

文章编号: 1000-0550(2012)04-0724-07

海岸沙丘表面现代风成沙地球化学元素 分异的典型研究^①

——以河北昌黎黄金海岸横向沙脊为例

龙黎^{1,2} 董玉祥¹ 孙忠³

(1. 中山大学地理科学与规划学院 广东省城市化与地理环境空间模拟重点实验室 广州 510275;

2. 中国海洋石油有限公司深圳分公司 广东深圳 518067; 3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 兰州 73000)

摘要 在我国海岸沙丘主要分布地区河北昌黎黄金海岸选取代表性的海岸横向沙脊为研究对象,对其典型断面上沙丘表面不同部位的21种地球化学元素的含量进行了比较分析。结果表明,Co、Zr和Mg三种元素在海岸沙脊表面不同部位的含量差异明显且与海滩沙相比含量差异较大,Cr、Pb、Ti、Nb、As、Mn、Zn和Ba等8种元素的含量差异程度中等,但Y、Ca、Fe、Na、Al、Sr、P、K、Rb和Si等10种元素的差异并不明显,而11种差异程度中等以上元素在海岸横向沙脊迎风坡脚、迎风坡、脊顶、背风坡、背风坡脚等部位的含量变化特征并不一致,呈现出不同的分异模式,其主要原因是受沉积环境、化学元素性质、粒度特征及营力的影响等。

关键词 海岸沙丘表面 地球化学元素 分异 海岸横向沙脊

第一作者简介 龙黎 男 1986年出生 硕士研究生 海岸风沙地貌 E-mail: longlihn@126.com

通讯作者 董玉祥 E-mail: eesdyx@mail.sysu.edu.cn

中图分类号 P593 **文献标识码** A

0 研究背景

风成沙中地球化学元素分异的研究,对于研究风成沙组成特征及其物源、风沙侵蚀与沉积过程、古环境变化等均具有重要意义。国外, Saye S E等^[1,2]研究了丹麦 Jutland 西部海岸沙丘沉积物元素组成的变化等; Kasper-Zubillaga J J^[3,4]等曾对墨西哥西北海岸沙丘的稀有元素进行分析,认为风力对重矿物搬运能力的强弱影响元素的分异。国内风成沙地球化学元素分异的研究主要集中在内陆沙漠,如吴兆宁等^[5]对新疆和田河与克里雅河流域河流沙、沙丘沙、地层沙三种存在物源相关性的沙物质的地球化学特征进行了比较分析; 钱亦兵^[6]等研究了塔克拉玛干沙漠沙物质的元素组成; 赵贵海^[7]等对塔克拉玛干沙漠地区土壤中24种元素的背景值进行了分析; 杨少平^[8]等以内流湖区和河谷区沙丘风成沙为对象,研究了西藏中西部风成沙的地球化学特征,并从元素与粒度关系的角度对地球化学元素的分异进行了分析,认为物源不同是影响风成沙地球化学特性的主要原因,但风力分选也在一定程度上影响元素的分异; 徐

志伟^[9]等对库姆塔格沙漠地表沉积物中主要元素的含量与塔克拉玛干沙漠、黄土、上陆壳平均化学元素组成等进行过比较研究; 更多的研究则主要是运用地层剖面中不同层位元素含量的变化探询环境与气候的变迁^[10-15]。与国外相比,国内明显缺少对海岸沙丘表面现代风成沙中地球化学元素特征尤其是在海岸沙丘表面不同部位变异特点的研究,故拟在我国海岸沙丘主要分布区选择典型海岸沙丘,研究现代海岸风成沙中地球化学元素在海岸沙丘表面不同部位的分异现象及其规律。

1 研究区域、样品采集与测试方法

1.1 研究区域

河北昌黎黄金海岸是我国海岸沙丘分布最为集中和典型的区域^[16-21],属暖温带半湿润大陆性季风气候,平行于其海岸线分布有南北长约45 km、宽约1.5~2 km、高约15~30 m的海岸沙丘带(图1),有锥形前丘、横向沙脊、新月形沙丘以及沙丘链、海岸沙席等,沙丘类型多、形态典型、规模较大。其中,尤以海岸横向沙脊在国内最具典型性和代表性^[21-25],海

^①国家自然科学基金项目(编号:40571019,40971007)资助。
收稿日期:2011-09-10; 收修改稿日期:2011-11-07

岸横向沙脊 NNE—SSW 走向, 绵延分布有近 30 km, 长度可达 5~9 km 部分脊顶高度在 30 m 以上, 最高可达 40 m, 单个沙丘宽度约 150~250 m, 其两坡明显不对称, 向海坡(迎风坡)长而缓, 倾角 8°~12°左右, 向陆坡(背风坡)短而陡, 倾角约 28°~32°, 其形成于距今约 1 000 a 左右^[26], 形态典型、规模高大的海岸横向沙脊是进行现代海岸风成沙中地球化学元素在海岸沙丘表面不同部位分异研究的理想对象。

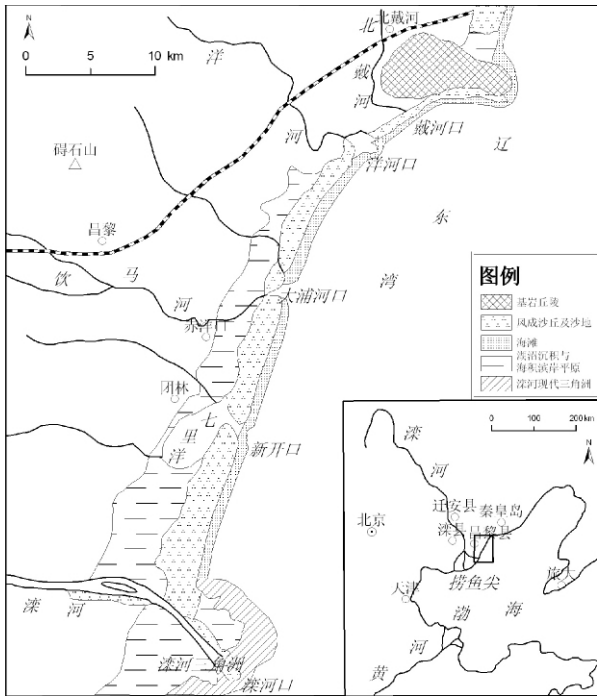


图 1 研究区域位置图^[21]

Fig. 1 Map of location of the study area^[21]

1.2 样品采集

选取一个形态和规模具有代表性的海岸横向沙脊进行其表面现代风成沙样品的采集。沿垂直于海

岸横向沙脊走向的典型断面采集样品(图 2), 样品采集在表面积 20 cm × 20 cm、深约 3 cm 的范围内进行, 采集后编号装入样袋内密封, 共采集了 24 个样品。24 个样品除 Y01 采集于海滩沙外余皆采集于海岸横向沙脊表面现代风成沙, 其采集部位分别是: Y02—Y08 海岸横向沙脊迎风坡脚; Y09—Y16, 迎风坡; Y17—Y19 脊顶, 其中 Y18 为沙脊顶点; Y20—Y22, 背风坡; Y23—Y24 背风坡脚(图 2)。

1.3 测试方法

野外样品采集后, 室内进行元素含量的测试。分析仪器为帕纳科公司生产的顺序式波长色散型 X 射线荧光光谱仪(型号: Axios; 产地: 荷兰)。制样方法采用粉末压片法, 称取 4 g 粒度小于 200 目的样品, 在 105℃ 下烘干后放入制样模具, 压成镶边外径为 32 mm 的样片放入干燥器中待测。标准样品选用国家一级标准, 包括岩石成分分析标准物质 GBW07103—GBW07114、GBW07120—GBW07122, 土壤成分分析标准物质 GBW07401—GBW07408、GBW0743—GBW07430 和水系沉积物成分分析标准物质 GBW07301a—GBW07318 等, 以国标 GB/T14506.28—93(硅酸盐岩石化学分析方法 X 射线荧光光谱法)为依据确定各元素的最佳测试条件。测量标准样品的分析强度后, 采用数学校正模式进行回归分析, 求得校正曲线常数、谱线重叠干扰校正系数和基体校正系数并建立工作曲线, 被测样品通过已建立好的测试方法得到各元素的分析结果。测得的元素包括 8 种常量元素 Si、Al、Fe、Ca、Mg、K、Na 和 Ti, 16 种微量元素 P、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Pb、As、Rb、Sr、Y、Zr、Nb 和 Ba, 常量元素结果以 SiO₂、Al₂O₃、TFe₂O₃、CaO、MgO、K₂O、Na₂O、TiO₂ 等氧化物形式表示, 单位为 wt%, 微量元素单位为 mg/kg。

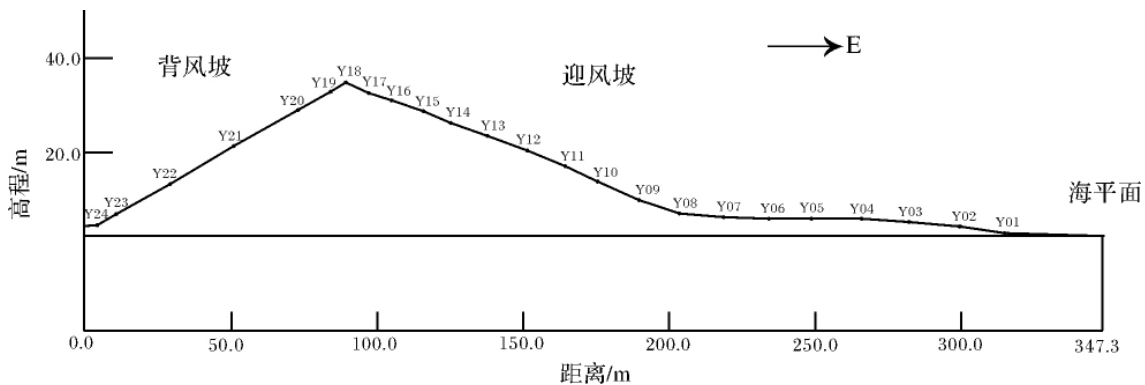


图 2 海岸横向沙脊断面的样品采集部位示意图

Fig. 2 Sketch map of sampling positions on the coastal aeolian transverse ridge profile

2 测试结果

测试结果中, Cu、V 和 Ni 三种元素含量低并在部分样品中缺失, 为保证分析精度故仅对除 Cu、V 和 Ni 元素之外的其它 21 种元素的含量及其变化进行分析。

2.1 元素平均含量及其分异系数

23 个风成沙和 1 个海滩沙样品的测试结果(表 1), 海岸横向沙脊表面现代风成沙中常量元素以 SiO₂ 含量为最高, 平均为 87.37%, 其次 Al₂O₃、K₂O 和 Na₂O 的含量介于 1.00% ~ 5.00%, 其它常量元素含量低于 1.00%; 微量元素含量最高的 Ba 达到 455.31 mg/kg, 含量超过 100 mg/kg 的还有 Mn、Sr 和 P, 含量介于 10 ~ 100 mg/kg 的元素有 Zr、Rb 和 Cr, 其它微量元素的含量均不足 10 mg/kg。

表 1 风成沙与海滩沙的元素含量

Table 1 Content of geochemical elements in coastal aeolian sands and beach sands

	元素	海滩沙	风成沙				
			平均值	最大值	最小值	分异系数	
常量元素 /%	Si	87.07	87.37	88.8	86.15	0.01	
	Al	4.97	4.95	5.46	3.59	0.08	
	Fe	0.92	0.89	1.26	0.79	0.11	
	Ca	0.47	0.40	0.55	0.27	0.13	
	Mg	0.08	0.03	0.09	0.01	0.53	
	K	2.03	2.12	2.31	1.59	0.07	
	Na	1.31	1.17	1.31	0.85	0.08	
	Ti	0.13	0.14	0.27	0.09	0.28	
	微量元素 /(mg/kg)	P	115.60	106.99	135.80	98.2	0.07
		Cr	22.10	25.41	53.50	16.00	0.33
Mn		160.00	162.83	293.40	127.50	0.22	
Co		3.20	1.80	3.80	0.10	0.60	
Zn		5.40	5.86	8.30	3.90	0.20	
Pb		8.50	7.40	9.80	3.10	0.29	
As		5.20	4.82	7.20	3.40	0.23	
Rb		62.00	65.46	69.50	53.40	0.05	
Sr		133.20	124.00	138.70	91.60	0.08	
Y		6.30	6.80	10.30	5.50	0.16	
Zr	68.20	94.83	286.10	52.10	0.54		
Nb	3.90	3.79	6.50	2.20	0.24		
Ba	509.40	455.31	632.50	294.00	0.20		

2.2 元素含量在海岸沙丘不同部位的变化

依据海岸横向沙脊表面各风成沙样品采集的位置, 可分别将其归入海岸横向沙脊的迎风坡脚、迎风坡、脊顶、背风坡和背风坡脚等 5 个海岸横向沙脊表面的特征部位, 计算各元素含量在沙丘表面各特征部

位的均值(表 2), 依此分析各元素在海岸横向沙脊表面不同部位变化的特征, 其中重点是分析海岸沙丘表面元素含量差异程度中等以上的 Co、Zr、Mg、Cr、Pb、Ti、Nb、As、Mn、Zn 和 Ba 等 11 种元素。为便于分析, 采用不同部位元素含量均值除以该元素在海岸横向沙脊表面含量总均值的方法用于消除量刚及不同数量级差别的影响(表 3、图 3)。海岸横向沙脊表面不同部位现代风成沙中元素含量的比较表明, 除 Y、Ca、Fe、Na、Al、Sr、P、K、Rb 和 Si 等 10 种元素在海岸横向沙脊表面不同部位的含量变化不大、分布较为均一外, 其余 11 种元素在海岸沙脊表面不同特征部位之间的变化大致可以归结为以下四种模式(表 3、图 3):

表 2 海岸横向沙脊表面不同部位风成沙中地球化学元素含量均值

Table 2 Mean content of elements in aeolian sands at different sites on coastal aeolian transverse ridge

	元素	迎风坡脚	迎风坡	丘顶	背风坡	背风坡脚	
常量元素 /%	Si	87.14	87.88	87.27	86.95	86.93	
	Al	4.87	4.88	5.14	4.98	5.12	
	Fe	0.97	0.84	0.86	0.85	0.87	
	Ca	0.44	0.37	0.41	0.40	0.41	
	Mg	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	
	K	2.08	2.09	2.20	2.17	2.23	
	Na	1.16	1.14	1.22	1.18	1.23	
	Ti	0.16	0.11	0.13	0.13	0.13	
	微量元素 /(mg/kg)	P	112.53	105.25	104.42	103.13	104.20
		Cr	33.10	21.89	19.13	23.40	25.05
Mn		193.41	144.64	154.63	157.57	148.75	
Co		1.70	1.80	2.57	1.43	1.50	
Zn		6.16	5.38	5.70	6.23	6.40	
Pb		7.21	7.04	8.30	6.67	9.25	
As		5.29	4.79	4.77	4.03	4.55	
Rb		65.21	64.31	66.93	65.00	69.35	
Sr		129.37	118.23	125.13	121.53	130.25	
Y		7.76	6.26	6.37	6.67	6.45	
Zr	134.06	70.41	80.27	100.40	68.75		
Nb	4.51	3.13	3.57	3.97	4.00		
Ba	541.33	438.36	435.60	330.70	438.55		

元素 Mg、As、Ba, 在迎风坡脚含量最高, 迎风坡脚到迎风坡含量下降, 到脊顶处基本不变, 从脊顶到背风坡含量下降, 但背风坡脚处略有升高;

元素 Ti、Zr、Mn、Zn 和 Nb, 从迎风坡脚到迎风坡元素含量下降, 迎风坡含量最低, 经脊顶到背风坡含量逐渐升高, 再到背风坡脚含量有小幅度的升高或降低;

元素 Co 和 Pb 含量从迎风坡脚经迎风坡到沙脊脊顶逐渐升高,脊顶含量为最高,在背风坡有较大幅度的下降,但到背风坡脚含量又有所提高;

元素 Cr 从迎风坡脚经迎风坡到沙脊脊顶元素含量逐渐减少,脊顶含量最低,之后经背风坡到背风坡脚含量有所提高。

表3 主要元素不同部位的含量均值与其海岸横向沙脊表面含量总均值的比值

Table 3 Ratio of mean content of main elements at different sites with the total mean content of elements on coastal aeolian transverse ridge

元素	迎风坡脚	迎风坡	丘顶	背风坡	背风坡脚
Mg	1.33	1.00	1.00	1.00	1.33
Ti	1.14	0.79	0.93	0.93	0.93
Cr	1.35	0.89	0.78	0.95	1.02
Mn	1.19	0.89	0.95	0.97	0.92
Co	0.94	1.00	1.43	0.79	0.83
Zn	1.05	0.92	0.97	1.06	1.09
Pb	0.97	0.95	1.12	0.90	1.25
As	1.10	0.99	0.99	0.84	0.94
Zr	1.41	0.74	0.85	1.06	0.72
Nb	1.19	0.83	0.94	1.05	1.06
Ba	1.19	0.96	0.96	0.73	0.96

3 分析与讨论

影响地球化学元素在海岸横向沙脊表面不同部位分异的因素有沉积环境、元素性质、矿物种类、粒度特征以及营力状况等^[27,28]。首先,海岸横向沙脊表面现代风成沙中各种地球化学元素的性质特征虽有

差异,但其中一些元素的变化主要受沉积环境的影响与作用,不同沉积环境下风化过程及其强度的差异是导致其含量变化的主导因素,故相同沉积环境下在小地貌不同部位的含量差异一般并不明显,昌黎海岸横向沙脊形成于距今1000 a左右较为稳定的暖温带半湿润环境中,就使得一些主要受沉积环境影响的元素在海岸横向沙脊表面不同部位的变化并不明显,如常量元素分异不明显应主要是受此影响。其次,元素的化学、物理性质及其矿物组成对其在海岸横向沙脊表面不同部位分异的亦有一定的影响,在海岸横向沙脊各特征部位上变异特征相同的化学元素之间往往具有较强的相关性,如 Rb、Y 和 Sr, Ti、Mn 和 Zn, 以及 Zr 和 Nb 等。另外,风力是海岸沙丘形成与发育的主要营力,风力的分选作用对部分元素分异模式的形成也有一定的影响,尤其是受制于起沙风速和携沙力差异,一定风速对不同粒度沙粒具有不同的搬运与分选作用^[24,29,30],而不同的元素由于形成环境及矿物组成等差异会主要赋存于不同粒度级别的沙粒中,在相同沉积环境下区内特有的风况就导致部分元素由于所赋存沙粒粒度不同造成其分异模式的差别,如 Ti、Cr 和 Co 元素等。例如,就河北昌黎黄金海岸典型海岸横向沙脊而言,尤以 Co、Zr、Cr 和 Ti 在海岸横向沙脊表面不同部位的分异最为突出,其中海滩沙与海岸横向沙脊表面风成沙中 Zr 和 Co 的含量也存在明显的差别,可以认为风力的分选作用对其侵蚀、搬运和沉积过程产生了重要的作用,由此可较好地解释我国沿海沙地多 Co、Zr、Cr 和 Ti 矿的主要原因。但是,由于

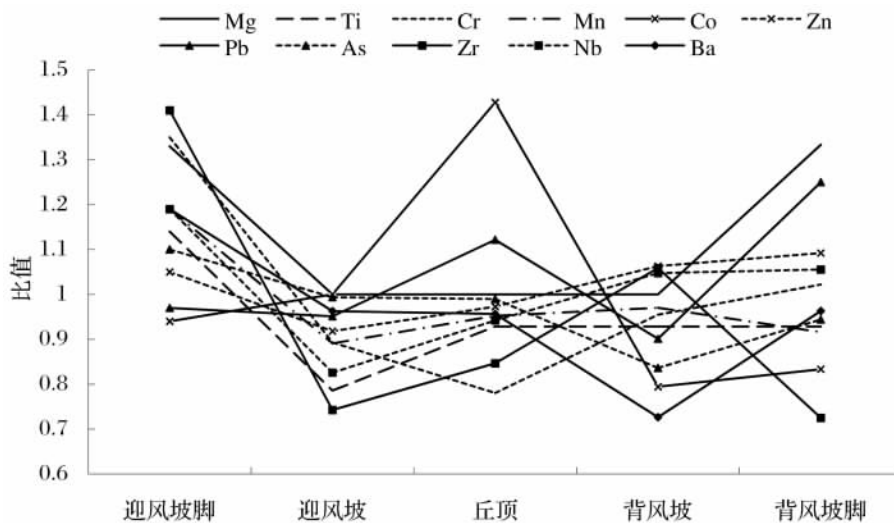


图3 主要元素在海岸横向沙脊表面不同部位的含量变化曲线

Fig. 3 The change curve of mean content of main elements at different sites on coastal aeolian transverse ridge

影响化学元素分异的因素很多,目前还难以完全解析海岸横向沙脊表面地球化学元素的分异特征及其模式。

在环境与气候变迁研究中^[10-15],一般多采用风化系数硅铝率、铝铁硅系数、CIA 值等指标说明环境或气候的波动情况,这些指标的计算就是依据常量元素 Si、Al、Fe、Ca、Na 和 K 的含量,而这些常量元素含量的变化主要受环境或气候变化的影响和作用,在相同环境条件下的海岸沙丘表面的不同部位几无变化,说明硅铝率、铝铁硅系数、CIA 值等指标应该可以作为重要指征用于海岸风沙环境或气候变化的研究之中。但是,Co、Zr、Mg、Cr、Pb、Ti、Nb、As、Mn、Zn 和 Ba 元素,在海岸横向沙脊表面不同部位会出现一定程度的分异现象,即在同样的沉积环境条件和同一个海岸沙丘表面,由于所处海岸沙丘表面部位的差异,这些元素尤其是 Co、Zr、Mg 和 Cr 在海岸横向沙脊表面不同部位的含量会有一定的差别,故如仅根据地层中这些微量元素(如 Cr、Nb 等)含量的变化来推断环境或气候的变迁,可能会因不同地层中采样点所处地貌部位的不同而产生较大的误差,这些元素含量变化只能是环境或气候变迁分析的辅助指标。

4 结论

(1) 21 种地球化学元素的含量在河北昌黎黄金海岸典型横向沙脊表面的不同部位具有不同的变化特点,其中 Co、Zr 和 Mg 三种元素含量的变化明显且与海滩沙含量差异较大,Cr、Pb、Ti、Nb、As、Mn、Zn 和 Ba 等 8 种元素的变化程度中等,但 Y、Ca、Fe、Na、Al、Sr、P、K、Rb 和 Si 等 10 种元素的变化并不明显。同时,11 种变化程度中等以上的元素在海岸横向沙脊表面迎风坡脚、迎风坡、脊顶、背风坡、背风坡脚等部位的含量变化特征并不一致,表现为四种不同的分异模式。

(2) 影响现代风成沙地球化学元素在海岸横向沙脊表面不同部位分异的因素有沉积环境、元素性质、矿物种类、粒度特征以及营力状况等,如常量元素的分异主要与沉积环境有关,而 Ti、Cr 和 Co 元素的分异主要是受粒度差异与风力分选作用的影响等。现代海岸风成沙中地球化学元素在海岸横向沙脊表面不同部位的分异模式,较好地说明了海岸沙地 Co、Zr、Cr 和 Ti 矿的成因,证明了硅铝率、铝铁硅系数和 CIA 值等指标应可用于海岸风沙环境或气候变化的研究,但同时亦说明了运用微量元素(如 Cr、Nb 等)

的含量变化推断海岸环境或气候变迁时须十分谨慎,根据其在海岸沙丘表面的变化特点建议只能作为海岸环境或气候变迁分析的辅助指标。

(3) 限于样本数量、分析指标等原因,上述仅是初步研究结果,尤其是对元素分异机理的分析尚不够深入,还需在不同区域、不同海岸沙丘类型以及增加样品采集样本量的情况下,进一步探询海岸沙丘表面地球化学元素分异的规律。

致谢 北京师范大学邹学勇教授、中山大学黄德全高级工程师等参加了相关外业采样工作等,特致谢忱。

参考文献(References)

- 1 Saye S E, Pye K. Variations in chemical composition and particle size of dune sediments along the west coast of Jutland, Denmark [J]. *Sedimentary Geology*, 2006, 183(3-4): 217-242
- 2 Saye S E, Pye K, Clemmensen L B. Development of a cliff-top dune indicated by particle size and geochemical characteristics: Rubjerg Knude, Denmark [J]. *Sedimentology*, 2006, 53(1): 1-21
- 3 Kasper-Zubillaga J J, Zolezzi-Ruiz H. Grain size, mineralogical and geochemical studies of coastal and inland dune sands from El Vizcaino Desert, Baja California Peninsula, Mexico [J]. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2007, 24(3): 423-438
- 4 Kasper-Zubillaga J J, Zolezzi-Ruiz H, Carranza-Edwards A, et al. Sedimentological, modal analysis and geochemical studies of desert and coastal dunes, Altar Desert, NW Mexico [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2007, 32(4): 489-508
- 5 吴兆宁, 钱亦兵. 和田河与克里雅河流域不同类型沙物质的地球化学探讨[J]. *干旱区地理*, 1992, 15(4): 71-77 [Wu Zhaoning, Qian Yibing. Geochemical studies of various sand sediments in the Hotan river and the Keliya river basins [J]. *Geography in Arid Zone*, 1992, 15(4): 71-77]
- 6 钱亦兵, 吴兆宁, 金井丰, 等. 塔克拉玛干沙漠沙物质成分研究[J]. *干旱区研究*, 1994, 11(4): 46-52 [Qian Yibing, Wu Zhaoning, Jin Jingfeng, et al. The studies of constituents for sand materials in the Taklakan desert [J]. *Arid Zone Research*, 1994, 11(4): 46-52]
- 7 赵贵海, 樊自立, 季方. 塔克拉玛干沙漠地区土壤元素背景值研究[J]. *干旱区研究*, 1994, 11(2): 35-40 [Zhao Guihai, Fan Zili and Ji Fang. Study on soil element background values of the Taklakan desert [J]. *Arid Zone Research*, 1994, 11(2): 35-40]
- 8 杨少平, 刘华忠, 张学君. 西藏中西部风成砂的地球化学特征[J]. *中国沙漠*, 2006, 26(3): 345-350 [Yang Shaoping, Liu Huazhong and Zhang Xuejun. Geochemical features of Eolian sand in central and western Tibet [J]. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(3): 345-350]
- 9 徐志伟, 鹿化煜, 赵存发, 等. 库姆塔格沙漠地表物质组成、来源和风化过程[J]. *地理学报*, 2010, 65(1): 53-64 [Xu Zhiwei, Lu Huayu, Zhao Cunfa, et al. Composition, origin and weathering process

- of surface sediment in Kumtagh Desert, Northwest China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(1): 53-64
- 10 靳鹤龄, 李明启, 苏志珠, 等. 220 ka BP 来萨拉乌苏河流域地质剖面地球化学特征及其对全球气候变化的响应[J]. *冰川冻土*, 2005, 27(9): 861-868 [Jin Heling, Li Mingqi, Su Zhizhu, *et al.* Geochemical features of a profile in Salawusu river valley and their response to global climate changes since 220 ka BP [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27(9): 861-868]
- 11 李云卓, 李保生, 高全洲, 等. 巴丹吉林查格勒布剖面记录的 150 ka BP 以来的常量化学元素波动[J]. *中国沙漠*, 2005, 25(1): 8-14 [Li Yunzhuo, Li Baosheng, Gao Quanzhou, *et al.* Fluctuations of main chemical elements since 150 ka BP as indicated in chagelebulu stratigraphical section, Badain Jaran Desert [J]. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(1): 8-14]
- 12 杨艺, 李保生, 李云卓, 等. 巴丹吉林沙漠查格勒布剖面微量元素反映的 150 ka BP 以来的气候变化[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(1): 1-8 [Yang Yi, Li Baosheng, Li Yunzhuo, *et al.* Palaeo climate change indicated from fluctuations of trace elements since 150 ka BP in Chagelebu stratigraphical section, Badain Jaran Desert [J]. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(1): 1-8]
- 13 鲁瑞洁, 夏虹, 强明瑞, 等. 近 130a 来毛乌素沙漠北部泊江海子湖泊沉积记录的气候环境变化[J]. *中国沙漠*, 2008, 28(1): 44-49 [Lu Ruijie, Xia Hong, Qiang Mingrui, *et al.* Environmental evolution in past 130 years recorded by Bojianghaizi Lake sediments in north Mu Us Desert China [J]. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(1): 44-49]
- 14 凌智永, 李志忠, 罗磊, 等. 关于沙漠环境演变几种研究指标的探讨[J]. *云南地理环境研究*, 2009, 21(2): 86-91 [Ling Zhiyong, Li Zhizhong, Luo Lei, *et al.* The discussion about the several research indicators of the desert environment evolution [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2009, 21(2): 86-91]
- 15 顾磊, 王立强, 李明治. 中国西北干旱半干旱区阿拉善沙漠和黄土高原的物源分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(4): 45-49 [Gu Lei, Wang Liqiang, Li Mingzhi. Grain sources of the Alashan desert and Loess Plateau in arid and semi-arid regions of northwestern China [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(4): 45-49]
- 16 董玉祥. 中国海岸风沙研究: 进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2006, 25(2): 26-35 [Dong Yuxiang. Coastal aeolian research in China: progress and prospect [J]. *Progress in Geography*, 2006, 25(2): 26-35]
- 17 董玉祥. 中国海岸风沙地貌的类型及其分布规律[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2006, 26(4): 99-104 [Dong Yuxiang. The coastal aeolian geomorphic types and their distribution pattern in China [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2006, 26(4): 99-104]
- 18 吴正, 黄山, 胡守真, 等. 华南海岸风沙地貌研究[M]. 北京: 科学出版社, 1995 [Wu Zheng, Huang Shan, Hu Shouzhen, *et al.* Research on the Landforms of the Wind-Drift Sand in South China Coast [M]. Beijing: Science Press, 1995]
- 19 胡镜荣, 顾建清, 等. 自然保护区持续发展概论——以国家级昌黎黄金海岸自然保护区为例[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 64-65 [Hu Jingrong, Gu Jianqing, *et al.* Introduction to Sustainable Development of Natural Protection Area [M]. Beijing: Science Press, 1996: 64-65]
- 20 李从先, 陈刚, 王秀强. 滦河以北海岸风成砂沉积的初步研究[J]. *中国沙漠*, 1987, 7(2): 12-22 [Li Congxian, Chen Gang and Wang Xiuqiang. Study on the coastal sand sediments at the north bank of Luanhu River [J]. *Journal of Desert Research*, 1987, 7(2): 12-22]
- 21 傅启龙, 沙庆安. 昌黎海岸风成砂丘的形态与沉积构造及其成因初探[J]. *沉积学报*, 1994, 12(1): 98-105 [Fu Qilong, Sha Qingan. Morphology sedimentary structural characteristics and genesis of the Changli coastal dunes, Hebei Province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 12(1): 98-105]
- 22 傅命佐, 徐孝诗, 徐小微. 黄、渤海海岸风沙地貌类型及其分布规律和发育模式[J]. *海洋与湖沼*, 1997, 8(1): 56-65 [Fu Mingzuo, Xu Xiaoshi, Xu Xiaowei. The aeolian geomorphical types in the coastal areas of the Yellow Sea and Bohai Sea, and their distribution patterns and developing modes [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1997, 28(1): 56-65]
- 23 曾照爽, 庄振业, 祁兴芬, 等. 秦皇岛昌黎黄金海岸的沙丘沉积和发育机理[J]. *海洋地质动态*, 2003, 19(7): 23-27 [Zeng Zhaoshuang, Zhuang Zhenye, Qi Xingfen, *et al.* Sedimentation and development mechanism of dunes in the Changli gold coast [J]. *Marine Geology Letters*, 2003, 19(7): 23-27]
- 24 董玉祥, 马骏, 黄德全. 河北昌黎黄金海岸横向沙脊表面的粒度分布模式[J]. *地理研究*, 2008, 27(4): 725-733 [Dong Yuxiang, Ma Jun and Huang Dequan. Distribution model of grain size on transverse ridge at Changli Golden Coast in Hebei Province [J]. *Geographical Research*, 2008, 27(4): 725-733]
- 25 董玉祥, 马骏, 黄德全. 人为干扰下海岸沙丘表面粒度分布变异实证研究[J]. *中国沙漠*, 2008, 28(2): 202-207 [Dong Yuxiang, Ma Jun, Huang Dequan. Research on variation of distribution model of grain size on coastal transverse ridge under influence of human activities [J]. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(2): 202-207]
- 26 高善明. 滦河口北岸海岸沙丘的形成时代[J]. *海洋湖沼通讯*, 1983, (3): 29-32 [Gao Shanming. The age of the northern coastal dunes of the Luan River mouth [J]. *Transaction of Oceanology and Limnology*, 1983, (3): 29-32]
- 27 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学导论[M]. 北京: 地质出版社, 1987: 57-81 [Liu Yingjun, Cao Liming. Introduction of Element Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 57-81]
- 28 牟保磊. 元素地球化学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1999: 47-51 [Mu Baolei. Element Geochemistry [M]. Beijing: Beijing University Press, 1999: 47-51]
- 29 董玉祥, 马骏. 风速对海岸风沙流中不同粒径沙粒垂向分布的影响[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2008, 47(5): 98-103 [Dong Yuxiang, Ma Jun. Influence of wind velocity on the vertical distribution of different grain size sands in the wind-sand flow on the coastal dune [J]. *Acta Scientiarum Naturarum Universitatis Sunyatsen*, 2008, 47(5): 98-103]
- 30 董玉祥, 马骏. 风速对海岸沙丘表面风沙流结构影响的实证研究

[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(9): 179-183 [Dong Yuxiang, Ma Jun. Field measurements of influence of total sand transport rate on the structure of wind-sand flow on the coastal transverse Ridge[J].

Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(9): 179-183]

Differentiation of Geochemical Element in the Modern Aeolian Sands on the Surface of Coastal Aeolian Dunes

LONG Li^{1,2} DONG Yu-xiang² SUN Zhong³

(1. School of Geography and Planning, and Guangdong Key Laboratory for Urbanization and Geo-simulation, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275;

2. Shenzhen Branch of CNOOC, Shenzhen Guangdong 518067;

3. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, China Academy of Sciences, Lanzhou 73000)

Abstract: Taking a typical coastal Aeolian transverse ridge at Changli Gold Coast in Hebei province as an example, which is one of the most typical coastal aeolian distribution regions in China and famous for the tall and typical coastal transverse ridges, the distribution characteristics of 21 kinds of geochemical element in the modern aeolian sands on the surface of coastal aeolian dune (coastal Aeolian transverse ridge) are analysed. The research results show, in 21 geochemical elements which are contained in the modern aeolian sands on the surface of coastal aeolian transverse ridge, the differentiations of three geochemical elements at different sites over the surface of coastal dune are obvious, which are Co and Zr as well as Mg. The differentiations at different sites over coastal dune surface of Cr, Pb, Ti, Nb, As, Mn, Zn and Ba, are moderate but the differentiations of some geochemical elements are slight, such as Y, Ca, Fe, Na, Al, Sr, P, K, Rb and Si. The change features of geochemical elements in the modern aeolian sands at different sites, such as windward slope base, windward slope, dune crest, leeward slope and leeward slope base, on the surface of coastal aeolian transverse ridge are different, which could be concluded into different change models. The features and models of differentiation of geochemical elements at different sites over the surface of coastal aeolian transverse ridge are mainly controlled by the depositional environment, chemical characteristics of geochemical elements as well as grain-size of aeolian sands and so on. For examples, the geochemical elements such as Y, Ca, Fe, Na, Al, Sr, P, K, Rb and Si, their differentiation features are mainly affected by depositional environment, but the differentiation of some microelements, such as Cr and Co, is mainly controlled by grain size of sands and the wind force. Based on the conclusions above, because there are clear differentiations of some geochemical elements such as some microelements at different sites over the surface of coastal aeolian transverse ridge, it should be very modest to use the change of microelements in different stratum profiles to deduce the change of coastal environment or climate by use of traditional environment analysis ways as usual.

Key words: surface over coastal aeolian dune; geochemical element; differentiation; coastal aeolian transverse ridge