

# 不同高度阻沙栅栏蚀积过程及防沙效益研究

安志山, 张克存, 谭立海, 李建国

(中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 敦煌戈壁荒漠研究站/沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 通过对不同高度阻沙栅栏蚀积过程的野外观测, 结合同时期区域风况资料, 分析了阻沙栅栏前后地表蚀积形态、蚀积量以及蚀积强度的时空变化特征。结果表明, 在沙源充足条件下, 不同高度阻沙栅栏上风向表现为风沙堆积, 下风向风蚀与堆积共存, 且程度与栅栏高度有关, 栅栏总体蚀积量和蚀积强度的变化趋势与下风向变化趋势相近。其中, 60 和 70 cm 高度阻沙栅栏风沙堆积量最大, 防沙效果最佳, 但二者积沙方向存在差别。70 cm 高度阻沙栅栏上风向积沙较多; 60 cm 高度阻沙栅栏下风向积沙较多。在实际应用中, 应依据防护对象合理配置阻沙栅栏并适时加高, 避免阻沙栅栏过低或过高, 进而影响防沙效果。此外, 依据断面形态、蚀积量和蚀积强度的变化, 将栅栏前后分为风沙堆积区、风蚀区和蚀积平衡区。

**关键词:** 阻沙栅栏; 蚀积过程; 防沙效益

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)06-0037-05

中图分类号: P425.55

## Process of Aeolian Sand Erosion and Deposition and Sand Controlling Effect of Fences with Different Height

AN Zhi-shan, ZHANG Ke-cun, TAN Li-hai, LI Jian-guo

(Dunhuang Gobi Research Station/Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** A case study on the quantity of aeolian sand erosion and deposition of fences with different height was carried out in the observation station of Chinese Academy of Sciences at southeast of Tengger Desert. The fences with different heights were deployed in the field. Combining the observed weather data and the data of aeolian sand erosion and deposition of barrier-free flat desert over the same period, it is concluded that the sand prevention effect of the fences with the height between 50 and 90 cm is better than others. And the fences with the height between 60 and 70 cm have the best effect. However, the quantity of sand deposition is different in the up and down wind. The quantity of sand deposition is with the fences of 70 cm in the upward wind while there was more sand with the fence of 60 cm in the downward wind. In the upward wind, sand is accumulated. In the downward wind, the intensity of aeolian sand erosion and deposition change with the height of fences. In practice, we must consider the properties of protection object. Only in this way can we achieve better sand protection effect. Besides, according to the pattern of cross section, the quantity and the intense of aeolian sand erosion and deposition, the sector of the front and rear of fences was divided into sand accumulation area, wind erosion area and balance area.

**Keywords:** fences; process of aeolian sand erosion and deposition; sand controlling effect

风是塑造地貌形态的基本营力之一,也是沙粒发生运动的动力基础<sup>[1-2]</sup>。蚀积量和蚀积强度是阐明风成地貌发育以及防治风沙灾害的基础。沙粒在起动、搬运和堆积过程中,受区域风况、沙源与下垫面等多种因素影响,形成研究问题的复杂化<sup>[3-4]</sup>。在风沙工程中,越来越多的阻沙栅栏得到应用并取得了较好的

防沙效益。野外观测和风洞试验研究方法的结合使得风沙蚀积量和阻沙栅栏的研究取得较大进展<sup>[5-9]</sup>。其中,刘连友等<sup>[8]</sup>通过野外观测,并结合遥感解译,得出黄土丘陵蚀积量和蚀积强度由东南向西北增强。张克存等<sup>[2]</sup>通过风洞试验,得出不同孔隙度栅栏内风沙流中各高度层脉动风速具有较好的相关性。汪万

福等<sup>[9]</sup>通过野外观测和风洞模拟得出孔隙度为 20%~25%的尼龙网栅栏的防护范围为 23.5~29.5 H。罗万银等<sup>[10]</sup>通过风洞试验,将阻沙栅栏两侧流场划分为 6 个典型区域。但目前风沙工程中仍无法确定合适的阻沙栅栏高度,栅栏过低,防沙效果较差,栅栏过高,成本高且易被大风吹倒。为给风沙工程以及阻沙栅栏的有效配置提供科学依据,本研究通过在充足沙源的野外布设观测试验,对不同高度阻沙栅栏的蚀积量、蚀积强度及其规律进行分析,以期得到防沙效果较好时其阻沙栅栏的高度,进而指导野外风沙灾害防治。

## 1 观测场及试验设计

野外风沙试验观测场建立在腾格里沙漠东南缘(37°32'N, 105°02'E)。该沙漠面积为  $3.67 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,是我国第 4 大沙漠,以流动沙丘为主,沙丘类型有格状沙丘、新月形沙丘和单一新月形沙丘,其中,格状沙丘面积最大。为减小观测场原始沙丘形态对试验的影响,使用推土机将观测场人为平整,规格为 500 m×400 m。另外,为获取区域风况资料,在观测场中心安装一座观测塔,塔高 50 m。其中,0.5,1,2,4,8,12,16,24,32 和 48 m 处各安装一台风速传感器,采集间隔为 1 min<sup>[11-12]</sup>。阻沙栅栏试验观测样地面积约为 40 m×50 m,布设阻沙栅栏高度为 20,30,40,50,60,70,80,90,100 和 110 cm,每一高度栅栏设置长度为 3.0 m,底部埋入深度为 5 cm。栅栏方向与该区主风向(西北风)垂直,蚀积量使用测钎法,测钎高 80 cm,初始出露高度均为 40 cm,观测点位置分别为:-10,-5,-2,-1,0.5,1.5,3,4,6,7,9,14,20 和 30 H 共 14 个测点,H 为栅栏高度,栅栏上风向为正。为便于比较,在栅栏观测场附近选择一块 10 m×10 m 的平坦沙地,对沙质地表蚀积形态做同期对比观测,以北和东为正方向布设观测点,每隔 1 m 设置一根测钎,共布设 121 根测钎,每隔半月测量一次。

## 2 蚀积量和蚀积强度的计算模型

首先对测钎出露高度按照公式(1)进行处理:

$$h = h_1 - h_0 \quad (1)$$

式中: $h$ ——测量周期内蚀积深度; $h_1$ ——沙下测钎高度; $h_0$ ——初始深度。

之后运用 TableCurve 2D v5.01 软件,采用最小二乘法对  $h$  进行函数拟合  $f(x)$ ,用可决系数( $R^2 > 0.98$ )控制,使用 matlab 对  $f(x)$  进行积分,求出蚀积量  $Q$ 。当  $Q > 0$  时,表示风沙堆积; $Q < 0$ ,表示风蚀; $Q = 0$ ,表示蚀积平衡。测量并求出试验区域面积  $S$ ,则

测量时间段内风沙蚀积强度  $R_c$  可表示为<sup>[3]</sup>:

$$R_c = Q/S \quad (2)$$

## 3 风沙活动特征

### 3.1 风况

通过对测量期内风速资料的统计,风速大于 5.6 m/s 的起沙风频数占总频数的 11.69%。在大于起沙风的风速中,以 5.6~6.9 m/s 之间的风速为主,占全部起沙风频数的 58.12%,其次为 7.0~7.9 m/s 的风速,占 24.94%,8.0~8.9 m/s 的风速占 12.35%,三者之和占 95.4%,而大于 9.0 m/s 的风速仅占 4.6%。可见,风速越高,频率越低。大于起沙风的风速频数在各个统计时期内分布差别较大,其中 7 月 30 日至 8 月 30 日期间内最大,占总起沙风频数的 36.68%,其次为 6 月 4 日至 7 月 6 日,占总起沙风频数的 31.86%,最小为 10 月 30 日至 11 月 15 日,占总起沙风频数的 1.09%,其余各期间起沙风频率差别较小。

### 3.2 输沙势

输沙势反映区域潜在的输沙能力,按矢量单位计算,并且可以用代表 16 个方位大小的玫瑰图表示<sup>[11-16]</sup>,依据 Fryberger 提出的输沙势方程进行计算,得出各个时段内的输沙势大小。由计算结果可以得出,合成输沙势最大的时段为 7 月 30 日至 8 月 30 日,为 72.88 VU,方向 264°;其次为 6 月 4 日至 7 月 6 日期间的输沙势,为 63.44 VU,方向 136°;8 月 31 日至 11 月 15 日期间合成输沙势的方向集中在 130°~170°(东南方向),分别为 9.27,18.94,10.67 和 1.64 VU,可知观测期间风向以 NW 和 E 为主。依据 Fryberger 对方向变率指数(RDP/DP)的划分,10 月 16 日至 11 月 15 日内两个测量期间方向变率指数属于大比率(>0.8),分别为 0.93 和 0.83,属于窄单峰和宽单峰风况;其它时段属于中比率(0.3~0.8),分别为:0.53,0.58,0.75,0.40,0.42 和 0.72,其中 6 月 4 日至 7 月 29 日以及 10 月 1 日至 10 月 15 日为锐双峰风况,7 月 30 日至 9 月 30 日为钝双峰风况。

## 4 高度对栅栏防沙效益的影响

### 4.1 积沙断面形态变化

从积沙断面形态可以看出,风沙堆积主要发生在栅栏上风向,距离栅栏越近,堆积厚度越大。栅栏高度由 20 cm 增加到 60 cm 时,-1 H 处堆积厚度由 6.3 cm 增加到 41.1 cm。栅栏高度由 70 cm 增加到 110 cm,-1 H 处堆积厚度由 38.8 cm 减小到 5 cm。在栅栏下风向,风蚀与堆积共存。其中 0~3 H 范围

内主要为风沙堆积;3~30 H 范围则出现不同程度的风蚀现象。在 14 H 处,除 60 cm 和 70 cm 高的栅栏

发生堆积外,其余高度栅栏都出现不同程度的风蚀现象,且栅栏越高或者越低,风蚀程度则越强(图 1)。

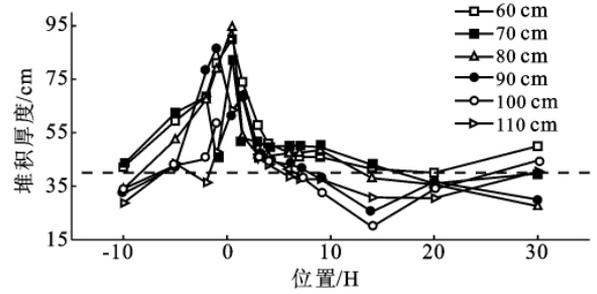
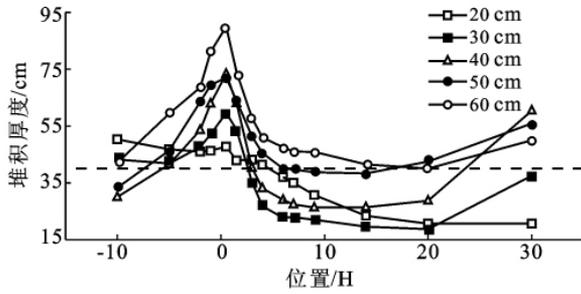


图 1 不同高度栅栏积沙断面形态变化

4.2 蚀积量变化

与平坦沙地的蚀积量相比(图 2 中虚线),有阻沙栅栏的区域蚀积量变化明显。栅栏高度由 20 cm 增加到 60 cm 时,蚀积量增大,防沙效应逐渐增强,并由风蚀变成风沙堆积;栅栏高度由 60 cm 增高到 110 cm 时,风沙堆积量逐渐减小,由风沙堆积变为风蚀。栅栏上风向以堆积为主,70 cm 高度栅栏的风沙堆积量最大,达 5 087.76 kg,60 cm 栅栏次之,为 4 325.47 kg。但当栅栏高度超过 100 cm 时,栅栏在上风向的防沙效益几乎消失,原因是栅栏高度过高,气流在栅栏前受到阻挡,形成较强的回流和绕流,造成栅栏基部的风蚀和栅栏侧向的掏蚀。在栅栏下风向则出现风沙堆积和风蚀两种现象,栅栏高度为 50~70 cm,主要为风沙堆积,其中 60 cm 高度的栅栏风沙堆积量最大,为 5 498.18 kg;90 cm 高度栅栏也出现风沙堆积,为 2 580.11 kg;其余高度栅栏表现为风蚀现象,且 110 cm 的风蚀量最大,为 6 049.96 kg。且由栅栏总体蚀积量与栅栏下风向蚀积量之间的回归方程可知两者存在显著正相关关系,即栅栏总体蚀积量变化趋势与下风向蚀积量趋势相近。

栅栏的堆积强度最大,为 9.82 cm,其余高度栅栏蚀积强度小于 0,表现为风蚀现象。在栅栏上风向,所有栅栏蚀积强度均大于 0,表现为风沙堆积;栅栏下风向,栅栏高度为 50~70 cm 以及 90 cm 时,蚀积强度大于 0,表现为风沙堆积,其余小于 0,表现为风蚀现象。但与平沙地蚀积强度相比(图 3 中虚线),50~100 cm 高度阻沙栅栏下风向蚀积强度大于前者,表现出一定的阻沙效应。此外,总蚀积强度与下风向蚀积强度之间回归方程的可决系数较上风向大,表明总蚀积强度与下风向蚀积强度的变化趋势更加接近。

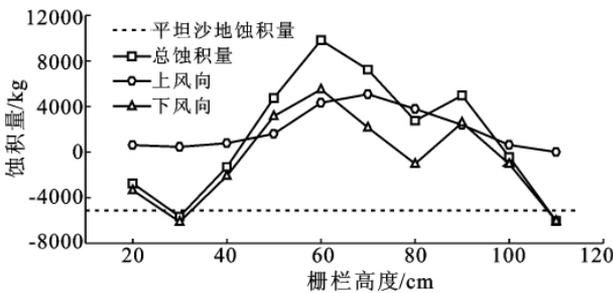


图 2 研究区蚀积量随栅栏高度变化

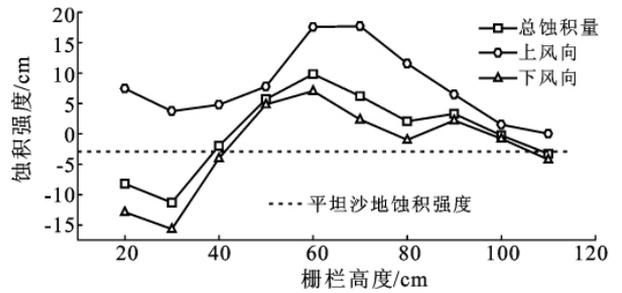


图 3 研究区蚀积强度随栅栏高度变化

4.3 蚀积强度变化

由公式(2)可知,不同高度栅栏的蚀积强度与蚀积量存在一定相关性。栅栏高度为 50~90 cm 时,总蚀积强度大于 0,表现为风沙堆积,其中,60 cm 高度

依据断面形态、蚀积量以及蚀积强度的变化,本研究将栅栏前后分为风沙堆积区、风蚀区和蚀积平衡区,其中,-7~3 H 为风沙堆积区,3~20 H 为风蚀区,20~30 H 为蚀积平衡区,且 3 区域范围大小主要受栅栏高度影响,其中 60 和 70 cm 高度栅栏的堆积区和平衡区范围最大,且在风沙堆积区堆积量最大,但 60 cm 高度栅栏下风向堆积量较大,70 cm 高度栅栏上风向堆积量较大。因此,在选用阻沙栅栏时,应结合实际状况,考虑两种高度栅栏上风向和下风向不同的风沙堆积量,进而选择合适高度的阻沙栅栏。

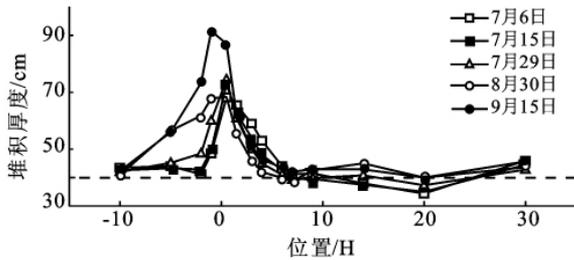
5 蚀积动态变化

通过以上分析,60 cm 高度的栅栏在观测时期内具有较好的防沙效应。为此,选取 60 cm 高度栅栏在

不同观测时期内的蚀积量进行分析比较,揭示蚀积动态变化。

### 5.1 积沙断面形态变化

由图 4 可知,随着时间的推移,在栅栏上风向,堆积厚度逐渐变大。其中,-1 H 处由 7 月 6 日的 8.5 cm 增加到 10 月 30 日的 71.5 cm,但在不同的测量时段,-1 H 处增长幅度不同,最大增长幅度为 10 月 15



日至 10 月 30 日期间的 30 cm,最小增长幅度 7 月 6 日至 7 月 15 日期间的 1.1 cm。原因是观测期间风况差别较大,且时间周期长短也略有差别。在栅栏下风向,栅栏断面形态相对稳定,0~6 H 区段内,整个观测期内表现为风沙堆积;6~30 H 区段内,7 月 6 日至 11 月 15 日之间出现风蚀,但变化幅度较小,断面形态相对稳定。

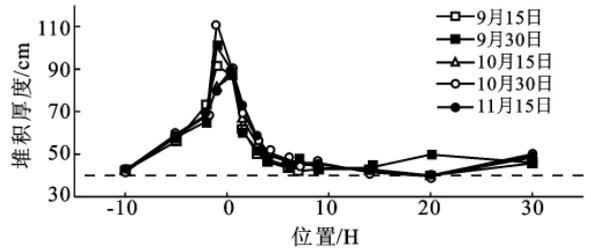


图 4 不同时间积沙断面变化

### 5.2 蚀积量变化

由图 5 可以得出,与平沙地蚀积量相比,阻沙栅栏具有较好的防沙效应。平沙地蚀积量随时间先减小后保持相对稳定,且风蚀量最大值出现在 8 月 30 日,为 2 950.03 kg。有阻沙栅栏的观测区域蚀积量先略减小后增加之后保持稳定,最大值出现在 9 月 30 日,为 11 617.07 kg。在栅栏上风向,蚀积量先增加后保持稳定。其中,7 月 6 日至 9 月 30 日期间,蚀积量增加幅度较大;9 月 30 日之后,蚀积量保持稳定。在栅栏下风向,蚀积量先略减小后增加之后保持稳定。其中,7 月 6 日至 7 月 29 日,蚀积量减小;7 月 29 日至 9 月 30 日,蚀积量增加;9 月 30 日至 10 月 30 日,蚀积量保持稳定。可知在阻沙栅栏建成初期,风蚀大于堆积,栅栏阻沙效应较弱,之后,栅栏防沙效应显现,风沙开始堆积,但堆积到一定程度,栅栏防沙效应减弱,堆积量开始保持稳定。

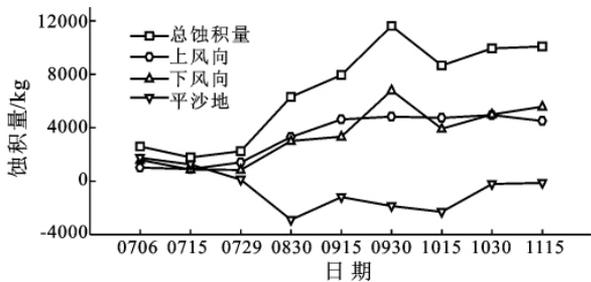


图 5 研究区蚀积量随时间变化

由蚀积总量与上、下风向蚀积量的回归方程可以得出,总蚀积强度与上、下风向蚀积量之间存在显著相关关系,但下风向回归方程可决系数较大,其拟合程度较上风向更好。

### 5.3 蚀积强度变化

由图 6 可以看出,无阻沙栅栏的平沙地蚀积强度先减小后保持稳定,蚀积强度最大值出现在 8 月 30 日,为 4.34 cm。有阻沙栅栏区域的堆积强度先增加后保持稳定,最大值出现在 9 月 30 日,为 11.40 cm。但与平沙地最大值出现日期相比,有阻沙栅栏区域的蚀积强度峰值出现滞后性,两者相差约 30 d。在栅栏上风向,蚀积强度先增大后保持稳定;在下风向,蚀积强度先略减小后增加之后保持稳定。从回归方程可以得出,总蚀积强度和上、下风向蚀积强度显著相关,但下风向回归方程拟合程度较上风向拟合程度更好。

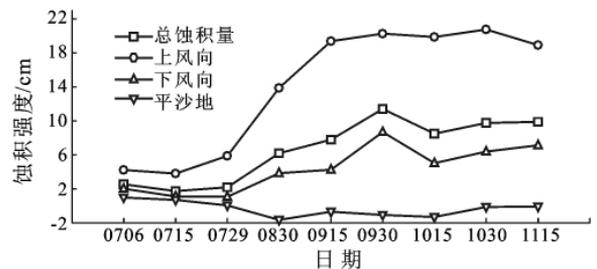


图 6 研究区蚀积强度随时间变化

由此可知,阻沙栅栏建立初期,风蚀作用较强,风蚀量较大,但随着时间的推移,防沙效应开始增强,堆积量增大,之后防沙效应减弱,栅栏上风向蚀积量、下风向蚀积量和蚀积总量逐渐稳定,风蚀和堆积逐渐平衡,风蚀和堆积现象开始交替出现,阻沙栅栏防沙效果逐渐消失,但栅栏前方形成的防沙堤防沙作用略有显现。

## 6 结论

综上所述,相比无栅栏平沙地,不同高度阻沙栅

栏都有防沙效果,但高度为50~90 cm的栅栏其防沙效果较好,60~70 cm的防护效果最佳,但两者积沙方向有所不同,60 cm高度阻沙栅栏下风向风沙堆积较多,70 cm高阻沙栅栏上风向风沙堆积较多。在推广应用中,应充分考虑防护对象性质,选用恰当高度的阻沙栅栏,阻沙栅栏过低,防沙效果较差,阻沙栅栏过高,成本较高且易被大风吹到。阻沙栅栏建成初期,防沙效果略弱,随之防沙效果逐渐增强,在栅栏前方形成防沙堤,延长了栅栏的防沙时限,提高了防沙能力。依据阻沙栅栏前后地表断面形态、蚀积量以及蚀积强度的变化,本研究将栅栏前后分为风沙堆积区、风蚀区和蚀积平衡区,其中,1~3 H为风沙堆积区,3~20 H为风蚀区,20~30 H为蚀积平衡区,且3区域范围与栅栏高度有关。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Skidmore E L. Soil erosion by wind[M]// El-Baz F, Hassan M H A. Physics of Desertification. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1986:261-273.
- [2] 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.
- [3] 刘连友. 区域蚀积量和蚀积强度初步研究: 以晋陕蒙接壤区为例[J]. 地理学报, 1999, 54(1): 59-68.
- [4] Wiggs G F S., Baird A J, Atherton R J. The dynamic effects of moisture on the entrainment and transport of sand by wind[J]. Geomorphology, 2004, 59: 13-30.
- [5] Fryrear D W. Wind erosion: Field measurement and analysis[J]. Transactions of the ASAE, 1991, 34(1): 155-160.
- [6] 朱朝云. 土壤风蚀的野外试验研究[J]. 干旱区资源与环境, 1987(1): 125-131.
- [7] 张伟民, 汪万福, 张克存, 等. 不同沙源供给条件下砾石床面的风沙流结构与蚀积量变化风洞试验研究[J]. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1015-1020.
- [8] 张伟民, 汪万福, 李志刚. 敦煌莫高窟顶几种典型床面蚀积量变化过程的初步观测[J]. 中国沙漠, 2008, 28(6): 1039-1044.
- [9] 汪万福, 王涛, 樊锦诗, 等. 敦煌莫高窟顶尼龙网栅栏防护效应研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 640-648.
- [10] 罗万银, 董治宝, 钱广强, 等. 直立阻沙栅栏流场特征的风洞模拟试验[J]. 中国沙漠, 2009, 29(2): 200-205.
- [11] 张正德, 董治宝, 赵爱国, 等. 沙漠地区风沙活动特征[J]. 干旱区研究, 2007, 24(4): 550-555.
- [12] 张克存. 风沙活动特征及其工程防沙主要措施研究[D]. 甘肃兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2006.
- [13] 张克存, 屈建军, 昝瑞平, 等. 腾格里沙漠东南缘输沙势与最大可能输沙量之比较[J]. 干旱区地理, 2008, 31(5): 643-648.
- [14] Fryberger S G. Dune form and wind regime[C]// McKee E D. A Study of Global Sand Eas. US Geological Survey Professional Paper, 1979: 137-169.
- [15] Lettau K, Lettau H. Experimental and micrometeorological field studies of dune migration[C]// Lettau K, Lettau H. Exploring the World's Driest Climate. University of Wisconsin-Madison, IES Report, 1977: 110-147.
- [16] 李红军, 何清, 杨青. 近40 a新疆输沙势的分析[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 706-710.
- [21] Donald N D. The contribution of breeding to yield advances in maize[J]. Advances in Agronomy, 2005, 86: 83-145.
- [22] 段巍巍, 李慧玲, 肖凯, 等. 密度对玉米光合生理特性和产量的影响[J]. 玉米科学, 2007, 15(2): 98-101.
- [23] 李宁, 翟志席, 李建民, 等. 密度对不同株型的玉米农艺、根系性状及产量的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(5): 98-102.
- [24] Lemcoff J H, Loomis R S. Nitrogen and density influences on silk emergence, endosperm development, and grain yield in maize (*Zea mays* L.) [J]. Field Crops Research, 1994, 38(2): 63-72.
- [25] 管建慧, 郭新宇, 刘洋, 等. 不同密度处理下玉米根系干重空间分布动态的研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(4): 105-108, 118.
- [26] 沈玉芳, 王保莉, 曲东, 等. 水分胁迫下磷营养对玉米苗期根系导水率的影响[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(5): 11-14.
- [27] 董旭, 娄翼来. 长期定位施肥对土壤养分和玉米产量的影响[J]. 现代农业科学, 2008, 15(1): 9-11.

(上接第36页)