

新疆艾勒逊乌拉沙漠沙丘表层沉积物粒径及分形特征

曾焱¹, 马倩^{1,2}, 王佩¹

(1.新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054;

2.新疆干旱区湖泊资源与环境重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要: [目的] 对新疆艾勒逊乌拉沙漠表层沉积物粒度特征进行研究,旨在了解其地表沉积物粒度特征及影响沉积物粒度分布的因素。[方法] 对沙漠及沙丘表层沉积物粒度进行粒级划分,并对粒度参数、分形维数分析。[结果] ①研究区表层沉积物平均粒径为 284.63 μm ,中砂为主,占 48.93%;偏度为-0.18,呈负偏,距沙源近,搬运介质动力强;分选系数为 1.10,分选性极好;峰度值为 1.01,属常峰态,沉积物颗粒分布较均匀。②流动性沙丘和半固定沙丘表层沉积物偏度值分别为-0.13 和-0.08,分别呈负偏、中等,两类沙丘粗砂砾较多;分选系数分别为 1.66 和 1.76,均呈中等,沉积物粒度分布较均匀;峰度值分别为 1.10 和 1.12,为常峰态和较窄峰,说明沙丘的粗颗粒沉积物在沙漠中相对集中。③流动性沙丘和半固定沙丘从迎风坡底到背风坡底表层沉积物的粒度平均粒径值依次分别为 289.58,310.44,290.92,277.64,275.36 μm 和 310.34,306.68,337.78,290.36,277.68 μm ,两类沙丘粗颗粒沉积物均集中在迎风坡。半固定沙丘迎风坡粗颗粒沉积物含量高于流动性沙丘迎风坡粗颗粒沉积物含量,半固定沙丘截沙能力更强;流动性沙丘和半固定沙丘的分选系数从迎风坡底到背风坡底变化趋势,前者波动大,呈 W 形变化,后者变化小,呈 V 形变化,灌丛植被使分选系数变化趋势在丘顶转折;④沙漠表层沉积物粒度的分形维数值是 1.35,半固定沙丘和流动性沙丘表层沉积物粒度的分形维数分别为 1.59 和 1.34。分形维数的波动强度影响沉积物颗粒分布的均匀度、土壤肥力和植被生长。[结论] 艾勒逊乌拉沙漠距沙源近,沙丘的粗颗粒沉积物在沙漠中相对集中,灌丛是影响表层沉积物粒度分布特征的因素之一。

关键词: 粒度; 流动性沙丘; 半固定沙丘; 分选系数; 艾勒逊乌拉沙漠

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)02-0087-08

中图分类号: P512.2

文献参数: 曾焱, 马倩, 王佩.新疆艾勒逊乌拉沙漠沙丘表层沉积物粒径及分形特征[J].水土保持通报, 2023,43(2): 87-94. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.02.011; Zeng Yi, Ma Qian, Wang Pei. Granularity and fractal characteristics of surface sediment in sand dunes of Arexunula Desert in Xinjiang Uygur Autonomous Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023,43(2):87-94.

Granularity and Fractal Characteristics of Surface Sediment in Sand Dunes of Arexunula Desert in Xinjiang Uygur Autonomous Region

Zeng Yi¹, Ma Qian^{1,2}, Wang Pei¹

(1.School of Geographic Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China;

2.Key Laboratory of Lake Resources and Environment in Arid Areas of Xinjiang, Urumqi, Xinjiang 830054, China)

Abstract: [Objective] The granularity characteristics of surface sediments in the Arexunula Desert in Xinjiang Uygur Autonomous Region were studied in order to understand the characteristics of surface sediments in the study area and the factors affecting the granularity distribution of sediments. [Methods] Granularity was divided into grains, granularity parameters, and fractal dimension of the surface sediments for the Arexunula Desert and sand dunes in Xinjiang were analyzed. [Results] ① The granularity size of surface sediments in the study area was 284.63 μm , with medium sand dominant, accounting for 48.93%. The skewness was -0.18, with a negative bias, close to the sand source. The transport medium had strong dynamics. The sorting coefficient was 1.10, and the sorting performance was excellent. The kurtosis value

收稿日期: 2022-10-18

修回日期: 2022-12-16

资助项目: 新疆师范大学丝绸之路经济带城镇化发展研究中心招标课题(XJNURWJDO62018A02)资助

第一作者: 曾焱(1996—),男(苗族),贵州省遵义市人,硕士研究生,研究方向为干旱区环境演变。Email: 790679664@qq.com。

通讯作者: 马倩(1979—),女(回族),新疆维吾尔自治区沙湾县人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事干旱区环境演变研究。Email: mq1979@ya-hoo.cn。

was 1.01, which was a normal peak state, and the sediment particles were evenly distributed. ② The skewness values of surface sediments of mobile sand dunes and semi-fixed sand dunes were -0.13 and -0.08 , respectively, which indicated negative skewness and medium skewness, respectively, and there was a large amount of coarse gravel in both types of dunes. The sorting coefficients were 1.66 and 1.76, both of which were medium, and the sediment granularity distribution was relatively uniform. The kurtosis values were 1.10 and 1.12, respectively, which were normal and narrow peaks, indicating that the coarse-grained sediments of sand dunes were relatively concentrated in the desert. ③ The average granularity values of surface sediments from the bottom of the windward slope to the bottom of the leeward slope were 289.58, 310.44, 290.92, 277.64, 275.36, 310.34 and 306.68, 337.78, 290.36, 277.68 μm , respectively. The coarse-particle sediments of the two types of sand dunes were concentrated in the windward slope. The coarse particle sediment content of the semi-fixed dune windward slope was higher than that of the mobile dune windward slope, and the semi-fixed sand dune had stronger sand interception ability. The sorting coefficients of mobile sand dunes and semi-fixed sand dunes changed from the bottom of the windward slope to the bottom of the leeward slope. The former fluctuated greatly and showed a W-shape, and the latter changed little and was V-shaped. Shrub vegetation made the sorting coefficient change trend turn at the top of the dune. ④ The fractal dimension value of the grain size of desert surface sediments was 1.35, and the fractal dimension values of the particle size of semi-fixed sand dunes and mobile sand dunes were 1.59 and 1.34, respectively. The fluctuation intensity of fractal dimension affected the uniformity of sediment particle distribution, soil fertility, and vegetation growth. [Conclusion] The Arexunula Desert is close to the sand source, and the coarse-grained sediments of the dunes were relatively concentrated in the desert. Shrubland is one of the factors affecting the granularity distribution characteristics of surface sediments.

Keywords: granularity; mobile sand dune; semi-fixed dune; sorting coefficient; Arexunula Desert

粒度是沉积物的重要结构特征之一,沉积物颗粒粗细与沉积物的物理、化学和生物性质密切相关,沉积物粒度组成及其特征影响沉积物的抗风蚀能力、持水能力和养分等,沉积物组成及分布特征受其来源、搬运条件、沉积环境及沉积后的风化作用影响^[1-2]。沉积物粒度分析具有反映风沙物质来源、区分沉积环境及其演化历史、判定搬运方式与动力条件、恢复古气候变化的重要意义^[2-3]。因此,粒度分析研究多应用于土地利用^[4-5]和环境演变研究^[6]。进行沙漠粒度特征研究,有利于辨识沉积物来源,判定介质搬运方式,判断沉积环境和沙漠形成演化机制,为沙漠治理、沙漠化防治及沙产业发展提供重要基础数据^[2]。18世纪中叶,沉积物粒度分析始用于土壤分类^[7]。19世纪,颗粒布朗运动规律的发现为获取颗粒粒度信息传感器设计提供依据^[8]。20世纪初,沉积物粒度分析在风成沉积物、海洋沉积物、湖泊沉积物等研究中取得大量研究成果^[2]。20世纪80年代,粒度集成曲线构建,建立起黄土和古土壤的粒度变化^[9]和时间标尺^[10],重建了冬季风强度变化和沙漠边缘进退历史,使黄土和沙漠分布区^[1]地质沉积信息提取等研究进一步发展^[11-12]。在此基础上,诸多学者对土地荒漠化现状及成因与危害^[13],沙漠化过程及趋势^[14],

沙漠化防治,气候变化^[15-16],环境特征^[17],土地利用动态变化及驱动力^[18],土壤粒度与可蚀性^[19-20]及其与有机质的关系等方面进行了大量研究。目前,土壤粒度分析在土壤研究中进一步发展,与有机质特征的研究使土地利用类型更加多元化^[21],与氦气散发机制的影响研究有利于保护人体健康^[22],与不同类型的沙丘类型结合促进了对沙地生态系统的保护^[23]。

本文以艾勒逊乌拉沙漠为研究区,根据沙丘移动速度和植被覆盖率将沙丘分为半固定沙丘和流动性沙丘,对该沙漠及沙丘表层沉积物粒度进行粒级划分、粒度参数和分形维数分析,并进一步对影响沙丘沉积物粒度分布的因素进行探讨,以丰富该区域风沙地貌的研究。对沙漠表层沉积物粒度特征的深入研究对区域沉积环境具有一定指示作用,且对防止区域荒漠化发展具有重要现实意义。

1 研究区概况

艾勒逊乌拉沙漠,位于中国新疆维吾尔自治区焉耆盆地东南面,经纬坐标为 $86^{\circ}18'00''-87^{\circ}18'00''\text{E}$, $41^{\circ}25'18''-41^{\circ}34'30''\text{N}$ 。长约 75 km,宽度在 10 km 左右,最宽处 23 km,最窄处只有 3 km,宽窄不一,地跨博湖与和硕两县,北接博斯腾湖,南靠库鲁克塔格

山,与湖东岸玛尔塔孜宁库姆沙漠相连,约 467 km²,是新疆十大沙漠之一^[24]。艾勒逊乌拉沙漠地处极度干旱的内陆地区,表层温度常达 60 ℃,最高可达 70 ℃。沙漠目前处于半固定状态,风沙地貌类型丰富、齐全,由沙丘链或沙垄组成,生态环境脆弱,生态系统自我修复能力不强,滨湖沙丘属于半固定状态,平均高度约 20 m,受人为活动干扰后极易使沙丘活动、迁移;也发育有新月形沙丘和复合型沙丘,高度在 1 m 左右,沙丘轮廓清晰,层次分明^[24-25]。

2 数据来源与研究方法

通过对艾勒逊乌拉沙漠综合考察,于 2021 年 6 月对该区域沙丘、沙山、丘间地进行采样,共计 197 个样本作为沙漠表层沉积物样品。选取 10 个受人类活动干扰较小的沙丘作为采样点,流动性沙丘和半固定沙丘各 5 个,均在沙丘迎风坡底部、迎风坡中部、沙丘顶部、背风坡中部及背风坡底部采集沉积物样品,共

计 50 个。样品装入密封袋中带回实验室进行处理。采用筛析法筛掉 >2 mm 粒径的砾石,取 5 g 沙样进行预处理。将样品放入 500 ml 的烧杯中,加入 10% 的 H₂O₂,摇匀后放在电热板上加热使其充分反应,至反应无气泡为止,去除样品中的有机质;重复加入 10 ml 10% HCl 的溶液到烧杯中,加热使其反应完全,去除样品中的碳酸盐类;然后往烧杯中注满蒸馏水后静置 48 h,抽出上层清液,加满蒸馏水静置 48 h,重复几次直至溶液呈中性为止;再小心抽去烧杯上层清液,加入 10 ml 的 0.05 mol/L 的六偏磷酸钠溶液 (NaPO₃)₆。最后摇匀后用 Mastersizer 2000 激光粒度仪进行测量分析,测量范围为 0.02~2 000 μm,测量精度为 0.15,相对误差 <3%。测量结果用 Folk-Ward^[26] 粒度公式求出平均粒径 (M_z)、分选系数 (δ_l)、偏度 (SK₁) 和峰度 (K_G) 等粒度参数,粒度分级采用 Udden-Wentworth 分类方法^[27],指标分析标准均参考表 1。

表 1 指标分析参考数据

Table 1 Reference data for indicator analysis

粒度/μm		分选系数(δ_l)		峰度(K_G)		偏度(SK ₁)	
0~2	黏土	极好	<1.27	宽峰态	<0.67	极负偏	-0.3~-1.0
2~4	极细粉砂	好	1.27~1.41	较宽峰态	0.67~0.90	负偏	-0.1~-0.3
4~8	细粉砂	较好	1.41~1.62	常峰态	0.90~1.11	中等	-0.1~+0.1
8~16	中粉砂	中等	1.62~2.00	较窄峰	1.11~1.50	正偏	+0.1~+0.3
16~31	粗粉砂	较差	2.00~4.00	窄峰	1.50~3.00	极正偏	+0.3~+1.0
31~63	极粗粉砂	差	4.00~16.00	极窄峰	>3.00		
63~125	极细砂	极差	>50				
125~250	细砂						
250~500	中砂						
500~1 000	粗砂						

结合 Folk-Ward 求出粒度数据,对该区域沉积物进行粒度分形研究,粒度分析结果以粒径—体积百分含量呈现,本文基于马倩雯^[28]提出的关系式进行计算,根据粒度分析所得的粒度体积数据,推算出沉积物的分形维数。

$$V(r < R)/V_T = (R/R_{\max})^{3-D} \quad (1)$$

式中: $V(r < R)$ 为粒径小于 R 的土壤的累积体积; r 为测定的尺度; V_T 为土壤颗粒的总体积; R 为相邻两筛分粒级间的平均值; R_{\max} 为最大粒级土粒的粒径。

由公式(1)分别以 $\lg(R/R_{\max})$ 和 $\lg[V(r < R)/V_T]$ 为横纵坐标,得出线性拟合直线的斜率 $3-D$,进而得出分形维数 D ,如公式(2)所示。

$$\lg[V(r < R)/V_T] = (3-D)\lg(R/R_{\max}) \quad (2)$$

3 结果与分析

3.1 研究区表层沉积物粒径特征

艾勒逊乌拉沙漠表层沉积物(图 1)中砂和细砂的百分含量最高,分别为 48.93% 和 35.83%,粗砂和极细砂的百分含量分别为 9.79% 和 3.24%,极细粉砂、细粉砂、中粉砂、极粗砂、粗粉砂、极粗粉砂的百分含量极低,均低于 1%,分别为 0.03%, 0.19%, 0.28%, 0.32%, 0.50%, 0.89%。

3.1.1 沙丘沉积物粒径特征 流动性沙丘的中砂百分含量(图 2)为 50.62%,细砂和粗砂百分含量为 29.21% 和 11.49%,极细砂、极细粗砂、粗粉砂的百分含量分别占 5.13%, 1.6% 和 1.01%,中粉砂、细粉砂、极细粉砂、极粗砂的百分含量均低于 1%,分别为 0.47%, 0.37%, 0.04%, 0.02%。流动性沙丘的中砂

和粗砂的百分含量高沙漠表层的中砂和粗砂的百分含量。半固定沙丘的中砂百分含量(图 2)为 49.10%，细砂和粗砂的百分含量为 24.07% 和 16.37%，极细砂、极粗粉砂、粗粉砂的百分含量分别为 6.31%，1.92% 和 1.01%，中粉砂、细粉砂、极粗砂、极细粉砂的含量所占比例极低，均低于 1%，分别为 0.63%，0.42%，0.09%，0.08%。半固定沙丘的粗砂的百分含量比流动性沙丘的粗砂百分含量高 5%。因此，半固定沙丘比流动性沙丘截沙能力更强。

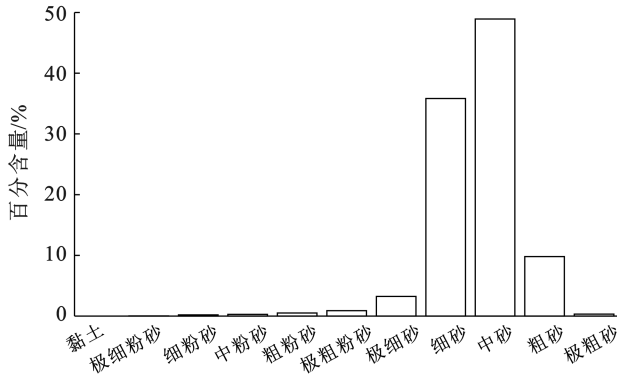


图 1 沙漠表层沉积物粒级百分含量

Fig.1 Percentage content of grain size of surface sediments in the desert

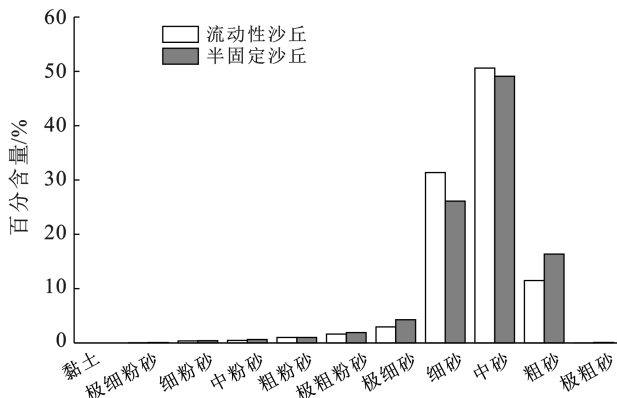


图 2 流动性沙丘和半固定沙丘表层沉积物粒级百分含量

Fig.2 Grain fraction content of surface sediment in mobile sand dunes and semi-fixed sand dunes

3.1.2 沙丘不同地貌部位沉积物粒径特征 流动性沙丘(图 3)背风坡细砂百分含量比迎风坡细砂百分含量高约 4%，迎风坡粗砂含量比背风坡粗砂含量高约 6%。半固定沙丘(图 4)背风坡极细砂和细砂的百分含量都高出迎风坡极细砂和细砂的百分含量约 2%，迎风坡中砂和粗砂的百分含量比背风坡中砂和粗砂的百分含量高约 3%。同样的风力条件下，细颗粒沉积物距沙源更远，所以，细颗粒沉积物集中在距沙源更远的沙丘背风坡。流动性沙丘迎风坡细砂百分含量比半固定沙丘迎风坡细砂百分含量高约 3%，

半固定沙丘迎风坡粗砂百分含量比流动性沙丘迎风坡粗砂百分含量高约 2%。流动性沙丘顶部细砂百分含量比半固定沙丘顶部细砂百分含量高约 7%，流动性沙丘顶部中砂百分含量比半固定沙丘顶部中砂百分含量高约 4%。半固定沙丘顶部粗砂百分含量比流动性沙丘顶部粗砂百分含量高约 11%。流动性沙丘背风坡极细砂百分含量比半固定沙丘背风坡极细砂百分含量高约 2%，背风坡流动性沙丘的中砂百分含量比半固定沙丘背风坡的中砂百分含量高约 2%，流动性沙丘背风坡细砂百分含量比半固定沙丘背风坡细砂百分含量高约 5%，背风坡流动性沙丘粗砂百分含量比半固定沙丘背风坡粗砂百分含量高约 5%。半固定沙丘植被具有更强的拦截作用，故其迎风坡的粗颗粒沉积物含量比流动性沙丘迎风坡粗颗粒沉积物百分含量高。同类沙丘不同部位粒级分配比较，粗颗粒沉积物集中在迎风坡，细颗粒沉积物集中在背风坡。不同沙丘相同部位粒级分配比较，半固定沙丘迎风坡和丘顶的粗颗粒沉积物更多，因此半固定沙丘拦截沉积物能力更强。

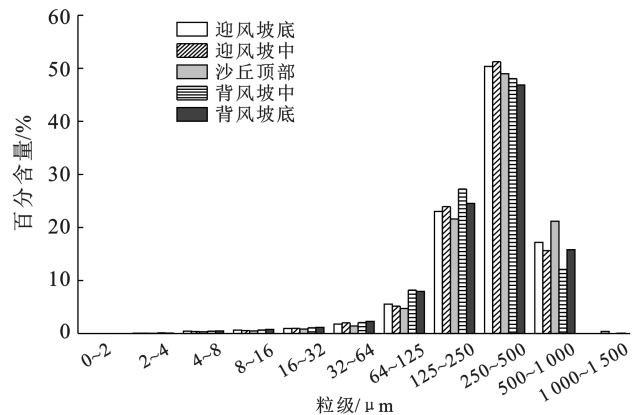


图 3 流动性沙丘各部位粒级组成

Fig.3 Particle size composition of mobile dunes at different parts

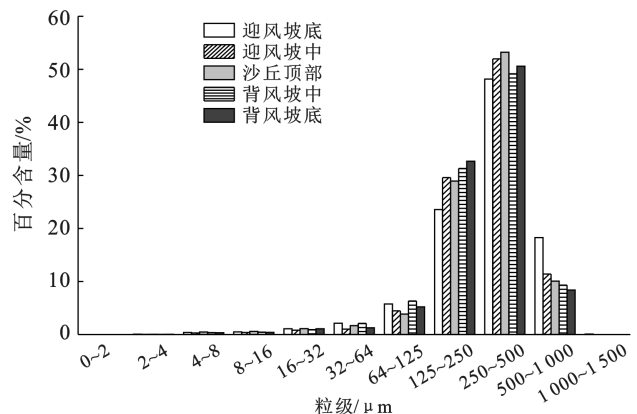


图 4 半固定沙丘各部位粒级组成

Fig.4 Particle size composition of semi-fixed dunes at different parts

3.2 研究区表层沉积物粒度参数及分形维数

艾勒逊乌拉沙漠表层沉积物平均粒径值(表 2)为 284.63 μm 。由表 1 可判断表层沉积物以中砂为主。因中砂在土壤中颗粒相对较大且含量较多,表明研究区土壤涵养水源能力弱,沉积环境干燥。表层沉积物分选系数值为 1.10。据表 1 可知,表层沉积物分选性为极好,沉积物粒度分布均匀。表层沉积物偏度值为-0.18。由表 1 可判断沉积物偏度往左,呈负偏,粗颗粒沉积物充足。沉积物粗且充足说明研究区距沙源近。沉积物细且含量低说明该区域搬运介质动力强,细颗粒沉积物在该地区沉积少而亏损。表层沉积物峰度值为 1.01。由表 1 可判断表层沉积物为常峰态,表层沉积物颗粒分布较均匀。沙漠表层沉积物的分形维数值为 1.35。

表 2 艾勒逊乌拉沙漠表层沉积物粒度参数及分形维数

Table 1 Grain size parameters and fractal dimension of surface sediments in the Ellexunla Desert

项目	平均 粒径(M_z)	分选 系数(σ_1)	偏度 (SK_1)	峰度 (K_G)	分形 维数(D)
沙漠	284.63	1.10	-0.08	1.01	1.35
流动性沙丘	289.58	1.76	-0.13	1.10	1.34
半固定沙丘	304.57	1.66	-0.18	1.12	1.59
流动性沙丘迎风坡底	310.44	1.80	-0.18	1.15	1.45
流动性沙丘迎风坡中	293.54	1.59	-0.08	1.01	1.28
流动性沙丘丘顶	290.92	1.63	-0.14	1.15	1.38
流动性沙丘背风坡中	275.36	1.69	-0.16	1.16	1.80
流动性沙丘背风坡底	277.64	1.59	-0.10	1.05	1.28
半固定沙丘迎风坡底	310.34	1.74	-0.20	1.13	1.40
半固定沙丘迎风坡中	306.68	1.73	-0.19	1.17	1.40
半固定沙丘丘顶	337.78	1.69	-0.17	1.10	1.35
半固定沙丘背风坡中	277.68	1.78	-0.16	1.10	1.73
半固定沙丘背风坡底	290.36	1.83	-0.20	1.11	1.63

3.2.1 沙丘表层沉积物粒度参数 流动性沙丘表层沉积物平均粒径值(表 2)为 289.58 μm 。由表 1 可判断表层沉积物以中砂为主;迎风坡底沉积物平均粒径值最大,为 310.44 μm ,其次是迎风坡中,平均粒径值为 293.54 μm ,然后是丘顶,平均粒径值为 290.92 μm ,背风坡底略大于背风坡中,两个位置的平均粒径值分别为 277.64 和 275.36 μm ;从迎风坡底到背风坡底的平均粒径值(图 5)总体上呈递减变化趋势,表现为:迎风坡平均粒径值>背风坡平均粒径值。半固定沙丘表层沉积物平均粒径值为 304.57 μm ,沉积物以中砂为主;丘顶平均粒径值(表 2)最大,为 337.78 μm ,迎风坡底平均粒径值为 310.34 μm ,迎风坡中平均粒径值为 306.68 μm ,低于丘顶和迎风坡底,背风坡中的平均粒径值最小,为 277.68 μm ,背风坡底平均粒径值仅高于背风坡中,为 290.36 μm ;从迎风坡底到

背风坡底平均粒径值呈 W 形变化趋势(图 5),迎风坡平均粒径值>背风坡平均粒径值。半固定沙丘的迎风坡中、背风坡底和丘顶的平均粒径值均大于流动性沙丘的迎风坡中、背风坡底和丘顶的平均粒径值,尤其是丘顶,其平均粒径值相差 45.86 μm 。主要是灌丛植被对沉积物有拦截作用。

流动性沙丘表层沉积物分选系数值为 1.66。由表 1 可判断分选系数呈中等,沉积物粒度分布较均匀;从迎风坡底—背风坡底的分选系数值分别为 1.80,1.59,1.63,1.69 和 1.59,变化趋势稍大,呈 W 形变化(图 5),其迎风坡底、丘顶、背风坡中 3 个部位分选系数呈中等,其余两个部位为较好;流动性沙丘植被少,流通性较好,说明各个粒级的沉积物在各个部位都有分布,较均匀。半固定沙丘表层沉积物分选系数值为 1.76,分选系数呈中等,沉积物粒度分布较均匀;从迎风坡底—背风坡底的分选系数值分别为 1.74,1.73,1.69,1.78 和 1.83,变化趋势小,呈 V 形变化(图 5),各部位分选系数皆>1.62,且<2,分选均呈中等,因丘顶有灌丛,分选系数值变化趋势出现转折点;灌丛植被是两类沙丘分选系数存在差异的主要原因。

流动性沙丘表层沉积物偏度值为-0.13。由表 1 可判断表层沉积物偏度往左,呈负偏,粗颗粒沉积物充足;各部位偏度值分别为-0.18,-0.08,-0.14,-0.16和-0.10,在迎风坡底、沙丘顶部和背风坡中,-0.3<偏度值<-0.1,呈负偏;在迎风坡中和背风坡底,-0.1<偏度值<0,中等偏度,变化幅度大;迎风坡底距沙原最近,地势低洼,因此粗颗粒集聚,因没有植被,沉积物滚动不受阻挠,难以停留,因此迎风坡中部粗颗粒少于沙丘顶部和底部,丘顶部分沉积物顺应风势,吹落到背风坡,而风速减小,粗颗粒沉积物集聚在背风坡中,背风坡底集聚细颗粒沉积物,因此偏度最小。半固定沙丘表层沉积物偏度值为-0.08,偏度往左,呈中等偏度,粗颗粒沉积物充足;各部位偏度值分别为-0.20,-0.19,-0.17,-0.16 和 -0.21,各部位均呈现,-0.3<偏度值<-0.1,呈负偏,变化幅度小;迎风坡底较其他部位距沙源稍近,地处低槽,因此粗颗粒沉积物最多,因丘顶有植被,截留粗颗粒沉积物稍多,在风力作用下,部分粗颗粒前移到背风坡。流动性沙丘各部位偏度值均大于半固定沙丘各部位偏度值,因此半固定沙丘沉积物较粗;由于灌丛植被拦截,半固定沙丘粗颗粒越来越多,其涵养水分和养分的能力衰退,肥力逐渐降低,从而灌丛沙堆对草场沙漠化有预示作用。两类沙丘均呈现沉积物颗粒粗且充足,说明研究区距沙源近,颗粒细且含量低,说明研究区搬运介质动力强,细颗粒沉积物沉积少而亏损。

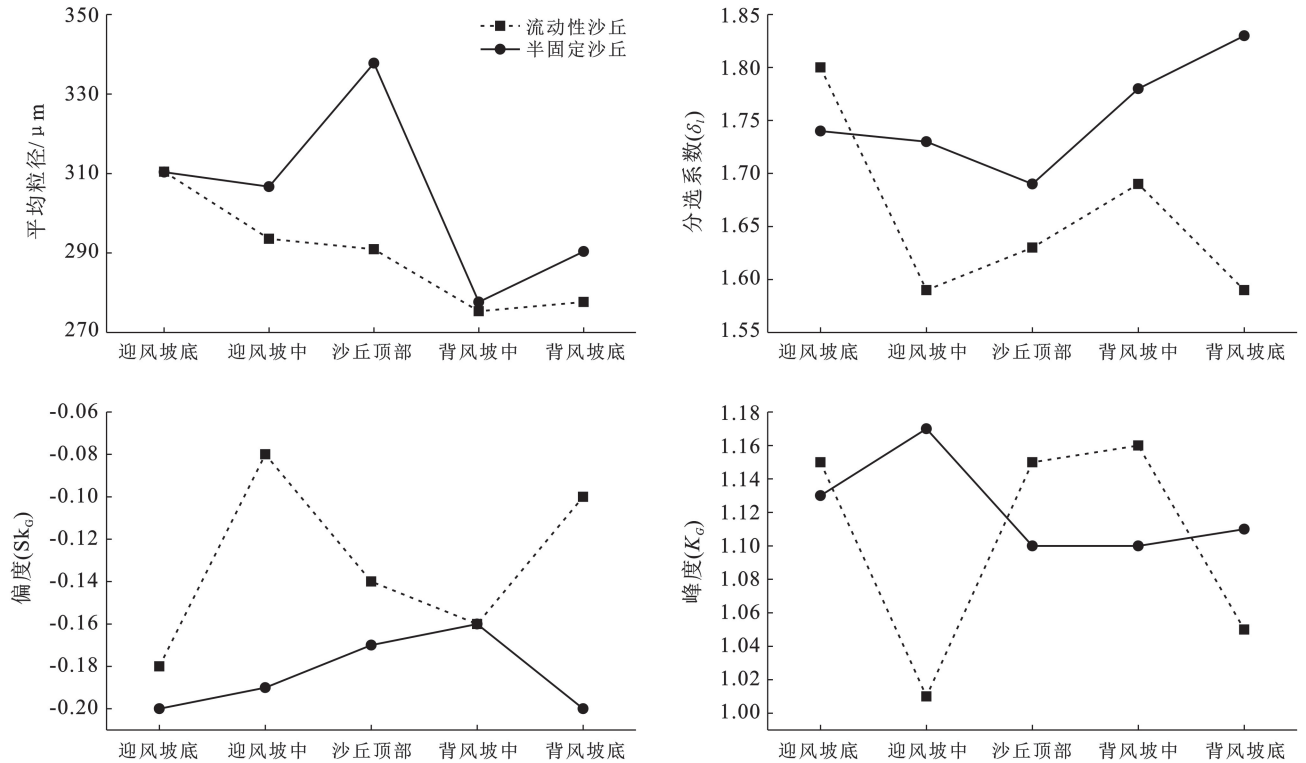


图 5 不同沙丘不同部位的平均粒径、分选系数、偏度、峰度的变化趋势

Fig.5 Variation Trend of average particle size, sorting coefficient, skewness and kurtosis in different parts of different dunes

流动性沙丘表层沉积物峰度值(表 2)为 1.10, 由表 1 可判断沉积物为常峰态, 沉积物颗粒分布均匀; 各部位峰度值分别为 1.15, 1.01, 1.15, 1.16 和 1.05, 最小在迎风坡中, 最大在背风坡中, 常峰和较窄峰两种峰态均有, 迎风坡中和背风坡底是较窄峰; 峰度值呈先减—后增—再减的变化趋势(图 5), 虽有变化, 但只在两种峰态间转换, 因此流动性沙丘各部位表层沉积物颗粒分布较均匀。半固定沙丘表层沉积物峰度值(表 1)为 1.12, 沉积物为较窄峰, 颗粒分布较均匀; 半固定沙丘各部位峰度值分别为 1.13, 1.17, 1.10, 1.10 和 1.11, 最大在迎风坡中, 最小在背风坡中, 均为较窄峰; 峰度值呈先增—后减—再增的变化趋势(图 5), 变化幅度小, 因此半固定沙丘各部位表层沉积物颗粒分布较均匀。两类沙丘的粗颗粒沉积物较多, 说明粗颗粒沉积物在沙丘表层较研究区其他地貌相对集中。

3.2.2 沙丘表层沉积物的分形维数 由表 2 可知, 半固定沙丘和流动性沙丘表层沉积物的分形维数值为 1.59, 1.34。两类沙丘相比较, 半固定沙丘沉积物颗粒更细, 土壤的结构更为聚集、质地更好、保水保肥能力更强; 流动性沙丘则砂砾粗糙, 土壤的结构松散、质地较差、保水保肥能力弱。整个沙漠的分形维数值为 1.35, 介于二者之间。由此可见, 在沙漠中, 半固定沙

丘分形维数较高, 土壤能涵养水分且肥力较好, 利于植被生长。流动性沙丘则与之相反, 这与实际情况一致。因此, 分形维数越高, 土壤肥力越好, 植被覆盖率越高。半固定沙丘从迎风坡底—背风坡底各部位的分形维数值分别为 1.40, 1.40, 1.35, 1.73 和 1.63, 表现为: 背风坡分形维数值 > 迎风坡分形维数值, 最大值和最小值相差 0.38。因植被阻挡, 大部分粗颗粒被拦截在迎风坡, 因此背风坡砂砾较细; 流动性沙丘从迎风坡底—背风坡底各部位的分形维数值分别为 1.45, 1.28, 1.38, 1.80 和 1.28, 最大值和最小值相差 0.52。半固定沙丘各部位沉积物粒度的分形维数值变化趋势相对于流动性沙丘较平缓。两类沙丘背风坡出现最大值是因细颗粒沉积物在风动力作用下离沙原更远, 通过沙丘阻拦, 风速降低, 细颗粒沉积物停留背风坡。由表 2 可知, 沉积物粒度的分形维数变化趋势与峰度变化趋势具有相似性。结合上述沉积物的峰度特征, 峰度值越高, 土壤颗粒分布越均匀, 分形维数值越高, 土壤肥力越好。由此可知土壤肥力受沉积物颗粒分布均匀的影响。

4 讨论

本文分析了艾勒逊乌拉沙漠表层沉积物的粒级、粒度参数、分形维数。分析得出该沙漠及两类沙丘表

层沉积物的粒级以细砂、中砂为主,这与毛丽^[21]在毛乌素沙地研究半固定沙丘表层与亚表层粒度组分时得出的结论极其相似,但两个区域细砂和中砂含量不同。根据沉积物峰态特征判断区域土壤母质来源,艾勒逊乌拉沙漠表层沉积物粒径峰度参数呈现常峰和较窄峰两类峰态特征,说明区域沉积物来源相对复杂。研究区以北是博斯腾湖,以南是库鲁克塔格山,故推断沉积环境是河湖相、河流及山前碎屑物沉积^[29]。潘美慧^[30]在研究河湖流域的流动性沙丘不同地貌部位的粒度特征时,得出沉积物来源也是多源的。此外,研究区流动性沙丘的细砂和中砂含量高于半固定沙丘,半固定沙丘的极粗砂含量高于流动性沙丘,这与王国玲^[31]研究的鄂尔多斯高原段土壤表层粒度特征的略有不同,其原因在于成土母质、沉积环境和成砂条件的不同,因此存在差异。综上可知,成土母质是影响沉积物粒度特征的重要因素之一。

本文得出半固定沙丘表层沉积物以丘间地平均粒径值最大,迎风坡次之,再是丘顶和背风坡,其分布特征主要受植被和沙源影响,这与李小乐^[32]在研究鄂尔多斯高原西北缘白音恩格尔自然保护区红砂灌丛沙堆土壤粒度组成得出的变化趋势一致。杨兴华^[33]在研究塔克拉玛干沙漠东南缘沙尘暴沙尘通量时表示,地表特征变化主要取决于植被、地形及土壤湿度的变化,通过对两类沙丘平均粒径值进行分析,灌丛植被对沉积物的拦截作用,使同一沙丘的迎风坡和背风坡平均粒径值有明显差异,分选系数值变化趋势也因灌丛发生变化,所以灌丛植被是两类沙丘粒度特征存在差异的又一重要因素。

5 结论

(1) 艾勒逊乌拉沙漠表层沉积物平均粒径值为 284.63 μm ,以中砂为主,百分含量为 48.93%;分选系数为 1.10,分选性极好,粒度分布均匀;偏度值为 -0.18,呈负偏,粗颗粒沉积物充足;峰度值为 1.01,为常峰态,颗粒分布较为均匀;分形维数为 1.35,颗粒粗且含量高,沉积环境干燥。

(2) 流动性沙丘和半固定沙丘表层沉积物平均粒径值分别为 289.58 和 304.57 μm ,以中砂为主,百分含量分别为 50.62%和 49.10%;两类沙丘表层沉积物分选系数分别为 1.66 和 1.76,分选性均呈中等,粒度分布较均匀;偏度值分别为 -0.13 和 -0.08,前者呈负偏,后者呈中等偏度,说明研究区距沙源近,区域搬运介质动力强,两类沙丘沉积物颗粒粗且充足;峰度值分别为 1.10 和 1.12,前者为常峰态,颗粒分布均匀,后者为较窄峰态,颗粒分布较均匀。

(3) 流动性沙丘从迎风坡底到背风坡底表层沉积物粒度的平均粒径值分别为 289.58, 310.44, 290.92, 277.64 和 275.36 μm ,呈递减趋势;分选系数值分别为 1.80, 1.59, 1.63, 1.69 和 1.59,变化趋势大,呈 W 形,迎风坡中、背风坡底均为较好,其余为中等;峰度值分别为 1.15, 1.01, 1.15, 1.16 和 1.05,变化呈先减—后增—再减趋势,迎风坡中和背风坡底是较窄峰,其余部位是常峰,各部位颗粒分布较均匀;偏度值分别为 -0.18, -0.08, -0.14, -0.16 和 -0.10,在迎风坡底、丘顶和背风坡中呈负偏,其余部位呈中等偏度;半固定沙丘从迎风坡底到背风坡底表层沉积物粒度的平均粒径值分别为 310.34, 306.68, 337.78, 290.36 和 277.68 μm ,呈 W 形变化趋势,丘顶最大,表现为:迎风坡平均粒径值 > 背风坡平均粒径值;分选系数值分别为 1.74, 1.73, 1.69, 1.78 和 1.83,变化小,呈 V 形趋势,因丘顶植被出现转折点,各部位分选性均呈中等;峰度值分别为 1.13, 1.17, 1.10, 1.10 和 1.11,呈先增—后减—再增变化趋势,均为较窄峰;偏度值分别为 -0.20, -0.19, -0.17, -0.16 和 -0.21,均呈负偏,变化小。上述可知同类沙丘的粗颗粒沉积物集中在迎风坡,细颗粒集中在背风坡;不同类型沙丘的沉积物,半固定沙丘迎风坡粗砂百分含量比流动性沙丘迎风坡粗砂百分含量高约 2%,比流动性沙丘顶部粗砂百分含量高约 11%,半固定沙丘拦截沉积物能力更强;植被使两类沙丘分选系数存在差异;流动性沙丘各部位沉积物偏度值均大于半固定沙丘偏度值,半固定沙丘沉积物颗粒更粗。

(4) 沙漠的表层沉积物的分形维数值为 1.35,半固定沙丘和流动性沙丘表层沉积物分形维数值分别为 1.59, 1.34。半固定沙丘和流动性沙丘从迎风坡底—背风坡底各部位的分形维数值依次分别为 1.40, 1.40, 1.35, 1.73, 1.63, 1.45, 1.28, 1.38, 1.80 和 1.28,半固定沙丘因植被阻挡,粗颗粒沉积物集中在迎风坡,细颗粒集中在背风坡,且迎风坡和背风坡各自的沉积物颗粒分布均匀。因此在沙漠中,沉积物粒度的分形维数值越高,沉积物颗粒分布越均匀,土壤肥力越好,植被覆盖率越高。

[参 考 文 献]

- [1] 王忠臣,钱亦兵,张海燕,等.东天山喀尔里克山北坡淖毛湖盆地土壤粒度分布特征及成因[J].冰川冻土,2010,32(5):1035-1043.
- [2] 宋洁,春喜,白雪梅,等.中国沙漠粒度分析研究综述[J].中国沙漠,2016,36(3):597-603.
- [3] 靳鹤龄,董光荣,左听听.滴哨沟湾地层沉积特征记录的毛乌素沙漠变迁[J].中国沙漠,2008,28(6):1064-1072.

- [4] 杜海燕,周智彬,刘凤山,等.绿洲化过程中阿拉尔垦区土壤粒径分形变化特征[J].干旱区研究,2013,30(4):615-622.
- [5] 王瑞东,高永,党晓宏,等.近自然恢复状态下荒漠草原不同群落表土粒度特征研究[J].草地学报,2019,27(5):1309-1316.
- [6] 靳建辉,曹相东,李志忠,等.艾比湖周边灌丛沙堆风沙沉积记录的气候环境演化[J].中国沙漠,2013,33(5):1314-1323.
- [7] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000:69-70.
- [8] 杨世荣,蒙仲举,党晓宏,等.库布齐沙漠生态光伏电站不同覆盖类型下土壤粒度特征[J].水土保持研究,2020,27(1):112-118.
- [9] Ding Z, Derbyshire E, Yang S, et al. Stacked 2.6-Ma grain size record from the Chinese loess based on five sections and correlation with the deep-sea $\delta^{18}\text{O}$ record [J]. *Paleoceanography*, 2002,17(3):15-21.
- [10] Huayu Lu, Xiaodong Liu, Fuqing Zhang, et al. Astronomical calibration of loess-paleosol deposits at Luochuan, Central Chinese Loess Plateau [J]. *Paleogeogr Paleoclimatol Paleocol*, 1999,154(3):237-246.
- [11] Zhang Yalu, Chun Xi, Zhou Haijun, et al. Particle size characteristics of surface sediments and their environmental significance: A comparative study of deserts in arid western Inner Mongolia, China [J]. *Environmental Geology*, 2020,79(10):301-314.
- [12] Jin H. Climatic change and evolution of Hunshandake Desert in China since middle Holocene [J]. *Congress of the International Union for Quaternary Research*, 2004,49(16):1730-1735.
- [13] 吴昕.内蒙古锡林郭勒草原沙质荒漠化的沙源及其地质学成因分析[D].湖北 武汉:中国地质大学,2018.
- [14] 黄银洲,王乃昂,程弘毅,等.毛乌素沙地历史时期沙漠化:基于北大池湖泊周边沉积剖面粒度的研究[J].中国沙漠,2013,33(2):426-432.
- [15] 王思齐,魏东岚,张威.末次冰期以来辽东半岛风沙沉积的粒度端元特征与古气候演变研究[J].第四纪研究,2022,42(2):338-349.
- [16] 巩雪娇,王攀,杨振京,等.粒度端元记录的靖边地区 MIS3 以来的气候变化[J].地质科技通报,2021,40(1):184-191.
- [17] 马茜茜,谢小松,肖建华,等.阿联酋迪拜中部沙漠沉积物粒度特征及其沉积环境分析[J].干旱区资源与环境,2020,34(11):104-109.
- [18] 姚正毅,李晓英,肖建华.青海湖滨土地沙漠化驱动机制[J].中国沙漠,2015,35(6):1429-1437.
- [19] 张惜伟,汪季,海春兴,等.呼伦贝尔沙质草原风蚀坑地表风沙流结构特征[J].干旱区研究,2018,35(6):1505-1511.
- [20] 李占宏,海春兴,刘广通.内蒙古沙漠化土地中不同土地类型土壤表面可蚀性颗粒对比研究[J].水土保持研究,2008,66(1):4-8.
- [21] 毛丽,苏志珠,王国玲,等.毛乌素沙地不同土地利用类型的土壤粒度及有机质特征[J].干旱区研究,2019,36(3):589-598.
- [22] Chitra N, S. Bala S, Inieo V I, et al. Modeling and experiments to estimate radon emanation factor in soil-grain size and moisture effect [J]. *Radiation Protection Dosimetry*, 2021,194(3):104-112.
- [23] 张桂华,刘洪妍,介冬梅,等.科尔沁沙地不同类型沙丘表土有机质与粒度特征差异分析[J].生态环境学报,2020,29(11):2223-2230.
- [24] 刘兴春,博斯腾湖南岸阿克别勒库姆沙漠封禁保护治理措施[J].新疆林业,2016(3):10-11.
- [25] 杨玖贵.博斯腾湖度假旅游开发的实证研究[D].新疆乌鲁木齐:新疆大学,2014.
- [26] Folk R L, Ward W C. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1957,27(1):3-26.
- [27] Chester K W. A scale of grade and class terms for clastic sediments [J]. *The Journal of Geology*, 1922,30(5):377-392.
- [28] 马倩雯,来风兵,塔克拉玛干沙漠和田河西侧胡杨沙堆粒度特征[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(6):114-120.
- [29] 阿斯耶姆·图尔迪,李新国,靳万贵,等.开都河流域下游绿洲土壤粒度特征分析[J].土壤通报,2013,44(6):1343-1350.
- [30] 潘美慧,郝泽文,齐宇涵,等.西藏朋曲流域不同地貌部位流动沙丘粒度特征[J].中国沙漠,2021,41(6):138-147.
- [31] 王国玲,苏志珠,毛丽,等.中国北方农牧交错带鄂尔多斯高原段土壤表层粒度特征[J].中国沙漠,2019,39(3):183-190.
- [32] 李小乐,魏亚娟,党晓宏,等.红砂灌丛沙堆土壤粒度组成及养分积累特征[J].干旱区研究,2022,39(3):933-942.
- [33] 杨兴华,何清,艾力·买买提依明,等.塔克拉玛干沙漠东南缘沙尘暴过程中近地表沙尘水平通量观测研究[J].中国沙漠,2013,33(5):1299-1304.