

内蒙古师范大学

---

硕士学位论文

---

内蒙古沙化土地表土粒度特征及其可蚀性颗粒研究

---

姓名：李占宏

---

申请学位级别：硕士

---

专业：自然地理学

---

指导教师：海春兴

---

20070605

## 中文摘要

地表土壤因风蚀沙化造成的起沙(尘)及土地退化是内蒙古地区的主要环境问题之一。土壤风蚀的发生、发展与表土理化性质存在紧密的关系。本文以内蒙古境内主要沙地(漠)为研究对象,通过野外实地定位考察采样和室内实验分析相结合的方法,对内蒙古境内主要沙地(漠)不同土地类型表土粒度特征及其空间变异进行了研究,同时结合前人可蚀性颗粒风洞研究结论,讨论分析了内蒙古各沙地(漠)表土可蚀性颗粒物的潜在分布状况,以期为研究风沙流运动,探讨沉积环境和改造沙化土地提供依据。

通过研究概括为以下几方面的结论:

粒度参数会因粒径分段区间的步长不同而具有多解性,粒度参数的离散情况与分段数量存在负相关,分段区间数是影响矩法计算的主要因素。

就不同土地类型间表土粒度的变异而言,除浑善达克沙地移动沙丘特征分化不明显外,其它五地都表现出固有的规律,即移动沙丘最为粗化且分选较好峰值较大,其次为半固定沙丘、固定沙丘和退化耕地,以各地未退化耕地、草地或林地最为细化,分选较差,峰值平缓。各种土地类型的表土粒度主要集中于砂粒段(1-0.05mm),含量间于41.22%~98.23%,并且大多以细砂粒级(0.25-0.05mm)为主,含量间于25.39%~94.89%。各种用地的粉砂粒级和粘粒粒级含量较小,尤其是移动沙丘基本不含粉砂粒级,粘粒含量也最小。

就典型地貌部位表土变异而言,科尔沁沙地表现为固定沙丘迎风坡比丘顶和丘底粗化;半固定沙丘、移动沙丘丘顶遭受的风蚀强度明显大

于处于背风方向的丘坡和丘底；浑善达克沙地表现为风蚀床面或破口的表层粗化，粒度分布前移，在粉砂粒级和粘粒级含量很小或基本不含该粒级，固定沙丘沙丘丘顶或坡脚粒度分布基本没有分化。就典型土地利用状态的表土变异而言，科尔沁沙地传统耕作区玉米地的表土粒度比退耕保护地的土粒细化，在粉砂段和粘粒段，沙坡地含量接近于零；甸子地粒径分布比较平均，表现为粉砂级(0.05-0.075mm)和粘粒级(<0.002mm)含量较大；围封草地整体粒度分布较粗，恢复中的围封草地仍然遗留了草原曾遭受强烈风蚀的事实。

就沙化土地表土粒度空间变异而言，毛乌素沙地、乌兰布和沙漠表土存在比较明显的空间变异规律，即北部颗粒粗，西部颗粒粗，向东向南，颗粒变细。库布齐沙漠西部地区表层沙比东部地区的表层沙要粗。

就不同土地类型间可蚀性颗粒而言，总体上各区以各类沙丘细颗粒释放较多，而林地、耕地、草地释放较少。但是各区由于受自然条件和各采样点活化时间及人为影响的强度等条件存在差异，所以表现有所差异。各地起尘颗粒以耕地和地带性草原植被的含量较大，而各类沙丘含量很小。据此我们认为，大范围的沙尘暴天气的尘源物主要应来自于退化的耕地和草原。

**关键词：**内蒙古 沙漠化 土地类型 粒度特征 可蚀性颗粒

## ABSTRACT

Abstract: The Blown Sand-dust on surface soil and soil degeneration are the primary environmental problems in Inner Mongolia by the wind erosion and desertification. The occurrence and development of wind erosion has close connection with physical and chemical characteristics on the surface soil. This paper studied on the sand land or desert in Inner Mongolia, by field practical location, field investigation and sampling, combined with experimental analysis in room. It researched granularity characters of surface soil in different land types and space variation on the sandlot or desert in Inner Mongolia. At the same time, it combined the research on wind tunnel about the erosive particles and the experience from the former scholars to analyze the potential distribution about the surface soil erosive particles on the sand land or desert in Inner Mongolia. In order to study the movement of the wind-sand flow, discuss the deposit environment and provide theoretical support to transform the sandy land.

The conclusions are as follows by the research:

(1) Grain-size parameter value shows multi-solutions character for the different step length of grain-size subsection leads to different. As a whole, it has a negative correlation between the situation of dispersion of grain-size parameter and the number of subsection. The amount of the number of subsection is the main factor that affects the result of moment calculating.

(2) As for the variation of surface soil granularity in different land type, it shows that: there are connatural rule in the other five places, except that the differentiation of the characteristic of mobile dune in the sand land of Hunshandake is not obvious. That is, the mobile dune is thicker than the other

dunes, the distribution is good and the peak value is big. Next are half-immobile dune, immobile dune and degenerative infield. The non-degenerative infield, the grassland and woodland are thinner than the other places, distribution is bad and the peak value is calm. The surface soil granularity in different land type is mainly fasten on 1-0.05mm and the content is from 41.22% to 98.23%. the granularity in 1-0.05mm is mainly fasten on 0.25-0.05mm and the content is from 25.39% to 94.89%. The content of the silt particle granularity and the clay particle granularity is small in all kinds of land use, especially the mobile dune. It has not the silt particle granularity basically and the content of clay particle granularity is the least.

(3) As for the differentiation of surface soil in the typical physiognomy position, the distribution of surface soil granularity variance in different physiognomy position of immobile dune in Keerqin sand land is that the weather slope is thicker than the topmost dune and the bottom dune. The intensity of wind erosion on the topmost of half-immobile dune and mobile dune is much stronger than the dune slope and the bottom dune, which are in leeward slope. The distribution of surface soil granularity variance in different land use in Hunshandake sand land is that the surface of wind erosion bed surface or crevasse surface layer is roughen; the distribution of granularity moves onwards; the content of silt particle grade and clay particle grade is low or do not conclude. The granularity variance in the topmost and bottom of immobile dune is not differentiated basically. As for the surface soil variance of typical land use state, in Keerqin sand land is that the surface soil granularity in corn field of traditional cultivation area is thinner than that in returning cropland to protective land. The content of silt particle granularity and the clay particle granularity is nearly 0 in the sand slope land. The distribution of grain grade is comparatively average in Meadow land and the

content of the silt particle grade (0.05-0.075mm) and the clay particle grade ( $<0.002\text{mm}$ ) is comparatively big. The granularity distribution of hermetical grassland is coarse as a whole. It is a truth that the resuming hermetical grassland had ever been wind eroded intensively.

(4) As for the special variance of the surface soil granularity in desertification land, the distributing of granularity in the layer of surface soil has obvious rule of spacial variance in Maowusu sand land and Wulanbuhe desert. That is, the grain is coarse in the north and west; it is thin in east and south. The surface soil granularity in the west is coarser than that in the east in Kubuqi desert.

(5) As for the surface soil erodibility particles in different land type, the thin grain in all kinds of dune released a lot. That in woodland, infield and grassland released a little. Because the natural condition, the time of activated sampling and the intensity of artificial influence were different, the exhibition had difference. The content of blown dust particles is big in infield and zonality grassland; the content of that in the other dunes is small. Therefore, the dust source particles in the large-scale dust storm mostly come from degenerative infield and grassland.

**KEY WORDS:** Inner Mongolia; desertification; the type of soil; granularity characters; erodibility particle

## 第一章 研究背景、目的和意义

内蒙古自治区地域辽阔,东西直线距离达 2400km 以上,南北直线距离约有 1700 多 km,气候干旱多大风,地表沙物质丰富,地表土壤因风蚀沙化造成的起沙(尘)及土地退化是内蒙古地区的主要环境问题之一。据研究,内蒙古沙漠和沙漠化土地面积居全国第二位,而沙漠化土地扩展速度和可治理沙漠化土地面积居全国第一位<sup>[1]</sup>。在侵蚀与可治理面积均很大的情况下,开展内蒙古沙化土地表土粒度特征的研究就显得十分重要了,因为,无论研究土壤侵蚀的发生还是合理的预防和治理沙化土地,都离不开对土壤粒度条件的认识和研究。

内蒙古横跨中国北疆,东西距离遥远且环境条件各异,区域内土地类型多样。景观单元的区域经度变异规律已得到普遍认识,有的土壤性质在区域内也存在着明显的分化(如碳酸钙含量及其存在层位等),东西部沙地表土粒度特征是否存在分异规律,是本研究的关注点之一。不同土地类型,拥有不同的小生境,因而具有不同的物质迁移和循环规律,现在的土地类型是各区经过长期的利用演化的结果。不同土地类型表土粒度特征规律,可以一定程度上反映各区环境的变化,同时也不同程度的揭示区域土地发展的潜势。因此各区要因地制宜地开展沙化土地的治理与恢复,区域内表土粒度特征变异规律的认识也显得尤为重要。基于此,开展内蒙古沙化土地表土粒度特征的研究不仅可为沙化土地侵蚀与治理工作提供保障,而且可以定量刻画区域表土粒度特征的变异规律。

土壤风蚀的发生、发展与表土理化性质存在紧密的关系。其中颗粒物的粒度特征决定其许多力学特征和强度。不同的粒度组合级配产生不同的表面支持强度,进而产生不同的侵蚀状况。因此,表土可蚀性颗粒特征的研究与刻画,对于研究区域表土的可蚀性和定量刻画区域侵蚀与沉积状况具有十分重要的作用。同时基于遥感、地理信息系统等现代科技手段已经可以较为全面的探测和反映区域土地利用状况及其变化状态并已成功应用于沙化土地的监测及评估。但是大尺度监测的后向性及其对于微观机理表现的乏力性,要求我们完善沙化土壤监测体系。基于内蒙古沙地(漠)边缘区的土壤表土粒度特征的及其可蚀性颗粒的研究,对于完善沙化土地监测、评估体系具有应有的价值。

## 第二章 研究综述

沙漠化是干旱、半干旱及部分半湿润地区由于人地关系不相协调所造成的以风沙活动为主要标志的土地退化。内蒙古自治区地域辽阔,气候干旱多大风,地表沙物质丰富,地表土壤因风蚀造成的起沙(尘)是内蒙古地区的主要环境问题之一。风沙活动是风力与地表物质相互作用的结果,风蚀是产生风沙危害的首要环节。

土壤风蚀,贯穿于土地沙漠化的全过程,由于风蚀,土壤细粒部分(物理性粘粒)随风吹失,由于土壤细粒部分的减少,相应砂粒和石砾部分的比例增加。这就是土地沙漠化过程中地表粗质化、砾质化的必然性。造成土地沙漠化的自然因素除气候的干旱、多风外,地表物质的组成是其物质基础。不同环境形成不同的沉积物,其质地性质差异很大。这些不同的沉积物,对土地沙漠化的发生及发展速度、类型和治理措施都有直接关系。土壤表土颗粒的粒度特征决定其力学性质与强度,最终影响风蚀强度。因此,研究地表物质组成与土地沙漠化之间的关系是极为重要的。

关于侵蚀力与抗侵蚀力的研究实践表明,不同的外营力对相同土壤的作用结果是不同的;相同的外营力对不同的土壤作用结果也不同。同样是风力侵蚀,一些土壤容易发生侵蚀,而另一些土壤则较难发生侵蚀。人们将土壤的这种在侵蚀力作用下侵蚀过程难易性描述为土壤可蚀性。诺尔曼·哈德逊将土壤可蚀性描述为“土壤对侵蚀的敏感性,是土壤抗蚀性的倒数”。Raymond W Miller 和 Roy L Donahue 定义土壤可蚀性为土壤侵蚀的难易程度<sup>[1]</sup>。

因此,研究不同土地类型的粒度特征及其可蚀性粒度状况对于了解不同尺度上土壤特性的空间异质性和土壤侵蚀、土壤利用变化对土壤的影响程度和尺度具有重要的参考价值。

### 第一节 有关土壤粒度分布的研究

规范的土壤颗粒大小分布是指不同粗细级别的土壤颗粒质量在土样总质量中的比数,常用颗粒粒径与小于该粒径颗粒质量累积百分含量表示<sup>[2]</sup>。一般为了直观清楚地表述土壤颗粒分布常绘制土壤颗粒大小分布曲线。一些研究表明<sup>[3-14]</sup>土壤颗粒分布强烈影响着其它一些重要的土壤物理性质(水分特征曲线和非饱和水力传导率函数、松散表土的抗剪强度、土壤抗蚀性等),利用完整的土壤颗粒分布曲线能推测一些重

要的但又不能自接测定或测定起来比较昂贵的土壤性质,因此,近20年来根据土壤颗粒分布来估计难以测定的土壤抗蚀性质及水力性质一直是土壤物理学中的一个研究热点。

通常情况下描述土壤颗粒大小分布的模型可以分为两类,即参数模型和非参数模型。所谓参数模型就是表征累积质量百分含量与颗粒粒径之间关系的包含一个或多个形状参数数学表达式。非参数模型中不包含形状参数,通常是采用一些统计学指标(如几何平均粒径、标准偏差等)来描述颗粒大小分布曲线。由于时间所限,本文此次主要研究了沙化表土的非参数模型的变化规律,借以表达后续区域表土粒度分布及其不同土地类型表土粒度分布的差异。

沉积物的粒度是分析沉积环境、沉积过程、搬运过程和搬运机制的重要手段之一<sup>[16]</sup>。粒度分析在区分沉积环境、判定物质输运方式、判别风、水动力条件和分析粒径趋势等方面具有重要作用<sup>[16]</sup>。粒度分析已成功应用于风成沉积、风蚀环境信息提取等研究领域<sup>[17-26]</sup>。长期以来,沉积学家试图从沉积物的粒度特征中提取沉积环境的有关信息,或进行沉积环境的辨识<sup>[29-31]</sup>。表征粒度特征的粒度参数包括平均粒径、分选系数、偏态和峰态等。计算粒度参数的方法主要有图解法和矩法两类,图解法是根据粒度分析结果绘制出累积分布曲线,从曲线上直接读取某些具有代表性的累积百分数所对应的粒径值,进行参数计算。矩法将样品的平均粒径、分选系数、偏态值和峰态值分别定义为粒度分布的一阶矩、二阶矩、三阶矩和四阶矩的函数,按计算公式进行计算。有关学者对图解法与矩法分析粒度特征参数的对比分析做了很多详尽的分析<sup>[32,33]</sup>。由于计算机的普及和对粒度数据表征方法的研究<sup>[34]</sup>,矩法分析计算粒度特征参数的应用越来越普遍。然而,在矩法分析计算粒度特征参数时,由于粒径段分段的不同使得计算结果具有多解性却未见报道。基于此,本次研究以风成沙粒度参数的计算为例,探讨其计算结果的多解性,以期为后续工作提供基础。

## 第二节 有关土壤风蚀的研究

### 2.2.1 土壤风蚀研究概述

土壤风蚀是指一定风速的气流作用于土壤或土壤母质,土壤颗粒发生位移(起动、运移与沉积)造成土壤结构破坏、土壤物质损失的过程,因而,风蚀是风沙活动的关键<sup>[35]</sup>。对于风蚀的研究,地学家与土壤学、农学家研究的重点并不相同。19世

纪末 20 世纪初地学家们意识到风蚀是一种重要的地质过程<sup>[66]</sup>, 并从风力的地质作用、风蚀地貌和风积地貌, 以及大气环流和地形地貌对风力的影响等方面着手研究。而土壤学家和农学家重点研究近地表风作用于土壤物质的过程以及风蚀对土壤和环境的影响。

系统的土壤风蚀研究可以追溯到 20 世纪 30 年代末, 此时美国中西部地区的大平原发生了严重的土壤风蚀问题, 并引发了大面积的灾难性“黑风暴”, 使科学家的注意力集中到风蚀问题的研究上。这一阶段的研究成果主要体现在拜格诺(R. A. Bagnold)和切皮尔(W. S. Chepil)等人的工作中。1941 年, 拜格诺发表了其代表著作《The Physics of Blown Sands and Desert Dunes》(《风沙和荒漠沙丘物理学》)。他对近地表风的观测和实验为风蚀研究奠定了基础, 使风蚀研究进入动力学研究阶段。在拜格诺研究工作的基础上, 自 20 世纪四十年代开始, 土壤风蚀研究开始有较大的发展, 以 Chepil 为代表的美国农业部科学家对土壤风蚀防治进行了一系列的研究工作。

前苏联开展风蚀研究也比较早, 50 年代前苏联中亚地区亦出现了前所未有的土壤风蚀问题, 导致席卷中亚的“黑风暴”。兹纳门斯基在前人的基础上, 率先在苏联展开土壤风蚀研究。雅库波夫等通过野外调查和风洞实验, 对土壤风蚀与微地形、土壤、植被等环境条件的关系, 以及防止土壤风蚀的综合农业措施等方面作了系统研究。此外, 欧盟于 1998 年启动了标志着欧洲风蚀研究水平的“欧洲轻土壤风蚀(Wind Erosion on European Light Soils, WEELS)”项目, 德国、荷兰、瑞典和英国参加了这个项目。

中国的土壤风蚀研究起步较晚, 20 世纪 50—60 年代中国科学院治沙队开展了沙漠综合考察, 并着手进行沙地利用、流沙固定、固沙造林、沙地改良、铁路防治等研究及有关定位观测实验。在这期间对沙漠地区新垦荒地的土壤风蚀问题作过一些观测研究, 主要着重于风蚀地貌形态的定性描述<sup>[67]</sup>。这一时期的研究从宏观上基本搞清了我国风蚀沙害的空间分布、危害方式及其区域差异。70 年代以来, 土壤风蚀研究进入了一个新的阶段, 应用遥感手段、实地调查、定位观测、室内风洞实验模拟等现代技术方法, 从宏观与微观两个方面开展了土壤风蚀的动态变化、风蚀过程及风蚀影响因素对风蚀影响的研究。80 年代以后, 中国科学院兰州沙漠研究所开始使用室内风沙环境风洞进行实验研究, 主要针对风况、地面物质组成、植被、防护林、沙障、人

为行为、开垦等因素模拟实验<sup>[38, 39, 40, 41, 42, 43]</sup>，并在定量分析的基础上开始采用多元统计数学模型与动态仿真模型模拟土壤风蚀过程，严平等发表了论文《<sup>137</sup>Cs 法测定青藏高原土壤风蚀的初步结果》和《土壤颗粒组成影响 <sup>137</sup>Cs 含量的初步实验结果》，是中国学者首次用同位素方法研究土壤风蚀问题<sup>[44, 45]</sup>。总的来看，国内土壤风蚀的研究工作相对比较薄弱，所取得的进展主要包括区域性的土壤风蚀分布地带性规律和不同时间尺度的准周期性规律，描述性的风蚀强度分级与危害评价，单因子风蚀过程的风洞实验，旱作农田风蚀防治等。

## 2.2.2 土壤风蚀的发生过程

### 2.2.2.1 沙粒的起动

风的作用力与风速的平方成正比。当风速大于某一特定值时，沙粒开始起动，使沙粒沿地表开始运动所必需的最小风速称为起动风速也称临界风速。一般沙粒愈大，表土愈湿，地面愈粗糙，植被覆盖度愈大，起动风速也愈大。当风速大于起动风速时，随风速的增加，风蚀急剧发展，形成风沙流，进而强化风蚀的发展，这是因为挟沙风的风蚀能力比净风的风蚀能力高出数倍甚至几十倍<sup>[46]</sup>，尤其是大风风蚀更剧烈。风洞中对古风成沙与翻耕粉沙质壤土的吹蚀实验表明，4-7 级风的风蚀量只占总风蚀量的 3.3%，8-12 级风的风蚀量却占 96.7%<sup>[47]</sup>，因此在土壤风蚀区内设置适宜的林带或机械障碍切断风沙流来源，使风速降低至风蚀临界风速以下是减轻乃至根治土壤风蚀的根本办法。

### 2.2.2.2 沙粒的输移

依据风力、颗粒大小和质量的不同，风沙运动有悬移、跃移和蠕移 3 种运动形式中，蠕移约占 25%，跃移约占 75%，悬移不到 5%。这表明风沙运动是一种贴近地表的沙粒搬动现象，事实上风力对沙物质搬运过程主要发生在 1m 高程之内，被搬运的沙物质有 90%集中分布在 0—20cm 高程内，而其中 80%—90%的沙量又是在 0-5 cm 高程内通过<sup>[48]</sup>。

### 2.2.2.3 沙粒的沉积

当风速减弱，使紊流漩涡的垂直分速小于重力产生的沉速时，就称为沉降堆积、遇阻堆积和停滞堆积。从输移方式看，蠕移质搬运距离很近；跃移质多沉积在被蚀地块的附近，在灌丛、土埂的背后形成沙堆，或沉积在田块间的沟渠中；悬移质被风卷扬到高空，搬运距离最远。悬移质的量虽少，但都是极细小的颗粒，多是含有大量土

壤养分的粘粒及腐殖质。

### 2.2.3 土壤风蚀可蚀性颗粒研究

#### 2.2.3.1 国外研究概况

W. S. Chepil 在 1950~1951 年对影响风蚀的土壤性质进行了系列实验, 结果表明土壤可蚀性明显地受土壤中细粉粒的含量影响, 在其它因子相同时, 风蚀量随土壤中所含易蚀部分对不易蚀部分的比例而成正比例变化<sup>[49]</sup>; 土壤可蚀性主要取决于土壤中干团聚体结构和块状结构, 可以通过土壤干团聚体大致估算风蚀量, 在其它因素保持不变时, 风蚀量随易蚀颗粒或团聚体容重的平方根而变化<sup>[50]</sup>; 土壤可蚀性主要决定于土壤中所含不易风蚀部分的体积而不是比重<sup>[51]</sup>。W. S. Chepil 在 1952 年研究了土壤质地对可蚀性的影响, 发现土壤质地对土壤可蚀性有很大影响, 可蚀性随土壤中直径  $<0.42\text{mm}$  和  $>0.84\text{mm}$  土粒的百分数而变化, 随土壤中砂粒、粘粒与粉粒的比率而变化<sup>[52]</sup>。W. S. Chepil 在 1953 年又通过风洞实验研究了不同粒径土壤团粒与风力的关系问题, 他发现大多数侵蚀风对直径  $>0.84\text{mm}$  的结构单位基本上难以移动, 而具有显著抗风蚀性的团聚体则是  $>1\text{mm}$  的团聚体, 较小的团聚体则通常形成较大的可称之为“土块”的结构单位,  $<0.02\text{mm}$  直径和  $>0.84\text{mm}$  直径的水稳性团聚体的含量则与产生土块的数量密切相关<sup>[53]</sup>。W. S. Chepil 在 1955 年对具有单一机械组成的土样可蚀性问题进行了研究, 发现直径在  $0.005\sim0.01\text{mm}$  的粉砂土中具有最大的团聚度和抗风蚀性, 土壤中粉砂的比率越大而砂的比率越小, 则可蚀性越小<sup>[54]</sup>。

前苏联的 T·雅库布夫研究了土壤机械组成等因素对风蚀的影响问题, 发现了易受风蚀的土壤中含有相当数量的直径在  $0.05\sim0.25\text{mm}$  的水稳性聚合物、抗风蚀的土壤中则含有相当数量的  $>0.5\text{mm}$  和  $<0.05\text{mm}$  的颗粒和水稳性聚合物以及腐殖质含量高的土壤未必就是抗风蚀强的土壤等系列结论<sup>[55]</sup>。

兹纳门斯基研究认为, 在同一风速之下, 输沙量的大小与沙纹的形成与否存在紧密的关系。而沙纹的形成与表层粒度存在关系, 例如在没有沙纹的情况下, 沙子的组成为:  $>0.25\text{mm}$  的沙粒占 0.9%, 在有沙纹形成的情况下,  $>0.25\text{mm}$  的沙粒占 13%<sup>[56]</sup>。

R. A. Bagnold 开辟了风沙研究的新纪元, 通过他的研究工作, 建立了“风沙和荒漠沙丘物理学”的理论体系。比如 R.A.Bagnold 研究认为, 沙粒的流体启动临界粒径为  $0.08\text{mm}$ 。如在同一风的作用下, 即使平均粒径保持不变, 粒径范围增大后, 输沙率也随之增加<sup>[57]</sup>。

### 2.2.3.2 国内研究概况

朱震达、陈治平和吴正等在1981年认为土壤性质的差异会影响土壤风蚀的强度,而风蚀作用的结果也会改变土壤粒度的组成<sup>[56]</sup>。陈广庭在1991年通过研究发现土粒起动风速的大小与土壤团聚体平均直径和粒度组合之间存在着重要的关系<sup>[56]</sup>。胡孟春,刘玉章等在1991年研究发现,粉砂风蚀量为中、细砂的1/999。陈渭南研究认为要根据土层密实度等不同情况分别对待。一般说来,粒径越细,胶结密实度也越高,其抗风蚀能力必然较大。但对于耕作松散土层而言,在天然质地下,4.61—3.31 $\Phi$ 粒级范围内,平均粒径越细,同一风速下的风蚀量越大,说明其抗蚀性越弱<sup>[60]</sup>。赵焯,海春兴综合考察了滦河源区东沟小流域地理环境特征分析了不同风蚀强度下暗栗钙土的诊断特性。其结果表明:自然环境提供了土壤风蚀的物质条件,区域日益强化的农牧业及砍薪材活动则是土壤风蚀的触发驱动力:失去植被保护的干旱松散表土,在大风驱动下,其中的细砂和极细砂(0.01-0.10 mm)首先以跃移、悬浮方式流失,而粗砂(2-0.25 mm)则相对是非可风蚀颗粒;建立了定量刻划土壤风蚀相对强度指数,即 $SWEI = \text{粗砂含量} / \text{风蚀粒子含量}$ 。东沟小流域自然暗栗钙土表土 $SWEI \leq 2.0$ ,轻度风蚀区表土 $SWEI \geq 3.0$ ,重度风蚀区表土 $SWEI \geq 9.0$ ;而在风积区表土 $SWEI \leq 1.5$ ,该指标较好地反映了区域土壤风蚀强度的差异性<sup>[61]</sup>。

董治宝、李振山在1998年通过对不同沙粒组成的风洞模拟实验,发现了风成沙的风蚀可蚀性随粒度的变化服从分段函数,0.09mm粒径者最易被风蚀。风成沙颗粒按可蚀性可以分为3种类型: $>0.7\text{mm}$ 和 $<0.05\text{mm}$ 为难蚀粒; $0.7-0.4\text{mm}$ , $0.075-0.05\text{mm}$ 为较难蚀颗粒; $0.4-0.075\text{mm}$ 为易蚀颗粒。在相当粒径的条件下,混合沙粒较均匀粒径者易风蚀<sup>[62]</sup>。史培军认为,土壤颗粒组成是决定土壤抗蚀性的重要因素,粒径在 $0.08-0.25\text{mm}$ 之间的土壤颗粒最容易遭受风蚀<sup>[63]</sup>。刘贤万的实验给出了均匀沙的流体起动风速在粒径较小时(即 $<0.2\text{mm}$ 以下)随着粒径增大而减小,但对粒径大于 $0.2\text{mm}$ 的较粗沙粒,起动风速则随粒径的增大而增大 $0.2\text{mm}$ 是个分界线<sup>[64]</sup>。刘连友,宋阳等通过对中国干旱区8种不同成因沉积物吹蚀速率的风洞实验,从风蚀动力机制上讨论沙漠的物质来源及其与沙丘发育和沙漠形成的关系。对比风洞实验测定结果发现,吹蚀速率与沉积物组成中 $0.063-2\text{mm}$ 的易蚀性颗粒含量和分选性成显著线性正相关,与 $<0.063\text{mm}$ 的粉粘粒和 $>2\text{mm}$ 的砾石含量成显著线性负相关<sup>[65]</sup>。李晓丽等对内蒙古阴山北部的典型农牧交错带耕地的土壤风蚀物的数据分析来看,易跃移粒径大致可划分为两个区间: $0.075-1$

0.2 mm, 0.25—0.425 mm<sup>[66]</sup>。申彦波, 沈志宝等研究认为, 对较小粒子起支配作用的是微粒内部的粘性力; 对较大粒子是重力作用的增强, 这两种力均对地表土壤的风蚀起沙起阻碍作用, 而介于两者之间的粒子, 则是空气动力起支配作用, 因而更容易脱离地表<sup>[67]</sup>。刘连友等通过粒度分析, 揭示了耕作土壤可蚀性颗粒的粒径范围、组合特征及不同粒组含量随侵蚀风力的变化, 指出土壤可蚀性不仅取决于土壤的内在性状, 而且与不同风速的外在风蚀效应密切相关, 提出不同土壤在风蚀动力机制上具有一致性<sup>[68]</sup>。叶笃正等认为我国北方沙尘颗粒粒径多在0.063—0.002mm之间<sup>[69]</sup>。

汪季, 董智研究认为, 不同下垫面粒度特征与扬沙起尘关系密切, 其粒度特征可反映下垫面向大气提供沙尘的程度<sup>[70]</sup>。岳乐平, 杨利荣等通过对干枯湖床沉积物粒度组成的分析后认为, 影响东亚地区的粉尘天气物源不仅是中国西部的内陆沙漠、沙地, 更重要的是干枯的湖泊、弃耕的荒地与裸露的沙砾草场<sup>[71]</sup>。周建忠, 路明对传统翻耕农田、保护性耕作农田、草地和沙地4种不同类型地表的土壤进行了研究, 认为沙尘源主要是裸露的农田<sup>[72]</sup>。

朱震达在上世纪80年代对我国特别是塔克拉玛干沙漠的风成沙粒度特征做了比较深入的研究<sup>[73-74]</sup>。史培军, 王静爱对我国干旱、半干旱区多个地区的风成沙粒度特征进行了研究, 研究认为, 表层沙与下伏沉积物存在显著相关性, 并根据各区粒度特征进行了聚类分析<sup>[75]</sup>。张国平等(2001)根据地质图和土壤图利用遥感手段绘制了中国土壤质地分布图<sup>[76]</sup>。

刘树林, 王涛等通过野外实验观测和室内分析整理的方法, 对浑善达克沙地不同程度沙漠化土地的春季风沙活动特征进行了研究。认为不同程度的沙漠化土地上, 风蚀物质的组成不同。沙漠化严重的裸露地区, 随着风速的增大, 被蚀掉的物质中增加的主要是0.2—0.08 mm的细沙的含量。导致大量有机质和其他微量化学元素随着近地表风速的增大, 被搬运到了很远的地方。同时由于风蚀粗化, 聚集在表层>0.63 mm的粗沙属于难蚀部分, 对严重沙漠化土地的进一步发展也有明显的抑制作用。在有稀疏植被的重度沙漠化地区, 2m高处风速达到 $11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时0.2—0.4mm的细沙才有明显运动。而在沙漠化程度较轻的地区, 受植被的保护>0.2mm的沙粒几乎不再发生风蚀搬运; 但在大风天气下, 0.125—0.063 mm的细物质却是极易被风蚀迁移的, 且占总风蚀量的85%。固定沙地则基本不发生风蚀, 但富含大量易于风蚀的细物质, 表层10cm内易风蚀部分(0.05—0.5 mm的物质)占到94%以上<sup>[77]</sup>。汪季, 胡志敏对不同土

地类型输沙量观测研究后认为,无论在哪个高度输沙量的大小均为固定沙地<半固定沙地<流动沙地的顺序。说明不同土地类型由于其表层覆被状况的不同,其可蚀性存在差异<sup>[76]</sup>。张华,李锋瑞等对流动、半流动、半固定和固定沙地4种不同下垫面0-20cm气流层的风沙流结构与变异特征研究表明:不同退化沙地在总输沙量及各层输沙量上存在明显的差异,风蚀物中粗粒(粒径1.0-0.5mm)与极细颗粒(粒径0.1-0.05mm)和粉、粘粒(<0.05mm)的含量均很低,而细颗粒(粒径0.25-0.1mm)的含量很高,占风蚀物的73%-91%,说明近地表层沙粒的运动以跃移为主。随高度的增加,风蚀物中颗粒(粒径0.5-0.25mm)的含量下降而极细颗粒和粉、粘粒含量增加但其增幅因下垫面不同而异<sup>[76]</sup>。

总之,通过粒度分析得到一系列量化指征,可为研究风沙流运动,探讨沉积环境和改造沙化土地、发展沙产业提供理论依据。

## 第三章 研究区概况

本次研究选取内蒙古东部的科尔沁沙地、浑善达克沙地和西部地区的毛乌素沙地、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠和腾格里沙漠为研究对象。为了较全面的反映内蒙古主要沙地(漠)表层土壤粒度特征及其可蚀性颗粒的分布状况,本次研究在条件允许的情况下注意了各个采样区域的空间位置,为此本次研究对各个沙地采取了取样地在空间上具有一定距离且具有典型代表性的旗进行采样。所选旗县大多位于沙地(漠)的边缘区。

科尔沁沙地选取了代表沙地北部边缘的开鲁县、中部区域的奈曼旗、和西南部区域的翁牛特旗为研究区。浑善达克沙地选取代表沙地北部区域的克什克腾旗和南部区域的正蓝旗为研究区。毛乌素沙地选取了代表沙地北部区域的伊金霍洛旗、中部区域的乌审旗和西南部的鄂托克前旗为研究区。腾格里沙漠选取阿拉善左旗的通古淖尔为研究区。乌兰布和沙漠选取代表沙漠北部的阿拉善左旗的吉兰泰附近和南部地区的磴口县为研究区。库布齐沙漠选取代表西部区的杭锦旗和代表东部的达拉特旗为研究区。本次研究采样区域共涉及内蒙古境内东西部6个盟市十二个旗县。

### 第一节 科尔沁沙地

科尔沁沙地散布于西辽河中、下游主干及支流沿岸的冲积平原上,是我国面积最大、人口密度最高、交通最方便的沙地。北和西北部与大兴安岭南端东侧山地丘陵相连,东北部与松嫩平原接壤,东和东南部与辽河平原连接,南和西南部有燕山余脉努鲁尔虎山和七老图山,西部与锡林郭勒高原毗邻。行政区包括吉林省西北部的洮安、通榆、双辽等县,辽宁省的康平、彰武等县,内蒙古的赤峰市11个旗(县、区)和通辽市8个旗(县、市)及兴安盟科尔沁右翼中旗。面积约为5.06万 $\text{km}^2$ 。自然区属温带半干旱、半湿润地区,成为全国光热、水土、植被等自然条件最优越的沙地之一。

#### 3.1.1 地质与地貌

科尔沁沙地属于松辽台向斜(或松辽沉降带)和西南部的通辽台向斜。台向斜中心部分的西辽河中下游一带,被白垩纪地层和第三纪冲积层所充填。从第三纪以来,先后沉积了厚达100-200m的冲积、洪积、湖积沙层,分布广泛,第四纪继续接受河流冲积物。由于长期受到各种自然和人为因素的综合作用,在冲积-湖积平原上形成了

现在的自然景观。

科尔沁沙地分布于南北隆起、西高东低的半封闭式环形盆地内。南、北分别为燕山北部和大兴安岭南端的山区丘陵，两山(丘)于西部会接，形成高原区；北、西、南三面是西辽河水系的发源地，河流自西向东横贯沙地中部，形成了冲积平原；平原东端科尔沁左翼后旗境内海拔不到100m，最低绝对海拔高度81.8m，是内蒙古的最低点。风沙地貌表现为：固定沙丘占沙地总面积的36.5%，半固定沙丘占46%，固定和半固定沙丘形态主要是梁窝状沙丘、灌丛沙堆和沙垄等；流沙沙丘主要是新月形沙丘和沙丘链，占沙地总面积的17.5%。

### 3.1.2 气候与水文

科尔沁沙地水文条件是全国沙地中最好的地区之一，不仅降雨多，同时地表水、地下水也较丰富。温带大陆性季风气候区总的特征是春季较干旱多风，夏季炎热多雨，秋季凉爽、温差较大，冬季漫长干冷；由于地域广阔，东西狭长，受地形地势、纬度及大气环流等的交错影响，使沙区及其周围的气候产生了区域性差异。特别是距离海洋较近、易受湿润气流影响的地区，年均降水量300~450mm，并呈现出南多北少，东部多于西部，降水变率较大，丰雨年水涝成害，枯雨年干旱为灾的特征。年蒸发量1700~2400mm，干燥度1.2~2，相对湿度50%~60%，年日照时数2900~3200h，年平均气温4~7℃，≥10℃积温2500—3200℃，无霜期130~150d，热量较多，光照时间充沛，平均风速3~4m/s，风速在5m/s以上出现次数400次，大风日数20~40d。风力较强，风能资源较丰富。

科尔沁沙地境内河流几乎全属西辽河水系，全长880km，流域面积约8666.7hm<sup>2</sup>，地下水也较丰富，埋藏较浅，大多在1~5米，沙丘上的干沙层厚3~5cm，湿沙层含水量3.4%~4%。

### 3.1.3 土壤与植被

沙区地带性和非地带性土壤广泛发育、交错分布。在地带性因素控制下，栗钙土是主要的土壤类型，另外，在低山丘陵区还分布有褐土、栗褐土、黑钙土等多种黑土地的地带性土壤；在区域性因素影响下，分布有风沙土、灰色草甸土、浅色草甸土(潮土)、沼泽土、盐碱土等多种非地带性土壤。沙地土壤组合及分布规律，主要体现在水平带分布和区域性分布两方面。①河谷土壤呈阶梯状和树枝状分布。河床向两岸阶梯式抬高，依次出现河漫滩、一级阶地、二级阶地，最后到山地坡面、丘陵或沙丘，

这是河谷土壤分布的横向断面；枝状分布则为河谷土壤的纵向平面，因河流上、中、下游所处地带不同，涉及的土壤类型较多，一般上游多为地带性土壤，下游多为非地带性土壤。湖泊、泡子等周围的土壤呈同心环状分布。如沙丘的泡子周围，从里向外依次出现沼泽土-潮土-风沙土-栗钙土等。风沙土与其他土壤相间分布。在地带性和区域性两大因素综合作用下，不同地段会有多种土壤类型。当沙丘侵入后，形成间隔堆积，堆积沙丘的地方即为风沙土；未被沙丘占据的地方即为其他土壤；同时由于风沙土固定程度和发育阶段不同，就形成流动、半固定、固定风沙土相间，并与草甸土、栗钙土等土壤交错分布的格局。

科尔沁沙地由于沙地气候、地形及水文地质等条件的复杂性，决定了植被类型的多样性；主要植被类型有草甸草原、典型干草原、草甸、沼泽、盐生、沙生等植被。草甸草原主要分布于北部山间沟谷、缓坡，西拉木伦河下游及西辽河等地。主要优势植物种有线叶菊、贝加尔针茅、窄叶兰盆花、羊草等。典型草原植被分布较为广泛，集中在西拉木伦河以北低山丘陵，西辽河、霍林河中、下游冲积平原。以多年生丛生禾本科植物占绝对优势，其他为1年生旱生杂草类，也有山杏灌丛及零星的榆树等。主要代表植物有羊草、大针茅、克氏针茅、早熟禾、隐子草、冰草、冷蒿、甘草、百里香等，草原退化严重地方有成片的狼毒。草甸植被主要出现在河流湖泊沿岸及局部低洼处，其中老哈河、西拉木伦河、乌尔吉木伦河下游沿岸及沙丘间甸子地分布较多。植被由一些喜温和耐盐的植物组成，也有一些草原型植物侵入。常见植物有小粒苔草、二柱苔草、野大麦、碱茅、委陵菜、芨芨草、车前、马蔺、风毛菊、碱蓬、小糠草、假尾佛子茅、披碱草等。沼泽植被分布很零散，常出现在河边、湖滨、积水滩、沙丘间集水洼地等地段。沼泽植被中既有水湿植物，也有草甸型植物渗入。优势植物有芦苇、三棱藨草、水葱、水莎草、菖蒲、稗子等。沙生植物分布在固定、半固定沙丘上，流动沙丘也有部分沙生先锋植物生长。固定沙丘植物群落各由灌木、半灌木及草本植物组成，也有少部分乔木。西部松树山生长有沙地油松，东南部分布有以沙地蒙古栎为主的阔叶杂木林；沙地普遍生长着榆树，并与灌丛、禾草组成沙地疏林草原。除乔木外，灌木和半灌木种类也较多，主要有小叶锦鸡儿、沙柳、小红柳、百里香、达乌里胡枝子、东北木蓼、稠李、欧李、鼠李、西伯利亚杏等。草本植物有沙生冰草、羊草、白草、落草、狗尾草、委陵菜等。半固定沙丘开始活化或流动沙丘逐渐固定时，一般没有乔木生长，只稀疏地生长沙生半灌木和草本植物。常见的有差巴嘎蒿、三芒

草、隐子草、虎尾草、雾冰藜、猪毛菜、刺蓬等。流动沙丘地表裸露，只生长沙生先锋植物，主要有小黄柳、木岩黄芪、乌丹蒿、沙朱、沙芥、虫实等。此外，榆树疏林、蒙古栎疏林、差巴嘎蒿群落是该沙地重要的景观特色，在沙地生态系统结构中，显示着重要作用。

## 第二节 浑善达克沙地

### 3.2.1 分布范围

浑善达克沙地位于锡林郭勒高原中部，东起大兴安岭南段西麓达里诺尔，向西一直延伸到集二铁路沿线；东西长约 360km，南北宽 30~100km。行政区属内蒙古锡林郭勒盟和赤峰市，自然区属温带半干旱区。总面积约 2.38 万 km<sup>2</sup>。

### 3.2.2 地质与地貌

浑善达克沙地在地质构造单元的划分上是蒙古地槽古生代褶皱带的一部分。海西运动时上升为陆地，以后则进入了长期的剥蚀夷平作用时期。燕山运动以来，经历了缓和的振荡式的构造运动，在挠曲作用形成下陷的宽浅盆地中，沉积了白垩纪及第三纪湖相水平地层。沙地北侧有西拉木伦-乌日根达拉大断裂，南侧有阴山东西向复杂构造北缘的大断裂，因此沙地的本身为一个地堑式凹陷带。第三纪早期，该区发生沉降，沦为规模巨大的内陆湖盆，广泛地堆积了厚 100~200m 的第三纪湖相沉积物，第三纪晚期全区又上升，形成高原地貌。在第三纪末和第四纪初，气候干燥，湖海面积急剧缩小，在强劲的风力作用下，逐渐使流沙出现，在长期的自然和人为因素影响下，导致了沙地的形成。因此，浑善达克沙地大部分为第三纪的湖相粘土、沙质粘土和沙砾质层所组成的湖相地层，少数地区有花岗岩和变质岩出露，局部地区有玄武岩覆盖。

浑善达克沙地的地势由东南向西北缓缓降低，地面起伏不大，沙地边缘为剥蚀低山、丘陵，境内为沙丘、湖泊、盆地及剥蚀高原交错分布。其中固定沙地占总面积的 67.5%，半固定占 19.6%，流动沙丘占 12.9%。固定沙丘形态多为沙垄及沙垄-梁窝状沙丘，一般多呈 WNW-ESE 方向排列，沙垄之间常有同向延伸的平坦沙地和湖盆洼地，二者呈有规律的交替重现。固定沙丘及低平地是沙生、盐生及草原等植被滋生、繁衍的场所，植物生长较好，盖度可达 30%~50%，是优良的天然牧场。半固定沙丘呈斑点状散布在固定沙丘之间，由于受强烈的风蚀作用和人为活动的影响，往往在西风坡普遍形或一个个圆形的风蚀窝，出现裸露的沙面，成为该沙地半固定沙丘的一个显

著特征。它可作为沙丘活化的重要标志,为人们揭示风沙危害的可靠信息,并为采取防治措施提供确切依据。流动沙丘的主要形态是新月形沙丘及沙丘链,并呈斑块状分布于半固定沙丘之间。

### 3.2.3 气候与水文

浑善达克沙地属温带大陆性气候,其特征是寒冷、风大、少雨、干旱;东、西部水分条件相差较大,西部水量较少,东部水资源丰富,年平均气温  $0\sim 3^{\circ}\text{C}$ ,年温差和日温差较大,有利于干物质的形成和积累;年日照时数  $3000\sim 3200\text{h}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温  $2000\sim 2600^{\circ}\text{C}$ ,西部最高可达  $2700^{\circ}\text{C}$ ;无霜期  $100\sim 110\text{d}$ ,降水量自东南向西北递减,东南部年降水  $350\sim 400\text{mm}$ ,西北部为  $100\sim 200\text{mm}$ ;年蒸发量为  $2000\sim 2700\text{mm}$ ;干燥度  $1.2\sim 2$ 。光、热、水同期。冬春季风强而多,4~5月风速较大,高可达12级,年平均风速  $3.5\sim 5\text{m/s}$ ,年大风日数  $50\sim 80\text{d}$ ,是全国沙区最大风区之一。

水文受气候和古地理环境的控制,地下水埋深受地形的制约。东南部主要有闪电河、滦河等,东和中部有公格尔音郭勒河、锡林河、高格斯台河等。锡林郭勒盟是内蒙古内陆湖泊富集的地区之一,在牧区包括季节性大小湖泊多达1363个,总蓄水量  $35\text{亿}\text{m}^3$ ,其中淡水湖672个,蓄水量  $20\text{亿}\text{m}^3$ 。沙地中湖泊也相当发育,约有110余个。东部地下水丰富,一般埋深  $1\sim 3\text{m}$ ,或呈泉水出露,水质良好,开发利用潜力较大;西部地下水缺乏,水质欠佳。流动沙丘上的干沙层厚  $3\sim 10\text{cm}$ ,湿沙层含水量  $3\%\sim 4\%$ 。

### 3.2.4 土壤与植被

该沙地的主要土壤类型以栗钙土为主,其次为棕钙土;非地带性土壤主要为风沙土。因地理位置、气候环境等因素的影响,土壤的形成发育具有明显的地带分异规律。一般东部为草甸栗钙土或暗栗钙土,向西逐渐演变为淡栗钙土,到西北部二连附近则过渡为棕钙土。土壤区域性分布除有地带性因素的烙印外,更直接的是受非地带性因素所支配。境内风沙土主要是非地带性土壤,并呈坨(沙丘)、甸(丘间低地)相间分布,或沙丘链与甸子地交错排列。东部固定沙丘上大都呈明显的成土过程,并向栗钙土方向发育。根据发育程度可分出栗钙土型沙土和松沙质原始栗钙土。东部甸子地宽阔,西部窄小,土壤多为草甸或盐化草甸土,局部地段有盐碱土和沼泽土。围绕湖盆或低湿洼地的土壤往往呈环状形式分布,基本模式是:湖盆-沼泽土、草甸沼泽土-盐化草甸土-草甸土-风沙土。沙地中坨、甸水土条件较好,是畜牧业和林业的重要基地。

浑善达克沙地植被以草原植被为主,针阔叶乔木、榆树疏林等超地带性植被明显。

浑善达克是东西向延伸的巨型沙地：东端深入到大兴安岭南段西麓的草甸草原地带；西端楔入荒漠草原区；中间广大沙区处于半干旱草原带，植物种类繁多，植被类型丰富，同时因沙丘固定程度、发育阶段等不同，形成的植被结构系统也有明显的超地带性分异特征。流动沙丘大部分为裸露沙地，常见沙生植物有沙竹、沙米、黄柳以及少数的芦苇、沙芥等先锋植物。为后续植物的定居起着先锋固沙作用，使其他沙地植物能更有效地逐步生长；丘间低地植物相当茂密，优势种为小红柳，常伴生有芦苇、拂子茅、黄华等，是较好的牧场。半固定沙丘迎风坡风蚀窝不生长植物，背风坡多生长沙蒿、沙竹群丛，其间杂以沙芥、沙米等，东部半固定沙丘上还丛生黄柳。固定沙丘上种属和群丛类型较多。特别是东部沙生系列植被的组成，因受大兴安岭南段山地和燕山北部山地区系的影响，种类成分十分丰富，仅木本植物就有 30 余种。针叶树有白杆、油松、叉子圆柏，阔叶乔木有山杨、白桦、榆树疏林等及山地灌木山丁子、欧李、山樱桃、绣线菊等。高大沙丘常形成明显的阴阳坡，阳坡植被稀疏，主要为蒿类群丛；阴坡上除乔灌木外还分布有蒿属半灌木群丛、沙生丛生禾草、杂类草群丛等。东部覆沙较薄的地段，主要生长有冷蒿、细叶苔、百里香、星毛委陵菜等，沙地中部地区的固定沙丘仍有榆树疏林，同时内蒙古沙蒿、冷蒿群丛分布广泛，伴生成分有木地伏、百里香、麻黄、木岩黄芪、羊柴等和耐旱的杂草及沙生冰草等组成的多种群丛。沙地西部的固定、半固定沙丘是以小叶锦鸡儿、矮锦鸡儿、内蒙古沙蒿、沙竹群丛为主，混生有冷蒿、蒙古莠、沙蓝刺头、戈壁天冬、隐子草、沙生针茅等，组成了荒漠草原植被类型。

### 第三节 毛乌素沙地

#### 3.3.1 分布范围

毛乌素沙地位于鄂尔多斯高原东南部的乌审洼地，南北长 220km，东西宽 100km，最宽处 150km。行政区包括鄂尔多斯市南部、宁夏黄河以东和陕西北部广大地区；自然区属温带干旱和半干旱区。总面积 3.21 万 km<sup>2</sup>。

#### 3.3.2 地质与地貌

毛乌素沙地中部和西北部基底以白垩系砂岩为主，东部和南部边缘覆盖在黄土丘陵上。在地质历史时期由于地壳变动，这里就形成一系列湖盆洼地，并堆积了厚约 100m 的第四纪中细沙层。在第四纪上更新世末因气候干旱，经长期的干燥剥蚀，并

有强劲的西北风将古河湖相沙层吹扬、堆积,逐渐塑造了现代毛乌素沙地的地貌形态,即波状起伏、梁滩相间、沙丘与甸子地结合相存的地貌特征。

目前,除部分未被沙子覆盖的梁地和黄土外,呈现出河谷阶地、下湿滩地、沙丘、湖泊相互排列的独特景观。毛乌素历史上曾是气候温暖、湿润,植被郁郁葱葱的一片绿地,后因气候温湿、干冷交替与人为活动干扰,沙地经历了多次荒漠化与绿洲化的反复演变过程,形成了举世闻名的“人造沙漠”。当前,流动沙丘占沙地总面积的 31.6%,半固定沙丘占 36.5%,固定沙丘占 31.9%。毛乌素沙地是位于我国最西部的沙地,其地域广、面积大,自然分布横跨陕西、宁夏、内蒙古三省区,九曲黄河环绕其中,蜿蜒长城横亘其上。

### 3.3.3 气候与水文

毛乌素沙地的水热状况处于温带半干旱与干旱区较优越的过渡地带。气候特征是冬季受蒙古冷高压影响,干燥寒冷;春季多风少雨,旱情严重;夏季受海洋湿润气流影响,降水较多,常以暴雨形式降落,是我国沙区暴雨中心之一。东部虽为半干旱区,而西部却已进入干旱区,所以东、西部水热差异明显。夏秋东南季风常带湿润气流,使该区年均降水量东部达 400—440mm,西部仅 250—320mm;年蒸发量为 2100—2600mm。干燥度 1.6~2.0,年日照时数 2700—3100h,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温 2500~3200 $^{\circ}\text{C}$ ,年平均气温 6~8 $^{\circ}\text{C}$ ,无霜期 130—160d。该区多为东南风,年大风日数 20~40d,

该区沙地水分条件优越,地表河流东南部较多,主要有无定河、纳林河、海流图河、乌兰木伦河等,还有许多汇集沙区泉水而形成的小河流。地下水也较丰富,丘间地一般埋深 1~3m,个别地段仅 0.5m。流沙的沙丘表面干沙层厚 5—10cm,湿沙层含水量 2.8%—4%;由于水分条件较好,沙生植物常从丘间地蔓延到丘顶。毛乌素沙地有大小湖泊 170 多个,除西部少数内陆湖水质较差外,绝大部分水质优良。

### 3.3.4 土壤与植被

毛乌素沙地的土壤由地带性与非地带性土壤交错分布;植被以油蒿和柳湾林为特色的次生和草甸植被类型为主。东部未覆沙的梁地、固定和半固定沙地,栗钙土发育充分;西部以沙岩为基底的硬梁地,棕钙土发育充分;西南部有范围很小的灰钙土。沙地境内则以非地带性的盐碱土、草甸土等以及风沙土占绝对优势。盐碱土以西部和中部的低湿草滩地和天然盐碱池边缘地为主;草甸土常与沼泽土呈复域分布,零散分布在低湿草滩的中心和局部洼地及河谷低湿地上;风沙土基质为沙土或细沙粒,

结构疏松、肥力低、保水力差，易起风沙。地带性与区域性土壤相向排列，分布较广的硬梁地、丘间地、河谷阶地等，为牧林农业生产提供了丰富多样的土壤类型。

在特定的地貌和土壤等条件影响下，沙生植物和草甸植被成为该沙地的主要植被类型。沙生植物随沙的流动程度和地貌部位发生变化。主要植物有沙米、籽蒿、油蒿、小叶锦鸡儿、中间锦鸡儿、沙柳、沙地柏等。东南局部地段还散生着柳叶鼠李。固定沙地植被由含杂类草的油蒿群落为主体，盖度达 40%~50%，构成了该区的一大特色。当草场退化或沙化时，呈黑色花的牛心朴子则大量侵入。草甸植被因地势高低和覆沙厚度等不同，植被组合产生差异。主要植物有寸草、海乳草、碱茅、芨芨草等。毛乌素沙地的油蒿和柳湾林构成了该区乃至鄂尔多斯独特的植被景观。

## 第四节 腾格里沙漠

### 3.4.1 分布范围

腾格里沙漠位于阿拉善盟的东南部，西北隔雅布赖山与巴丹吉林沙漠相望，东北与乌兰布和沙漠相邻，南和西南伸入到宁夏、甘肃两省区。行政区属阿拉善左旗、阿拉善右旗的东南边缘。自然区属温带干旱区。在内蒙古的面积近 300 万  $\text{hm}^2$ ，是内蒙古的第二大沙漠。总面积为 4.27 万  $\text{km}^2$ ，为中国的第四个大沙漠。

### 3.4.2 地质与地貌

腾格里沙漠的地质构造是属阿拉善台块中潮水—腾格里边缘拗陷的一部分。其南部与东西走向的祁连褶皱带紧相连。在东部为鄂尔多斯地台，并与南北走向的贺兰褶皱带紧相连。在古生代初、中期的加里东运动时连同祁连山产生褶皱并有深大断裂产生；经古生代中、末期海西运动再度褶皱断裂，岩浆侵入，从而形成该区的基本外貌。在燕山运动时又使古老断裂复活，两侧山区急剧上升，盆地下陷接受了侏罗纪、白垩纪和第三纪内陆湖泊沉积。在喜马拉雅运动影响下，产生轻微隆起，再经剥蚀作用，使西部潮水、民勤一带相对下降，下更新世至上更新世连续堆积洪积、湖积相碎屑物质；沙漠内部堆积有中上更新世冲积—洪积物质。在气候干旱、风沙作用强烈的条件下，形成了多种沙丘形态，沙丘间干涸湖盆中沉积有薄层湖积物。

腾格里沙漠外围被群山环绕，南有长岭山、通湖山等，东有贺兰山，北有巴音乌拉山，西北有雅布赖山。地势由西向东逐渐降低，在西端的榆树湖海拔为 1468m，到东端腰坝海拔降为 1286m。沙漠内部为沙丘、湖盆、山地、残丘及平原交错分布，其

中沙丘占 71%，湖盆草滩占 7%，山地残丘及平地占 22%。流动沙丘占沙漠总面积的 67.2%，半固定沙丘占 17.4%，固定沙丘占 15.4%。沙丘形态以格状沙丘链和新月形沙丘及沙丘链为主。CrolS. Breed 等指出腾格里沙漠沙丘是一种复合变型的宽阔沙丘垄，缺乏主滑面，但垄顶有不规则间隔的星状沙丘簇。

### 3.4.3 气候与水文

腾格里沙漠具有显著的大陆性气候特征；靠近湖盆和河流地段，水分条件明显见好。腾格里沙漠干燥度 4~12，年平均气温 7~9℃， $\geq 10^\circ\text{C}$  积温 3200~3600℃，年日照时数 3100~3200h，无霜期 145—165d，为内蒙古光照最长、积温最高的地区之一。年降水量 116~148mm，降雨少，多集中在 7~8 月份，年蒸发量 3000~3600mm。年平均风速 3~4m/s，2~3 月份出现 8 级暴风，年大风日数 30~50d，也是沙漠中风能资源的丰富区之一。

黄河流经沙漠的东南边缘，有引黄灌溉历史。沙漠内部广泛分布有大小湖盆 422 个，总面积达 503400hm<sup>2</sup>，大多数为无积水或积水面积很小的芨芨草、马蓝等草湖。腾格里沙漠中的湖盆光热充足，水分条件较好，地下水较丰富，埋深 1~2m，是沙漠内的绿洲，成为沙区群众世代居住生息的地方。其分布特征为：①在沙漠中南部的湖盆一般延伸长 20~30km，宽 1~3km，面积为 4000~5000hm<sup>2</sup>。湖盆分布呈有规则的南北走向平行排列，其间为宽 3~5km 的流动沙丘带所分隔；②在西部和南部边缘的湖盆大都为不规则分布，面积大小不一，大者为 5000—10000hm<sup>2</sup>；小者面积都在 100hm<sup>2</sup> 以下，并有许多湖水、泉水补给，水质良好，植被繁茂，面积虽小，却是当地水草丰美的畜牧业基地。腾格里沙漠光热资源丰富，水草丰美的湖盆星布，黄河经流其地，并有一些平坦开阔土地，引黄灌溉潜力很大，因此，具有开发利用的先决条件。

### 3.4.4 土壤与植被

腾格里沙漠地带性土壤为灰漠土和棕钙土。植被以沙生灌木、半灌木占优势。沙砾质和沙壤质土层中，常有大量石膏聚集；在湖盆中发育着大片盐碱土，其中以草甸盐土分布最广，生长着大量盐生植物。风沙土是境内面积最大的土壤类型，从湖盆边缘到山前平原均有分布，是绿洲植物赖以依托的基础。

大片的流动沙丘几乎不生长植物，盖度在 1% 以下；半固定沙丘植被盖度较高可达 15%~20%，以籽蒿、沙竹为主；固定沙丘植物生长较密，主要是油蒿占优势；在广泛分布的湖盆中，由于水分条件较好，以盐化草甸、沼泽植被为主。主要经济植物

有芦苇、芨芨草、白刺、盐爪爪等，生长较为茂密，盖度 20%~60%，是沙漠中主要放牧场和割草地；在沙漠边缘的山前洪积冲积平原和沙漠内的岛山残丘及山间谷地，主要饲用和药用植物有红沙、珍珠、沙冬青、霸王、麻黄；优若藜、藏锦鸡儿、合头藜、灌木艾菊、刺旋花等。在草群中混生有大量的丛生小禾草，呈现出草原化的特征。

## 第五节 乌兰布和沙漠

### 3.5.1 分布范围

乌兰布和沙漠呈 NE—SW 方向分布于河套平原的西南部，介于黄河、狼山、巴音乌拉山之间。行政区属主要在内蒙古巴彦淖尔盟和阿拉善盟东北部。自然区属温带干旱区。现有面积近 1.15 万 km<sup>2</sup>。

### 3.5.2 地质与地貌

乌兰布和沙漠在地质构造上属包头—吉兰泰断陷盆地的西南部。在燕山运动和喜马拉雅运动时期曾两度强烈下陷，造成这个断陷盆地的轮廓。当时西南部有巨大的湖盆存在，于下更新世和中更新世连续沉积了厚层洪积、冲积、湖积物，中更新世末期，盆地沿山麓发生断裂，并有大面积缓慢上升，此时三道坎峡谷也被切开，盆地内湖水迅速外泄，从而形成上更新世和现代的黄河水系以及洪积、冲积、湖积平原。第四纪沉积物总厚度 1000m 以上，这些沉积物质提供了丰富的沙源，为沙漠的形成奠定了物质基础。

乌兰布和沙漠的地形呈四周高中间低，整个沙漠自东南向西北逐渐降低，吉兰泰盐湖是该沙漠最低处，海拔 1030m。沙漠内流动沙丘约占总面积的 36.9%，半固定沙丘占 33.2%，固定沙丘占 29.8%。沙丘形态主要是新月形垄状和链状沙丘、格状沙丘、复合型沙垄和沙丘链。东南部主要以流动沙丘为主，包兰铁路经越其间，西南部为古湖积平原，我国著名的吉兰泰盐湖位于其中；东北部区域是古代黄河冲积平原，因河床自西向东摆动，形成了广泛的低洼地、低湿地或积水湖泊。历史上曾是著名的汉代垦区，现仍有随处可见的古河床遗迹。该区地表零散分布有高 1~3m 的沙垄和 1m 高左右的白刺沙堆，丘间多分布有粘土质平地，是乌兰布和沙漠中条件最优越的地区，许多地方已成为种植业的垦区。

### 3.5.3 气候与水文

乌兰布和沙漠处于温带干旱区，水热资源极为丰富。年平均气温为  $7.5\sim 8.5^{\circ}\text{C}$ ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温  $3100\sim 3400^{\circ}\text{C}$ ，无霜期  $140\sim 160\text{d}$ ，年日照时数  $3100\sim 3300\text{h}$ 。热量、光照、无霜期均为内蒙古沙漠最为优越的地区之一。年降水量  $100\sim 145\text{mm}$ ，主要集中在  $7\sim 9$  月份；年蒸发量  $2400\sim 2900\text{mm}$ ；水热等环境条件使沙生、旱生、盐生植物并茂。年平均风速  $3\sim 3.7\text{m/s}$ ，年大风日数  $20\sim 40\text{d}$ ，风能资源较为丰富。

黄河贯穿东和东南边缘，水面比沙漠丘间地高数米至二三十米，大部分地段可引黄河水自流灌溉；东北部有俗称“二黄河”的总干渠，同时干渠、支渠纵横交错，水利资源十分充沛。地下水也相当丰富，潜水埋深一般为  $1.5\sim 3\text{m}$ ；同时有数层至十多层量多、质高的承压水，开发利用程度很高，潜力也很大。流动沙丘的干沙层厚度仅  $10\sim 40\text{cm}$ ，干沙层下稳定湿沙层的含水量达  $2\%\sim 3\%$ 。沙丘本身的含水量即能满足沙生先锋植物的正常生长。

### 3.5.4 土壤与植被

地带性土壤为棕钙土和灰漠土，且具有不同程度的草原和荒漠的过渡性特征；与气候和土壤条件相适应，地带性植被为荒漠和草原两种植被类型以复合形式存在。棕钙土的草原成土过程明显，灰漠土则以荒漠的成土过程更显著。但仍有草原土壤形成过程的特点，使植被形成复杂多样的类型。全境以风沙土为主，湖盆、洼地则为不同程度的盐化土，为沙生、盐生植物生长的天然场所。沙丘间较广阔的低平地为粘壤质土壤，颜色灰白，当地称白疆土，它是该沙漠沙丘间的主要土壤类型，质地粘重、坚实，表层具有裂纹。通常仅生长有少数的沙冬青等，经覆沙改造，利用的潜力仍算可观。

该区植被主要是由几种小型针茅禾草组成的成片荒漠化草原群落，与藏锦鸡儿、红沙等荒漠植被镶嵌交错而组成过渡型植被。流动沙丘下部或丘间地零星生长着籽蒿、沙竹、沙米等。固定、半固定沙丘多以油蒿、锦鸡儿为主。在水分条件较好的低地，主要是芨芨草、芦苇、盐爪爪等为主的盐化草甸植被。在西部和西南部有梭梭、红沙生长。有些地段还常见白刺、霸王、沙拐枣、沙冬青等植物出现。在北部还有少量胡杨林分布。该区具有乔、灌、草、沙、旱、盐多种经济价值较大的植被类型。

## 第六节 库布齐沙漠

### 3.6.1 分布范围

库布齐沙漠位于鄂尔多斯高原北部，西、北、东均以黄河为界。行政区属内蒙古鄂尔多斯市；自然区属温带干旱、半干旱区。弯曲的黄河像弓，沙漠为弦，蒙语“库布齐”意为弓上的弦。沙带东西长约 400km，东部宽 15~20km，西部宽 50km，面积约 1.863 万 km<sup>2</sup>。

### 3.6.2 地质与地貌

库布齐沙漠与鄂尔多斯地台相连，在构造单元上属鄂尔多斯台向斜，因拗陷幅度较大，故称台陷。鄂尔多斯的地质构造是地球上最原始的古陆地之一，在亿万年的地质历史时期中，经历了多次重大而复杂的构造运动和海陆变迁。在古太代(4500~2400Ma, B. P. 前)和元古代(2400~570Ma, B. P. 前)该地区相继经历了阜平、五台、吕梁 3 次(3600~1900Ma, B. P. 前)巨大的地质运动，为地台的形成奠定了基础。震旦纪晚期(600Ma, B. P. 前)鄂尔多斯新大陆逐渐下陷，随着古生代初期海洋面积不断扩大，使古陆变成了古海。到早寒武纪(570Ma, B. P. 前)至中奥陶纪，海水自南向北，又淹没了鄂尔多斯等地。寒武纪、奥陶纪地层总厚度数百至千米。中奥陶纪经志留纪(440~405Ma, B. P. 前)由于加里东运动，陆地上升，未受海水浸入，所以缺乏这个时期的地层。到石炭纪中期(330Ma, B. P. 前)至二叠纪晚期(230Ma, B. P. 前)的海西运动，陆地下降，海水第三次侵入鄂尔多斯。从中生代的 225—7Ma 之间，鄂尔多斯由海洋时代变成了盆地。进入新生代，由于喜马拉雅运动于第三纪中新世、上新世，鄂尔多斯逐渐升高隆起，直到第四纪仍继续上升。在第四纪晚期，局部下沉产生了黄土堆积和风成沙物质。由于鄂尔多斯的构造运动和海陆变迁，所以其岩层是在前震旦纪结晶岩基础上，覆盖着震旦纪、古生代、中生代和第三纪地层。

鄂尔多斯宏观地貌格局是：西有贺兰山、桌子山；北有乌拉山、大青山；南和东有黄土丘陵及沟壑区，四面都比鄂尔多斯腹地高出 150~200m，所以在地质学上称为鄂尔多斯盆地；但本身的海拔都在千米以上，故常称鄂尔多斯高原；其主体为宽阔的内陆高平原；因此也称鄂尔多斯地台。高原中部位于东胜至四十里梁(39°50'N)，海拔 1400~1700m。以地台为中心向南北逐渐低下，地势总的特征是中、西部和西北部高，边缘较低；境内虽无山脉，但海拔相差较大，东部最低，仅为 850m，西部最高，

达 2000m, 西缘的桌子山主峰为 2149m, 为鄂尔多斯的最高点。

库布齐沙漠位于高原北部, 沿黄河南岸分布。其南部为构造台地(硬梁地), 中间为覆盖在河成阶地上风成沙丘, 北为河漫滩地; 海拔为 1000—1400m。南部以切割程度不同, 可分为微波状起伏高原、微切割缓起伏高原和强烈切割破碎高原。北部的河成阶地, 海拔 1000—1200m, 第三级阶地(平均海拔 1175~1195m)和第二级阶地(平均海拔 1110~1160m)为剥蚀-淤积阶地; 第一级阶地及河漫滩为淤积阶地。这三级阶地从东部吉格斯太乡到西部的乌兰乡, 素有“吉格斯太到乌兰, 海海漫漫米粮川”的美誉。

库布齐沙漠的沙丘几乎全部是覆盖在第四纪河流淤积物上。因下伏地貌、淤积物厚度等不同, 沙丘高度、形态和流动程度等也有差异。在河漫滩分布着一些零星低矮的新月形沙丘及沙丘链, 高度多数在 3m 以上, 移动速度较快; 一级阶地沙丘高度 5~10m 不等; 一级与二级阶地之间沙丘高大, 一般为 10~20m, 最高达 25m; 二级阶地上的沙丘高 10m 以下; 二级与三级阶地的过渡区, 沙丘特高, 可达 50~60m, 形态为复合型沙丘; 三级阶地上多为缓起伏固定沙丘, 流沙较少, 呈小片局部分布。流动沙丘占沙漠总面积的 61%, 形态以沙丘链和格状沙丘为主, 其次为复合型沙丘; 半固定沙丘占 12.5%, 有抛物线状沙丘和灌丛沙丘等; 固定沙丘占 26.5%, 形态为梁窝状沙丘和灌丛沙堆。固定和半固定沙丘多分布于沙漠边缘, 并以南部为主。

### 3.6.3 气候与水文

库布齐沙漠东部水分条件较好, 属半干旱区; 西部降水少, 跨入了干旱区。该区气温高、温差大, 年日照时数为 3000~3200h,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温 3000~3200 $^{\circ}\text{C}$ 。年平均气温 6~7.5 $^{\circ}\text{C}$ , 无霜期 135~160d; 年降水量 150~400mm, 年蒸发量 2100~2700mm。干燥度 1.5~4; 年平均风速 3~4m/s, 大风日数 25~35d, 较好的光、热、水适宜于粮食作物和经济作物生长。

该沙漠中、东部和西部各具特色, 中、东部雨量较多, 西部热量丰富。中、东部有发源于高原脊线北侧的季节性沟川约 10 余条, 纵流其间, 并具有沟长、夏汛冬枯、含沙量大等特点。在流经沙漠的沟川两岸, 常有面积不等的沟谷阶地。地下水埋深, 1~3m, 土壤肥力也较高, 出现了星罗棋布的绿洲景观, 形成较优越的小气候条件。西部地表水很少, 水源缺乏, 仅有沙日摩林河流向西北消失于沙漠中。沙漠西端和北部的地下水受黄河影响, 埋深 1~3m, 水质较好, 也属于黄灌区的范畴之一。

### 3.6.4 土壤与植被

东、西部的土壤植被差异十分明显,东部地带性土壤为栗钙土,西部则为棕钙土,西北部有部分灰漠土,河漫滩上,主要分布着不同程度的盐化浅色草甸土。由于干旱缺水,境内是以流动、半流动沙丘为主;使土壤的形成发育和植被的生长演替都受到了极大限制。

区内地带性植被,东部为干草原类型,西部为荒漠草原植被类型,西北部为草原化荒漠植被类型。干草原植被类型为多年生禾本科植物占优势,伴生有小半灌木百里香等,也有一定数量的达乌里胡枝子、阿尔泰紫菀等;西部与西北部半灌木成分增加,建群种为狭叶锦鸡儿、藏锦鸡儿、红沙以及沙生针茅、多根葱等。北部河漫滩地生长着大面积的盐生草甸和零星的白刺沙堆。沙生植被为:流动沙丘上很少有植物生长,仅有沙丘下部和丘间地生长有籽蒿、杨柴、木蓼、沙米、沙竹等;流沙上有沙拐枣。在沙丘逐渐被固定的地方,植被也逐渐向地带性方向演化。半固定沙丘表现为:东部以油蒿、柠条、沙米、沙竹等为主;西部以油蒿、柠条、霸王、沙冬青为主,伴生有刺蓬、虫实、沙米、沙竹等。固定沙丘表现为:东、西部都以油蒿为建群种;东部还有冷蒿、阿尔泰紫菀、白草等,牛心朴子也有一定数量。由于库布齐沙漠处于台地与阶地分界线上,又因干草原与半荒漠将其分为东西两部,所以该沙漠的土壤、植被呈现出曲线性、过渡性、多样性和复杂性的特色。

## 第四章 研究方法及技术路线

### 第一节 样品采集

本次研究样品采集于内蒙古境内东西部主要的沙地和沙漠,在各沙化土地地区,采样选取较为典型的区域,科尔沁沙地选取了开鲁县、奈曼旗、翁牛特旗三个主要样品采集区。浑善达克沙地选取克什克腾旗的达赉湖周边和省际大通道西侧部分地段以及正兰旗的桑根达来附近地区。毛乌素沙地选取伊金霍洛旗、乌审旗、鄂托克前旗。腾格里沙漠选取阿拉善左旗通古淖尔周边。乌兰布和沙漠选取了阿拉善左旗的吉兰泰附近以及磴口县北部。库布齐沙漠选取了杭锦旗和东侧的达拉特旗。具体采样位置见图 4-1。



图 4-1 内蒙古沙化土地采样示意图



图 4-2 科尔沁沙地半固定沙丘



图 4-3 科尔沁沙地偷耕沙坡地

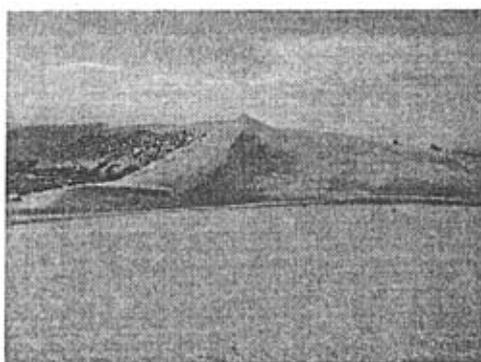


图 4-4 科尔沁沙地移动沙丘



图 4-5 浑善达克沙地景观



图 4-6 浑善达克沙地风蚀坑

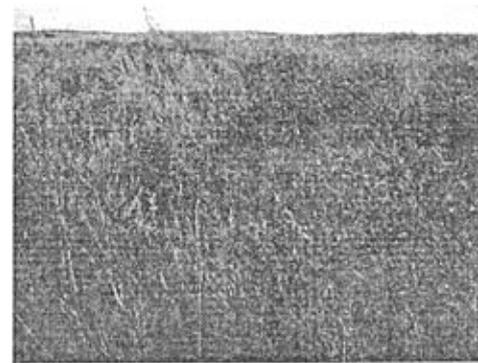


图 4-7 浑善达克沙地人工苜蓿草地



图 4-8 库布齐沙漠东段景观



图 4-9 库布齐沙漠西段景观



图 4-10 乌兰布和沙漠灌丛沙堆

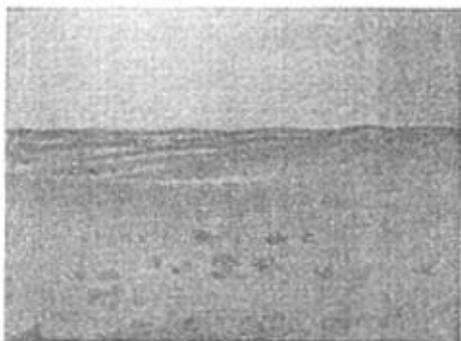


图 4-11 腾格里沙漠景观



图 4-12 毛乌素沙地景观



图 4-13 毛乌素沙地新成移动沙丘

采样区东西环境差异明显,本着实验控制和科学性并举的原则,采样保持足够样点数量和区域代表性。各区选取移动沙丘、固定沙丘、半固定沙丘、沙化草原、农地、原始本底草原等土地类型为采样对象。对于具有代表性的土地类型按照不同地貌部位分别进行采样,基本涵盖顶部、中部和底部,迎风坡、背风坡。对于不同植被盖度的土地类型分别进行群落调查,并选取典型区进行剖面观测。其中盖度为零的裸沙地在各区不同地貌部位重复多采。在各采样区采取线性调查方法,沿线选取典型样地,用GPS定位后每个样地按对角线法分五处采样并混合带回实验室分析。样品采集于各样点0—5cm表层,并且对于移动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘样品除个别样点外,都采集于丘顶。取样记录见表4-1,表4-2、表4-3、表4-4、表4-5、表4-6。

表 4-1 科尔沁沙地采样记录

编号	土地类型	采样部位	地理位置		
			纬度	经度	海拔高度
K1	固定沙丘	丘顶表层	43°58'20.7" N	121°14'36.5" E	246
K2	固定沙丘	丘顶表层	43°58'12.3" N	121°14'40.1" E	237
K3	固定沙丘	迎风坡中央	43°58'12.3" N	121°14'40.1" E	236

K4	固定沙丘	坡底表层	43°58'12.3" N	121°14'40.1" E	235
K6	甸子地	表层	43°54'54.5" N	121°15'10.2" E	231
K7	固定沙丘	丘顶表层	43°51'30.7" N	121°16'37.8" E	253
K8	半固定沙丘	丘顶表层	43°49'01.4" N	121°17'23" E	249
K9	半固定沙丘	东北坡	43°49'01.4" N	121°17'23" E	245
K10	耕地	沙丘脚下	43°49'07.2" N	121°17'28.9" E	239
K11	耕地	沙丘脚下	43°49'07.2" N	121°17'28.9" E	239
K12	人工林地	林下表层	43°49'07.8" N	121°17'32.3" E	237
N1	人工林地	林下表层	43°29'05.2" N	121°12'53.9" E	262
N2	翻耕地	表层	43°27'11.6" N	121°12'02.9" E	264
N3	固定沙丘	丘顶	43°27'11.6" N	121°12'02.9" E	267
N4	固定沙丘	表层	43°25'29.7" N	121°10'47.1" E	269
N8	固定沙丘	丘顶	43°24'40.4" N	121°10'8.7" E	272
N9	半固定沙丘	丘顶	43°19'42.7" N	121°12'13.5" E	267
N10	半固定沙丘	丘坡	43°19'42.7" N	121°12'13.5" E	
N11	半固定沙丘	丘顶	43°19'21.4" N	121°13'04.2" E	274
N12	半固定沙	丘坡	43°19'21.4" N	121°13'04.2" E	270
N13	半固定沙丘	丘底	43°19'21.4" N	121°13'04.2" E	261
N14	开垦沙坡地	表层	43°19'21.2" N	121°12'55.2" E	265
N15	玉米地	表层	43°19'21.2" N	121°12'55.2" E	
N16	固定沙丘	丘顶	42°53'05.8" N	120°42'15.4" E	381
W1	移动沙丘	丘顶	43°04'45.2" N	119°17'41.5" E	540
W2	移动沙丘	南坡	43°04'45.2" N	119°17'41.5" E	540
W3	移动沙丘	南坡	43°04'45.2" N	119°17'41.5" E	540
W4	移动沙丘	南坡	43°04'45.2" N	119°17'41.5" E	540
W5	移动沙丘	北坡	43°04'45.2" N	119°17'41.5" E	580
W6	移动沙丘	北坡	43°04'45.2" N	119°17'41.5" E	585
W7	移动沙丘	回风转弯处	43°04'45.2" N	119°17'41.5" E	589
W8	移动沙丘	与W7交界处	43°04'45.2" N	119°17'41.5" E	589
W9	移动沙丘	坡西、迎风	43°04'43.9" N	119°17'31.8" E	605
W10	移动沙丘	坡东、背风	43°04'43.9" N	119°17'31.8" E	605
W11	移动沙丘	脊上	43°04'43.9" N	119°17'31.8" E	605
W12	沙纹顶	迎风坡黑沙	43°04'43.9" N	119°17'31.8" E	605
W13	半固定沙丘	丘顶	43°04'53.3" N	119°17'35.5" E	566
W14	半固定沙丘	迎风坡	43°04'53.3" N	119°17'35.5" E	566
W15	半固定沙丘	坡底	43°04'37" N	119°17'48.3" E	569
W16	半固定沙丘	坡顶	43°04'37" N	119°17'48.3" E	570
W17	固定沙丘	丘顶	43°04'37" N	119°17'48.3" E	571
W18	半固定沙丘	丘顶	43°04'37" N	119°17'54.1" E	572
W19	半固定沙丘	丘顶	43°04'36" N	119°17'52" E	572
W20	典型草原	表层	43°04'29.5" N	119°18'04" E	570
W21	围封草原	表层	43°02'12.2" N	119°13'59.2" E	597
W22	固定沙丘	丘顶	42°59'54.2" N	119°10'16.3" E	624
W23	林地	表层	42°59'17.6" N	119°08'35.1" E	605
W24	玉米地	表层	42°57'17.2" N	119°04'25.8" E	623

表 4-2 浑善达克沙地采样记录

编号	土地类型	采样部位	地理位置		
			纬度	经度	海拔高度
H1	半固定沙丘	丘顶	43°11'13.6" N	117°16'52.8" E	1246
H2	固定沙丘	丘顶	43°11'14.6" N	117°16'52.4" E	1247
H3	沙纹沙	表层	43°11'14.6" N	117°16'50.6" E	
H4	半固定沙丘	丘顶	43°11'14.4" N	117°16'50.2" E	1246
H5	固定沙丘	残留硬底	43°11'14.5" N	117°16'48.7" E	1245
H6	固定沙丘	坡脚	43°11'15.1" N	117°16'44.7" E	1243
H7	固定沙丘	丘顶	43°11'15" N	117°16'44.6" E	1248
H8	流动沙丘	丘顶	43°11'14.9" N	117°16'45.1" E	1247
H9	流动沙丘	丘顶	43°11'14.9" N	117°16'45.1" E	1238
H10	流动沙丘	丘顶	43°11'14.9" N	117°16'45.1" E	1237
H11	固定沙丘	丘顶	43°11'14.9" N	117°16'45.1" E	1248
H12	草甸草原	丘间洼地	43°11'08.7" N	117°16'48.6" E	1246
H13	半固定沙丘	丘顶	43°10'59.2" N	117°16'48" E	1270
H14	固定沙丘	丘顶	43°10'58.8" N	117°16'43.2" E	1270
H15	半固定沙丘	丘顶	43°10'56.2" N	117°16'43.2" E	1222
H16	典型草原	沙丘间坡脚	43°10'53.5" N	117°16'47.9" E	1268
H17	流动沙丘	丘顶	43°10'52.9" N	117°16'47.4" E	1269
H18	移动沙丘	丘顶	43°09'56.7" N	117°15'56" E	1295
H19	丘间草地	表层	43°09'53.8" N	117°15'55.3" E	1293
H20	典型草原	表层	43°09'16.2" N	117°15'22.4" E	1265
H21	耕地	玉米地	43°12'41" N	117°18'02.2" E	1234
H22	林地	表层			
H23	固定沙丘	丘顶	42°38'05.2" N	115°54'15.5" E	1300
H24	典型草原	表层	42°35'19.7" N	115°54'21.5" E	1292
H25	固定沙丘	丘顶	42°35'17.6" N	115°54'21.5" E	1298
H26	吹蚀残留沙	表层			
H27	半固定沙丘	丘顶	42°35'16.5" N	115°54'31.5" E	1303
H28	半固定沙丘	丘顶	42°35'16.5" N	115°54'31.5" E	1303
H29	风蚀坑	表层	42°35'16.3" N	115°54'30.7" E	1300
H30	典型草原	表层	42°27'24.5" N	115°48'19.9" E	1354
H31	林地	表层	42°27'24.5" N	115°48'19.9" E	
H32	河谷草甸	闪电河谷地	42°14'56.7" N	115°59'03.6" E	1276
84	固定沙丘	丘顶	43°14'03.7" N	116°41'50.0" E	1238
86	固定沙丘	丘顶	43°13'24.7" N	116°45'54.6" E	1278
68	固定沙丘	坡顶破口	43°12'23.8" N	117°16'37.5" E	1203
70	移动沙丘	丘顶	43°15'22.8" N	117°10'02.1" E	1306
82	草甸草原	破口	43°28'37.8" N	117°08'40.5" E	1316

表 4-3 毛乌素沙地采样记录

编号	土地类型	采样部位	地理位置		
			纬度	经度	海拔高度
Y1	林地	丘底	39°32'11.6" N	109°45'36.4" E	1270
Y2	林地	丘顶	39°32'11.6" N	109°45'36.4" E	1270
Y3	玉米地	表层	39°30'28.3" N	109°48'49.8" E	1286
Y4	撂荒地	表层	39°30'38.2" N	109°48.5'7.5" E	1283
Y5	固定沙丘	丘顶	39°02'59.6" N	109°32'21.1" E	1276
Y6	丘间甸子地	表层	39°03'03.4" N	109°32'19.1" E	1271
Y7	移动沙丘	丘顶	39°03'06.7" N	109°32'13.4" E	1274
Y8	半固定沙丘	丘顶	39°03'01.9" N	109°32'11.9" E	1277
W1	固定沙丘	丘顶	39°09'16.9" N	109°23'01.8" E	1311
W2	荒漠草原	表层	39°09'59.2" N	109°20.5'2.2" E	1278
W3	半固定沙丘	丘顶	39°08'33.3" N	109°19'34.3" E	1289
W4	丘间洼地	表层	39°08'33.3" N	109°19'35.3" E	1279
W5	固定沙丘	丘顶	39°08'33.3" N	109°19'35.3" E	1282
W6	移动沙丘	丘顶	39°08'28.6" N	109°19'32.2" E	1285
W7	半固定沙丘	丘顶	39°05'33.5" N	109°30'38.9" E	1290
W8	固定沙丘	丘顶	39°05'33.8" N	109°30'38.4" E	1292
W9	移动沙丘	丘顶	39°05'33.8" N	109°30'38.3" E	1287
W10	玉米地	表层	39°03'18.2" N	109°29'35.8" E	1282
W11	固定沙丘	丘顶	39°03'18.4" N	109°29'34.7" E	1275
W12	半固定沙丘	丘顶	39°03'21.4" N	109°23'34.9" E	1297
W13	移动沙丘	丘顶	38°59'39.4" N	109°21'33.9" E	1271
W14	移动沙丘	丘顶	38°58'04.2" N	109°17'41.1" E	1280
W15	移动沙丘	丘顶	38°58'05.1" N	109°17'34.6" E	1284
W16	臭柏林地	表层	38°58'02.9" N	109°17'46.3" E	1277
W17	林地	表层	38°55'52.5" N	109°14'35.3" E	1269
W18	草地	表层	38°51'52.3" N	109°09'47.2" E	1271
W19	玉米地	表层	38°30'48.4" N	108°47'18.6" E	1288
W20	退化草地	表层	38°30'48.9" N	108°47'18.4" E	1317
W21	移动沙丘	丘顶	38°25'14" N	108°42'02.4" E	1290
W22	半固定沙丘	丘顶	38°25'13.2" N	108°42'0" E	1283
W23	固定沙丘	丘顶	38°25'10.9" N	108°42'1" E	1282
W24	退化草原	表层	38°19'59.3" N	108°38'54.3" E	1234
W25	移动沙丘	丘顶	38°10'8.0" N	108°39'46.1" E	1224
W26	固定沙丘	丘顶	38°10'05.1" N	108°39'47.5" E	1225
W27	半固定沙丘	丘顶	38°10'05.5" N	108°39'45" E	1223
W28	林地	表层	38°02'20.9" N	108°37'16.5" E	1220
W29	固定沙丘	丘顶	37°43'22.5" N	108°37'48.7" E	1264
W30	半固定沙丘	丘顶	37°43'28.7" N	108°37'44.5" E	1272
W31	移动沙丘	丘顶	37°42'20.4" N	108°29'16.9" E	1260
E1	移动沙丘	丘顶	37°43'20.8" N	108°29'16.9" E	1284
E2	移动沙丘	丘顶	37°43'24.8" N	108°12'20.6" E	1284

E3	固定沙丘	丘顶	37°43'27.7" N	108°12'26" E	1279
E4	半固定沙丘	丘顶	37°43'29.9" N	108°12'22.5" E	1283
E5	典型草原	表层	37°43'31.6" N	108°12'21.4" E	1283
E6	固定沙丘	丘顶	37°47'14.1" N	108°08'24.9" E	1328
E7	移动沙丘	丘顶	37°47'12.7" N	108°08'22.1" E	1340
E8	半固定沙丘	丘顶	37°47'11.5" N	108°08'25.1" E	1339
E9	半固定沙丘	丘顶	37°53'55.3" N	108°00'54" E	1337
E10	移动沙丘	丘顶	37°53'51.9" N	108°00'55.1" E	1340
E11	固定沙丘	丘顶	37°53'55" N	108°00'44" E	1329
E12	玉米地	表层	37°58'32" N	107°52'19.3" E	1327
E13	草地	表层	37°58'33.6" N	107°52'19.8" E	1334
E14	移动沙丘	丘顶	38°02'36.4" N	107°44'38.3" E	1326
E15	固定沙丘	丘顶	38°02'36.4" N	107°44'36.6" E	
E16	半固定沙丘	丘顶	38°02'36.5" N	107°44'34.5" E	1338
E17	退化草原	表层	38°02'34.4" N	107°44'34" E	1316
E18	改造农田	表层	38°04'5.7" N	107°41'25.7" E	1325
E19	移动沙丘	丘顶	38°04'5.1" N	107°11'48.9" E	1508
E20	半固定沙丘	丘顶	38°09'17.6" N	107°11'44.7" E	1505
E21	固定沙丘	丘顶	38°09'17.6" N	107°11'44.7" E	
E22	草地	表层	38°09'17.6" N	107°11'44.7" E	
E23	固定沙丘	丘顶	38°12'21.7" N	107°05'53.7" E	1433
E24	移动沙丘	丘顶	38°12'18.2" N	107°05'51.5" E	1448
E25	半固定沙丘	丘顶	38°12'19.3" N	107°05'52.5" E	1436
E26	移动沙丘	丘顶	38°12'51.4" N	107°00'43.8" E	1397
E27	半固定沙丘	丘顶	38°12.5'2.9N	107°00'43.2" E	1387
E28	半固定沙丘	丘顶	38°12'49.8" N	107°00'39.5" E	1386
E29	草地	表层	38°13'53.6" N	106°54'25.9" E	1348
E30	围封草地	表层	38°15'04.9" N	106°48'47.9" E	1314
E31	固定沙丘	丘顶	38°16'27.5" N	106°32'30.6" E	1173
E32	移动沙丘	丘顶	38°16'28.9" N	106°32'30.1" E	1178
E33	玉米地	表层	38°16'36.1" N	106°32'30.9" E	1170
E34	新移动沙丘	丘顶	38°16'40.7" N	106°32'35.5" E	1169
E35	半固定沙丘	丘顶	38°16'39.3" N	106°32'34.5" E	1172
40	固定沙丘	丘顶	38°16'48.7" N	106°38'4.1" E	1227
39	新成移动沙丘	丘顶	38°13'19.4" N	106°53'38.4" E	1388
45	荒漠草原	表层	38°16'33.0" N	106°32'7.3" E	1192
11	退化草原	表层	38°14'29.4" N	106°51'18.3" E	1354
42	荒漠草原	表层	38°16'25.8" N	106°42'9.3" E	1307
43	裸地	表层	38°16'25.8" N	106°42'9.3" E	1307

表 4-4 乌兰布和沙漠采样记录

编号	土地类型	采样部位	地理位置		
			纬度	经度	海拔高度
A1	粗沙	沙纹脊部	39°33'15.0" N	105°35'50.5" E	1018
A2	固定沙丘	丘顶	39°33'14.8" N	105°35'51" E	1016
A3	移动沙丘	丘顶	39°33'14.1" N	105°35'57.8" E	1019
A4	半固定沙丘	丘顶	39°33'13.2" N	105°35'54.4" E	1013
A5	移动沙丘	丘顶	39°32'09.2" N	105°35'48" E	1017
A6	固定沙丘	丘顶	39°32'09.7" N	105°35'48.8" E	1015
A7	半固定沙丘	丘顶	39°32'09.4" N	105°35'46.4" E	1016
A8	半固定沙丘	背风侧	39°26'07.6" N	105°39'47.6" E	1071
A9	固定沙丘	丘顶	39°26'07.5" N	105°39'47.6" E	1071
A10	荒漠草原	表层	39°17'23.9" N	105°41'43.9" E	1170
D1	移动沙丘	丘顶	40°29'59.8" N	106°50'05.1" E	1005
D2	固定沙丘	丘顶	40°30'00.7" N	106°50'04.4" E	1006
D3	丘间低地	表层	40°30'01.6" N	106°50'03.9" E	1001
D4	半固定沙丘	丘顶	40°30'03.9" N	106°50'02.4" E	1006
D5	移动沙丘	丘顶	40°30'07.3" N	106°49'48.3" E	1008
D6	沙纹	表层	40°30'12.3" N	106°49'39.0" E	1003
D7	移动沙丘	丘顶	40°30'14.6" N	106°49'33.9" E	1003
D8	半固定沙丘	丘顶	40°30'13.5" N	106°49'35.6" E	1001
D9	固定沙丘	丘顶	40°30'12.8" N	106°49'37.0" E	998
D10	半固定沙丘	丘顶	40°30'07.2" N	106°49'39.9" E	1004
D11	丘间低地	表层	40°30'06.7" N	106°49'40.1" E	997
D12	固定沙丘	丘顶	40°30'05.3" N	106°49'41.4" E	1002
D13	玉米地	表层	40°29'51.1" N	106°49'58.2" E	996
D14	人工杨树林地	表层	40°29'54.4" N	106°50'11.9" E	1003

表 4-5 库布齐沙漠采样记录

编号	土地类型	采样部位	地理位置		
			纬度	经度	海拔高度
XK1	移动沙丘	丘顶	40°21'29.4" N	107°11'43.2" E	1086
XK2	半固定沙丘	丘顶	40°21'29.6" N	107°11'42.6" E	1086
XK3	固定沙丘	丘顶	40°21'31.5" N	107°11'37.9" E	1063
XK4	沙纹	表层	40°21'31.4" N	107°11'37.7" E	1063
XK5	固定沙丘	丘顶	40°21'33.0" N	107°11'38.6" E	1057
XK6	固定沙丘	丘顶	40°21'34.8" N	107°11'35.2" E	1051
XK7	沙纹	表层	40°21'36.0" N	107°11'29.0" E	1033
XK8	沙纹	表层	40°21'37.2" N	107°11'27.5" E	1036
XK9	移动沙丘	丘顶	40°21'37.9" N	107°11'25.7" E	1033

XK10	移动沙丘	丘顶	40°21'41.3" N	107°11'23.9" E	1032
XK11	半固定沙丘	丘顶	40°21'53.4" N	107°11'10.9" E	1021
XK12	固定沙丘	丘顶	40°21'53.4" N	107°11'09.6" E	1021
XK13	半固定沙丘	丘顶	40°21'54.4" N	107°11'06.3" E	1016
XK14	玉米地	表层	40°20'28.5" N	107°07'11.9" E	1020
KD1	沙纹	表层	40°13'43.8" N	109°55'30.9" E	1135
KD2	沙纹	表层	40°13'43.8" N	109°55'30.9" E	1135
KD3	移动沙丘	丘顶	40°13'55.9" N	109°54'18.6" E	1258
KD4	移动沙丘	丘顶	40°13'55.6" N	109°54'19.2" E	1256
KD5	移动沙丘	丘顶	40°13'55.9" N	109°54'20.6" E	1246
KD6	移动沙丘	丘顶	40°13'55.5" N	109°54'23.2" E	1242
KD7	移动沙丘	丘顶	40°13'57" N	109°54'27.7" E	1226
KD8	移动沙丘	丘顶	40°13'59.3" N	109°54'36.7" E	1210
KD9	半固定沙丘	丘顶	40°14'1.8" N	109°54'43.3" E	1190
KD10	固定沙丘	丘顶	40°14'03.8" N	109°54'55.7" E	1175
KD11	移动沙丘	丘顶	40°14'07.3" N	109°55'07.6" E	1150
KD12	固定沙丘	丘顶	40°14'11.3" N	109°55'18.6" E	1149
KD13	翻耕地	表层	40°16'33.9" N	109°58'48.6" E	

表 4-6 腾格里沙漠采样记录

编号	土地类型	采样部位	地理位置		
			纬度	经度	海拔高度
A11	固定沙丘	丘顶	38°47'15.4" N	105°29'59.2" E	1346
A12	移动沙丘	坡脚	38°47'11.7" N	105°30'07.2" E	1327
A13	移动沙丘	丘顶	38°47'11.6" N	105°30'07.4" E	1330
A14	移动沙丘	丘顶	38°47'14.5" N	105°30'10.0" E	1330
A15	粗沙纹	表层	38°47'15.0" N	105°30'08.7" E	1331
63	砾质荒漠	表层	38°21'51.8" N	105°54'17.6" E	1314
78	荒漠	表层	38°28'1.0" N	105°41'9.6" E	1379
96	移动沙丘	丘顶	38°40'49.8" N	105°36'51.8" E	1389
61	固定沙丘	丘顶	38°48'19.8" N	105°34'50.0" E	1412
59	移动沙丘	丘顶	38°47'22.7" N	105°30'14.7" E	1369
56	移动沙丘	丘顶	38°45'8.6" N	105°21'47.0" E	1286
55	农地	表层	38°45'24.5" N	105°22'22.8" E	1317
53	荒漠草原	表层	38°55'8.0" N	105°39'7.1" E	1399
51	移动沙丘	丘顶	38°57'37.4" N	105°39'19.9" E	1466
49	丘间低地	表层	38°57'37.4" N	105°39'19.9" E	1466

## 第二节 实验材料与方法

### 4.2.1 实验材料与仪器

野外调研取样仪器主要有精度为 5-10m 的 GM101 穿越型的 GPS, 平铲(5×10cm), 密封塑料袋进行取样。试验用的仪器和材料有 1mm、0.7mm、0.4mm、0.25mm 的土壤筛、电子天平(精确度 0.1g 的 TD 型)、电子分析天平(精确度 0.0001g 的 FA2004N 型)、烘箱、铝盒、1000 mL 量筒、烧杯、锥形瓶, 电热板、0—60℃ 温度计、60mL 改进型注射器、0.02 mol / L HCl 标准溶液、0.5mol / L 六偏磷酸钠。

### 4.2.2 实验方法

用 GPS 进行野外定点, 方法是 GPS 平放在采样点, 待读数稳定后, 读出所示的经度、纬度和海拔高度。采样对象根据土样所处的地貌类型、土地利用状况、距离来加以确定。将野外带回的样品自然风干后, 过筛滤取杂质, 每个样品称取 50g, 过 2mm、1mm、0.7mm、0.4mm、0.25mm 干筛, 筛上剩余物移入电光纸称重, 筛底物移入锥形瓶做脱钙、分散处理。采用吸管法分三组测定样品机械组成, 最后取平均值。根据以上步骤对采样物进行测定, 测得不同粒径粒子的重量, 结果全部用重量百分数表示, 粒度参数采用统计计算(矩法计算)的方法。

## 第三节 技术线路

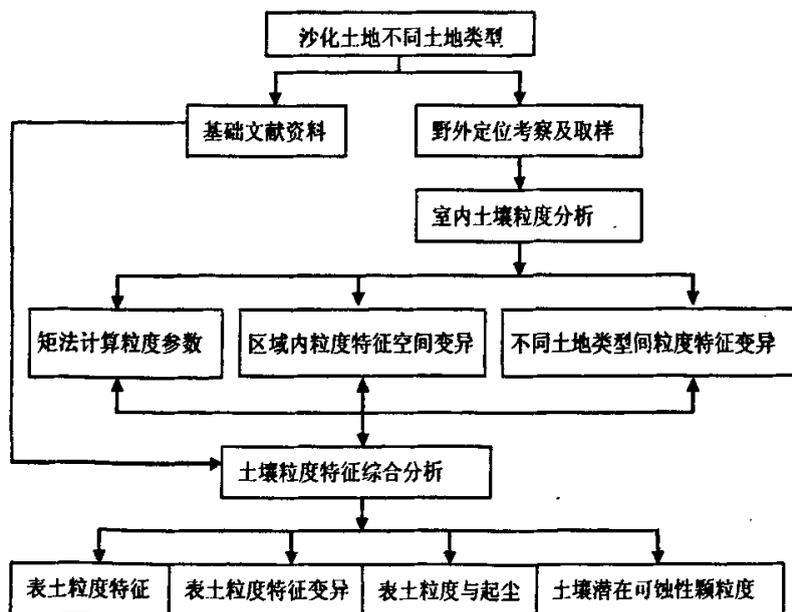


图 4-14 研究技术路线图

## 第五章 沙化土地表土粒度特征参数矩法计算研究

由于本次研究涉及各区表土的粒度特征及其变异分析,而粒度分析实验能够带给我们的只是几个粒径段的分布状况,为了客观比较各种土地类型及各个区域的粒度特征,我们必须要用一些特征值对粒度分布进行综合表征。表征粒度特征的粒度参数包括平均粒径、分选系数、偏态和峰态等。然而,在矩法分析计算粒度特征参数时,由于粒径段分段的不同使得计算结果具有多解性。基于此,本章以风成沙粒度参数的计算为例,探讨其计算结果的多解性。目的是为了找出矩法计算粒度参数其结果多解性原因所在,为后续章节运用粒度参数提供足够的技术支持。

### 第一节 研究方法

在运用矩法计算粒度参数时,由于实验手段和实验条件以及样品本身的一些特征等条件的约束,实验结果极可能为步长不同的粒度区间。在理论上,土样的粒度分布可以认为是服从正态分布的分段连续函数,分段区间步长愈短其表达精度愈高,与之相关的由其计算所得的粒度特征愈接近真实。由于每一样品实验测得的数据分布的随机性,因此寻找表达方程求极限或积分变得十分困难,因此,运用已经成熟的插值计算逐渐逼近的方法变成容易且可快速实现的首选方法。基于此,为了研究不同步长的粒径分段对矩法计算粒度参数结果的影响,借助MATLAB分析软件对每个样品用三次方程插值和线性插值相结合的方法计算出矩法所需的数据,代人公式计算出粒度参数;其中,对粒度参数计算公式采用原实验数据、 $1/4\Phi$ 、 $1/2\Phi$ 、 $1\Phi$ 的分组间隔进行计算。采用图表法及样本差异显著性的检验方法评估不同步长和不同插值的计算方法计算粒度参数的差异性和可行性。以期为大范围运用矩法计算粒度参数提供依据。

矩值法是运用数理统计的原理来定量地表示粒度的特征。由于考虑整个粒度分布,所以它更准确。由于计算机的普及,矩值法的应用范围将会进一步扩大。粒度参数计算采用公式<sup>[21]</sup>:

$$X_0 = \sum (f_i m_i) / \sum f_i, \quad (5-1)$$

$$\delta_0 = [\sum f_i (m_i - X_0)^2 / \sum f_i]^{1/2}. \quad (5-2)$$

$$SK_0 = \sum f_i (m_i - X_0)^3 / \sum f_i \delta_0^3 \quad (5-3)$$

$$KG = \sum f_i (m_i - X_0)^4 / \sum f_i \delta_0^4 \quad (5-4)$$

其中： $X_0$ 代表平均粒径， $\delta_0$ 为分选系数， $SK_0$ 为偏度值， $KG$ 为峰态值， $f_i$ 为每个粒级权重， $m_i$ 为各粒级平均粒径， $\sum f_i$ 等于 100。计算结果见表5-1和表5-2。

## 第二节 研究结果

由表 5-1 和表 5-2 数据分析可知，无论是采用何种插值方法、何种步长求得的粒度参数都存在数值的差异。那么检验插值计算后所得数据是否与原数据存在差异将变得十分重要。由于平均粒径和分选系数是后续计算的基础，所以通过对各种插值方法计算的平均值显著性检验，采用 U 检验的结果显示，在显著性水平  $\alpha = 0.05$  的情况下，各种步长的三次和线性插值后计算出的粒度平均值之间以及与原数据计算出的平均值间不存在显著差异。同时运用 Friedman 检验，Kendall W 检验对平均值和分选系数检验显示，各种插值计算结果与原数据计算出的结果来自同一总体。说明在应用插值数据逼近精度和划分等长区间用矩法计算粒度参数是可行的。

表 5-1 三次方程插值矩法计算粒度参数对比表

样地号	平均值 ( $X\Phi$ )				分选系数 ( $\delta\Phi$ )				偏度值 ( $SK\Phi$ )				峰度值 ( $KG$ )			
	原数据	1/2 $\Phi$	1/4 $\Phi$	原数据	1/2 $\Phi$	1/4 $\Phi$	原数据	1/2 $\Phi$	1/4 $\Phi$	原数据	1/2 $\Phi$	1/4 $\Phi$	原数据	1/2 $\Phi$	1/4 $\Phi$	
K-97	2.9358	3.0856	3.3221	3.4395	1.5112	1.4712	1.4175	1.3858	3.5946	3.2784	3.227	3.2391	14.524	13.101	12.856	12.913
K-95	2.9973	3.1161	3.3463	3.4612	1.7868	1.7401	1.6771	1.6425	2.8346	2.6207	2.5856	2.5855	9.7307	8.9519	8.8163	8.8147
K-94	3.04	3.1832	3.42	3.5381	1.5233	1.487	1.4359	1.4076	3.074	2.7902	2.7354	2.7273	12.108	10.928	10.659	10.604
K-92	2.5088	2.5889	2.8185	2.9384	1.3051	1.3001	1.2709	1.2507	3.2593	2.8895	2.7717	2.7445	16.336	14.35	13.584	13.385
K-90	3.9021	4.0106	4.2486	4.362	1.8243	1.731	1.6621	1.6268	1.902	1.9152	1.8645	1.8535	5.7597	5.7683	5.6255	5.5848
H-84	2.1134	1.9936	2.3042	2.4164	2.0169	1.8095	1.9373	1.9052	2.7665	3.0033	2.5708	2.569	9.6874	10.387	8.9376	8.9255
H-88	2.6399	2.6388	2.9192	3.0332	1.7953	1.6792	1.7044	1.6755	2.7142	2.2873	2.4599	2.4456	9.8378	8.1095	8.801	8.7311
H-86	2.9434	3.0012	3.2705	3.3832	1.8453	1.6886	1.724	1.6895	2.7106	2.2797	2.4604	2.4598	9.1439	7.6496	8.2647	8.2659
H-82	2.3736	2.3488	2.6316	2.7469	1.7482	1.5439	1.708	1.6849	2.553	2.8501	2.1107	2.0687	10.386	10.921	8.6233	8.4833
H-70	2.879	2.9153	3.1877	3.3004	1.9093	1.736	1.7972	1.7629	2.5656	2.2764	2.2993	2.2937	8.5697	7.5074	7.6919	7.6795
H-68	2.2515	2.1721	2.4714	2.5839	1.9269	1.7658	1.8448	1.8136	2.8582	2.82	2.6523	2.6523	10.206	9.8491	9.3788	9.3685
T-78	3.495	3.589	3.8467	3.9617	1.8266	1.7183	1.7467	1.723	1.5336	1.0388	1.1584	1.112	5.8218	4.6453	5.0708	4.9914
T-59	2.609	2.5909	2.8764	2.9881	1.8914	1.7595	1.7802	1.7476	2.7832	2.3707	2.5973	2.5928	9.6133	8.1003	8.8969	8.8761
T-61	3.0452	3.1854	3.4451	3.5613	1.3996	1.2907	1.2922	1.2644	3.5601	2.7898	3.2285	3.2385	15.016	11.56	13.524	13.567
T-55	4.8949	5.0447	5.3214	5.4304	1.9509	1.7942	1.8279	1.7964	0.798	0.3094	0.4294	0.3919	3.029	2.3531	2.4483	2.4044
T-49	2.917	2.9124	3.1773	3.2898	2.1032	1.9896	2.0297	2.0021	1.7399	1.3436	1.4439	1.4087	5.7676	4.6548	4.9979	4.9125
M-45	3.9944	4.0868	4.345	4.4582	1.7249	1.5424	1.5722	1.5404	1.8195	1.508	1.7178	1.6992	5.8745	4.9405	5.4421	5.3749
M-40	3.1303	3.2535	3.5204	3.6321	1.7154	1.5502	1.575	1.5403	3.0533	2.5294	2.808	2.8223	10.427	8.5353	9.4864	9.5373
M-11	3.6881	3.7715	4.0446	4.1567	2.0534	1.9144	1.9476	1.917	1.5064	1.1155	1.2376	1.2137	4.4813	3.5231	3.7844	3.7142
M-39	2.9782	3.1183	3.3795	3.4941	1.46	1.3439	1.3517	1.3212	3.7391	2.9335	3.3578	3.3791	15.347	11.695	13.54	13.643
M-43	3.502	3.6147	3.88	3.9941	1.7222	1.5632	1.5853	1.5555	2.2191	1.7938	2.0127	1.9937	7.3817	6.0734	6.7439	6.6734

对原数据与各插值计算的平均粒径的数据分析后得到,三次插值计算所得平均值与原数据计算所得平均值的回归方程分别为,  $Y=0.92X_1+0.185 (R^2=0.993)$ ;  $Y=0.931X_{0.5}-0.095 (R^2=0.996)$ ;  $Y=0.932X_{0.25}-0.205 (R^2=0.996)$ 。一次插值计算所得平均值与原数据计算所得平均值的回归方程分别为,  $Y=0.943X_1+0.106 (R^2=0.995)$ ;  $Y=0.939X_{0.5}-0.133 (R^2=0.997)$ ;  $Y=0.94X_{0.25}-0.244 (R^2=0.997)$ 。三次插值计算所得分选系数与原数据计算所得分选系数的回归方程分别为,  $Y=1.104X_1-0.045 (R^2=0.942)$ ;  $Y=X_{0.5}+0.102 (R^2=0.978)$ ;  $Y=1.003X_{0.25}+0.128 (R^2=0.973)$ 。一次插值计算所得分选系数与原数据计算所得分选系数的回归方程分别为,  $Y=1.082X_1-0.067 (R^2=0.933)$ ;  $Y=1.016X_{0.5}+0.036 (R^2=0.979)$ ;  $Y=1.01X_{0.25}+0.078 (R^2=0.974)$ 。三次插值计算所得偏度与原数据计算所得偏度的回归方程分别为,  $Y=0.922X_1+0.499 (R^2=0.88)$ ;  $Y=1.015X_{0.5}+0.244 (R^2=0.981)$ ;  $Y=0.993X_{0.25}+0.305 (R^2=0.978)$ 。一次插值计算所得偏度与原数据计算所得偏度的回归方程分别为,  $Y=1.094X_1+0.402 (R^2=0.97)$ ;  $Y=1.07X_{0.5}+0.329 (R^2=0.969)$ ;  $Y=1.035X_{0.25}+0.396 (R^2=0.97)$ 。三次插值计算所得峰度与原数据计算所得峰度的回归方程分别为,  $Y=1.093X_1+0.442 (R^2=0.926)$ ;  $Y=1.143X_{0.5}-0.169 (R^2=0.99)$ ;  $Y=1.134X_{0.25}-0.047 (R^2=0.987)$ 。一次插值计算所得峰度与原数据计算所得峰度的回归方程分别为,  $Y=1.333X_1-0.232 (R^2=0.98)$ ;  $Y=1.271X_{0.5}-0.272 (R^2=0.972)$ ;  $Y=1.236X_{0.25}-0.033 (R^2=0.969)$ 。

表 5-2 一次插值矩法计算粒度参数对比表

样地号	平均值 (X $\Phi$ )			分选系数 ( $\sigma\Phi$ )			偏度值 (SK $\Phi$ )			峰度值 KG						
	原数据	1 $\Phi$	1/2 $\Phi$	1/4 $\Phi$	原数据	1 $\Phi$	1/2 $\Phi$	1/4 $\Phi$	原数据	1 $\Phi$	1/2 $\Phi$	1/4 $\Phi$				
K-97	2.9358	3.0973	3.3296	3.4458	1.5112	1.5243	1.4488	1.4107	3.5946	2.8771	2.9709	3.0269	14.524	11.357	11.764	12.013
K-95	2.9973	3.1358	3.3636	3.4774	1.7868	1.7861	1.7078	1.6678	2.8346	2.3534	2.3904	2.4152	9.7307	8.0353	8.1578	8.2433
K-94	3.04	3.1934	3.4266	3.5433	1.5233	1.5501	1.4832	1.4488	3.074	2.425	2.4645	2.4913	12.108	9.3519	9.4607	9.547
K-92	2.5088	2.5972	2.8371	2.9573	1.3051	1.378	1.3288	1.3015	3.2593	2.3977	2.3828	2.393	16.336	11.554	11.393	11.413
K-90	3.9021	4.015	4.2356	4.3465	1.8243	1.7983	1.7236	1.6845	1.902	1.6461	1.6462	1.6523	5.7597	5.0504	5.0094	5.0058
H-84	2.1134	2.0639	2.3267	2.4407	2.0169	1.9191	1.9571	1.9256	2.7665	2.3179	2.4568	2.446	9.6874	7.9552	8.4847	8.4491
H-88	2.6399	2.6658	2.9427	3.0558	1.7953	1.716	1.7437	1.7122	2.7142	2.0781	2.2492	2.2458	9.8378	7.3758	7.9782	7.9512
H-86	2.9434	3.0044	3.2933	3.4008	1.8453	1.7123	1.7509	1.7144	2.7106	2.1412	2.2775	2.2911	9.1439	7.2705	7.6852	7.735
H-82	2.3736	2.3994	2.663	2.7763	1.7482	1.7049	1.7404	1.7149	2.553	1.8478	1.9582	1.9283	10.386	7.3942	7.9078	7.8207
H-70	2.879	2.9277	3.2143	3.3222	1.9093	1.7827	1.8231	1.7871	2.5656	2.0075	2.1315	2.1367	8.5697	6.7966	7.1675	7.1953
H-68	2.2515	2.2258	2.4943	2.6085	1.9269	1.8405	1.8709	1.8389	2.8582	2.3354	2.4976	2.4942	10.206	8.1492	8.7533	8.7404
T-78	3.495	3.5768	3.8544	3.9674	1.8266	1.7705	1.8013	1.7772	1.5336	0.9915	1.0743	1.0383	5.8218	4.258	4.5705	4.4999
T-59	2.609	2.6218	2.9016	3.013	1.8914	1.7789	1.8144	1.7788	2.7832	2.2335	2.3922	2.3987	9.6133	7.6083	8.1402	8.159
T-61	3.0452	3.155	3.4403	3.5511	1.3996	1.3139	1.3314	1.3012	3.5601	2.6892	2.9245	2.9614	15.016	11.023	12.068	12.209
T-53	4.8949	5.0593	5.3455	5.4543	1.9509	1.8498	1.8817	1.85	0.798	0.1886	0.2985	0.2629	3.029	2.2348	2.307	2.2681

T-49	2.917	2.9267	3.1994	3.3107	2.1032	2.0133	2.0593	2.0307	1.7399	1.2852	1.3651	1.3354	5.7676	4.454	4.7103	4.6383
M-45	3.9944	4.0596	4.3451	4.4588	1.7249	1.6193	1.6477	1.616	1.8195	1.3149	1.4616	1.4424	5.8745	4.3133	4.6626	4.5898
M-40	3.1303	3.2293	3.5232	3.6312	1.7154	1.559	1.5971	1.5597	3.0533	2.5231	2.6591	2.6943	10.427	8.5015	8.9698	9.0889
M-11	3.6881	3.7769	4.0646	4.1734	2.0534	1.9625	1.9954	1.9652	1.5064	1.0268	1.1244	1.106	4.4813	3.2776	3.4874	3.4263
M-39	2.9782	3.0939	3.3825	3.4909	1.46	1.3545	1.3803	1.3466	3.7391	2.9037	3.1129	3.1678	15.347	11.55	12.452	12.691
M-43	3.502	3.5916	3.8783	3.9891	1.7222	1.6168	1.6439	1.6139	2.2191	1.6686	1.8093	1.7999	7.3817	5.5134	5.9578	5.8999

由表 5-1 和表 5-2 结合上述回归方程分析可知,不同步长下求得的粒度参数存在如下规律,即伴随着步长变短,分段区间的增多,平均值普遍变大;而分选系数和峰度相应的变小,偏度变化多样化,一次插值计算的数据变小而三次插值计算的数据除以  $0.5\Phi$  间距插值数据变小外其它两个间距插值数据变大。但是伴随着步长变短,分段区间的增多,各个粒度参数值变化幅度变小。说明插值逼近是可行的。但是前提是所选用的插值方式是符合粒度曲线的变化规律的。一般地,三次样条插值比三次插值,三次插值比线性插值数据变化平缓。但是,对于特定的样品所能选取的插值方法是有区别的。如本次样品大多属于沙样,用三次样条插值所得中段数据超出 100,不符合实际,所以不能采用。总体上,从数据的规律性和变化的平缓性来看,对于本次样品,一次插值的效果更好些。

平均粒径主要受两个因素的影响:源区物质的粒度分布和搬运介质的平均动能。在源区一致的情况下,平均粒径则可以作为搬运介质的速度和可蚀性的替代性指标之一。从图 5-1 可以看出,矩法  $0.25\Phi$  三次插值计算的平均粒径与其他插值计算结果相关显著,并且伴随分段间距的缩小,数据趋于集中。但根据原数据和  $1\Phi$  插值计算的平均粒径值明显,离散性高于其它短步长计算结果。

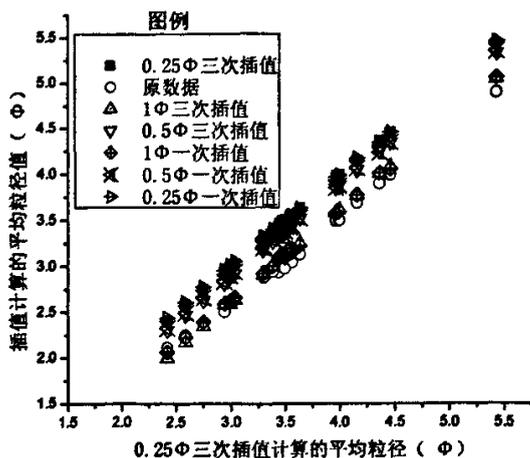


图 5-1 各种插值计算的平均粒径对比

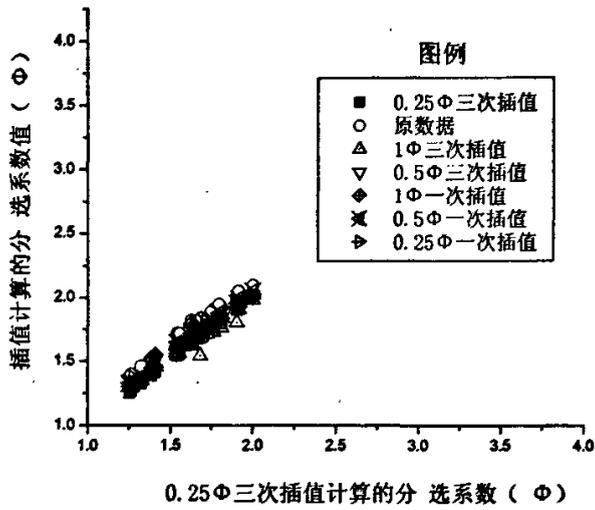


图 5-2 各种插值计算的分选系数对比

粒度分布的分选性通常用分选系数或标准偏差表示。由图 5-2 可以看出，大部分数据具有很好的线性关系，但从离散性的角度看，原数据和以  $1\Phi$  为间距插值计算的分选系数离散性更大，说明分段步长越长数据离散性越大。

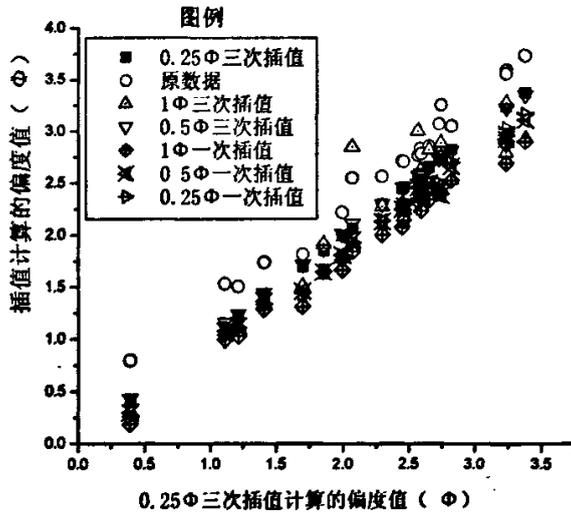


图 5-3 各种插值计算的偏度对比

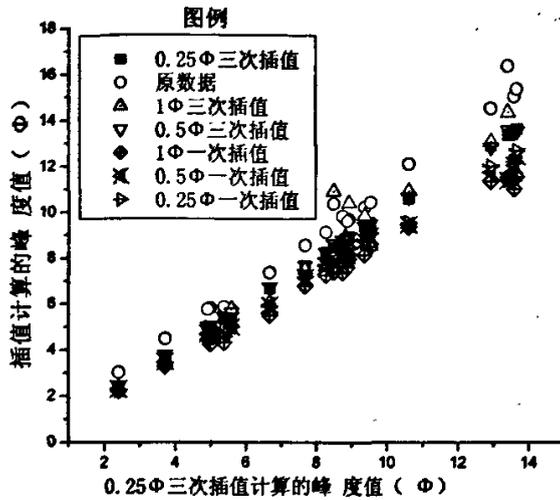


图 5-4 各种插值计算的峰度对比

由图 5-3 和图 5-4 可知，偏度和峰度的离散性要大于平均粒径和标准偏差，原因是这两个参数是高阶矩，所以会对数据产生效应放大的作用。各种方式计算的数据均呈线性相关。就偏移情况来看，偏移量与步长存在良好的正相关关系。

通过上述分析我们得到以下认识：利用不同步长的粒径分段区间计算所得的粒度参数值存在差异，并且利用各种插值计算的参数间也存在差异，总体上粒度参数的离散情况与分段数量存在负相关；不同样品进行插值时选取的插值方式有所区别。并且对于本次计算数据线性插值效果更好，分段区间数是影响矩法计算的主要因素；插值计算只是逐渐逼近曲线但不能精确表示曲线特征，因此今后应在粒度分布曲线方程的建立上多做工作；插值计算结果的多解性告诉我们，在确定粒度参数标准上要充分考虑。

## 第六章 科尔沁沙地表土粒度特征及其可蚀性颗粒

### 第一节 科尔沁沙地表土粒度总体特征

科尔沁沙地属温带大陆性半干旱气候。地貌以平缓起伏的沙丘为主。流动沙丘、沙质草甸和耕地相间分布。科尔沁沙地是内蒙古最大、开发利用最久、人口密度最大的沙地。实验土样取自科尔沁沙地的开鲁县、奈曼旗和翁牛特旗境内。该区地带性土壤主要是沙质栗钙土，遭风蚀活动破坏后退化为风沙土。沙土基质分布广泛，有机质含量低，结构松散，抗风蚀能力弱。虽然几种土样均属风沙土但在粒径组成上却有较大的不同。其表土粒径组成见表 6-1。

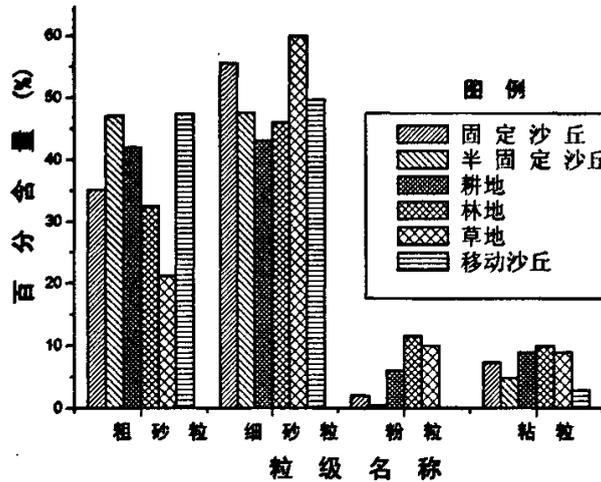


图 6-1 科尔沁沙地主要土地类型平均粒级组合图

从科尔沁沙地表土粒度组成表（表 6-1）分析，沙地内部各种土地类型的表土粒度主要集中于砂粒段即 1-0.05mm 粒径段，含量在 66.08%~98.23%，其中粗砂粒（1-0.25mm）含量为 0.8%~68.8%，细砂粒（0.25-0.05mm）含量为 19.17%~88.2992%。由图 6-1 可以看出，各类沙丘及耕地表土粗砂粒级含量明显大于林地和草地，并且以移动沙丘和半固定沙丘含量最高。细砂粒级含量以草地最大，固定沙丘其次。各种用地的粉砂粒级和粘粒粒级含量较小，尤其是移动沙丘基本不含粉砂粒级，粘粒含量也最小，这部分粘粒估计也与粘粒粘附砂粒表面未被风蚀，实验中经分散而被测得。

表 6-1 科尔沁沙地表土粒度组成表

编 号	土地类型	粒度组成 (mm)								特征值			
		1- 2	1- 0.7	0.7- 0.4	0.4- 0.25	0.25- 0.075	0.075- 0.05	0.05- 0.002	<0.002	Mz (Φ)	SD (Φ)	Sk (Φ)	Kg (Φ)
K1	固定沙丘	0	2	34	28	28.4	2	0.93	4.7	2.028	1.761	2.827	11.51
K2	固定沙丘	0	0	16	19	50.8	4	1.44	8.4	2.77	2.06	2.161	7.072
K7	固定沙丘	0	0	18	22	44.4	2	4.75	8.6	2.775	2.144	1.974	6.19
N3	固定沙丘	0	2	16	16	51.8	3	4.23	7.9	2.805	2.062	1.996	6.589
N4	固定沙丘	0	1	14	12	58.4	3	2.86	9.3	2.946	2.119	1.988	6.266
N8	固定沙丘	0	1	31	32	27.9	0	0.87	6.7	2.192	1.98	2.624	9.344
N16	固定沙丘	0	0	0.4	17	75.4	1	0.83	6	2.859	1.62	3.182	12.32
A	固定沙丘	0	0	0	5.9	87.8	0	0.16	5.7	2.933	1.505	3.616	14.69
W17	固定沙丘	0	0	0.2	2.8	76.8	8	4.63	8	3.323	1.795	2.468	7.91
W22	固定沙丘	0	0	3.8	20	66.5	2	1.38	7	2.863	1.79	2.6947	9.6189
	平均	0	0.6	13.34	17.47	56.82	2.5	2.208	7.23	2.7494	1.8836	2.5531	9.151
K3	固定沙丘	0	1	30	35	26	0	0.75	7	2.199	2.005	2.625	9.213
K4	固定沙丘	0	1	17	25	46.4	2	1.74	7.9	2.632	2.031	2.273	7.609
K8	半固定沙丘	0	0	27	39	30.9	0	0	2.3	1.896	1.2832	3.7783	21.439
N9	半固定沙丘	0	1	30	29	32.8	0	0.31	7.1	2.242	2.0033	2.5839	9.1069
N11	半固定沙丘	0	4	49	23	19	0	0.73	3.5	1.67	1.5941	3.3913	15.637
A	半固定沙丘	0	0	0	15	76.1	1	0.77	7.7	2.996	1.7827	2.8386	9.7696
W13	半固定沙丘	0.2	26	28	8.6	33.8	0	0.17	2.6	1.587	1.576	2.6413	12.982
W16	半固定沙丘	0	0	6	34	53.3	1	0.16	5.8	2.553	1.6966	3.0252	11.939
W18	半固定沙丘	0	0	2.8	18	73.2	1	0.17	4.8	2.713	1.4961	3.4305	14.935
W19	半固定沙丘	0	0	4.4	29	60.6	0	0.23	5.7	2.624	1.656	3.0998	12.393
	平均	0.025	3.875	18.4	24.45	47.463	0.375	0.318	4.9375	2.2851	1.6363	3.0986	13.525
K9	半固定沙丘	0	0	19	31	42.3	0	1.03	6.6	2.423	1.8913	2.6299	9.5731
N10	半固定沙丘	0.4	8	36	30	20.8	0	0.63	3.7	1.74	1.6409	3.174	14.363
N12	半固定沙丘	0	2	29	27	37.2	1	1.27	3.6	2.077	1.5878	2.9055	13.118
N13	半固定沙丘	0	1	29	31	31.8	2	1.24	4.5	2.131	1.7207	2.8155	11.569
W14	半固定沙丘	0	0	12	33	50.4	0	1.65	2.1	2.257	1.2404	3.3339	18.607
W15	半固定沙丘	0	0	24	41	31.4	0	0	2.8	1.951	1.372	3.6816	19.425
W1	移动沙丘	0	9	36	20	30.5	0	0.17	3.8	1.833	1.6581	2.9578	13.292
W11	移动沙丘	0	0	16	61	19.1	0	0.13	3.2	1.936	1.3964	4.0518	20.675
A	移动沙丘	0	0	1	41	45.6	10	0.2	2.6	2.507	1.2999	3.2602	16.417
	平均	0	3	17.67	40.67	31.733	3.3333	0.167	3.2	2.092	1.4515	3.4233	16.795
W2	移动沙丘	0	0	12	35	48.5	0	0.16	3.8	2.297	1.4855	3.3381	15.758
W3	移动沙丘	0.6	29	32	11	24.9	0	0.02	2.3	1.38	1.4859	3.0494	15.877
W4	移动沙丘	0	3	20	13	58.6	0	0.06	2.4	2.172	1.3375	2.79	16.206
W5	移动沙丘	0.4	8	40	24	25.5	0	0.1	1.3	1.557	1.1701	3.2534	20.964

W6	移动沙丘	0	0	3	32	62.4	0	0	2.5	2.415	1.181	4.1794	24.211
W7	移动沙丘	0	0	4.4	20	71.9	0	0.02	3.5	2.567	1.3257	3.8058	19.343
W8	移动沙丘	0	8	25	9	56.1	0	0.01	2.7	2.089	1.4455	2.6226	14.177
W9	移动沙丘	0	0	0	20	77.1	0	0.09	2.8	2.601	1.1528	4.5849	26.061
W10	移动沙丘	0	0	2.6	31	63.7	0	0.15	2.9	2.46	1.2438	4.0503	22.036
K10	绿豆地	0	2	15	15	29.9	7	16.5	15	3.62	2.6252	0.9764	2.8303
K11	玉米地	0	17	19	15	19.2	6	9.92	15	3.04	2.8942	1.0898	2.9009
N2	翻耕地(沙)	0	17	31	15	28.5	1	0.96	6.8	1.982	2.123	2.3269	8.1289
W24	玉米地	0	1	10	14	53.9	9	5.12	7.2	3.002	1.9467	1.9698	6.6965
N14	开垦沙坡地	0	2	29	25	38.7	1	0.83	3.9	2.088	1.621	2.9071	12.942
N15	玉米地	0	4	37	27	22.6	1	3.47	5.4	2.065	1.9376	2.4937	9.058
A	耕地	0	0	0	0.2	45.9	39	5.63	9	3.881	1.786	1.9453	6.0749
	平均	0	6.143	20.14	15.89	34.1	9.1429	6.061	8.9	2.8111	2.1334	1.9584	6.9474
K12	人工林地	0	4	19	14	35	8	11.7	9.8	3.102	2.3658	1.3214	4.0276
N1	人工林地	0	1	29	31	28.4	2	3.43	5.7	2.271	1.9188	2.431	8.7448
W23	林地	0	0	0.4	0.2	35.4	30	19.5	14	4.45	2.1013	1.1651	3.3556
	平均	0	1.667	16.13	15.07	32.933	13.333	11.54	9.8333	3.2743	2.1286	1.6392	5.376
K6	甸子地	0	1	22	9.8	26.2	11	17.5	12	3.505	2.5438	0.9583	2.9871
W20	典型草原	0	0	2.8	3.6	63.2	9	11.8	9.4	3.572	2.0001	1.7439	5.1873
W21	围封草原	0	6	21	11	40.4	6	8.16	8.8	2.868	2.2829	1.5294	4.7991
A	自然草灌丛	0	0	0.2	8.1	76.1	8	2.45	5.1	3.037	1.5122	3.0802	12.23
	平均	0	1.75	11.5	8.125	51.475	8.5	9.978	8.825	3.2455	2.0848	1.828	6.3009

由表 6-1 可知, 科尔沁沙地的各种土地粒径平均值 ( $M_z$ ) 变化在  $1.38\sim 4.45\Phi$  之间, 平均为  $2.56\Phi$ ; 粒度标准差 (SD) 变化于  $1.15\sim 2.89\Phi$  之间, 分选中等~较差; 粒度的偏态 ( $SK_1$ ) 变化于  $0.958\sim 4.585$ , 为正偏态~极正偏; 峰度值 ( $K_g$ ) 变化于  $2.83\sim 26.06$ , 峰值为平缓~很尖。

## 第二节 科尔沁沙地表土的微地形分异

科尔沁沙地坳甸交替是典型的地貌景观, 在沙地中微地貌结构组合对于风蚀的响应在表土粒度组合中应有所反映, 基于此, 在沙地内部选取几个典型的样点分别在各类沙丘顶部, 坡中央和底部取样, 试图以此为例, 解析在风蚀作用下沙地内部微地形对表土粒度特征的影响。通过图 6-1、图 6-2、图 6-3 可以看出, 不同土地类型其微地形对表土粒度的影响的表现是不同的。通过分析可以看出, 三种土地利用类型在不同地貌部位, 其表土粒度组合主要在  $0.7\sim 0.075$  区间中的三段内发生着变化, 此一事实充分反映了该区表土风蚀粒径主要集中于该区间的事实。

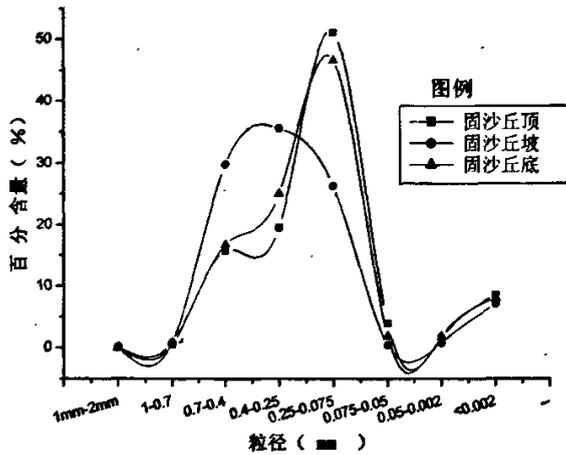


图 6-2 科尔沁沙地固定沙丘不同地貌部位粒度组成图

由图 6-2 可以看出，固定沙丘的不同地貌部位其粒度变化表现出单峰态。其中固定沙丘的丘坡的峰值出现在 0.4-0.25mm 段而丘顶和丘底的峰值出现在 0.25-0.075mm 段而在其它粒径段分化并不明显。说明在高覆盖的情况下，可能迎风坡由于其与风的接触角度较大而遭受的风蚀分选较强，从而导致表层土壤粒度组合较粗。

由图 6-3 可以看出，半固定沙丘的不同地貌部位其粒度变化表现出单、双峰共存的状态。其中半固定沙丘的丘顶的峰值出现在 0.7-0.4mm 段而丘坡的峰值出现在 0.25-0.075mm 段，丘底的峰值出现在 0.7-0.4mm 段和 0.25-0.075mm 段而在其它粒径段分化并不明显。说明在低覆盖的情况下，丘顶遭受的风蚀强度明显大于处于背风方向的丘坡和丘底。

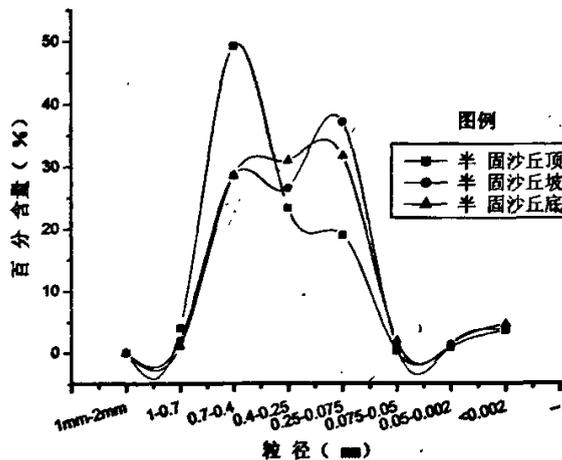


图 6-3 科尔沁沙地半固定沙丘不同地貌部位粒度组成图

由图 6-4 可以看出, 移动沙丘的不同地貌部位其粒度变化表现出严格地单峰状态。其中移动沙丘的丘顶的峰值出现在 0.4-0.25mm 段而丘坡和丘底的峰值出现在 0.25-0.075mm 段而在其它粒径段分化并不明显, 说明在无覆盖的情况下, 丘顶遭受的风蚀强度明显大于处于背风方向的丘坡和丘底。

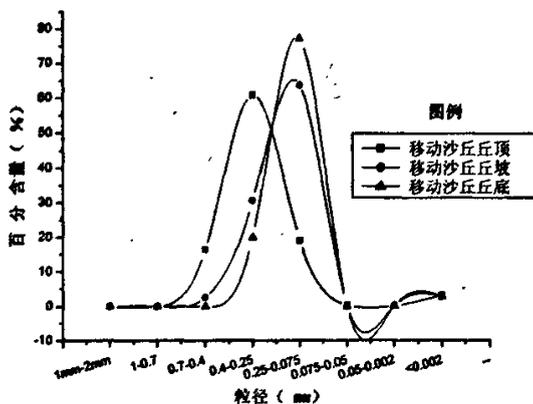


图 6-4 科尔沁沙地移动沙丘不同地貌部位粒度组成图

### 第三节 科尔沁沙地土地类型间表土粒度的变异

不同土地类型代表着研究区内各种环境本底的差异, 同时也是研究区内环境条件伴随着时间变化的作用产物。科尔沁沙地是中国北方典型的农牧交错带, 区内不仅具有典型沙化土地类型, 同时巨大的人口压力也导致其农、林、牧用地广布。不同的土地类型导致对于该区环境具有巨大影响的土壤风蚀的作用对象有所不同, 现在的土地类型状态是历史时期自然和人类活动共同塑造的产物, 因此对其表层土壤粒度特征的研究, 可以解析该区主要环境影响因素的影响状态。

由表 6-1 和表 4-1 可知, 此次科尔沁沙地土地类型采样研究对象主要包括固定沙丘、半固定沙丘、移动沙丘、耕地、林地及草地。同时为了探视人类生产活动下土壤风蚀的影响, 本次科尔沁沙地采样针对人类活动中的一些主要作用对象进行了采样。根据研究的需要, 对于该区不同利用状态的耕地和草地进行了采样。

#### 6.3.1 科尔沁沙地不同土地类型间表土粒度的变异

科尔沁沙地各种土地类型的表土粒度的变异特征首先可以通过描述总体特征参数的差异表现出来。由表 6-1 可知, 固定沙丘的平均粒径变化于 2.028—2.9455 $\phi$  之

间, 平均为 2.7494 $\phi$ ; 标准差变化于 1.505—2.1436 $\phi$  之间, 平均为 1.8835 $\phi$ ; 偏度值变化于 1.9737—3.6153 之间, 平均为 2.5529; 峰度值变化于 6.1898—14.6942 之间, 平均 9.151。半固定沙丘的平均粒径变化于 1.5974—2.9959 $\phi$  之间, 平均为 2.2962 $\phi$ ; 标准差变化于 1.2404—2.0053 $\phi$  之间, 平均为 1.6222 $\phi$ ; 偏度值变化于 2.5839—3.7783 之间, 平均为 3.0753; 峰度值变化于 9.1069—21.4386 之间, 平均 13.6381。移动沙丘的平均粒径变化于 1.8332—2.5072 $\phi$  之间, 平均为 2.092 $\phi$ ; 标准差变化于 1.2999—1.6581 $\phi$  之间, 平均为 1.45 $\phi$ ; 偏度值变化于 2.9578—4.0518 之间, 平均为 3.4233; 峰度值变化于 13.2924—20.6748 之间, 平均 16.5357。耕地的平均粒径变化于 1.9824—3.8813 $\phi$  之间, 平均为 2.8113 $\phi$ ; 标准差变化于 1.621—2.8941 $\phi$  之间, 平均为 2.1334 $\phi$ ; 偏度值变化于 0.9764—2.9071 之间, 平均为 1.9584; 峰度值变化于 2.8303—12.9417 之间, 平均 6.9473。林地的平均粒径变化于 2.2709—4.4496 $\phi$  之间, 平均为 3.2742 $\phi$ ; 标准差变化于 1.9188—2.3658 $\phi$  之间, 平均为 2.1286 $\phi$ ; 偏度值变化于 1.1651—2.431 之间, 平均为 1.6391; 峰度值变化于 3.3556—8.7448 之间, 平均 5.376。草地的平均粒径变化于 2.8676—3.5716 $\phi$  之间, 平均为 3.2454 $\phi$ ; 标准差变化于 1.5122—2.5438 $\phi$  之间, 平均为 2.0847 $\phi$ ; 偏度值变化于 0.9583—3.0801 之间, 平均为 1.828; 峰度值变化于 2.9871—12.2296 之间, 平均 6.3008。

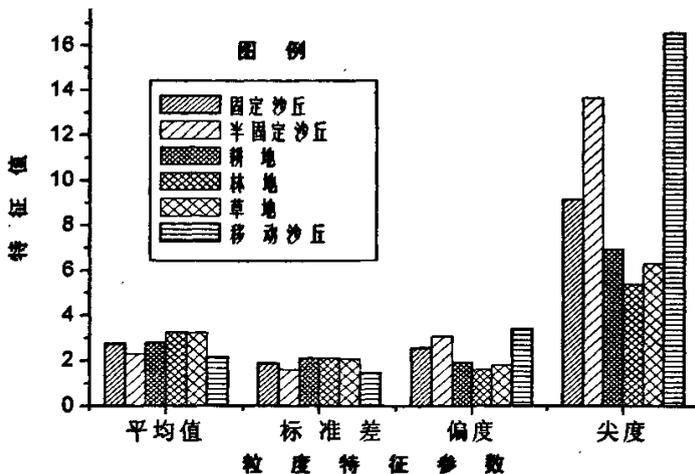


图 6-5 科尔沁沙地不同土地类型粒度特征参数平均值图

由图 6-5 可以直观的看出,就粒度平均而言,以林地和草地特征值较大,说明林地和草地的颗粒级配较为细小。耕地和固定沙丘粒度平均较为接近,处于各种土地类型的中间状态。土地类型中以移动沙丘和半固定沙丘的粒度组成最为粗化。对于平均粒径而言,主要受两个因素的影响:源区物质的粒度分布和搬运介质的平均动能。在源区一致的情况下,平均粒径则可以作为搬运介质的速度和可蚀性的替代性指标之一。这一结论说明,不同土地类型间其可蚀性存在一定的差异。就标准差而言,耕地、草地、林地和固定沙丘特征值接近,特征值较大,而移动沙丘和半固定沙丘较为接近,特征值较小。标准偏差通常用来表征粒度分布的分选性,因而可以说明移动沙丘和半固定沙丘分选较好。就偏度和峰度而言,移动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘表现出极强的正偏和较尖的峰值,尤以移动沙丘最为典型;而耕地、林地、草地虽然也表现出正偏,但其偏移值较小,峰值也较为平缓。

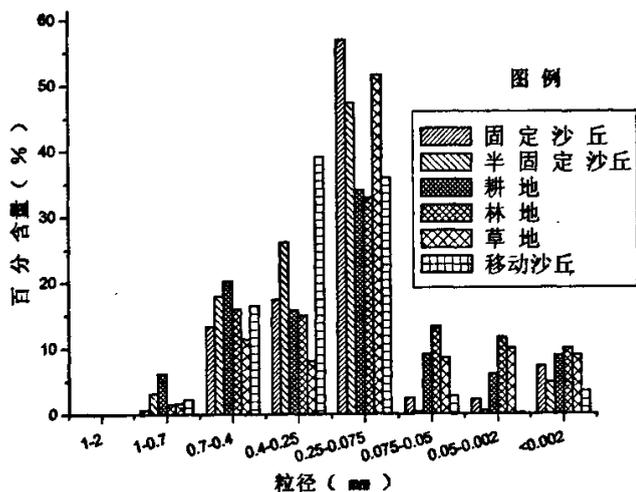


图 6-6 科尔沁沙地不同土地类型平均粒度组成图

科尔沁沙地不同土地类型间的差异还可以通过剖析其粒度组成加以表现。如图 6-6 我们可以看到,不同土地类型间其具体粒度分布存在差异。除移动沙丘的峰值粒径处于 0.4-0.25mm 段外,其它用地类型的峰值粒径都处于 0.25-0.075mm 段。总体而言,各类沙丘的主要颗粒集中于 0.7-0.075mm 段,而在 0.05-0.075mm 和 0.05-0.002mm 段移动沙丘和半固定沙丘基本不含该级颗粒,在 <0.002mm 段的粘粒部分含量也非常小,可能与细小的粘粒粘附在沙粒上而得以保留下来有关;草地的主要颗粒集中于

0.25-0.075mm 段；耕地的颗粒在全粒径段分布较为平均，并且耕地在 1-0.7mm 和 0.7-0.4mm 粒径段要高出其它用地；林地的颗粒分布最为平均，并且在 0.075-0.05mm、0.05-0.002mm 和 <0.002mm 段都比其它用地含量要高，可能与林地不受或少受土壤风蚀并可能成为风积区有关。由此可以看出，在区域土壤风蚀的影响下，各种土地类型表土粒度组成存在明显的分异，并且由各种土地类型的级配分异也充分反映了土壤风蚀的阶段性的。

### 6.3.2 科尔沁沙地不同土地利用状态下表土粒度的变异

科尔沁沙地作为内蒙古开发最早，人口密度最大的沙地，其人口压力非常大。在此背景下，近几年沙地内部出现了在政府围封禁牧禁耕的土地上偷牧偷耕的现状。基于此，由人类主要影响下的土地类型其表土粒度是否存在变异将成为刻画人类土地利用行为对土壤风蚀的响应的重要依据。为此，我们选取了不同状态的耕地和草地进行对比分析。

由图 6-7 可以看出，与传统耕作区的玉米地的表土粒度相比较，在退耕保护地上进行耕作的土地其表土粒度分布存在明显的不同。其主要差异表现在土粒粗化现象明显，虽然目前其主要峰值仍然处于 0.25-0.075mm 段，但是其次峰 0.7-0.4mm 段发育非常明显并与主峰差异不大。而传统耕地只有单峰出现，集中分布于 0.25-0.075mm 段。另外在富含营养元素的粉砂段和粘粒段，沙坡地含量接近于零，而玉米地含量稍大

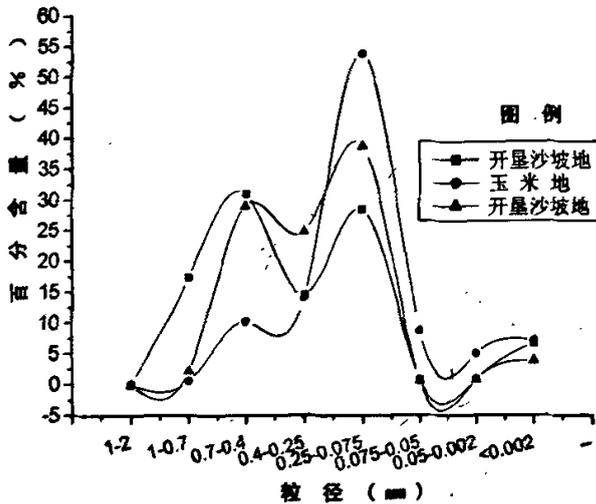


图 6-7 科尔沁沙地不同利用状态耕地土壤表层粒度组成

由图 6-8 可以看出,草甸粒径分布比较平均其突出表现是粉砂级(0.05-0.075mm 段)和粘粒级(<0.002mm 段)含量较大。围封草地与草甸和退化的典型草原相比,其整体粒度分布较粗,表现为 1-0.7mm 段和 0.7-0.4mm 段含量较大而 0.05-0.002mm 和 <0.002mm 段含量较小。由于所选围封草地恢复繁育较好,盖度达 100%,退化典型草原动物啃食强烈,地面盖度 70%,适口牧草草高不足 3cm,所以我们可以透过粒度分布看出其退化的迹象,即粒度分布在敏感粒径段呈单峰态。但恢复中的围封草地仍然遗留了草原曾遭受强烈风蚀的事实,即非可蚀粒含量高,而可蚀性粒径段和粉沙级、粘粒级含量低。

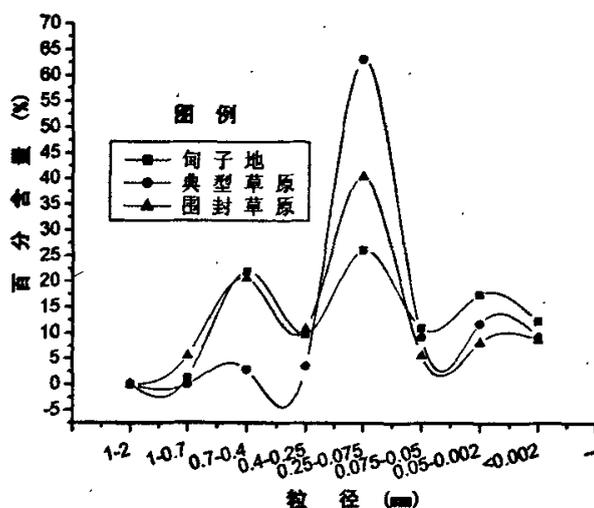


图 6-8 科尔沁沙地不同利用状态草地土壤表层粒度组成

由上述两各典型事例,我们可以清楚的认识到的在环境脆弱的条件下,区域不合理的土地利用可以加速土地的退化。人类的不同土地利用对于土壤表层粒度分布具有明显的影响。人类不合理的土地利用叠加在土壤风蚀之上可以明显的加大土壤表层粒度分布的差异。

#### 第四节 科尔沁沙地不同土地类型间可蚀性颗粒的讨论

在对各地各种土地类型粒度分布了解的基础上,借助有关学者对可蚀性颗粒的研究,我们有必要对各种土地类型的可风蚀性颗粒进行讨论总结。在讨论之初,我们有必要调整一下思路,在众多的风洞研究,经验探讨的可蚀性颗粒粒度的考量中,重点强调颗粒物的可移动性,至于移动状态的分化考虑较少,而事实上,基于土地沙化的

事实我们有必要了解可移动的颗粒物,更为主要的我们需要了解最为容易移动的颗粒物,也就是说,对于最为敏感的颗粒物的了解,是乎并未受到太多的关注。可移动颗粒物显然与搬运能力、地面覆被情况、地面土壤的诸多要素等具有强烈的相关性。从众多不同状态的表土粒度分布推测敏感粒径、可蚀粒径,以及它们所代表的环境意义将是非常有意义的。目的在于,对于荒漠土地的优化利用和合理评价中,事实上是否存在一个指标,可以用来敏感地表示出土地类型的发展趋向。

史培军认为,土壤颗粒组成是决定土壤抗蚀性的重要因素,粒径在 0.08—0.25mm 之间的土壤颗粒最容易遭受风蚀<sup>[63]</sup>。董治宝和李振山(1998)通过风洞模拟实验发现:风成沙的风蚀可蚀性随粒度的变化服从分段函数,0.09mm 粒径最易被风蚀;风成沙颗粒按可蚀性可以分为 3 种类型:>0.7mm 和<0.05mm 为难蚀颗粒,0.7—0.4mm、0.075—0.05mm 为较难蚀颗粒,0.4—0.075mm 为易蚀颗粒<sup>[62]</sup>。主要原因是对较小粒子起支配作用的是微粒内部的粘性力;对较大粒子是重力作用的增强,这两种力均对地表土壤的风蚀起沙起阻碍作用,而介于两者之间的粒子,则是空气动力起支配作用,因而更容易脱离地表<sup>[67]</sup>。据此,结合土壤分析的粒度特征对各区表土可风蚀性进行比较研究。

在董治宝和李振山(1998)风洞模拟实验中,粒径在 0.45—0.25mm 粒径段的起动风速为 10.1m/s—7.4m/s,而 0.25—0.075mm 粒径段的起动风速 5 m/s—7m/s<sup>[62]</sup>。结合各研究区年平均风速及极端大风日数,我们认为,0.25—0.075mm 较 0.4—0.25mm 对于各区来说,为讨论潜在可蚀性较为敏感的粒径段。同时,据有关观测表明,产生沙尘的地表物质以粉尘为主,其颗粒直径多在 0.063mm—0.002mm 之间<sup>[69]</sup>。敏感粒径在易蚀粒径中所占比重可以直观的表征颗粒物的释放程度。因此,我们把敏感粒径段颗粒物相对于易蚀颗粒物含量的多寡定为首要考虑因素,把起尘颗粒(本次起尘颗粒粒径段以 0.075—0.002mm 来代表)的多寡定为辅助考虑因素。

由表 6-2 可知,科尔沁沙地敏感粒径段与易蚀粒径段的相对值大小表现为,草地(0.8417)>林地(0.7308)>固定沙丘(0.7112)>耕地(0.6782)>移动沙丘(0.6462)>半固定沙丘(0.5894)。说明在科尔沁沙地,移动沙丘及半固定沙丘可蚀性颗粒物释放较多,而该区的耕地取样由于包含有较多在保护性限制耕作区人为的偷种的土地,所以可蚀性颗粒物释放也比较多。

起尘颗粒以林地、地带性草原植被和耕地的含量最大,而各类沙丘含量较小。据此我们可以认为,大范围的沙尘暴天气的尘源物主要应来自于退化的耕地和草原。

表 6-2 科尔沁沙地不同土地类型可蚀性粒级比较表

编号	土地类型	难蚀颗粒	较难蚀颗粒	易蚀颗粒	敏感颗粒	起尘颗粒	敏感/
		1-0.7 和< 0.05	0.7-0.4 和 0.075-0.05	0.4-0.075	0.25-0.075	0.075-0.002	易蚀
K1	固定沙丘	8.01	35.79	56.2	28.4	2.52	0.5053
K2	固定沙丘	10.27	19.49	70.24	50.8	5.33	0.7238
K3	固定沙丘	8.56	30.06	61.38	26	1.21	0.4233
K4	固定沙丘	10.4	18.39	71.21	46.4	3.53	0.6517
K7	固定沙丘	13.72	20.08	66.2	44.4	6.83	0.6707
N3	固定沙丘	13.95	18.7	67.35	51.8	7.33	0.7684
N4	固定沙丘	13.15	16.82	70.03	58.4	5.88	0.8344
N8	固定沙丘	8.4	31.49	60.11	27.9	1.36	0.4643
N16	固定沙丘	6.87	0.94	92.19	75.4	1.37	0.8178
	固定沙丘	5.83	0.4503	93.72	87.8	0.605	0.9374
W17	固定沙丘	12.61	7.75	79.64	76.8	12.18	0.9648
W22	固定沙丘	8.39	5.47	86.14	66.5	3.05	0.7725
	平均					4.26625	0.7112
K8	半固定沙丘	2.31	27.56	70.13	30.9	0.16	0.441
K9	半固定沙丘	7.61	18.88	73.51	42.3	1.07	0.5756
N9	半固定沙丘	8.44	30	61.56	32.8	0.31	0.5322
N10	半固定沙丘	12.78	36.2	51.02	20.8	0.83	0.4081
N11	半固定沙丘	8.23	49.34	42.43	19	0.87	0.4485
N12	半固定沙丘	6.87	29.37	63.76	37.2	2.04	0.5828
N13	半固定沙丘	6.78	30.46	62.76	31.8	3.1	0.5061
	半固定沙丘	8.48	0.798	90.722	76.1	1.568	0.839
W13	半固定沙丘	29.41	28.2	42.39	33.8	0.57	0.7971
W14	半固定沙丘	3.73	12.69	83.58	50.4	2.14	0.6028
W15	半固定沙丘	3.24	23.92	72.84	31.4	0.12	0.4316
W16	半固定沙丘	5.96	6.52	87.52	53.3	0.68	0.6092
W18	半固定沙丘	5.02	3.54	91.44	73.2	0.91	0.801
W19	半固定沙丘	5.94	4.5	89.56	60.6	0.33	0.6762
	平均					1.0499	0.5894
W1	移动沙丘	12.6	36.49	50.91	30.5	0.66	0.5993
W2	移动沙丘	4.4	12.53	83.07	48.5	0.29	0.5835
W3	移动沙丘	31.92	32.23	35.85	24.9	0.05	0.6932
W4	移动沙丘	7.23	20.4	72.37	59.6	0.06	0.8231
W5	移动沙丘	9.57	40.71	49.72	25.5	0.41	0.5133
W6	移动沙丘	2.54	3.22	94.24	62.4	0.22	0.6626
W7	移动沙丘	3.55	4.4	92.05	71.9	0.02	0.7806
W8	移动沙丘	10.31	24.64	65.05	56.1	0.05	0.8616
W9	移动沙丘	2.88	0	97.12	77.1	0.09	0.7941
W10	移动沙丘	3.07	2.65	94.28	63.7	0.2	0.6754

W11	移动沙丘	3.33	16.76	79.91	19.1	0.49	0.2391
	移动沙丘	2.845	10.903	86.252	45.6	10.14	0.5282
	平均					1.0567	0.6462
K10	绿豆地	33.09	21.77	45.14	29.9	23.45	0.6633
K11	玉米地	41.79	24.45	33.76	19.2	15.57	0.5675
N2	翻耕地(沙)	25.16	31.78	43.06	28.5	1.74	0.6609
W24	玉米地	12.97	18.96	68.07	53.9	13.88	0.7914
N14	开垦沙坡地	6.94	29.52	63.54	38.7	1.35	0.6097
N15	玉米地	12.48	38.31	49.21	22.6	4.58	0.4595
	耕地	14.665	39.173	46.162	45.9	44.8	0.9951
	平均					15.0529	0.6782
K12	人工林地	25.32	26.11	48.57	35	19.25	0.72
N1	人工林地	9.72	30.88	59.4	28.4	5.51	0.4781
W23	林地	34.12	30.28	35.6	35.4	49.39	0.9944
	平均					24.7167	0.7308
K6	甸子地	31.03	32.98	35.99	26.2	28.45	0.7277
W20	典型草原	21.2	12.04	66.76	63.2	21.05	0.9461
W21	围封草原	22.53	26.26	51.21	40.4	13.82	0.7891
	自然草灌丛	7.54	8.2426	84.217	76.1	10.53	0.9041
	平均					18.4625	0.8417

## 第七章 浑善达克沙地表土粒度特征及其可蚀性颗粒

### 第一节 浑善达克沙地表土粒度总体特征

浑善达克沙地横亘于锡林郭勒高原草原区的中部，气候属温带大陆性气候，是全国沙区最大风区之一，同时也是内蒙古第三大沙地。实验土样取自浑善达克沙地的克什克腾旗和正蓝旗境内。境内砒甸交替发育，沙丘较为高大，沙丘迎风坡及部分退化草地存在较大的风蚀破口，丘间洼地发育面积较小。

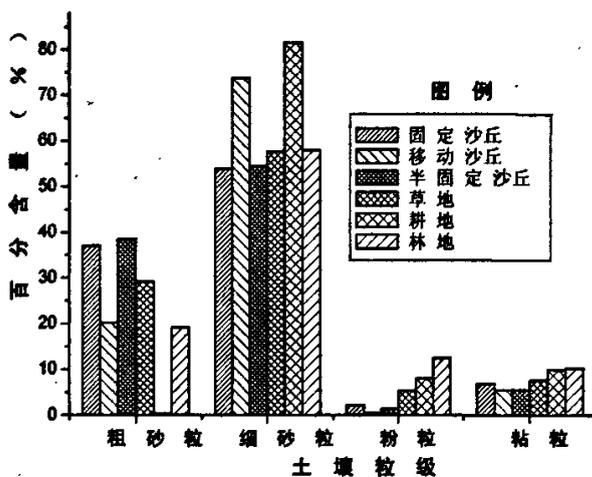


图 7-1 浑善达克主要土地类型平均粒级组合图

从浑善达克沙地表土粒度组成表（表 7-1）分析，沙地内部各种土地类型的表土粒度主要集中于砂粒段即 1-0.05mm 粒径段，含量在 72.56%~96.35%，其中粗砂粒（1-0.25mm）含量为 0.4%~79.44%，细砂粒（0.25-0.05mm）含量为 12.996%~90.25%。粉砂粒级和粘粒级含量除林地外其它土地类型都小于 10%。由图 7-1 可以看出，固定沙丘半固定沙丘及草地表土粗砂粒级含量大于或接近于 30%，以半固定沙丘含量最大。移动沙丘和林地在该粒级约 20%，而耕地在该粒级没有检出，原因是耕地采样数量少，仅有的样地处于桑根达来东侧，位置处于沙地东南边缘。细砂粒级含量以耕地最大，移动沙丘其次。各种用地的粉砂粒级和粘粒粒级含量较小，尤其是移动沙丘和半固定沙丘粉砂粒级含量微乎其微，同时它们的粘粒含量也最小，这部

分粘粒估计也与粘粒粘附砂粒表面而未被风蚀，实验中经分散而被测得。林地、耕地和草地在粉砂粒级和粘粒级含量相比各类沙丘要高，尤其以林地最为显著。

表 7-1 浑善达克沙地表土粒度组成

编号	土地类型	粒度组成 (mm)								特征值			
		1-	1-	0.7-	0.4-	0.25-	0.075-	0.05-	<0.00	Mz	SD	Sk <sub>d</sub>	Kg
		2	0.7	0.4	0.25	0.075	0.05	0.002	2	(Φ)	(Φ)	(Φ)	(Φ)
H2	固定沙丘	0	0	16.6	28.8	46.89	0.09	0.65	6.57	2.4672	1.87	2.65	9.75
H7	固定沙丘	0	0	0.1	2	89.77	0.48	1.3	6.35	3.0436	1.58	3.34	12.6
H11	固定沙丘	0	1	6.2	13.2	68.6	0.75	2.81	7.44	2.9132	1.87	2.42	8.38
H14	固定沙丘	0	1	4.2	14.6	60.87	1.66	8.75	9.12	3.2153	2.07	1.88	5.68
H23	固定沙丘	0	1	5	11.6	74.53	0.45	1.51	6.31	2.8497	1.70	2.81	10.7
H25	固定沙丘	3	17	24.6	11.4	35.89	0.85	2.73	4.53	1.9474	1.93	2.13	8.45
84	固定沙丘	0	5	16.1	58.2	12.26	0.7345	0.48	7.08	2.1059	2.00	2.79	9.88
86	固定沙丘	0	0	0.78	19.9	70.08	0.8351	0.63	7.82	2.9335	1.83	2.75	9.41
68	固定沙丘	0	2	9.84	60.8	19.61	0.397	0.75	6.64	2.24	1.90	2.90	10.5
	平均值	0	3	9.27	24.5	53.17	0.6941	2.18	6.87	2.6351	1.86	2.63	9.45
H5	固定沙丘	0	2	12.8	15.6	56.63	0.51	3.33	8.53	2.8246	2.06	2.06	6.69
H6	固定沙丘	0	0	0.2	1.6	88.52	0.48	3.55	5.65	3.0609	1.54	3.27	12.5
H17	流动沙丘	0	1	9.6	36.8	47.82	0.07	0.47	4.64	2.3781	1.99	3.17	13.7
H18	移动沙丘	0	0	0.4	23.4	70.5	0.06	0.51	5.13	2.7202	1.53	3.43	14.4
H8	流动沙丘	0	0	0	1.4	92.62	0.08	0.34	5.56	2.9703	1.47	3.78	15.5
H9	流动沙丘	0	0	0	12.2	83.54	0.21	0.07	3.98	2.7567	1.31	4.17	20.2
H10	流动沙丘	0	0	0.2	10.2	82.88	0.16	0.31	6.05	2.9155	1.58	3.35	13.1
70	移动沙丘	0	1	2.23	23.6	64.23	0.5732	0.79	7.99	1.8677	1.89	2.60	8.83
	平均值	0	0	2.07	17.9	73.6	0.1922	0.45	5.56	2.7681	1.56	3.42	14.3
H1	半固定沙丘	0	0	1.2	7.2	82.84	0.43	1.16	7.17	3.0199	1.71	2.97	10.6
H27	半固定沙丘	0	11	41	16.8	26.56	0.32	0.89	3.43	1.7153	1.64	2.97	13.4
H28	半固定沙丘	0	10	47	16	22.88	0.27	0.59	3.06	1.6047	1.56	3.23	15.4
H13	半固定沙丘	0	0	5.4	27.6	59.64	0.31	1.06	5.99	2.6628	1.71	2.90	11.2
H4	半固定沙丘	0	1	8.2	17.6	66.42	0.38	0.48	6.32	2.7058	1.74	2.78	10.7
H15	半固定沙丘	0	0	0.2	9.2	83.16	0.17	0.3	6.97	2.9784	1.67	3.14	11.5
H1	半固定沙丘	0	12	25.3	12.9	34.32	3.8476	5.70	6.14	2.3568	2.11	1.82	6.27
	平均值	0	5	18.3	15.3	53.69	0.8182	1.45	5.58	2.4348	1.74	2.83	11.3
H16	典型草原	0	1	2.46	10.2	74.66	1.26	3.26	7.36	3.0276	1.81	2.54	8.76
H24	典型草原	0	5	34.2	16.4	37.99	0.8	1.48	4.13	2.0487	1.72	2.63	11.1
H19	丘间草地	0	1	1.9	6.6	68.73	3.22	8.69	10.1	3.4153	2.06	1.87	5.45
H20	典型草原	0	1	7.6	13.2	59.43	3.8	5.3	9.45	3.1293	2.10	1.90	5.83
H30	典型草原	0	2	23	19.6	41.6	1.86	5.67	6.47	2.564	2.01	2.05	7.00
H12	草甸草原	0	1	4.2	7.2	61.48	3.65	11.9	10.2	3.4523	2.14	1.61	4.74
88	退化草地	0	0	1.24	45.5	40.28	5.3893	1.12	6.19	2.6349	1.78	2.73	9.98

	平均值	0	2	10.7	17	54.88	2.8542	5.37	7.69	2.896	1.95	2.19	7.56
H21	耕地	0	0	0.2	0.2	72.82	8.82	8.07	9.89	3.5784	1.95	2.04	5.85
H22	林地	0	2	7	4	62.48	6.53	8.99	9.2	3.3268	2.08	1.69	5.31
H31	林地	0	2	13	10.6	34.2	12.76	16	11.4	3.5638	2.39	1.06	3.38
	平均值	0	2	10	7.3	48.34	9.645	12.5	10.3	3.4453	2.23	1.38	4.35
H29	风蚀坑	0	50	39.6	3.6	4.81	0.19	0.16	1.24	0.7714	1.11	5.38	38.3
82	草甸破口	0	7	7.23	35.8	39.97	4.5913	0.72	4.93	2.3698	1.74	2.56	10.5

由表 7-1 可知, 浑善达克沙地的各种土地粒径平均值 ( $M_z$ ) 变化在  $0.7714 \sim 3.5784\Phi$  之间, 平均为  $2.6982\Phi$ ; 粒度标准差 (SD) 变化于  $1.11 \sim 2.39\Phi$  之间, 分选中等~较差; 粒度的偏态 ( $SK_1$ ) 变化于  $1.06 \sim 5.38$ , 为正偏态~极正偏; 峰度值 ( $K_g$ ) 变化于  $3.38 \sim 38.3$ , 峰值较尖~很尖。

## 第二节 浑善达克沙地土地类型间表土粒度的变异

由表 7-1 和表 4-2 可知, 此次浑善达克沙地土地类型采样研究对象主要包括固定沙丘、半固定沙丘、移动沙丘、耕地、林地及草地。同时为了探视丘甸间和风蚀残留基底在土壤风蚀作用下表层土壤粒度的响应, 本次浑善达克沙地采样针对沙丘顶、坡脚、丘间洼地和风蚀残留风蚀坑进行了采样。

### 7.2.1 浑善达克沙地不同土地类型间表土粒度的变异

浑善达克沙地各种土地类型的表土粒度的变异特征首先可以通过描述总体特征参数的差异表现出来。由表 7-1 可知, 固定沙丘的平均粒径变化于  $1.9474 \sim 3.2153\Phi$  之间, 平均为  $2.6351\Phi$ ; 标准差变化于  $1.58 \sim 2.07\Phi$  之间, 平均为  $1.86\Phi$ ; 偏度值变化于  $1.88 \sim 3.34$  之间, 平均为  $2.63$ ; 峰度值变化于  $5.68 \sim 12.6$  之间, 平均  $9.45$ 。半固定沙丘的平均粒径变化于  $1.6047 \sim 3.0199\Phi$  之间, 平均为  $2.4348\Phi$ ; 标准差变化于  $1.56 \sim 2.11\Phi$  之间, 平均为  $1.74\Phi$ ; 偏度值变化于  $1.82 \sim 3.23$  之间, 平均为  $2.83$ ; 峰度值变化于  $6.27 \sim 13.4$  之间, 平均  $11.3$ 。移动沙丘的平均粒径变化于  $2.3781 \sim 2.9703\Phi$  之间, 平均为  $2.7681\Phi$ ; 标准差变化于  $1.31 \sim 1.89\Phi$  之间, 平均为  $1.56\Phi$ ; 偏度值变化于  $2.60 \sim 4.17$  之间, 平均为  $3.42$ ; 峰度值变化于  $8.83 \sim 20.2$  之间, 平均  $14.3$ 。耕地的平均粒径是  $3.5784\Phi$ ; 标准差为  $1.95\Phi$ ; 偏度值为  $2.04$ ; 峰度值  $5.85$ 。林地的平均粒径变化于  $3.3268 \sim 3.5638\Phi$  之间, 平均为  $3.4453\Phi$ ; 标准差变化于  $2.08 \sim 2.39\Phi$  之间, 平均为  $2.23\Phi$ ; 偏度值变化于  $1.06 \sim 1.69$  之间, 平均为  $1.38$ ; 峰度

值变化于 3.38—5.31 之间, 平均 4.35。草地的平均粒径变化于 2.0487—3.4523 $\Phi$  之间, 平均为 2.986 $\Phi$ ; 标准差变化于 1.72—2.14 $\Phi$  之间, 平均为 1.95 $\Phi$ ; 偏度值变化于 1.61—2.83 之间, 平均为 2.19; 峰度值变化于 4.74—11.3 之间, 平均 7.56。

由图 7-2 可以直观的看出, 就粒度平均而言, 以耕地和林地特征值较大, 说明耕地和林地的颗粒级配较为细小。各类沙丘粒度平均较为接近, 处于各种土地类型的较低状态。土地类型中以半固定沙丘的粒度组成最为粗化。就标准差而言, 林地的值最大; 耕地、草地和固定沙丘特征值接近, 特征值处于中间状态, 而移动沙丘和半固定沙丘较为接近, 特征值较小。标准偏差通常用来表征粒度分布的分选性, 因而可以说明移动沙丘和半固定沙丘分选较好林地分选性较差。就偏度和峰度而言, 移动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘表现出极强的正偏和较尖的峰值, 尤以移动沙丘最为典型; 而耕地、林地、草地虽然也表现出正偏, 但其偏移值较小, 峰值也较为平缓。

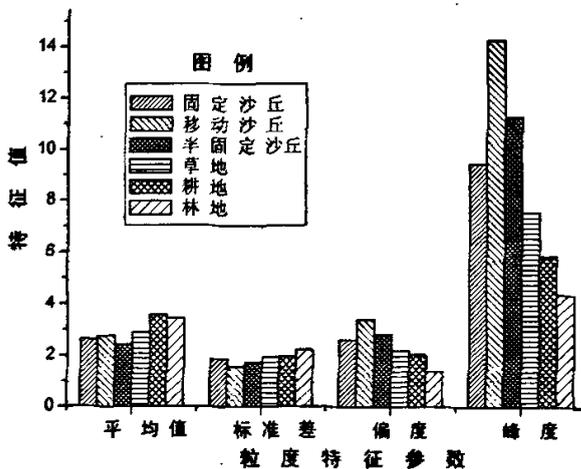


图 7-2 浑善达克沙地不同土地类型粒度特征参数平均值图

浑善达克沙地不同土地类型间的差异还可以通过剖析其粒度组成加以表现。如图 7-3 我们可以看到, 不同土地类型间其具体粒度分布存在差异。浑善达克沙地的各种土地类型的峰值粒径都处于 0.25-0.075mm 段。总体而言, 各类沙丘的主要颗粒集中于 0.7-0.075mm 段, 而在 0.05-0.075mm 和 0.05-0.002mm 段移动沙丘和半固定沙丘基本不含该粒级颗粒, 在 <0.002mm 段的粘粒部分含量也非常小, 可能与细小的粘粒粘附在沙粒上而得以保留下来有关; 草地的主要颗粒集中于 0.25-0.075mm 段; 耕地集中分布于 0.25-0.075mm 段且含量大于 70%, 耕地在 1-0.7mm 和 0.7-0.4mm 粒径段基

本未被检出；林地的颗粒分布最为平均，并且在 0.075-0.05mm、0.05-0.002mm 和 < 0.002mm 段都比其它用地含量要高，可能与林地不受或少受土壤风蚀并可能成为风积区有关。由此可以看出，在区域土壤风蚀的影响下，各种土地类型表土粒度组成存在明显的分异，而耕地数据与科尔沁沙地形成鲜明的对比，考虑是用地位置和状态对表层粒度会产生影响。总体而言，浑善达克沙地的各种土地类型的级配分异基本反映了土壤风蚀的阶段性。

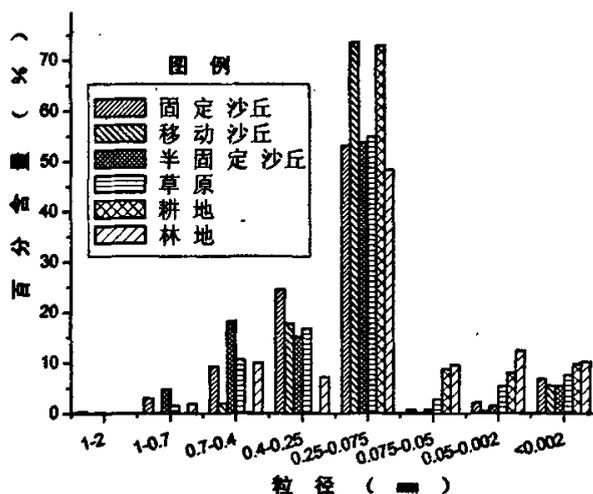


图 7-3 浑善达克沙地不同土地类型平均粒度组成图

### 7.2.2 浑善达克沙地不同地貌状态下表土粒度的变异

浑善达克沙地作为内蒙古沙化地区风力最为强劲的地区之一，其典型景观除砒甸交替外，高大的沙丘和发育典型的风蚀坑和风蚀床面随处可见。基于此，我们选取典型的床面和坡顶和坡脚颗粒进行比较，以解析其表层颗粒的分布状况。

由图 7-4 可以看出，在浑善达克沙地风蚀床面及草地破口与固定沙丘丘顶和坡脚最大的区别在于，风蚀床面或破口的表层粗化粒度分布前移，在粉砂粒级和粘粒级含量很小或基本不含该粒级。固定沙丘沙丘丘顶或坡脚粒度分布基本没有分化，主要颗粒分布于 0.25-0.075mm 段，在 1-0.25 段基本没有分布，在 <0.05mm 段含量明显高于风蚀床。图中前三个图例代表的类型在空间上是紧紧相邻的，其说服力是强的。

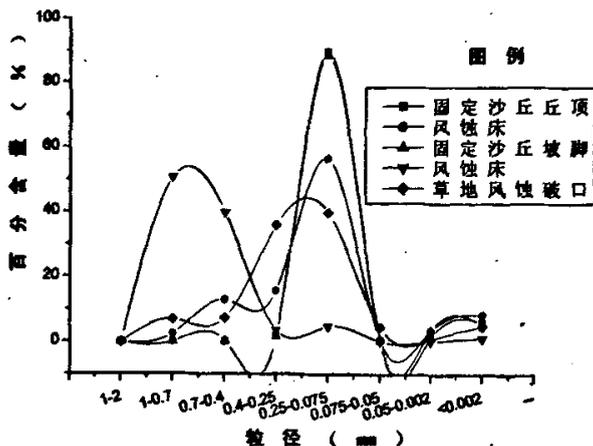


图 7-4 浑善达克沙地不同地貌状态下表土粒度组成图

### 第三节 浑善达克沙地不同土地类型间可蚀性颗粒的讨论

同样按照上章的模式，我们对浑善达克沙地敏感粒径段与易蚀粒径段的相对值大小进行比较。由表 7-2 可以看出，浑善达克沙地敏感粒径段与易蚀粒径段的相对值大小表现为耕地 (0.9973) > 林地 (0.8516) > 移动沙丘 (0.7992) > 草地 (0.7648) > 半固定沙丘 (0.7461) > 固定沙丘 (0.6738) > 风蚀坑 (0.5497)。在该区所取移动沙丘大多为紧邻风蚀破口的上翻流沙，其搬运距离较近，所以颗粒物释放不是特别彻底。而草地样品中含有较多退化草地样本，所以导致其敏感颗粒含量较少。

起尘颗粒以林地、地带性草原植被和耕地的含量最大，而各类沙丘含量较小。据此我们可以认为，大范围的沙尘暴天气的尘源物主要应来自于退化的耕地和草原。

表 7-2 浑善达克沙地不同土地类型可蚀性粒级比较表

编号	土地类型	难蚀颗粒	较难蚀颗粒	易蚀颗粒	敏感颗粒	起尘颗粒	敏感/易蚀
		1-0.7 和 <math><0.05</math>	0.7-0.4 和 0.075-0.05	0.4-0.075	0.25-0.075	0.075-0.002	
H11	固定沙丘	11.25	6.95	81.8	68.6	3.56	0.8386
H14	固定沙丘	18.87	5.86	75.47	60.9	10.41	0.8065
H23	固定沙丘	8.82	5.45	86.13	74.5	1.96	0.8653
H25	固定沙丘	27.26	25.45	47.29	35.9	3.58	0.7589
84	固定沙丘	12.56	16.835	70.46	12.3	1.215	0.174
86	固定沙丘	8.45	1.6151	89.98	70.1	1.465	0.7788
68	固定沙丘	9.39	10.237	80.41	19.6	1.147	0.2439

	平均值					3.3339	0.6738
H17	流动沙丘	6.11	9.67	84.62	47.8	0.54	0.5651
H18	移动沙丘	5.64	0.46	93.9	70.5	0.57	0.7508
H8	流动沙丘	5.9	0.08	94.02	92.6	0.42	0.9851
H9	流动沙丘	4.05	0.21	95.74	83.5	0.28	0.8726
H10	流动沙丘	6.56	0.36	93.08	82.9	0.67	0.8904
70	移动沙丘	9.78	2.8032	87.83	64.2	1.363	0.7313
	平均值					0.6405	0.7992
H1	半固定沙丘	8.33	1.63	90.04	82.8	1.59	0.92
H27	半固定沙丘	15.32	41.32	43.36	26.6	1.21	0.6125
H28	半固定沙丘	13.65	47.27	38.88	22.9	0.86	0.5885
H13	半固定沙丘	7.05	5.71	87.24	59.6	1.37	0.6836
H4	半固定沙丘	7.8	8.58	84.02	66.4	0.86	0.7905
H15	半固定沙丘	7.27	0.37	92.36	83.2	0.47	0.9004
H1	半固定沙丘	23.84	29.148	47.22	34.3	9.548	0.7268
	平均值					2.2726	0.7461
H16	典型草原	11.62	3.72	84.86	74.7	4.52	0.8798
H24	典型草原	10.61	35	54.39	38	2.28	0.6985
H19	丘间草地	19.79	5.12	75.33	68.7	11.91	0.9124
H20	典型草原	15.95	11.4	72.65	59.5	9.3	0.8183
H30	典型草原	14.14	24.86	61.2	41.6	7.53	0.6797
H12	草甸草原	23.1	7.85	68.68	61.5	15.55	0.8952
88	退化草地	7.31	6.6293	85.78	40.3	6.509	0.4696
	平均值					8.2284	0.7648
H21	耕地	17.96	9.02	73.02	72.8	16.89	0.9973
H22	林地	20.19	13.53	66.48	62.5	15.52	0.9398
H31	林地	29.4	25.76	44.8	34.2	28.76	0.7634
	平均值					20.39	0.9002
H29	风蚀坑	51.4	39.79	8.41	4.81	0.35	0.5719
82	草甸破口	12.65	11.821	75.77	40	5.311	0.5275
	平均值					2.8305	0.5497

## 第八章 毛乌素沙地表土粒度特征及其可蚀性颗粒

### 第一节 毛乌素沙地表土粒度总体特征

毛乌素沙地处鄂尔多斯高原南部，横跨内蒙古、陕西和宁夏三省(区)，是内蒙古第二大沙地。采样区位于鄂尔多斯市伊金霍洛旗、乌审旗和鄂托克前旗境内，属中温带温暖型干旱、半干旱大陆性气候，其主要特点是干旱、风大、沙多。沙地内部沙带与草原交错分布，东北部沙丘平缓且覆盖治理较好，南部沙丘高大且治理较差。沙地内部表土粒度组成见表 8-1。

从毛乌素沙地表土粒度组成表(表 8-1)分析，沙地内部各种土地类型的表土粒度主要集中于砂粒段即 1-0.05mm 粒径段，含量在 41.22%~97.63%，其中粗砂粒(1-0.25mm)含量为 0~77.12%，细砂粒(0.25-0.05mm)含量为 25.39%~94.89%。粉砂粒(0.05-0.002 mm)含量为 0~51.61%。粘粒(<0.002 mm)含量为 2.71%~10.38%。由图 8-1 可以看出，各类沙丘和林地的表土粗砂粒级含量明显大于草地，并且以移动沙丘和森林的含量较高。细砂粒级含量以固定沙丘最大，半固定沙丘其次。不同土地类型的粉砂粒级和粘粒粒级含量有较大差异，移动沙丘基本不含粉砂粒级，粘粒含量也最小。林地的粉砂含量最大，含量接近 15%。粘粒含量以耕地最大。

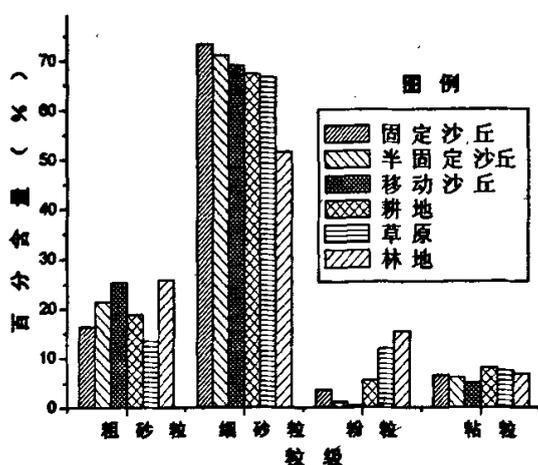


图 8-1 毛乌素沙地主要土地类型平均粒级组合图

由表 8-1 可知,毛乌素沙地的各种土地粒径平均值( $M_z$ )变化在 1.8538~4.6632 $\Phi$  之间,平均为 2.959 $\Phi$ ; 粒度标准差(SD)变化于 1.17~2.25 $\Phi$  之间,分选中等~较差;粒度的偏态( $SK_1$ )变化于 0.65~4.8,为正偏态~极正偏;峰度值( $K_g$ )变化于 3.687~24.344,峰值平缓~很尖。

表 8-1 毛乌素沙地表土粒度组成表

编号	土地类型	粒度组成 (mm)							特征值				
		1-2	1-	0.7-	0.4-0.	0.25-	0.075-	0.05-	<0.002	$M_z$	SD	$SK_1$	$K_g$
			0.7	0.4	25	0.075	0.05	0.002	( $\Phi$ )	( $\Phi$ )	( $\Phi$ )	( $\Phi$ )	
Y5	固定沙丘	0	0.2	28.8	31.2	33.16	0.96	1.35	4.33	2.122	1.68	2.91	12.22
W1	固定沙丘	0	2.6	23.2	14.4	26.1	7.94	17.84	7.92	3.091	2.32	1.15	3.687
W5	固定沙丘	0	0	2.4	25.8	65.04	0.28	0.66	5.82	2.712	1.65	3.09	12.18
W8	固定沙丘	0	0	4.8	18.6	68.85	1.05	1.41	5.29	2.738	1.6	3.02	12.28
W11	固定沙丘	0	1.6	34.6	34.6	25.28	0.11	0.5	3.31	1.853	1.51	3.42	16.43
W23	固定沙丘	0	0	0.8	5	72.21	9.47	6.25	6.27	3.251	1.68	2.48	8.64
W26	固定沙丘	0	0	2.2	14.8	71.58	0.85	3.12	7.45	3.002	1.82	2.59	8.801
W29	固定沙丘	0	0	0	0	92.74	1.01	0.61	5.64	3.009	1.48	3.71	14.96
E3	固定沙丘	0	0	0	1.6	90.66	0.2	0.39	7.15	3.072	1.65	3.24	11.67
E6	固定沙丘	0	0	0	1.2	85.64	2.25	2.93	7.98	3.224	1.76	2.76	9.05
E11	固定沙丘	0	0	0	0.8	76.72	4.2	10.16	8.12	3.455	1.84	2.21	6.725
E15	固定沙丘	0	0	0	0.2	83.03	4.11	6.24	6.42	3.248	1.65	2.76	9.522
E21	固定沙丘	0	0	0.6	6	83.55	0.96	1.13	7.76	3.086	1.76	2.87	9.831
E23	固定沙丘	0	0	0	2.6	82.59	3.63	3.38	7.8	3.23	1.76	2.7	8.874
E31	固定沙丘	0	0	0	2	86.69	1.2	0.96	7.15	3.097	1.66	3.14	11.17
40	固定沙丘	0	0	0	0.636	90.778	0.226	0.77	7.59	3.12	1.69	3.11	10.78
	平均	0	0.3	6.0875	9.965	71.039	2.403	3.606	6.625	2.957	1.72	2.82	10.43
Y8	半固定沙丘	0	0.4	20.4	34.4	40.65	0.26	0.18	3.71	2.153	1.51	3.27	15.42
W3	半固定沙丘	0	0	0.8	30.6	62.8	0.12	0.68	5	2.638	1.55	3.36	14.15
W7	半固定沙丘	0	0	31.2	34.6	29.53	0.22	0.35	4.1	1.999	1.61	3.24	14.4
W12	半固定沙丘	0	10	35.6	18.6	29.7	0.91	0.64	4.15	1.854	1.74	2.78	11.86
W22	半固定沙丘	0	0	9	22.8	60.69	1.05	1.02	5.44	2.622	1.67	2.88	11.55
W27	半固定沙丘	0	0	10.2	36.2	48.11	0.31	0.6	4.58	2.391	1.59	3.17	13.7
W30	半固定沙丘	0	0	0	0.2	92.84	0.24	0.28	6.44	3.039	1.56	3.5	13.32
E4	半固定沙丘	0	0	0	0.6	84.36	3.39	4.31	7.34	3.242	1.71	2.76	9.212
E8	半固定沙丘	0	0	0	1.2	90.84	0.46	0.37	7.13	3.078	1.65	3.25	11.71
E9	半固定沙丘	0	0	0	4	88.67	0.11	0.43	6.79	3.025	1.63	3.29	12.15
E16	半固定沙丘	0	0	0.2	2.4	85.02	2.14	2.5	7.74	3.181	1.75	2.81	9.412
E20	半固定沙丘	0	0	0.2	6.2	84.27	0.56	0.45	8.32	3.103	1.8	2.85	9.485
E25	半固定沙丘	0	0	0	8.8	83.67	0.35	0.38	6.8	2.98	1.65	3.19	11.77
E27	半固定沙丘	0	0	4.2	17.6	65.37	3.36	2.26	7.21	2.935	1.83	2.32	8.774

E28	半固定沙丘	0	0	0	2.8	85.47	2.44	1.48	7.81	3.162	1.74	2.88	9.715
E35	半固定沙丘	0	0	0	0	89.14	2.25	2.66	5.95	3.1	1.55	3.29	12.4
	平均	0	0.7	6.9875	13.81	70.071	1.136	1.162	6.157	2.781	1.66	3.06	11.81
Y7	移动沙丘	0	0	7	49.2	38.73	0.2	0.43	4.44	2.302	1.56	3.41	14.98
W6	移动沙丘	0	0	5	48	42.57	0.33	0.56	3.54	2.297	1.41	3.67	17.69
W13	移动沙丘	0	0	6.2	43	48.2	0.23	0.16	2.21	2.23	1.17	4.09	24.34
W14	移动沙丘	0	0	6.2	40.2	48.73	0.13	0.39	4.35	2.399	1.52	3.39	15.11
W15	移动沙丘	0	0	17.6	36	42.66	0.15	0.38	3.21	2.168	1.42	3.41	17.03
W21	移动沙丘	0	0	17.2	42.6	35.82	0.21	0.24	3.93	2.152	1.53	3.39	15.62
W25	移动沙丘	0	0	0	15.4	78.98	0.23	0.81	4.58	2.783	1.43	3.7	16.35
W31	移动沙丘	0	0	3.4	13.2	77.09	0.2	0.5	5.61	2.802	1.58	3.22	13.09
E1	移动沙丘	0	0	0	1.4	90.46	0.49	0.6	7.05	3.077	1.64	3.24	11.7
E2	移动沙丘	0	0	0.8	6.6	88.96	0	0.21	3.43	2.765	1.21	4.54	23.76
E7	移动沙丘	0	0	0	0.2	92.01	0.1	0.25	7.44	3.099	1.67	3.21	11.35
E10	移动沙丘	0	0	0	1.4	94.7	0.19	0	3.71	2.845	1.21	4.8	24.41
E14	移动沙丘	0	0	1.8	11.8	79.03	0.35	0.2	6.82	2.915	1.69	3.05	11.32
E19	移动沙丘	0	0	0	12.4	79.39	0.5	0.33	7.38	2.981	1.73	2.99	10.59
E24	移动沙丘	0	0	0.4	12.8	81.54	0.72	0.26	4.28	2.775	1.37	3.9	18.07
W9	移动沙丘	0	0	31.8	37	27.77	0.47	0.25	2.71	1.877	1.38	3.61	18.85
E26	移动沙丘	0	0	6.2	31.2	55.25	0.28	0.39	6.68	2.638	1.8	2.82	10.41
E32	移动沙丘	0	0	0	0.2	89.44	1.67	1.14	7.55	3.152	1.69	3.05	10.5
E34	移动沙丘	0	0	0	0	91.57	0.79	0.49	7.15	3.099	1.64	3.25	11.65
39	移动沙丘	0	0	0	1.601	91.35	1.334	0.43	5.285	2.971	1.44	3.8	15.88
	平均	0	0	5.18	20.21	68.712	0.429	0.401	5.068	2.666	1.51	3.53	15.64
W10	玉米地	0	1.6	24.2	25	43.54	0.6	0.78	4.28	2.208	1.65	2.86	12.42
Y3	玉米地	0.2	0.6	15.6	17	46.54	4.4	7.96	7.7	2.916	2.09	1.78	5.76
Y4	撂荒地	0	0.8	8.4	12.4	58.18	5.43	7.01	7.78	3.084	1.98	1.92	6.306
W19	玉米地	0	1.6	5.4	8	70.32	2.2	2.88	9.6	3.124	2.05	2.1	6.565
E12	玉米地	0	0	0	3.6	83.22	1.42	3.86	7.9	3.208	1.78	2.68	8.75
E18	改造农田	0	0	2.4	5.2	73.96	3.98	5.45	9.01	3.298	1.94	2.2	6.765
E33	玉米地	0	0	0.4	0.2	65.6	12.63	10.79	10.38	3.73	1.99	1.81	5.102
	平均	0	0.7	8.0571	10.2	63.051	4.38	5.533	8.093	3.081	1.92	2.19	7.382
W20	退化草地	0	0.8	5.2	6.6	70.83	2.75	5.21	8.61	3.167	1.96	2.12	6.781
Y6	丘间甸子地	0	1.4	20.8	23.4	42.93	2.05	4.43	4.99	2.45	1.81	2.31	8.766
W2	荒漠草原	0	5	21.6	17.8	32.97	4.79	10	7.84	2.772	2.25	1.56	4.878
W18	草地	0	1.6	6.2	14.8	37.36	8.03	24.23	7.78	3.571	2.12	1.06	3.725
W24	退化草原	0	0	3	29.2	57.77	1.73	2.95	5.35	2.718	1.66	2.82	10.91
45	荒漠草原	0	0	0	0.369	39.002	41.43	11.43	7.765	3.984	1.69	1.82	6.066
11	退化草原	0	0.4	1.1683	9.509	50.744	13.39	15.71	9.105	3.675	2.02	1.5	4.605
43	裸地(2-43)	0	0.3	0.2403	1.412	63.626	20.9	6.755	6.785	3.494	1.7	2.23	7.548
42	荒漠草原	0	0	0.1	0.8	51	28.2	12.25	7.65	3.81	1.75	1.84	5.928
E5	典型草原	0	0	0	0.4	86.21	2.61	3.19	7.59	3.219	1.72	2.82	9.436

E13	草地	0	0	1.6	0.8	20.07	18.75	51.61	7.17	4.663	1.65	0.65	4.291
E17	退化草原	0	3.2	2.4	3	53.61	10.16	19.26	8.37	3.653	2.03	1.28	4.391
E22	草地	0	0	1.8	4.4	74.97	5.11	5.44	8.28	3.285	1.86	2.31	7.326
E29	草地	0	0	0.4	5.8	78.4	5.52	2.32	7.56	3.174	1.75	2.7	9.101
E30	围封草地	0	0	0.8	6.4	70.12	7.67	5.9	9.11	3.383	1.93	2.14	6.486
	平均	0	0.8	4.3539	8.313	55.307	11.54	12.05	7.597	3.401	1.86	1.94	6.683
W28	林地	0	2.6	6.4	6.4	49.98	8.61	17.43	8.58	3.507	2.11	1.28	4.274
Y1	林地	0.8	9.2	27.6	15.2	27.79	5.39	7.63	6.39	2.42	2.19	1.68	5.563
Y2	林地	0	1	7.8	11.6	61.47	4.65	6.31	7.17	3.03	1.91	2.05	6.964
W17	林地	0	0.4	13.8	24.4	36.13	6.29	15.25	3.73	2.852	1.82	1.51	5.447
W16	臭柏林地	0	0	1	1.4	40	18.54	30.57	8.49	4.192	1.87	1.15	4.018
	平均	0.2	2.6	11.32	11.8	43.074	8.696	15.44	6.872	3.2	1.98	1.53	5.253

## 第二节 毛乌素沙地土地类型间表土粒度的变异

由表 8-1 和表 4-3 可知, 此次毛乌素沙地土地类型采样研究对象主要包括固定沙丘、半固定沙丘、移动沙丘、耕地、林地及草地。不同土地类型其地上覆被、人类利用状态、土壤其它特性等情况在理论上都存在差异, 在土壤风蚀的背景下, 各种土地类型表层粒度是否发生分异, 是我们应该关注的。

毛乌素沙地各种土地类型的表土粒度的变异特征首先可以通过描述总体特征参数的差异表现出来。由表 8-1 可知, 固定沙丘的平均粒径变化于 1.853—3.455 $\Phi$  之间, 平均为 2.957 $\Phi$ ; 标准差变化于 1.477—1.836 $\Phi$  之间, 平均为 1.719 $\Phi$ ; 偏度值变化于 1.147—3.707 之间, 平均为 2.822; 峰度值变化于 3.6867—16.428 之间, 平均 10.427。半固定沙丘的平均粒径变化于 1.8538—3.2418 $\Phi$  之间, 平均为 2.7813 $\Phi$ ; 标准差变化于 1.513—1.825 $\Phi$  之间, 平均为 1.658 $\Phi$ ; 偏度值变化于 2.524—3.499 之间, 平均为 3.064; 峰度值变化于 8.7743—15.419 之间, 平均 11.814。移动沙丘的平均粒径变化于 1.877—3.152 $\Phi$  之间, 平均为 2.666 $\Phi$ ; 标准差变化于 1.172—1.796 $\Phi$  之间, 平均为 1.505 $\Phi$ ; 偏度值变化于 2.819—4.799 之间, 平均为 3.526; 峰度值变化于 10.406—24.344 之间, 平均 15.636。耕地的平均粒径是 2.208—3.73 $\Phi$ , 平均 3.0812 $\Phi$ ; 标准差为 1.645—2.088 $\Phi$ , 平均 1.925; 偏度值为 1.78—2.858, 平均 2.195; 峰度值 5.1021—12.424, 平均 7.3816。林地的平均粒径变化于 2.4202—4.1923 $\Phi$  之间, 平均为 3.2 $\Phi$ ; 标准差变化于 1.824—2.186 $\Phi$  之间, 平均为 1.981 $\Phi$ ; 偏度值变化于 1.146—2.049 之间, 平均为 1.533; 峰度值变化于 4.0177—6.9639 之间, 平均 5.2531。草地的平均粒径变化于 2.4502—4.6632 $\Phi$  之间, 平均为 3.4012 $\Phi$ ;

标准差变化于 1.655—2.248 $\Phi$  之间, 平均为 1.862 $\Phi$ ; 偏度值变化于 0.652—2.822 之间, 平均为 1.945; 峰度值变化于 3.7246—10.91 之间, 平均 6.6862。

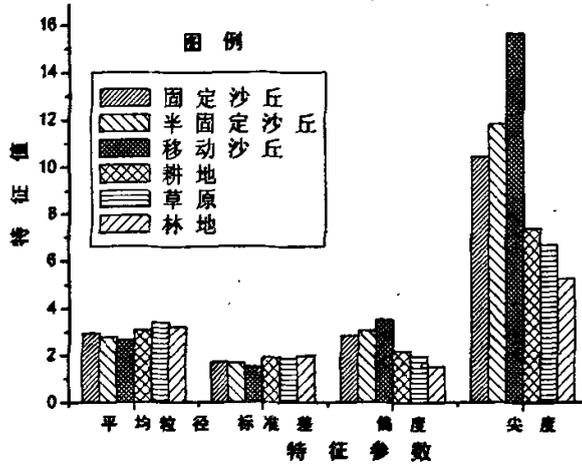


图 8-2 毛乌素沙地不同土地类型粒度特征参数平均值图

由图 8-2 可以直观的看出, 就粒度平均而言, 以草地和林地特征值较大, 说明草地和林地的颗粒级配较为细小。半固定沙丘和移动沙丘粒径平均较为接近, 处于各种土地类型的较低状态。土地类型中以移动沙丘的粒度组成最为粗化。就标准差而言, 耕地、草地和林地特征值接近, 特征值相对大些, 而各类沙丘较为接近, 特征值较小。标准偏差通常用来表征粒度分布的分选性, 因而可以说明移动沙丘和半固定沙丘分选较好, 草地、林地、耕地分选性较差。就偏度和峰度而言, 移动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘表现出极强的正偏和较尖的峰值, 尤以移动沙丘最为典型; 而耕地、林地、草地虽然也表现出正偏, 但其偏移值较小, 峰值也较为平缓。尤以林地的偏度和峰度最小。

毛乌素沙地不同土地类型间的差异还可以通过剖析其粒度组成加以表现。如图 8-3 我们可以看到, 不同土地类型间其具体粒度分布存在差异。毛乌素沙地的各种土地类型的峰值粒径都处于 0.25-0.075mm 段。总体而言, 各类沙丘的主要颗粒集中于 0.7-0.075mm 段, 而在 0.05-0.075mm 和 0.05-0.002mm 段移动沙丘和半固定沙丘基本不含该粒级颗粒, 在 <0.002mm 段的粘粒部分含量也非常小, 可能与细小的粘粒粘附在沙粒上而得以保留下来有关; 草地、林地、耕地的粒度分布较为平缓, 其中以林地的分布最为平缓。草地的主要颗粒集中于 0.25-0.075mm 段, 并且在 0.075-0.05mm 粒径段含量最高; 耕地的表土颗粒在 1-0.7mm 段缺失, 在粘粒 (<0.002mm) 段含量

最高；林地的颗粒分布最为平均，并且在粉粒（0.05-0.002mm）段比其它用地含量要高。由此可以看出，在区域土壤风蚀的影响下，各种土地类型表土粒度组成存在明显的分异，并且由各种土地类型的级配分异也充分反映了土壤风蚀的阶段性。

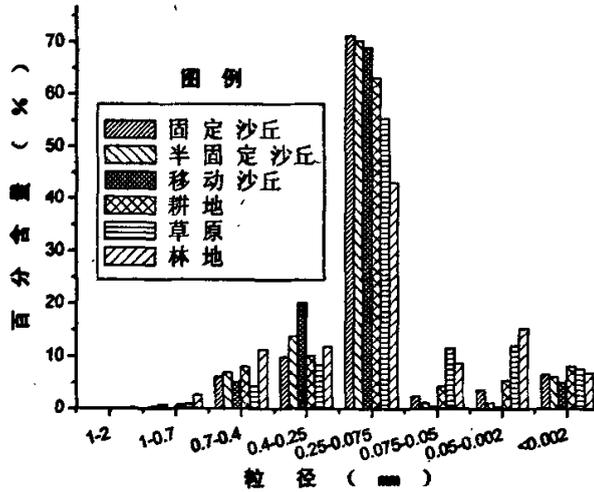


图 8-3 毛乌素沙地不同土地类型平均粒度组成图

### 第三节 毛乌素沙地不同土地类型表土粒度的空间变异

土壤特征会随着周围环境的变化而变化，伴随着空间的变化，各地环境也会发生分异。土壤表层粒度特征是否具有空间分异，显然我们应予关注。为了探视毛乌素沙地表层粒度分布在空间上是否具有变异规律，本次采样选取位于沙地东北部的伊金霍洛旗开始采样，同时向西南部的乌审旗和鄂托克前旗方向展开。采样点以线性南北纵穿了毛乌素沙地。考虑到不同土地类型的表层环境存在差异，基于此，我们在描述土壤表层颗粒的空间变异时选取同种土地类型，观察其随空间是否具有变异规律。

表 8-2 毛乌素沙地移动沙丘采样位置及其特征值

编号	土地类型	纬度	经度	平均值	标准差	偏度	尖度
Y7	移动沙丘	39.0519	109.5371	2.3022	1.5581	3.4126	14.9838
W6	移动沙丘	39.1423	109.3256	2.2975	1.4142	3.6691	17.6936
W9	移动沙丘	39.0927	109.5106	1.8771	1.3846	3.6059	18.8498
W13	移动沙丘	38.9943	109.3594	2.23	1.172	4.0899	24.3442
W14	移动沙丘	38.9678	109.2948	2.3985	1.5247	3.3884	15.1138
W15	移动沙丘	38.9681	109.2929	2.1677	1.4213	3.4123	17.0284
W21	移动沙丘	38.4206	108.7007	2.1515	1.5297	3.3879	15.6184

W25	移动沙丘	38.1689	108.6628	2.7826	1.4256	3.6963	16.3488
W31	移动沙丘	37.7057	108.488	2.8016	1.5816	3.2223	13.0916
E1	移动沙丘	37.7224	108.488	3.0774	1.6417	3.2393	11.7028
E2	移动沙丘	37.7236	108.2057	2.7646	1.2106	4.5407	23.7556
E7	移动沙丘	37.7869	108.1395	3.0995	1.6696	3.21	11.3542
E10	移动沙丘	37.8978	108.0153	2.8455	1.2086	4.7988	24.4143
E14	移动沙丘	38.0434	107.744	2.9146	1.6892	3.052	11.319
E19	移动沙丘	38.0681	107.1969	2.9813	1.7313	2.9892	10.5941
E24	移动沙丘	38.2051	107.0976	2.7748	1.368	3.8991	18.0662
E26	移动沙丘	38.2143	107.0122	2.6384	1.7958	2.8189	10.4059
E32	移动沙丘	38.2747	106.5417	3.1516	1.6945	3.0454	10.5038
E34	新成移动沙丘	38.298	106.5432	3.099	1.6429	3.246	11.6488

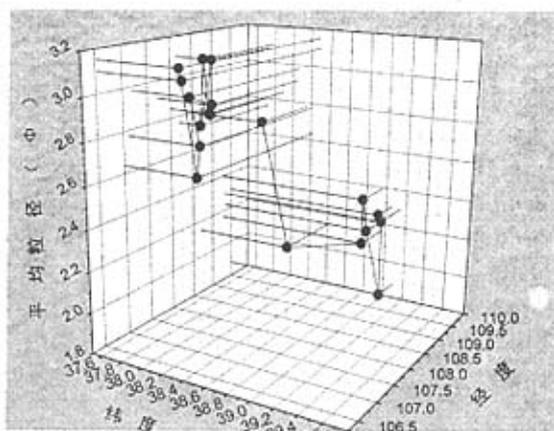


图 8-4 毛乌素沙地移动沙丘平均粒度空间变异图

由表 8-2 和图 8-4 可以看出,毛乌素沙地移动沙丘表层平均粒径存在较为明显的空间变异。移动沙丘表层平均粒径整体规律是由东北向西南粒度变细,平均粒径值变大。采样自伊旗出发,原定走西北方然后南北向正穿沙地,由于道路无法通行被迫返回,改线东北-西南方向斜穿沙地,所以前三个数据点空间上是向西北方,其变异规律是粒度平均值变小,代表的是表层沙粒变粗。从第三个数据点开始东北-西南向采样,其规律是由东北向西南粒径平均值变大,代表土壤表层颗粒变细。从第九个数据点开始,曲线有点混乱,原因是由于我们第二天从乌审旗出发后曾南北向正穿到达内蒙古与陕西靖边县交界处改道东南—西北向横穿鄂托克前旗。在该段整体上的规律是自北向南,表层粒径平均值变大,表层颗粒变细,自东向西,表层粒径平均值变小而表层颗粒变细。

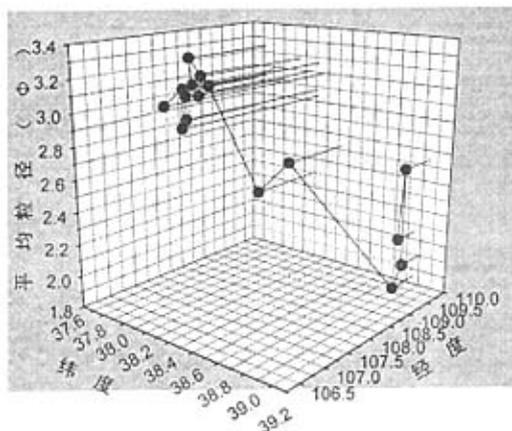


图 8-5 毛乌素沙地半固定沙丘平均粒度空间变异

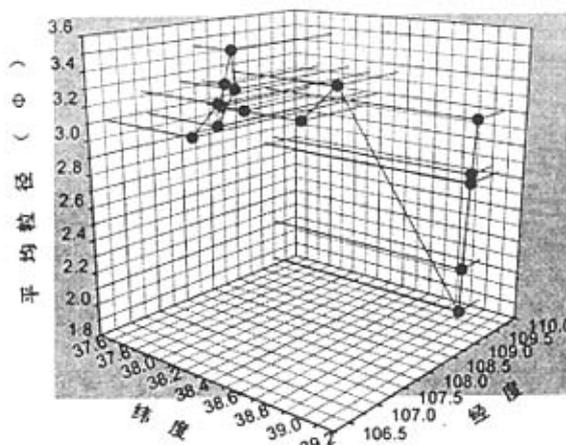


图 8-6 毛乌素沙地固定沙丘平均粒度空间变异图

由图 8-5 和图 8-6 结合图 8-4 我们可以明显看出，固定沙丘、半固定沙丘与移动沙丘具有同步的变异规律，区别只在于移动沙丘的平均粒径在空间上的变异幅度较大而已。此一事实说明毛乌素沙地土壤表层粒度分布存在比较明显的空间变异规律，即北部颗粒粗，西部颗粒粗，向东向南，颗粒变细。相信该结论有助于我们深入细致的认识毛乌素沙地的土壤空间变异规律，对于区域性荒漠化防治将起到积极的作用。

#### 第四节 毛乌素沙地不同土地类型间可蚀性颗粒的讨论

我们对毛乌素沙地敏感粒径段与易蚀粒径段的相对值大小进行比较。由表 8-2 可以看出，毛乌素沙地敏感粒径段与易蚀粒径段的相对值大小表现为草地 (0.8772) > 固定沙丘 (0.8549) > 耕地 (0.8542) > 半固定沙丘 (0.8179) > 林地 (0.7874) > 移

动沙丘 (0.7612)。说明在毛乌素沙地, 移动沙丘及半固定沙丘可蚀性颗粒物释放较多, 而该区的林地取样由于包含有较多移动沙丘附近固沙林带, 表层可能有来自移动沙丘的侵蚀物的堆积, 所以可蚀性颗粒物释放也比较多。

起尘颗粒以林地、地带性草原植被和耕地的含量较大, 而各类沙丘含量较小。据此我们可以认为, 大范围的沙尘暴天气的尘源物主要应来自于退化的耕地和草原。

表 8-2 毛乌素沙地不同土地类型可蚀性粒级比较表

编号	土地类型	难蚀颗粒	较难蚀颗粒	易蚀颗粒	敏感颗粒	起尘颗粒	敏感/易蚀
		1-0.7 和 < 0.05	0.7-0.4 和 0.075-0.05	0.4-0.075	0.25-0.075	0.075-0.002	
Y5	固定沙丘	5.88	29.76	64.36	33.2	2.31	0.5152
W1	固定沙丘	28.36	31.14	40.5	26.1	25.78	0.6444
W5	固定沙丘	6.48	2.68	90.84	65	0.94	0.716
W8	固定沙丘	6.7	5.85	87.45	68.9	2.46	0.7873
W11	固定沙丘	5.41	34.71	59.88	25.3	0.61	0.4222
W23	固定沙丘	12.52	10.27	77.21	72.2	15.72	0.9352
W26	固定沙丘	10.57	3.05	86.38	71.6	3.97	0.8287
W29	固定沙丘	6.25	1.01	92.74	92.7	1.62	1
E3	固定沙丘	7.54	0.2	92.26	90.7	0.59	0.9827
E6	固定沙丘	10.91	2.25	86.84	85.6	5.18	0.9862
E11	固定沙丘	18.28	4.2	77.52	76.7	14.36	0.9897
E15	固定沙丘	12.66	4.11	83.23	83	10.35	0.9976
E21	固定沙丘	8.89	1.56	89.55	83.6	2.09	0.933
E23	固定沙丘	11.18	3.63	85.19	82.6	7.01	0.9695
E31	固定沙丘	8.11	1.2	90.69	88.7	2.16	0.9779
40	固定沙丘	8.36	0.226	91.414	90.8	0.996	0.993
	平均					6.009	0.8549
Y8	半固定沙丘	4.29	20.66	75.05	40.7	0.44	0.5416
W3	半固定沙丘	5.68	0.92	93.4	62.8	0.8	0.6724
W7	半固定沙丘	4.45	31.42	64.13	29.5	0.57	0.4605
W12	半固定沙丘	14.79	36.51	48.3	29.7	1.55	0.6149
W22	半固定沙丘	6.46	10.05	83.49	60.7	2.07	0.7269
W27	半固定沙丘	5.18	10.51	84.31	48.1	0.91	0.5706
W30	半固定沙丘	6.72	0.24	93.04	92.8	0.52	0.9979
E4	半固定沙丘	11.65	3.39	84.96	84.4	7.7	0.9929
E8	半固定沙丘	7.5	0.46	92.04	90.8	0.83	0.987
E9	半固定沙丘	7.22	0.11	92.67	88.7	0.54	0.9568
E16	半固定沙丘	10.24	2.34	87.42	85	4.64	0.9725
E20	半固定沙丘	8.77	0.76	90.47	84.3	1.01	0.9315
E25	半固定沙丘	7.18	0.35	92.47	83.7	0.73	0.9048
E27	半固定沙丘	9.47	7.56	82.97	65.4	5.62	0.7879
E28	半固定沙丘	9.29	2.44	88.27	85.5	3.92	0.9683
E35	半固定沙丘	8.61	2.25	89.14	89.1	4.91	1
	平均					2.2975	0.8179
Y7	移动沙丘	4.87	7.2	87.93	38.7	0.63	0.4405

W6	移动沙丘	4.1	5.33	90.57	42.6	0.89	0.47
W13	移动沙丘	2.37	6.43	91.2	48.2	0.39	0.5285
W14	移动沙丘	4.74	6.33	88.93	48.7	0.52	0.548
W15	移动沙丘	3.59	17.75	78.66	42.7	0.53	0.5423
W21	移动沙丘	4.17	17.41	78.42	35.8	0.45	0.4568
W25	移动沙丘	5.39	0.23	94.38	79	1.04	0.8368
W31	移动沙丘	6.11	3.6	90.29	77.1	0.7	0.8538
E1	移动沙丘	7.65	0.49	91.86	90.5	1.09	0.9848
E2	移动沙丘	3.64	0.8	95.56	89	0.21	0.9309
E7	移动沙丘	7.69	0.1	92.21	92	0.35	0.9978
E10	移动沙丘	3.71	0.19	96.1	94.7	0.19	0.9854
E14	移动沙丘	7.02	2.15	90.83	79	0.55	0.8701
E19	移动沙丘	7.71	0.5	91.79	79.4	0.83	0.8649
E24	移动沙丘	4.54	1.12	94.34	81.5	0.98	0.8643
W9	移动沙丘	2.96	32.27	64.77	27.8	0.72	0.4287
E26	移动沙丘	7.07	6.48	86.45	55.3	0.67	0.6391
E32	移动沙丘	8.69	1.67	89.64	89.4	2.81	0.9978
E34	移动沙丘	7.64	0.79	91.57	91.6	1.28	1
39	移动沙丘	5.715	1.334	92.951	91.4	1.764	0.9828
	平均					0.8297	0.7612
W10	玉米地	6.66	24.8	68.54	43.5	1.38	0.6352
Y3	玉米地	16.46	20	63.54	46.5	12.36	0.7325
Y4	撂荒地	15.59	13.83	70.58	58.2	12.44	0.8243
W19	玉米地	14.08	7.6	78.32	70.3	5.08	0.8979
E12	玉米地	11.76	1.42	86.82	83.2	5.28	0.9585
E18	改造农田	14.46	6.38	79.16	74	9.43	0.9343
E33	玉米地	21.17	13.03	65.8	65.6	23.42	0.997
	平均					9.913	0.8542
W20	退化草地	14.62	7.95	77.43	70.8	7.96	0.9148
Y6	丘间甸子地	10.82	22.85	66.33	42.9	6.48	0.6472
W2	荒漠草原	22.84	26.39	50.77	33	14.79	0.6494
W18	草地	33.61	14.23	52.16	37.4	32.26	0.7163
W24	退化草原	8.3	4.73	86.97	57.8	4.68	0.6643
45	荒漠草原	19.195	41.43	39.371	39	52.86	0.9906
11	退化草原	25.215	14.558	60.253	50.7	29.1	0.8422
43	裸地	13.84	21.14	65.038	63.6	27.66	0.9783
42	荒漠草原	19.9	28.3	51.8	51	40.45	0.9846
E5	典型草原	10.78	2.61	86.61	86.2	5.8	0.9954
E13	草地	58.78	20.35	20.87	20.1	70.36	0.9617
E17	退化草原	30.83	12.56	56.61	53.6	29.42	0.947
E22	草地	13.72	6.91	79.37	75	10.55	0.9446
E29	草地	9.88	5.92	84.2	78.4	7.84	0.9311
E30	围封草地	15.01	8.47	76.52	70.1	13.57	0.9164
	平均					23.585	0.8722
W28	林地	28.61	15.01	56.38	50	26.04	0.8865
Y1	林地	24.02	32.99	42.99	27.8	13.02	0.6464
Y2	林地	14.48	12.45	73.07	61.5	10.96	0.8412
W17	林地	19.38	20.09	60.53	36.1	21.54	0.5969
W16	臭柏林地	39.06	19.54	41.4	40	49.11	0.9662
	平均					24.134	0.7874

## 第九章 腾格里沙漠表土粒度特征及其可蚀性颗粒

### 第一节 腾格里沙漠表土粒度总体特征

腾格里沙漠地处阿拉善高原的东南，介于雅布赖山与贺兰山之间，在内蒙古境内面积近 3.00 万 km<sup>2</sup>，是内蒙古的第二大沙漠，我国的第四大沙漠，是治理利用条件较优越、并在防沙治沙上取得重大成绩和经验的沙漠之一。采样区位于腾格里沙漠东北部的阿拉善左旗，该区属典型大陆性气候，为中温带荒漠干旱区，土壤以区域性风沙土分布面积最广。

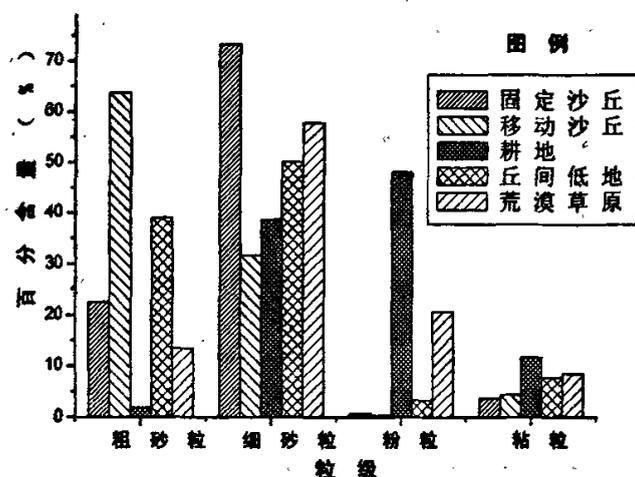


图 9-1 腾格里沙漠主要土地类型平均粒度组合图

从腾格里沙漠表土粒度组成表（表 9-1）分析，沙漠周边除耕地和部分荒漠草原外其它土地类型的表土粒度主要集中于砂粒段即 1-0.05mm 粒径段，含量在 40.1%~97.7%，其中粗砂粒（1-0.25mm）含量为 1.8687%~74.5664%，细砂粒（0.25-0.05mm）含量为 11.5%~92.7794%。耕地和部分荒漠草原的粒度主要集中于粉砂粒级即 0.05-0.002mm 段，含量达 47.8918%~48.12%。由图 9-1 可以看出，移动沙丘、丘间低地、固定沙丘表土粗砂粒级含量明显大于耕地和草地，并且以移动沙丘含量最高。细砂粒级含量以固定沙丘最大，荒漠草原其次。移动沙丘、丘间低地、固定沙丘的粉砂粒级和粘粒粒级含量较小，尤其是移动沙丘基本不含粉砂粒级。固定

沙丘、移动沙丘粘粒含量也非常小。

由表 9-1 可知, 腾格里沙漠周边的各种土地粒径平均值 ( $M_z$ ) 变化在 1.3588~4.8518 $\Phi$  之间, 平均为 2.8465 $\Phi$ ; 粒度标准差 (SD) 变化于 1.1119~2.0847 $\Phi$  之间, 分选中等~较差; 粒度偏态 ( $SK_1$ ) 变化于 0.2509~4.9351, 为稍正偏~极正偏; 峰度值 ( $K_g$ ) 变化于 3.4782~33.1341, 峰值为平缓~很尖。

表 9-1 腾格里沙漠表土粒度组成表

编 号	土地类型	粒度组成 (mm)							特征值				
		1—	1-	0.7-	0.4-	0.25-	0.075-	0.05-	<0.002	$M_z$	SD	$SK_1$	$K_g$
		2	0.7	0.4	0.25	0.075	0.05	0.002	( $\Phi$ )	( $\Phi$ )	( $\Phi$ )	( $\Phi$ )	
A11	固定沙丘	0	0	18.6	24.4	53.08	0.46	0.51	2.95	2.2573	1.3851	3.2088	16.56
61	固定沙丘	0	0	0	2.0956	83.15	9.6249	0.69	4.435	3.0328	1.3667	3.6463	15.85
	平均	0	0	9.3	13.248	68.12	5.0424	0.6	3.693	2.6451	1.3759	3.4275	16.21
A12	移动沙丘	0	1.2	23.4	20.4	51.58	0.24	0.34	2.84	2.1697	1.4013	3.065	16.05
A13	移动沙丘	0	0.2	64.2	22.6	11.34	0.16	0	1.5	1.3588	1.1119	4.9351	33.13
A14	移动沙丘	0	4.8	45.2	17.4	29.55	0.16	0.19	2.7	1.7164	1.4594	3.2725	16.66
96	移动沙丘	0	0	0.3511	50.665	39.88	1.4856	0.1833	7.44	2.606	1.8849	2.7939	9.694
99	移动沙丘	0	3.4	19.4	49.766	10.9	12.234	0.415	1.885	1.9529	1.4067	2.5833	12.52
56	移动沙丘	0	0	11	49.347	13.7	16.543	0.43	6.98	2.6168	1.9969	2.1727	7.28
51	移动沙丘	0	0	13.5	47.14	14.7	16.965	0.72	6.975	2.608	2.0172	2.1134	7.046
	平均	0	1.657	25.293	36.76	24.81	6.8268	0.3255	4.331	2.1469	1.6112	2.9908	14.62
55	草地	0	0	0	1.8687	20.98	17.588	47.892	11.67	4.8518	1.8502	0.8041	3.478
49	丘间低地	0	5.448	5.793	27.718	34.41	15.519	3.33	7.785	2.9082	2.0847	1.7447	5.858
63	砾质荒漠	0.9	1.3	1.3	6.5254	6	23.987	48.12	11.87	4.8294	1.9985	0.2509	3.759
78	荒漠	0	3.019	2.0309	4.4528	48.53	25.615	10.21	6.14	3.4018	1.792	1.5202	5.984
53	荒漠草原	0.5	5.7	9.1	5.2	21.9	46.785	3.46	7.355	3.4604	2.0242	0.9956	4.785
	平均	0.47	3.34	4.1436	5.5721	25.48	32.129	20.597	8.455	3.9239	1.9382	0.9222	4.843

## 第二节 腾格里沙漠土地类型间表土粒度的变异

由表 9-1 和表 4-6 可知, 此次腾格里沙漠周边土地类型采样研究对象主要包括固定沙丘、移动沙丘、丘间低地、耕地、及草地。

腾格里沙漠各种土地类型的表土粒度的变异特征首先可以通过描述总体特征参数的差异表现出来。由表 9-1 可知, 固定沙丘的平均粒径平均为 2.6451 $\Phi$ ; 标准差平均为 1.3759 $\Phi$ ; 偏度值平均为 3.4275; 峰度值平均 16.2063。移动沙丘的平均粒径变化于 1.3588—2.6168 $\Phi$  之间, 平均为 2.1469 $\Phi$ ; 标准差变化于 1.1119—2.0172 $\Phi$

之间, 平均为  $1.6112\Phi$ ; 偏度值变化于  $2.1134-4.9351$  之间, 平均为  $2.9908$ ; 峰度值变化于  $7.046-33.1341$  之间, 平均  $14.62$ 。耕地的平均粒径为  $4.8518\Phi$ ; 标准差为  $1.8502$ ; 偏度值为  $0.8041$ ; 峰度值为  $3.4781$ 。草地的平均粒径变化于  $3.4604-4.8294\Phi$  之间, 平均为  $3.9239\Phi$ ; 标准差变化于  $1.792-2.0242\Phi$  之间, 平均为  $1.9382\Phi$ ; 偏度值变化于  $0.2509-1.5202$  之间, 平均为  $0.9222$ ; 峰度值变化于  $4.785-5.9836$  之间, 平均  $4.843$ 。丘间低地的平均粒径为  $2.9082\Phi$ ; 标准差为  $2.0847$ ; 偏度值为  $1.7447$ ; 峰度值为  $5.8579$ 。

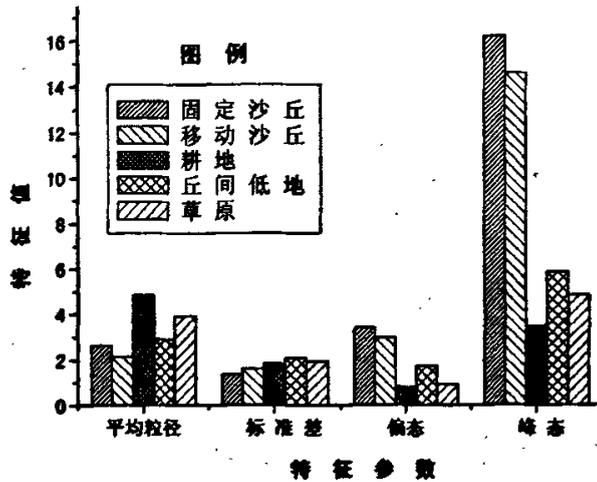


图 9-2 腾格里沙漠不同土地类型粒度特征参数平均值图

由图 9-2 可以直观的看出, 就粒度平均而言, 腾格里沙漠以耕地和草原的特征值较大, 说明耕地和草原的颗粒级配较为细小。各类沙丘粒度平均较为接近, 处于各种土地类型的较低状态。土地类型中以移动沙丘的粒度组成最为粗化。就标准差而言, 丘间低地的值最大, 固定沙丘的特征值较小。标准偏差通常用来表征粒度分布的分选性, 因而可以说明丘间低地分选较好而固定沙丘分选性相对较差。就偏度和峰度而言, 移动沙丘、固定沙丘表现出极强的正偏和较尖的峰值, 尤以固定沙丘最为典型; 而耕地、草地虽然也表现出正偏, 但其偏移值较小, 峰值也较为平缓。

腾格里沙漠不同土地类型间的差异还可以通过剖析其粒度组成加以表现。如图 9-3 我们可以看到, 不同土地类型间其具体粒度分布存在差异。腾格里沙漠的移动沙丘、固定沙丘和丘间低地的峰值粒径都处于  $0.25-0.05\text{mm}$  段。总体而言, 移动沙丘的

峰值粒径出现在 0.7-0.4mm 段, 在 0.4-0.25mm、0.25-0.075mm 段和 0.075-0.05mm 段分布较为平均, 而在 0.05-0.002mm 段移动沙丘基本不含该粒级颗粒, 在 <0.002mm 段的粘粒部分含量也非常小, 体现了粒度粗化前移后的结果。固定沙丘和丘间低地的峰值粒径出现在 0.25-0.075mm 段, 在粉砂粒级 (0.05-0.002mm) 段含量非常少, 且丘间低地相较固定沙丘要稍大。草地的峰值粒径出现在 0.075-0.05mm 段, 全粒级段颗粒分布较为平均。耕地的峰值粒径出现在粉砂粒级 (0.05-0.002mm) 段, 颗粒分布也较为平均, 并且耕地在几种土地类型中是在粉砂粒级和粘粒级含量最高的。总体而言, 各类沙丘及其丘间低地, 颗粒分别前移, 粗化现象明显; 耕地和草地颗粒后移, 颗粒较为细小。

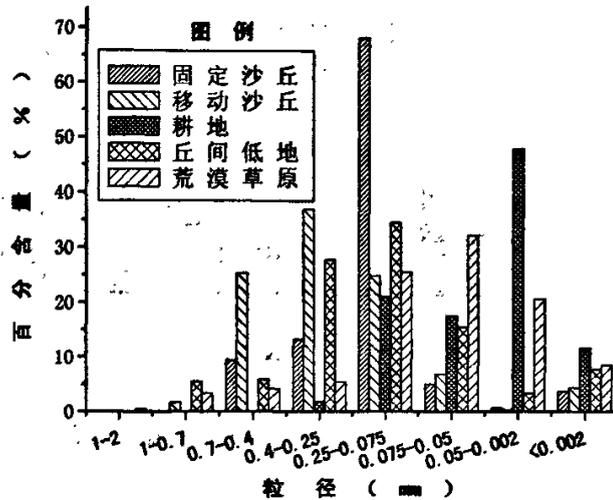


图 9-3 腾格里沙漠不同土地类型粒度分布平均组成图

### 第三节 腾格里沙漠不同土地类型间可蚀性颗粒的讨论

表 9-2 腾格里沙漠不同土地类型可蚀性粒级比较表

编号	土地类型	难蚀颗粒	较难蚀颗粒	易蚀颗粒	敏感颗粒	起尘颗粒	敏感/易蚀
		1-0.7 和 <0.05	0.7-0.4 和 0.075-0.05	0.4-0.075	0.25-0.075	0.075-0.002	
A11	固定沙丘	3.46	19.06	77.48	53.1	0.97	0.6851
61	固定沙丘	5.125	9.6249	85.246	83.2	10.31	0.9754
	平均					5.64	0.8302

A12	移动沙丘	4.38	23.64	71.98	51.6	0.58	0.7166
A13	移动沙丘	1.7	64.36	33.94	11.3	0.16	0.3341
A14	移动沙丘	7.69	45.36	46.95	29.6	0.35	0.6294
96	移动沙丘	7.6233	1.8367	90.545	39.9	1.669	0.4404
59	移动沙丘	7.7	31.634	60.666	10.9	12.65	0.1797
56	移动沙丘	7.41	27.543	65.047	15.7	16.97	0.2414
51	移动沙丘	7.695	30.465	61.84	14.7	17.69	0.2377
	平均					7.1527	0.397
55	农地	59.562	17.588	22.849	21	65.48	0.9182
49	丘间低地	16.563	21.312	62.128	34.4	18.85	0.5539
63	砾质荒漠	62.19	25.287	12.523	6	72.11	0.4791
78	荒漠	19.369	27.646	52.983	48.5	35.83	0.916
53	荒漠草原	17.015	55.885	27.1	21.9	50.25	0.8081
	平均					52.73	0.735

我们对腾格里沙漠敏感粒径段与易蚀粒径段的相对值大小进行比较。由表 9-2 可以看出，腾格里沙漠敏感粒径段与易蚀粒径段的相对值大小表现为耕地 (0.9182) > 固定沙丘 (0.8302) > 草地 (0.7344) > 丘间低地 (0.5539) > 移动沙丘 (0.397)。说明在腾格里沙漠，移动沙丘及丘间低地可蚀性颗粒物释放较多。起尘颗粒以地带性草原植被和耕地的含量较大，而各类沙丘含量较小。据此我们可以认为，大范围的沙尘暴天气的尘源物主要应来自于退化的耕地和草原。

## 第十章 乌兰布和沙漠表土粒度特征及其可蚀性颗粒

### 第一节 乌兰布和沙漠表土粒度总体特征

乌兰布和沙漠是中国境内八大沙漠之一，呈东北—西南分布于河套平原的西南部，介于黄河、狼山、巴彦乌拉山之间。乌兰布和沙漠地处我国西北干旱荒漠区的东缘，也是中国北方东部季风气候区的最西缘，自然环境敏感而易变。沙漠区的北部与狼山山地的西端相毗连，东侧濒临黄河，沿河形成的河谷平原与河套平原区紧紧相连；其西南为吉兰泰盐池，向西逐渐进入阿拉善典型荒漠区。本次采样选取了沙漠西南部的吉兰泰地区和东侧的磴口县。

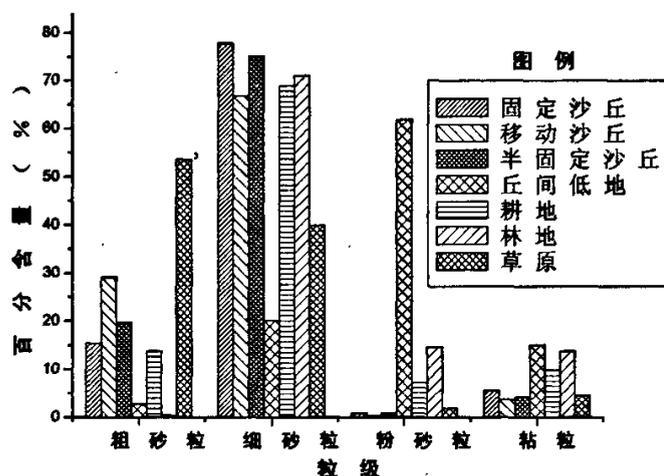


图 10-1 乌兰布和沙漠主要土地类型平均粒度组成图

从乌兰布和沙漠表土粒度组成表（表 10-1）分析，除丘间红粘土低地外，乌兰布和沙漠的其它土地类型的主要粒度分布于砂粒段（1-0.05mm）段，含量在 71.44%~97.43%，其中粗砂粒（1-0.25mm）含量为 0.4%~80.4%，细砂粒（0.25-0.05mm）含量为 32.49%~93.25%。各类沙丘粉砂粒级含量低于 1%和粘粒级含量小于 5%。林地、耕地粉砂和粘粒级含量较高。乌兰布和沙漠丘间风蚀残留红粘土低地的主要粒度分布于粉砂粒级（0.05-0.002 mm）段含量达 61.94%，其粗砂含量 2.8%，含有 20.175%的细砂和 15.085%的粘粒。在该组土地类型中，其中变异性最大的当属荒漠草原，

其粗砂粒级段的高含量只是单样本的数据，并未象其它各类沙丘数据是多样本的平均，所以只是列出其数据，其数据不代表整体。该组数据中耕地和林地数据同样是单样本，所以只能作为参考。由图 10-1 可以看出，剔除变异土地类型，可以明显地看出移动沙丘，半固定沙丘、固定沙丘表层沙粗化的递减性。

表 10-1 可知，乌兰布和沙漠的各种土地粒径平均值 (Mz) 变化在 1.3314~4.0133Φ 之间，平均为 2.9503Φ；粒度标准差 (SD) 变化于 1.2755~2.0806Φ 之间，分选中等~较差；粒度的偏态 (SK<sub>r</sub>) 变化于 0.5973~4.1279，为稍正偏~极正偏；峰度值 (Kg) 变化于 2.4262~20.5545，峰值平缓~很尖。

表 10-1 乌兰布和沙漠表土粒度组成

编 号	土地类型	粒度组成 (mm)							特征值			
		1-0.7	0.7-0.4	0.4-0.25	0.25-0.075	0.075-0.05	0.05-<0.002	Mz	SD	Sk <sub>r</sub>	Kg	
		0.7	0.4	0.25	0.075	0.05	0.002	(Φ)	(Φ)	(Φ)	(Φ)	
A2	固定沙丘	2.2	42.6	18.6	31.99	0.5	0.54	3.57	1.8813	1.6018	3.0485	13.8928
A6	固定沙丘	0	0	1.6	85.41	4.21	1.81	6.97	3.1536	1.6568	3.0116	10.629
A9	固定沙丘	0.4	9.6	13	69.55	1.42	0.88	5.15	2.6826	1.6148	2.8993	12.0696
D2	固定沙丘	0	0	0.8	91.79	1.46	1.29	4.66	2.9634	1.3728	3.9404	17.1474
D9	固定沙丘	0	0	1.4	89.63	1.12	1	6.85	3.084	1.6274	3.2294	11.7369
D12	固定沙丘	0	0	2.4	89.32	0.76	0.24	7.28	3.0762	1.6669	3.1836	11.3716
	平均	0.433	8.7	6.3	76.282	1.57833	0.96	5.747	2.8068	1.5901	3.2171	12.8079
A3	移动沙丘	14	59.6	6.8	16.6	0.43	0.23	2.34	1.3314	1.4183	3.7665	20.0056
D1	移动沙丘	0	1.4	18	75.51	0.5	0.34	4.25	2.7024	1.4002	3.7139	17.1621
A5	移动沙丘	0	1.8	17.2	76.48	0.85	0.28	3.39	2.652	1.2755	4.0052	20.5545
D5	移动沙丘	0	0.6	11.6	82.96	0.56	0.39	3.89	2.7598	1.3111	4.0621	19.6748
D7	移动沙丘	0	1	13.8	79.83	0.3	0.2	4.87	2.7843	1.4568	3.6379	15.8914
	平均	2.8	12.88	13.48	66.276	0.528	0.288	3.748	2.446	1.3724	3.8371	18.6577
A7	半固定沙丘	0.2	12.8	9	72.29	0.37	0.43	4.91	2.6295	1.5845	2.9542	12.8129
A8	半固定沙丘	0.8	11	14.8	66.26	0.6	0.61	5.93	2.6615	1.7243	2.7422	10.8113
A4	半固定沙丘	0.6	27.4	25.2	42.59	0.51	1.86	1.84	2.0461	1.2974	2.897	15.852
D4	半固定沙丘	0	0.6	9	84.91	0.47	0.52	4.5	2.8267	1.3867	3.8567	17.4134
D8	半固定沙丘	0	0	3.8	90.6	0.5	0.78	4.32	2.8851	1.3309	4.1279	18.9377
D10	半固定沙丘	0	0.4	2.6	90.32	1.05	0.96	4.67	2.9246	1.3832	3.8977	17.1178
	平均	0.267	8.7	10.753	74.495	0.58333	0.86	4.362	2.6623	1.4512	3.4126	15.4909
D3	丘间低地	0	2	3.6	35.13	1.01	41.61	16.65	4.7207	2.3067	0.5973	2.42621
D11	丘间低地	0	0	0	1.73	2.48	82.27	13.52	5.6885	1.3538	1.6434	5.16603
	平均	0	1	1.8	18.43	1.745	61.94	15.09	5.2046	1.8303	1.1204	3.79612
D13	玉米地	0.2	4.8	8.8	66.18	2.78	7.35	9.89	3.3044	2.0806	1.9011	5.62599
D14	人工杨柳林地	0	0.2	0.2	61.63	9.41	14.71	13.85	4.0133	2.2029	1.4369	3.66278
A10	荒漠草原	7.6	28.8	17.2	37.71	2.15	1.89	4.65	2.1361	1.818	2.4022	9.6145

## 第二节 乌兰布和沙漠土地类型间表土粒度的变异

由表 10-1 和表 4-4 可知,此次乌兰布和沙漠周边土地类型采样研究对象主要包括固定沙丘、半固定沙丘、移动沙丘、丘间低地、耕地、草地、林地。

乌兰布和沙漠各种土地类型的表土粒度的变异特征首先可以通过描述总体特征参数的差异表现出来。由表 10-1 可知,固定沙丘的平均粒径变化于 1.8813—3.084 $\Phi$  之间,平均为 2.8068 $\Phi$ ;标准差变化于 1.3728—1.6669 $\Phi$  之间,平均为 1.5901 $\Phi$ ;偏度值变化于 2.8893—3.9404 之间,平均为 3.2717;峰度值变化于 10.629—17.1474 之间,平均 12.8079。半固定沙丘的平均粒径变化于 2.0461—2.9246 $\Phi$  之间,平均为 2.6623 $\Phi$ ;标准差变化于 1.2974—1.3867 $\Phi$  之间,平均为 1.4518 $\Phi$ ;偏度值变化于 2.897—4.1279 之间,平均为 3.4126;峰度值变化于 10.8113—18.9377 之间,平均 15.4909。移动沙丘的平均粒径变化于 1.3314—2.7843 $\Phi$  之间,平均为 2.446 $\Phi$ ;标准差变化于 1.2755—1.4568 $\Phi$  之间,平均为 1.3724 $\Phi$ ;偏度值变化于 3.6379—4.0621 之间,平均为 3.8371;峰度值变化于 15.8914—20.5545 之间,平均 18.6577。耕地的平均粒径为 3.3044 $\Phi$ ;标准差为 2.0806 $\Phi$ ;偏度值为 1.9011;峰度值为 5.626。林地的平均粒径为 4.0133 $\Phi$ ;标准差为 2.2029 $\Phi$ ;偏度值为 1.4369;峰度值为 3.66278。草地的平均粒径为 2.1361 $\Phi$ ;标准差为 1.818 $\Phi$ ;偏度值为 2.4022;峰度值为 9.6145。

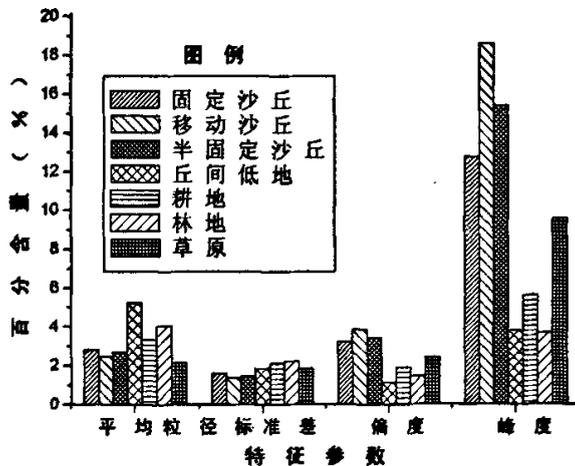


图 10-2 乌兰布和沙漠不同土地类型粒度特征参数平均值图

由图 10-2 可以直观的看出，就粒度平均而言，以丘间低地、林地和耕地特征值较大，说明它们的颗粒级配较为细小。各种沙丘中以移动沙丘的粒度组成最为粗化。就标准差而言，以移动沙丘特征值最小。标准偏差通常用来表征粒度分布的分选性，因而可以说明移动沙丘分选较好。就偏度而言，移动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘表现出极强的正偏，尤以移动沙丘最为典型；而丘间低地、耕地、林地、虽然也表现出正偏，但其偏移值较小。就峰度而言，移动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘和草地峰值非常大，尤其以移动沙丘最为尖锐。

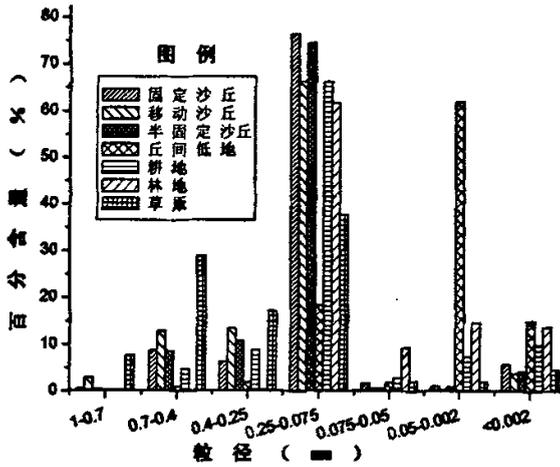


图 10-3 乌兰布和沙漠不同土地类型平均粒度组成图

乌兰布和沙漠不同土地类型间的差异还可以通过剖析其粒度组成加以表现。如图 10-3 我们可以看到，不同土地类型间其具体粒度分布存在差异。除丘间低地的峰值粒径处于 0.05-0.002mm 段外，其它用地类型的峰值粒径都处于 0.25-0.075mm 段。总体而言，各类沙丘的主要颗粒集中于 0.7-0.075mm 段，而在 0.05-0.075mm 和 0.05-0.002mm 段移动沙丘和半固定沙丘基本不含该粒级颗粒，在 <0.002mm 段的粘粒部分含量也非常小，可能与细小的粘粒粘附在沙粒上而得以保留下来有关；草地的主要颗粒集中于 0.25-0.075mm 段，但是在 1-0.4mm 段粗粒分布比其它土地类型要大；耕地和林地的颗粒分布主要是在小于 0.25 mm 段。丘间低地峰值粒径出现在 0.05-0.002mm 段，在粉粒和粘粒段含量最高。由此可以看出，在区域土壤风蚀的影响下，各种土地类型表土粒度组成存在明显的分异，并且由各种土地类型的级配分异也充分反映了土壤风蚀的阶段性。

### 第三节 乌兰布和沙漠土地类型表土粒度的空间变异

本次在乌兰布和沙漠的采样基本选取了沙漠的东西两个边缘, 目的在于观察沙漠东西向上表土粒度是否具有分异。基于此, 我们选取两地的固定沙丘、半固定沙丘、移动沙丘的平均粒径进行比较观察其变化。具体见图 10-4 所示。

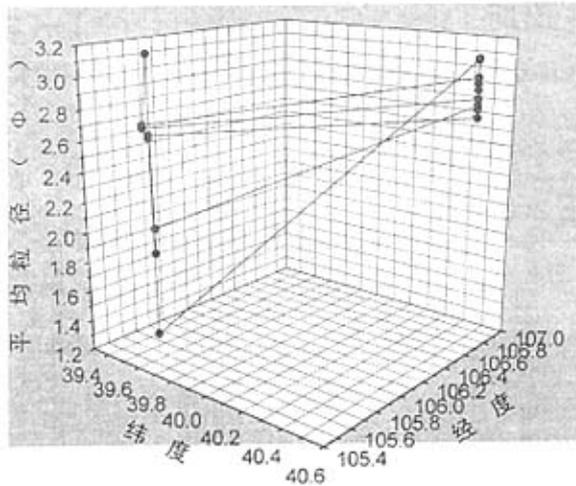


图 10-4 乌兰布和沙漠各类沙丘平均粒度空间变异图

如图 10-4 所示, 我们可以清晰地看出, 虽然磴口县比吉兰泰地区纬度要偏北, 但是它的各种沙丘的粒径平均要比吉兰泰地区大, 说明乌兰布和沙漠东部边缘土壤的表土粒度要比西部地区细。在吉兰泰地区数据点比较分散, 原因是我们采样是到达吉兰泰镇, 然后自北往南取样, 这样我们可以看出, 虽然采样点仅仅跨越 0.3 度的纬度, 但其分异还是比较明显的, 即北部土壤表土粒度粗而南部较细一些。

### 第四节 乌兰布和沙漠不同土地类型间可蚀性颗粒的讨论

我们对乌兰布和沙漠敏感粒径段与易蚀粒径段的相对值大小进行比较。由表 10-2 可以看出, 乌兰布和沙漠敏感粒径段与易蚀粒径段的相对值大小表现为林地 (0.9968) > 丘间低地 (0.9535) > 固定沙丘 (0.901) > 耕地 (0.8826) > 半固定沙丘 (0.8618) > 移动沙丘 (0.8126) > 草地 (0.6868)。说明在腾格里沙漠, 移动沙丘及草地可蚀性颗粒物释放较多,

起尘颗粒以地带性草原植被和耕地的含量较大, 而各类沙丘含量较小。据此我们可以认为, 大范围的沙尘暴天气的尘源物主要应来自于退化的耕地和草原。

表 10-2 乌兰布和沙漠不同土地类型可蚀性粒级比较表

编号	土地类型	难蚀颗粒	较难蚀颗粒	易蚀颗粒	敏感颗粒	起尘颗粒	敏感/易蚀
		1-0.7 和 <0.05	0.7-0.4 和 0.075-0.05	0.4-0.075	0.25-0.075	0.075-0.002	
A2	固定沙丘	6.31	43.1	50.59	32	1.04	0.6323
A6	固定沙丘	8.78	4.21	87.01	85.4	6.02	0.9816
A9	固定沙丘	6.43	11.02	82.55	69.6	2.3	0.8425
D2	固定沙丘	5.95	1.46	92.59	91.8	2.75	0.9914
D9	固定沙丘	7.85	1.12	91.03	89.6	2.12	0.9846
D12	固定沙丘	7.52	0.76	91.72	89.3	1	0.9738
	平均					2.5383	0.901
A3	移动沙丘	16.57	60.03	23.4	16.6	0.66	0.7094
D1	移动沙丘	4.59	1.9	93.51	75.5	0.84	0.8075
A5	移动沙丘	3.67	2.65	93.68	76.5	1.13	0.8164
D5	移动沙丘	4.28	1.16	94.56	83	0.95	0.8773
D7	移动沙丘	5.07	1.3	93.63	79.8	0.5	0.8526
	平均					0.816	0.8126
A7	半固定沙丘	5.54	13.17	81.29	72.3	0.8	0.8893
A8	半固定沙丘	7.34	11.6	81.06	66.3	1.21	0.8174
A4	半固定沙丘	4.3	27.91	67.79	42.6	2.37	0.6283
D4	半固定沙丘	5.02	1.07	93.91	84.9	0.99	0.9042
D8	半固定沙丘	5.1	0.5	94.4	90.6	1.28	0.9597
D10	半固定沙丘	5.63	1.45	92.92	90.3	2.01	0.972
	平均					1.4433	0.8618
D3	丘间低地	58.26	3.01	38.73	35.1	42.62	0.907
D11	丘间低地	95.79	2.48	1.73	1.73	84.75	1
	平均					63.685	0.9535
D13	玉米地	17.44	7.58	74.98	66.2	10.13	0.8826
D14	人工杨树林地	28.56	9.61	61.83	61.6	24.12	0.9968
A10	荒漠草原	14.14	30.95	54.91	37.7	4.04	0.6868

## 第十一章 库布齐沙漠表土粒度特征及其可蚀性颗粒

### 第一节 库布齐沙漠表土粒度总体特征

库布齐沙漠位于鄂尔多斯高原的北部，处于鄂尔多斯台地和黄河河谷的交界处，行政区域包括杭锦旗、达拉特旗和准格尔旗的北部，面积约 $1.93 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。库布齐沙漠地带性土壤为栗钙土，非地带性土壤为风沙土，盐碱土，草甸土和灌淤土。主要植被类型有半干旱草原植被、草甸草原植被和干草原沙生植被。本次采样选取沙漠西部的杭锦旗和东部的达拉特旗。

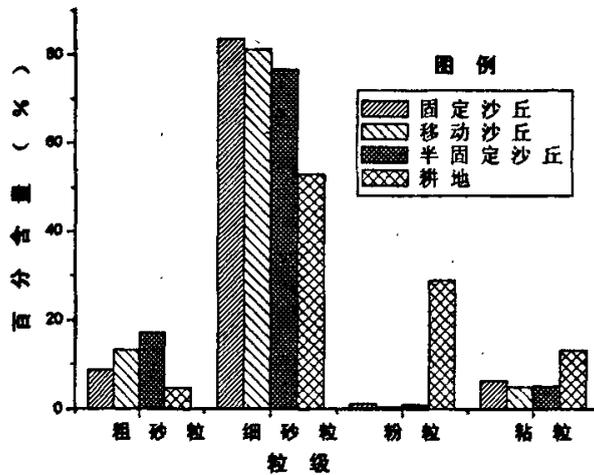


图 11-1 库布齐沙漠主要土地类型平均粒度组合图

从库布齐沙漠表土粒度组成表（表11-1）分析，库布齐沙漠的土地类型的主要粒度分布于砂粒段（ $1-0.05\text{mm}$ ）段，含量在 $49.65\% \sim 97.59\%$ ，其中粗砂粒（ $1-0.25\text{mm}$ ）含量为 $0 \sim 56.2\%$ ，细砂粒（ $0.25-0.05\text{mm}$ ）含量为 $41.39\% \sim 94.61\%$ 。各类沙丘粉砂粒级含量 $1\%$ 左右，粘粒级含量 $5\%$ 左右。耕地粉砂和粘粒级含量较高，其平均值分别可达 $28.975\%$ 和 $13.28\%$ 。由图11-1可以看出，半固定沙丘在粗砂粒级含量较高，固定沙丘在细砂粒段含量最高，而耕地在粉砂粒级和粘粒级含量最高。

由表 11-1 可知，库布齐沙漠的各种土地粒径平均值（ $M_z$ ）变化在  $1.9551 \sim 4.5275 \Phi$  之间，平均为  $2.9655 \Phi$ ；粒度标准差（SD）变化于  $1.101 \sim 1.8025 \Phi$  之间，

分选中等；粒度的偏态( $SK_1$ )变化于 0.868~4.2135，为稍正偏~极正偏；峰度值( $Kg$ )变化于 2.8556~26.6215，峰值平缓~很尖。

表 11-1 库布齐沙漠表土粒度组成

编号	土地类型	粒度组成 (mm)							特征值			
		1-0.7	0.7-0.4	0.4-0.25	0.25-0.075	0.075-0.05	0.05-<0.002	$M_z$	SD	$Sk_1$	$K_g$	
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
XK3	固定沙丘	0	0.2	3	88.5	1.34	1.16	5.8	3.0051	1.5265	3.45295	13.5753
XK5	固定沙丘	0	1.2	3.8	82.71	4.02	1.46	6.81	3.0884	1.6663	2.95474	10.6527
XK12	固定沙丘	1	16.4	15.4	58.8	1.39	0.95	6.06	2.5839	1.8025	2.5393	9.75281
KD10	固定沙丘	0	0.8	1.4	91.03	0.31	0.3	6.16	2.9964	1.5506	3.48109	13.5837
KD12	固定沙丘	0	0	0.2	88.09	2.62	2.24	6.85	3.1494	1.6391	3.08132	10.9351
	平均	0.2	3.72	4.76	81.826	1.936	1.222	6.336	2.9647	1.637	3.10188	11.6999
XK1	移动沙丘	0	4.2	16.2	73.05	0.5	0.57	5.48	2.7552	1.5903	3.15863	12.9091
XK9	移动沙丘	0.6	20.8	24.6	48.62	0.35	0.34	4.69	2.3067	1.6561	2.90824	12.4404
XK10	移动沙丘	2.2	28.4	25.6	41.24	0.15	0.36	2.05	1.9551	1.2919	3.17082	18.186
KD3	移动沙丘	0	0	0.6	94.38	0.23	0.06	4.73	2.9203	1.3524	4.2135	18.8983
KD4	移动沙丘	0	0	2.2	92.94	0.06	0.04	4.76	2.9034	1.3647	4.14889	18.5602
KD5	移动沙丘	0	0	0.2	92.73	0.16	0.48	6.43	3.0423	1.5651	3.4804	13.2186
KD6	移动沙丘	0	0	1.2	91.82	0.13	0.2	6.65	3.0385	1.591	3.41954	12.8312
KD7	移动沙丘	0	0	0.8	93.2	0.28	0.18	5.54	2.9736	1.4601	3.81811	15.7376
KD8	移动沙丘	0	0	1.8	93.25	0.17	2.07	2.71	2.8325	1.101	4.87976	26.6215
KD11	移动沙丘	0	0	2.8	90.27	0.16	0.03	6.74	3.0241	1.6075	3.37228	12.6031
	平均	0.28	5.34	7.6	81.15	0.219	0.433	4.978	2.7752	1.458	3.65702	16.2006
XK2	半固定沙丘	0	5.8	16.8	71.57	0.33	2.29	3.21	2.6202	1.3438	3.35937	16.5287
XK11	半固定沙丘	0	3.2	10.8	78.43	0.88	0.58	6.11	2.8723	1.6311	3.09516	12.0399
XK13	半固定沙丘	0	8	24	60.79	1.18	0.87	5.16	2.6074	1.6271	2.97251	12.2395
KD9	半固定沙丘	0	0	0	93.35	0.38	0.03	6.24	3.0234	1.536	3.59818	13.9838
	平均	0	4.25	12.9	76.035	0.6925	0.9425	5.18	2.7808	1.5345	3.2563	13.698
KD13	翻耕地	1.8	3	2.6	45.8	12.64	21.39	12.77	4.0497	2.2488	1.04462	3.31507
XK14	玉米地	0	0.8	1.2	41.08	6.57	36.56	13.79	4.5275	2.1529	0.86799	2.85558
	平均	0.9	1.9	1.9	43.44	9.605	28.975	13.28	4.2886	2.2008	0.95631	3.08532

## 第二节 库布齐沙漠土地类型间表土粒度的变异

由表 11-1 和表 4-5 可知，此次库布齐沙漠周边土地类型采样研究对象主要包括固定沙丘、半固定沙丘、移动沙丘、耕地。

库布齐沙漠各种土地类型的表土粒度的变异特征首先可以通过描述总体特征参数的差异表现出来。由表 11-1 可知，固定沙丘的平均粒径变化于 2.5839—3.1494 $\Phi$

之间, 平均为  $2.9647\Phi$ ; 标准差变化于  $1.5265-1.8025\Phi$  之间, 平均为  $1.637\Phi$ ; 偏度值变化于  $2.5393-3.4811$  之间, 平均为  $3.1019$ ; 峰度值变化于  $9.7528-13.5837$  之间, 平均  $11.6999$ 。半固定沙丘的平均粒径变化于  $2.6074-3.0234\Phi$  之间, 平均为  $2.7808\Phi$ ; 标准差变化于  $1.3438-1.6311\Phi$  之间, 平均为  $1.5345\Phi$ ; 偏度值变化于  $2.9725-3.5982$  之间, 平均为  $3.2563$ ; 峰度值变化于  $12.0399-16.5287$  之间, 平均  $13.698$ 。移动沙丘的平均粒径变化于  $1.9551-3.0423\Phi$  之间, 平均为  $2.7752\Phi$ ; 标准差变化于  $1.101-1.6561\Phi$  之间, 平均为  $1.458\Phi$ ; 偏度值变化于  $2.9082-4.8798$  之间, 平均为  $3.657$ ; 峰度值变化于  $12.4404-26.6215$  之间, 平均  $16.2006$ 。耕地的平均粒径变化于  $4.0497-4.5275\Phi$  之间, 平均为  $4.2886\Phi$ ; 标准差变化于  $2.1529-2.2488\Phi$  之间, 平均为  $2.2008\Phi$ ; 偏度值变化于  $0.868-1.0446$  之间, 平均为  $0.9563$ ; 峰度值变化于  $2.8856-3.3151$  之间, 平均  $3.0853$ 。

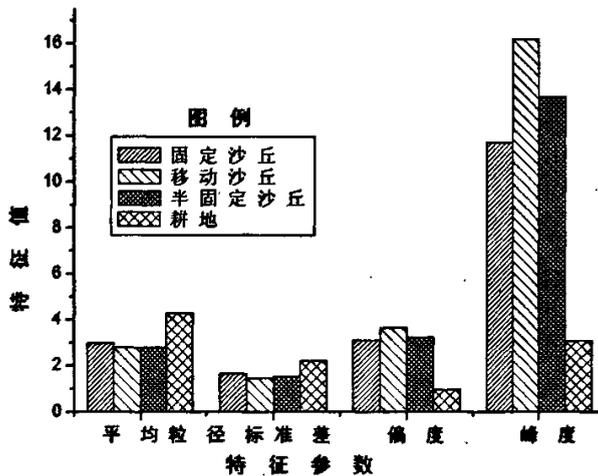


图 11-2 库布齐沙漠不同土地类型粒度特征参数平均值图

由图 11-2 可以直观的看出, 就粒度平均而言, 耕地特征值较大, 说明它的颗粒级配较为细小。各种沙丘平均粒径相差不大, 移动沙丘和半固定沙丘相对稍小点。就标准差而言, 以移动沙丘特征值最小。标准偏差通常用来表征粒度分布的分选性, 因而可以说明移动沙丘分选较好。就偏度而言, 移动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘表现出极强的正偏, 尤以移动沙丘最为典型; 而耕地虽然也表现出正偏, 但其偏移值较小。就峰度而言, 移动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘峰值非常大, 尤其以移动沙丘最为尖锐。

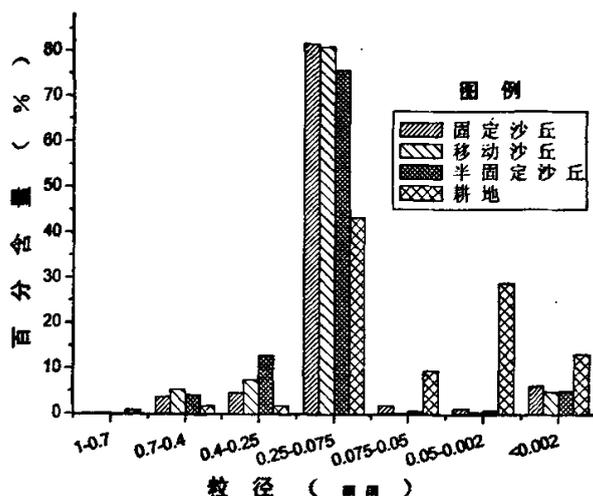


图 11-3 库布齐沙漠不同土地类型平均粒度组成图

库布齐沙漠不同土地类型间的差异还可以通过剖析其粒度组成加以表现。如图 11-3 我们可以看到，不同土地类型间其具体粒度分布存在差异。库布齐沙漠的各种用地类型的峰值粒径都处于 0.25-0.075mm 段。总体而言，各类沙丘的主要颗粒集中于 0.7-0.075mm 段，而在 0.05-0.075mm 和 0.05-0.002mm 段移动沙丘和半固定沙丘基本不含该粒级颗粒，在 <0.002mm 段的粘粒部分含量也非常小，可能与细小的粘粒粘附在沙粒上而得以保留下来有关，在 0.7-0.4mm 段这个被许多学者认为难风蚀的颗粒段，移动沙丘的含量高于半固定沙丘；耕地的主要颗粒集中于 0.25-0.075mm 段，但是在 0.05-0.002mm 段出现了次级峰值；耕地在粘粒段的含量也远远高于各类沙丘。由此可以看出，在区域土壤风蚀的影响下，各种土地类型表土粒度组成存在明显的分异，并且由各种土地类型的级配分异也充分反映了土壤风蚀的阶段性。

### 第三节 库布齐沙漠土地类型表土粒度的空间变异

本次在库布齐沙漠的采样基本选取了沙漠的东西两个边缘，目的在于观察沙漠东西向上表土粒度是否具有分异。基于此，我们选取两地的移动沙丘的平均粒径进行比较观察其变化。具体见图 11-4 所示。如图 11-4 所示，图中各点由西北向东南样点表层土壤平均粒径值存在明显的变大趋向，说明库布齐沙漠西部地区表层沙比东部地区的表层沙要粗。

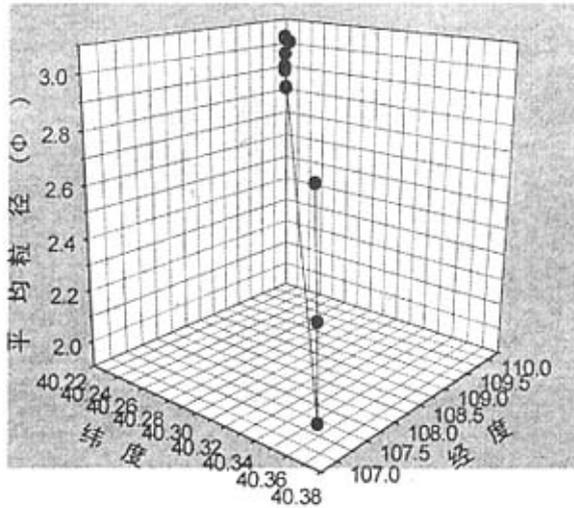


图 11-4 库布齐沙漠各类沙丘平均粒度空间变异图

#### 第四节 库布其沙漠不同土地类型间可蚀性颗粒的讨论

我们对库布齐沙漠敏感粒径段与易蚀粒径段的相对值大小进行比较。由表 11-2 可以看出，库布齐沙漠敏感粒径段与易蚀粒径段的相对值大小表现为耕地 (0.9589) > 移动沙丘 (0.8997) > 半固定沙丘 (0.8515) > 固定沙丘 (0.8126)。在库布齐沙漠固定沙丘和半固定沙丘样点多为灌丛沙堆，它们的表层多为截流下来的风蚀搬运物，所以其敏感粒径释放较多。

起尘颗粒以耕地的含量较大，而各类沙丘含量较小。据此我们可以认为，大范围的沙尘暴天气的尘源物主要应来自于退化的耕地。

表 11-2 库布齐沙漠不同土地类型可蚀性粒级比较表

编号	土地类型	难蚀颗粒	较难蚀颗粒	易蚀颗粒	敏感颗粒	起尘颗粒	敏感/易蚀
		1-0.7 和 < 0.05	0.7-0.4 和 0.075-0.05	0.4-0.075	0.25-0.075	0.075-0.002	
XK3	固定沙丘	6.96	1.54	91.5	88.5	2.5	0.9672
XK5	固定沙丘	8.27	5.22	86.51	82.7	5.48	0.9561
XK12	固定沙丘	8.01	17.79	74.2	58.8	2.34	0.7925
KD10	固定沙丘	6.46	1.11	92.43	91	0.61	0.9849
KD12	固定沙丘	9.09	2.62	88.29	88.1	4.86	0.9977
	平均					3.158	0.8126
XK1	移动沙丘	6.05	4.7	89.25	73.1	1.07	0.8185

XK9	移动沙丘	5.63	21.15	73.22	48.6	0.69	0.664
XK10	移动沙丘	4.61	28.55	66.84	41.2	0.51	0.617
KD3	移动沙丘	4.79	0.23	94.98	94.4	0.29	0.9937
KD4	移动沙丘	4.8	0.06	95.14	92.9	0.1	0.9769
KD5	移动沙丘	6.91	0.16	92.93	92.7	0.64	0.9978
KD6	移动沙丘	6.85	0.13	93.02	91.8	0.33	0.9871
KD7	移动沙丘	5.72	0.28	94	93.2	0.46	0.9915
KD8	移动沙丘	4.78	0.17	95.05	93.3	2.24	0.9811
KD11	移动沙丘	6.77	0.16	93.07	90.3	0.19	0.9699
	平均					0.652	0.8997
XK2	半固定沙丘	5.5	6.13	88.37	71.6	2.62	0.8099
XK11	半固定沙丘	6.69	4.08	89.23	78.4	1.46	0.879
XK13	半固定沙丘	6.03	9.18	84.79	60.8	2.05	0.7169
KD9	半固定沙丘	6.27	0.38	93.35	93.4	0.41	1
	平均					1.635	0.8515
KD13	翻耕地	35.96	15.64	48.4	45.8	34.03	0.9463
XK14	玉米地	50.35	7.37	42.28	41.1	43.13	0.9716
	平均					38.58	0.9589

## 第十二章 结论

通过上述各章的分析研究,综合起来得到如下认识:

用于比较粒度特征的粒度参数会因实验测得的粒径分段区间的步长不同而具有多解性,粒度参数的离散情况与分段数量存在负相关,分段区间数是影响矩法计算的主要因素。

就不同土地类型间表土粒度的变异而言,除浑善达克沙地移动沙丘特征分化不明显外,其它五地都表现出固有的规律,即移动沙丘最为粗化且分选较好峰值较大,其次为半固定沙丘、固定沙丘和退化耕地,以各地未退化耕地、草地或林地最为细化,分选较差,峰值平缓。各种土地类型的表土粒度主要集中于砂粒段即 1-0.05mm 粒径段,含量间于 41.22%~98.23%,并且大多以细砂粒级(0.25-0.05mm)为主,含量间于 25.39%~94.89%。各种用地的粉砂粒级和粘粒粒级含量较小,尤其是移动沙丘基本不含粉砂粒级,粘粒含量也最小。

就各区典型地貌部位和典型土地利用状态的表土变异而言,科尔沁沙地微地形表土粒度变异表现为固定沙丘的不同地貌部位表土粒度表现为迎风坡比丘顶和丘底粗化;半固定沙丘丘顶遭受的风蚀强度明显大于处于背风方向的丘坡和丘底。移动沙丘的不同地貌部位其粒度变化说明在无覆盖的情况下,丘顶遭受的风蚀强度明显大于处于背风方向的丘坡和丘底。科尔沁沙地不同土地利用状态下表土粒度的变异表现为传统耕作区的玉米地的表土粒度比退耕保护地的土粒细化,在富含营养元素的粉砂段和粘粒段,沙坡地含量接近于零,而玉米地含量稍大。甸子地粒径分布比较平均,其突出表现是粉砂级(0.05-0.075mm段)和粘粒级(<0.002mm段)含量较大。围封草地与草甸和退化的典型草原相比,其整体粒度分布较粗,恢复中的围封草地仍然遗留了草原曾遭受强烈风蚀的事实,即非可蚀粒径含量高,而可蚀性粒径段和粉砂级、粘粒级含量低。浑善达克沙地微地形表土粒度变异表现为风蚀床面或破口的表层粗化,粒度分布前移,在粉砂粒级和粘粒级含量很小或基本不含该粒级,固定沙丘沙丘丘顶或坡脚粒度分布基本没有分化。

就沙化土地表土粒度空间变异而言,毛乌素沙地、乌兰布和沙漠土壤表层粒度分布存在比较明显的空间变异规律,即北部颗粒粗,西部颗粒粗,向东向南,颗粒变细。

库布齐沙漠西部地区表层沙比东部地区的表层沙要粗。

就不同土地类型间可蚀性颗粒而言,总体上各区以各类沙丘细颗粒释放较多,而林地、耕地、草地释放较少。但是各区由于受自然条件和各采样点活化时间及人为影响的强度等条件存在差异,所以表现有所差异。各地起尘颗粒以耕地、和地带性草原植被的含量较大,而各类沙丘含量很小。据此我们认为,大范围的沙尘暴天气的尘源物主要应来自于退化的耕地和草原。

## 参考文献

- [1] Raymond W Miller , Roy L Donahue. Soils - An Introduction to Soils and Plant Growth (Sixth Edition) [M]. Prentice - Hall International , Inc. ,1971.
- [2] 刘建立,徐绍辉.参数模型在壤土类土壤颗粒大小分布中的应用[J].土壤学报,2004, 41 (3) : 375-379
- [3] 郑晓静, 周义和.风沙运动研究中的若干关键力学问题[J].力学与实践, 2003,25(2):1-11
- [4] 藏英, 高焕文.保护性耕作对农田土壤风蚀影响的试验研究[J].农业工程学报, 2003, 19 (2) : 56-60
- [5] 王志玲, 张印杰.非饱和土的有效应力与抗剪强度[J].岩土力学, 2002,23(4): 432-436
- [6] 张小由.沙河洼农田地表风沙运动与土壤风蚀的初步研究[J].干旱区地理, 1996(6):27-33
- [7] 董治宝, 李振山.六道沟流域土壤水分抗风蚀性分析.中国沙漠,1996,16(3): 275-279
- [8] 包为民.沙土含水率对起沙临界风速影响[J].中国沙漠,1996,16(3): 315-317
- [9] 董治宝, 陈渭南.植被对土壤风蚀影响作用的实验研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报, 1996,2(2):1-8
- [10] 严平, 董光荣.土壤风蚀容忍量(T值)研究的现状与问题[J].水土保持通报, 1998,18(1): 13-16
- [11] 高燕希, 冯战.非饱和土抗剪强度的温度性质.长沙交通学院学报, 2002,18(4):68-71
- [12] 黄富详, 牛海山.毛乌素沙地植被覆盖率与风蚀输沙率定量关系[J].地理学报, 2001(6):700-707
- [13] 刘建立, 徐绍辉.根据颗粒大小分布估计土壤水分特征曲线:分形模型的应用[J].土壤学报, 2003,40(1): 46-52
- [14] 魏义长, 刘作新.土壤持水曲线Van Genuchten模型求参的Matlab实现[J].土壤学报, 2004,41(3): 380-386
- [15] 成都地质学院陕北队, 沉积岩(物) 粒度分析及其应用[M]. 北京地质出版社, 1978. 31-54.
- [16] 丁喜桂,叶思源,高宗军.粒度分析理论技术进展及其应用[J].世界地质. 2005, 24(2):203-207
- [17] 吉启慧.粒度分析在塔克拉玛干沙漠研究中的应用[J].中国沙漠.1996,12(2) :173-179.
- [18] 内蒙古巴丹吉林沙漠成因的粒度分析和热发光测年新证据[J].古地理学报.2005, 7 (1) : 79-97.
- [19] 曹振,胡克,张永光,等.科尔沁沙地地表沉积物粒度分析与可风蚀性讨论[J].中国沙漠.2005, 25(1): 15-19.
- [20] 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[J].地理研究.1998, 17 (1) : 39-47.
- [21] 宋子齐,杨金林,潘玲黎,等.利用粒度分析资料研究砾岩储层有利沉积相带[J].油气地质与采收率.2005, 12 (6) : 16-18.
- [22] 赵强, 王乃昂, 程弘毅, 等. 青土湖沉积物粒度特征及其古环境意义[J]. 干旱区地理, 2003,

- 26 (1) : 1-5.
- [23]陈一萌, 陈发虎, 陈兴盛, 等. 中国干旱、半干旱区末次冰期以来气候变化规律[J]. 干旱区地理, 2004, 27 (2) : 161-165.
- [24]苗壮, 穆桂金, 阎顺, 等. 艾比湖Ash 浅孔沉积信息揭示的环境演变过程[J]. 干旱区地理, 2003, 26 (4) : 367-371.
- [25]陈冬梅, 穆桂金. 不同沉积环境下沉积物的粒度分形特征的对比研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27 (1) : 47-51.
- [26]孙东怀, 安芷生, 苏瑞侠, 等. 最近2.6Ma中国北方季风环流与西风环流演变的风尘沉积记录[J]. 中国科学 (D辑), 2003, 33 (6) 497-504.
- [27]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[J]. 干旱区地理, 2003, 26 (3) : 233-238.
- [28]刘明哲, 魏文寿, 高卫东, 等. 沙尘源区与沉降区气溶胶粒子的理化特征[J]. 干旱区地理, 2003, 26 (4) : 334-339.
- [29]Visher G S , Grain size distributions and depositional processes[J]. Journal of Sedimentary Petrology , 1969.39 : 1074 -1106
- [30]Friedman GM, Address of the retiring President of the International Association of Sedimentology : difference in size distributions of populations of particles among sands from various origins[J]. Sedimentology , 1979. 26 :3 -32
- [31]McLaren P , Bowles D.The effects of sediment transport on grain2size distributions[J].Journal of Sedimentary Petrology , 1985. 55 : 457 -470
- [32]徐树建,潘保田,张 慧,等. 末次冰期旋回风成沉积物图解法与矩值法粒度参数的对比[J].干旱区地理.2005,28(2):194-198.
- [33]贾建军,高抒,薛允传.图解法与矩法沉积物粒度参数的对比[J].海洋与湖沼.2002,33(6): 577-582.
- [34]曲政. 沉积物粒度数据表征方法的研究[J]. 中国粉体技术.2001,7(4):24-31.
- [35]吴正主编.风沙地貌与治沙工程学[M].北京:科学出版社, 2003
- [36]Zobeck T M, Popham T M. Dry aggregate size distribution of sandy soil as influenced by till ageand precipitation[J].SoilSci,1990,54(1):198—204
- [37]吴正, 凌裕泉.风沙运动的若干规律及防止风沙危害问题的初步研究[A].治沙研究第七号[C], 北京:科学出版社, 1964
- [38]董光荣, 李长治, 金炯.关于土壤风蚀风洞实验的某些结果[[J].科学通报, 1987, 32(4):277—301
- [39]董光荣.关于土壤风蚀风洞实验的若干结果[J].科学通报, 1987, 32(2):297—301
- [40]贺大良, 邹本功, 李长治.地表风蚀过程风洞实验的初步研究[J].中国沙漠,1986,6(1): 25-31
- [41]董光荣, 李长治, 金炯.关于土壤风蚀风洞实验的某些结果[[J].科学通报, 1987,32(4): 277— 301
- [42]刘贤万.实验风沙物理与风沙工程学 (M).北京:科学出版社, 1995

- [43]陈渭南.蒙陕接壤地区土壤母质的风蚀实验研究[J].水土保持学报, 1991,5(1):33-39
- [44]严平,董光荣,张信宝,张一云.<sup>137</sup>Cs 法测定青藏高原土壤风蚀的初步结果[J].科学通报,2000,45(2):199-204.
- [45]严平,高尚玉,董光荣.土壤颗粒组成影响<sup>137</sup>Cs 含量的初步实验结果[J].中国沙漠,2002,22(2):150-153.
- [46]邹学勇,刘玉璋,吴丹,等.若干特殊地农风蚀的风洞实验研究[J].地理研究,1994,13(2):41-48
- [47]董光荣,李长治,金炯,等.关于土壤风蚀风洞模拟实验的结果[J].科学通报,1987,32(4):297-301
- [48]朱震达,赵兴梁,凌裕泉,等.治沙工程学(M).北京:中国环境科学出版社,1998.26-29:74-76.
- [49]Chepil WS. Properties of soil which influence wind erosion: I. The governing principle of surface roughness [J]. Soil Sci, 1950, 69: 149-162.
- [50]Chepil WS. Properties of soil which influence wind erosion: II. Dry aggregate structure as an index of erodibility [J]. Soil Sci, 1950, 69: 403-414.
- [51]Chepil WS. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: I. Soil structure [J]. Soil Sci, 1952, 75: 473-483.
- [52]Chepil WS. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: II. Water stable structure [J]. Soil Sci, 1953, 76: 389-399.
- [53]Chepil WS. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: III. Calcium carbonate and decomposed organic material [J]. Soil Sci, 1954, 77: 473-480.
- [54]Chepil WS. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: IV. Sand, silt and clay [J]. Soil Sci, 1955, 80: 155-162.
- [55]T·雅库布夫.土壤风蚀及其防治[M].北京:中国农业出版社,1955.15-26.
- [56]A·H·兹纳门斯基.沙地风蚀过程的实验研究和沙堆防止问题[M].科学出版社,1960.46-47.
- [57]R.A. Bagnold.风沙和荒漠沙丘物理学[M].科学出版社,1959.46-47.
- [58]朱震达,陈治平,吴正,等.塔克拉玛干风沙地貌研究[M].北京:科学出版社,1981.96-106
- [59]陈广庭.北京平原土壤机械组成和抗风蚀能力的分析[J].干旱区资源与环境,1991,5(1):103-113
- [60]胡孟春,刘玉章,乌兰,等.科尔沁沙地土壤风蚀的风洞实验研究[J].中国沙漠,1991,11(1):22-29.
- [61]赵焯,海春兴,等.滦河源区东沟小流域土壤风蚀特征分析[J].地理科学,2002,22(4):436-440.
- [62]董治宝,李振山.风成沙粒度特征对其风蚀可蚀性的影响[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(4):1-6.
- [63]史培军.中国土壤风蚀研究的现状与展望[R].第十二届国际水土保持大会邀请学术报告,2002,5:1-14.
- [64]刘贤万.实验风沙物理与风沙工程学[M].北京:科学出版社,1995,79-121.
- [65]刘连友,宋阳等.中国干旱区不同成因沉积物吹蚀速率的实验研究[J].地理学报,

- 2006,61(9):957-964.
- [66] 李晓丽, 沈向东. 裸露耕地上壤风蚀跃移颗粒分布特征的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006,22(5):74-77.
- [67] 申彦波, 沈志宝, 杜明远, 等. 风蚀起沙的影响因子及其变化特征[J]. 高原气象, 2005, 24(4):611-616.
- [68] 刘连友, 王建华, 李小雁, 等. 耕作土壤可蚀性颗粒的风洞模拟测定[J]. 科学通报, 1998, 43(15):1663-1666
- [69] 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远, 等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地理学报, 2000,55(5):513-521.
- [70] 汪季, 董智. 荒漠绿洲下垫面粒度特征与供尘关系的研究[J]. 水土保持学报. 2005, 19(6):9-14.
- [71] 岳乐平, 杨利荣, 李智佩, 等. 西北地区干枯湖床沉积粒度组成与东亚沙尘天气[J]. 沉积学报. 2004,22(2):325-331.
- [72] 周建忠, 路明. 不同类型地表沙尘量的比较研究[J]. 作物杂志. 2006,4:1-5.
- [73] 朱震达等. 中国沙漠概论(修订版)[M]. 北京, 科学出版社, 1980.
- [74] 朱震达等. 塔克拉玛干沙漠风沙地貌研究[M]. 北京, 科学出版社, 1981.
- [75] 史培军, 王静爱. 中国干旱、半干旱沙区风成沙粒度的统计分析[J]. 内蒙古师大学报. 1986,(6):40-48.
- [76] 张国平, 张增祥, 刘纪远. 中国土壤风力侵蚀空间格局及驱动因子分析[J]. 地理学报. 2001,56(2):146-158.
- [77] 刘树林, 王涛等. 浑善达克沙地春季风沙活动特征观测研究[J]. 中国沙漠. 2006, 26(3): 357-361.
- [78] 汪季, 胡志敏. 近地表风沙流结构对不同植被覆盖度的响应[J]. 干旱区资源与环境. 2005, 19(5):30-33.
- [79] 张华, 李锋瑞等. 科尔沁沙地不同下垫面风沙流结构与变异特征[J]. 水土保持学报. 2002,16(2):20-28.

## 致 谢

时光荏苒，三年的硕士学习将告以段落。回首三年的时光，有太多的人和事值得我终生铭记，慢慢体味。

本论文的工作是在我的导师海春兴教授的悉心指导下完成的，在此首先要特别感谢我的导师。三年来，海春兴教授严谨的治学态度，广博的学识，平和的做人风格，大度的为人处世，无时无刻在浸润着我。感念我的导师，他所言传身教赋予我的一切将使我受益终生。

在我三年的学习过程中，地科院良好的学习氛围成为我汲取知识的土壤。学院好多老师在我日常实验、文献检索等方面给予了很多帮助，在此感谢他们的支持。另外还要特别感谢学院赵明教授在学习上和生活上都给予了我很大的关心和帮助，在此向赵明老师表示衷心的感谢。银山教授对于我的科研工作和论文都提出了许多的宝贵意见，衷心感谢银山教授的指导。

在实验室工作及撰写论文期间，得到许多同学的支持。感谢实验室刘广通、袁小宇、李晓佳、张修江、张富等同学在野外采样、室内实验、采样图编辑等方面给予的支持和帮助，衷心地感谢他们。另外，在采样过程中曾得到开鲁县一位在粮食系统工作的大姐的热心帮助，在此向她致以深深的敬意。

另外感谢我的父母，感谢我的妻子化翠娥及我的小女儿，他们的理解和支持使我能够在学校专心完成我的学业。

李占宏

2007-4-4 于呼和浩特