

敦煌沙漠—绿洲过渡带近地表风沙动力环境

张克存, 牛清河, 安志山, 张伟民, 张号

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

摘要: [目的] 探究沙漠绿洲过渡带起沙风况、输沙势、风沙通量和近地表粒度特征, 为阐明沙漠绿洲过渡带风沙动力过程提供理论依据。[方法] 利用同步风况、输沙通量和近地表断面粒度资料, 分析了沙漠、绿洲及其过渡带输沙势时空分布特征。[结果] 由于沙漠和绿洲内部物质组成、空间结构和水热状况不同, 沙漠—绿洲过渡风速梯度和起沙风累计作用时间差异显著; 受沙漠和绿洲的交互作用, 沙漠—绿洲过渡带存在两组主导风向。从近地表粒度特征沿程分布来看, 自沙漠至绿洲方向, 粗沙含量逐渐降低, 粉沙和黏粒含量相对增加。沙漠—绿洲过渡带是绿洲生态系统的重要组成部分, 对维持绿洲稳定意义重大。[结论] 针对绿洲风沙危害防治, 应从局地环流角度出发, 充分考虑沙漠—绿洲过渡带的调节和缓冲作用。

关键词: 沙漠—绿洲过渡带; 起沙风; 输沙势; 粒度特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0008-04

中图分类号: P931.3, X43

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.003

Aeolian Dynamics Environments Near Earth Surface in Desert-Oasis Transitional Zone of Dunhuang Area

ZHANG Kecun, NIU Qinghe, AN Zhishan, ZHANG Weimin, ZHANG Hao

(Dunhuang Gobi and Desert Ecology and Environment 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: [Objective] The distribution pattern of sand-driven wind regimes, drift potentials, sand flux and particle size along the desert oasis transitional zone in the Dunhuang oasis adjacent to Mingsha Mountain was investigate in order to provide a theoretical basis for clarifying the process of aeolian sand in desert and oasis regions. [Methods] Based on the data from the synchronous wind velocity, sand flux and the size of sand grains, the characteristics of aeolian sand environments were calculated along the desert oasis transitional zone. [Results] Because of the differences of the material composition, spatial structure and hydrothermal conditions, wind velocity gradient and cumulative time of sand-driven wind existed significant differences. By the interaction of the desert and oasis, two dominant winds existed desert-oasis transitional zone. From the point of near surface granularity characteristics along the distribution, coarse sand content gradually reduced and silt and clay content increased relatively from the desert to the oasis. Desert-oasis transitional zone was the important part of the ecosystem, and had significance in maintaining a stable transition. [Conclusion] For the oasis sand hazard prevention and control, we should give full consideration to the role of regulation and buffering of desert-oasis transitional zone in view of atmospheric circulation.

Keywords: desert-oasis transitional zone; sand-driven wind; drift potentials; characteristics of sand grains

沙漠和绿洲是干旱区最为典型的地表景观类型, 二者相互依存而又互相牵制。全球绿洲面积虽仅占干旱区总面积的 4%, 但却养育了干旱区 95% 以上的人口, 创造了干旱区璀璨的古代文明^[1-2]。沙漠作为近地表风沙过程的物源地, 直接威胁绿洲的存亡。但绿洲低水平、无序开发致使绿洲稳定性下降, 引发包

括沙漠化在内的一系列生态环境问题^[3-4]。沙漠—绿洲过渡带对维系绿洲系统稳定尤为关键: 一方面, 它作为减轻沙漠对绿洲施压的天然屏障, 可以阻止沙漠扩张以及风沙对绿洲的侵袭; 另一方面, 在水资源条件改善的情况下, 又是绿洲扩展和沙漠改造的首选之地^[5]。由于受绿洲和沙漠景观格局的双重影响, 沙

收稿日期: 2014-06-22

修回日期: 2014-06-30

资助项目: 国家自然科学基金项目“沙漠绿洲过渡带近地表风沙动力过程研究”(41371027); 中国科学院“西部之光”项目(29Y128841)

第一作者: 张克存(1978—), 男(汉族), 甘肃省民勤县人, 博士, 研究员, 主要从事风沙灾害与风沙工程研究。E-mail: kecunzh@lzb.ac.cn。

漠—绿洲过渡带是一个对外界条件变化极为敏感的生态环境脆弱带。沙漠和绿洲的水、热差异所造成的局地环流和小气候,影响沙漠—绿洲过渡带近地表风沙过程^[6-7]。研究^[8-9]表明,历史时期以来,在人类活动和气候变化的影响下,水文过程、生物过程、陆表过程和大气过程及其相互作用决定了绿洲的演化。而沙漠—绿洲过渡带近地表风沙过程是上述诸多过程的集中表现,影响区域生态环境的演变和沙漠—绿洲系统的稳定,也是辨析区域沙漠化或绿洲化的关键。风沙在沙漠和绿洲间往复式的能量交换及物质搬运,使近地表呈现复杂的风蚀、堆积及其交互过程^[10-12]。沙漠—绿洲过渡带风沙活动引起的风蚀、沙埋以及流沙入侵已严重影响绿洲稳定和持续发展。为解决绿洲及其毗邻地区的风沙危害,保障绿洲生态安全,亟待对沙漠—绿洲过渡带近地表风沙动力过程开展系统研究。敦煌绿洲毗邻高大连绵的鸣沙山,沙丘类型多为金字塔沙丘,平均高度约130 m。鸣沙山与距离最近的敦煌月牙泉村庄、林地和农田等相隔约2.0 km。鸣沙山与敦煌绿洲地势高差和景观格局差异显著,是一典型的沙漠—绿洲过渡带。鉴于此,本研究以敦煌绿洲为例,探讨沙漠—绿洲过渡带起沙风和输沙势等风动力环境,不仅揭示沙漠—绿洲过渡带局地环流特征和风沙运动机制,而且有助于解决绿洲风沙危害,为干旱区绿洲风沙防治提供理论依据,具有重要的理论和实践意义。

1 敦煌绿洲自然环境特征

敦煌市位于甘肃省河西走廊西段,面积约 $3.12 \times 10^4 \text{ km}^2$,主要以戈壁和沙漠为主,绿洲面积 $1.40 \times 10^3 \text{ km}^2$,仅占总面积的4.5%。境内水资源主要来自疏勒河和党河,维系着敦煌绿洲的生态平衡。敦煌绿洲由于地处我国西北内陆,气候极端干旱,年均降水量为38.8 mm,年蒸发量高达3470 mm。另外,受外围沙漠影响,敦煌绿洲生态环境极其脆弱,风沙活动强烈而频繁,年均大风日数约20 d,沙尘暴日15.8 d。每年11月至翌年2月,盛行风向以西南风和西风为主,3—10月多东北风和东风。根据1997和1998年敦煌市气象局风况资料统计来看,全年主导起沙风以东北风和西南风为主,二者占全年总量的51.47%,全年起沙风合成输沙方向 215° (表1)。据观测,毗邻敦煌绿洲西缘的库姆塔格沙漠每年向绿洲内部推进3~4 m,沙漠与绿洲近在咫尺,对农牧业生产构成了严重威胁。

尤其是近年来,随着全球气候变化和人类活动的影响,敦煌绿洲及其周边生态环境退化更为突出,地

表水资源锐减、地下水位下降、植被退化、湿地萎缩的现象十分严重。

表1 敦煌市各方位起沙风比例

方位	比例/%	方位	比例/%
N	0.42	S	1.27
NNE	0.42	SSW	0.84
NE	10.97	SW	3.38
ENE	29.11	WSW	22.36
E	2.95	W	14.77
ESE	0.00	WNW	8.02
SE	0.42	NW	1.69
SSE	0.00	NNW	3.38

2 沙漠—绿洲过渡带起沙风

为了揭示沙漠—绿洲过渡带风动力环境,自鸣沙山至敦煌市月牙泉村庄方向设置监测断面,整个监测断面走向为西南至东北方向。沙漠测点位于鸣沙山腹地,在沙漠测点的西南方向依次设置沙漠绿洲过渡带测点和绿洲测点。沙漠测点距离绿洲和过渡带两测点的直线距离分别为3.0和1.2 km。在监测断面上沿分别途架设小型气象仪,各气象站点风速采集高度距离地表2.0 m,每次风速采集时间间隔为10 min,用于分析局地主导风向、起沙风况和输沙势等风动力环境特征。采用用2008—2010年连续3 a风况资料,分别计算和统计了沙漠绿洲过渡带各测点平均风速、起沙风玫瑰图、起沙风累计作用时间和输沙势等。

2.1 平均风速

平均风速是衡量风沙强度活动的指标之一。沙漠和绿洲同处于干旱区,二者物质组成、空间结构和水热特性的不同,导致沙漠—绿洲过渡带各点平均风速在空间分布及时间变化上存在明显的差异。从表2可以看出,在空间分布上,从沙漠至绿洲,平均风速有递减趋势。沙漠和过渡带两测点年均风速为分别为2.78和2.54 m/s,由于受绿洲效应的影响,至绿洲年均风速为1.99 m/s,远小于沙漠地区。从时间变化来看,各点平均风速冬春季相对较大,尤其是3—5月份。

2.2 起沙风玫瑰图

起沙风是确定风沙活动发生与否及其强度的重要依据,也是研究风沙运动规律、解决风沙工程问题的关键指标之一。基于相关研究结果和野外实地观测,对于一般干燥裸露的沙质地表来说,当风速达到5.0 m/s左右(2.0 m高度),沙粒开始起动,形成风沙流。所以本研究以5.0 m/s作为沙粒的起动风速。从起沙风统计记录来看,总体趋势是越远离沙漠,静

风频率越大,起沙风频次越小。沙漠、过渡带和绿洲三点起沙风频率分别为 15.73%,14.20%和7.26%。从主导起沙风向来来看,沙漠测点主要以南风和偏南风为主,起沙风合成方向为 24.60°,西南向指向绿洲方向。沙漠—绿洲过渡带,由于受沙漠和绿洲的交互作

用,存在两组主导方向,一组为 W—SWS,指向绿洲方向,频率为 45.45%;另一组为 NE—ENE,方向指向沙漠,频率为 27.315%。在绿洲内部,主导起沙风向以东北风为主,占 57.21%,起沙风合成方向为 203.10°,指向沙漠方向(图 1)。

表 2 沙漠—绿洲过渡带各点月平均风速

m/s

站点	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
沙漠	2.80	2.72	2.99	2.66	3.17	2.79	2.88	2.76	2.61	3.13	2.21	2.68	2.78
过渡带	2.32	2.51	2.96	3.04	3.29	2.56	2.61	2.08	2.30	2.31	2.02	2.49	2.54
绿洲	2.11	1.79	2.16	2.49	2.58	2.26	2.10	1.66	1.80	1.46	1.76	1.71	1.99

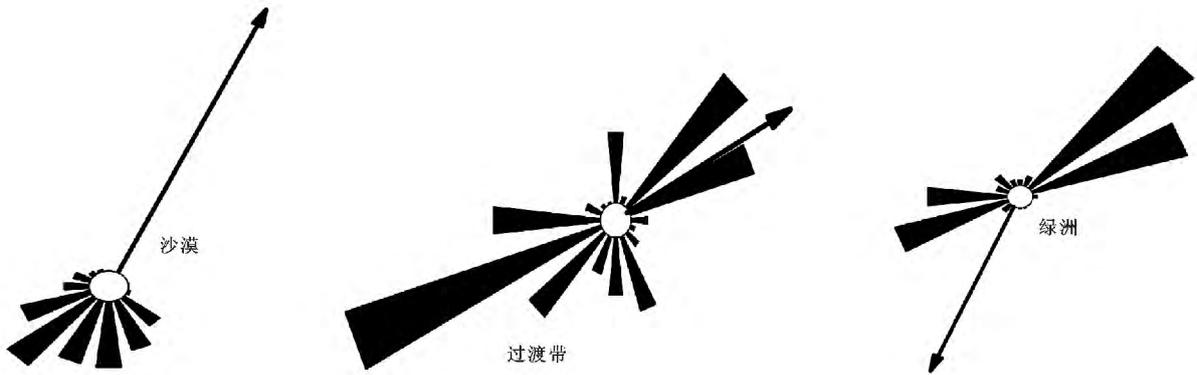


图 1 沙漠—绿洲过渡带各点起沙风玫瑰图

2.3 起沙风累计作用时间

为了更具体地对比沙漠—绿洲过渡带风沙活动强度,图 2 所示了各站点起沙风累计作用时间。从各季节起沙风作用时间分布来看,无论是沙漠还是绿洲,春、冬季起沙风累计作用时间相对较高,尤其是春季,沙漠、过渡带至绿洲起沙风累计作用时间分别为 406.83,453.33 和 250.17 h。另外,由于受绿洲呈现独特的“湿岛效应”和“增雨效应”的影响,绿洲内部起沙风累计作用时间明显低于沙漠,过渡带间于中间。全年沙漠和绿洲内部起沙风累计作用时间为 1 424.67 和 636.33 h,绿洲起沙风累计作用时间约占沙漠站点的 44.67%。

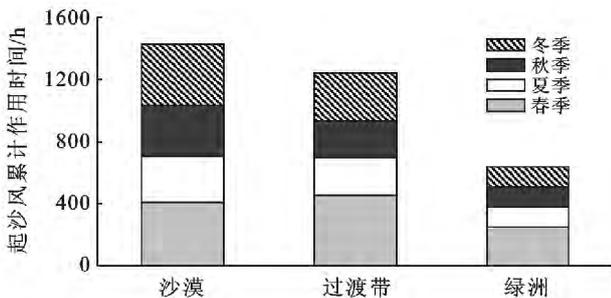


图 2 沙漠—绿洲过渡带各点起沙风累计作用时间

3 沙漠—绿洲过渡带输沙势

输沙势(drift potential, DP)是衡量区域风沙活动强度及风动力环境重要指标,在工程防沙设计和风沙地貌研究中,经常用到输沙势。本文在计算输沙势时,采用 Fryberger 提出的计算方法^[13]。表 3 为沙漠—绿洲过渡带四季分布情况,由表 3 可以看出,沙漠与过渡带输沙势相差不大,但绿洲内部输沙势明显较低。

表 3 沙漠—绿洲过渡带不同季节输沙势

站点	春季	夏季	秋季	冬季
沙漠	176.50	175.20	97.60	136.49
过渡带	267.64	156.76	98.83	116.41
绿洲	143.65	80.52	46.78	48.86

由于风是一种矢量,根据矢量合成法则将 16 个方位输沙势进行合成,就得到合成输沙势(resultant drift potential, RDP)和合成输沙方向(resultant drift direction, RDD),它可以反映一个地区净输沙能力的大小。合成输沙势与输沙势的比值称为方向变率指数(RDP/DP),用来反映一个地区风向组合情

况。基于输沙势合成计算,沙漠站点年合成输沙势 RDP 为 117.91 UV,过渡带 RDP 为 53.09 UV,绿洲内部 RDP 为 47.50 UV。沙漠至绿洲内部,年输沙势和合成输沙势均呈递减趋势,沙漠地表风动力环境明显高于绿洲内部。沙漠站点方向变率 RDD 最大,为 0.81,过渡带方向变率 RDD 最小为 0.35,绿洲内部 RDD 为 0.56。

4 沙漠—绿洲过渡带近地表粒度特征

沉积物的粒度特征是指粒度组成与粒度参数,同

时也包括其在地域上的分布规律^[14-16]。在风沙地貌研究中,粒度是一个很重要的指标,它可反映沙丘的形态特征、沉积环境和发育过程^[17-19]。为了揭示沙漠—绿洲过渡带近地表粒度特征,于大风过境后沿沙漠至绿洲方向分别采集典型地表沙样进行粒度组成分析(表 4)。样品采集面积为 30 cm×30 cm,采集重量约为 150 g,使用振筛机分选沙样并称重,每个样品振筛 5 min,称重精度为 0.000 1 g,之后计算各粒径区间质量百分比。采集沙样样本数为:沙漠地表 4 个,过渡带 5 个,绿洲边缘至绿洲内 3 个,共计 12 个样点。

表 4 沙漠—绿洲过渡带近地表粒度组成百分含量

地点	极粗沙 (2~1 mm)	粗沙 (1~0.4 mm)	中沙 (0.4~0.25 mm)	细沙 (0.25~0.125 mm)	极细沙 (0.125~0.08 mm)	粉沙 (0.08~0.06 mm)	黏粒 (<0.006 3 mm)
沙漠	4.92	75.76	15.59	3.52	0.19	0.01	0
过渡带	0.13	26.18	51.48	21.14	0.80	0.15	0.12
绿洲	0	0.76	18.44	62.78	11.78	3.20	3.03

通过分析表层沙粒粒度可知,沙漠绿洲过渡带各点粒度分布存在较大差别,自沙漠至绿洲,粗沙含量逐渐降低,中沙和细沙含量增加。沙漠近地表以粗沙为主,质量百分含量 75.76%,中细沙含量较少,分别为 15.59%和 3.52%。过渡带近地表沙粒以中沙和粗沙为主,中沙含量相对较高,为 51.48%。相对沙漠地表,细沙含量有所增加,为 21.14%。绿洲边缘至绿洲内部近地表沙粒以细沙为主,质量百分含量为 62.78%,粗沙含量较少,只有 0.76%,而风沙和黏粒含量相对增加,分别为 3.2%和 3.03%。综上分析可知,沿沙漠至绿洲方向,由于沙漠植被稀少,表层以粗沙粒为主,粗沙百分比均大于 50%。过渡带水热条件相对较好,生长有低矮灌木,表层沙粒以粗沙、中沙和细沙为主,与沙漠地区表层沙粒相比,粗沙比例减小至 26.18%,中沙百分比增加至 55.48%,细沙比例增加至 21.14%,且越靠近绿洲,中沙和细沙比例越大。绿洲内部有高大乔木和灌木保护,表层沙粒以极细沙、细沙和中沙为主,其中,细沙百分比增加至 62.78%,极细沙百分比增加至 11.78%,而粗沙百分比下降至 0.76%。

5 结论

沙漠—绿洲过渡带是绿洲生态系统的重要组成部分,对维持绿洲稳定具有重要作用。近地表风沙过程在沙漠和绿洲间的时空交错,直接影响沙漠—绿洲生态系统的稳定。由于受绿洲效应的影响,绿洲年均风速远小于沙漠地区,绿洲起沙风累计作用时间约占沙漠站点的 44.67%。年输沙势和合成输沙势也呈递减趋势,沙漠地表风动力环境明显高于绿洲内部。

从近地表粒度特征来看,沙漠地区以粗沙为主,含量较高,中细沙含量较少;过渡带近地表沙粒以中沙和粗沙为主,中沙含量相对较高,为 51.48%;绿洲边缘至绿洲内部近地表沙粒以细沙为主,粗沙含量较少;风沙和黏粒含量相对增加。沙漠—绿洲过渡带近地表风沙过程不仅受沙漠和绿洲景观格局和地表物质组成的影响,而且还与沙漠—绿洲水、热差异造成的局地环流有很大的关系。

[参 考 文 献]

- [1] 文子祥,董光荣,屈建军. 应重视和加强我国沙漠绿洲的研究[J]. 地球科学进展, 1996, 11(3): 270-274.
- [2] 胡隐樵,左洪超. 绿洲环境形成机制和干旱区生态环境建设对策[J]. 高原气象, 2003, 22(6): 537-544.
- [3] 韩德林. 新疆人工绿洲[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.
- [4] Wang Yuang, Li Yan. Land exploitation resulting in soil salinization in a desert-oasis ecotone [J]. Catena, 2012, 100(1): 50-56.
- [5] Aosier B, Tsuchiya K, Kaneko M, et al. Land cover of oases and forest in Xinjiang, China retrieved from ASTER data [J]. Advances in Space Research, 2007, 39(1): 39-45.
- [6] Jia Baoquan, Zhang Zhiqiang, Ci Longjun, et al. Oasis land-use dynamics and its influence on the oasis environment in Xinjiang, China [J]. Journal of Arid Environments, 2004, 56(1): 11-26.
- [7] Salman A B, Howari F M, Sankary M M, et al. Environmental impact and natural hazards on Kharga Oasis monumental sites, Western Desert of Egypt [J]. Journal of African Earth Sciences, 2010, 58(2): 341-353.

(下转第 17 页)

- [13] 张建辉,倪师军,朱波,等.紫色土不同土地利用条件下的土壤抗冲性研究[J].中国科学(E辑):技术科学,2003(S1):63-70.
- [14] 付允,贾亚男,蓝家程.岩溶区不同土地利用方式土壤抗蚀性分析[J].水土保持研究,2012,18(5):5-9.
- [15] 周维,张建辉.金沙江支流冲沟侵蚀区四种土地利用方式下土壤入渗特性研究[J].土壤,2006,38(3):333-337.
- [16] 刘霞,张光灿,刘信儒,等.鲁中石质山地不同林分类型土壤结构特征[J].水土保持学报,2005,5(6):49-52.
- [17] 漆良华,张旭东,周金星,等.湘西北小流域典型植被恢复群落土壤贮水量与入渗特性[J].林业科学,2007,43(3):1-7.
- [18] 刘蔚漪,范少辉,刘广路,等.闽北不同类型毛竹林冠层降水再分配特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2011,35(4):1-6.
- [19] 刘旦旦,张鹏辉,王健,等.黄土坡面不同土地利用类型土壤抗蚀性对比[J].林业科学,2013,49(9):102-106.
- [20] 张昌顺.闽北不同类型毛竹林生态功能研究[D].北京:中国林业科学研究院,2008.
- [21] 薛蕙,刘国彬,张超,等.黄土丘陵区人工灌木林土壤抗蚀性演变特征[J].中国农业科学,2010,43(15):3143-3150.
- [22] 喻武,杜珊,万丹,等.色季拉山川滇高山栎林下土壤抗蚀性分析[J].林业科技开发,2013,27(4):37-41.
- [23] 马西军,程金花,张洪江,等.山西中阳5种人工林地土壤的抗蚀性研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2012,40(7):113-119.
- [24] 张旭贤,高华端,孙利军,等.贵州不同碳酸盐岩坡耕地土壤侵蚀特征研究[J].中国水土保持,2013(9):42-45.
- [25] 焦菊英,王宁,杜华栋,等.土壤侵蚀对植被发育演替的干扰与植物的抗侵蚀特性研究进展[J].草业学报,2012,21(5):311-318.
- [26] 宋坤,陈玉霞,潘晓星,等.5种护坡植物根系土壤抗蚀性比较[J].东北林业大学学报,2013,41(9):63-67.
- [27] 马笑,朱首军.黄土丘陵沟壑区梯田地埂土壤崩解特性试验研究[J].西北林学院学报,2013,28(4):21-25.
- [28] 张颖,牛健植,谢宝元,等.森林植被对坡面土壤水蚀作用的动力学机理[J].生态学报,2008,28(10):5084-5094.
- [29] 和利钊,张杨珠,刘杰,等.不同施肥和调理剂对侵蚀红壤肥力和抗侵蚀性的修复效应[J].水土保持学报,2012,26(4):54-58.

(上接第11页)

- [8] Ladi R, Yassaa N, Balducci C, et al. Organic components of Algerian desert dusts[J]. Chemosphere, 2010, 81(7):925-931.
- [9] 刘树华,刘和平,胡予,等.沙漠绿洲陆面物理过程和地气相互作用的数值模拟[J].中国科学(D辑):地球科学,2006,36(11):1037-1043.
- [10] 刑文娟,雷加强,王海峰,等.荒漠—绿洲过渡带风况及输沙势分析[J].干旱区研究,2008,25(6):894-898.
- [11] 杨兴华,何清,霍文,等.策勒绿洲—荒漠过渡带风沙前沿近地面不同方向的输沙特征[J].气干旱区研究,2012,29(6):1100-1104.
- [12] 赵明,詹科杰,杨自辉,等.民勤沙漠—绿洲低空沙尘暴结构特征研究[J].中国科学(D辑):地球科学,2011,41(2):234-242.
- [13] Fryberger S G, Dean G. Dune forms and wind regime [M] // McKee E D. A study of global sand seas. Washington: Government Printing Office, 1979: 305-397.
- [14] 姚正毅,屈建军.青藏铁路格尔木—拉萨段风成沙物源及其粒度特征[J].中国沙漠,2012,32(2):300-307.
- [15] 吴霞,哈斯,社会石,等.库布齐沙漠南缘抛物线形沙丘表面粒度特征[J].沉积学报,2012,30(5):937-944.
- [16] 钱广强,董治宝,罗万银,等.巴丹吉林沙漠地表沉积物粒度特征及区域差异[J].中国沙漠,2011,31(6):1357-1364.
- [17] 王丰年,李保生,王江龙,等.萨拉乌苏河流域 MGS2 层段粒度与 CaCO_3 记录的千年尺度气候变化[J].地理科学,2012,32(5):596-602.
- [18] 张伟民.金字塔沙丘粒度变化及表面过程的初步研究[J].中国沙漠,2013,33(6):1615-1621.
- [19] 刘陶,杨小平,董巨峰,等.巴丹吉林沙漠沙丘形态与风动力关系的初步研究[J].中国沙漠,2010,30(6):1285-1291.