

林永崇,穆桂金,陈丽玲,等.策勒绿洲近地表大气降尘粒度指示的分选特征及其意义[J].中国沙漠,2022,42(1):139-146.

# 策勒绿洲近地表大气降尘粒度指示的分选特征及其意义

林永崇<sup>1</sup>,穆桂金<sup>2</sup>,陈丽玲<sup>1</sup>,吴楚娜<sup>1</sup>,徐立帅<sup>3,4</sup>

(1.闽南师范大学 历史地理学院,福建 漳州 363500; 2.中国科学院新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830011; 3.山西农业大学 资源环境学院,山西 太谷 030801; 4.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 风成沉积一般为多峰态粒度分布,不同峰态往往指示不同的沉积分选作用。这种分选作用形成的粒度特征是否具有稳定性可以通过现代大气降尘观测进一步证实。本研究通过对策勒绿洲两次大气降尘11个位置3 m和0.5 m高度样品粒度特征进行分析,试图揭示风成沉积粒度特征的稳定性。结果表明:两次大气降尘粒级范围都集中在0.4—250  $\mu\text{m}$ ,不同高度的大气降尘都显示典型的双峰态粒度分布特征,其中粗粒峰态众数为67—75  $\mu\text{m}$ ,细粒峰态众数12—21  $\mu\text{m}$ 。粗粒峰态和细粒峰态各自在不同位置 and 不同高度上都表现出稳定一致的粒度分布特征,这表明大气降尘在近地表空间上经历稳定一致的沉积分选作用。因此,风成沉积粒度特征适合用于指示区域沉积动力环境,多峰态分离分析可能获得更加明确的环境信息。

**关键词:** 大气降尘; 粒度; 多峰态; 分选作用

**文章编号:** 1000-694X(2022)01-139-08

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00140

**中图分类号:** P92

**文献标志码:** A

## 0 引言

风成沉积往往展示双峰态粒度分布特征<sup>[1-2]</sup>。对于各个峰态的成因有几种不同的认识。有学者认为粗粒峰态(>20  $\mu\text{m}$ )组分和细粒峰态(<20  $\mu\text{m}$ )组分是由不同物质来源形成的,粗粒峰态组分是近距离传输沉积的,而细粒峰态组分是远距离传输沉积形成的,甚至是通过西风环流传输沉积的<sup>[1]</sup>。有学者认为细粒峰态是大气背景尘<sup>[1]</sup>。但也有学者认为粗粒峰态和细粒峰态组分具有共同的物质来源<sup>[3-4]</sup>,二者是在不同强度的大气流场中传输沉积形成的<sup>[2]</sup>。总之,风成沉积各个粒度峰态具有不同的形成过程<sup>[5]</sup>。

地表沉积物在风动力搬运、沉积后,其不同的粒度峰态具有不同的形成过程,往往展现出各自的粒度特征<sup>[2,6-7]</sup>,这些粒度特征反过来指示了相应的沉积分选特征<sup>[2,8-9]</sup>。因此,粒度特征经常被用于指示沉积

物形成环境。然而,在运用沉积物粒度特征反演古环境过程中,为了提取更明确的环境代用指标,有必要深入理解不同峰态组分形成过程。许多学者通过端元模型<sup>[10]</sup>、粒级-标准偏差<sup>[11]</sup>等方法,试图提取更有效的环境代用指标。但这些方法往往是对风成沉积粒度构成的模拟、分析,而对现代大气降尘粒度特征的直接观测、分析有助于进一步理解地质历史时期风成沉积粒度特征指示的沉积环境。

风成沉积各个粒度峰态随着空间变化会发生沉积分异现象<sup>[12]</sup>。例如,由于沉积分异作用,黄土高原风成沉积总体上沿着盛行风向逐渐变细,这使得即使同一一次的风成沉积不同空间位置粒度特征存在差异<sup>[12-13]</sup>。而同一次风沙活动过程中,同一位置的大气降尘粒度特征是否具有稳定一致性?近地表不同高度降尘通量不同<sup>[14-16]</sup>,其粒度特征如何变化?本研究通过对沙漠边缘绿洲中现代大气降

收稿日期:2021-07-19; 改回日期:2021-10-09

资助项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(41601012);福建省高校杰出青年科研人才培育计划项目;福建省教育厅中青年教师教育科研项目(JAT190365);山西农业大学科技创新基金项目(2016YJ16);中国沙漠气象科学研究基金项目(Sqj2020011)

作者简介:林永崇(1983—),男,福建漳州人,博士,副教授,研究方向为环境演变。E-mail: linyongchong@itpcas.ac.cn

通信作者:徐立帅(E-mail: sdytxu@126.com)

尘的观测、分析试图进一步明确特定位置的风成沉积粒度变化特征。

## 1 研究区概况

采样点位于昆仑山北麓、塔克拉玛干沙漠南缘的策勒绿洲(图1)。研究区地处亚欧大陆腹地,属于

暖温带大陆性干旱荒漠气候。年平均气温  $11.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 气温年较差大<sup>[17]</sup>。年降水量约为  $35.1\text{ mm}$ , 潜在蒸发量  $2\,595.3\text{ mm}$ , 气候十分干旱, 水资源主要靠山地降水和冰雪融水补给。研究区处于沙漠边缘、塔里木盆地大气环流的下风区, 近地表盛行西风, 风沙活动频繁, 且主要集中于春、夏季节<sup>[18]</sup>。

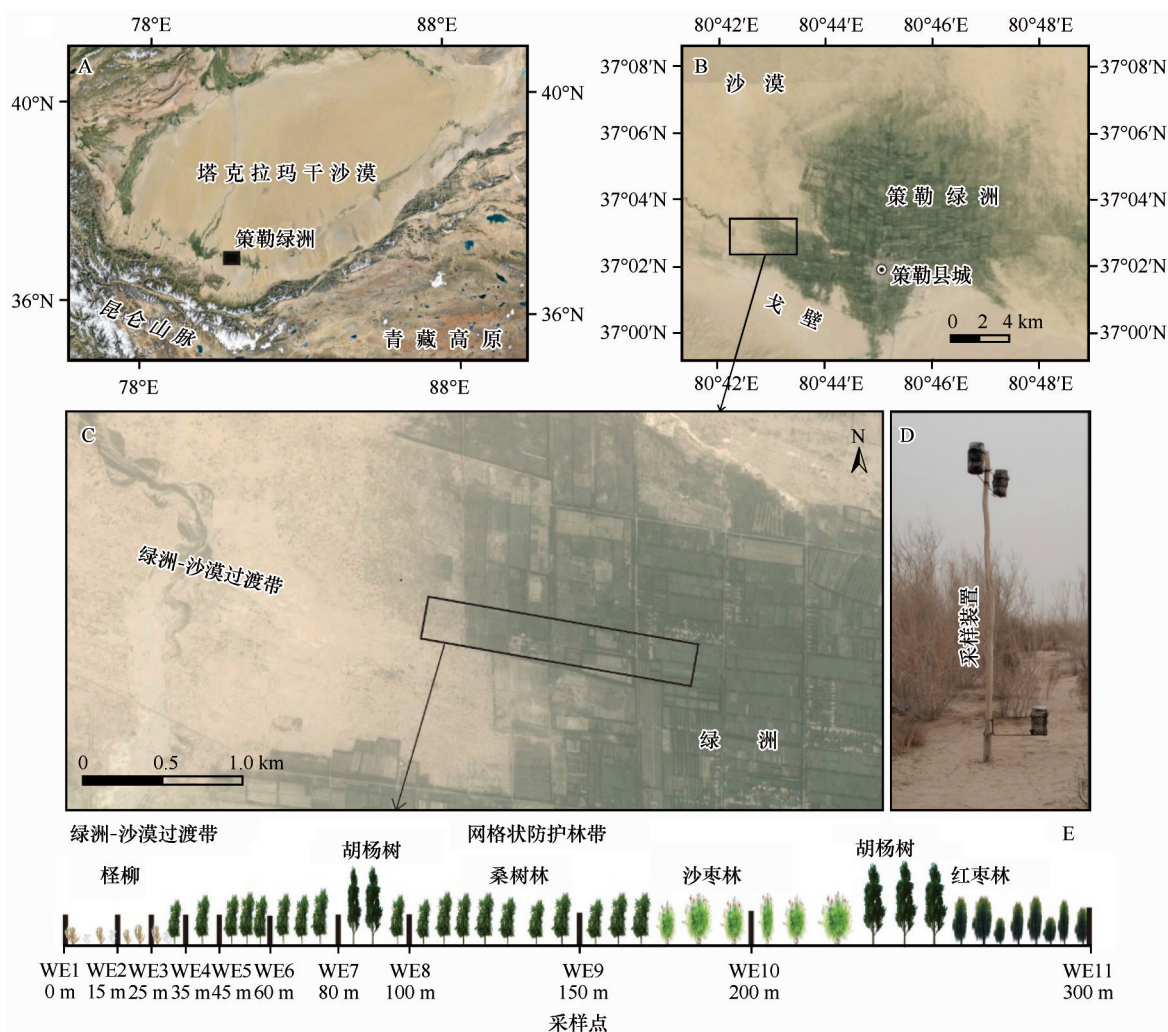


图1 研究区概况及采样点分布

Fig.1 The study region and distribution of sampling points

## 2 研究方法

在策勒绿洲及其与沙漠过渡带设置11个采样点(图1), 每个采样点在距离地面  $3\text{ m}$  和  $0.5\text{ m}$  分别布设降尘采样筒。采样筒尺寸根据国家标准(GB/T 15265-94)用PVC管制作, 直径  $15\text{ cm}$ , 筒深  $30\text{ cm}$  (图1D)。

在2011年4月27日—5月5日和7月5—18日分别采集沙尘降尘样品, 各自命名为T1时期和T2时期。两次大气降尘都经历一段时间的强大气流

场过程(沙尘暴期间)和一段时间的弱大气流场过程(沙尘暴后)。样品在实验室称重, 并用英国马尔文公司生产的 Mastersizer-2000 型号激光粒度仪测试分析(仪器测试粒径范围为  $0.02\text{--}2\,000\text{ }\mu\text{m}$ ), 重复3次测试, 误差低于2%。由于样品沉降后未经过成土等后期改造, 因此未经盐酸和双氧水前处理, 而是直接进行粒度测试。降尘通量是根据降尘量(单位:  $\text{g}$ )和降尘采样筒内径(单位:  $\text{m}$ )计算观测时段内的单位面积沉降量(单位:  $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ )。

风成沉积粒度分布曲线符合对数正态分布的粒度分布特征已经被广泛认可,这体现了其物理沉积机制<sup>[6]</sup>。许多研究运用对数正态分布模型进行粒度分布曲线拟合和分离,效果良好<sup>[19-21]</sup>。为了更细致地比较降尘各个峰态粒度特征,本研究运用对数正态分布模型进行拟合和分离原始粒度分布曲线<sup>[19]</sup>,拟合误差在7.2%以内,取得较好的效果。另外,为了更好地进行对比分析,我们把分离的各个峰态含量换算成百分比含量。

### 3 结果与分析

#### 3.1 两次大气降尘沉积通量变化特征

T1时期11个采样点收集的降尘的沉积通量在 $7.6\text{--}44.1\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (图2A),T2时期收集的降尘沉积通量为 $26.9\text{--}150.5\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ (图2B)。不同位置降尘通量有一定差异,T1时期中3 m和0.5 m高度变异系

数分别为35%和41%,T2时期中3 m和0.5 m高度变异系数分别为26%和41%。在这两期降尘中,0.5 m高度沉积通量基本都高于3 m沉积通量,T1时期平均高了41%,T2时期平均高了39%。

#### 3.2 两个高度一致的粒度分布曲线

T1时期和T2时期两次大气降尘3 m和0.5 m高度大气降尘粒度分布曲线如图3所示。两次大气降尘粒级都集中在 $0.4\text{--}250\text{ }\mu\text{m}$ (其中T1时期的WE9和WE10以及T2时期的WE7,0.5 m高度的样品存在含量~1%  $250\text{--}600\text{ }\mu\text{m}$ 粗颗粒端组分),都表现出风成沉积典型的双峰态粒度分布特征(在小于 $2\text{ }\mu\text{m}$ 的细颗粒端存在一个不显著峰态组分,由于这个组分的形成可能主要是受化学过程和/或者生物化学过程影响<sup>[22]</sup>,而与大气尘搬运、传输动力过程关系较小,因此本研究暂不分析其成因)。每个时期不仅同一高度粒度分布曲线一致,不同高度粒度分布曲线也一致。

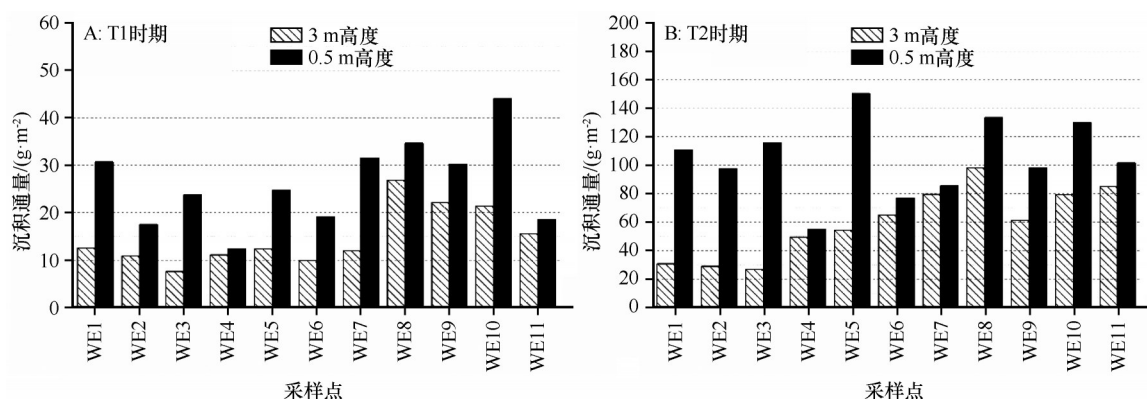


图2 T1和T2时期大气降尘沉积通量

Fig.2 Sedimentary flux of atmospheric dust fall during T1 and T2

#### 3.3 粒度分布曲线拟合分离

图4为T1和T2时期降尘粒度拟合、分离的结果,拟合误差都小于8%。在同一时期,同一高度不同位置的大气降尘,不论是粗粒峰态还是细粒峰态,粒度分布曲线都十分一致(除了T1时期中3 m高度细粒峰态相对变化较大)。例如:T1时期降尘11个采样点的0.5 m高度粗粒峰态众数为 $67\text{--}75\text{ }\mu\text{m}$ ,细粒峰态众数 $15\text{--}21\text{ }\mu\text{m}$ ;而3 m高度降尘粗粒峰态众数为 $67\text{--}75\text{ }\mu\text{m}$ ,细粒峰态众数 $12\text{--}19\text{ }\mu\text{m}$ 。同一时期3 m和0.5 m两个高度降尘粒度分布曲线也一致,尤其是粗粒峰态组分表现得更具一致性。因此,同一次降尘,不论是同一高度还是不同高度都表现出一致的粒度分布特征。

#### 3.4 粒度参数空间变化特征

两次大气降尘中,总体上同一位置不同高度粒度均值有较大波动,同一高度不同位置降尘粒度均值也有较大波动。但是对于粗粒峰态或者细粒峰态来说,同一位置不同高度降尘粒度均值变化较小,同一高度不同位置粒度均值变化也较小。尤其是粗粒峰态,在不同位置 and 不同高度上都十分一致(图5A和6A)。

对于分选性,两次大气降尘中同一高度不同位置或者同一位置不同高度的分选系数都在 $1.95\text{--}2.29$ (3 m高度)和 $1.88\text{--}2.88$ (0.5 m高度)范围,都介于中等分选至差分选之间(根据Folk-Ward标准<sup>[23]</sup>)。对于粗粒峰态,两个高度各个位置的分选



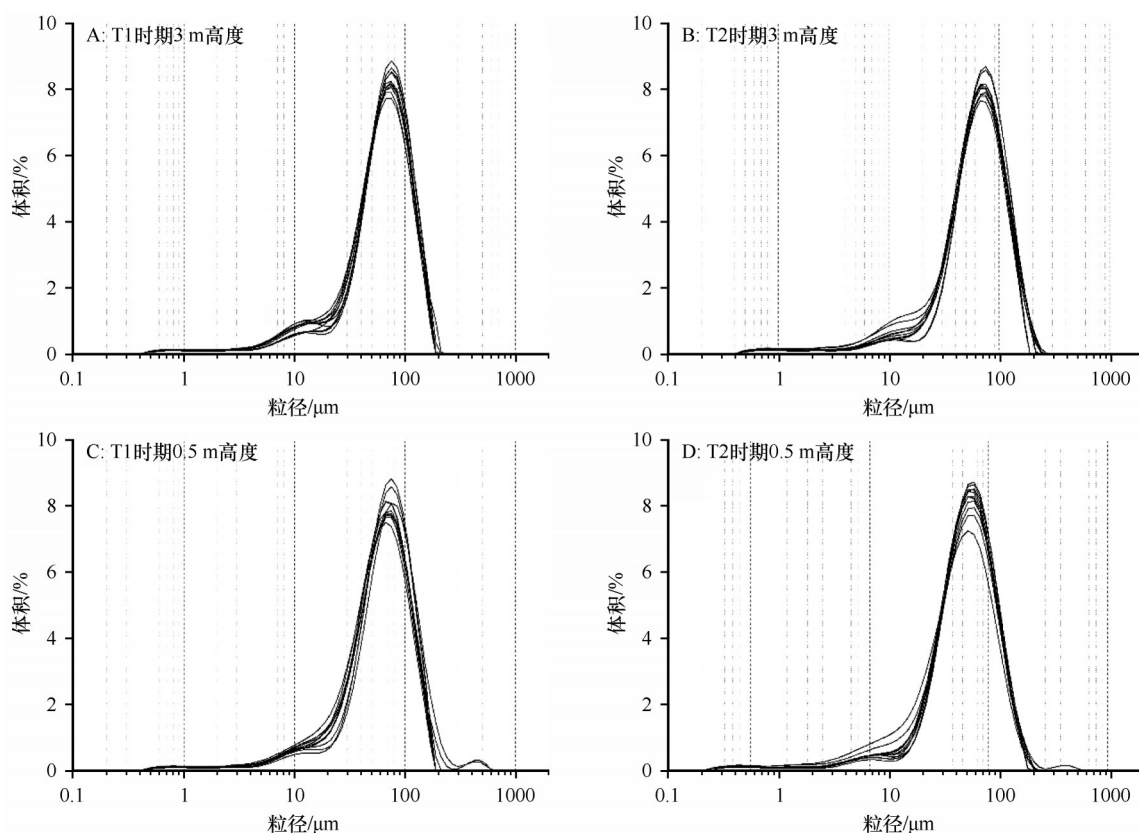


图3 T1和T2时期不同高度大气降尘粒度分布曲线

Fig.3 Grain size distribution curves of atmospheric dust fall during T1 and T2

系数都在1.6—1.7,都属于中等分选性。对于细粒峰态,除了T1时期中3 m降尘分选系数在1.78—2.49,介于中等分选至差分选之间,其他都在2—3,为差分选性(图5B和6B)。

## 4 讨论

### 4.1 近地表不同高度大气悬浮尘的粒级组成

研究表明沙漠—绿洲过渡带主要为沙尘传输、沉积区而非释放区<sup>[24]</sup>,因此适合作为理解风成沉积粒度变化特征的场所。在中等尘暴中,不同粒级的颗粒在大气中有不同的传输方式, $>500\ \mu\text{m}$ 粒级颗粒主要为蠕移传输, $70\text{—}500\ \mu\text{m}$ 粒级颗粒主要为跃移传输, $20\text{—}70\ \mu\text{m}$ 粒级颗粒主要为短时悬移传输,而 $<20\ \mu\text{m}$ 粒级颗粒能够长期悬浮传输<sup>[22]</sup>。 $U_t/u_*$ 比值被用于指示碎屑颗粒在大气中的悬浮能力<sup>[25]</sup>,其中 $U_t$ 指大气中碎屑颗粒的沉降速度, $u_*$ 指气流的拖拽速度(空气动力学黏度)。根据 $U_t/u_*$ 比值,粉尘颗粒粒径越大,悬浮时间越短,越容易发生沉积<sup>[5]</sup>。本研究结果显示大气降尘粒级主要为 $0.4\text{—}250\ \mu\text{m}$ (图3),并且两个高度粒级都是 $0.4\text{—}250\ \mu\text{m}$ 。因

此,近地表3 m和0.5 m高度大气悬浮颗粒的粒级范围基本一致。

由于不同粒级的颗粒在大气中传输能力的差异,一般随高度升高大气粉尘粒度逐渐变细<sup>[26–27]</sup>。近地表大气粉尘悬浮通量随高度增加而呈减小趋势<sup>[28–29]</sup>,且随高度增加颗粒平均粒度逐渐减小<sup>[27]</sup>。本研究中大气降尘在3 m和0.5 m高度粒度组成未发生变化,但沉积通量随高度增加而减小(图2),这表明大气悬浮颗粒随高度增加传输通量减小。也就是说,在3 m和0.5 m高度的大气悬浮尘尽管浓度不一致,但是粒级范围基本一致。

### 4.2 粒度变化特征揭示的近地表稳定一致的沉积分选作用

风成沉积不同的粒度峰态指示不同的沉积分选作用<sup>[2,8,20]</sup>,粒度越粗的峰态指示其形成于越强的大气流场中。本研究结果显示,在3 m或者0.5 m高度各个位置大气降尘都展现出现代大气降尘典型的双峰态粒度分布特征(图3)。从拟合分离的两个峰态看,同一高度(3 m或者0.5 m)不论是粗粒峰态还是细粒峰态,一致的粒度分布曲线指示各个位置

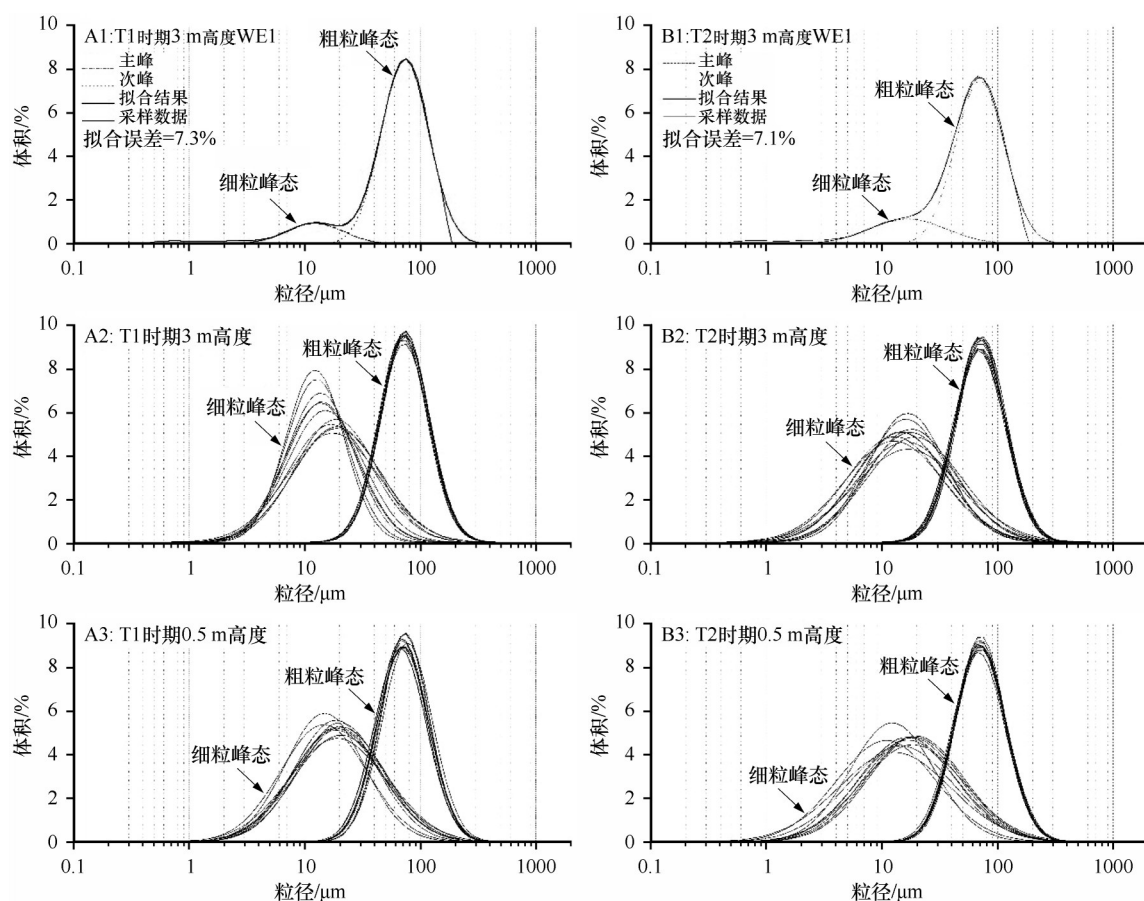


图4 T1和T2时期不同高度大气降尘粒度分布曲线拟合分离结果

Fig.4 Fitting and separating result of grain size distribution curves of the atmospheric dust fall

的降尘经历了一致的沉积分选作用(除了T1时期降尘的3 m高度细粒峰态变化相对较大)。而粗粒峰态和细粒峰态是两个完全不同的峰态,这表明二者是在不同的大气流场强度中沉积分选形成的<sup>[2]</sup>。

另外,不同粒级的碎屑颗粒在大气中跃移的高度和距离不一样。一般颗粒越粗,跃移的高度和距离越有限<sup>[5,27]</sup>,这可能导致不同高度大气粉尘颗粒组成存在差异。但是,根据 $U_t/u_*$ 沉积原理,大气悬浮颗粒沉积过程中受万有引力、自身密度和空气密度等的影响<sup>[5]</sup>,一般颗粒越粗越容易沉积。而3 m和0.5 m高度上,万有引力和空气密度等差异很小,这使两个高度 $U_t/u_*$ 的差异也很小。因此,3 m和0.5 m两个高度沉积分选特征应该十分接近。而从粒度分布曲线结果来看,每次大气降尘中,两个高度的粗粒峰态和细粒峰态都显示一致的粒度分布曲线,这也表明在两个高度上都表现出一致的沉积分选作用。尽管两个高度的大气悬浮颗粒粒度组成(相同的粒级范围)可能有一定差异,一致的沉积分选作用下却展示出相对一致的粒度分布曲线(图4)。

总之,同一次降尘,近地表风成沉积粗粒峰态(细粒峰态)一致的粒度分布曲线表明大气悬浮尘在不同位置、两个高度上经历了稳定一致的沉积分选作用,但是粗粒峰态和细粒峰态完全不同的粒度特征指示其经历不同的沉积分选作用。

#### 4.3 粒度特征是一种有效的沉积环境代用指标

粒度特征作为一个常规而重要的环境代用指标,长期被用于恢复现代或地质历史时期的沉积环境。尤其是在对黄土等风成沉积古环境研究中,粒度特征被广泛应用。为了获得古环境信息,不同学者采用不同的粒度参数。例如,黄土高原黄土粒度反映东亚冬季风强度,有学者用均值作为东亚冬季风强弱代用指标<sup>[30]</sup>;有学者用较粗的某一粒级作为风场强度代用指标<sup>[31]</sup>,如 $>63\ \mu\text{m}$ 的砂组分、 $>40\ \mu\text{m}$ 组分或者 $>25\ \mu\text{m}$ 组分<sup>[11,32-34]</sup>;有些运用特定粒级的比值作为风场强度代用指标,如 $6-23\ \mu\text{m}$ 和 $2-6\ \mu\text{m}$ 的比值<sup>[35]</sup>, $<2\ \mu\text{m}$ 和 $>10\ \mu\text{m}$ 的比值<sup>[36]</sup>。有些学者运用模型提取指标,如运用EMMA端元模型方

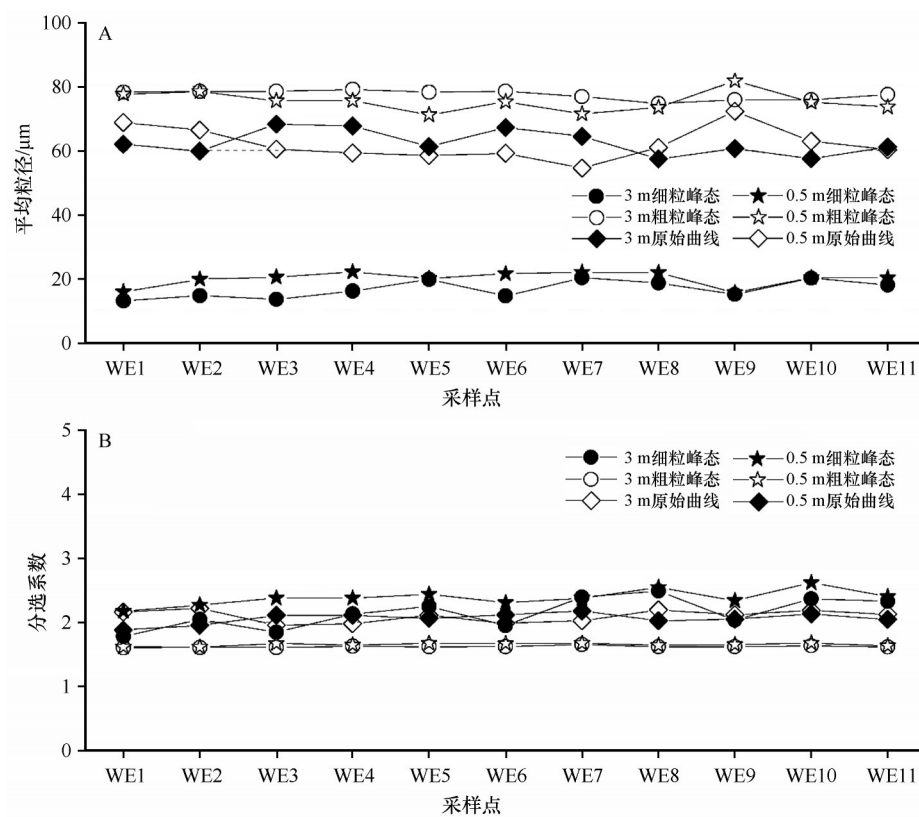


图5 T1时期0.5 m和3 m两个高度大气降尘粒度参数特征

Fig.5 Grain size parameter characteristics of atmospheric dust fall during T1 in 0.5 m and 3 m heights

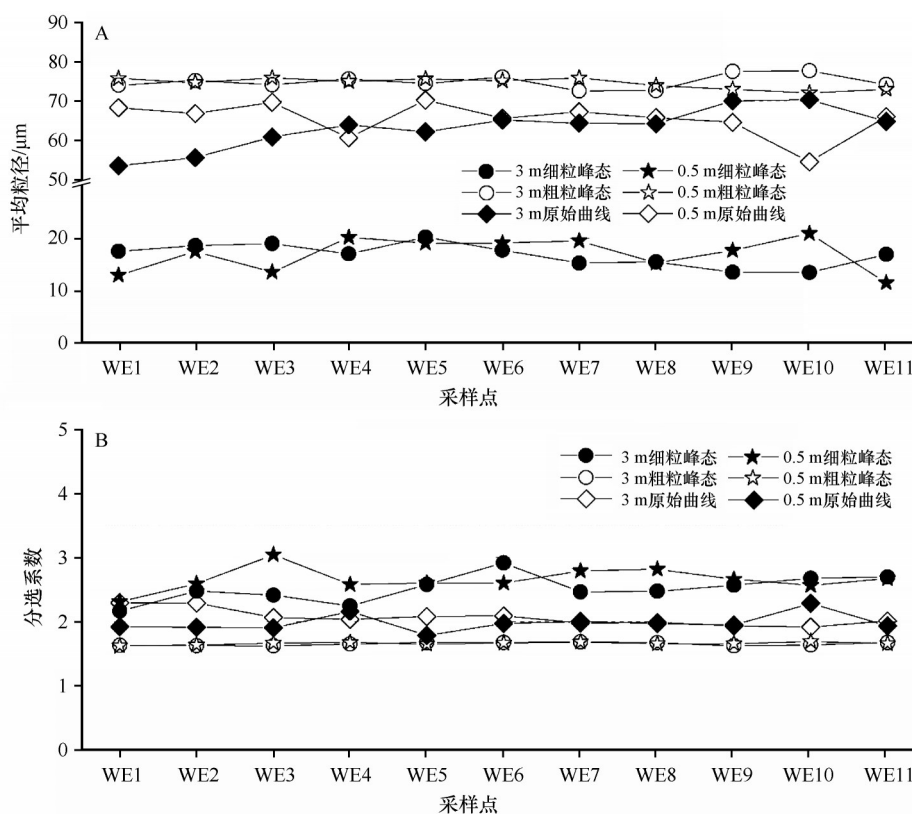


图6 T2时期0.5 m和3 m两个高度大气降尘粒度参数特征

Fig.6 Grain size parameter characteristics of atmospheric dust fall during T2 in 0.5 m and 3 m heights.

法<sup>[10,37]</sup>或者粒度-标准偏差方法提取特定粒级作为风场强度代用指标<sup>[34]</sup>。这些方法大都被广泛应用,然而如果能够全面理解风成沉积粒度特征在传输沉积过程中的形成变化特征,将有助于更深刻理解风成沉积粒度特征隐含的环境信息。

两次现代大气降尘过程11个位置两个高度粒度特征的分析结果表明,在研究区近地表不同位置、两个高度上都显示一致的粒度分布曲线,未因粉尘浓度随高度变化而变化,指示一致的沉积分选作用,并且这种沉积分选作用形成的粒度特征具有稳定一致性。这种稳定的粒度特征相对有效地指示了当时的沉积环境。而不同的粒度峰态指示不同的沉积分选过程,因此进行多峰态分离能够获得更明确的环境信息。尤其是粗粒峰态组分主要是在沙尘暴过程中强气流场中传输、沉积的<sup>[2, 27, 38]</sup>,其粒度特征更直接反映区域风场特征。因此,风成沉积物粒度特征是一种有效的沉积环境代用指标。

## 5 结论

新疆策勒绿洲两期大气降尘粒级集中在0.4—250  $\mu\text{m}$ ,在3 m和0.5 m两个高度的风成沉积都显示出典型的双峰态粒度分布曲线,其中粗粒峰态众数为67—75  $\mu\text{m}$ ,细粒峰态众数为12—21  $\mu\text{m}$ 。在两个高度上,粗粒峰态和细粒峰态各自都显示稳定一致的粒度特征。大气降尘粗粒峰态(或细粒峰态)不仅在3 m(0.5 m)高度经历稳定一致的沉积分选,在两个高度上也经历一致的沉积分选作用。风成沉积粒度特征是一种有效的沉积环境代用指标,而多峰态粒度分布曲线分离分析可能会获得更加明确的区域沉积环境信息。

## 参考文献:

- [1] Sun D H, Bloemendal J, Rea D K, et al. Bimodal grain-size distribution of Chinese loess, and its palaeoclimatic implications [J]. *Catena*, 2004, 55(3): 325–340.
- [2] Lin Y C, Mu G J, Xu L S, et al. The origin of bimodal grain-size distribution for aeolian deposits [J]. *Aeolian Research*, 2016, 20: 80–88.
- [3] Sun J M. Provenance of loess material and formation of loess deposits on the Chinese Loess Plateau [J]. *Earth Planetary Science Letters*, 2002, 203(3): 845–859.
- [4] Sun Y B, Tada R, Chen J, et al. Tracing the provenance of fine-grained dust deposited on the central Chinese Loess Plateau [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(1): L01804.
- [5] Bagnold R A. *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes* [M]. New York, USA: William Morrow & Company, 1941: 1–241.
- [6] Bagnold R A, Barndorff-Nielsen O. The pattern of natural size distributions [J]. *Sedimentology*, 1980, 27(2): 199–207.
- [7] Ashley G M. Interpretation of polymodal sediments [J]. *Journal of Geology*, 1978, 86(4): 411–421.
- [8] 殷志强, 秦小光, 吴金水, 等. 中国北方部分地区黄土、沙漠沙、湖泊、河流细粒沉积物粒度多组分分布特征研究 [J]. *沉积学报*, 2009, 27(2): 343–351.
- [9] 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.
- [10] Weltje G J. End-member modeling of compositional data: numerical-statistical algorithms for solving the explicit mixing problem [J]. *Mathematical Geosciences*, 1997, 29(4): 503–549.
- [11] An Z S, Colman S M, Zhou W J, et al. Interplay between the Westerlies and Asian monsoon recorded in Lake Qinghai sediments since 32 ka [J]. *Scientific Reports*, 2012, 2(8): 619.
- [12] 刘东生. *黄土与环境* [M]. 北京: 海洋出版社, 1985.
- [13] Ding Z L, Derbyshire E, Yang S L, et al. Stepwise expansion of desert environment across northern China in the past 3.5 Ma and implications for monsoon evolution [J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 2005, 237(1/2): 45–55.
- [14] Zhang Z C, Dong Z B, Zhao A G. The characteristics of aeolian sediment flux profiles in the south-eastern Tengger Desert [J]. *Sedimentology*, 2011, 58: 1884–1894.
- [15] Zhao M, Zhan K J, Yand Z H, et al. Characteristics of the lower layer of sandstorms in the Minqin desert-oasis zone [J]. *Science China-Earth Sciences*, 2011, 54(5): 703–710.
- [16] Dong Z B, Man D Q, Luo W Y, et al. Horizontal aeolian sediment flux in the Minqin area, a major source of Chinese dust storms [J]. *Geomorphology*, 2010, 116(1/2): 58–66.
- [17] 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]. *干旱区研究*, 2012, 29(6): 1100–1104.
- [18] Wan D J, Mu G J, Jin Z D, et al. The effects of oasis on aeolian deposition under different weather conditions: a case study at the southern margin of the Taklimakan desert [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2013, 68(1): 103–114.
- [19] Qin X G, Cai B G, Liu T S. Loess record of the aerodynamic environment in the east Asia monsoon area since 60,000 years before present [J]. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 2005, 110(B1): B01204.
- [20] Xiao J L, Chang Z, Fan J W, et al. The link between grain-size components and depositional processes in a modern clastic lake [J]. *Sedimentology*, 2012, 50: 1050–1062.
- [21] Xiao J L, Fan J W, Zhou L, et al. A model for linking grain-size component to lake level status of a modern clastic lake [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 69: 149–158.
- [22] 袁方, 谢远云, 迟云平. 哈尔滨尘暴天气沉降物的物质组成及其对物源的限制 [J]. *中国地质*, 2018, 45(6): 1177–1187.
- [23] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1957, 27(1): 3–9.



- tology, 1957, 27: 23.
- [24] Xu L S, Mu G J, Ren X, et al. Oasis microclimate effect on the dust deposition in Cele Oasis at southern Tarim Basin, China [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2016, 9(4): 294.
- [25] Chepil W S. Sedimentary characteristics of dust storms: [Part] 1, Sorting of wind-eroded soil material; [Part] 2, Visibility and dust concentration; [Part] 3, Composition of suspended dust [J]. *American Journal of Science*, 1957, 255(1): 12–22.
- [26] 拜格诺 R A. 风沙和荒漠沙丘物理学 [M]. 钱宁, 译. 北京: 科学出版社, 1959: 60–70.
- [27] Pye K. *Aeolian Dust and Dust Deposits* [M]. London, UK: Academic Press, 1987: 1–256.
- [28] 孔春霞, 郭胜利, 汤莉莉. 南京市生活区夏秋季节大气颗粒物垂直分布特征 [J]. *环境科学与管理*, 2009, 34(11): 34–38.
- [29] Zhao M, Zhan K J, Qiu G Y, et al. Experimental investigation of the height profile of sand-dust fluxes in the 0–50-m layer and the effects of vegetation on dust reduction [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 62(2): 403–410.
- [30] 鹿化煜, Kovan H, 周杰, 等. 中国北方更新世极端冷期冬季风的快速变化 [J]. *中国沙漠*, 2000, 20(2): 91–95.
- [31] 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义 [J]. *中国科学D辑: 地球科学*, 1998(3): 87–92.
- [32] Porter S C, An Z S. Correlation between climate events in the North Atlantic and China during the last glaciation [J]. *Nature*, 1995, 375(6529): 305–308.
- [33] Qiang M R, Liu Y, Jin Y, et al. Holocene record of eolian activity from Genggahai Lake, northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2014, 41(2): 589–595.
- [34] An Z S, Porter S C. Millennial-scale climatic oscillations during the last interglaciation in central China [J]. *Geology*, 1997, 25(7): 603–606.
- [35] Huang X T, Oberhänsli H, Suchodoletz H V, et al. Dust deposition in the Aral Sea: implications for changes in atmospheric circulation in central Asia during the past 2000 years [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2011, 30(25/26): 3661–3674.
- [36] Ding Z L, Yu Z, Rutter N W, et al. Towards an orbital time scale for Chinese loess deposits [J]. *Quaternary Science Reviews*, 1994, 13(1): 39–70.
- [37] Dietze E, Hartmann K, Diekmann B, et al. An end-member algorithm for deciphering modern detrital processes from lake sediments of Lake Donggi Cona, NE Tibetan Plateau, China [J]. *Sedimentary Geology*, 2012, 243: 169–180.
- [38] Xu L S, Mu G J, Ren X, et al. Spatial distribution of dust deposition during dust storms in Cele Oasis, on the southern margin of the Tarim Basin [J]. *Arid Land Research and Management*, 2016, 30(1): 12.

## Sorting characteristics and its implication of the grain size of modern atmospheric dust deposition near the surface of the Cele Oasis, Xinjiang, China

Lin Yongchong<sup>1</sup>, Mu Guijin<sup>2</sup>, Chen Liling<sup>1</sup>, Wu Chuna<sup>1</sup>, Xu Lishuai<sup>3,4</sup>

(1. School of History and Geography, Minnan Normal University, Zhangzhou 363500, Fujian, China; 2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 3. College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China; 4. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China)

**Abstract:** Aeolian deposits often exhibit bimodal grain size distribution characteristics, and different sub-peaks indicate different sedimentary sorting processes. It has not been confirmed by modern atmospheric dust fall observations that whether the grain size characteristics, being caused by sedimentary sorting, exhibits stability. This study attempts to reveal the spatial variation characteristics of aeolian deposits by sampling two phases atmospheric dust falls at 11 spots at 3 m and 0.5 m heights and analyzing the grain size characteristics. The results show that in both periods of atmospheric dust fall, the grain size ranges from 0.4  $\mu\text{m}$  to 250  $\mu\text{m}$  at the two heights, and the deposited dusts exhibit typical bimodal grain size distribution characteristics, which with main modal size of 67–75  $\mu\text{m}$  and secondary modal size of 12–21  $\mu\text{m}$ . The coarse-grained peaks (or fine-grained peaks) show consistent grain size distribution characteristics at 11 spots and two heights. This indicates that they experience stable and consistent sedimentary sorting in the near-surface. Therefore, the grain size characteristics of aeolian deposits are suitable for indicating regional sedimentary dynamic environments, and multi-modal separation analysis may indicate environmental information clearer.

**Key words:** atmospheric dust deposition; grain size; multimodality; sorting