

文章编号: 1000-0550(2006)02-0267-09

# 毛乌素沙地东南部边缘不同地质成因类型土地沙漠化 粒度特征及其地质意义

李智佩<sup>1,2</sup> 岳乐平<sup>1</sup> 薛祥煦<sup>1</sup> 王 岷<sup>2</sup> 杨利荣<sup>1</sup> 聂浩刚<sup>2</sup> 陈 超<sup>1</sup>

(1 西北大学大陆动力学国家重点实验室 西北大学地质系 西安 710069

2 中国地质调查局西安地质矿产研究所 西安 710054)

**摘 要** 首次对毛乌素沙地东南部边缘沙漠—黄土地带的土地沙漠化进行系统的地质学分类,提出了沙地内部就地起沙型沙漠化、河流谷地就地起沙型沙漠化、风化残积就地起沙型沙漠化和风沙侵入型沙漠化等四种土地沙漠化类型。通过深入分析不同地质成因类型土地沙漠化的粒度特征,探讨了不同地质作用对土地沙漠化的贡献及其对土地沙漠化防治方面的重要意义。研究表明,研究区的土地沙漠化以就地起沙型为主,河流的水力搬运是沙漠化物质搬运的主要途径,风力作用则是对河流湖泊沉积物的进一步分选和再沉积。最后,提出了不同类型的土地沙漠化防治对策建议。

**关键词** 毛乌素沙地 土地沙漠化 就地起沙 风沙侵入

**第一作者简介** 李智佩 男 1962年出生 研究员 在职博士 第四纪地质与环境地质和岩石地球化学

**中图分类号** P534.63 P941.73 **文献标识码** A

上世纪 50 年代末以来,围绕毛乌素沙地的土地沙漠化,不同部门的许多学者从不同的角度进行了不同深度的研究,包括沙漠的形成与发展、沙丘的运移规律与速度、人类历史时期沙漠化变迁,以及现代全球气候变化与沙漠化的气候响应等等,取得了重大进展。研究表明,毛乌素沙地形成于中更新世,之后曾经有过十余次南侵<sup>[1~6]</sup>;毛乌素沙地的古湖泊、风沙和黄土与古土壤层沉积序列记录了数十万年以来的气候变化和重大气候事件<sup>[7~11]</sup>。近年来,毛乌素沙地成为我国过去气候变化研究及现代沙漠对全球气候变化响应研究的重要基地之一。但在土地沙漠化研究中,或多或少地忽略了地质作用对沙漠化的影响<sup>[12]</sup>。大多数研究者注重人为因素与气候变化,忽略沙漠化形成发展的地质过程,也很少从环境地质对土地沙漠化进行调查研究。本文试图在这方面,对前人工作进行补充和完善。在对毛乌素沙地东南部边缘地区土地沙漠化进行地质学分类的基础上,探讨不同地质成因类型土地沙漠化的粒度特征及其地质意义,分析其对土地沙漠化防治的现实意义。

研究区位于毛乌素沙地东南部,即北纬 38°~39°,东经 109°10′~110°40′,面积约 1.45 万 km<sup>2</sup>。该区地处毛乌素沙地与陕北黄土高原丘陵沟壑区的过

渡地带,大致以长城—无定河为界,西北部为风沙区,东南部为黄土沟壑区,是典型的农牧交错地带。

野外路线地质调查、剖面测量、采样及室内测试等工作是由中国地质调查局地质调查项目“中国三北地区荒漠化区域分类与发展趋势研究”资助,并在西北大学大陆动力学教育部重点实验室完成样品测试工作。野外样品以地表采集为主,包括部分现代沙丘和阶地古风成沙剖面。样品的粒度测量使用英国马尔文公司生产的 Mastersizer2000 型激光粒度仪,量程为 0.02~2000 μm,重复性优于 0.5%,准确性优于 1%。测试采用湿法测量。

## 1 土地沙漠化的地质成因分类与分布

自 1994 年在巴黎签署的防治荒漠化公约统一了荒漠化的定义“荒漠化系指包括气候变化和人类影响在内的种种因素造成的干旱、半干旱和干旱亚湿润地区的土地退化”之后,国内外对荒漠化的定义、荒漠化概念的内涵和外延的认识逐渐趋于明朗和一致。国际防治荒漠化公约中将荒漠化按照主导营力分为风力作用下的荒漠化—风蚀荒漠化、水力作用下的荒漠化—水蚀荒漠化,和理化学作用下的荒漠化—土壤盐渍化等,很少有各种类型荒漠化的进一步分类。

国土资源部国土资源大调查项目《中国三北地区荒漠化区域分类与发展趋势研究》(20011230004)和陕西省教育厅专项科研计划项目联合资助。

收稿日期: 2005-06-14 收修改稿日期: 2005-07-4

国内对荒漠化的理解上还存在着不同。许多研究者认为,荒漠化仅是指人类历史上的土地退化,与地质作用无任何关系,不应包括地质历史上的环境变化。对于土地荒漠化的分类,在上述国际分类的基础上,还存在着土地利用类型分类、荒漠化程度分类、荒漠化发展类型分类等<sup>[13]</sup>。毋庸置疑,这些分类为我国乃至世界的荒漠化研究、监测和治理做出了很大贡献。然而,荒漠化与地质背景有着不可分割的联系,任何类型荒漠化的发生、发展,都是在特定的地质背景上进行的,受地质背景控制<sup>[12, 14, 15]</sup>。无论是发生在沙漠边缘的古湖与古河道沉积区的沙漠化,还是发生在富含盐分的湖盆、河谷沉积区的盐渍化,抑或是发生在地壳抬升、地表物质抗风化、抗侵蚀弱地区的水蚀荒漠化,均受地质背景的控制。现代荒漠化的发生发展大多与地质历史时期荒漠景观的演化紧密相关,是在强烈的人类活动的影响下,地质作用过程的继续。因此,有必要从地学角度,根据其形成的地质营力特征,包括构造—地貌、气候特征,以及人类活动对土地荒漠化的影响等,提出土地沙漠化的地质成因分类和区域分类<sup>[14, 15]</sup>。本文是在较小尺度上,以毛乌素沙地东南部沙漠黄土交界处的土地沙漠化为研究对象,提出具有该地区特征的沙漠化地质成因分类,深入研究不同类型土地沙漠化的粒度特征,提出适合于本地区的土地荒漠化治理对策措施。

根据沙漠化的物质来源,将研究区的沙漠化分为两种基本成因类型。其一,沙漠化物质来源主要为移动范围不大的原地沙土类物质—就地起沙型。其二,沙漠化物质来源于邻近区域的沙土类物质—风沙侵入型。就地起沙型沙漠化是以沙物质的重新活化为主,风沙侵入型土地沙漠化则是在前者基础上,风力作用使得沙漠化范围进一步扩大所造成。辩证地说,就地起沙型和风沙侵入型土地沙漠化在一定的时期和范围之内,是相互依存和相互转化的。就地起沙型沙漠化,根据其形成的物质来源种类或分布范围、沙物质形成过程等,可进一步分为沙地内部就地起沙型、河流谷地就地起沙型和风化残积型等三种类型。他们既是地质历史时期、也是人类历史时期沙漠化的继续和发展,因而具有不同的区域分布。

### 1.1 沙地内部就地起沙型沙漠化

该类型分布于毛乌素沙地内部、研究区的西北部,面积 8423.9 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 58.1% (图 1)。其沙漠化的物质来源,既有重新活化的古风成沙,也有河湖滩地的古河湖相沉积被风力长期吹蚀所

形成的沙。从较长的地质历史发展角度看,毛乌素沙地的主体部分是第四纪构造沉降阶段形成的河湖相沉积物,由于气候变化,在风力作用下,在不同的地质历史阶段所形成的地质地貌单元,经历了数次沙漠—草原(林地)—湖泊等景观的变化旋回。总之,上述两种风沙的来源,均是沙地内部沙物质就地活化构成的土地沙漠化,故称为沙地内部就地起沙型沙漠化。

### 1.2 河流谷地就地起沙型沙漠化

河流谷地就地起沙型土地沙漠化,是指分布在河流谷地及其附近的土地沙漠化,如河漫滩、阶地及其附近地区。区内河流谷地就地起沙型沙漠化主要分布在发源于沙地的大多数河流中上游或其支流的下风阶地以上地段,总体上呈 NW—SE 向展布,与主河道走向一致。该类沙漠化土地面积 545.5 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 3.76%。早更新世黄河形成以后,发源于沙地的河流如无定河、榆溪河、佳芦河、窟野河和秃尾河也逐渐发育形成。与此同时,在河流谷地、阶地上沉积了大量的沙质冲积物、风积物和古土壤,形成了沙、黄土和古土壤序列。随着地壳进一步抬升、河流下切,古河床不断抬升,这些沉积物再度活化,风力作用使其在河漫滩和阶地上形成沙漠化。因此,从河流谷地与阶地的土地沙漠化地质成因类型分析,还存在着现代河流与古河道沉积物的就地起沙型。

榆溪河、秃尾河的中上游地区,河床宽浅,发育有河漫滩及阶地,阶地以堆积型阶地为特征。土地沙漠化以现代和古风沙的活化所构成的就地起沙型为主要类型。区内无定河谷地宽 100~1000 m,深约 30~100 m,北岸发育河漫滩和 III—IV 级阶地。河漫滩和一级阶地上的沉积物以现代河流冲洪积物为主,下部发育更新世冲洪积。无定河现代河谷的土地沙漠化,北部二级阶地以上主要为风沙活化所形成;河漫滩和一级阶地上,则以冲积物的就地起沙型沙漠化为特征。区内无定河河谷宽又深,风力作用下的流沙很难到达河流南岸。因此,河流南岸的土地沙漠化,河漫滩上以现代冲积物的风沙化为主,阶地上的沙漠化则以古风沙、冲积沙的活化以及地表残积型为主。区内窟野河长约 60 km,河谷宽度 300~500 m,断续分布有一、二级阶地。河谷两侧三叠纪陆相碎屑沉积岩上分布着马兰黄土和离石黄土。总之,现代河流谷地就地起沙型沙漠化,是以第四系冲积物为主要物源,沙漠化级别以潜在和轻度沙漠化为主。古河道就地起沙型沙漠化,以佳芦河中游打火店林场和秃尾河以西的石灰窑—芦家铺一带的土地沙漠化为代表。实际

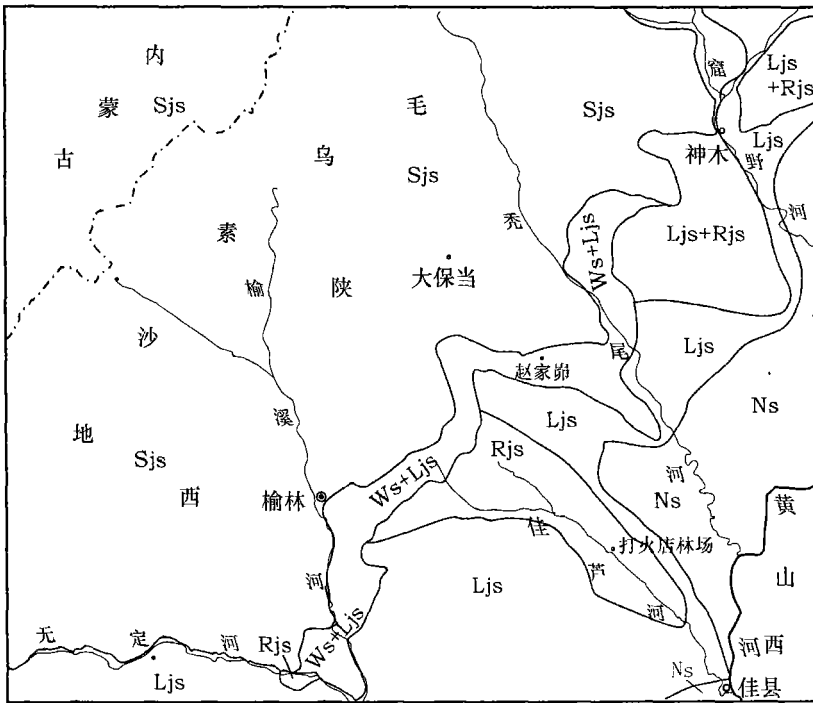


图 1 毛乌素沙地东南部沙地—黄土交界处沙漠化土地分布图

沙地内部就地起沙型沙漠化; Ljs 黄土区就地起沙型沙漠化; Rjs 河流谷地就地起沙型沙漠化; Ws 风沙型土地沙漠化; Ns 非沙漠化

Fig 1 A sketch of sandy desertification distribution in southeast Mo Us sand land

上, 现代河流阶地的土地沙漠化, 就是古河道就地起沙的再现。

### 1.3 风化残积就地起沙型沙漠化

风化残积就地起沙型沙漠化指地质历史时期形成的碎屑沉积物, 在风力和水力侵蚀作用下逐渐产生分选, 细粒的沙尘逐渐减少, 粗粒物质残留原地所形成的土地沙漠化过程。他们主要分布在黄土高原地区, 以轻度、潜在和中度沙漠化为主, 面积 2 473.6 km<sup>2</sup>, 占研究区总面积的 17.1%, 是研究区重要的沙漠化类型。在一些地段, 他们与河流谷地就地起沙型沙漠化相互难以区分 (图 1), 其面积为 819.1 km<sup>2</sup>, 占研究区总面积的 5.63%。

风化残积就地起沙型沙漠化的沙物质来源主要有活化古风成沙、沙质黄土或古土壤粗粒化等。活化古风成沙所造成的土地沙漠化主要分布在研究区东南部。黄土高原地区存在着大量古风成沙, 主要是在第四纪冰期或间冰期的寒冷阶段, 因毛乌素沙地多次向东、向南扩大而形成<sup>[1-6]</sup>。晚更新世以来, 黄土高原北部剧烈抬升, 在风力和流水的共同作用下, 上覆黄土、古土壤或黑垆土被剥蚀, 古风沙出露造成局部地区土地沙漠化。沙质黄土或古土壤粗粒化, 是黄土高原北部地区重要的土地荒漠化类型, 主要分布在黄

土残塬、残梁等地势较高而且古风成沙未被剥蚀出露的地方。由于植被遭到破坏, 水力侵蚀和风力分选使土壤粒度比同一地点的古土壤或沙质黄土粗而构成沙漠化。

### 1.4 风沙侵入型土地沙漠化

风沙侵入型土地沙漠化, 是指在不具备就地起沙的条件下, 沙物质是在风力作用下, 发生侵蚀、搬运和堆积所构成的土地沙漠化。当风力达到起沙的临界速度时, 流沙颗粒发生跳跃式或悬浮式搬运, 并在风速下降时停止, 造成没有沙质沉积物的地区发生土地沙漠化。此种类型的土地沙漠化主要发生在大风频繁的冬春季节, 在地表植被发育较差的地区更易发生。从较长的地质历史的观点看, 覆沙黄土区的沙漠化更多的属于此类。区内的风沙侵入型土地沙漠化, 主要发生在沙地边缘地带和其他类型沙漠化地区附近, 面积为 768.1 km<sup>2</sup>, 占研究区总面积的 5.30%。

## 2 不同成因类型土地沙漠化粒度特征

具有沉积特征的各种岩石中, 碎屑颗粒的沉积特征是他们形成过程中的介质和动力学特征的综合反映。1950s 以来, 沉积物的粒度分布特征被广泛地用于搬运介质、搬运方式以及沉积环境等方面的研

究。目前,粒度分析被当作气候变化的代用指标用于过去全球变化研究,在划分气候变化旋回和全球变化对比方面应用广泛<sup>[16~21]</sup>,甚至被用于上新世以来的气候变化研究<sup>[22,23]</sup>。在河流与湖泊研究方面,粒度分析也被用来研究气候变化<sup>[24~26]</sup>、水动力学特征<sup>[30,31]</sup>。近十年来,粒度分析也应用于沙尘暴特征与影响<sup>[29~32]</sup>、沙丘表面沙粒流动性<sup>[33~34]</sup>等。以下将重点探讨不同成因类型土地沙漠化的粒度特征。

### 2.1 沙地内部就地起沙型沙漠化粒度特征

毛乌素沙地沙地内就地起沙型沙漠化的粒度组成特点是,沙粒粗大均一,中值粒径 200~300  $\mu\text{m}$ , 平均中值粒径为 251  $\mu\text{m}$ , < 63  $\mu\text{m}$  的颗粒含量低于 5%。其他的主要粒度参数是,标准偏差 ( $\sigma_1$ ) 1.08~1.42, 偏度 ( $SK_1$ ) 0.33~0.42, 峰态 ( $K_G$ ) 1.68~2.88, 参数表明,沙地内就地起沙型沙漠化的颗粒平均值较粗,具有正偏、很窄峰态的分布曲线特征(图 2A),分选性中等。图 2A 可见,湖泊滩地沙丘沙的粒度分布曲线呈双峰态,其主要颗粒粒径达 1000  $\mu\text{m}$ , 次要颗粒粒径 150~300  $\mu\text{m}$ , 表明其物质来源比较复杂。粒度参数中,  $M_z$  值 543  $\mu\text{m}$ , 峰态 0.74。野外调查表明,此类湖相滩地上的流沙的沙物质来源有湖泊滩地相的沙质黑垆土和风成流沙。其中,全新世湖泊滩地相的沙质黑垆土在经风力分选后残留沙粒,直径多为 800~2000  $\mu\text{m}$ , 搬运距离很短,以原地为主;风成流沙的粒度为 150~400  $\mu\text{m}$ , 既可以是原地湖相沉积风沙化产物,也可以是近处沙丘沙被风力搬运而来。总之,根据毛乌素沙地内沙粒的粒度分布曲线、粒度参数特征,结合弗里德曼(1962)的沉积环境判别,上述沙物质的沉积环境均接近于河流沙,很少具有沙漠沙的分选性好、负偏态特征。这些与花海湖泊沉积物中分选性较一般风成沉积物要差的古风成砂特征相似,因而被认为是湖积物与风积物混杂堆积的结果<sup>[24]</sup>。内蒙古岱海沉积物的粒度研究表明,颗粒较粗且分选性差的沉积物,也是风力、水力混合作用的结果<sup>[35]</sup>。前人对流动沙丘、半固定沙丘以及固定沙丘粒度组成的研究表明,毛乌素沙地砂粒的平均粒径为 0.410  $\mu\text{m}$ <sup>[36]</sup>。本文得出的毛乌素沙地砂粒的平均粒径与国内海岸风成沙粒度平均值<sup>[37]</sup> 248  $\mu\text{m}$  相近,而比国外海岸风成沙粒度平均值<sup>[37]</sup> 180  $\mu\text{m}$  粗,但比以极细沙为主的塔克拉玛干沙漠沙漠沙粗。因此,可以认为,现代的毛乌素沙地是在以水力为主的搬运所形成的河流相和湖相沉积的基础上,在风力作用下,沙物质进一步搬运、分选形成。

### 2.2 河流谷地就地起沙型沙漠化粒度特征

河流谷地型沙漠化的沙粒大小相差悬殊,中值粒径从 40~445  $\mu\text{m}$ , 平均值为 217  $\mu\text{m}$ , < 63  $\mu\text{m}$  的颗粒含量一般大于 5%, 有时甚至大于 70%。根据主要粒度大小可分为粗粒和细粒两种类型。粗粒沙粒度平均值 226~445  $\mu\text{m}$ , 标准偏差 0.98~1.43, 偏度 0.33~0.42, 峰态 1.44~1.87。细粒沙粒度平均值 54~168  $\mu\text{m}$ ; 标准偏差 1.32~2.16, 偏度 0.32~0.44, 峰态 1.41~1.95。这些参数表明,河流谷地型沙漠化的沙粒粒径较沙地内的沙粒粒径小,但也具有正偏、很窄峰态的分布曲线特征(图 2B),分选性中等-很差,比沙地内就地起沙型者更差。从图 2B 中还可发现,河流谷地型沙漠化物质中, < 15  $\mu\text{m}$  的颗粒多有一定积累,且存在着一个很小的峰。上述粒度分布曲线和参数特征研究表明,河流谷地型土地沙漠化的物质成分也具有水力搬运作用、风力和其他地质营力共同作用的特征。

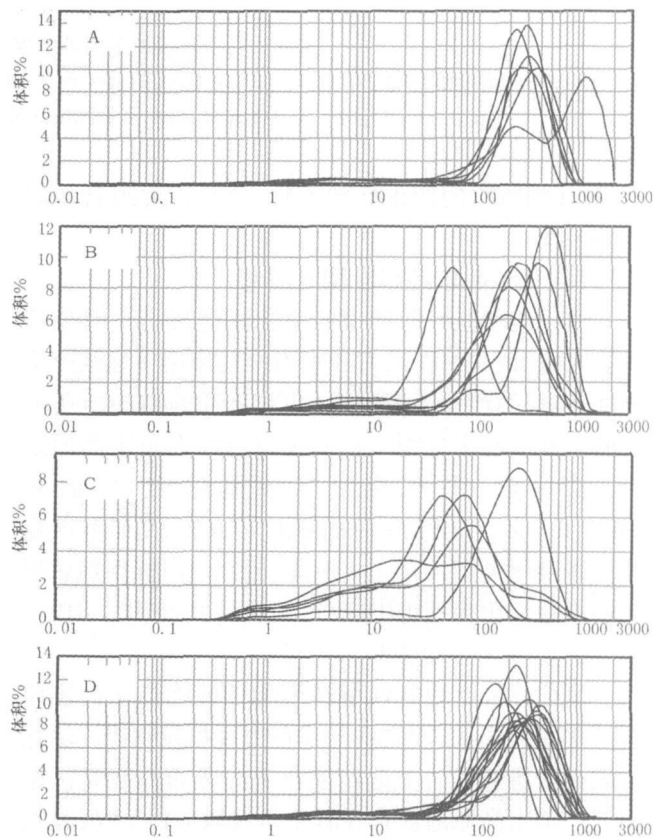


图 2 不同成因类型土地沙漠化沙粒度组成分布曲线  
A: 沙地内就地起沙型沙漠化; B: 河流谷地就地起沙型沙漠化;  
C: 风蚀残留型就地起沙型沙漠化; D: 风沙侵入型沙漠化。

Fig 2 Grain size distribution curves of sands of different genetic desertification

黄土区河流阶地上的沙质黄土或古风沙具有与河流谷就地起沙型沙漠化相似的粒度特征。以神木县燕梁湾秃尾河二级阶地沉积剖面中的古风沙为例, 其中值粒径为 200~300  $\mu\text{m}$ , 平均 175  $\mu\text{m}$ ; < 63  $\mu\text{m}$  颗粒含量多在 6% 以上, 少数可达 30% 以上。其他粒度参数中, 标准偏差 1.39~2.58, 偏度 0.28~0.50, 峰态 1.12~1.91, 表明阶地古风沙具有正偏、很窄峰态的分布曲线特征(图 3); 古风沙的大部分样品分选性中等, 个别分选性很差, 但平均粒径比现代河流谷地沙漠化的沙粒平均粒径小。上述粒度分析充分说明, 无论是现代河流谷地沙漠化, 还是地质历史时期的河流谷地沙漠化, 均有着相似的沙漠化机理。

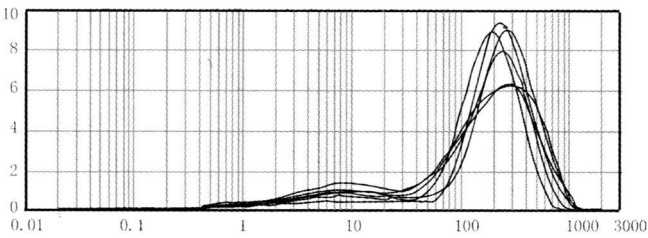


图 3 秃尾河中游燕梁湾二级阶地古风沙粒度分布曲线

Fig. 3 Grain size distribution curves of palaeo-aeolian sands from mid-reaches of Tuwehe River

### 2.3 风化残积就地起沙型沙漠化粒度特征

由于风化残积就地起沙型沙漠化物质来源复杂, 造成其粒度组成、分布模式等具有多样性(图 2C)。黄土区以沙质黄土为母质的风化残积型沙漠化的粒度跨度较大, 以粉沙为主, 少量细砂, 小于 63  $\mu\text{m}$  颗粒含量可达 70% 以上。此类沙漠化的沙粒也有两个级别, 其平均值分别为 23~60  $\mu\text{m}$  和 152~202  $\mu\text{m}$ ; 标准偏差 1.52~2.44, 颗粒越粗, 分选性越好; 偏度 0.04~0.43, 峰态以 0.94~1.01 为主。上述数据表明, 风化残积型就地起沙型沙漠化的沙粒具有近对称一极正偏、近正态的粒度分布曲线(图 2C), 但分选性差。图 2C 中, 弃耕的农田沙漠化粒度最粗, 其平均值 184  $\mu\text{m}$ , 标准偏差 1.52, 偏度 0.37, 峰态 1.79, 具有极偏正、很窄峰态的粒度分布曲线, 分选性差, 与沙地内就地起沙型沙漠化形成的风成沙的特征基本一致。其主要原因是, 样品采集地区的全新统黑垆土均被侵蚀, 黑垆土之下、形成于新仙女木事件的流沙全部活化并残留在原地, 构成了土地沙漠化的主要物质来源。研究表明, 区域上活化古风成沙的主要粒级有两个, 分别是中值粒径约 100  $\mu\text{m}$  和 200~300  $\mu\text{m}$ ,

与古风成沙的粒度特征有关。不同地区的古风成沙的粒度组成不相同, 主要与古风成沙形成时的风力大小有关。同样, 气候变化导致同一地区不同地质历史时期所形成的风沙粒度特征不同。

### 2.4 风沙侵入型沙漠化粒度特征

风沙侵入型沙漠化以中细粒砂为主(粒径 140~310  $\mu\text{m}$ )、粘粒含量低(小于 3%), 平均中值粒径 234  $\mu\text{m}$ 。其标准偏差 1.26~1.97, 偏度 0.27~0.40, 峰态 1.66~2.20。粒度参数表明, 风沙侵入型土地沙漠化具有正偏、很窄峰态的粒度分布曲线(图 2D), 分选性差, 个别样品分选性较好。一般来说, 流沙的分选性较好, 粒度参数具有正态分布、很窄峰态的特征。但实际上, 由于毛乌素沙地南缘处于东南夏季风和西北冬季风相互消长的边缘地带, 地表沉积物的粒度变化对风力的变化反映相当敏感。相关研究表明<sup>[20]</sup>, 从毛乌素沙地内部到黄土高原北部地区, 地表沉积物的粒度随纬度升高而变大, 随着经度的升高而降低, 中值粒径值从 200~230  $\mu\text{m}$  急剧下降至 40~50  $\mu\text{m}$ , 是冬季风的风力作用由北向南、由西向东逐渐变小结果。因此, 风力分选作用是研究土地沙漠化的重要地质营力之一。

## 3 讨论与结论

毛乌素沙地是地质历史发展的产物。在中生代, 该地区是鄂尔多斯大型盆地的一部分。新生代以来的构造运动使该盆地的面貌发生了根本性转变。新近纪的强烈隆升使盆地转变为具有准平原特征<sup>[17]</sup>。约在 1.7 Ma B. P. 黄河出现<sup>[38-39]</sup>前后, 盆地周围山地和中部白于山上升, 毛乌素沙地所在地区相对下降, 并随着东亚季风系统的形成与加强<sup>[40]</sup>, 沉积了河湖相、风沙相等碎屑物质, 构成了当今土地沙漠化的物质来源。同时, 地质历史时期的数次沙漠化过程, 也是现今毛乌素沙地及邻区土地沙漠化的历史再现, 只不过现在的沙漠化过程中, 人类所起的作用明显加强了, 在某些地段甚至已经超过了自然因素。

河流的作用, 不仅表现在物质搬运上, 而且在一定的条件下, 是土地沙漠化扩大或者阻止的沙漠化扩大的天然屏障。距今 30~40 Ma B. P. 以来, 即萨拉乌苏河形成之后<sup>[41]</sup>, 其下游地段便成为毛乌素沙漠南侧的黄土—沙漠边界, 河流以南地区的沙漠化发展受到河流的限制。河流北侧风力搬运到河谷中的多数沙被河水带到下游河流谷地沉积, 较宽深的河谷成为风沙南侵的天然屏障。随着河流的下切, 河流冲积物

逐渐转变成阶地沉积。当气候干旱的时候,随着生态环境的恶化,阶地沉积物的上部在风力作用下转变成风沙,并向下风方向扩展。在气候温暖的时期,较强水力作用则将河流的沙物质带到黄河下游地区,沉积在不断变化的古黄河三角洲上。从更大范围看,我国北方许多现代河道和古河道分布区的土地沙漠化均以河流的搬运作用为前提,风力作用是在植被覆盖度较低、人类活动强度大等因素的共同影响下造成沙漠化的扩大。直接危害北京的坝下六大沙滩(地)均与现代或古河道有关。河流水力作用对土地沙漠化的影响还表现在为风力作用创造了地貌条件,河北坝下地区九条天然风道和六个风口就是很好的例证。

正是由于风力作用的局限性,在我国北方,沙漠没有无限地扩张,而在沙漠与主要山脉之间沉积了大量的黄土或黄土类土,形成了举世无双的黄土高原。研究表明,典型黄土中  $> 63 \mu\text{m}$  的颗粒含量很少,以粒径  $5 \sim 50 \mu\text{m}$  颗粒为主<sup>[42]</sup>;其主要原因是,即使是在很强的风力作用下,粒径  $> 63 \mu\text{m}$  的颗粒很难长距离搬运<sup>[43]</sup>。兰州 1993 年 5 月 5 日特大沙尘暴研究表明,沉积物平均值  $11.5 \mu\text{m}$ 、众数  $26.3 \sim 31.3 \mu\text{m}$ ,表明为粉质重亚粘土,大致与黄土粒度旋回中古土壤的粒度相当<sup>[31]</sup>。湖泊沉积物与沙尘暴的研究表明,影响整个华北、华东地区的沙尘物质是  $< 63 \mu\text{m}$  的粉砂级颗粒,主要是  $< 10 \mu\text{m}$  的粉尘<sup>[29-30]</sup>。土地沙漠化局限在干枯湖床、河流阶地、弃耕荒地与裸露沙砾草场等有沙质沉积物的地区。现代沙尘暴沉积物<sup>[31]</sup>和典型黄土粒度参数<sup>[42]</sup>中,标准差均超过了河流沉积的上限 1.40,最高接近 2.0,表明分选性很差;沉积动力学研究表明其形成环境应属不稳定的大气动力环境<sup>[30]</sup>。毛乌素沙地东南地区土地沙漠化的粒度特征研究表明,各种类型的沙漠化颗粒的分选性均较差且明显不同,标准偏差由沙地内部 1.08~1.42 变为河流谷地的 0.98~2.16,黄土区残积型 1.52~2.44 和风沙侵入型的 1.26~1.97。由此可见,由沙地内部向黄土区,沙粒的分选性逐渐降低。因此,毛乌素沙地周围地区的土地沙漠化,并不是单一的地质营力(风力)作用的结果,或者不是单一的物质来源,而是两种(风力与水力)以上的地质营力共同作用的结果。

土地沙漠化的地质成因分类,对于土地沙漠化防治具有重要的理论和现实意义。它一方面丰富了我国土地沙漠化的理论研究,为从地质学角度探讨土地沙漠化的形成提供了新的理论基础。另一方面,在土

地沙漠化防治方面具有重要的指导意义。对于不同的土地沙漠化成因类型,应当采取不同的防治对策措施。例如,沙地内部就地起沙型土地沙漠化,以固定沙物质的流动性为目标,采取种草、人工工程固定的方法进行。河流谷地就地起沙型沙漠化,则应以减少土壤侵蚀、保护阶地和河漫滩为主,可用工程措施固定阶地斜坡加植树造林来治理、保护阶地植被等措施来防治。风化残积型土地沙漠化,主要分布于沉积物质较细的黄土区,水文地质条件较差,降雨入渗系数小,短时间较强的降雨就能形成较强的地表径流,造成水土流失;当这些地区的植被遭受破坏,干旱的冬春季节,强烈的西北风会将细粒的粉尘带到高空,造成大面积的粉尘污染。因此,对于风化残积型土地沙漠化,不仅要注意水土保持工作,而且要大力提倡种草,在水环境条件较好的地区可栽植防风林,减少风力作用造成的细粒尘埃物质的损失。对于风沙侵入型土地沙漠化,一方面要对风沙源进行重点治理;另一方面,要用减少风力危害、填埋流沙或减薄流沙厚度等工程措施和增加覆盖度的生物措施,使侵入流沙固定,避免其成为新的风沙源。

## 参考文献 (References)

- 董光荣,李保生,高尚玉. 由萨拉乌苏河地层看晚更新世以来毛乌素沙漠的变迁. 中国沙漠, 1983 3(2): 9~14 [ Dong Guangrong, Li Baosheng, Gao Shangyu. Mo U S Desert Changes since the late Pleistocene through the evidences from stratum in Sara U S River region. Journal of Desert Research, 1983 3(2): 9~14 ]
- 董光荣,高尚玉,金炯,等. 毛乌素沙漠的形成、演变与起因. 中国科学(B辑), 1988 (6): 633~642 [ Dong Guangrong, Gao Shangyu, Jin Jiong et al. The formation, changes and their causes of Mo U S Desert. Science in China (Series D), 1988 (6): 633~642 ]
- 李保生,靳鹤龄,吕海燕,等. 150ka 以来毛乌素沙漠的堆积与变迁过程. 中国科学(D辑), 1998 2(1): 85~90 [ Li Baosheng, Jin Heling, Lu Haiyan et al. Processes of the deposition and vicissitude of Mo U S Desert since 150ka B. P. Science in China (Series D), 1998 28(1): 85~90 ]
- 孙继敏,刘东升,丁仲礼,等. 五十万年来毛乌素沙漠的变迁. 第四纪研究, 1996 (4): 359~365 [ Sun Jinmin, Liu Dongsheng, Ding Zhongli et al. The Mo U S Desert evolution in the last 0.5 Ma. Quaternary Sciences 1996 (4): 359~365 ]
- Wu Ba, Ci L J. Landscape change and desertification development in the Mu U s sand land, Northern China. Journal of Arid Environments, 2002, 50(3): 429~444
- 李智佩,岳乐平,薛祥煦,等. 鄂尔多斯高原沙质荒漠化发展现状与防治对策研究. 见: 侯光才,张茂省. 鄂尔多斯盆地地下水资源与可持续利用研究. 西安: 陕西科学技术出版社, 2004 439~446 [ Li Zhipei, Yue Leping, Xue Xiangxu et al. Sandy desertification sta-

- tus and combating measurements researches of Ordos Plateau. In: Hou Guangcai, Zhang Maosheng. Groundwater Resources and Their Sustainable Utilization in the Ordos Basin. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 2004. 439~446
- 7 董光荣, 王贵勇, 李孝泽, 等. 末次间冰期以来我国东部沙区的古季风变迁. 中国科学 (D 辑), 1996, 26(5): 117~122 [ Dong Guangrong, Wang Guiyong, Li Xiaozhe, *et al.* Paleo-monsoon evolution in sandy regions of east China since the last interglacial age. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(5): 117~122 ]
  - 8 高尚玉, 董光荣, 李保生, 等. 萨拉乌苏河第四纪地层中化学元素的迁移和聚集与古气候变化. 地球化学, 1985, (3): 269~276 [ Gao Shangyu, Dong Guangrong, Li Baosheng, *et al.* Transference and congregation of chemical elements in Quaternary stratum in Sara U S River region and paleo-climatic changes. *Geochemistry*, 1985, (3): 269~276 ]
  - 9 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期鼎盛阶段的气候与环境. 中国科学 (B 辑), 1993, 23(8): 865~873 [ Shi Yafeng, Kong Zhaochen, Wang Sumin, *et al.* The climate and environment in the popular stage of warm period of Holocene in China. *Science in China (Series B)*, 1993, 23(8): 865~873 ]
  - 10 苏志珠, 董光荣, 李小强, 等. 晚冰期以来毛乌素沙漠环境特征的湖沼相沉积记录. 中国沙漠, 1999, 19(2): 104~109 [ Su Zhizhu, Dong Guangrong, Li Xiaoqiang, *et al.* The lake-swamp sediment records on the environmental characteristics of M o U s Desert since the Late Glacial Epoch. *Journal of Desert Research*, 1999, 19(2): 104~109 ]
  - 11 周卫建, 李小强, 董光荣, 等. 新仙女木期沙漠/黄土过渡带高分辨率泥炭记录. 中国科学 (D 辑), 1996, 26(4): 118~124 [ Zhou Weijian, Li Xiaoqiang, Dong Guangrong, *et al.* High resolution turf records in desert and loess Plateau transitional belt during the Younger Dryas event. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(4): 118~124 ]
  - 12 李智佩, 张维吉, 王岷, 等. 中国北方东部沙质荒漠化的地学观. 西北地质, 2002, 35(3): 7~17 [ Li Zhipei, Zang Weiji, Wang Min, *et al.* Geological views on the sandy desertification of the East Part of Northern China. *Journal of Northwest Geology*, 2002, 35(3): 7~17 ]
  - 13 孙司衡, 陈建伟. 中国荒漠化监测. 见: 林进. 中国荒漠化监测技术研究. 北京: 中国林业出版社, 2000. 96~108 [ Sun Siheng, Chen Jianwei. China national desertification monitoring. In: Lin Jin. Researches on China National Desertification Monitoring. Beijing: China Forestry Press, 2000. 96~108 ]
  - 14 李智佩, 岳乐平, 聂浩刚, 等. 中国三北地区荒漠化区域分类与发展趋势综合研究. 西北地质, 2002, 35(4): 135~153 [ Li Zhipei, Yue Leping, Wang Min, *et al.* Comprehensive researches on regional classification and developing trend of desertification in Northern China. *Journal of Northwest Geology*, 2002, 35(4): 135~153 ]
  - 15 李智佩, 岳乐平, 王岷, 等. 北方荒漠化环境地质调查评价. 见: 生态环境地质调查论文集. 北京: 地质出版社, 2003. 444~461 [ Li Zhipei, Yue Leping, Wang Min, *et al.* Collections on Environment-survey and evaluation on desertification in Northern China. In: Ecological and Environmental Geologic Survey. Beijing: Geological Publishing House, 2003. 444~461 ]
  - 16 戴雪荣, 李吉均, 俞立中, 等. 兰州风尘沉积的粒度分布模式及其古气候意义. 沉积学报, 2000, 18(1): 36~42 [ Dai Xuerong, Li Jijun, Yu Lizhong, *et al.* Model of grain size distribution of the eolian deposits in Lanzhou area and its paleoclimatic significance. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(1): 36~42 ]
  - 17 孙东怀, 鹿化煜, David Rea, 等. 中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义. 沉积学报, 2000, 18(3): 327~335 [ Sun Donghuai, Lu Huayu, David Rea, *et al.* Bimodal grain sized distribution of loess and its paleoclimate implication. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(3): 327~335 ]
  - 18 汪海斌, 陈发虎, 张家武. 黄土高原西部地区黄土粒度的环境指示意义. 中国沙漠, 2002, 22(1): 21~26 [ Wang Haibin, Chen Fahu, Zhang Jiawu, *et al.* Environmental significance of grain size of loess-paleosol sequence in western part of Chinese Loess Plateau. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(1): 21~26 ]
  - 19 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义. 中国科学 (D 辑), 1998, 28(03): 278~283 [ Lu Huayu, An Zhisheng. Paleoclimatic significance of loess grain size in Loess Plateau. *Science in China (Series D)*, 1998, 28(03): 278~283 ]
  - 20 曹红霞, 张云翔, 岳乐平, 等. 毛乌素沙地全新世地层粒度组成特征及古气候意义. 沉积学报, 2003, 21(3): 482~486 [ Cao Hongxia, Zhang Yunxiang, Yue Leping, *et al.* Grain size characteristics of Holocene deposits and its paleoclimatic significance in M u U s Sandy Land. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(3): 482~486 ]
  - 21 王小平, 岳乐平, 薛祥煦. 末次冰期以来浑善达克沙地粒度组成的环境记录. 干旱区地理, 2003, 26(3): 233~238 [ Wang Xiaoping, Yue Leping, Xue Xiangxu. Environmental record of grain size composition of Ordos sandy land since the last glaciation. *Arid Land Geography*, 2003, 26(3): 233~238 ]
  - 22 王建力, 李吉均, 方小敏, 等. 临夏盆地三千万年来沉积物粒度特征及其构造意义. 地理研究, 1998, 17(1): 39~47 [ Wang Jianli, Li Jijun, Fang Xiaomin, *et al.* Tectonic significance deduced from grain size characteristics in Linxia basin in 30 million years [ J ]. *Geographical Research*, 1998, 17(1): 39~47 ]
  - 23 陈丹玲. 三趾马红粘土的粒度组成特征及其地质意义. 西北地质科学, 1996, 17(2): 1~5 [ Chen Danling. The features of grain-size distribution and geological significances for Hipparion red beds. *Northwest Geosciences*, 1996, 17(2): 1~5 ]
  - 24 胡刚, 王乃昂, 罗建育, 等. 花海湖泊古风成砂的粒度特征及其环境意义. 沉积学报, 2001, 19(4): 642~647 [ Hu Gang, Wang Na'ang, Luo Jianyu, *et al.* The grain size characteristics of Aeolian sand and its environmental significance. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(4): 642~647 ]
  - 25 孙千里, 周杰, 肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及其古环境意义. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(1): 93~95 [ Sun Qianli, Zhou Jie, Xiao Jule. Grain size characteristics of lake Dahai sediments and its paleoenvironment significance. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 21(1): 93~95 ]
  - 26 陈敬安, 万国江. 云南洱海沉积物粒度组成及其环境意义辨识.

- 矿物学报 1999, 19(2): 175~182 [Chen Jing'an, Wan Guojiang Sediment particle size distribution and its environmental significance in Lake Erhai, Yunnan Province. Journal of Mineralogy, 1999, 19(2): 175~182]
- 27 江樟焰, 伍永秋, 崔之久. 昆仑山垭口盆地松散沉积物粒度特征及其构造和环境意义. 北京师范大学学报(自然科学版), 2002, 38(5): 692~699 [Wang Zhangyan, Wu Yongqiu. Tectonic and environmental significance deduced from grain size characteristics of compact sediment in Kunlun pass basin. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2002, 38(5): 692~699]
- 28 蒋国俊. 潮滩悬沙粒度参数的动力沉积学意义. 海洋与湖沼 1995, 26(1): 90~97 [Jiang Guojun. The dynamic sedimentological meaning of grain-size parameters of tidal flat suspended sediments. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1995, 26(1): 90~97]
- 29 许炳心. 黄河中游多沙粗沙区高含沙水流的粒度组成及其地貌学意义. 泥沙研究, 1999, (5): 13~17 [Xu Bingxin. Optimal grain size composition of hyperconcentrated flows in high intensity coarse sediment producing area of the middle Yellow River Basin and its implications in geomorphology. Journal of Sediment Research, 1999, (5): 13~17]
- 30 岳乐平, 杨利荣, 李智佩, 等. 阿拉善高原干涸湖床沉积物与华北地区沙尘暴. 第四纪研究, 2004, 24(3): 311~317 [Yue Leiping, Yang Lirong, et al. Lacustrine deposit in the Alax Plateau and the sand dust storm in northern China. Quaternary Sciences, 2004, 24(3): 311~317]
- 31 岳乐平, 杨利荣, 李智佩, 等. 西北地区干涸湖床沉积物粒度组成与东亚沙尘天气. 沉积学报, 2004, 22(2): 325~331 [Yue Leiping, YANG Lirong, et al. Grain size distribution of the sediments of dry lake bed in the Northwest of China and sand dust weather in East Asia. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2): 325~331]
- 32 戴雪荣, 师育新. 兰州现代特大沙尘暴沉积物粒度特征及其意义. 兰州大学学报(自然科学版), 1995, 31(4): 168~174 [Dai Xue Rong, Shi Yuxin. Granulometric characteristics and significance of the deposits from a recent extraordinary heavy dust storm in Lanzhou, Gansu, Northwest China. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 1995, 31(4): 168~174]
- 33 刘鸿雁, 田育红, 丁登. 内蒙古浑善达克沙地和河北坝上地区不同地表覆盖类型对北京沙尘天气物源的贡献. 科学通报, 2003, 48(1): 1229~1232 [Liu Hongyan, Tian Yuhong, Ding Deng. Contributions of different surface covered types in Otindag sandy land in Inner Mongolia Autonomous Region and Bashang district in Hebei Province to the materials of sand storm weather in Beijing. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(1): 1229~1232]
- 34 程旭, 祁万鹰. 由长福等. 沙丘表面的沙粒流动性分析—以北京北郊沙地为例. 干旱区资源与环境, 2003, 17(5): 7~12 [Chen Xu, Qi Wan'ying, You Changfu, et al. Analyse of aeolian sandy fluidness on dune surface—a case study in north sandy land of Beijing. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2003, 17(5): 7~12]
- 35 张华, 李锋瑞, 张铜会, 等. 科尔沁沙地不同下垫面风沙流结构与变异特征. 水土保持学报, 2002, 16(2): 20~28 [Zhang Hua, Li Fengrui, Zhang Tonghui, et al. Wind sand flow structure and its variation under different surface conditions in Korqin sandy land [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(2): 20~28]
- 36 姚洪林, 阎德仁. 内蒙古沙漠化土地动态变化. 呼和浩特: 远方出版社, 2002 [Yao Honglin, Yan Deren. Yandy desertification trends of Inner Mongolia Autonomous Region. Hohhot: Yuanfang Press, 2002]
- 37 董玉祥. 国内外海岸风成砂粒度参数特征的比较与分析. 中山大学学报(自然科学版), 2003, 42(4): 110~113 [Dong Yuxiang. The comparison and analysis of grain size parameters of coastal aeolian sands in China and abroad. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2003, 42(4): 110~113]
- 38 李吉均, 方小敏, 潘保田, 等. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响. 第四纪研究, 2001, 21(5): 381~391 [Li Jijun, Fang Xiaomin, Pan Baotian, et al. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai-Xizang plateau and its impacts on environments in surrounding area. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 381~391]
- 39 李裕元, 石辉. 新构造运动对黄土高原环境变迁的影响. 水土保持研究, 2001, 8(1): 123~129 [Li Yuyuan, Shi Hui. The impact of Neotectonics on the environmental evolution and soil erosion of Loess Plateau. Research of Soil and Water Conservation, 2001, 8(1): 123~129]
- 40 安芷生, 王苏民, 吴锡浩, 等. 中国黄土高原的风积证据: 晚北半球大冰期开始及青藏高原的隆升驱动. 中国科学(D辑), 1998, 28(6): 481~490 [An Zhisheng, Wang Sumin, Wu Xihao, et al. The eolian evidences from Chinese Loess Plateau—the beginning of the Grand Glacials of the north hemisphere during the late Cenozoic Era and its drive from the rises of Qinghai-Tibet Plateau. Science in China (Series D), 1998, 28(6): 481~490]
- 41 贾铁飞. 萨拉乌苏河地区若干第四纪沉积与环境问题初探. 内蒙古师大学报(自然科学汉文版), 1996, (4): 66~70 [Jia Tiefei. Some problems about quaternary sediment and environment of Sijia Osso-Gol river. Journal of Inner Mongolia Normal University (Natural Science Edition in Chinese), 1996, (4): 66~70]
- 42 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比. 沉积学报, 1999, 17(2): 226~232 [Lu Huayu, An Zhisheng. Comparison of grain size distribution of red clay and loess paleosol deposits in China. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 226~232]
- 43 Dust K. Transport and question of desert bessa formation. Sedimentology, 1987, 34: 139~154



# Grain Size Distribution Characteristics of Different Geo-genetic Types of Sandy Desertification and Their Geological Significance in Southeast Mo Us Desert

LI Zhipei<sup>1 2</sup> YUE Le-ping<sup>1</sup> XUE Xiang-xu<sup>1</sup>

WANG Min<sup>2</sup> YANG Lirong<sup>1</sup> NIE Hao-gang<sup>2</sup> CHEN Chao

(1 State Key Laboratory of Continental Dynamics Department of Geology Northwest University Xi'an 710069

2 Xi'an Institute of Geological and Mineral Resources Xi'an 710054)

**Abstract** Sandy desertification in southeast Mo Us desert and its neighboring regions according to the material origins and physiographic characteristics can be classified into four types sandy land in-situ type flow valley in situ type weathered residual in-situ type and finally the wind drifted type. The sands of sandy desertification of sandy land in-situ type come from both paleo-aeolian sand and those of paleo-or modern fluvial or lacustrine facies. Sands of this type of desertification have the characteristics such as coarse grain of which mid grain size are between 200–300 $\mu\text{m}$  or even bigger than 1mm, lower standard deviation, and narrow and positive leaning distribution patterns. Researches on grain size parameters show that their formation environment is likely fluvial.

Sandy desertification of valley in-situ type distributes mainly in river valleys and their neighbored regions such as flood beds, terraces and nearby districts. Sands of this type may have varieties of sources such as modern and paleo fluvial or flood sediments Quaternary Epoch. Sands of this type have the characteristics of broad range mid grain size (40–445 $\mu\text{m}$ ), middle degree of sorting, narrow and positive leaning distribution patterns. These features suggest that the sands of river valley type desertification are mixtures of different geologic processes, mainly fluvial and aeolian.

Weathered residual in-situ type desertification are formed by the erosion and separation by wind and fluvial forces of any sediments occurred in the region. During this process, fine grains become less and less, coarse grains remained. This type of sandy desertification mainly occurred in the north part of Hesse plateau. Their sands may come from paleo-aeolian sands, sandy Hesse, paleosols as well as paleo-fluvial terrace sediments. Re-active paleo-aeolian sands have the characteristics of both homogeneous in limited areas and features of different layers. Palaeo-aeolian sands have two-grain grades in the studied area, of which average grain size are between 23–60 $\mu\text{m}$  and 152–202 $\mu\text{m}$  respectively. They also have narrow, positive leaning distribution curves.

Wind drifted sandy desertification have the characteristics such as coarse grained sands (140–310 $\mu\text{m}$ ), low clay contents (< 5%), and very narrow and positive leaning distribution curves. This suggests that they are the products of modern wind-blown sands.

For the purpose of combating sandy desertification of different genetic type, it is important that different protect and renovate measurements should be used. It is strongly suggested that using the methods of seeding grasses and manpower projects to fix the drifting sands during combating sandy land in-situ desertification. As for the river valley in situ desertification, the methods of reducing soil erosion, protecting terraces and flood beds should be firstly used. To deal with the weathered residual desertification, methods of reducing water and wind erosion protecting fine-grain materials from losses can be used, such as reducing heighting vegetation and plantation. Finally, for combating wind drifted sandy desertification, manpower projects can be used to reduce wind harm and organic measurements to increase the percentage of coverage.

**Key words** Mo Us desert; sandy desertification; in-situ sandy desertification; wind drifted sandy desertification