

# 柴达木盆地东南部雅丹地貌形态参数研究

李继彦<sup>1</sup>, 董治宝<sup>1,2</sup>

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 雅丹地貌的外部形态特征是其对所处环境适应的表现, 对雅丹地貌形态参数进行研究可以推测雅丹体所受内外营力的性质。以柴达木盆地的东南部为研究区域, 通过对该区雅丹地貌形态参数的相关性分析, 得出该区雅丹地貌长与宽的相关系数  $r=0.8824$ , 为强相关关系, 采用最小二乘法拟合得出长/宽 ( $R$ ) = 3.04。并通过对其它区域雅丹地貌的研究结果对比, 发现全世界范围内雅丹地貌的形态参数长与宽均具有较强的相关性, 而长/宽 ( $R$ ) 值则具有区域差异性。从雅丹地貌成因的层面对这一现象进行分析, 认为雅丹地貌形成因素的相似性, 决定着雅丹体外部形态的相似性, 即体现为长与宽的强相关性。同时又由于形成因素的区域差异性使得长/宽 ( $R$ ) 值在不同的雅丹地貌分布区具有不同的数值。

**关键词:** 柴达木盆地; 雅丹地貌; 形态参数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)04-0122-04

中图分类号: P931.3

## Morphological Parameters of Yardangs in Southeastern Qaidam Basin

LI Ji-yan<sup>1</sup>, DONG Zhi-bao<sup>1,2</sup>

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China;

2. Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions

Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** The external morphology of Yardangs reflects the settings they exist. Therefore, through the study of Yardangs' morphological parameters, the interior and exterior forces that affect the Yardangs can be speculated. This paper mainly studied the morphological parameters of the Yardangs that distributes in the southeastern Qaidam Basin with data from the high resolution remote sensing images of the study area, and found that the correlation index between length and width was 0.8824, a strongly positive correlation; the ratio of length/width calculated by least square fitting was 3.04. What's more, the worldwide Yardangs' morphological parameters shared the same strong positive correlation, while the ratio of length/width showed a regional difference. This phenomenon was tried to be explained on the basis of the forming factors of the Yardangs. It is believed that the similarity of the forming factors determined the similarity of the external morphology of the yardang body, which was reflected by the strong positive correlation between the length and width. At the same time, because of the regional differences of the Yardangs' forming factors, the ratio of length/width had different values in different places.

**Keywords:** Qaidam basin; Yardangs; morphological parameters

“雅丹”一词源于维吾尔语, 原指“陡壁的小丘”, 后来用它泛指风蚀土墩和风蚀凹地(沟槽)形成的地貌组合<sup>[1]</sup>。一般情况下可以将雅丹地貌看作风蚀地貌。然而, 由于发现在有的雅丹体上保留有洪水冲蚀的痕迹, 夏训诚等人<sup>[2]</sup>结合航测相片资料分析认为雅丹地貌的营力, 除了风力作用之外, 周围山地阵发性的暴雨和洪水也起着重要的作用。雅丹地貌作为一

种地貌形态, 广泛分布在世界极端干旱、干旱沙漠的周边地区<sup>[3]</sup>, 在某些半干旱地区也偶有分布<sup>[4]</sup>。对雅丹地貌的研究始于19世纪末, 1887年Stapff<sup>[5]</sup>对非洲西南部纳米布沙漠Kuiseb河谷中基岩受风力侵蚀形成的地貌给予了说明。Walther<sup>[6]</sup>对分布在埃及的雅丹地貌进行了描述。最近, 由于在火星表面发现分布有大面积的雅丹地貌<sup>[7]</sup>以及高分辨率航空相片和

卫星影像的应用<sup>[8]</sup>,再次激起了人们对这种地貌形态进行研究的兴趣。

本研究主要通过对分布在柴达木盆地东南部雅丹地貌的形态参数进行量测和研究,分析雅丹体长度与宽度之间的关系。并进一步通过与其他研究者的研究结果对比,对雅丹地貌的长与宽的强相关性及其长/宽( $R$ )值的区域差异性进行探讨。

## 1 研究区概况

柴达木盆地位于青藏高原东北部,是一个闭合的高原内陆盆地,北为阿尔金山、祁连山包围,南为昆仑山环抱,大致成北西—南东走向的菱形,面积 $1.20 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。由于柴达木盆地深居内陆,海拔较高,四周高山环绕,来自太平洋和印度洋的暖湿气流难以到达,所以降水稀少,气候干燥,大气湿度低。大气透明度好,光照时间较长,太阳辐射强,气温较高。据统计,盆地东南部年降水量约为200 mm,年蒸发量却高达1 000 mm<sup>[9]</sup>。

由于自第三纪以来柴达木盆地东南部剧烈下沉,因此这里成为第四系的主要堆积场所,形成由上更新统和至近代洪积、冲积及湖积层组成的山前倾斜平原<sup>[10]</sup>。自晚更新世以来,受周围山系隆起和晚冰期气候变冷的影响,柴达木盆地的干旱程度不断加剧,使得盆地中的盐湖湖域面积不断缩小,干旱地区的面积也不断扩大,因而风力作用也极强<sup>[11]</sup>。由于干旱和大风,再加上在柴达木盆地东南部堆积了第四系松散沉积层,为柴达木盆地东南部雅丹地貌的形成提供了有利的条件。

研究区域位于柴达木盆地的东南部,介于 $37.1^\circ - 37.25^\circ \text{N}$ ,  $95.0^\circ - 95.4^\circ \text{E}$ 之间,面积约 $236.46 \text{ km}^2$ 。其南部为察尔汗盐湖区,其中距达布逊湖15 km。G215和G315在研究区东北部交汇,距小柴旦45 km。

## 2 数据来源与研究方法

柴达木盆地东南部雅丹地貌形态参数数据均来源于该区域高分辨率遥感影像。雅丹体的形态参数主要包括长(length, 记为 $l$ )、宽(width, 记为 $w$ )和高(height, 记为 $h$ )。在该区域的遥感影像上共量取了490个雅丹体,对取得的490组数据中的长与宽进行相关性分析,并计算长/宽(Ratio, 记为 $R$ ),对计算的 $R$ 值利用最小二乘法拟合,求得研究区雅丹地貌 $R$ 的理想值。并与世界上不同区域的雅丹地貌长与宽的相关性及长/宽( $R$ )的值进行对比分析,试图从雅丹地貌成因的层面对长/宽( $R$ )值的区域差异性现象进行解释。

## 3 结果与讨论

### 3.1 数据分析结果

在研究区的遥感影像上选取了490个雅丹体测量点,对每一个测量点精确地量取其 $l$ ,  $w$ ,  $h$ 等形态参数。经过对这490组数据统计分析可知,该区雅丹体长、宽、高的最大值分别为574.63, 169.83, 46.78 m, 平均值分别为141.07, 48.31, 12.27 m。 $R$ 的值介于 $0.84 : 1 \sim 5.35 : 1$ 之间,平均值为2.94:1。其中, $R$ 介于 $2 : 1 \sim 3 : 1$ 之间雅丹体为245个,占测量点总数的50%; $R$ 介于 $3 : 1 \sim 4 : 1$ 之间的雅丹体为211个,占测量点总数的43.06%(图1)。

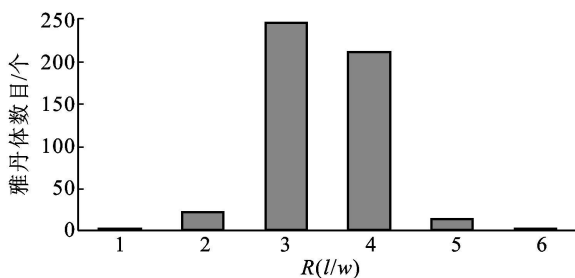


图1 柴达木盆地东南部雅丹 $R(l/w)$ 频数分布

点绘出490组雅丹体长宽数据的散点图(图2)。通过对这490组数据进行相关分析,可得 $l$ 和 $w$ 的相关系数 $r=0.8824$ ,为强相关<sup>[12]</sup>,因此可以认为 $l$ 与 $w$ 之间具有线性相关关系,即:

$$l = aw + b \quad (1)$$

式中: $a$ ——比例系数; $b$ ——常数。实际上,由于 $l$ 与 $w$ 为强相关,因此与 $aw$ 的乘积相比, $b$ 的值很小,而且根据公式(1),当 $w=0$ 时, $b=0$ 。所以便可以得出一个更趋近于直接描述 $l$ 和 $w$ 关系的公式:

$$l = aw \quad (2)$$

由公式(2)可知, $l$ 与 $w$ 之间成正相关,而且比例系数 $a$ 即为雅丹体的长宽之比 $R$ 。对这490组数据,采用最小二乘法拟合便可求得 $a=3.04$ ,即 $R=3.04$ (图2)。此结果同Ward和Greeley<sup>[13]</sup>在风洞实验室内用原 $R=1.89 : 1$ ,高为4 cm的肾状模型,用10 m/s的风速,经过190 h的吹蚀后, $R$ 变为 $3.23 : 1$ 的实验结果相吻合。

### 3.2 对比分析

分析得出的柴达木盆地东南部雅丹地貌 $R=3.04$ 的结果同Ward和Greeley<sup>[13]</sup>对加利福尼亚Rogers Lake地区的雅丹地貌研究得出的此区域雅丹体 $R$ 约为 $4 : 1$ 的结果较接近。也与Gutiérrez等人<sup>[4]</sup>对西班牙东北部Ebro Depression地区雅丹地貌研究的结果相差不大,Gutiérrez等人<sup>[14]</sup>通过对研究

区域雅丹地貌系统研究之后得出, 研究区雅丹  $R$  的平均值为  $4.1 : 1$ 。然而此数值却与 Mainguet 通过对撒哈拉沙漠 Borkou 地区雅丹地貌研究得出的  $R$  的平均值为  $10 : 1$  的结果相差较远。

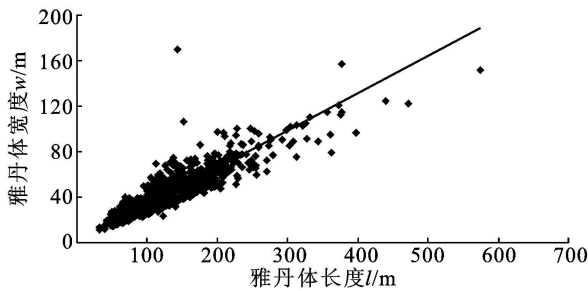


图 2 柴达木盆地东南部雅丹地貌  $l-w$  关系

Ward 和 Greeley<sup>[13]</sup> 研究的加利福尼亚 Rogers Lake 地区的雅丹地貌分布区面积为  $0.5 \text{ km}^2$ , 最大雅丹体的长、宽、高分别为 50, 10, 5 m。并且还在风洞实验室内对野外观测的数据进行了验证, 最后得出合理的长/宽  $R$  的值应为  $4 : 1$ 。Gutierrez 等人<sup>[4]</sup> 所研究的 Ebro Depression 地区主要包括 3 个干盐湖 (La Playa, El Pueyo 和 El Pito), 面积分别为 1.72, 0.14 和  $0.35 \text{ km}^2$ , 雅丹体长、宽、高的最大值分别为 264, 40, 17 m, 平均值分别为 72.0, 17.2, 6.3 m。Gutierrez 等人共测量了 50 个雅丹体, 其  $R$  值介于  $1.60 : 1 \sim 9.23 : 1$  之间, 平均值为  $4.1 : 1$ 。其中  $R$  值介于  $2.0 : 1 \sim 5.0 : 1$  之间的雅丹体共有 35 个, 占总测量点的 70%。其中,  $R$  值介于  $2.0 : 1 \sim 3.0 : 1$  的雅丹体有 17 个, 占总测量点的 34%;  $R$  值介于  $3.0 : 1 \sim 4.0 : 1$  和  $4.0 : 1 \sim 5.0 : 1$  之间的雅丹体均为 9 个, 占总测量点的 18% (图 3)。其中对其长、宽进行相关性分析, 可得相关系数  $r=0.8037$ , 也呈现强相关<sup>[12]</sup> (图 4)。

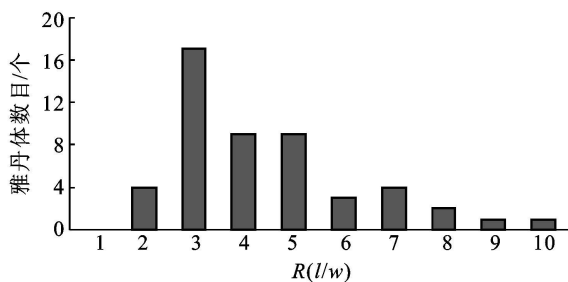


图 3 Ebro Depression 地区雅丹  $R(l/w)$  频数分布

由以上分析得出的雅丹地貌形态参数长与宽之间的这种强相关性, 不是一种偶然现象, 因为在全世界的雅丹地貌分布区所做的研究工作都证实存在这种关系, 区别只在于  $R$  值的不同。除以上求得的柴达木盆地东南部雅丹地貌  $R=3.04 : 1$  及列举的

Rogers Lake 地区的雅丹地貌  $R=4.0 : 1$ ; Ebro Depression 地区的雅丹地貌  $R=4.1 : 1$ ; 撒哈拉沙漠 Borkou 地区雅丹地貌  $R=10 : 1$  之外, McCauley 等人<sup>[15]</sup> 研究发现位于秘鲁发育良好呈流线型的雅丹地貌  $R$  值介于  $3 : 1 \sim 10 : 1$  之间。Breed 等人<sup>[16]</sup> 研究认为位于乍得的已固化的雅丹地貌  $R$  的值介于  $20 : 1 \sim 30 : 1$  之间。Bailey 等人<sup>[17]</sup> 研究认为位于智利、玻利维亚、阿根廷等安第斯山脉中部的已固化的雅丹地貌  $R$  值介于  $20 : 1 \sim 40 : 1$  之间, 未固化的雅丹地貌  $R$  值介于  $5 : 1 \sim 10 : 1$  之间。此外, 有的研究者还发现具有流线型形态的河流冲积地貌和冰川作用形成的地貌也具有相似的特征。Baker<sup>[18-19]</sup> 发现在 Scabland 地区集群存在的流线型丘陵状地形的  $R$  值介于  $1 : 1 \sim 8 : 1$  之间, 并且提出这种地貌典型的  $R$  值应为  $3 : 1$ 。Mills<sup>[20]</sup> 发现呈流线型群集存在的冰蚀鼓丘  $R$  值介于  $1.8 : 1 \sim 12 : 1$  之间。

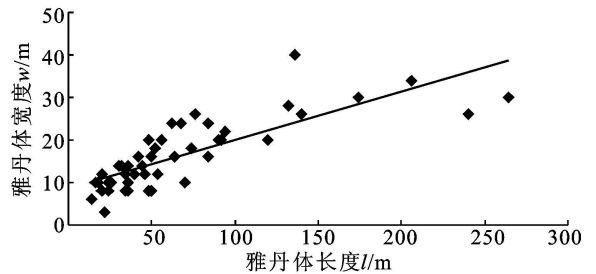


图 4 Ebro Depression 地区雅丹的  $l-w$  关系

### 3.3 讨论

Ward 和 Greeley 对雅丹地貌  $R$  值的多样性进行了解释, 认为影响雅丹体形态的因素主要包括: (1) 岩性; (2) 风的强度、频率和方向; (3) 降水和植被覆盖; (4) 沉积物的数量<sup>[13]</sup>。大量的研究工作已经证实, 雅丹地貌的形成主要有两个方面的因素: 一是发育这种地貌的地质基础, 即河湖相沉积物与地层; 二是外力的侵蚀作用, 主要包括风蚀、风化、季节性流水的沟蚀、块体移动和边坡移动等作用。雅丹地貌大多发育在河湖相沉积物之上, 受风力、流水、重力等外力作用而形成。因此, 雅丹地貌形成物质基础和外力作用的相似性也就决定着其外部形态的相似性。而世界不同地区, 又由于雅丹形成物质基础和外力作用的差异性, 也就造成了雅丹地貌形态特征的区域差异性。

另外, 雅丹体的长宽比  $R$  值也同雅丹地貌分布区的面积有关。Ward 和 Greeley 研究的加利福尼亚 Rogers Lake 地区的雅丹地貌分布区面积为  $0.5 \text{ km}^2$ , 其  $R$  平均值约为  $4.0 : 1$ ; Gutierrez 等人所研究的 Ebro Depression 地区主要包括 3 个干盐湖, 总面积约为  $2.21 \text{ km}^2$ , 其  $R$  平均值为  $4.1 : 1$ ; 而研究

区雅丹地貌分布区面积约为 236.46 km<sup>2</sup>, 其  $R$  平均值为 2.94 : 1。由于研究区雅丹地貌面积较广阔, 使得风力对雅丹体的侵蚀作用相较于以上两个地区更为强烈。因此使得研究区内的雅丹体更接近于流线型, 这一外形特征保证了雅丹体所受阻力最小。

## 4 结论

(1) 柴达木盆地东南部雅丹体形态参数  $l$  与  $w$  之间具有良好的正相关关系, 对所测量的 490 组数据用最小二乘法拟合可得雅丹地貌  $R=3.04$ 。

(2) 由于雅丹地貌形成条件的相似性使得全球范围内雅丹地貌  $R$  值具有相似性, 同时, 又由于各地地质条件、风力条件、雅丹分布区面积等因素的区域差异性, 使得全球范围内雅丹地貌表现出  $R$  值的区域差异性。

(3) 由于雅丹地貌多分布在干旱半干旱且风多且大的地区, 使得对其进行实地观测的难度较大。高分辨率遥感影像的应用为研究者对雅丹地貌的研究提供了切实可行的途径。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 吴正. 风沙地貌学 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1987: 77-84.
- [ 2 ] 夏训诚. 新疆罗布泊科学考察综述 [ J ]. 干旱区研究, 1985(1): 1-5.
- [ 3 ] 郑本兴, 张林源, 胡孝宏. 玉门关西雅丹地貌的分布和特征及形成时代问题 [ J ]. 中国沙漠, 2002, 22(1): 40-46.
- [ 4 ] Gutierrez Elorza M, Desir G, Gutierrez Santolalla F. Yardangs in the semiarid central sector of the Ebro Depression (NE Spain) [ J ]. Geomorphology, 2002, 44: 155-170.
- [ 5 ] Stapff F M. Karte des unteren Khuisibtals [ J ]. Petermanns Geographische Mitteilungen, 1887, 33: 202-214.
- [ 6 ] Walther J. Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung [ J ]. Abhandlungen Sachsische Gesellschaft Wissenschaft, 1891, 16: 345-570.
- [ 7 ] Ward A W. Yardangs on Mars: Evidence of recent wind erosion [ J ]. Journal of Geophysical Research, 1979, 84 (B14): 8147-8163.
- [ 8 ] Halimov M, Fezer F. Eight yardang types in central Asia [ J ]. Zeitschrift fur Geomorphologie, 1989, 33: 205-217.
- [ 9 ] 刘燕华. 柴达木盆地水资源合理利用与生态环境保护 [ M ]. 北京: 科学出版社, 2000: 6-7.
- [ 10 ] 杨治林. 柴达木盆地新生代岩相古地理及其演化 [ M ] // 中国科学院盐湖研究所. 青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化. 北京: 科学出版社, 1986: 17-18.
- [ 11 ] 杜乃秋, 孔昭宸. 达布逊湖 CK1/81 钻孔孢粉组合及其在地理学和植物学上的意义 [ M ] // 中国科学院盐湖研究所. 青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化. 北京: 科学出版社, 1986: 63-65.
- [ 12 ] 任孝宗, 刘淘, 王振亭. 河西沙区新月形沙丘形态参数观测 [ J ]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 163-166.
- [ 13 ] Ward A W, Ronald G. Evolution of the yardangs at Rogers Lake, California [ J ]. Bull. of Geological Society of America, 1984, 95: 829-837.
- [ 14 ] Mainguet M. Le Borkou—Aspects d'un mode éolien [ J ]. Annales de Géographie, 1968, 77: 296-322.
- [ 15 ] McCauley J F, Breed C S, Grolier M J. Yardangs [ M ] // Geomorphology in arid regions: Annual Geomorphology Symposium, 8th, Binghamton, New York, State University of New York, Proceedings, 1977: 233-269.
- [ 16 ] Breed C S, McCauley J F, Whitney M I. Wind erosion forms [ J ]. Arid Zone Geomorphology, 1989: 284-307.
- [ 17 ] Bailey J E, Self S, Wooller L K, et al. Discrimination of fluvial and eolian features on large ignimbrite sheets around La Pacana Caldera, Chile, using Landsat and SRTM-derived DEM [ J ]. Remote Sensing of Environment, 2007, 108(1): 24-41.
- [ 18 ] Baker V R. Large-scale erosion and depositional features of the Channelled Scabland [ M ] // The Channelled Scabland; Washington D C, National Aeronautics and Space Administration, Planetary Geology Program, 1978: 81-115.
- [ 19 ] Baker V R. Erosional processes in channelized water flows on Mars [ J ]. Journal of Geophysical Research, 1979, 84: 7985-7993.
- [ 20 ] Mills H H. An analysis of drumlin forms in the northeastern and north-central United States [ J ]. Geological Society of America Bulletin, Part II, 1980, 91: 2214-2289.