

中国干旱区不同成因沉积物吹蚀速率的实验研究

刘连友¹, 宋阳¹, 李小雁¹, 王建华², 拓万权², 刘玉璋²

(1. 北京师范大学资源学院, 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;
2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要: 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, 在我国西北干旱区及其周围分布最广的 8 种沉积物中, 吹蚀速率从大到小依次是: 湖相沙 > 河流沙 > 砂页岩风化物 > 洪积物 > 冰水沙 > 花岗岩风化物 > 坡积物 > 冰碛物。吹蚀速率与沉积物组成中 0.063~2 mm 的易蚀性颗粒含量和分选性成显著线性正相关, 与 < 0.063 mm 的粉粘粒和 > 2 mm 的砾石含量成显著线性负相关。根据不同沉积物吹蚀速率的差异性, 可以将这 8 种沉积物划分为 4 类: (1) 湖相沙和河流沙在干燥条件下极易遭受风蚀, 是最主要的沙源物质; (2) 砂页岩风化物、洪积物和冰水沙吹蚀速率较强, 为次要的沙源物质; (3) 花岗岩风化物和坡积物吹蚀速率较差, 仅能提供少量沙物质; (4) 冰碛物对风力有较强的抗蚀性, 所能提供的沙物质数量甚微。我国沙漠的形成除了强盛的风力条件以外, 内陆湖盆的干涸导致大范围湖相沙层的暴露以及流水对碎屑物质的前期分选起到了关键作用, 这可能是我国沙漠一般分布在内陆湖盆周围或河流沿岸的主要物质原因。

关键词: 中国; 干旱区; 沉积物; 风洞实验; 吹蚀速率; 分选性

1 引言

浩瀚的沙漠是在干燥条件下地表沉积物长期经受风蚀和风力重塑的产物^[1, 2]。沙漠的物质起源是风沙地貌形成和演化研究中的一个基本问题^[3]。一些研究运用沉积学原理, 根据风成沙在粒度、矿物组合特征等方面的继承性或相似性来追溯沙源物质^[4, 5], 成功地解释了一些沙漠的沙源物质问题。但是由于风力在侵蚀、搬运和堆积过程中产生分选或物质分异现象, 风成沙往往表现出某些有别于原生沙源物质的特性, 给沉积学分析带来一定的困难。

沙漠沙物质直接来源于风力对沙源物质的吹蚀。吹蚀主要是一种机械物理过程, 同沙源物质的性质密切相关^[6], 其中物质颗粒大小对吹蚀起动至关重要^[7]。干旱区沉积物因复杂的地貌营力过程呈现出多种类型, 它们在沉积结构和颗粒形态等方面具有显著的差异, 绝大多数是由不同粒径颗粒组成的天然混合物, 这些混合颗粒不仅吹蚀起动十分复杂, 吹蚀速率也各不相同, 并对沙物质的风力搬运和再堆积产生决定性影响^[8-10]。研究不同成因沉积物的吹蚀速率, 是揭示风蚀起沙过程、确定沙物质来源的途径之一。本文通过风洞实验, 对我国西北干旱区不同成因沉积物的吹蚀速率进行了测定, 并尝试从风蚀动力机制上进一步阐述不同成因沉积物的沙物质贡献率及其与我国沙丘发育、沙漠形成的关系。

收稿日期: 2006-01-19; 修订日期: 2006-03-20

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(40471014); 国家科技部项目课题(2005BA517A-11) 资助 [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40471014; Ministry of Science & Technology, No.2005BA517A-11]

作者简介: 刘连友, (1962-), 男, 教授, 从事风沙地貌、土壤风蚀研究。

通讯作者: 宋阳, E-mail: songyang@ires.cn

2 样品与实验方法

实验样品取自中国西北干旱区 6 种常见的地表沉积物, 包括: 河流冲积沙 (黑河下游干河床表层, 内蒙古额济纳旗)、湖相沙 (毛乌素沙地中红碱淖的湖相沉积物, 陕北榆林)、洪积物 (祁连山北麓洪积扇的中部与下缘, 甘肃张掖)、坡积物 (阿尔金山北坡的边缘, 新疆若羌)、砂页岩风化残积物 (鄂尔多斯高原西部, 内蒙古鄂托克旗) 和花岗岩风化残积物 (阿拉善高原东部, 内蒙古阿拉善左旗)。此外, 考虑到中国内陆干旱区部分地区受周围山地冰川作用的影响, 产生大量的冰碛物和冰水冲积物。因此, 根据 Embleton 与 King 提出的典型冰碛物和冰水冲积物粒度曲线配制了这两种碎屑沉积物的模型样品^[11]。同时, 为了对比这些沉积物与风成砂的粒径组成, 我们采集了宁夏中卫腾格里沙漠中移动沙丘顶部、中部的沙丘砂作为风成砂样品。这样, 我们就获得了 9 种类型的沉积物样品, 每种类型我们采集了 4 个样品, 使用干筛法对样品进行粒度分析 (表 1)。其中粒度分级标准按照 Folk 与 Ward (1957) 的分级方案^[12]。从表 1 中可以看出各种沉积物粒级范围和粒级组合的显著差别。其中, 河流沙和湖相沙的粒度分布与粒径范围最窄的风成砂接近; 坡积物和冰碛物的粒度范围较宽, 反映了它们在颗粒组合上的复杂性。

表 1 不同沉积物的粒度组成 (%)

Tab. 1 The particle composition of different sediments (%)

沉积物 类型	粒径 (mm)										
	<0.002	0.002	0.0063	0.02	0.063	0.2	0.63	2.0	6.3	20	>63
风成砂	0.00	0.00	0.00	2.03	62.28	35.49	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00
河流沙	0.00	0.00	0.00	3.88	36.12	38.46	21.54	0.00	0.00	0.00	0.00
湖相沙	0.00	0.00	0.00	6.98	55.58	27.48	9.96	0.00	0.00	0.00	0.00
洪积物	0.00	0.00	0.00	1.47	5.53	25.35	27.65	15.18	9.78	8.92	6.12
坡积物	0.00	0.00	2.93	6.48	7.49	8.93	11.02	11.88	15.15	15.06	21.06
冰碛物	8.21	9.53	12.26	13.43	12.39	10.99	8.19	8.92	6.03	4.96	5.09
冰水沙	0.00	0.00	0.00	0.97	4.28	20.92	60.93	11.92	0.98	0.00	0.00
砂页岩 风化物	0.00	6.31	9.62	15.51	39.55	23.22	5.79	0.00	0.00	0.00	0.00
花岗岩 风化物	0.00	0.00	1.55	2.52	5.92	20.01	43.03	17.38	5.66	1.98	1.95

风洞实验在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的风洞实验室内完成 (图 1)。所用风洞为直流吹气式, 总长 37.8 m, 其中实验段长 16.2 m。洞体截面宽度为 1.0 m, 高度 0.6 m, 风速从 2~40 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 连续可调, 边界层厚度为 22 cm, 紊流强度在 0.4% 以下。风速 (20 cm 高) 用皮托管测定, 其风速值与野外观测中的 2 m 高度风速值相对应。根据在野外可观测到的风力条件, 当 2 m 高度的风速达到 6 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时, 大部分地表颗粒开始明显起动。为了保证实验观测的有效性, 我们选取 6~24 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的 7 个风速进行吹蚀实验, 风速间隔为 3 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在相同风速条件下, 对不同沉积物原则上



图 1 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所风洞实验室

Fig. 1 Wind tunnel at Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS

吹蚀相同的时间。7 个风速的吹蚀时间分别为：10、6、5、4、3、2、1 分钟。

样品经过自然风干，盛入面积 S 为 $0.3 \times 0.3 \text{ m}^2$ 、深度为 0.15 m 的方形木盘内，在不同风速 V ，不同时间 T 内进行吹蚀测定。在对一种类型的沉积物样品进行 7 个风速 / 时间间隔连续的吹蚀实验后，再对其他类型的沉积物样品进行同样风速 / 时间间隔的连续实验。用 $1/100$ 电子天平称出样品原重 W_0 ，在经过一个风速的吹蚀后再称出木盘内剩余样品的重量 W_d ，通过 W_0 和 W_d 的差值来确定吹蚀量 W_e ，即： $W_e = W_0 - W_d$ 。利用公式： $R_d = W_e / (S \times T)$ 来计算吹蚀速率 R_d ，即单位时间内、单位面积上的吹蚀量，单位是 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

3 结果与讨论

3.1 不同沉积物类型在不同风速条件下的吹蚀速率

对不同成因沉积物的风蚀速率 (R_d) 与风速 (V) 的实验数据进行回归分析 (表 2)，建立不同成因沉积物吹蚀速率与风速的关系式，并做出两者之间的半对数关系曲线 (图 2)。

表 2 干旱区 8 种沉积物在不同风速下的风蚀速率 R_d ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$)

Tab. 2 The deflation rates (R_d) of 8 sediments in arid regions under different wind speeds (V) ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$)

沉积物类型	实验风速 V ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) / 时间 T (min.)							R_d 与 V 的回归方程及 R^2	平均风蚀速率 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$)	
	6/10	9/6	12/5	15/4	18/3	21/2	24/1			
河流沙	0.71	2.53	45.67	1044.33	2642.14	5685.85	9285.39	$R_d = 0.038e^{0.57V}$	$R^2 = 0.928$	2672.37
湖相沙	0.37	11.96	144.61	791.08	4432.47	7007.66	19913.40	$R_d = 0.051e^{0.58V}$	$R^2 = 0.932$	4614.51
洪积物	0.40	3.99	81.12	336.85	1112.59	2663.56	5222.88	$R_d = 0.050e^{0.52V}$	$R^2 = 0.936$	1345.91
坡积物	0.41	4.34	21.62	43.35	333.97	1123.61	2428.80	$R_d = 0.044e^{0.48V}$	$R^2 = 0.980$	565.16
冰碛物	0.68	4.61	12.94	22.79	61.83	155.24	279.89	$R_d = 0.188e^{0.32V}$	$R^2 = 0.970$	122.80
冰水沙	0.09	1.20	10.94	64.05	1084.22	2210.92	5902.10	$R_d = 0.004e^{0.63V}$	$R^2 = 0.973$	1324.79
砂页岩	0.37	2.51	78.83	163.92	1296.15	3858.80	7928.80	$R_d = 0.026e^{0.56V}$	$R^2 = 0.956$	1904.20
风化物										
花岗岩	0.30	1.60	5.61	54.47	388.23	1208.70	5070.21	$R_d = 0.011e^{0.56V}$	$R^2 = 0.993$	961.30
风化物										
平均值	0.42	4.10	50.17	315.11	1418.95	2989.29	7003.93	$R_d = A \cdot e^{BV}$		1688.88

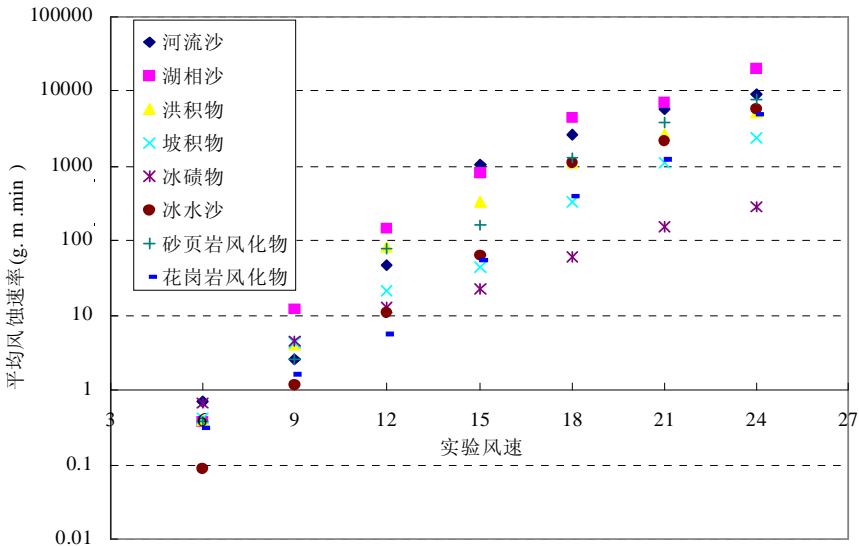


图 2 干旱区 8 种沉积物吹蚀速率与风速的关系

Fig. 2 The relationship between deflation rates of 8 sediments in arid regions and wind speed

从中可以看出, 在实验风速条件下, 8 种沉积物的吹蚀速率随风速的增加而迅速增大, 吹蚀速率与风速的关系一致服从指数函数规律:

$$R_d = A \cdot e^{BV} \quad (1)$$

式中: R_d 为吹蚀速率, V 为风速, A , B 分别为回归系数。

这一规律与实际测定的风沙流输沙率—风速关系甚为相似^[13, 14], 表明地表吹蚀和风沙搬运过程在动力机制上的相关性和一致性^[15, 16]。

不同沉积物的平均风蚀速率从大到小依次是: 湖相沙 > 河流沙 > 砂页岩风化物 > 洪积物 > 冰水沙 > 花岗岩风化物 > 坡积物 > 冰碛物。结合图 2, 可以将这 8 种沉积物分为四组沉积物类型。其中, A 组的吹蚀速率最大 (> 2500 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$), 包括湖相沙和河流沙; B 组吹蚀速率较大 (1300~2000 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$), 有砂页岩风化物、洪积物和冰水沙; C 组吹蚀速率较小 (500~1000 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$), 包括花岗岩风化物和坡积物; D 组为吹蚀速率最小 (< 200 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$) 的冰碛物。

吹蚀速率 (R_d) 与风速 (V) 的关系有以下 2 个特点: (1) 不同沉积物吹蚀速率随风速增长的幅度有所不同。湖相沙的增长幅度最大 (变幅为 0.37~19913.40 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$), 冰碛物最小 (变幅为 0.68~279.89 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$), 其它沉积物介于这两者之间。(2) 同一组沉积物的吹蚀速率曲线在不同风速节点存在着交叉现象, 这是由于沉积物粒度组合差异所导致的在不同风速可蚀性颗粒含量变化的结果。

沉积物吹蚀速率的差异在很大程度上揭示了它们提供风沙物质能力的大小。湖相沙和河流沙具有最大的吹蚀速率, 在干燥后极易为风力所搬运, 是最重要的沙源物质; 砂页岩风化物、洪积物和冰水沙吹蚀速率较强, 为次要的沙源物质; 花岗岩风化物和坡积物吹蚀速率较差, 仅能提供少量沙物质; 冰碛物的吹蚀速率最小, 对风力有较强的抗蚀性, 所能提供的沙物质数量甚微。

3.2 沉积物不同粒组含量与吹蚀速率的关系

沉积物的可吹蚀性^[17, 18](Deflatability) 不仅取决于外在的风力条件, 而且与其沉积特征密切相关, 其中粒度组成是一个重要因素。我们将 8 种沉积物不同粒组归并为 0.063~2 mm 的沙粒级、< 0.063 mm 的粉沙+粘粒级和 > 2 mm 的砾石级三种类型的颗粒组成并计算其含量。结合表 2 中的平均吹蚀速率进行分析发现, 吹蚀速率与沉积物组成中 0.063~2 mm 的沙粒级含量存在显著线性正相关关系, 与 < 0.063 mm 的粉沙+粘粒和 > 2 mm

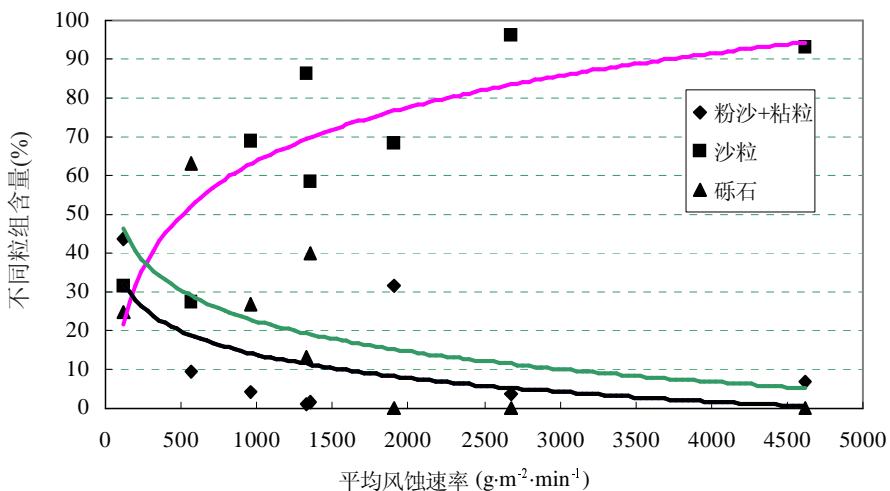


图 3 干旱区 8 种沉积物吹蚀速率 R_d 与不同粒组含量的关系

mm 的砾石含量为显著线性负相关关系 (图 3)。

河流沙和湖相沙具有较高的沙粒含量, 各占 96.12% 和 93.02%, 两者的平均吹蚀速率分别是 8 种沉积物平均吹蚀速率平均值的 1.6 和 2.7 倍; 冰碛物的沙粒含量最低, 为 31.57%, 其平均吹蚀速率仅占 8 种沉积物平均吹蚀速率平均值的 7.27%。与此相反, 吹蚀速率最小的冰碛物, 含 < 0.063 mm 的粉粘粒和 > 2 mm 的砾石组分最高, 合计占 68.43%; 吹蚀速率最大的湖相沙和河流沙这两个组分仅为 6.98% 和 3.88%。其它沉积物类型也较好地反映了类似的内在关系。显然, 沉积物天然含沙量越高, 吹蚀速率越大; 而粉粘粒和砾石含量越高吹蚀速率越小。这是由于粉粘粒的存在增加了土壤的粘滞性, 而砾石的粒径大, 风力作用很难吹蚀。这同土壤可蚀性颗粒研究的某些结果具有一致性^[19, 20]。

3.3 沉积物分选性与吹蚀速率的关系

粒度特征是沉积物搬运距离和动力环境的综合反映, 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^[21, 22]。不同成因的沉积物通常具有不同的粒度分选性。根据 Fork 和 Ward 提出的粒度参数和累积粒度曲线^[12], 通过图解法求出各沉积物的分选系数 S_0 。该值越大, 分选性越差。结果表明: 冰碛物的 S_0 为 4.94, 其分选程度最差; 其次是洪积物、坡积物和砂页岩风化物, S_0 分别为 3.55、3.10 和 2.25, 分选性较差; 花岗岩风化物、湖相沙、冰水沙和河流沙的 S_0 较小, 分别是 2.04、1.31、1.26 和 1.23, 具有相对较好的分选性。分选系数与平均吹蚀速率之间表现为一定的负相关关系 (图 4), 也即分选性与吹蚀速率为正相关关系。

图 4 表明分选性越差的沉积物吹蚀速率越小。反之, 分选程度越好的沉积物吹蚀速率越大。沉积物分选性在一定程度上取决于这种沉积物形成环境的动力条件。分选性与吹蚀速率的关系说明在风力吹蚀和搬运之前, 其它地貌营力尤其是流水对沉积物的前期分选起到了关键作用。

3.4 沉积物类型与沙丘发育

中国荒漠区在地形上主要是由高大山地环绕的巨型内陆盆地, 例如: 塔里木盆地中的塔克拉玛干沙漠、准噶尔盆地中的古尔班通古特沙漠、柴达木盆地沙漠等, 为山地冰川和寒冻风化作用产生的大量碎屑物质经流水、重力等过程向盆地输送, 形成的冰碛物、

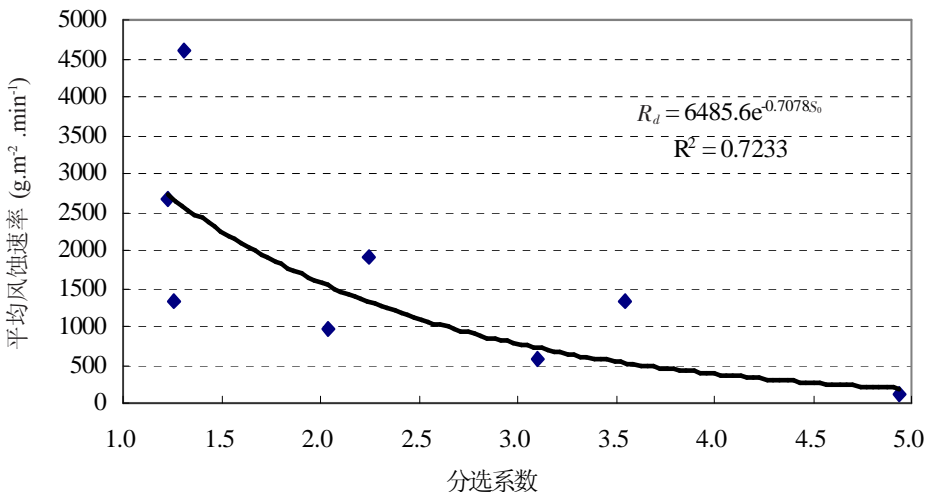


图 4 干旱区 8 种碎屑沉积物吹蚀速率 R_d 与分选系数 S_0 的关系

Fig. 4 The relationship between deflation rates of 8 sediments in arid regions and sorting index

冰水冲积物和大范围的洪积物、坡积物、河湖相沉积是干旱区地表沉积物的重要来源。沉积物的吹蚀速率既反映了沉积物遭受风力侵蚀的敏感程度，同时也体现了风力对沉积物的改造和重塑能力。不同的沉积物类型对沙丘的发育存在着不同的影响。

河流沙和湖相沙中易蚀性沙粒含量高、分选性好，在多风和干燥的气候条件下能够迅速参与风沙过程，提供大量的风沙物质，因此与密集沙丘的发育和大范围沙漠的形成密切相关。中国主要沙漠普遍分布在内陆盆地或河流沿岸，可能是沙漠在冲积或湖积平原物质基础上发展起来的直接证据。由于河湖相沙源物质与沙丘发育的密切关系，它们往往控制着沙丘的空间分布格局。

砂页岩风化物、洪积物和冰水沉积物在风力作用下具有较大的吹蚀速率，能够提供一定量的沙物质，一般形成小范围零散的沙丘。鄂尔多斯高原西北部硬梁地的片状流沙，其形成可能与白垩系砂岩的风化物有关。在一些大型洪积扇的扇缘附近，常常出现扇形沙丘分布区。青藏高原许多河谷地区的风成沙丘可能在很大程度上与冰水作用有关。

花岗岩风化物和分布广泛的坡积物吹蚀速率较小，受风力影响也相对较小，可能或多或少地与一些零星片沙的形成有关。风力对分布在山地冰川附近的，含砾石较多的冰碛物基本上没有吹蚀再造能力，因此很难将其与沙丘的发育直接联系起来。

4 结论

(1) 中国干旱区及其周围分布最广的8种沉积物中，平均吹蚀速率从大到小依次是：湖相沙 > 河流沙 > 砂页岩风化物 > 洪积物 > 冰水沙 > 花岗岩风化物 > 坡积物 > 冰碛物。这8种沉积物可以分为四组沉积物类型。其中，A组的吹蚀速率最大，包括湖相沙和河流沙；B组吹蚀速率较大，有砂页岩风化物、洪积物和冰水沙；C组吹蚀速率较小，包括花岗岩风化物和坡积物；D组为吹蚀速率最小的冰碛物。沉积物吹蚀速率的差异在很大程度上揭示了它们提供风沙物质能力的大小。

(2) 吹蚀速率与沉积物组成中0.063~2 mm的沙粒级含量存在显著线性正相关，与<0.063 mm的粉沙+粘粒和>2 mm的砾石含量呈现为显著线性负相关。沉积物天然含沙量越高吹蚀速率越大，而粉沙+粘粒和砾石含量越高吹蚀速率越小。

(3) 沉积物分选性程度越差的沉积物吹蚀速率越小，分选程度越好的沉积物吹蚀速率越大。沉积物分选性在一定程度上取决于这种沉积物形成环境的动力条件。在风力吹蚀和搬运之前，其它地貌营力尤其是流水对沉积物的前期分选起到了关键作用。

(4) 吹蚀速率既反映了沉积物遭受风力侵蚀的敏感程度，同时也体现了风力对沉积物的改造和重塑能力。中国主要沙漠普遍分布在内陆盆地或河流沿岸，可能是沙漠在冲积或湖积平原物质基础上发展起来的直接证据。

(5) 沙丘发育和沙漠形成主要与河流沙和湖相沙物质密切相关。中国干旱沙漠区的经常性、季节性河流和干涸湖泊为沙漠形成提供了主要沙源。治理沙漠和防治沙漠化，不仅要保护河流沿岸和湖泊周围的天然植被，还要注意保护干旱区周围山地植被，减少水土流失，这可能是切断风沙物源的关键所在。

致谢：本文在兰州大学李吉均教授悉心指导下完成。承蒙中国科学院寒区旱区环境与工程研究所邱醒民研究员、董光荣研究员、文子祥研究员等审阅并提出宝贵修改意见，刘贤万研究员、李长治高级工程师、王国昌工程师等协助完成风洞实验，作者深表感谢。

参考文献 (References)

- [1] Wu Zheng. Aeolian Geomorphology. Beijing: Science Press, 1987. 2-6. [吴正. 风沙地貌学. 北京: 科学出版社, 1987. 2-6.]
- [2] Gao Shangyu, Chen Weinan, Jin Heling et al. Preliminary research on the desert evolution in northwest of monsoon region of China since Holocene. Science in China (Series B), 1993, 23(2): 202-208. [高尚玉, 陈渭南, 靳鹤龄等. 全新世中国季风区西北缘沙漠演化初步研究. 中国科学(B 辑), 1993, 23(2): 202-208.]
- [3] Petrof M П. The mineral element and origin of sand in the Ordos, east Alxa and middle valley of Huanghe River. Acta Geographica Sinica, 1959, 25(1): 1-20. [彼得洛夫 M П. 鄂尔多斯、东阿拉善和黄河中游河谷沙子的矿物成分及其成因. 地理学报, 1959, 25(1): 1-20.]
- [4] Sidorenko A B. The Origin and Research Method of Desert Geomorphology. Beijing: Science Press, 1962. 73-81. [西多林科 A B. 沙漠地貌的起源及其研究方法. 北京: 科学出版社, 1962. 73-81.]
- [5] Lancaster N. Geomorphology of Desert Dunes. London: Routledge, 1995. 290.
- [6] Pye K, Tsoar H. Aeolian Sand and Sand Dunes. London: Unwin Hyman, 1990. 369-396.
- [7] Bagnold R A. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. New York: William Morrow & Company, 1941. 264-268.
- [8] Cooke R, Warren A, Goudie A. Desert Geomorphology. UCL Press, 1993. 31-46.
- [9] Chepil W S. Dynamics of wind erosion: I. nature of movement of soil by wind. Soil Science, 1945, 60(4): 305-320.
- [10] Logie M. Wind-tunnel experiments on sand dunes. Earth Surface Processes, 1981, 6(3-4): 365-374.
- [11] Embleton C, King C A M. Glacial Geomorphology. New York: John Wiley and Sons, 1975. 55-69.
- [12] Folk R L, Ward W C. Brazos river bar, a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, 27(1): 3-26.
- [13] Dong Zhibao, Chen Weinan, Dong Guangrong et al. Quantitative relationship between soil erosion by wind and surface structure destruction. Chinese Science Bulletin, 1995, 40(1): 54-57. [董治宝, 陈渭南, 董光荣等. 关于人为地表结构破坏与土壤风蚀关系的定量研究. 科学通报, 1995, 40(1): 54-57.]
- [14] Dong Guangrong, Li Changzhi, Jin Jiong et al. Some results of wind tunnel experiment on wind erosion Chinese Science Bulletin, 1987, 32(4): 297-301. [董光荣, 李长治, 金炯等. 关于土壤风蚀风洞实验的某些结果. 科学通报, 1987, 32(4): 297-301.]
- [15] Wu Zheng, Ling Yuquan. Some rules of blown sand movement and the preliminary insight of blown sand control. Team of CAS on Blown Sand Control, Research on Blown Sand Control (No.7). Beijing: Science Press, 1965. 7-14. [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. 中国科学院治沙队. 治沙研究(第 7 号). 北京: 科学出版社, 1965. 7-14.]
- [16] Liu Xianwan. Experimental Aeolian Physics and Technology. Beijing: Science Press, 1995. 43-50. [刘贤万. 实验风沙物理与风沙工程学. 北京: 科学出版社, 1995. 43-50.]
- [17] Gillette D A. Major contributions of natural primary continental aerosols: source mechanisms. In: Kneip T J, Lioy P J (eds.), Aerosols: Anthropogenic and Natural, Sources and Transport. Annals of the New York Academy of Sciences, 1980, 338: 348-358.
- [18] Liu Liyou, Wang Jianhua, Li Xiaoyan et al. Determination of erodible particles on cultivated soils by wind tunnel simulation. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(19): 1646-1651.
- [19] Chepil W S. Measurement of wind erosiveness of soils by the dry sieving procedure. Scientific Agriculture, 1942, 23 (3): 154-160.
- [20] Skidmore E L, Powers D H. Dry soil-aggregate stability: energy-based index. Soil Science Society of American Journal, 1982, 46(6): 1274-1279.
- [21] Pye K. Aeolian Dust and Dust Deposition. Academic Press, 1987. 68.
- [22] Ding Zhongli, Sun Jimin, Liu Dongsheng. Sediment index of coupling relation during contacting desert-loess evolution. Science in China (Series D), 1999, 29(1): 82-87. [丁仲礼, 孙继敏, 刘东生. 联系沙漠-黄土演变过程中耦合关系的沉积学指标. 中国科学(D 辑), 1999, 29(1): 82-87.]

Wind Tunnel Experiments on the Deflation Rates of Different Sediments in Arid Regions of China

LIU Lianyou¹, SONG Yang¹, LI Xiaoyan¹, WANG Jianhua²,
TUO Wanquan², LIU Yuzhang²

(1. *College of Resources Science and Technology; Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, the Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;*

2. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)*

Abstract: By the wind tunnel experiment, we studied the deflation rates of 8 different sediments in arid regions of China, discussed the sources of aeolian sand and its influence on the development of sand dunes and formation of desert from the view of dynamics of wind erosion. Results of the study indicated that the average deflation rates of 8 typical sediments in arid regions of China can be arranged down: lacustrine sand > alluvial sand > weathered particles developed from sandshale > pluvial sediments > fluvioglacial sand > weathered particles developed from granite > slope deposit > glacial sediments. The deflation rates exhibited strong positive correlations with the erodible fraction—sand (0.063-2mm) content and sorting features. In contrast, the deflation rates have obvious negative correlations with the silt clay (< 0.063 mm) and gravel (> 2 mm) content. According to the deflation rates, the 8 typical sediments can be divided into four categories: (1) lacustrine sand and alluvial sand, which are prone to wind erosion, and are the main sources of aeolian sand; (2) weathered particles developed from sandshale, pluvial sediments and fluvioglacial sand, with the larger deflation rates, being the minor source of aeolian sand; (3) weathered particles developed from granite and slope deposit having the smaller deflation rates, only providing a small amount of aeolian sand; and (4) glacial sediments with a strong anti-erodibility, hardly offering any aeolian sand. Other than the strong wind conditions, the exposure of extensive lacustrine sand induced by the desiccation of inland lake basin, as well as the pre-sorting of sediments by flowing water are key factors in the development of deserts in China. It is the possible reason that deserts in China are mostly distributed along the inland lake basin and riverbank in a material light.

Key words: China; arid regions; sediments; wind tunnel experiment; deflation rate; sorting features