

新疆准噶尔盆地沙尘天气的地表环境判别

钱亦兵¹, 吴兆宁², 杨青³, 张立运¹, 汪溪远²

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;
2. 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046;
3. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002)

摘要: 在沙尘暴天气多发的季节里, 对中国重要沙尘源区之一的准噶尔南部典型地区的地貌、土壤、植被及人类活动影响诸方面做了实地调查和取样, 以及实验室分析, 遴选出植被盖度、植物群落多样性、生态优势度、表层土壤含水量、土壤有机质、土壤质地、全盐含量、pH 值等作为影响该区起沙过程的地表参数 / 变量。借助 SPSS10.0 软件系统中的典型判别分析 (CDA), 对准噶尔南部沙尘天气高发的艾比湖地区和中发的古尔班通古特沙漠地表特征进行了有效判别。结果显示, 广泛分布棕灰漠土和灰漠土, 并且农用土地开垦强烈的艾比湖地区, 影响地表稳定性的消极因素主要是土壤较高的 pH、有机质含量及植被生态优势度。而以固定、半固定风沙土为主, 内部少受人类高强度开发的古尔班通古特沙漠, 地表良好的抗风蚀性主要得益于较高的植被盖度、植物群落的多样性和较粗的土壤质地。判别结果还显示, 原属沙尘天气少发的克拉玛依农业开发区有相当面积的土地已具沙尘天气高发区的地表特征, 从而对人类活动可能引发的灾害性环境问题提出警示。

关键词: 沙尘天气; 地表环境; 判别; 准噶尔盆地

沙尘暴是多发在干旱、半干旱地区严重的灾害性天气现象, 其对生态环境和人体健康的危害巨大^[1, 2]。由于其发生、发展和传输与不同尺度天气、气候背景的动力结构有关^[3-5], 所以许多学者至今仍将沙尘暴天气发生的气象和气候诱因作为关注重点^[1, 2, 6-10]。但在中国一些重要沙尘源区的气象统计分析显示, 沙尘天气频次并不总是与气象、气候参数呈显著的相关性^[11-15]。这就使人们在探索导致沙尘天气发生的气象原因之时, 不得不考虑其他控制因素的存在。王涛等认为, 沙尘暴的发生需要强劲的风力、丰富的沙尘源和不稳定的空气层结^[16]。林进等指出沙尘暴易发区的地表特征涉及植被盖度、土壤质地和裸地占地率^[17]。石广玉等在介绍其沙尘预测系统时, 将土壤类型、植被特征、土地利用类型、表层土壤湿度等作为起沙模式的重要地表参数^[1]。钱亦兵等则在他们的研究中注意到春季大面积裸露的农田具相当的沙尘释放能力^[13, 18]。事实上, 沙尘天气的形成除受地理环境、气候气象条件、植被状况制约外, 还和沙尘源区地表土壤的抗风蚀性密切相关。控制土壤风蚀的因素很多, 如地表植被^[19-21]、结皮^[22-24]、土壤表层水分^[15, 25]、耕作土表面空气动力学粗糙度^[26]、土壤质地^[27, 28]、土壤有机质含量^[22, 24, 27, 29]及其他土壤理化性质。几乎所有这些因素都可影响源区在沙尘天气中的沙尘输送过程, 但没有任何单一因素能够完全表征沙尘暴过程中的地表条件。这种地表条件和沙尘天气的复杂关系严重羁绊着人们综合地定量探讨沙尘天气地表环境的热情, 使得亚洲重要沙尘源区的新疆, 在该研究领域基本处于空白。为此, 作者在沙尘天气多发季节, 针对北疆准噶尔盆地南部不同沙尘天气

收稿日期: 2005-06-04; 修订日期: 2005-08-25

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金 (200321103); 所长基金特别支持项目 (20032059) [Foundation: Natural Science Foundation Project of the Xinjiang Uygur Autonomous Regions, No.200321103; the special support project from the Director's fund of the Xinjiang Institute of Ecology and Geology under CAS, No.20032059]

作者简介: 钱亦兵 (1956-), 女, 江苏人, 研究员, 主要从事干旱区环境与荒漠化形成机制研究。

E-mail: dt6@ms.xjb.ac.cn

频次的源区, 系统调查观测了地表植被和土壤理化性质, 利用判别分析将与沙尘天气关系密切的多因素地表环境参数线性组合成综合量化指标, 为沙尘天气预警机制提供依据。

1 研究区概况及研究方法

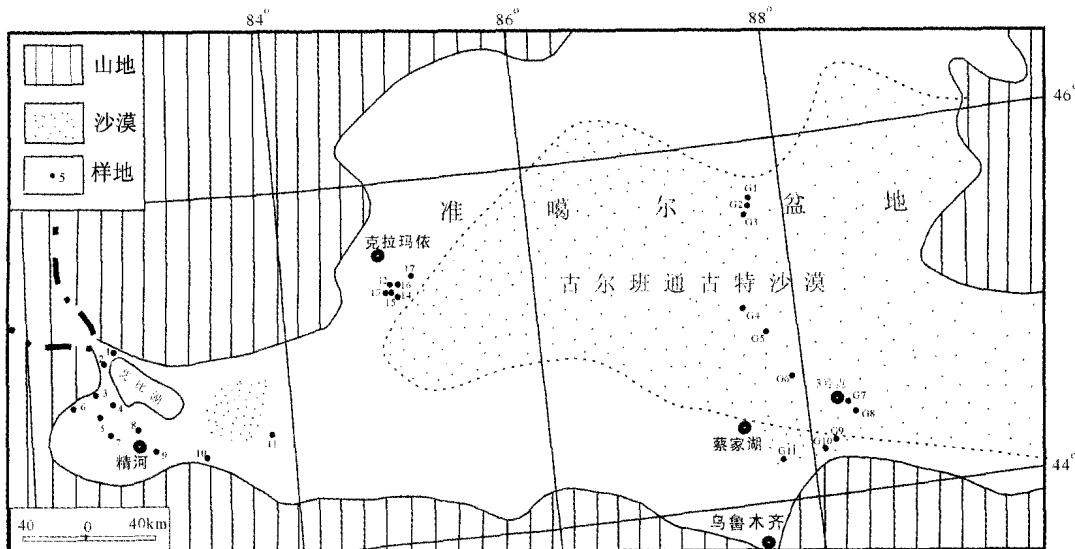
1.1 研究区概况

准噶尔盆地深居亚欧大陆腹地、高山环绕、具有典型的温带大陆性干旱、半干旱气候。其南部与天山毗邻, 在山前第四纪冲洪积平原上发育着戈壁荒漠、绿洲、沙漠等景观。主要受西风气流控制下的该区是中国沙尘天气不应忽视的源地^[3, 7, 13]。在1998年4月18日的特强沙尘暴过程中, 美国SeaWiFS卫星图像捕捉到起源于该区及相关地区的沙尘云掠过日本直抵北美洲的情景^[30]。

根据沙尘天气发生频次的显著差异, 选出艾比湖区、克拉玛依农业开发区和古尔班通古特沙漠中部3个典型区(图1)作为地表条件对比的对象。位于准噶尔盆地西南缘的艾比湖区为断陷盆地, 南、北、西三面环山, 东部与古尔班通古特沙漠相连。区内降水稀少(精河县年降水量103.2 mm, 1961~2001年平均, 下同), 蒸发量大(年蒸发量1722 mm), 属典型的温带大陆性气候。西部阿拉山口是冷空气(西北风)入侵的主要通道。该地区下风向精河县平均年大风($> 17.2 \text{ ms}^{-1}$)日数为26.3 d a⁻¹, 沙尘事件频率为49.2 d a⁻¹(包括沙尘暴、浮尘和扬沙天气, 下同)。克拉玛依农业开发区位于克拉玛依市东侧, 地处准噶尔盆地西缘玛纳斯河下游冲积、湖积半荒漠平原上, 面积约530 km², 现已开发土地180 km²。该区光热充足, 降雨量稀少(年降水量109 mm), 蒸发强烈(年蒸发量3545 mm), 温差大。春夏季多风, 平均年大风日数为67 d a⁻¹, 沙尘事件频率为5.3 d a⁻¹。区内地表水和地下水均很匮乏。古尔班通古特沙漠分布在半封闭的准噶尔盆地中, 蒸发量较大(年蒸发量2000~2800 mm), 降雨量稀少(年降水量80~160 mm)。沙漠中南部平均年大风日数为15.2 d a⁻¹, 沙尘天气频次19.3 d a⁻¹。沙漠中几乎无地表径流, 地下水位较深。

1.2 研究方法

2001年4月至2004年4月, 在沙尘暴天气频发的春季和初夏, 多次对上述3个典型地区进行野外调查和同类型地表环境重复/定点取样, 特别是在2004年4月19日准噶尔



盆地南缘发生沙尘天气的当天和次日, 作者赶赴研究区获得第一手实地数据。研究中参加判别分析的代表性样地 31 处, 均用 GPS 定位(图 1)。每一样地做植物分布特征参数采集样方 1~4 个, 灌木选用 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 样方, 小半乔木为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 样方, 草本则在乔灌木样方的对角线上、中、下部设置 3 个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的小样方, 记录每种植物个体数、多度(草本)、盖度、株高、冠幅等数据。每一样方中, 均取表层(0~10 cm) 土壤理化属性分析样品。土壤有机质、养分、全盐含量和 pH 值, 均按常规方法进行测定^[31], 土壤含水量采用表土(0~10 cm) 铝盒取样烘干称重法求出, 粒度测定是在 Marlven 激光粒度仪上进行, 粒度组成及参数由 Folk 和 Word 的公式^[32]计算获得。

当前尚无法用物理实验和数理模拟的方式, 精准地确定沙尘源区多种地表条件对沙尘天气产生何种影响之时, 在科学的观测结果和专业知识基础上, 运用数理统计分析, 找出多因素地表环境与沙尘天气统计学上的关系, 不失为值得一试的研究途径。本研究选用典型判别分析(CDA) 法实现该目的。

植物分布参数的大量数据处理和各典型沙尘源区地表特征的 CDA 分析借助 Excel 和 SPSS10.0 软件系统完成。相关气象数据来自新疆气象局。

2 结果与分析

2.1 沙尘天气和景观特征

根据沙尘天气平均年发生频次(表 1)可以看出, 以精河县为代表的艾比湖地区为沙尘天气多发区, 古尔班通古特沙漠为中等频次区, 克拉玛依为少发区。并且, 艾比湖地区无论沙尘天气发生的频率, 还是强度(以沙尘暴天数为代表)都位于三地之首。另外, 精河县沙尘天气以浮尘为主, 古尔班通古特沙漠以扬沙占优势, 克拉玛依 3 种沙尘天气机会近于均等。3 个地区沙尘天气类型及频次与气象参数的非相关性首先是各地区景观类型明显不同所致(表 1、表 2)。艾比湖地区以较细的棕灰漠土、灰漠土为主要土壤类型的冲/洪积平原上, 农用土地开垦最为强烈, 春季裸露耕地面积不断扩大, 加之干涸粉沙粘土质湖床, 使该地区成为重要沙尘策源地, 特别是浮尘天气频频发生。古尔班通古特沙漠中土壤以质地较粗的固定、半固定风沙土占绝对优势, 植被盖度高, 结皮较发育, 少有浮尘天气的形成。克拉玛依在 2001 年大规模农业开发之前, 未受人为干扰的土地植被盖度较高, 土壤紧实, 抗风蚀性强。虽然该区多大风, 沙尘天气并不多见。

由于景观尺度上的复合地表空气动力学粗糙度(Z_0/Z_0 有效), 这一影响着风沙流发生及强度的重要因素明显受制于地表植被盖度以及较大粗糙元间距离, 故可认为沙尘天气的形成不仅和裸地(研究区内主要是春季裸露的农田)/低盖度荒漠占地面积相关, 而且和它们的分布格局关系密切。据 Arya 和贾立的研究^[33, 34]以及笔者的野外调查可知, 如果该地区裸地/低盖度荒漠呈孤立的小斑块景观, 或被人工防护林网在主风向上所分隔, 而非连片大面积分布, 则可提高地表粗糙度, 即裸地/低盖度荒漠景观的分离度/破碎度越大, 越不利于沙尘天气的发生, 否则相反。

周长海利用 Landsat TM 影像数据对精河流域进行了景观格局分析, 获知低盖度草地

表 1 准噶尔盆地有关地区气象数据(1961~2001 年)

Tab. 1 The types and frequencies of sand-dust events in the study regions (1961~2001)

| | 年均降水量 (mm) | 年均气温 (°C) | 沙尘天气 /d a ⁻¹ | | | | |
|-----------------|---------------|--------------|-------------------------|------|------|-----|------|
| | | | 大风 | 浮尘 | 扬沙 | 沙尘暴 | 合计 |
| 艾比湖地区(精河县) | 103.27 | 7.79 | 26.3 | 28.5 | 16.3 | 4.4 | 49.2 |
| 古尔班通古特沙漠南部(蔡家湖) | 139.00 | 5.92 | 15.2 | 3.0 | 12.7 | 3.6 | 19.3 |
| 克拉玛依 | 109.38 | 8.34 | 67.0 | 2.0 | 2.1 | 1.2 | 5.3 |

表 2 准噶尔盆地有关地区代表性地貌、植被和土壤类型

Tab. 2 The typical types of landforms, vegetations and soils in Junggar Basin

| 区域 | 样本数 调查及采样时间 | 地貌形态 | 植被类型 | 植被盖度 (%) | 土壤种类 |
|-------|----------------|-------------|----------------------|----------|----------|
| 艾比湖地区 | 27个 | 洪积/冲积扇 | 木地肤、蒿类群落；梭梭群落 | 10~15 | 灰棕漠土 |
| | 2002年6月 | 冲积平原 | 绢蒿类、短命植物群落 | 15 | 灰漠土 |
| | 2002年7月 | 湖滨/干涸湖底 | 木本补血草、盐节木、里海盐爪爪群落 | 30 | 盐土 |
| | 2004年4月 | 灌丛沙包 | 柽柳沙包、白刺沙包 | 7~50 | |
| | | 流动/半流动沙丘、沙垄 | 柽柳沙包；白梭梭群落 | 7; 20 | 风沙土 |
| | | 沙垄垄间地 | 盐穗木、芦苇群落 | > 70 | 灰漠土、风沙土、 |
| | | | 白梭梭、白皮沙拐枣群落 | 30 | 盐渍化土 |
| | | | 沙漠绢蒿、短命植物群落 | 35 | |
| | | 冲积平原新垦耕地 | 裸露农田 | | 灰漠土 |
| | | 沙垄间新垦耕地 | 裸露农田，原生植被为芦苇草甸 | | 草甸土 |
| | | 绿洲耕地 | 裸露农田 | | 灌耕土 |
| 古尔班通 | 21个 | 沙漠北部洪积/冲积平原 | 驼绒藜、木本猪毛菜、沙生针茅群落 | > 45 | 灰棕漠土 |
| 古特沙漠 | 2001年4~6月 | 沙漠北部南北向 | 白梭梭、蛇麻黄；白皮沙拐枣、草本植物群落 | 25~35 | 风沙土 |
| | 2002年3月 | 巨型沙垄 | 蛇麻黄、沙漠绢蒿、短命植物群落 | 40~60 | 风沙土 |
| | 2003年5月 | 复合沙垄 | 白梭梭、沙蒿、短命植物群落 | < 30 | 风沙土 |
| | 2003年6月 | 沙漠顶部流动带 | 白梭梭、沙蒿、短命植物群落 | 35~70 | 风沙土 |
| | | 梁窝状固定沙垄 | 白梭梭、短命植物群落 | 30~80 | 盐化灰漠土 |
| | | 沙漠-绿洲过渡带 | 梭梭、琵琶柴、一年生多汁盐柴类群落 | > 30 | 风沙土 |
| | | 沙垄间沙地 | 蛇麻黄、短命植物群落，结皮发育 | 32 | 盐化灰漠土 |
| | | 沙漠南部冲积/洪积平原 | 梭梭、琵琶柴群落 | | |
| 克拉玛依 | 14个 | 新垦耕地 | 裸露农田 | | 残余沼泽土、 |
| 农业开发区 | 2002年5月 | | | | 盐化干沼土 |
| | 2002年6月 | 冲积/洪积平原 | 梭梭群落 | 45 | 干沼土 |
| | 2004年4月 | 沙垄间平沙地 | 梭梭、白刺、琵琶柴、短命植物群落 | > 40 | 表沙盐土 |
| | | 风蚀丘间地 | 无叶假木贼群落 | 35 | 干盐盆钙积土 |
| | | 流动沙丘 | 无植被 | | 风沙土 |

/荒漠分离度为0.468, 耕地分离度1.761, 整个流域的景观破碎度为0.371^[35]。该地区自然状况和大农场的耕作模式决定了耕地(春季裸地)/低盖度荒漠破碎度不高。这样的景观特征降低了大尺度范围空气动力学粗糙度 Z_0 _{有效}, 为艾比湖区风沙流肆虐提供了有利的下垫面条件。

据调查, 克拉玛依农业开发区在已开发的180 km²土地迎风向的西北和西南侧建立起宽200 m, 总长25 km的防护林带。加之不完整的农田防护林网和工业原料林, 林地覆盖率达34.2%。但其分布过于集中, 未能在迎风向上对耕地有效分隔和增加裸地破碎度, 而不能充分提高局地下垫面空气动力学粗糙度 Z_0 。

古尔班通古特沙漠中部的沙垄(丘)以固定、半固定状态占优势, 无植被覆盖的裸地仅分布于局部地段流动的沙垄(丘)顶部, 面积十分有限。所以, 微地貌间植物覆盖虽然存在着疏密差异, 但植被宏观分布仍表现出较高的均匀性。与耕地/低覆盖荒漠不同, 中、高覆盖度(覆盖度20%以上)的沙地破碎度/分离度越小, 越可能因为提高区域 Z_0 _{有效}而减少风沙流的发生。

2.2 沙尘天气的地表特征判别

判别分析中, 以植被结构特征、土壤可蚀性内部因素、表层土壤含水量(SM)作为影

响起沙过程的重要地表参数 / 变量。其中, 选用 Simpson 生态优势度 $C = \sum \frac{n_i^2}{N^2}$ (式中 n_i 为第 i 种的重要值, N 为群落所有种重要值总和), Herlbert 多样性指数 $PIE = \frac{N}{N-1} \left(1 - \frac{1}{N} \sum n_i^2 \right)$ (n_i 为第 i 种的个体数, N 为所有种的个体总数), 以及植被总盖度作为描述研究区植被植物群落组成和结构的 3 个指标^[36]。

选用的土壤内在稳定性影响因素有反映土壤质地的粒度均值 (Mz) 和分选系数 (σ)、土壤有机质 (OM)、土壤全盐 (TS) 及 pH 值等。对于野外调查和采样的总样本, 首先剔除了那些受偶然因素影响的样方, 之后根据前期研究^[13, 36], 将沙尘高发区的裸露农田和低覆盖度的荒漠地带, 以及中发区的沙丘、沙垄作为目标总体的抽样对象, 最终遴选出 31 个样方作为典型地区的代表参加判别分析。克拉玛依农业开发区现已开发土地面积约 180 km², 参判样本主要集中该地段。

借助 SPSS10.0 统计软件系统提供的典型判别分析 (CDA) 程序对准噶尔南部最具代表性的沙尘天气高发区 (艾比湖区) 和中发区 (古尔班通古特沙漠) 地表特征进行两类判别, 以便确定地表环境优劣的阈值。而克拉玛依农业开发区尽管 1961~2001 年的气象数据显示其沙尘天气发生频次处于较低水平 (表 1), 但 2001 年开始的大规模农用土地开发, 干扰了原始地表环境, 故在判别分析中成为待判对象。经运算, 获得典型判别函数系数和统计检验结果 (表 3)。据 χ^2 显著性检验和回判正确率 100% 可知, 本判别分析有效。

由原始数据获得的判别函数表达式为: $F = \sum_{i=1}^k a_i x_i + b$

式中: F 为判别函数, a_i 为判别函数系数; x_i 为各参数 / 变量; b 为判别函数的常数项; k 为变量数, $k = 9$ 。此处高发区与中发区的阈值为 0, 即 F 值 > 0 者具沙尘天气高发区地表特征, F 值 < 0 者为中发区地表环境 (图 2)。

对克拉玛依农业开发区地表环境判别发现, 有 71.4% 的样本 F 值 > 0 , 表明相当数量的被开发土地已具沙尘天气高发区地表特征 (图 2), 从而为该区人类活动可能引发环境问题提出警示。

2.3 各地表参数的抗风蚀作用及判别意义

根据表 3 所示各参数在综合判别函数中对应系数的正负以及贡献值的大小, 可以确定这些参数对地表土壤稳定性的作用性质和强弱。对表层土壤稳定性起负面影响的主要是一些系数为正值的变量, 如植被生态优势度 (C)、土壤粒度分选系数、有机质含量和 pH 值等 (表 3)。其中, 土壤 pH 值的判别意义最显著, 贡献率达 40% 之多。土壤 pH 值受多种因素影响^[37, 38], 而最直接的因素有土壤中碳酸盐 (主要是 CO_3^{2-}/HCO_3^-)、有机质及全盐

表 3 典型判别函数系数及各参数的贡献

Tab. 3 Canonical discriminant function coefficients

| 变量/ x_i | 判别函数系数 a_i | 各变量在判别式中的贡献值/% |
|------------|--------------|----------------|
| PIE | -2.114 | 11.1 |
| C | 6.089 | 16.4 |
| 植被盖度 (%) | -0.006 | 2.5 |
| 表土壤含水量 (%) | 0.040 | 0.5 |
| 粒度平均值 (mm) | -4.917 | 8.3 |
| 粒度分选系数* | 0.071 | 1.1 |
| 土壤有机质 (%) | 1.447 | 15.9 |
| 土壤全盐 (%) | -0.169 | 4.1 |
| pH | 1.595 | 40.1 |
| 常数项 | -13.881 | |

Wilks' $\lambda = 0.146$ $\chi^2 = 33.626$ $df = 9$, $Sig. = 0.000$

*无量纲

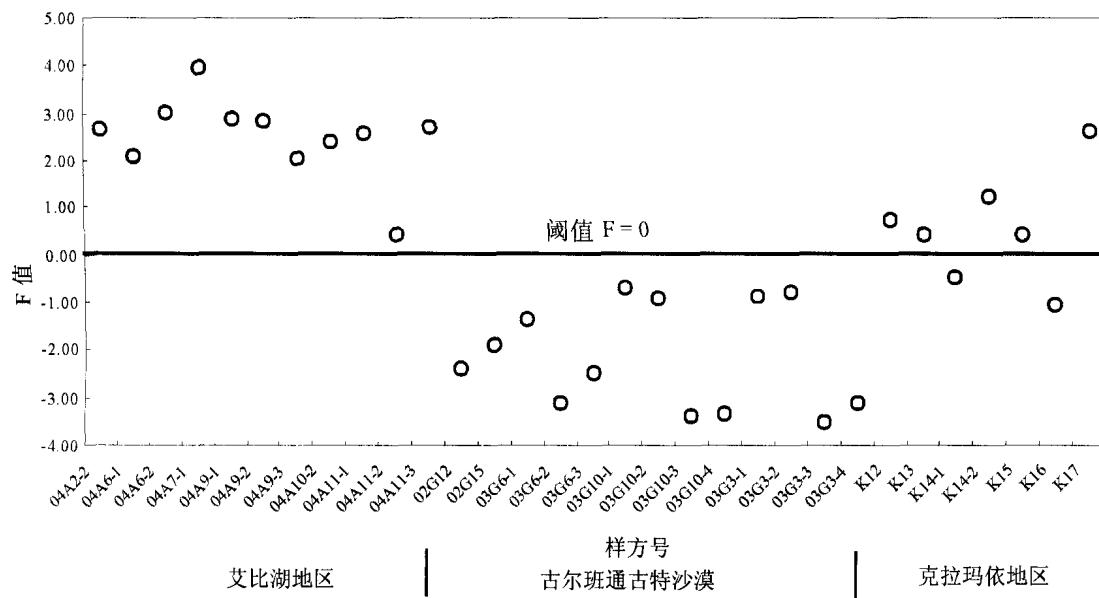


图 2 准噶尔盆地地表条件判别值分布

Fig. 2 Distribution of discriminant values of the ground-surface conditions for the Junggar Basin

的含量。笔者在研究中注意到, 古尔班通古特沙漠中风沙土的 pH 值与土壤 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、有机质及 N、P、K 的含量表现出较显著的相关性^[36]; 艾比湖地区土壤 pH 值与 CO_3^{2-} 含量呈正比, 相关系数 $R = 0.76$ ($P > 0.01$ 水平下显著相关); 克拉玛依农业开发区土壤 pH 值与有机质、全 N 含量显著负相关^[39], 而新疆农业大学根据实验认为, 该区土壤 pH 值和 HCO_3^- 关系密切^[40]。由此可以看出, pH 值不是一个独立的变量, 而是反映某些土壤理化性质的综合参数。但在上述 3 个典型地区 pH 值都表现出了和土壤中碳酸盐含量 ($\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$) 的正消长关系。Chepil 和 Zobeck 等认为, 某些土壤如粉沙壤土和沙质壤土随 CaCO_3 含量增加, 土块稳定性大幅度降低^[41, 42], 从而会为沙尘天气提供粉尘。也应看到, 对于 pH 值如此高的判别贡献率, 以上认识还不是合理解释的全部, 尚需更深入的研究加以完善。

判别贡献率为 16.4% 的植被生态优势度 (C) 也是重要的负面因素, 其对地表稳定性的影响非常直观。研究区内作物单一、春季裸露的农田以及自然植被盖度较低, 且以结构单调的灌木、半灌木群落为主的荒漠地带, 生态优势度普遍较高。这样的植被状况大大削弱了地表抗风蚀能力。土壤有机质含量作为判别效果显著 (贡献值 15.9%) 的重要参数, 其对土壤抗风蚀有着积极和消极的双重作用。一般, 当表层土壤有机质含量的增高是生物结皮非常发育所致, 或是受上覆植物枯枝落叶影响, 无疑会增强土壤的抗风蚀能力^[22, 24]。相反, 如果有机质发生了分解, 则会增加土壤的易蚀性^[29, 42]。本地区土壤中有机质存在形式尚未查清, 故显示出的判别意义属统计结果。

土壤粒度分选系数 (σ) 的贡献值不大, 仅为 1.1%。但该参数的大小, 对土壤抗风蚀的影响却是明确的。那些 σ 值较大 (分选性差) 的样本集中分布于沙尘易发生的敏感地段, 即土壤分选性差的裸露农田和荒漠地表。董治宝等在其相关实验中也有类似结论^[28]。有相当一部分研究者认为表层土壤含水量是土壤抗风蚀的最积极因素^[16], 而 Wiggs 通过野外实验认为, 较低的地表含水量 (< 4%~6%) 对阻止风蚀意义不大^[25]。研究区属于干旱、半干旱地区, 在多大风的春季, 表层土壤尤为干燥, 含水量多小于 2%, 由此增加了该区

春季表层土壤含水量特征对沙尘天气影响的不确定性, 故判别贡献值近于0。尽管如此, 该参数仍值得关注。

表3中系数为负值的变量则是利于增强地表稳定性的因素, 如植被盖度和植物群落多样性, 它们不仅增加地表空气动力学粗糙度 Z_0 , 降低风速^[19], 残余物还可对土壤进行有效覆盖, 避免风蚀^[21, 22]。二者相比, 植物群落多样性的作用更加积极, 贡献值11.1%, 其表现出的草—木本多层结构降低了植被空气动力学的多孔性, 最终减少了沙尘通量^[20]。需指出, 植被盖度对于稳定表层土壤的贡献率较低(2.5%), 似乎有悖常理。但Lancaster等通过对比大量研究者的资料发现, 植被盖度对起沙临界值的影响多低于理论预测。他的实验结果表明, 这恰恰反映了植被结构的重要作用。如盖度较高的灌木群落, 若其结构单调, 则会因其表现的多孔性, 严重影响固定风沙的效果^[20]。除植被特征外, 土壤内稳定性影响因素之一的土壤质地(用粒度均值Mz表征)对判别表层土壤抗风蚀能力也有重要意义, 贡献值8.3%。据观察, 研究区表层土壤粒度大致分布在0.4~1000 μm的条件下, 均值(Mz)较大者, 抗风蚀性较强。而那些以细粉沙、黏土为主的表层土壤很可能成为沙尘的积极提供者。这一点不仅在与艾比湖地区环境极为相似的中亚咸海地区, Orlovsky等和Singer等有过同类描述^[6, 42], 而且在刘小平等提及的风洞实验中也有证明^[33]。表层土壤含盐量(TS)较高在研究区通常被认为是消极因素, 其可使植被衰败, 还可使大气沙尘中充满盐分, 而具腐蚀性^[13]。Singer在研究咸海盆地南部时, 曾注意到高含盐量的细粉沙质土壤, PM₁₀粉尘($d < 10 \mu\text{m}$)的释放量很低。究其原因, 盐晶体可和细颗粒物形成稳定的结皮, 起着土壤保护作用。但盐结皮的抗风蚀性对土壤粒度较敏感, 沙土/沙壤土的盐结皮易被损, 而使土壤释放出沙尘^[42]。艾比湖地区、克拉玛依农业开发区土壤质地以多砾质粉沙壤土、粘质壤土为主, 故盐分的作用有利于土壤的抗风蚀性; 古尔班通古特沙漠风沙土粒径较粗, 盐分所起的稳定性作用有限。综合效果使土壤含盐量的判别贡献值仅为4.1%。

通过分析不难看出, 上述参数表现出的统计意义上的相关信息, 多在人们先前的实验结果或观察事实中获得合理的解释, 至于这些参数影响地表土壤稳定性的更深层次原因或机理, 所列相关文献已有具体讨论, 这里不再赘述。

3 结论

(1) 以植被盖度、植物群落多样性、生态优势度、表层土壤含水量、土壤有机质、土壤质地、土壤全盐、pH值等8种要素为影响起沙过程的重要地表参数/变量构成的判别函数, 可对准噶尔南部沙尘天气高发的艾比湖地区和沙尘天气中发的古尔班通古特沙漠地表环境, 在沙尘天气多发时期(春季)的差异进行有效判别。

(2) 广泛分布棕灰漠土和灰漠土, 并且农用土地开垦强烈的艾比湖地区, 影响地表稳定性的消极因素主要是土壤较高的pH值、植被生态优势度及有机质含量。

(3) 以固定、半固定风沙土为主, 内部少受人类高强度开发的古尔班通古特沙漠, 地表良好的抗风蚀性主要得益于植物群落的多样性、较高的植被盖度和较粗的土壤质地。

(4) 对克拉玛依农业开发区的判别结果显示, 其有相当面积的土地已具沙尘天气高发区的地表特征, 从而对人类活动可能引发的灾害性环境问题提出警示。但可通过按一定空间格局退耕还林还草和合理布置防护林网增加耕地/低盖度荒漠景观破碎度/分离度, 以提高地表空气动力学粗糙度, 使地表景观格局向降低沙尘天气发生概率的方向演替。

致谢: 西北石油局陈冬梅进行了样品的粒度分析, 克拉玛依市农业开发办李冬梅协助了野外工作和提供了部分资料, 在此对她们表示衷心感谢。

参考文献 (References)

- [1] Shi Guangyu, Zhao Sixiong. Several scientific issues of studies on the dust storms. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2003, 27(4): 591-606. [石广玉, 赵思雄. 沙尘暴研究中的若干科学问题. 大气科学, 2003, 27(4): 591-606.]
- [2] Qian Zheng'an, Song Minhong, Li Wanyuan. Analyses on distributive variation and forecast of sand-dust storms in recent 50 years in north China. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(2): 106-111. [钱正安, 宋敏红, 李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析. 中国沙漠, 2002, 22(2): 106-111.]
- [3] Qiu Xinfia, Zeng Yan, Miao Qilong. Temporal-spatial distribution as well as tracks and source areas of sand-dust storms in China. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(3): 316-322. [邱新法, 曾燕, 缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径研究. 地理学报, 2001, 56(3): 316-322.]
- [4] Chang Y S, Arndt R L, Carmichael G R. Mineral base-cation deposition in Asia. *Atmospheric Environment*, 1996, 30, 2417-2427.
- [5] Tao Jianhong, Wang Jingsong, Feng Jianying. Applying of helicity in analysis of a severe sandstorm. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(1): 83-87. [陶健红, 王劲松, 冯建英. 螺旋度在一次强沙尘暴天气分析中的应用. 中国沙漠, 2004, 24(1): 83-87.]
- [6] Orlovsky L, Orlovsky N, Durdyev A. Dust storms in Turkmenistan. *Journal of Arid Environment*, 2005, 60: 87-97.
- [7] Wang Xu, Ma Yu, Chen Hongwu. Climatic characteristics of sandstorm in Xinjiang. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(5): 147-151. [王旭, 马禹, 陈洪武. 新疆沙尘暴天气气候特征. 中国沙漠, 2003, 23(5): 147-151.]
- [8] In H J, Park S V. A simulation of long-range transport of yellow sand observed in April 1998 in Korea. *Atmospheric Environment*, 2002, 36: 4173-4187.
- [9] Natsagdori L, Jugder D, Chung Y S. Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937-1999. *Atmospheric Environment*, 2003, 37: 1401-1411.
- [10] Mao Rui, Gong Daoyi, Fan Yida. Influences of synoptic variability on spring sand storm frequency in north China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 12-20. [毛睿, 龚道溢, 范一大. 春季天气变率对华北沙尘暴频次的影响. 地理学报, 2005, 60(1): 12-20.]
- [11] Wang X, Dong Z, Zhang J et al. Modern dust storms in China: an overview. *Journal of Arid Environment*, 2004, 58 (4): 559-574.
- [12] Hu Liequn, Xia J D, Sang C Q. Analysis of satellite images of strong sandstorm in Xinjiang. *Arid Land Geography*, 2001, 24(Suppl.): 30-32. [胡列群. 塔里木盆地沙尘暴的长期变化及气候分析. 干旱区地理, 2001, 24(增刊): 10-15.]
- [13] Qian Yibing, Wu Zhaoning, Jiang Jin et al. Eco-environmental change and its impact factors in the Aibi Lake catchment during the past 50a. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(1): 17-26. [钱亦兵, 吴兆宁, 蒋进等. 近 50a 年艾比湖流域生态环境演变及其影响因素分析. 冰川冻土, 2004, 26(1): 17-26.]
- [14] He Qing, Yang Qing, Li Hongjun et al. Variations of air temperature, precipitation and sand-dust weather in Xinjiang in past 40 years. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(4): 423-427. [何清, 杨青, 李红军等. 新疆近 40 a 来气温、降水和沙尘天气变化. 冰川冻土, 2003, 25(4): 424-427.]
- [15] Liu Lichao, An Xingqin, Li Xinrong et al. Characteristics of sand-dust storm in Yanchi county, Ningxia. *Journal of Desert Research*, 2003, 23(1): 33-37. [刘立超, 安兴琴, 李新荣等. 宁夏盐池沙尘暴特征分析. 中国沙漠, 2003, 23 (1): 22-37.]
- [16] Wang Tao, Chen Guangting, Qian Zheng'an et al. Situation of sand-dust storms and countermeasures in north China. *Journal of Desert Research*, 2001, 21(4): 322-327. [王涛, 陈广庭, 钱正安等. 中国北方沙尘暴现状及对策. 中国沙漠, 2001, 21(4): 322-327.]
- [17] Lin Jin, Sun Siheng, Wang Junhou. Evaluation methodology of land desertification level caused by wind-erosion in the sand-dust storm frequently-occurring area. *Journal of Desert Research*, 1999, 19(4): 375-377. [林进, 孙司衡, 王君厚. 沙尘暴多发区土地风蚀荒漠化诊断评价方法. 中国沙漠, 1999, 19(4): 375-377.]
- [18] Qian Yibing, Wu Zhaoning, Zhang Liyun et al. Ground-surface conditions resulting in sand-dust storms in the south Junggar Basin. *Arid Land Geography*, 2004, 27(4): 540-542. [钱亦兵, 吴兆宁, 张立运等. 准噶尔南部沙尘暴发生的地表条件研究. 干旱区地理, 2004, 27(4): 540-542.]
- [19] Zhang Hua, Li Fengrui, Fu Qianke et al. Field investigation on ecological effect of windbreak and soil erosion reduction from sandy grasslands. *Environmental Science*, 2004, 25(2): 119-124. [张华, 李锋瑞, 付乾科等. 沙质草地植被防风抗蚀生态效应的野外观测研究. 环境科学, 2004, 25(2): 119-124.]
- [20] Lancaster N, Baas A. Influence vegetation cover on sand transport by wind: field studies at Owens Lake, California. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1998, 23(1): 69-82.
- [21] Wiggs G F S, Thomas D S J, Bullard J E. Dune mobility and vegetation cover in the southwest Kalahari Desert. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1995, 20(6): 515-529.

- [22] Eldridge D J, Leys J F. Exploring some relationships between biological soil crusts, soil aggregation and wind erosion. *Journal of Arid Environment*, 2003, 53(4): 457-466.
- [23] Hupy J P. Influence of vegetation cover and crust type on wind-blown sediment in a semi-arid climate. *Journal of Arid Environment*, 2004, 58(2): 167-179.
- [24] Li Xinrong, Jia Yukui, Long Liqun et al. Advances in microbotic soil crust research and its ecological significance in arid and semiarid regions. *Journal of Desert Research*, 2001, 21(1): 4-11. [李新荣, 贾玉奎, 龙利群 等. 干旱半干旱地区土壤微生物结皮的生态学意义及若干研究进展. *中国沙漠*, 2001, 21(1): 4-11.]
- [25] Wiggs G F S, Bullard J E, Atherton R J. The dynamic effects of moisture on the entrainment and transport of sand by wind. *Geomorphology*, 2004, 59(1-4): 13-30.
- [26] Zhang Chunlai, Zou Xueyong, Dong Guangrong et al. Aerodynamic roughness of cultivated soil and its influence on soil erosion by wind in a wind tunnel. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(5): 473-475. [张春来, 邹学勇, 董光荣 等. 耕作土壤表面的空气动力学粗糙度及其对土壤风蚀的影响. *中国沙漠*, 2002, 22(5): 473-475.]
- [27] Zobeck T M. Soil properties affecting wind erosion. *Soil and Water Conservation*, 1991, 46: 112-118.
- [28] Dong Zhibao, Li Zhenshan. Wind erodibility of aeolian sand as influenced by particle size parameters. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1998, 4(4): 1-12. [董治宝, 李振山. 风成沙粒度特征对其风蚀可蚀性的影响. *水土保持学报*, 1998, 4(4): 1-12.]
- [29] Chepil W S. Factors that influence cold structure and erodibility of soil by wind: III. calcium carbonate and decomposed organic material. *Soil Science*, 1954, 77: 473-480.
- [30] He Qing, Cui Caixia, Lei Jiaqiang et al. Case analysis on an intensely strong sandstorm on April 18th, 1998 in Xinjiang. *Arid Land Geography*, 2001, 24(Suppl.): 54-61. [何清, 崔彩霞, 雷加强, 等. 新疆 '98.4.18' 特大沙尘暴系统成因分析. *干旱区地理*, 2001, 24(增): 54-61.]
- [31] Nanjing Institute of Petrology (ed.). *Physical-chemical Analyses of Soil*. Shanghai: Science and Technology Press, 1978. 62-146, 196-233, 466, 481-489. [中国科学院南京土壤研究所 编. *土壤理化分析*. 上海: 科技出版社, 1978. 62-146, 196-233, 466, 481-489.]
- [32] Shanbei Team of Chengdu Institute of Geology (ed.). *Grain Size Analysis of Sedimentary Rock (Sediment) and Its Application*. Beijing: Geology Press, 1976. 44-54, 66, 90. [成都地质学院陕地队. *沉积岩(物)粒度分析及其应用*. 北京: 地质出版社, 1976. 44-54, 66, 90.]
- [33] Liu Xiaoping, Dong Zhibao. Review of aerodynamic roughness length. *Journal of Desert Research*, 2003, 23 (4): 337-346. [刘小平, 董治宝. 空气动力学粗糙度的物理与实践意义. *中国沙漠*, 2003, 23(4): 337-346.]
- [34] Jia Li, Wang Jiemin, Menenti M. Local and effective roughness under complex ground-surface conditions between oasis and desert. *Acta Meteorologica Sinica*, 1999, 57(3): 346-357. [贾立, 王介民, Menenti M. 绿洲-沙漠复合地表条件下的局地和有效粗糙度. *气象学报*, 1999, 57(3): 346-357.]
- [35] Zhou Changhai. Ecological environment domino effect made by nature resource exploitation of Aibi Basin-Jinghe basin as example. Master Thesis, 2003. 27-47. [周长海. 艾比湖流域水土开发的生态环境效应研究. 硕士论文, 2003. 27-47.]
- [36] Qian Yibing, Wu Zhaoning, Zhang Liyun et al. Impact of habitat heterogeneity on plant community pattern in Gurbantunggut Desert. *Journal of Geographical Sciences*, 2004, 14(4): 447-455.
- [37] Dai S G. *Environmental Chemistry*. Beijing: Higher Education Press, 1997. 211-214. [戴树桂. *环境化学*. 北京: 高等教育出版社, 1997. 211-214.]
- [38] Qi Changmou. *General Geochemistry*. Beijing: Geology Press, 1994. 58. [戚长谋. *地球化学通论*. 北京: 地质出版社, 1994. 58.]
- [39] Qian Yibing, Zhou Huarong, Xu Man et al. Relationship between water-soil properties and desert plant diversities in agricultural development area of Kelamayi. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(2): 186-188. [钱亦兵, 周华荣, 徐曼 等. 克拉玛依农业开发区水土性状与荒漠植物多样性的关系. *水土保持学报*, 2004, 18(2): 186-188.]
- [40] Qian Yibing, Jiang Jin, Wu Zhaoning et al. Soil physical-chemical properties, sustainable development and use of agricultural development area in Kelamayi. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(1): 50-53. [钱亦兵, 蒋进, 吴兆宁 等. 克拉玛依农业开发区土壤理化性状及其可持续发展利用. *水土保持学报*, 2003, 17(1): 50-53.]
- [41] Chepil W S. Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: I. soil structure. *Soil Science*, 1952, 75: 473-483.
- [42] Singer A, Zobeck T, Poberezsky L et al. The PM₁₀ and PM_{2.5} dust generation potential of soils/sediments in the southern Aral Sea Basin, Uzbekistan. *Journal of Arid Environments*, 2003, 54: 705-728.

Discrimination to Ground-surface Conditions of Sand-dust Event Occurrences in Junggar Basin

QIAN Yibing¹, WU Zhaoning², YANG Qing³, ZHANG Liyun¹, WANG Xiyuan²

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;

2. College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

3. Institute of Desert and Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China)

Abstract: During the springtime periods of frequent sand-dust event occurrences, we investigated the landforms, soils, vegetations and impacts of human activities in the Junggar Basin, which is one of the important source regions of sand-dust events in China, and took the samples and data of soils and vegetations. The physical-chemical properties of these soil samples were analyzed, and the characteristic indices of these vegetations were calculated. The vegetation cover, community diversity, ecologic dominant degree, topsoil moisture, soil organic matter, soil texture, soil salts and pH were chosen as the ground-surface parameters/variables of impacting the process of sand-dust event occurrence. With Canonical Discriminant Analysis of SPSS10.0 software system, this paper effectively discriminates the ground-surface characteristics of the study regions, the Aibi Lake region with high-frequent sand-dust events and the Gurbantunggut Desert with medium-frequent sand-dust events. The results show: in the Aibi Lake region where the gray-brown desert soil and gray desert soil are widely distributed and agricultural reclamations are intensive, the passive factors impacting its ground-surface stability are mainly the high pH values and organic matter contents of soils and the ecologic dominant degrees of vegetations. Then, in the Gurbantunggut Desert where stable and semi-stable aeolian sandy soils are mainly distributed and are less disturbed by human exploitation, the erosion-resistance of its ground-surface benefits from the high vegetation cover, plant community diversity and coarser soil texture. The results of discriminant also show that the agricultural development region in Karamay (Kelamayi) with a large area of the reclaimed land, which belonged to a low frequent region of sand-dust event occurrences, has had the ground-surface characteristics of the regions with high frequent sand-dust event occurrences. This brings forward a caution to the occurrences of calamitous environment issues possibly resulted from human activities.

Key words: sand-dust event; ground-surface conditions; discrimination; Junggar Basin