

# 民勤绿洲边缘带灌丛沙丘防风作用研究

王升堂<sup>1,2</sup>, 邹学勇<sup>2</sup>, 张春来<sup>2</sup>, 程 宏<sup>2</sup>

(1 皖西学院城市建设与环境系, 安徽 六安 237012; 2 北京师范大学中国沙漠研究中心, 北京 100875)

摘要: 对民勤天然绿洲边缘带的固定、半固定及半流动风速灌丛沙丘实地观测表明, 气流通过单个固定灌丛沙丘时, 近地面平均风速降低 4.4%, 在 965 m 观测样线内降低 57%, 且风是连续降低的, 愈靠近内侧降低得愈多, 到绿洲内部农田边缘处时, 平均风速仅有对照点的 21%。深入了解灌丛沙丘对绿洲的防护机理, 对于合理保护和恢复绿洲边缘带灌丛沙丘, 避免绿洲遭受风沙侵袭具有重要意义。

关键词: 绿洲边缘带; 灌丛沙丘; 天然粗糙元; 降低风速

中图分类号: S153 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2007)01-0104-05

绿洲是干旱区荒漠中有稳定水源可供植物良好生长或人类聚集繁衍的生态地理区域<sup>[1]</sup>, 它寓于荒漠又异于荒漠, 依一定的条件而相互转化<sup>[2]</sup>。绿洲外围被荒漠所包围, 就绿洲与荒漠宏观界面而言, 有二种类型: 突变型与渐变型<sup>[3]</sup>。突变型指绿洲外紧邻荒漠, 二者界限分明, 边缘带呈线性形态。渐变型指绿洲与外围荒漠间存在一定宽度的过渡带, 处于绿洲到荒漠环境梯度的中间状态, 是两类景观迭加区。它是由水分、温度、能量、有机体等要素形成的较大的水平递变梯度的带状区域, 是这种转化活动程度最剧烈、表现最突出的地区, 其形态、结构及动态变化是全球变化的区域响应及不同景观演变过程与特征的重要标志<sup>[4]</sup>。正因为如此, 绿洲边缘带已成为干旱区研究的一个热点问题, 并从植物生态、景观生态、水量平衡等角度对这一区域进行了大量研究<sup>[5-10]</sup>, 但对其防风作用的研究相对较少。本文通过对民勤绿洲边缘带灌丛沙丘区的风沙实地观测, 探讨绿洲边缘带固定、半固定及半流动灌丛沙丘的防风作用。

## 1 研究区概况

民勤绿洲是河西走廊东端石羊河延伸到腾格里沙漠腹地出现的隐域性景观, 其东北部被腾格里沙漠包围, 西北有巴丹吉林沙漠环绕(图 1)。它象楔子嵌入其间, 阻挡着两大流动沙漠的合拢之势, 周围被固定、半固定、半流动、流动沙丘所包围, 边

缘带呈马掌形分布。



图 1 民勤绿洲地域结构示意图

Fig 1 Sketch map of terrain structure of Minqin Oasis

民勤绿洲历史悠久, 有人类活动已有 4 000 多年。自汉武帝元狩二年 (121 a B. C.) 霍去病大败匈奴以后, 随着农耕文化的传入, 本区由一个纯粹牧业区逐步演变成农业区。在以后的历史进程中, 人类开发规模不断扩大, 加之自然环境的变化, 民勤从一个 土沃泽饶、可耕可渔 的湿生环境, 演变为 十地九沙, 非灌不殖 的干旱荒漠环境<sup>[11]</sup>。特别是近半个世纪以来, 由于人口的快速增长和水土资源的不合理利用<sup>[12-13]</sup>, 民勤成为干旱区生态环境恶化的典型, 绿洲边缘带也严重退化, 部分地段绿洲已与流动沙漠直接相连, 边缘带退化成生态裂谷, 由保护绿洲的屏障演变成风沙侵袭绿洲

收稿日期: 2005-11-3 修订日期: 2006-04-17

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(批准号 10532030)资助。

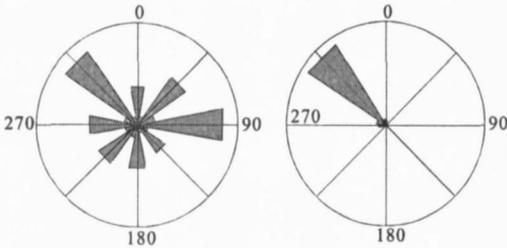
作者简介: 王升堂(1964-), 男, 安徽金寨人, 博士研究生, 现从事荒漠化防治工程研究。E-mail: wsl@wxc.edu.cn

的前沿, 导致沙进人退。为此加强其边缘带的研究与恢复重建, 维护绿洲边缘灌丛沙丘的稳定, 对绿洲的稳定发展显得十分重要。

## 2 观测点布置与结果分析

### 2.1 观测点布置

民勤绿洲沙害有多个风向(图 2a), 这里的主风向为西北风, 大于  $6 \text{ m/s}$  的起沙风 N、NNW、NW、WNW、W 5 个方向占 97.9%, 其中 NW 风占 74.6% (图 2b)。



a 民勤风向; b 风速大于  $6 \text{ m/s}$  风向分布

图 2 民勤风向玫瑰图

Fig. 2 Wind rose diagram in Minqin

因此, 选择绿洲西部边缘刘家地村的灌丛沙丘群作为观测区域。此地主要由流动、半流动、半固定、固定沙丘组成, 沙丘高度  $1 \sim 4 \text{ m}$  不等, 沙丘上的灌木主要为红砂、白刺和红柳, 半固定、固定沙丘植被盖度介于  $14\% \sim 45\%$  之间。观测样带内, 从农田到流动沙漠之间沙丘的分布依次为固定沙丘、半固定沙丘、半流动沙丘和流动沙丘, 植被盖度依次降低, 表现出明显的梯度特征, 属典型绿洲边缘过渡带(图 1)。为了分析绿洲边缘带的固定、半固定及半流动灌丛沙丘对近地面气流场影响, 选择了一条观测样线和一个白刺灌丛固定沙丘进行近地面风速观测。观测样线可以代表民勤绿洲上风向边缘带灌丛沙丘群的典型分布, 观测样点是一个植被盖度较高的典型白刺灌丛固定沙丘, 气流在其近地面的变化能反映灌丛沙丘降低风速的机理。观测样线的沙丘分布和观测点的布置如图 3a 其目的是观测气流通过整个边缘带时的变化。白刺灌丛固定沙丘观测剖面形态及其上观测点的布置如图 4a 其目的是揭示单个灌丛沙丘近地面风速的变化, 及其在灌丛沙丘带内减缓近地面风速的作用机理。观测仪器为研制的多道梯度风速仪, 可测不同高度上的 9 个风速及  $0 \sim 360$  风向, 风速的测

量范围为  $0.3 \sim 30 \text{ m/s}$ , 分辨率为  $0.1 \text{ m/s}$ , 风向的分辨率为  $3^\circ$ 。该仪器配有数据采集器, 能自动采集  $1 \text{ min}$ 、 $10 \text{ min}$  滑动平均数据, 结果以 ASCII 码数据输出, 可直接用 Excel 软件进行统计分析<sup>[14]</sup>。该风速仪经风洞检测和野外使用, 获得的数据可靠。在沙丘剖面和样线沿风向观测近地面不同高度的风速变化, 以确定不同高度上气流的分布形式。因为风沙流是一种近地面风沙运动现象, 风力搬运的沙物质 90% 以上集中在近地面  $50 \text{ cm}$  高度内。就抑制风蚀和阻截风沙流而言, 近地面  $60 \text{ cm}$  高度内气流场最为重要。所以观测高度定为  $10 \text{ cm}$ 、 $20 \text{ cm}$ 、 $40 \text{ cm}$ 、 $60 \text{ cm}$ 、 $80 \text{ cm}$ 。风速数据是  $1 \text{ min}$  平均值, 每个观测点同步重复三次观测。为了便于比较各个观测点的风速变化, 将各观测点不同高度的风速值换算成相对于参考点同高度的风速比值, 即以参考点各高度风速为 1, 计算出各观测点相对于参考点的风速比值。

### 2.2 观测样线近地面风速变化

观测样线长  $965 \text{ m}$ , 从西部流动沙地一直到农田, 西北-东南走向, 与民勤沙害主风向一致, 观测点的分布见图 3a 因图幅宽度所限, 没有将上风向作为参考点的 1 号观测点表示在图上, 1 号观测点位于 2 号点上风向(西北方向)  $135 \text{ m}$ , 为相对平坦的流沙地。从 2~10 号观测点相对于 1 号观测点的风速比值来看(图 3b), 样线的风速变化呈现出“增大-逐步降低-增大”的特点。1~2 号点各高度层的风速都有所增加, 平均风速增加了  $7.5\%$ ,  $10 \text{ cm}$  高度增加的最多, 达到  $14\%$ ;  $80 \text{ cm}$  高度仅增加  $6.6\%$ 。2~9 号点各点的风速逐步降低, 愈靠近内侧降低得愈多, 9 号点平均风速仅相当于 1 号点的  $10.7\%$ , 2~9 号点各高度层平均风速相对于 1 号点降低了  $53.8\%$ 。在高程方向上, 愈靠近近地面降低的愈多,  $10 \text{ cm}$  高度平均风速降低  $61.7\%$ ,  $80 \text{ cm}$  高度降低  $48.7\%$ 。9~10 号点风速呈现出增加趋势, 由于前面各点风速连续降低, 10 号点各高度层风速虽有所增加, 但各高度层平均风速也只有 1 号对照点的  $21\%$ 。整个观测样线上, 即 1~10 号点平均风速降低  $57\%$ 。

风速沿样线变化之所以具有上述特点, 是因为近地面的气流场深受地表特征的影响。随沙丘灌丛植被盖度的增加和地形起伏的变化, 地表低层空间纵横交错、高低相间、凹凸不平的下垫面, 提高了近地面空气动力粗糙度, 改变了近地层的湍流交换和气流结构, 消耗大量能量, 从而依次降低了近地

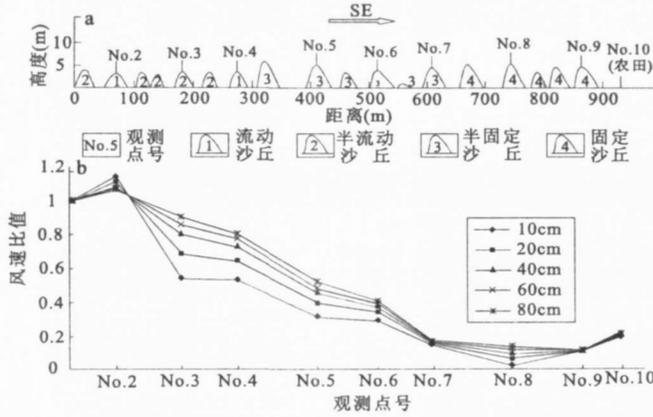


图 3 边缘带观测样线上观测点的分布与不同高度的风速变化

Fig 3 Distribution of observation points and changes of wind velocity at different height on sample observation line in belt of oasis border

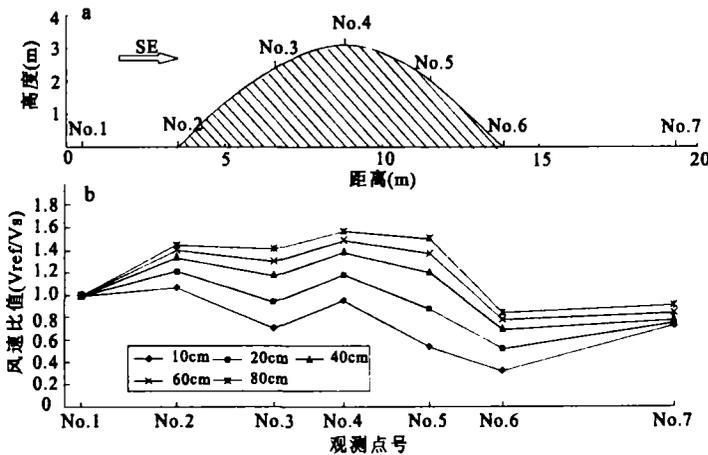


图 4 固定沙丘观测剖面及其近地面不同高度上的风速变化

Fig 4 Sketch of observation section on stable dune and changes of wind velocity at different height above its surface

面的风速,越靠近近地面层,风速降低越多。至于 2号点各高度层风速都有所增大,是因为 2号点位于流动沙丘顶部,由于丘顶的集流加速作用,使各层风速有所增加。而 10号点位于农田,地表平坦,粗糙度降低,风速呈现渐趋恢复的态势,各高度层风速都有所增加。

### 2 3 灌丛固定沙丘近地面风速变化

观测样线近地面的风速变化,反映气流通过绿洲边缘带灌丛沙丘群时强度变化的总体特征,从较大尺度上说明绿洲边缘带灌丛沙丘群的防风作用。为更深入分析其降低风速的机制,对沙丘群中一个白刺灌丛固定沙丘进行细部观测,这个沙丘高 3 3 m,植被盖度 42%。

就沙丘表面气流而言,在迎风坡和背风坡表现出不同的特点,在迎风坡以被加速为主要特征,常

用风速放大率来指示风速,其定义为:

$$S = V_{ref} / V_s \quad (1)$$

式中,  $S$  为风速放大率,  $V_{ref}$  和  $V_s$  分别为沙丘顶部以及迎风坡坡脚水平面上的风速。风速放大率与风向(入射角)、坡形系数、沙丘高度、来流强度等参数有关<sup>[15]</sup>。沙丘背风坡气流一般都属于二次流的范畴,主要包括分离气流、偏向气流,以及与风向一致的表面附流等,气流强度从丘顶到背风坡坡角逐步降低<sup>[16]</sup>(图 4b)。

图 4b中,风速总体变化具有一般沙丘前后风速变化的特征,但与流动沙丘显著不同的是风速变化呈现振荡式变化特点。在迎风坡气流表现为振荡缓慢增加,从坡角至沙丘顶部平均风速增大 32%;在背风坡从沙丘顶部至坡角风速降低,坡角风速相当于坡顶风速的 48 4%。整个观测剖面上

风速波浪式降低,从沙丘前的1号点至沙丘后7号点,平均风速降低4.4%。固定沙丘近地面风速波浪式降低,表明其近地面气流既受植被影响又受沙丘形态影响,尤其是在植被层内,气流受植株影响强烈,表现出振荡的特征。由于植物分散了近地表气流中的风动量,从而引起近地表风速廓线的变化,改变近地表气流结构。风洞模拟实验研究表明<sup>[17]</sup>,在一定风速下,对数风速廓线中的粗糙度 $Z_0$ 值随植物密度的增加呈幂函数增加。由此可见,灌丛沙丘是在气流运行过程中对近地面气流起显著作用的粗糙元,使粗糙度明显增加,它不仅改变了近地面的气流结构,而且也消耗了气流中的动能,从而使近地面气流强度减弱、风速降低。正是因为每个固定、半固定及半流动灌丛沙丘使近地面风速振荡式降低,从而使得边缘带观测样线上风速连续降低。

灌丛沙丘植被在降低风速上起重要作用,对土壤风蚀也有重要影响。植被对土壤风蚀影响的风洞实验研究表明<sup>[18]</sup>,植被盖度与风蚀速率间存在良好的对应关系,最佳拟合函数关系式为:

$$Q = a + b \exp(-VC/c) \quad (2)$$

式中, $Q$ 为土壤风蚀速率 $[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})]$ , $VC$ 为植被覆盖度(%), $a$ 、 $b$ 、 $c$ 为常数,此式反映了植被盖度变化对土壤风蚀的非线性影响,风蚀量随植被盖度增加呈指数函数减小。当临界植被盖度大于某一阈值后,任何风力条件下都不会产生风蚀。

从以上风速变化分析可看出,由固定、半固定及半流动灌丛沙丘构成的绿洲边缘带有很好的防风效果。风速降低必然抑制就地起沙并促进风沙流中沙尘沉积,避免流沙侵袭绿洲。风速的降低主要因为造成地形起伏的灌丛沙丘及沙丘上灌丛植被起了重要作用。有一定植被覆盖的固定、半固定沙丘构成的边缘带愈宽,其防护效果愈好。

### 3 结 论

沙丘剖面和样线的观测结果充分证明了灌丛沙丘具有很强的防风作用,在965m的观测样线内近地面层风速平均降低了57%,且风速是连续降低的。在绿洲内部农田边缘虽有所增加,但平均风速也只有对照点的21%。由此可见,植被覆盖良好的灌丛沙丘构成的绿洲边缘带是绿洲的第一道绿色屏障,它既能显著降低近地面风速,又能阻滞风沙流前进。即使在植被覆盖度不高的半流动沙

丘区,外来风沙流或就地形成的风沙流,也会被沙丘和稀疏植被层层阻拦,从而大大降低进入绿洲内部风沙流强度。因此,灌丛沙丘对于保持绿洲稳定,抵御和减少绿洲内部的风沙、干热风等自然灾害,防止流沙向绿洲内部侵袭起着十分重要作用。

由灌丛沙丘构成的绿洲边缘带是最脆弱、最不稳定的生态系统类型之一,具有高机率的被替代性、弱的抗干扰能力、低概率的原状恢复性特点。由于生境脆弱,边缘带原有状态一旦被破坏,自然恢复十分困难,原来起保护作用的边缘带反而成为绿洲荒漠化最近的策源地。由于人类活动(如过度放牧和樵采等)导致绿洲边缘带生境退化,其波及范围常常达到绿洲外界10~40km,甚至达60km,其中紧邻绿洲的3~6km界外区,植被盖度甚至低于其外部的广大荒漠,成为生态断裂带或生态裂谷<sup>[2]</sup>。此区也由保护绿洲稳定的屏障演变成威胁绿洲存在的外患。

由此可见,处于稳定状态的灌丛沙丘边缘带对绿洲起着屏障作用,而成为生态裂谷的边缘带则是沙漠侵袭绿洲的前沿。因此,在绿洲的防护问题上,既要加强绿洲内部林网建设,也要注重边缘区植被的保护和恢复。寸草遮丈风,保护边缘带的一草一木。维持合理的生态用水,人工辅助绿洲边缘带生态系统向自然的正向演替,通过改变边缘带植被类型及其盖度来促进绿洲化过程,阻止外围沙漠向绿洲侵袭,进而消除威胁绿洲稳定的外患,并使之成为保护绿洲稳定的屏障,这对绿洲的稳定发展具有十分重要的意义。

### 参考文献:

- [1] 韩德林. 关于绿洲若干问题的认识 [J]. 干旱区资源与环境, 1995, 9(3): 15~31
- [2] 黄培佑. 绿洲与沙漠化过程的初步研究 [J]. 新疆环境保护, 1990, 12(2): 13~16
- [3] 贾宝全, 闫顺. 绿洲-荒漠生态系统交错带环境演变过程初步研究 [J]. 干旱区资源与环境, 1995, 9(3): 58~64
- [4] 楚新正, 张素红. 景观边缘带性质、功能及动态变化的初步研究 [J]. 新疆师范大学学报(自然科学版) 2002, 21(3): 50~54.
- [5] 程国栋, 肖笃宁, 王根绪. 论干旱区景观生态特征与景观生态建设 [J]. 地球科学进展, 1999, 14(1): 11~14
- [6] 王兵, 崔向慧. 民勤绿洲-荒漠过渡区水量平衡规律研究 [J]. 生态学报, 2004, 24(2): 235~239
- [7] 赵成义, 王玉朝, 李国振. 荒漠-绿洲边缘区研究 [J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 93~95.

- [ 8 ] 陈 鹏, 初 雨, 顾峰雪, 等. 绿洲 - 荒漠过渡带景观的植被与土壤特征要素的空间异质性分析 [ J ]. 应用生态学报, 2003 14 ( 6 ): 904~ 908.
- [ 9 ] 李向义, 张希明, 何兴元, 等. 沙漠 - 绿洲过渡带四种多年生植物水分关系特征 [ J ]. 生态学报, 2004 24 ( 6 ): 1164 ~ 1171.
- [ 10 ] 曹 宇, 欧阳华, 肖笃宁, 等. 额济纳天然绿洲景观变化及其生态环境效应 [ J ]. 地理研究, 2005 24 ( 1 ): 130~ 139.
- [ 11 ] 颜耀文, 陈发虎, 王乃昂. 近 2000 年来甘肃民勤盆地绿洲的空间变化 [ J ]. 地理学报, 2004 59 ( 5 ): 662~ 670.
- [ 12 ] 孙雪涛. 民勤绿洲水资源利用的历史现状和未来 [ J ]. 中国工程科学, 2004 6 ( 1 ): 1~ 9.
- [ 13 ] 徐宪立, 张科利, 庞 玲, 等. 青藏公路路堤边坡产流产沙规律及影响因素分析 [ J ]. 地理科学, 2006 26 ( 2 ): 211~ 216.
- [ 14 ] 王升堂, 赵延治, 邹学勇, 等. 北京郊区不同土地利用类型起沙起尘的特征研究 [ J ]. 地理科学, 2005, 25 ( 5 ): 601~ 605.
- [ 15 ] 哈 斯, 董光荣, 王贵勇. 腾格里沙漠东南缘沙丘表面气流与坡面形态的关系 [ J ]. 中国沙漠, 1999, 19 ( 1 ): 1~ 4.
- [ 16 ] 哈 斯, 王贵勇. 沙丘背风侧气流的变化特征及其意义 [ J ]. 地理科学, 2000 20 ( 6 ): 573~ 576.
- [ 17 ] Zhibao Dong, Shangyu Gao, Donakl W. Fryrear Drag coefficients roughness length and zero-plane displacement height as disturbed by artificial standing vegetation [ J ]. Journal of Arid Environments 2001, 49 ( 3 ): 485- 505.
- [ 18 ] 张春来, 邹学勇, 董光荣, 等. 植被对土壤风蚀影响的风洞实验研究 [ J ]. 水土保持学报, 2003, 17 ( 3 ): 31~ 33.

## Wind-protecting Effect of Shrub Dunes in Ecotone of Minqin Oasis

WANG Sheng-Tang<sup>1, 2</sup>, ZOU Xue-Yong<sup>2</sup>, CHANG Chur-Lai<sup>2</sup>, CHENG Hong<sup>2</sup>

( 1 Urban Construction and Environment Department Wanxi College, Lu an, Anhui 237012;

2 China Center of Desert Research, Beijing Normal University, Beijing 100875)

**Abstract** The belt of oasis border is usually called as ecotone of desert and oasis, which is mainly composed of shrub dunes. These shrub dunes can be divided into stable dune, semi-stable dune, semi-shift dune and shift dune by coverage of vegetation. A lot of studies have indicated that these shrub dunes are nature roughness unit and they have significant roles on airflow near land surface. They can change a airflow structure and interchange of air torrent at boundary layer near land surface. They can also increase resistance of land surface to moving airflow by enhancing aerodynamic roughness length. When airflow blow passed shrub dunes, wind speed will be decreased remarkably because the dunes resist wind. So, shrub dunes in ecotone are very important defending barrier to nature oasis. This research selected a sample line (965m) mainly composed of stable dune, semi-stable dune and semi-shift dune in ecotone of Minqin oasis and one of stable shrub dune as study object. Field observation results indicate that mean wind speed at layers near land surface decrease 44% through the sample stable shrub dune and decrease 57% through the sample line. The mean wind velocity is reduced continuously along the sample line. At the edge of cropland inner of oasis, the wind velocity is only 21% referring to reference observation point. But shrub dunes in ecotone of oasis are one kind of the most vulnerable and unstable ecosystem and they are easily vulnerable to become degeneration ecosystem so as to threaten the sustainable development of oasis. The evolutions of shrub dunes are mainly influenced by human activities and climate changes. If they degenerate to be shift dunes, they will change from shelter barrier to be dust bowl. So, attention should be paid not only to the inner but also to the outer of oasis about its protection. Shrub and grass belts should be built in the surroundings while windbreak grid built in the inner and base windbreak built at the edge of oasis. Water is the most important factor to the stableness of the ecotone. It is significant for the sustainable development of oasis to supply sufficient ecological water utilized to realize the stableness of the belts of oasis border; at the same time, all kinds of human destruction activities should be forbidden.

**Key words** ecotone of desert and oasis; shrub dunes; nature roughness unit; reducing wind speed