

毛里塔尼亚努瓦克肖特沙丘粒度分布特征及其环境意义

周娜^{1,2,3}, 尤源^{1,2,3}, 雷加强^{1,3}, 王永东^{1,3}, 王海峰¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学 北京 100049; 3. 中国科学院中-非联合研究中心, 北京 100049)

摘要: 毛里塔尼亚努瓦克肖特地区位于撒哈拉沙漠西部, 基本被沙漠包围且常年遭受沙漠侵蚀, 进行该地区沙漠粒度特征的研究, 将对判别沙漠物质来源和沉积过程等具有重要参考意义。对努瓦克肖特周边纵向沙丘不同部位采集的 50 个沙样粒度进行分析。结果表明: 沙丘沉积物的粒度以细沙和极细沙为主, 两者所占比例超过 60%; 总体粒度要细于国内典型沙漠线性沙丘。沙丘东南坡、丘顶和西北坡整体上以细沙为主, 其次为极细沙, 二者含量依次递减, 粉沙含量依次增加。沙丘沙粒径最细者为西北坡(5.13 Φ), 最粗者为东南坡(3.07 Φ), 分选性随粒径增加而变好。3 个部位峰态存在明显差异, 东南坡以中等和尖窄峰态为主, 丘顶以尖窄峰态为主, 西北坡为以宽平峰态为主, 但三者均以正偏偏态为主。丘间地粒级级配趋势一致性最好, 均以细沙为主, 平均粒径大于沙丘各部位, 平均粒径为 2.76 Φ , 分选性优于沙丘, 全为近对称中等峰态。该地区地表沙粒沉积环境和成因复杂, 超过 70% 的沙样为风成沉积造成, 其余为沿岸沉积造成。

关键词: 粒度; 毛里塔尼亚; 西非; 沉积环境

文章编号: 1000-694X(2018)02-0252-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2017.00008

中图分类号: P951

文献标志码: A

0 引言

作为沙丘地貌研究的重要指标之一, 沙丘粒度分布特征与风沙活动紧密相关^[1]。国内外研究表明沙漠沙丘沉积物组份差异主要受控于两个因素。一是沙源地沉积物的分异规律^[2]; 二是风况, 即由于不同形态的沙丘及同一沙丘不同部位所受到的表面气流存在差异, 具有不同的相对和绝对携沙能力, 在风力和沙丘形态相互作用下, 沙丘之间以及沙丘不同部位之间沉积物的粒度特征大相径庭^[3-7]。研究沉积物的粒度特征有助于沙丘沉积环境的反演和释译。撒哈拉沙漠位于非洲大陆, 是世界第一大热带沙漠, 其面积相当于整个中国的国土面积。迄今为止, 对非洲沙漠沙丘表面沉积物机械组成的研究主要集中于南非或者中非地区^[8-12], 而针对西非区域沙丘表面沉积物粒度特征的研究相对较少。因此本研究聚焦于毛里塔尼亚努瓦克肖特地区, 该地区不仅是西非沙漠化较为严重的区域之一, 而且也是风

沙活动频繁的沙尘沉降区^[13]。对努瓦克肖特地区沙丘粒度进行研究, 不仅可以揭示该地区沙漠本身的成因及特征, 而且对其周围环境的变迁也具有参考意义。

1 研究区概况

毛里塔尼亚伊斯兰共和国位于非洲撒哈拉沙漠西部(14°—26°N, 5°—17°W), 西临大西洋, 东与马里接壤, 南与塞内加尔隔塞内加尔河相望, 北与摩洛哥、阿尔及利亚相连, 全国海岸线长约 700 km^[14], 国土面积 90% 以上为沙漠^[15-16]。毛里塔尼亚首都努瓦克肖特比邻大西洋, 同时遭受沙漠和海水倒灌的侵蚀, 该地区全年风向以东风与东北风为主, 其周边的沙丘走向与主风向一致^[17]。通过实地考察, 了解到当地人民为了防止沙漠对首都圈的进一步侵蚀, 建立了首都圈防护体系, 该体系主要由 13 个人工种植的防护林斑块组成, 从首都圈上风向位置将首都圈进行包裹, 以期能起到防风固沙的作用。13

收稿日期: 2016-11-28; 改回日期: 2017-02-27

资助项目: 科技部国际合作项目(2010DFB34020); 中国科学院中-非联合研究中心项目(SAJC201610); 科技部科技伙伴计划资助项目(非洲绿色长城建设适宜技术合作研究与示范)

作者简介: 周娜(1984—), 女, 新疆乌鲁木齐人, 博士研究生, 主要从事荒漠环境研究。E-mail: zhouna118@hotmail.com。

通信作者: 雷加强(E-mail: leijiaqiang@hotmail.com)

个防护林斑块位于高大纵向沙丘形成的复合纵向沙垄部位。该地区沙丘走向为 $180^{\circ}\sim 190^{\circ}$ ，复合沙垄走向为 $220^{\circ}\sim 230^{\circ}$ ，基本与该地区的主风向平行。通过对采集的沙样进行粒度分析，得到了首都圈周围沙漠沙丘不同部位及该地区沙样沙的粒度分布特征。同时用萨胡判别式^[18]对结果进行分析，初步探讨了该地区的沉积环境，并对该公式在该地区的适用性进行讨论。

2 样品采集与分析方法

2012年11月底在对毛里塔尼亚首都圈进行第一次野外考察时，在努瓦克肖特地区东北部及南部沙丘进行采样。样本采集部位包括典型纵向沙丘东南坡坡脚(陡短, SE)、西北坡坡脚(缓长, NW)、顶部(沙脊线附近)及丘间地。在以上4个不同位置各采集一个样品，两个取样沙丘至少相隔1 km，并且每个样品采集点均用高精度GPS定位记录。为了准确测量，一般去除表面5 cm左右的沉积物后，在沙丘表面5 cm以下(5~10 cm)层位20 cm×20 cm范围进行样品

采集，单个样品在200 g左右^[3,19-20]。在首都圈周边营造防护林的纵向沙垄10个位置(BK2~BK12)，采集样品数量40个，首都圈南边3个典型纵向沙丘(SDA、SDB、SDC)采集样品数量10个(两个点丘间地缺测)，共计50个样本。采样点分布见图1。野外取回的样品用采样袋密封运回国内后，按照试验规范对沙样进行预处理，然后通过BT-2001激光粒度分布仪进行粒度测量，该仪器的粒度测量范围是0.1~1 000 μm ，重复测量误差小于3%。测得各粒级含量以体积百分含量表示，并通过Folk-Ward公式^[21]计算粒度特征参数——平均粒径(M_z)、标准偏差(σ)、偏度(SK)和峰态(K_g)。

粒度的分级根据行业的性质，划分标准不一。采用乌顿-温德华氏(Uddeh-Wentworth)粒级标准^[22-23]。以 $-1\Phi(2\text{ mm})$ 、 $0\Phi(1\text{ mm})$ 、 $1\Phi(0.5\text{ mm})$ 、 $2\Phi(0.25\text{ mm})$ 、 $3\Phi(0.125\text{ mm})$ 、 $4\Phi(0.063\text{ mm})$ 、 $5\Phi(0.031\text{ mm})$ 、 $6\Phi(0.016\text{ mm})$ 、 $7\Phi(0.008\text{ mm})$ 、 $8\Phi(0.004)$ 为阈值将沙粒分为砾石、极粗沙、粗沙、中沙、细沙、极细沙、粗粉沙、中粉沙、细粉沙、极细粉沙、黏土。

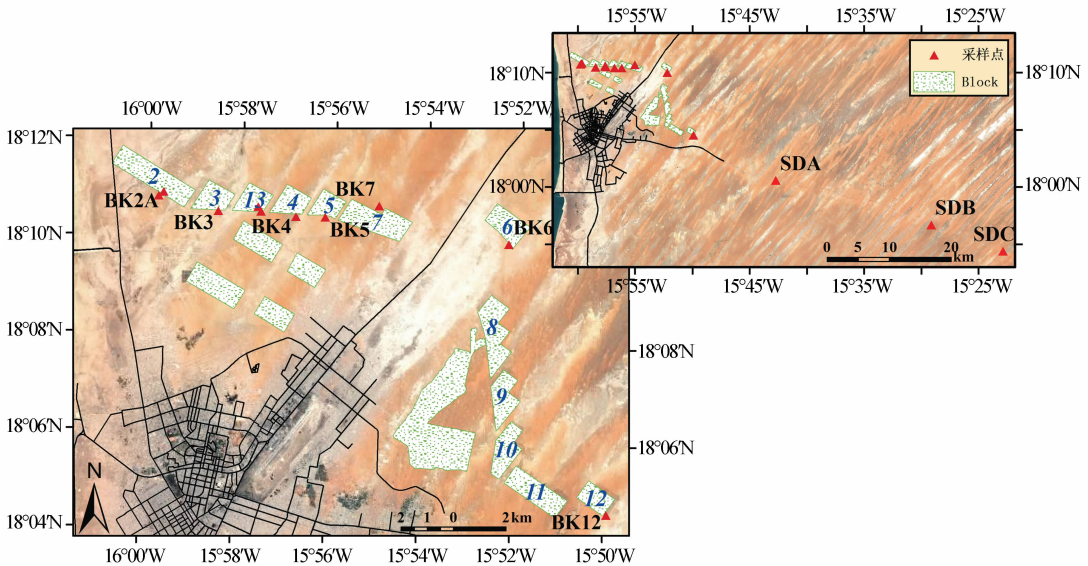


图1 毛里塔尼亚努瓦克肖特采样点分布

Fig. 1 Sand sampling sites in Nouakchott, Mauritania

3 结果

3.1 粒径级配特征

粒度的百分比含量可以显示沙丘的粒度组成和不同粒度的含量变化。研究区沙丘沉积物不含砾石、极粗沙(图2A)。粉沙含量0~27.00%，平均5.84%；极细沙含量4.60%~46.60%，平均30.02%；细沙含量0.50%~59.70%，平均

34.76%；中沙含量0~40.40%，平均4.39%；粗沙含量0~1.90%，平均0.05%。可见该地区沙丘沉积物的粒度组分较细，以细沙和极细沙为主，两者含量在64%以上，粉沙次之。研究区丘间地沉积物不含砾石、极粗沙及粗沙。粉沙含量0~1.90%，平均0.37%；细沙含量53.3%~63.8%，平均60.45%；中沙含量2.30%~17.40%，平均6.66%。中沙和细沙含量在91%以上。沉积物粒度累积频率曲线表明该地区丘间地与沙丘沉积物的粒度组分有明显

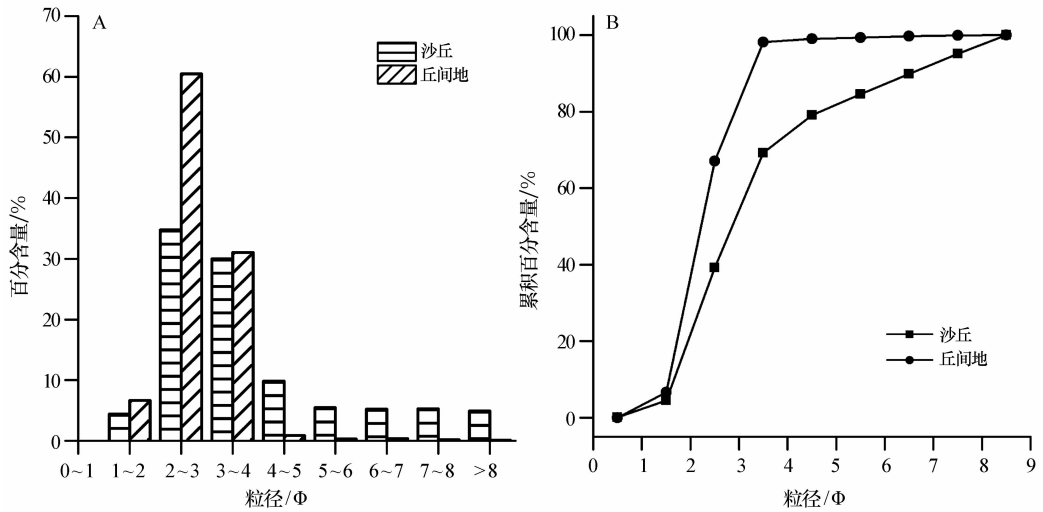


图 2 努瓦克肖特沙丘各粒级级配(A)与沉积物粒径累积百分含量(B)

Fig. 2 Grain size distribution (A) and cumulative frequency curves (B) of the dunes in Nouakchott, Mauritania

差异(图 2B)。沙丘累积频率曲线位于丘间地的右侧,丘间地粗沙、中沙曲线斜率大于沙丘;细沙、极细沙曲线斜率小于沙丘,说明丘间地整体粒度组分比沙丘沉积物偏粗。

沙丘不同部位沉积物粒度组成如图 3 所示。东南坡、丘顶和西北坡均以细沙为主,其次是极细沙。细沙和极细沙含量均从东南坡、丘顶、西北坡依次递

减,细沙含量 15.02%~47.83%,极细沙含量 20.35%~36.28%;粉沙含量则与极细沙和细沙相反,自东南坡、丘顶、西北坡依次增加,含量为 10.61%~50.93%。丘间地细沙含量大于沙丘各部位,含量为 60.44%;极细沙含量则介于西北坡和丘顶之间,为 31.06%;粉沙含量则为最小,含量仅 1.74%。

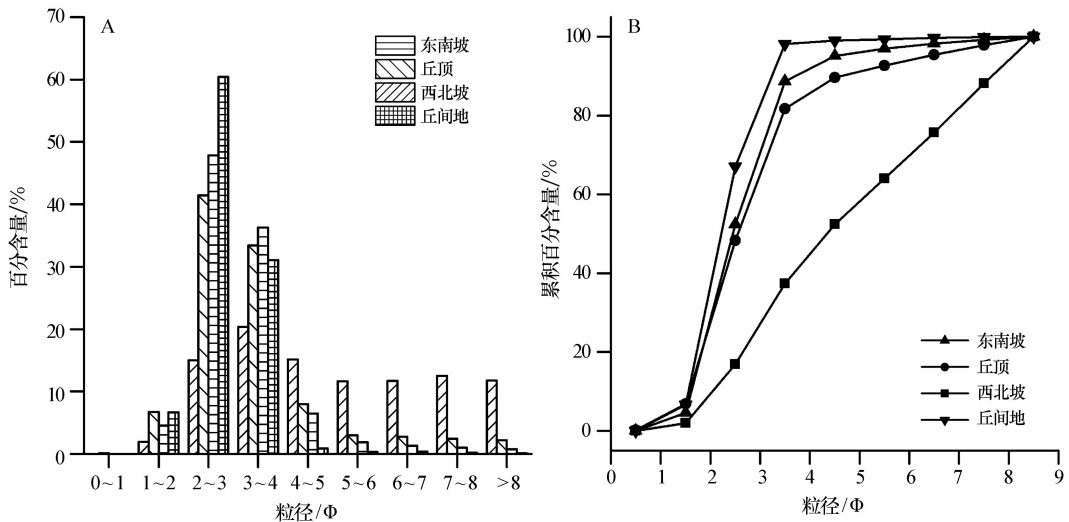


图 3 努瓦克肖特沙丘不同部位各粒级级配(A)与沉积物粒径累积百分含量(B)

Fig. 3 Grain size distribution (A) and cumulative frequency curves (B) at different positions of the dunes in Nouakchott, Mauritania

由图 4 可知,不同采样沙丘的东南坡粒级级配趋势基本相似,均以细沙或者极细沙为主。丘顶的粒级级配趋势除采样点 SDA 与 SDC 有区别以外,其余点位趋势与东南坡相同,均以细沙或者极细沙为主。西北坡的粒级级配比较复杂,大体可分为 4 组: BK13A、SDB 以细沙为主,其次为极细沙;

BK2B、BK13B、BK4、BK7、BK6 以极细沙为主,其次为细沙或粗粉沙; BK2A、BK3、SDA 以粗粉沙为主,其次为极细沙或中粉沙; BK5、BK12、SDC 以极细粉沙为主,基本呈现粒径越小含量越多的递增趋势。各个丘间地的粒级级配趋势一致性最好,均以细沙为主,其次为极细沙。

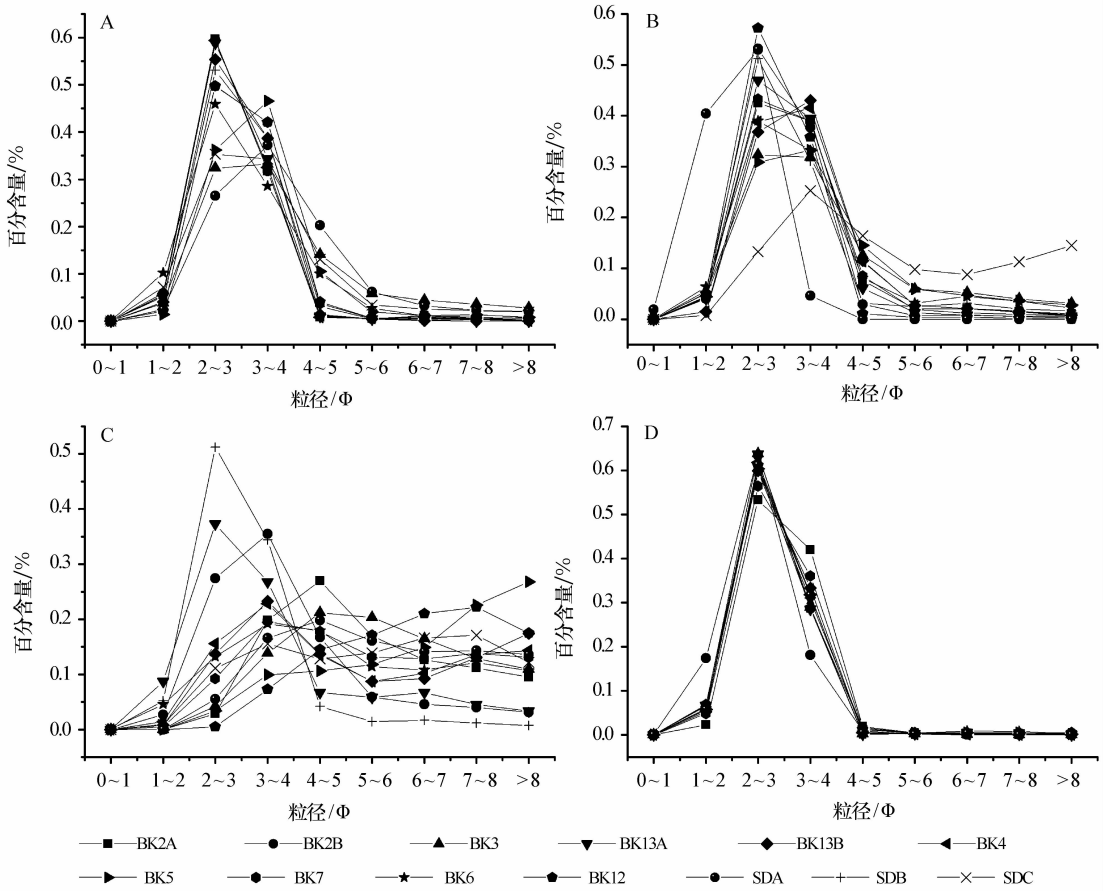


图 4 努瓦克肖特不同点位沙丘东南坡(A)、丘顶(B)、西北坡(C)、丘间地(D)各粒级级配对比

Fig. 4 Grain size distribution at SW slope (A), top of dunes (B), NE slope (C) and sand lands (D) in different sampling sites

3.2 粒度参数分布特征

研究区纵向沙丘 M_z 为 2.1~6.57 Φ (10.49~233.1 μm), 平均为 3.59 Φ (103.53 μm); 在 50 个样本中, 有 30 个样本分选性中等, 13 个样本分选性差, 7 个样本分选性很差, σ 为 0.5~2.27, 平均

1.06, 总体分选差; 偏度有 44% 的样本呈近对称, 34% 为正偏, 20% 为极正偏, 2% 为负偏, SK 为 $-0.25\sim0.54$, 平均 0.17。峰态有窄有宽, 其中有 23 个样本为中等峰态, 15 个样本为尖窄峰态, 10 个为宽平峰态, 仅有 2 个样本呈现很尖窄峰态, 峰态 K_g 值 0.68~2.06, 均值为 1.08 (表 1)。

表 1 努瓦克肖特沙样粒度参数

Table 1 Grain size parameters of sand particles in Nouakchott, Mauritania

采样位置	样品编号	粒度参数			
		平均粒径(M_z)/ Φ	标准偏差(σ)/ Φ	偏度(SK)	峰度(K_g)
东南坡	BK2A	2.80	0.54	0.08	1.00
	BK2B	2.79	0.55	0.07	0.99
	BK3	3.64	1.45	0.42	1.38
	BK4	2.80	0.54	0.07	0.99
	BK5	3.26	0.78	0.21	1.24
	BK6	3.00	0.94	0.27	1.20
	BK7	3.00	0.58	0.11	1.03
	BK12	3.00	0.58	0.11	1.03

续表 1

采样位置	样品编号	粒度参数			
		平均粒径(M_z)/ Φ	标准偏差(σ)/ Φ	偏度(SK)	峰度(K_g)
	BK13A	2.81	0.52	0.04	0.95
	BK13B	2.87	0.52	0.02	0.96
	SDA	2.91	0.57	0.08	1.00
	SDB	3.66	1.24	0.30	1.31
	SDC	3.30	1.24	0.32	1.47
丘顶	BK2A	3.12	0.94	0.29	1.56
	BK2B	2.92	0.59	0.10	1.03
	BK3	3.70	1.56	0.45	1.36
	BK4	3.28	0.91	0.29	1.33
	BK5	3.67	1.47	0.41	1.37
	BK6	3.30	1.32	0.42	1.72
	BK7	3.10	0.81	0.22	1.24
	BK12	2.83	0.53	0.03	0.95
	BK13A	3.02	0.70	0.16	1.15
	BK13B	3.30	0.93	0.30	1.41
	SDA	2.96	1.05	0.38	2.06
	SDB	2.10	0.55	-0.03	0.94
	SDC	5.18	2.18	0.37	0.73
西北坡	BK2A	5.38	1.73	0.31	0.86
	BK2B	3.78	1.46	0.40	1.40
	BK3	5.65	1.78	0.13	0.90
	BK4	5.17	2.22	0.30	0.69
	BK5	6.57	2.01	-0.25	0.86
	BK6	5.03	2.17	0.22	0.79
	BK7	5.44	2.05	0.17	0.76
	BK12	6.41	1.67	-0.09	0.88
	BK13A	3.71	1.76	0.54	1.38
	BK13B	5.34	2.27	0.30	0.68
	SDA	2.94	0.78	0.26	1.41
	SDB	5.66	1.93	0.14	0.79
	SDC	5.57	2.06	-0.07	0.75
丘间地	BK2A	2.94	0.52	0.05	0.95
	BK2B	2.52	0.54	0.03	0.96
	BK3	2.72	0.50	0.02	0.94
	BK4	2.77	0.50	0.01	0.95
	BK5	2.78	0.53	0.05	0.97
	BK6	2.79	0.56	0.09	1.02
	BK7	2.85	0.54	0.05	0.97
	BK12	2.75	0.55	0.09	1.01
	BK13A	2.72	0.50	0.03	0.95
	BK13B	2.80	0.52	0.03	0.96
	SDC	2.77	0.51	0.02	0.95

沙丘顶部沙样平均粒径为 $3.27 \Phi(113.71 \mu\text{m})$, 粒径范围为 $2.10 \sim 5.18 \Phi(27.62 \sim 233.10 \mu\text{m})$; 西北坡的平均粒径则为 $5.13 \Phi(37.85 \mu\text{m})$, 粒径范围为 $2.94 \sim 6.57 \Phi(10.49 \sim 130.10 \mu\text{m})$; 东南坡的平均粒径是 $3.07 \Phi(121.79 \mu\text{m})$, 粒径范围为 $2.79 \sim 3.66 \Phi(78.91 \sim 144.5 \mu\text{m})$; 丘间地的平均粒径为 $2.76 \Phi(147.56 \mu\text{m})$, 粒径范围为 $2.52 \sim 2.94 \Phi(130.60 \sim 174.80 \mu\text{m})$ 。沙丘顶部标准偏差范围为 $0.53 \sim 2.18$; 西北坡为 $0.78 \sim 2.27$; 东南坡为 $0.52 \sim 1.45$; 丘间地为 $0.50 \sim 0.56$ 。东南坡偏态 $0.02 \sim 0.42$, 以近对称和正偏态为主; 丘顶为 $-0.03 \sim -0.45$, 主要为正偏态和极正偏态; 西北坡为 $-0.25 \sim -0.54$, 以正偏态为主; 丘间地为 $0.01 \sim 0.09$, 全为

近对称。东南坡峰度 $0.95 \sim 1.47$, 以中等和尖窄偏态为主; 丘顶为 $0.73 \sim 2.06$, 以尖窄峰度为主; 西北坡为 $0.68 \sim 1.41$, 以宽平峰度为主; 丘间地为 $0.94 \sim 1.02$, 全为中等峰度。

从图 5 和图 6 可以看出: 西北坡沙样的平均粒径最小, 其次是丘顶; 东南坡平均粒径最大, 而丘间地平均粒径大于沙丘各部。分选性随粒径减小而变差, 东南坡和丘间地的分选性相对西北坡和沙丘顶部较好, 丘间地分选性最好, 西北坡分选性最差。偏度值两侧坡底最小, 丘顶最大, 从坡脚到丘顶偏度由正偏趋于极正偏, 丘间地偏度小于沙丘各部, 呈现近对称。峰态值在丘顶最大, 呈尖窄峰态, 两侧坡脚较小; 东南坡与丘间地均呈中等峰态, 而西北坡呈宽平峰态。

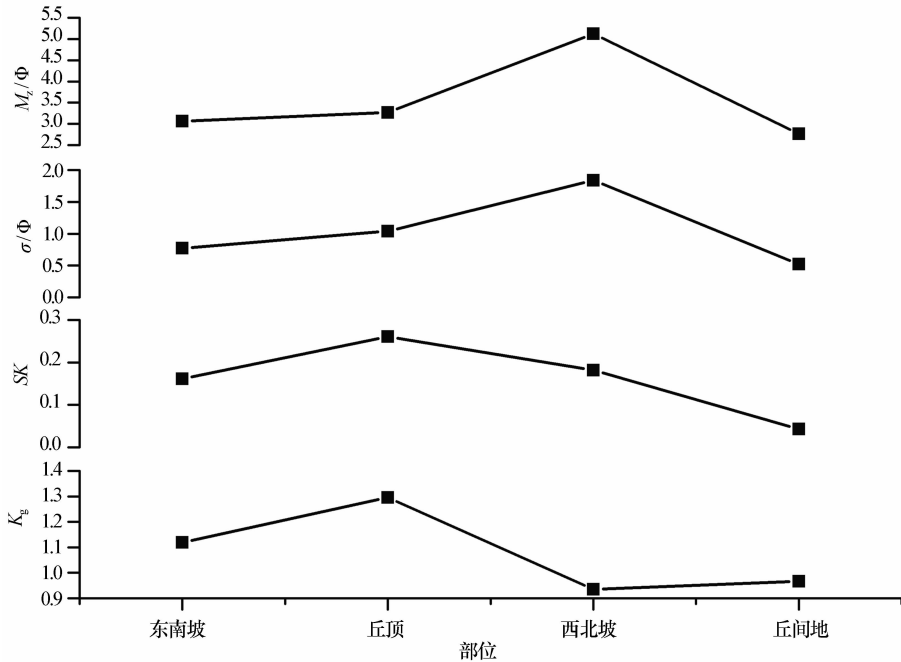


图 5 努瓦克肖特沙丘粒度参数变化

Fig. 5 Variation in grain size parameters at different positions in Nouakchott, Mauritania

3.3 沉积环境初步判定

粒度数据和粒度参数可以表征沙粒成因以及沉积环境, 我们通过 Sahu^[24] 建立的经验判别公式对样本做了进一步分析, 以期通过这些样本初步揭示该地区沉积的环境和成因。总体上, 有 72% 的沙样结果显示风成沉积, 16% 的沙样结果显示为河流冲积环境, 12% 为浊流环境(表 2)。从采样部位来看, 丘间地除缺测数据以外全部判定为风成沙, 东南坡除 BK3 与 SDC 被判定为河流沙以外, 其余均为风成沙, 而丘顶和西北坡则风成沙、河流沙与浊流沙均有。通过以上的初步计算分析, 可以看出该地区的沉积环境比较复杂, 有风成环境、河流冲积环境及浊

流环境, 但是根据研究区地理位置及地貌环境判断, 该地区没有地表径流的存在, 所以 Sahu 公式对属于河流冲积环境以及浊流环境的样本的判定存在偏差。根据前人对该地区的研究, 距离努瓦克肖特海岸线 7 km 左右的条带范围内为沿岸沉积环境, 靠近内陆距离海岸线 7~100 km 左右的范围均为活动的沿岸和沙丘沉积环境^[25]。本研究的采样点均分布于距离海岸线 7~70 km 的范围内, 由此可以判断河流冲积环境及浊流环境应该是沿岸沉积环境。

4 讨论

根据以往的研究, 毛里塔尼亚努瓦克肖特地区

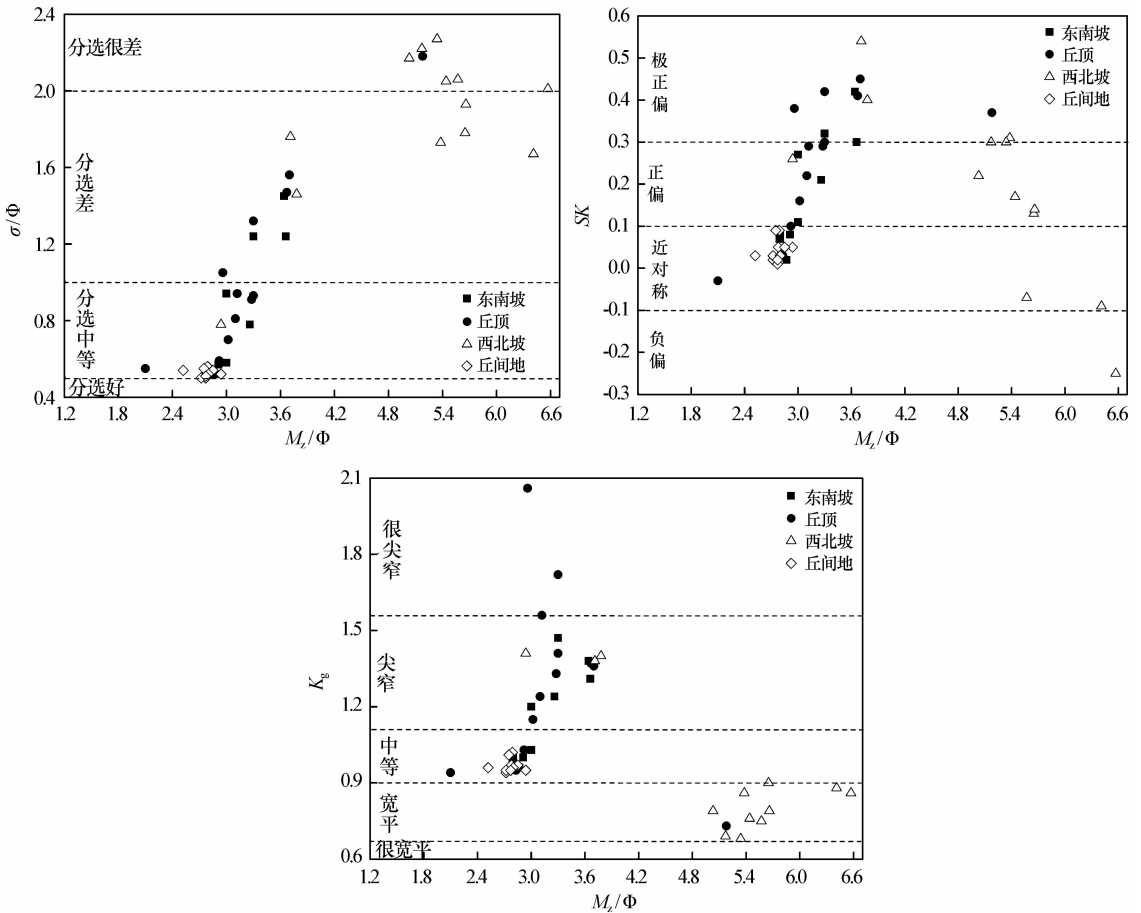


图 6 毛里塔尼亚努瓦克肖特沙丘粒度参数散点图

Fig. 6 Scatter diagrams of grain size parameters in Nouakchott, Mauritania

表 2 萨胡公式沉积环境判别结果

Table 2 The sedimentary environment determined by Sahu discrimination function

采样点	东南坡	丘顶	西北坡	丘间地
BK2A	风成沙	风成沙	风成沙	风成沙
BK2B	风成沙	风成沙	河流沙	风成沙
BK3	河流沙	河流沙	风成沙	风成沙
BK4	风成沙	风成沙	浊流沙	风成沙
BK5	风成沙	河流沙	风成沙	风成沙
BK6	风成沙	河流沙	浊流沙	风成沙
BK7	风成沙	风成沙	浊流沙	风成沙
BK12	风成沙	风成沙	风成沙	风成沙
BK13A	风成沙	风成沙	河流沙	风成沙
BK13B	风成沙	风成沙	浊流沙	风成沙
SDA	风成沙	河流沙	风成沙	缺测
SDB	风成沙	风成沙	风成沙	缺测
SDC	河流沙	浊流沙	浊流沙	风成沙

主导风向为北风(N),其次是北北西(NNW),风向频率分别为 22%和 15%;同时该地区风向季节更替

变化明显,3—5月、9—11月均为N风,6—8月受来自西南的海洋信风(NW)影响,而12月至翌年2月受哈马丹东北风(NE)影响^[17]。N风与沙丘走向夹角较小,在0°~10°左右,NNW风与沙丘走向夹角较大,一般为22.5°~32.5°。这是导致沙丘两坡发育不对称的根本原因。其次,风向的季节变化使沙丘NW坡和SE坡在迎风和背风坡之间转换,这与塔克拉玛干沙漠腹地纵向沙丘风况^[26]相似,Lvingstone^[8,10]在非洲纳米比沙漠的研究也揭示了同一沙丘在冬夏两季所受风向不同导致东、西坡粒度分布特征存在差异。同时,前人还在野外和风洞对与风向夹角为15°、25°、30°的沙垄上的风速变化进行了观测实验,发现沙丘表面1.5cm以上的部位风速从迎风坡坡脚至丘顶迅速增加,丘顶处风速最大,越过丘顶后,背风坡上、中部风速迅速下降,沙物质在背风坡坡脚处产生较明显侧向输移^[26-27],这反映了纵向沙垄表面风速变化的基本规律,也是形成纵向沙丘粒度分布特征的原因。由于本次采样时间为11月底,此时盛行NE风,其次是N风,SE与NW坡面会在迎风坡与背风坡之间转换,这也是导致该

地区粒度分布格局复杂的主要原因,尤其是 NW 坡,风向的转变导致 NW 坡的平均粒径呈现双峰分布,分选性较差。Thomas^[12]在纵向沙丘沙样的粒度分布方面做了很多研究,总结出了两种粒度分布类型,一类是两滑落坡面沙子粒径最粗,丘顶沙子分选最好;另一类是丘顶沙子粒径最粗且分选也最佳。本文的结果与这两种类型均不相同,表现出 SE 坡脚粒径最粗分选也最好的特点,但缺少对沙丘两侧滑落面的粒径分析以及其他季节沙丘样本的粒度分析,也是影响此结果的一个重要因素,所以考虑到对该地粒度特征研究的完善性,仍需做进一步研究。

将研究区与中国典型沙漠线型沙丘的粒度分布特征进行对比,发现本研究区的线性沙丘总体粒度要细于国内典型沙漠线性沙丘的粒度。比如库姆

塔格沙漠^[28]、腾格里沙漠^[19]、巴丹吉林沙漠^[29]、塔克拉玛干沙漠腹地^[26]均以细沙(2~3 Φ)与极细沙(3~4 Φ)为主,但西非毛里塔尼亚努瓦克肖特地区的第二含量粒径为粉沙(4~8 Φ),而库姆塔格沙漠、腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠、塔克拉玛干沙漠腹地为中沙(1~2 Φ),并且粉沙含量非常少。古尔班通古特沙漠的沙垄粒径以中沙(1~2 Φ)为主,其次是细沙与极细沙^[30]。此外,研究区的丘间地样本粒径平均值为 0.15 mm,丘间地表层沙粒径对比(表 3)表明沙粒细于中国国内库姆塔格沙漠、腾格里沙漠、古尔班通古特沙漠中北部沙丘、巴丹吉林沙漠等,并且峰度较为宽平,相对塔克拉玛干沙漠、古尔班通古特沙漠北南部沙丘、巴丹吉林沙漠较为近对称^[31-36]。这些差异除了由风况造成以外,还可能归因为源区

表 3 西非撒哈拉沙漠与中国西部沙漠丘间地表层沙粒径参数对比

Table 3 The ground surface sediment granularity parameters comparison between western China and West African

	塔克拉玛干沙漠	库姆塔格沙漠	腾格里沙漠	古尔班通古特沙漠(北)	古尔班通古特沙漠(中)	古尔班通古特沙漠(南)	巴丹吉林沙漠	撒哈拉沙漠(西非)
均值/mm	0.12	0.24	0.25	0.18	0.15	0.13	0.38	0.15
偏度	-0.42	0.02	0.03	0.17	-0.01	0.13	0.13	-0.04
峰度	1.37	0.95	0.93	2.41	2.13	2.23	2.23	0.97

物质的颗粒组成^[13]。

5 结论

毛里塔尼亚努瓦克肖特地区纵向沙丘物质组成以细沙和极细沙为主,两者含量在 64% 以上,粉沙次之,不含砾石、极粗沙。丘间地以中沙和细沙为主,二者含量在 91% 以上,丘间地整体粒度组分比沙丘沉积物偏粗。

从沙丘粒径参数来看,沙丘西北坡沙样的平均粒径最小,其次是丘顶;东南坡平均粒径最大,而丘间地大于沙丘各部。东南坡的分选性相对西北坡和沙丘顶部较好,丘间地分选性最好,西北坡分选性最差。东南坡以近对称到正偏为主,呈现中等、尖窄峰态;西北坡以正偏态,宽平峰态为主;丘顶从正偏到极正偏并呈现尖窄峰态。丘间地的样本全为近对称、中等峰态,沙丘各部的粒度分布特征比较复杂。

粒度特征反映出毛里塔尼亚努瓦克肖特地区沙漠沙的沉积环境以风成沉积与沿岸沉积为主。

参考文献:

[1] 任明达. 现代沉积环境概论[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 17-18.
 [2] Lancaster N. Geomorphology of Desert Dunes [M]. New

York, USA: Routledge, 1995: 525-530
 [3] 陈渭南, 雷加强. 塔克拉玛干沙漠新月形沙丘不同部位的粒度特征[J]. 干旱区资源与环境, 1992(2): 101-108.
 [4] 杨东亮, 王雪芹, 胡永锋, 等. 风沙流输沙通量垂向分布研究——以塔克拉玛干沙漠南缘流沙地表风沙流观测为例[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 631-639.
 [5] 哈斯, 董光荣, 王贵勇. 腾格里沙漠东南缘沙丘表面气流与坡面形态的关系[J]. 中国沙漠, 1999, 19(1): 1-5.
 [6] 哈斯, 王贵勇, 董光荣. 腾格里沙漠东南缘格状沙丘表面气流及其地貌学意义[J]. 中国沙漠, 2000, 20(1): 30-34.
 [7] 俞胜清, 阿布都米基提, 周向玲, 等. 新疆喀拉库姆沙漠新月形沙丘不同部位粒度特征[J]. 中国沙漠, 2013, 33(6): 1629-1635.
 [8] Livingstone I. Temporal trends in grain-size measures on a linear sand dune[J]. Sedimentology, 1989, 36: 1017-1022.
 [9] Mainguet M, Chemin M C. Wind degradation on the sandy soils of the Sahel of Mali and Niger and its part in desertification[M]// Aeolian Grain Transport, 1991: 113-130.
 [10] Livingstone I. A twenty-one-year record of surface change on a Namib linear dune[J]. Earth Surface Process and Landforms, 2003, 28: 1025-1031.
 [11] Thomas D S G, O'Connor P W, Bateman M D, et al. Dune activity as a record of late Quaternary aridity in the Northern Kalahari: new evidence from northern Namibia interpreted in the context of regional arid and humid chronologies[J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 2000, 156(3/4): 243-259.

- [12] Thomas D S G. Arid Zone Geomorphology[M]. Chichester, USA; John Wiley & Sons, 2011; 425—568.
- [13] Middleton N J, Goudie A S. Saharan dust: sources and trajectories[J]. Transactions of the Institute of British Geographers, 2002, 26(2): 165—181.
- [14] CIA. The CIA World Factbook 2012-Mauritania [EB/OL]. (2014-06-20)[2016-07-10].
- [15] Mainguet M, Dumay F, Guang H, et al. Accelerated desertification in the deserts of Mauritania and China in the 20th century[M]//Security and Environment in the Mediterranean. Berlin, Germany; Springer, 2003; 677—686.
- [16] Bennoune M. Mauritania; a neocolonial desert[J]. Dialectical Anthropology, 1978, 3(1): 43—66.
- [17] 周娜, 雷加强, 王永东, 等. 1973—2010年毛里塔尼亚气候变化与风况特征[J]. 中国沙漠, 2015, 35(6): 1683—1692.
- [18] 赵澄林. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001; 48—72, 253—260.
- [19] 哈斯, 王贵勇. 腾格里沙漠东南缘横向沙丘粒度变化及其与坡面形态的关系[J]. 中国沙漠, 1996, 16(3): 215—220.
- [20] 庞红丽, 程捷, 丛殿阁, 等. 腾格里沙漠北缘沙丘粒度特征及区域差异分析[J]. 宁夏大学学报: 自然科学版, 2015, 36(3): 267—273.
- [21] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal Sedimentary Petrology, 1957, 27(1): 3—26.
- [22] Udden J A. Mechanical composition of clastic sediments[J]. Geological Society of America Bulletin, 1914, 25(1): 655—744.
- [23] Wentworth C K. A scale of grade and class terms for clastic sediments[J]. Journal of Geology, 1922, 30(5): 377—392.
- [24] Sahu B K. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments[J]. Journal of Sedimentary Research, 1964, 34(1): 2—24.
- [25] Kocurek G, Havholm K G, Deynoux M, et al. Amalgamated accumulations resulting from climatic and eustatic changes, Akchar Erg, Mauritania[J]. Sedimentology, 1991, 38(4): 751—772.
- [26] 李志忠, 关有志, 孙忠, 等. 塔克拉玛干沙漠腹地纵向沙垄的粒度分布特征[J]. 干旱区研究, 1996(2): 37—43.
- [27] Tsoar H. The Dynamics of Longitudinal Dunes[R]. U. S. Army European Research Office, 1978.
- [28] 魏怀东, 王继和, 徐先英, 等. 库姆塔格沙漠各沙丘类型沙粒粒度分析[J]. 甘肃科技, 2007, 23(5): 85—88.
- [29] Steffen Mischke. 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.
- [30] 王雪芹, 李丙文, 张元明. 古尔班通古特沙漠沙垄表面的稳定性与顶部流动带的形成[J]. 中国沙漠, 2003, 23(2): 126—131.
- [31] 钱广强, 董治宝, 罗万银, 等. 巴丹吉林沙漠地表沉积物粒度特征及区域差异[J]. 中国沙漠, 2011, 31(6): 1357—1364.
- [32] 钱亦兵, 吴兆宁, 杨海峰, 等. 古尔班通古特沙漠南部风沙土粒度分布的空间异质性[J]. 干旱区地理, 2009(5): 655—661.
- [33] 哈斯. 腾格里沙漠东南缘格状沙丘粒度特征与成因探讨[J]. 地理研究, 1998, 17(2): 178—184.
- [34] 王训明, 董治宝, 屈建军, 等. 塔克拉玛干沙漠简单线形沙丘形态动力学过程研究[J]. 中国沙漠, 2003, 23(3): 257—262.
- [35] 庞红丽. 腾格里沙漠北缘沙丘分布及粒度特征研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- [36] 魏怀东, 徐先英, 王继和, 等. 库姆塔格沙漠沙丘的粒度特征[J]. 水土保持学报, 2007, 21(3): 6—9.

Characteristics of Sand Granularity and Its Environmental Significance in Nouakchott, Mauritania

Zhou Na^{1,2,3}, You Yuan^{1,2,3}, Lei Jiaqiang^{1,3}, Wang Yongdong^{1,3}, Wang Haifeng¹

(1.State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.Sino-African Joint Research Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The Nouakchott, Mauritania is located in the west of the world's largest tropical Sahara Desert. The local ecology is seriously threatened by desertification. Studying the grain size characteristics in this area is important because it plays a key role in distinguishing the sedimentary environment and the source of the dust. In present study, 50 sediment samples from different positions of longitudinal dunes were collected and analyzed by means of sieving. The longitudinal dunes can be divided into three parts including southeast slope, top, and northwest slope, which are mainly composed of fine sand and very fine sand which together account for more than 64% in total sand. It is finer than sands in the longitudinal dunes in China. Sediment form southeast slope with highest content of fine sand and very fine sand, and with lowest content of silty sand, while sediment form northwest slope with lowest content of fine sand and very fine sand, but with highest content of silty sand. The grain size parameters show that the finest and the coarsest grains can be found on the northwest slope and southeast slope, respectively. In addition, kurtosis of southeast slope, top, and northwest slope represent leptokurtic or mesokurtic, leptokurtic, and platykurtic, respectively. Moreover, all the three parts exhibit a positively skewness distribution. The sediments from inter-dunes mainly composed of fine sand and have a mean grain size of 2.76Φ , which are coarser and better sorted than dune sands and with an approximately symmetric mesokurtic distribution. The sedimentary environment and origins of the surface sand in the area are varied, more than 70% of the sand samples are dominated by wind, while others are dominated by littoral deposits.

Key words: grain size; Mauritania; west Africa; sedimentary environment