on Sand Blown Characters from Sandy Land with Different Vegetation Cover in East of Yellow River in Ningxia

LIU Jing<sup>1</sup>, MAO Jun-xu<sup>2</sup>, WANG Lian-xi<sup>1</sup>, SHI Xue-jun<sup>2</sup>, HE Lian<sup>3</sup>

(1. Ningxia Key Laboratory for Preventing and Reducing Meteorological Disaster, Yinchuan 750002, China; 2. Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, Henan, China; 3. Lühai Limited Company for Lühai alfalfa Production Development, Yanchi 751500, Ningxia, China)

**Abstract:** In order to evaluate the effect of vegetation recovering measurements for the east sandy land of Yellow River in Ningxia, we conducted experiment on dustfall at different height and different distance from tuyere, and on sand trap at different height in May 20—23, 2004. The applied instruments are the Horizontal Dustfall Acceptor at five heights designed by ourselves and the Vertical Sand Interceptor produced by the Agriculture and Stockbreeding College of Inner Mongolia. The underlying surfaces for experiment include bared sand dune, low-covered natural grassland, closed rehabilitating grassland, ecological controlled grassland compounding with straw-checkerboard and air seeding measurements, and recultivated farmland. Results show that the most serious wind erosion occurred on bared sand dune, the best sand controlling effect on the enclosed grasslands and the second effect on straw-checkerboard areas; the recovered farmland and the moving dunes are ready for wind erosion.

**Keywords:** desertification; wind erosion; sandstorm; blowing experiment; dustfall; sand transportation, ecological control