

# The Barchan Dunes Movement Regularity and Its Influence Factors

## —A Case Study in the Hexi Desert Area of Gansu

Xuegang Shi<sup>1</sup>, Shizeng Liu<sup>1,2\*</sup>, Zhaofeng Chang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Forestry of Gansu Agriculture University, Lanzhou Gansu

<sup>2</sup>Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou Gansu

Email: 972963060@qq.com, \*shzliu@126.com

Received: May 8<sup>th</sup>, 2017; accepted: May 23<sup>rd</sup>, 2017; published: May 27<sup>th</sup>, 2017

### Abstract

In order to explore the movement regularity of the Barchan Dunes and its relationship with meteorological environment factors, seven typical sample areas were selected at the oasis fringe of Hexi corridor. Google Earth was used to measure the morphological parameters of Barchan Dunes at every sample areas. Sometimes, the correlation was analyzed between the data and meteorological environment factors. The following results were obtained. 1) Affected by the wind speed, annual strong wind days and other factors, the fastest speed of dunes movement was  $6.2 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$  in Minqin desert area. The speed of dunes movement in Dunhuang desert area is slowest at  $0.8 \text{ m/a}$ . 2) Compared with 2006, affected by different meteorological factors, in most desert area in Hexi corridor, the windward slope length increases and the leeward slope length decreases. 3) Garchan Dunes are located on the flat beach land of clayey sand or gravel quality in the Hexi desert area of Gansu. On the wind of Barchan Dune there is average 220.0 m, and in downwind of Barchan Dunes there is average 413.1 m. The rough beaches lowered the dunes movement speed. 4) The three main factors that affect the dunes dynamic are annual precipitation, annual average wind speed and annual strong wind days, but the annual precipitation has largest contribution rate in all meteorological factors.

### Keywords

Barchan Dunes, Meteorological Factors, Movement Speed, Hexi Desert Area of Gansu

## 新月形沙丘的移动规律及其影响因子

### —以甘肃河西沙区为例

石学刚<sup>1</sup>, 刘世增<sup>1,2\*</sup>, 常兆丰<sup>2</sup>

\*通讯作者。

<sup>1</sup>甘肃农业大学林学院, 甘肃 兰州

<sup>2</sup>甘肃省治沙研究所, 甘肃 兰州

Email: 972963060@qq.com, shzliu@126.com

收稿日期: 2017年5月8日; 录用日期: 2017年5月23日; 发布日期: 2017年5月27日

## 摘要

为了探明新月形沙丘的移动规律及其与气象环境因子之间存在的相互关系, 在河西绿洲边缘选取了7个典型的样点, 用Google Earth对各个样点沙丘的形态参数进行测量, 并将所得数据与气象环境因子之间进行相关性分析。结果表明: 1) 受风速、大风日数等因子的影响, 民勤地区沙丘移动最快, 移动速度为 $6.2 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ , 敦煌地区沙丘移动最慢, 移动速度为 $0.8 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ 河西地区平均移动速度为 $3.7 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ ; 2) 受不同气象因子的影响, 与2006年相比, 河西大部分新月形沙丘背风坡长度呈增加的趋势, 背风坡长呈减小趋势; 3) 河西地区新月形沙丘均分布在砂砾质滩地或沙粘质滩地上, 迎风坡前滩平均长 $220.0 \text{ m}$ , 背风坡后滩平均长 $413.1 \text{ m}$ , 粗糙的滩地降低了沙丘移动速度; 4) 影响沙丘移动的3个主因子为年降水量、年平均风速、年大风日数, 其中年降水量在气象因子中的贡献率最大。

## 关键词

新月形沙丘, 气象因子, 移动速度, 甘肃河西沙区

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

自新中国成立以来, 甘肃河西地区经历一个漫长的时间, 在绿洲边缘形成了不同规模的新月形沙丘和新月形沙丘链[1] [2]。荒漠绿洲边缘的沙丘动态变化一直以来是一个极其备受关注的科学问题, 人们对自然环境的破坏, 使得沙丘移动直接威胁着绿洲生态屏障的生存与发展。面对这一严重的现状, 控制沙丘移动迫在眉睫。表征新月形沙丘的主要形态参数有沙丘长度、宽度、高度和移动速度等[3]。过去, 学者对沙丘的移动速度进行了不同程度的大量研究。沙丘移动速度与高度、宽度均成反比[4] [5]。新月形沙丘发育处于动态平衡过程只是相对于特定区域而言, 在不同区域内没有统一标准[6]。比如关有志[7]等研究表明, 塔里木沙漠石油公路沿线的新月形沙丘移动速度为 $6\sim 8 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ ; 陈芳[8]等研究表明, 巴丹吉林东部沙丘在1999~2010年间移动距离为 $14.5\sim 80 \text{ m}$ 。部分学者对海岸新月形沙丘的移动规律也进行了研究, 如波罗的海Lena海岸新月形沙丘的移动速度为 $1.0\sim 10.0 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$  [9]; 巴西东北Ceara海岸新月形沙丘的移动速度为 $17.5 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$  [10]。研究表明, 新月形沙丘具有缓慢、向陆往复式前进的移动特点, 随季节变化其高度、宽度、长度增加[11]。

越来越多关于沙丘移动的研究, 进一步丰富了防沙治沙的理论和手段。因为, 在防沙治沙的过程中面临的最重要的问题就是如何控制沙丘的移动, 而面对这一难题, 首先就要搞清楚沙丘的移动速度和方向, 然后再考虑采取什么样的防治措施以及怎样实施措施, 这就要进一步探明沙丘移动与气象环境因子之间的关系。本文选择河西7个典型区域的沙丘作为研究对象的依据是河西沙区作为我国风沙灾害发生的频

繁区，沙丘的移动严重威胁着河西绿洲的可持续发展，为了更好的恢复和保护河西绿洲生态环境，本文通过对河西绿洲边缘新月形沙丘的移动规律与气象环境因子之间的关系进行初探，为未来如何在该区域内通过人工措施改变土壤含水量、增加沙丘上风向植被盖度[12]，从而达到控制上风向沙源和消减风速的目的[13]，进而控制沙丘移动提供理论依据。

## 2. 研究区概况

河西地区地处甘肃省黄河以西，包括武威、金昌、张掖、酒泉等地，东南起自乌鞘岭，西北至于疏勒河下游，形成了一条狭长的走廊，地理位置位于  $92^{\circ}45'E\sim 104^{\circ}15'E$ 、 $36^{\circ}35'N\sim 42^{\circ}45'N$  之间。区内戈壁、荒漠连绵，南侧为祁连山脉，东、北和西面依次被腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠和库姆塔格 3 大沙漠包围，生态环境十分脆弱。区内温带荒漠和干旱、半干旱荒漠气候特征显著，光热资源丰富，气温高，降水少，年平均气温为  $4.9^{\circ}C\sim 9.5^{\circ}C$ ，年平均降水量小于  $200\text{ mm}$ ，年平均蒸发量大于  $2000\text{ mm}$ 。植被稀少，生态环境非常严酷，是我国主要的重风沙危害区，也是我国主要的沙尘源区，沙尘暴日数一般为  $4\sim 34\text{ d}$ ，年平均风速为  $2\sim 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，年最大风速一般为  $25\sim 28\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，全年最大主风向为西北风，这导致河西荒漠绿洲边缘形成了典型的新月形沙丘和新月形沙丘链。

## 3. 材料与方法

### 3.1. 样地选取

利用 Google Earth 提供的高分辨率卫星遥感影像，以及其获取数据简便、快捷、准确的特征，在河西地区选取分布有新月形沙丘的 7 个典型区域，分别为古浪、民勤、金昌、临泽、高台、金塔、敦煌，其地理位置见图 1。并在每个区域的荒漠绿洲边缘选取 3~5 个较大而典型的新月形沙丘，记录每个沙丘

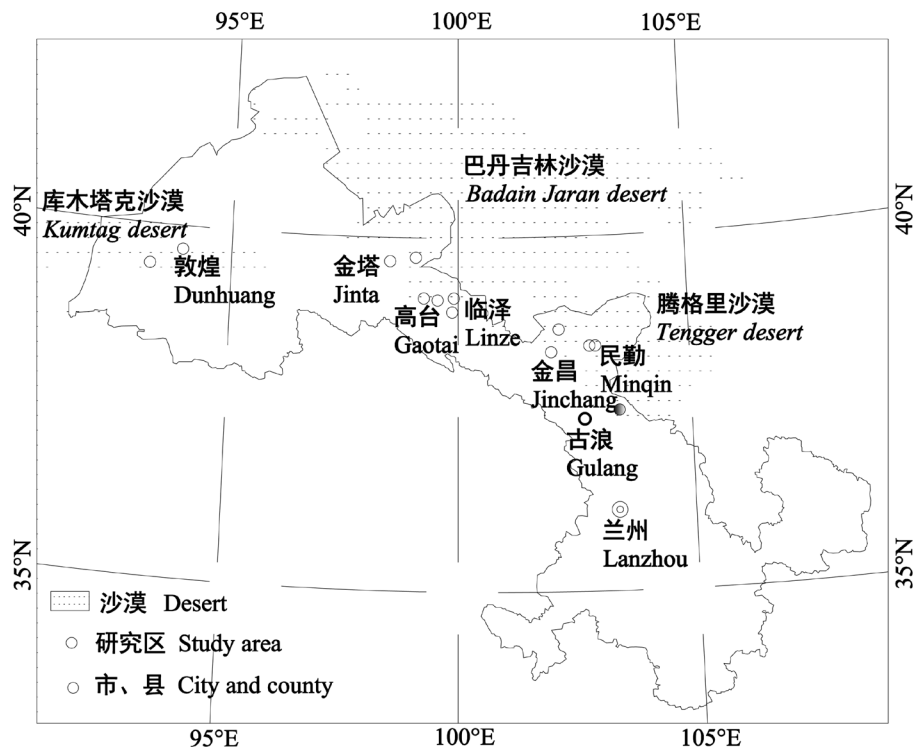


Figure 1. The location of study area

图 1. 研究区位置

顶部所处位置的经纬度,并用 GPS 进行实地定位(沙丘所处位置的误差为 $\pm 2$  m)。选择的标准为:1) 选择没有进行任何固沙措施或者人为破坏的完整的流动新月形沙丘;2) 所选择的沙丘的影像应该清晰完整,不受云层的影像,以保证在进行形态参数测量时不受这些因素的影像;3) 应选取每个区域内的沙丘的两个时段,并尽可能使这两个时段重合,最多相错一两年,以保证在相同时段内对不同区域内新月形沙丘的动态变化进行比较。

### 3.2. 新月形沙丘形态参数的测量

新月形沙丘的形态参数是反映沙丘形状、大小、变化规律的重要指标,主要包括沙丘投影面积、沙丘高度、沙丘宽度、迎风坡水平长度、背风坡水平长度、两翼长度、沙丘走向(与主风向大致相同)以及沙丘的移动距离等。本研究利用 Google Earth 选取合适的分辨率对河西绿洲边缘两个时段(2006 年~2014/2015 年)的新月形沙丘的部分形态参数进行了测量。在每个区域所选的 3~5 个沙丘的形状均比较规则,大小相差不大,且不同区域的沙丘形状和大小也相差不大。

首先,利用 Google Earth 提供的工具中的添加线条对各个区域内的每座沙丘的宽度、迎风坡水平长度、背风坡水平长度、沙丘走向、沙丘前后滩长以及到绿洲边缘的距离进行较为精确的测量,利用添加多边形的方法对沙丘投影面积进行测量。

沙丘移动距离的测量,首先要沿着沙丘走向在沙丘下风向选择一个控制点,比如农田埂、植物、道路等不随年限变化的标志性物体。然后分别测量较早年限的沙丘背风坡底部到控制点的距离和较迟年限的沙丘背风坡底部到控制点的距离,求得二者的差即为该沙丘在该时间段内的移动距离,以此计算出沙丘的移动速度,并用 AutoCAD 2007 做出沙丘移动示意图。

### 3.3. 数据分析方法

本文用 Excel 2007 对所测得的数据进行统计整理,并用 SPSS 22.0 中的相关分析和因子分析对实验数据进行分析。用相关分析对各样地新月形沙丘的形态参数和各地区气象因子(数据来源于甘肃省治沙研究所)之间的相关性进行检验;用因子分析法对各地区气候因子进行提取,找出影响新月形沙丘动态变化的主因子,并求得其相应的方差贡献率和方差累计贡献率。

## 4. 结果与分析

### 4.1. 新月形沙丘的形态参数

新月形沙丘的形态特征随着时间的推移处于不断的变化过程中。如表 1、表 2 所示,在河西绿洲边缘的不同沙区,新月形沙丘的各个形态参数的变化并没有明显的规律性,这种无规律的变化特征是跟诸多的自然因素相关联的,但各参数之间存在着必然的联系。沙丘的形态参数变化只能反映沙丘不同发育阶段的大致形态特征,尚不能解释沙丘形成和发展的动态过程。

### 4.2. 新月形沙丘形态参数的变化

如表 3 所示,在单一主风向常年作用下,古浪、民勤、高台、敦煌的沙丘宽度有所减小,而其他三个沙区的沙丘宽度均有所增加,其中民勤的减少值最大,而临泽的增加值最大。除金昌外,其它 6 个样点的沙丘迎风坡长度均增加,民勤增加值最大为 13.14 m,增加值最小的为临泽的 2.91 m,民勤和金昌的沙丘背风坡增大值分别为 2.57 m 和 1.98 m。7 个样点中,沙丘迎风坡平均增长 4.78 m,背风坡长平均减小 0.74 m,这就意味着大多数地区,新月形沙丘的背风坡长度是呈增加的趋势,背风坡长呈减小趋势。

**Table 1.** Barchan dune morphology parameter values (2006)**表 1.** 新月形沙丘的形态特征参数值(2006 年)

样地	经纬度	时间/a	投影面积/m <sup>2</sup>	宽度/m	迎风坡长/m	背风坡长/m
古浪	37°36'36.99"N 103°36'04.75"E	2006	7816	144.87	75.43	7.56
民勤	38°37'59.66"N 102°55'12.78"E	2006	39061	286.39	108.7	22.26
金昌	38°53'03.91"N 102°22'38.58"E	2006	16321	151.59	100.00	12.15
临泽	39°23'40.60"N 100°12'58.88"E	2006	25138	207.01	72.51	39.80
高台	39°22'54.35"N 99°35'05.14"E	2006	9160	169.61	40.68	10.13
金塔	39°57'22.99"N 98°48'15.62"E	2006	14119	281.10	83.50	16.74
敦煌	39°57'58.30"N 93°59'29.15"E	2006	12023	222.45	46.22	24.15

**Table 2.** Barchan dune morphology parameter values (2014/2015)**表 2.** 新月形沙丘的形态特征参数值(2014/2015 年)

样地	经纬度	时间/a	投影面积/m <sup>2</sup>	宽度/m	迎风坡长/m	背风坡长/m
古浪	37°36'36.99"N 103°36'04.75"E	2014	6916	132.87	68.86	8.96
民勤	38°37'59.66"N 102°55'12.78"E	2015	36480	277.95	108.46	26.97
金昌	38°53'03.91"N 102°22'38.58"E	2015	17561	156.32	93.89	14.59
临泽	39°23'40.60"N 100°12'58.88"E	2014	24774	240.14	67.55	42.84
高台	39°22'54.35"N 99°35'05.14"E	2014	8398	170.3	53.49	12.9
金塔	39°57'22.99"N 98°48'15.62"E	2015	19969	290.7	75.31	19.53
敦煌	39°57'58.30"N 93°59'29.15"E	2014	12232	225.75	48.23	22.43

**Table 3.** Numerical changes in barchan dune morphology parameters**表 3.** 新月形沙丘的形态参数变化值

样地	时间差/a	投影面/m <sup>2</sup>	宽度/m	迎风坡长/m	背风坡长/m	沙丘走向/°
古浪	8	-531	-5.7	7.63	-2.74	315.39
民勤	9	-2380	-17.58	13.14	2.57	305.56
金昌	9	1009	4.73	-8.99	1.98	297.55
临泽	8	80	10.77	2.91	-1.48	288.9
高台	8	-734	-3.33	5.33	-0.77	293.97
金塔	9	-1597	4.26	10.05	-0.80	303.53
敦煌	8	242	-6.35	3.38	-3.97	258.55
平均		-559	-1.83	4.78	-0.74	294.78



### 4.3. 沙丘的移动

如图 2 所示, 新月形沙丘的移动距离是反映其位置变化的最直观形式。由表 4 可知, 民勤沙区的沙丘移动距离和移动速度最大分别为 55.8 m 和  $6.2 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ , 这是因为民勤绿洲边缘新月形沙丘的分布的密度较小, 再加上上风向沙源丰富, 年大风日数较多。敦煌和高台沙区的沙丘移动距离和移动速度较小, 敦煌为 6.4 m 和  $0.8 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ , 高台为 11.2 m 和  $1.4 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ , 这两个沙区沙丘分布密度较小, 沙丘高大, 年大风日数较少, 相对稳定, 特别是敦煌有时候出现多个主风向, 使沙丘的移动呈往复运动, 甚至会发育成金字塔形沙丘。其它 4 个沙区沙丘移动距离和移动速度较为接近, 区域内沙丘分布密度较为稠密, 大多呈新月形沙丘链分布。河西地区, 在 8~9 年间, 沙丘平均位移为 31.7 m, 年平均移动速度为  $3.7 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

### 4.4. 沙丘形态变化与气象环境因子的关系

#### 4.4.1. 新月形沙丘的分布环境

新月形沙丘均存在于沙漠边缘的下风向, 即绿洲边缘。如表 5 所示, 河西绿洲边缘的新月形沙丘均分布在砂砾质滩地或沙粘质滩地上, 且前后滩地比较开阔、平坦。上风向迎风坡前滩平均长 220.0 m, 背风坡后滩平均长 413.1 m, 后滩显著长于前滩( $P < 0.05$ )其中, 民勤、金昌、金塔的沙丘上下风向的砂砾质滩地或沙粘质滩地较长, 其中民勤地区最大, 上风向为 487.7 m, 下风向为 903.7 m, 说明新月形沙丘的分布密度较小; 高台地区最小, 上风向为 18.7 m, 下风向为 54.3 m, 说明这些地区的新月形沙丘的分布密度较大。粗糙的下伏地面增加了沙粒起动风速, 也增加了沙丘与地面的摩擦, 降低了沙丘移动速度。新月形沙丘的前后滩地只有零星的植被覆盖, 植被覆盖度均小于 3.6%, 其中迎风坡前滩平均为 0.9%, 背风坡后滩平均为 1.3%, 后滩植被覆盖度显著大于前滩( $P < 0.05$ )。河西地区的新月形沙丘到绿洲边缘的距离各不相同, 最短为 263.9 m (临泽), 最长为 2448.8 m (金昌), 平均为 1087.2 m。

#### 4.4.2. 气象因子之间的关系

气象因子是新月形沙丘形成、发育和发展的重要条件, 是沙丘动态变化的主要影响因素。河西地区被腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠和库木塔格 3 大沙漠包围, 特别是荒漠绿洲边缘气候条件极端恶劣, 如表 6 所示, 所选的 7 个样点由古浪 - 民勤 - 金昌 - 临泽 - 高台 - 金塔 - 敦煌呈自东向西分布, 年降水量随分布方向呈逐渐减少的趋势, 空气干燥度呈增加趋势, 年日照时数  $> 2628.9 \text{ h}$ , 年蒸发量  $> 1700 \text{ mm}$ , 远远高于年降水量, 年平均气温在  $4.9^{\circ}\text{C}\sim 9.5^{\circ}\text{C}$  之间波动, 全年最大风向以西北风为主, 风沙活动十分频繁。

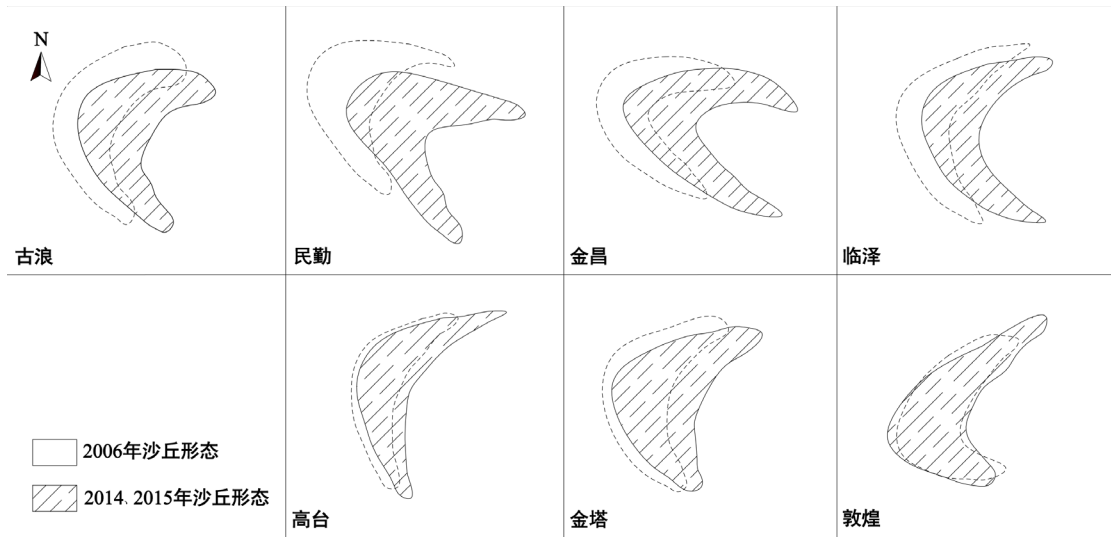
在进行相关分析时, 用  $X_1$ 、 $X_2$ …… $X_8$  依次代表 8 个气象因子(年平均气温、年降水量、年蒸发量、年平均相对湿度、年平均风速、年大风日数、年沙尘暴日数、最大风向)。如表 7 所示, 河西地区不同气候因子之间也存在着一定的相关关系, 气候因子对自然环境的影响必然是通过其内部之间的关系来实现的。

#### 4.4.3. 沙丘形态参数的变化与气象因子之间的关系

由表 8 可知, 沙丘宽度的变化与年平均气温、年降水量、年蒸发量呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 与沙尘暴日数呈极显著负相关( $P < 0.01$ )。沙丘迎风坡水平长变化与年平均气温、年降水量、年蒸发量、年平均风速呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 与年大风日数呈显著负相关( $P < 0.05$ )。沙丘移动距离、移动速度与年平均风速、年大风日数、年沙尘暴日数呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 与年平均气温、年降水量、最大主风向呈显著正相关( $P < 0.05$ )。

#### 4.4.4. 气象因子对新月形沙丘动态变化的方差贡献率

由主因子分析结果表 9 所示, 由于前三个特征值对应的累计方差贡献率已达到 82.59%, 且三者对沙丘宽度、迎风坡水平长、背风坡水平长、沙丘移动距离的影响极显著相关( $P < 0.01$ ), 因此, 前三个因子



**Figure 2.** Schematic diagram of dunes movement  
**图 2.** 沙丘移动示意图

**Table 4.** Annual movement distance and speed of dune  
**表 4.** 沙丘年移动距离和速度

样地	时间差/a	沙丘宽度/m	沙丘移动距离/m	沙丘移动速度/ $\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$
古浪	8	277.95	38.4	4.8
民勤	9	132.87	55.8	6.2
金昌	9	156.32	40.5	4.5
临泽	8	240.14	33.6	4.2
高台	8	170.30	11.2	1.4
金塔	9	290.70	36.0	4.0
敦煌	8	225.75	6.4	0.8
平均		213.43	31.7	3.7

**Table 5.** Barchan dune distribution of regional environment  
**表 5.** 新月形沙丘分布的区域环境

样点	上风向		下风向		植被盖度/%		距绿洲边缘的距离/m
	滩长/m	地貌	滩长/m	地貌	迎风坡前滩	背风坡后滩	
古浪	32.8	沙砾质滩地	67.6	沙砾质滩地	3.2	3.5	691.3
民勤	487.7	沙砾质滩地	903.7	沙砾质滩地	2.7	3.6	1394.3
金昌	360.3	沙粘质滩地	842.2	沙粘质滩地	0.0	0.0	2448.8
临泽	47.6	沙砾质滩地	134.9	沙砾质滩地	0.2	0.8	263.9
高台	18.7	沙砾质滩地	54.3	沙砾质滩地	0.1	0.1	646.7
金塔	568.7	沙砾质滩地	758.7	沙砾质滩地	0.5	1.0	1823.4
敦煌	24.2	沙粘质滩地	130.1	沙粘质滩地	0.0	0.0	342.3
平均	220.0		413.1		0.9	1.3	1087.2

**Table 6.** Meteorological data in Hexi areas since 1971  
**表 6.** 河西各地 1971 年以来的气象资料

站名	日照时数/h	年平均气温/°C	年降水量/mm	年蒸发量/mm	年平均相对湿度/%	年平均风速/m/s	年大风日数/d	年沙尘暴日数/d	最大风向
古浪	2628.9	4.9	360.8	1769.9		3.5	4.5		NW
民勤	3037.4	8.3	113.0	2623.1	44.5	2.7	25.1	27.4	NW
金昌	2856.1	9.0	139.8	2094.2	39.0		19.9	28.0	NW
临泽	3051.1	7.6	118.1	2341.6		2.5	21.7		NW
高台	3116.6	7.7	110.3	1765.3	54.2	2.0	7.8	11.1	NW
金塔	3265.6	8.7	65.4	2560.9	44.9	1.9	14.4	6.4	NW
敦煌	3257.8	9.5	42.4	2505.1	43.3	2.1	13.5	10.6	W,WNW

**Table 7.** The correlation between meteorological factors  
**表 7.** 气象因子之间的相关性

编号	气象因子							
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
X <sub>1</sub>								
X <sub>2</sub>	**							
X <sub>3</sub>		*						
X <sub>4</sub>	*	**	**					
X <sub>5</sub>								
X <sub>6</sub>			**	**	**			
X <sub>7</sub>	**			**	**	**		
X <sub>8</sub>							*	

注: \*\*表示极显著相关(P < 0.01), \*表示显著相关(P < 0.05), -表示负相关, 下同。

**Table 8.** The correlation between the sand dune morphology parameters changes and meteorological factors  
**表 8.** 沙丘形态参数的变化与气候因子的相关性

形态参数	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>
沙丘宽度	**	**	**			-	**	-
迎风坡长	**	**	**	-	**	*	-	
背风坡长	-	-	-	-	-		**	
移动距离	-		*	-	**	**	**	*
移动速度	*	*		-	**	**	**	

**Table 9.** Variance contribution rate of meteorological factor on sand dunes dynamic  
**表 9.** 气象因子对沙丘动态的方差贡献率

指标	气象因子							
	X <sub>2</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>4</sub>
方差贡献率	39.58	25.63	17.38	10.24	4.67	1.78	0.60	0.12
累计贡献率	39.58	65.21	82.59	92.83	97.5	99.28	99.88	100
相关系数	0.832**	0.785**	0.750**	0.622*	0.547*	0.516	0.500	0.370



已经反映了原始指标所提供的绝大部分信息,可将年降水量( $X_2$ )、年平均风速( $X_5$ )、年大风日数( $X_6$ )作为主因子对新月形沙丘的动态变化进行评价。河西绿洲边缘,受气温的影响,降雨量稀少,使得土壤含水量及其匮乏,进而使得植被退化十分严重,特别是新月形沙丘背风坡以及空旷地带的植被覆盖程度对年平均风速有着极其重要的影响,而风速通过影响沙丘的高度、沙丘移动、沙丘发育来影响整个沙丘的动态变化。当植被覆盖了较高时,可以有效的降低风速,进而减小风力对沙丘的吹蚀,使沙丘的动态变化受到抑制。因此,不论是相关分析还是主因子分析,结果均表明,沙丘的动态发育受年降水量、年平均风速、年大风日数的影响最大,而年降水量在气象因子中的贡献率最大。

## 5. 讨论

新月形沙丘的移动是受诸多气候环境因子影响的,任何一个因子的变化都有可能沙丘的形态和位置的变化。水分条件是河西走廊绿洲边缘存在的最严重的问题,而控制这一条件的因素是降水量,降水量通过影响土壤含水量,增加植被覆盖度和高度来影响风速、地表温度以及蒸发量,从而影响沙丘的移动。沙丘的移动方向又随着最大主风向的改变而改变。民勤地区的沙丘移动距离和速度最大,而敦煌最小(表 4),是因为民勤的年平均风速较高,年大风日数和年沙尘暴日数均为 7 个地区中最高,尽管降水量相对金塔、敦煌较高,但温度和蒸发量更高,使得植物难以成活;而敦煌虽然降水稀少,其它各气候因子相对民勤较小,但是影响该地区沙丘移动的最关键因子是最大主风向,一年中通常会出现 2~3 个主风向,这使得沙丘经常会出现逆向演变,甚至会演变成金字塔形沙丘。

由于卫片进行沙丘高度的提取是一个遥感方面的难题,所以沙丘的选择缺乏沙丘高度这个重要的形态参数,这也是本研究存在的一个最大缺憾,希望未来科学研究能够在这方面取得突破。本研究没有测量 2007~2013 年的沙丘形态参数,这必然会对相邻两年的沙丘形态参数和移动速度有所影响,但对整个研究时段的研究结果影响不大。另外,在本时段(2006~2014/2015 年)研究的新月形沙丘的各项形态参数的变化不能代表沙丘从开始形成到不断增大的整个时段内的动态变化,因为有些年份的气候环境因子较为有利,比如风大沙多,促进沙丘的移动;而有些年份阶段气候环境因子抑制了沙丘的移动,比如降水较多,植被生长状况好,或者有多个主风向。因此,只能以该时段为代表,找出沙丘形态参数的变化与气候环境因子之间存在的相互关系,进而为沙丘的动态演变和发展提供相关的科学依据。

## 6. 结论

1) 受年平均风速、年大风日数、年沙尘暴日数等气候因子的影响,河西绿洲边缘新月形沙丘的平均移动距离为 31.7 m,平均移动速度为  $3.7 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ 。其中,民勤地区的沙丘移动最快,9 年内移动距离为 55.8 m,移动速度为  $6.2 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ ;敦煌受多个主风向的影响,沙丘移动最慢,8 年内移动距离为 6.4 m,移动速度为  $0.8 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

2) 受不同气候因子的影响,与 2006 年相比,河西大部分新月形沙丘背风坡长度呈增加的趋势,背风坡长呈减小趋势。沙丘宽度变化不定,沙丘走向与主风向大致相同。

3) 河西绿洲边缘的新月形沙丘均分布在砂砾质滩地或沙粘质滩地上,迎风坡前滩平均长 220.0 m,背风坡后滩平均长 413.1 m,后滩显著长于前滩( $P < 0.05$ )粗糙的滩地降低了沙丘移动速度。新月形沙丘的前后滩地的植被覆盖度均小于 3.6%,但后滩植被覆盖度显著大于前滩( $P < 0.05$ )。沙丘到绿洲边缘的距离平均为 1087.2 m。

4) 影响河西绿洲边缘新月形沙丘动态变化的 3 个气象主因子为年降水量、年平均风速、年大风日数,其中年降水量在气象因子中的贡献率最大。

## 基金项目

国家自然科学基金项目“甘肃民勤绿洲边缘积沙带形成的气候环境因子及其生态效应”(41261102); 国家973前期“绿洲边缘高大新月形沙丘稳定性研究”(2014CB460611)。

## 参考文献 (References)

- [1] 常兆丰, 王强强, 张剑辉, 等. 河西绿洲边缘积沙带及其生态意义[J]. 生态学报, 2015, 35(24): 1-7.
- [2] 常兆丰, 张剑辉, 唐进年, 等. 河西绿洲边缘积沙带与环境因子的关系[J]. 生态学杂志, 2012, 31(6): 1548-1555.
- [3] 王静璞, 刘连友, 沈玲玲. 基于 Google Earth 的毛乌素沙地新月形沙丘移动规律研究[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(6): 1094-1100.
- [4] Gay, S.P. (1999) Observation Regarding the Movement of Barchan Sand Dunes in the Nazca to Tanaca Area of Southern Peru. *Geomorphology*, **27**, 279-293. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00084-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00084-1)
- [5] Andreotti, B., Claudin, P. and Douady, S. (2002) Selection of Dune Shapes and Velocities (2 Parts). *European Physical Journal B*, **28**, 341-352. <https://doi.org/10.1140/epjb/e2002-00237-3>
- [6] 李志中. 新月形沙丘研究进展综述[J]. 干旱区地理, 1994, 17(4): 81-87.
- [7] 李志忠, 关有志, 孙忠, 陈广庭. 塔里木沙漠石油公路沿线新月形沙丘的地貌特征[J]. 新疆大学学报, 1998(1): 80-90.
- [8] 陈芳, 刘勇. 巴丹吉林沙漠典型地域沙丘多年变化的遥感动态分析[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(4): 501-507.
- [9] Borowka, R.K. (1980) Present Day Dune Processes and Dune Morphology on the Leba Barrier, Polish Coast of the Baltic. *Geografis-ka Annaler*, **62**, 75-82. <https://doi.org/10.2307/520454>
- [10] Jimenez, J.A., Maia, L.P., Serra, J., et al. (1999) Aeolian Dune Migration along the Ceara Coast, North-Eastern Brazil. *Sedimentology*, **46**, 689-701. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1999.00240.x>
- [11] 社会石, 哈斯. 抛物线沙丘形态特征与土壤含水量和紧实度的关系研究[J]. 甘肃农业科技, 2014(12): 17-20.
- [12] 王宁波, 李生字, 王海峰, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地垄间地上覆沙丘形态的空间变化特征及其成因[J]. 干旱区地理, 2014, 37(1): 89-96.
- [13] 张萍, 哈斯, 社会石, 等. 抛物线形沙丘与油蒿灌丛之间的动态关系[J]. 科学通报, 2011, 56(35): 3003-3010.

### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ije@hanspub.org](mailto:ije@hanspub.org)