#### DOI: 10.5846/stxb201312263034

鄢雪英, 丁建丽, 李鑫, 张喆, 马尔哈巴, 曾小箕, 王刚. 艾比湖湿地退化对盐尘暴发生及运移路径的影响. 生态学报, 2015, 35(17): - . Yan X Y, Ding J L, Li X, Zhang Z, Ma E B H, Zeng X J, Wang G. Effect of salt dust storm migration pathways on degradation of Ebinur Lake Wetland. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(17): - .

# 艾比湖湿地退化对盐尘暴发生及运移路径的影响

鄢雪英,丁建丽\*,李 鑫,张 喆,马尔哈巴,曾小箕,王 刚

新疆大学资源与环境科学学院 绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046

摘要:新疆艾比湖湿地内间歇性裸露的干涸湖底加重了周围区域的盐渍化程度,为盐尘暴的发生发展提供了粉尘物质来源。盐碱粉末在风力作用下以颗粒物的形式悬浮在空中并向周围扩散,严重危害周边区域的生态安全和社会经济发展。本文选择研究区三期遥感影像,结合同期野外实测大气降尘及地表土壤采样数据,剖析区域土壤盐渍化与盐尘暴发生作用机制,探讨艾比湖湿地退化引发的盐尘暴在传输、沉降过程中对源地及途经区域的生态环境的影响,进而对盐尘暴的运移路径进行模拟预测。有关成果对于揭示该区域独特的盐尘暴发生及作用机制问题具有重要作用。

关键词:盐尘暴;盐渍化;大气降尘;运移轨迹;艾比湖

# Effect of salt dust storm migration pathways on degradation of Ebinur Lake Wetland

YAN Xueying, DING Jianli, LI Xin, ZHANG Zhe, MA ERhaba, ZENG Xiaoji, WANG Gang

Key Laboratory of Oasis Ecosystem of Education Ministry, College of Resources and Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract: The lake wetlands are a transition zone between aquatic and terrestrial ecosystems. They are also one of the most important environments that sustain human beings, especially in arid and semi-arid areas of Northwestern China. The lake wetland ecosystem not only serves as an important media reflecting the dynamics of the local natural processes and habitat, but also promotes the interaction between human beings and the nature to maintain a sustainable balance between the two. Salt dust storm and alkaline dust deposition are generally caused by lack of water as loose deposits, dry lake bed crust, salt and saline soil are blown and salt deposits are dispositioned due to wind erosion. The salt powder in the form of suspended particles in the air becomes a natural disaster accompanied with strong wind. In addition to saline, alkaline elements, it contains crystalline dry lakebed sediments, toxic chemicals, and harmful heavy metal particles, which threaten plant survival. The development process of alkaline dust storm not only contaminates the air, food, water, and other natural resources with a mix of bacteria, fungi, and other toxic and harmful substances, but it also destroys the grassland and crops, and causes various diseases in humans and livestock.

Intermittently exposed lake bottom of dry lake in the Ebinur Lake region is the primary source for salt dust storms in the surrounding area. Saline powder suspends in the air and spreads in the form of particles with the wind, seriously endangering the ecological stability and socio-economic development of the surrounding area. The current study attempts to investigate the dust storm migration pathways and its environmental effects using three remote sensing images combined with synchronous field measurements of salt dust and surface soil samples with the Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) model. We also explore the environmental changes caused by salt dust storms and their impacts on

基金项目:国家自然科学基金项目(41130531,41261090,41161063)

收稿日期:2013-12-26; 修订日期:2015-03-31

<sup>\*</sup> 通讯作者 Corresponding author. E-mail: watarid@xju.edu.cn

the settlement process of Ebinur Lake by simulating and predicting the migration pathways of salt dust storms. Combining atmospheric dust deposition and surface soil data as well as the westerly direction and airflow path, we simulated the transport trajectories of salt dust for about four months in Bortala Mongol Autonomous Prefecture of Xinjiang Uyghur Autonomous Region, China. The results indicate that: (1) the degree of soil salinization within the study area is uneven. The highest level of salinization occurs around the Ebinur Lake but gradually weakens towards the peripheral expansion areas; (2) the dynamics of saline land is closely related to the change in vegetation cover and water area and to human activity, which also has a significant impact on the evolution of soil salinization; (3) there are two different paths of salt dust storm, the north path starting from Bortala Mongol Autonomous Prefecture  $\rightarrow$  Aletai  $\rightarrow$  Gansu  $\rightarrow$  Inner Mongolia  $\rightarrow$  Mongolia $\rightarrow$ Heilongjiang and southeastern path from Bortala Mongol Autonomous Prefecture (Jinghe, Bole, Wenquan, and Alashankou)  $\rightarrow$  Wusu  $\rightarrow$  Kuitun  $\rightarrow$  Ürümqi  $\rightarrow$  Kurla  $\rightarrow$  Turpan  $\rightarrow$  Kumul. Our results present important information regarding the occurrence and mechanism of salt and dust storms in arid and semi-arid regions.

Key Words: salt dust storm; salinization; dust fall; migration path; Ebinur Lake

湖泊湿地是介于水生生态系统和陆地生态系统的过渡区域,是人类最重要的生存环境之一<sup>[1-2]</sup>,尤其在西北干旱、半干旱地区,湖泊湿地不仅对生态环境的好坏进行反馈,还可促进人与自然相互作用,维持区域的生态、环境平衡<sup>[3-4]</sup>。随着气候条件的变化及人类活动的影响,部分地表水被拦截用于农业灌溉,入湖水量减少,湖泊湿地面积逐渐减少,湖底大范围渐渐干枯,湖水矿化度逐渐提高,地下水中的可溶盐随蒸散作用移至地表,间歇性裸露湖底逐渐形成,加剧了土壤盐渍化的形成,威胁区域资源环境的可持续发展<sup>[5-7]</sup>。同时,干涸湖底的盐碱颗粒经过反复的冻结融化,再经过风力侵蚀作用,为盐碱尘的发展、变化供给种类多、数量大的粉尘物质来源,而逐渐积累在一起的盐碱风蚀物成为盐尘暴发生的源头。盐尘暴的频发及其尺度的不断扩展,不但影响空气质量,同时也给人民的生命财产安全带来极大隐患,被认为是"全球仅次于切尔诺贝利核泄漏的生态灾害"<sup>[8-10]</sup>。

近年来盐尘暴灾害受到了广泛的关注。一些专家学者从不同角度对盐尘暴源地及其盐碱化过程做了深刻研究:吉力力·阿不都外力对艾比湖地区的土壤进行取样分析,归纳了盐尘的形成、分布和灾害范围<sup>[11-12]</sup>; 刘东伟对干涸湖底的最上层沉积物的化学组成及风蚀动态进行了详细研究<sup>[13-14]</sup>; 刘艳菊对北京地区降尘的水溶盐含量、酸碱度等实地调查、实验,推测出干盐湖是北京、天津等地尘暴的源区<sup>[15]</sup>; 张兴赢对北京地区盐尘的单颗粒和 XPS 表面结构进行论证,证明了北京也处于盐尘暴的受害范围<sup>[16]</sup>。目前对盐尘暴的发生、发展及扩散沉积等方面的研究,不仅靠地面观测站,还应结合遥感及其他先进技术<sup>[17]</sup>。遥感技术不仅可以弥补地面观测数据的不足,同时还可与地面观测数据进行精度上的相互验证,这些信息一方面可为防灾、减灾提供及时的信息服务,另一方面也可为研究盐尘暴的社会、生态效应提供必要的数据,为全面认识盐尘暴的发生机理及防治提供科学参考。

盐尘暴的形成、发展、扩散牵涉到众多因素,而下垫面是主要的诱导因素之一[11-18],同时随着地表盐尘输入大气,短时间内改变大气组成及质量,所以盐尘暴的灾害研究应将地表和大气综合研究。因此,本文以艾比湖湿地所在的新疆博尔塔拉蒙古自治州(以下简称博州)为研究区,通过对该地区 2013 年春、夏、秋 3 个季度的遥感影像进行解译,结合野外实测大气降尘及地表土壤采样数据,试图剖析盐渍化土地的季节性变化,分析盐尘暴的发生对大气降尘的干扰作用,并对盐尘暴的运移路径进行预测,加深对盐尘暴灾害的认识。以期对该地区制定盐尘暴灾害防治规划,避免或减轻灾害的影响起到积极地推动作用,为博州地区生态环境及社会经济的可持续发展提供依据。

#### 1 研究区概况

艾比湖为浅水型平原湖泊,平均水面海拔高度195 m,是准噶尔盆地的最低洼地[19]。艾比湖三面环山,东

北部敞开与古尔班通古特沙漠相连,西北部处在北疆气流入口之———阿拉山口风口处,湖床平坦,湖面宽阔,湖岸植被稀少,地广人稀,在水文过程、强气流过程和人类活动的综合作用下,使艾比湖成为下风向众多地区盐尘暴灾害的根源<sup>[14]</sup>。作为准噶尔盆地西南部的水盐汇集中心,艾比湖干涸湖底的盐漠粉尘受阿拉山口大风作用,向东南快速扩展,沿天山北坡直逼乌鲁木齐及以更远地区,并影响到中国北方其他省区<sup>[11]</sup>。

博州在行政区划上地跨博州精河县、博乐市、温泉县和阿拉山口,处于中国-哈萨克斯坦边境,是我国西部边陲的咽喉要冲。介于82°36′E—83°50′E和44°37′N—45°15′N之间。研究区远离海洋,属典型的温带干旱大陆性气候。光热资源充沛,降水稀少,蒸发旺盛,空气干燥,多大风天气。多年平均降水量约100 mm,年平均蒸发量为3421.3 mm,年平均气温为8.3℃,≥8级大风日数为164 d<sup>[3]</sup>。该地区干旱、大风的地理环境、宽浅的湖盆形态及有限河流补给水量,再加上人类对自然不断加强的干扰,使得土壤盐渍化过程日益加剧,严重危害了当地生态环境与社会经济活动<sup>[5]</sup>。

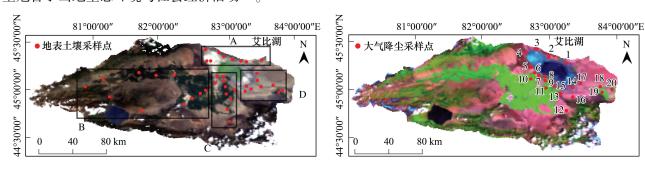


图 1 采样区位置及样点分布图

Fig.1 Location of sampling area and sampling points a 为地表土壤采样点分布图 b 为大气降尘采样点分布图

#### 2 数据源与研究方法

#### 2.1 样品采集与测定

本研究于 2013 年 5 月及 10 月在整个博州地区采集了 42 个具有代表性的地表土壤样品(如图 1a 所示),包括山地、耕地、草地、荒漠、盐碱地、沙地等不同土壤类型,并分 3 层取样(0—10 cm、10—30 cm、30—50 cm)。9—12 月在博州盐尘暴源区对大气降尘进行采集(如图 1 b 所示),采样装置共计 22 个,采样点为 20 个,剩余 2 个点用作不同高度的对比试验点。采样点覆盖了不同土壤类型及植被盖度的盐渍化区、绿洲、山体周围、盐场、胡杨林及梭梭保护区等,并均匀的分布于相对高度基本一致(约 10 m)的管护站的瞭望塔、闲置屋顶等地。

实验室对采集的土壤样品经自然风干、研磨、溶解等多个步骤,装入容器待用。降尘样品在实验室内不研磨,用不同粒径的筛子筛选,并分别称重。土样制备均采用 5:1 水土比进行抽滤浸提,并参考《土壤农业化学分析方法》测定样品的含盐量,用 EC200 型电导仪测定浸提液 25 ℃时的土壤电导率,用 pH 电极进行浸提液 pH 值测定。

# 2.2 决策树分类方法及指标的选取

文中采用的影像数据包括 2013 年 5、8、10 月的 3 期 MODIS 影像,空间分辨率为 1000 m。影像全部经过辐射校正、几何校正、去条带、大气校正等预处理。

盐渍化分类方法采用经典的决策树分类法,它是遥感图像分类系统中的一种分层次识别、管理系统,它不需要完全依赖于解译人员的先验知识,其进行专题信息提取的关键是合理、恰当的选取特征变量,通过筛选的特征变量从原始影像中分离并掩膜作为一个图层或树枝,逐层次处理影像,使筛选之后的枝叶最终复合所有的图以实现影像的自动分类<sup>[20-22]</sup>。其训练样本量少、筛选速度快、易于操作,尤其是分类精度较高,所以在遥感影像分类和专题信息提取中已有广泛的应用。

本文所选研究区植被稀疏、破碎化程度高,在前人研究的基础上,本文综合考虑选择了反映土地自然属性

的归一化差异植被指数(Normalized Difference Vegetation Index,即 NDVI)、可以较好地区分水域与其他地物的改进的归一化差异水体指数(Modified Normalized Difference Water Index,即 MNDWI)、归一化建筑指数(Normalized Difference Barren Index,即 NDBI)[23]、反映土地物理属性的反照率(Albedo)[24-25]和土壤盐分指数(Salinity Index,即  $SI^{[7-8]}$ )共5个指标进行反演。对反演得到的单个指标和多个指标进行不同的组合,借助ENVI4.8 遥感影像处理软件的 Decision tree 模块建立提取盐渍化土地信息决策树。

(1) 归一化差异植被指数(NDVI)

$$NDVI = (NIR-R)/(NIR+R)$$
 (1)

(2) 改进的归一化差异水体指数(MNDWI)可以消除地形差异的影响<sup>[2]</sup>,公式为:

$$MNDWI = (Green-MIR)/(Green+MIR)$$
 (2)

(3) 归一化建筑指数(NDBI)可以较为准确的反映建筑用地信息<sup>[23]</sup>,公式为:

$$NDBI = (MIR - NIR) / (MIR + NIR)$$
(3)

(4)土壤盐分指数(SI)[7-8]

$$SI = \sqrt{R \times B} \tag{4}$$

(5)反照率(Albedo)是地表能量平衡的重要参数[24-25],方程为:

Albedo = 
$$0.331R + 0.424B + 0.246Green$$
 (5)

公式中B表示蓝光波段,R表示可见光波段,Green表示可见光波段,NIR表示近红外波段,MIR表示中红外波段,L表示土壤调节参数值为1。

《新疆县级盐碱地改良利用规划工作大纲》是本研究主要参考的标准规范,结合研究区的景观特点和盐渍化土壤的实际状况以及研究需要,将盐渍化土地划分为轻度、中度、重度盐渍化<sup>[7-8,26]</sup>。由决策树得到的盐渍化土地信息提取结果,经 Majority/Minority 分析、聚类和过滤处理,对其中错误分类的类别进行人工修正,提高分类精度。同时借助 ENVI4.8 遥感图像处理软件得到研究区盐渍化程度面积图。

#### 2.3 运移轨迹模型

拉格朗日混合单粒子轨道模型(Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model,即 HYSPLIT模型),是一种用于计算和分析、模拟污染物产生、传播、输送、扩散轨迹的专业模型<sup>[27-28]</sup>。该模型可以独自应用于较为完整的输送、扩散和沉降模式,可以处理包括多种气象要素组成的复杂系统、多种物理变化过程和不同类型污染物排放功能,已经被成功的、广泛地应用在各个地区的研究中<sup>[29-30]</sup>。本文用该模型模拟盐尘暴正向轨迹步骤主要包括:①确定起始地点的初始经纬度信息;②确定模拟的起始时刻:本文模拟了大气降尘收集月(9—12月)内的日期进行轨迹;③确定模拟运行时间:从初始时刻开始的 120 h;④选择垂直运动的方式:3个高度,1000 m、1500 m、2000 m,还采用气象局模型的垂直速度场数据,并结合当地的气象数据,最后形成模拟轨迹。

#### 3 结果与分析

为了对艾比湖湿地退化引起的干涸湖底盐漠化对周边生态环境的影响进行深入的研究,本文将研究重点 放在源区地表盐渍化分布状况、大气降尘的盐分含量及降尘运移规律3方面。

#### 3.1 盐渍化动态变化监测分析

#### 3.1.1 2013 年 5 月 、8 月 、10 月盐渍化空间分布规律

盐渍化是限制、约束干旱区绿洲农业发展的关键因素之一,盐渍化程度是否会随季节变化而缓慢变化,本文将博州 2013 年 5 月、8 月、10 月的盐渍化划分 3 个等级并对比季节性差异。可以看出,研究区被不同程度的盐渍化土壤所覆盖(图 2),以东北部的艾比湖为中心,环湖周边盐渍化最为严重,3 个季节中几乎被重度盐渍化完全包围,从湖边扩展至外围时盐渍化程度逐渐减弱;中度盐渍化多集中在博乐绿洲,与绿洲农田及村庄交叉、错杂的分布且向周围区域延伸、扩展;在北部的阿拉套山沿线、南部的赛里木湖、天山山脉沿线盐渍化程

度相对较轻而且植被生长茂盛,赛里木湖四周 3 个季节中几乎未出现盐渍化;同时大部分中度盐渍化有逐渐过渡为重度盐渍化的趋势,从 8 月及 10 月的盐渍化分级图还可看出,离艾比湖越近,重度盐渍化面积的增长趋势越明显。

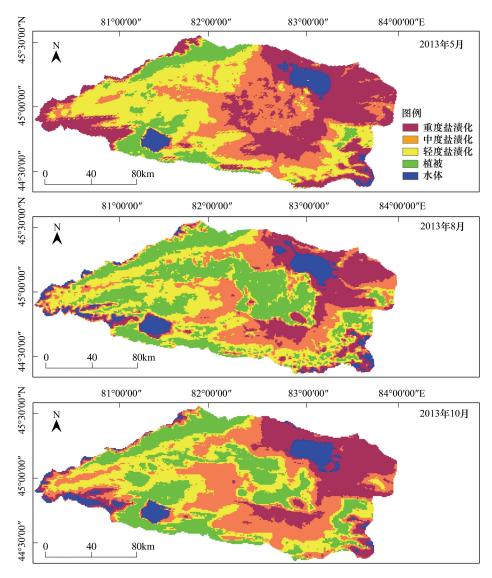


图 2 博州土壤盐渍化分级图

Fig.2 Classification of soil salinization in Boertala

由表 1 可以看出, 盐渍化土地面积随着季节变化较为明显。5 月盐渍化土地面积达 22.312 km², 占总面积的 85.82%, 不同等级的盐渍化界限明显, 其中重度盐渍化土地面积占 30.91%。8 月绿洲面积明显增多, 结合图 2 可得,以博乐绿洲为中心, 8 月的植被覆盖依次向外呈现增加的趋势, 原有的中度盐渍化土地被植被逐渐代替, 绿洲-山体过渡带、植被-植被覆盖区, 主要以轻度盐渍化为主, 占盐渍化土地总面积的 27.45%。 艾比湖外部仍呈现出大面积重度盐渍化连续分布的情形, 但其面积相对于 5 月已明显减少至 17.37%。 植被覆盖度在 10 月逐渐减弱, 水体面积增加, 盐渍化土地总面积减至 18.499 km², 且盐渍化土地以轻度和中度为主, 占研究区盐渍化土地的 23.99%、26.66%。8—10 月间博乐市内的植被凋零后, 地表土壤演化为请度盐渍化, 而且研究区盐渍化程度迁移过程中有集中面积、减弱程度的趋势。

# 3.1.2 2013 年 5—10 月盐渍化土地动态变化及成因

从图 3 可以看出,在 5—8 月间研究区轻度盐渍化、中度盐渍化、重度盐渍化面积分别减少了 1.96%,5.

72%和14.6%, 盐渍化总面积减少了5.113 km²。8—10月间中轻度盐渍化减少了1.387 km², 轻度盐渍化增加了0.901 km²、重度盐渍化区增加了0.814 km², 动态度分别为-6.31%、12.51%、9.01%, 盐渍化总面积增加1.3 km²。总体可知,5—10月研究区盐渍化土地变化规律为总面积先减少后增加,总趋势呈减少状态,且盐渍化程度有减轻的趋势,在植被覆盖较高的绿洲内部尤为明显。

Table 1 Extraction of	f soil	salinization :	area
-----------------------	--------	----------------	------

	5 月	5月 May		8月 August		10月 October	
类型 Type	面积 Area/km²	百分比 Percentage/%	面积 Area/km²	百分比 Percentage/%	面积 Area/km²	百分比 Percentage/%	
水体 Water	1.097	4.22	1.548	5.95	1.493	5.74	
植被 Vegatation	2.591	9.97	7.243	27.86	6.008	23.11	
轻度盐渍化 Slight Salinity	7.583	29.17	7.138	27.45	6.237	23.99	
中度盐渍化 Moderate Salinity	6.693	25.74	5.544	21.32	6.931	26.66	
重度盐渍化 Severe Salinity	8.036	30.91	4.517	17.37	5.331	20.5	

在盐渍化土壤逐渐演变的过程中,艾比湖的湖面积季节演变及植被覆盖度的变化起到一定的辅助作用。(1)3—5 月是盐尘暴最活跃的集中期,这不但取决于风速和风向以及大风的持续时间,而且与地表干燥、植被稀疏等因素也有关系。春季,艾比湖四周主要以柽柳、胡杨等多年生树种围绕,其枝叶细小,挡风能力瘦弱,再加上解冻的土质极为疏松,在阿拉山口强风的吹蚀下,没有经受阻挡的遭受风蚀,盐碱粉尘随风大范围的扩散,使盐尘暴发生的频率和强度大为增加。(2)春末夏初,随着融雪水逐渐汇集注入艾比湖,艾比湖湿地面积逐渐的增加,局部地下水位较高或浅水洼地伴生芦苇、白刺等分布的湿地景观,罗布麻、狗牙根等一年生植被逐渐开始生长,植被覆盖度大约在50%—80%,植被的生长变化和周围环境及地表土壤紧密相关,而且对大风

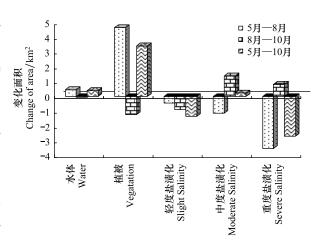


图 3 2013 年 5—10 月盐渍化土地动态变化

Fig.3 Dynamic change of soil salinization from May to October in 2013

还有一定的抵抗能力。因此,6—8月地面保潮、保土性较好,风蚀作用较弱,盐渍化程度有所缓解,特别是风蚀作用的危害有所降低,盐尘暴发生率低。但植被覆盖度较高的区域又受到放牧人的超载放牧,过重地、大量的牲畜多次反复地践踏,被强度啃食的土地表层又一次被迫加剧了土壤风蚀,直接导致局部地区的盐渍化的加重。(3)秋季,大风出现次数和持续时间有所增加,但特大风的出现次数和持续时间很少。伴随着干燥气候的强烈蒸发,湖水面积逐渐萎缩,湖滨气候进一步变干,变燥,湖西北和东南两端干枯的盐结皮层构成裸露的湖底,各类盐渍化土壤逐渐演变为相应的沼泽盐土、草甸盐土、胡杨林盐土等。同时,9—11月植被生长期过后,逐渐的萎蔫,绿色屏障衰退,阻挡大风的能力逐渐减弱,土壤含盐量不断上升、地下水位下降,原来的湿地景观演变为盐漠景观,强烈制约生物生产量,降低生物种群和生态系统的多样性,进一步对区域植被退化、土壤环境、区域景观等一系列生态环境问题产生影响,对于周围及整个博州的盐渍化分布及盐尘暴的发生具有控制、导向作用。

综上所述,盐渍化土地动态变化与盐尘暴的发生具有季节变化的一致性,变化过程受湖水面积和植被覆盖的制约,同时人类活动对于盐渍化土壤具有一定的干扰、控制作用。因此,盐渍化土壤盐分堆积动态与艾比湖地区盐尘暴随季节的变化相一致,呈现双峰状态,春、秋两季是高发期,春季最强、秋季次之,冬、夏风力强度和大风频次减缓,盐尘暴发生率较低。

### 3.2 样品采集分析

博州地区大的地貌格局为三面环山和盆地,地貌类型多样,由高而低依次有山地丘陵、山前冲积平原、细土平原、湖积平原。山地最高峰与盆地沉降中心的艾比湖,湖面高差 5311 m,为了对博州表层土壤的盐分含量进行分析,如图 1a 所示将研究区 42 个采样点的分布划分为 A、B、C、D 四个分区。土壤盐分在水平方向的不同景观类型和垂直方向的差异均比较大,经实验分析各类型沉积物 0—10 cm 层盐分含量明显高于 10—30 cm 层,说明盐分在该区域具有表层聚积的特征。艾比湖湖面萎缩后,裸露的干涸湖底在强烈蒸发作用下,盐分离子会随着水分的不断向上蒸发而被带至地表聚集,地下盐水的溶解质移至地表,在湖底表层聚集,出现盐分表聚现象。而且不同景观类型所处的地理位置,其沉积物的防风、抗蚀能力也不一样,最终多方面的因素共同导致干涸湖底不同景观类型下含盐量的不同。

#### 3.2.1 大气降尘分布规律

本研究以自然沉降的方式对降尘样品进行分析。由实验可得,沿湖中心向湖底周边,降尘颗粒的分选性较好,组成物质以细砂、粉沙和含沙粘土等细粒物质为主,多处收集到磨圆度较好的沙粘土颗粒物质,砾石很少,而且同一段时间、同一高度、同一风向上的降尘量分布极为不均并呈现一定的规律:(1)降尘颗粒物的粒度构成与大气搬运时的动力环境密切相关。距盐尘源区越近,降尘的平均粒径就越大。参考图 1b 位置,处在艾比湖北侧的荒漠地带(1—3 号点),地表颗粒物以砾石为主,不易被大风吹起,月平均降尘量 23.75 g。4—5号点位于阿拉山口的主风向,受大风影响,降尘量较为稀少;(2)由于绿洲内部下垫面多样,盐尘气流经过该区域时,会对气流产生阻隔作用,降低风速,并将部分盐尘拦截至地表,绿洲中心的盐尘浓度最低。6—9号点处于艾比湖西南部绿洲——湖泊过渡带,亦为西北部干涸湖底的下风口,受农田防护林的阻挡,湖底吹蚀的盐末在采样点上空降落,降尘量相对较多,为 38.23 g;(3)在绿洲外围,阿拉山口上风向沉积物少,加之博州盛行西风,扩散通道逐渐变宽,降尘成分易受下垫面的影响。13—17号点均处在艾比湖的下风向,降尘几乎均为是盐粒,14号点处在精河盐场的主导风向下,月平均降尘量高达 55.58 g。

-12月艾比湖四周日平均大气降尘量

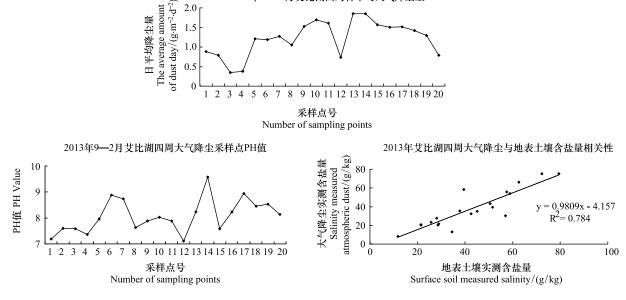


图 4 大气降尘数据统计分析图

Fig.4 Analysis of atmospheric dust by statistical data

#### 3.2.2 大气降尘化学性质分析

在风蚀的长期作用下,受风力、沉积和耕作制度的影响,风蚀起尘所导致的悬浮在空气中的颗粒物会重新分布,艾比湖沿岸区域土壤的盐碱化程度、物理化学性质和景观特征发生了很大变化。因此将大气降尘实验数据与采样点地理位置相结合,有助于综合分析盐分离子的分散堆积。由图 4 可知采样点降尘的 pH 值均在

7以上,最大值高达 9.57,表明该地区土壤盐渍化较为普遍,部分地区碱性较大;由大气降尘实验数据可知,大气降尘中的盐分含量,根据粉尘源区的远近变化而发生变化,并且最高值出现在艾比湖南部的精河县盐场附近,继续向东南方向粉尘的含盐量逐渐减少。精河盐场有盐壳的地面盐壳厚度>20 cm,凹凸不平,地表光秃裸露,寸草不生,风蚀作用非常强烈,是艾比湖地区盐尘暴的重要发源地。由于研究区地表土壤含盐量与大气降尘含盐量均较高,本文试图探究地表土壤含盐量与大气降尘的含盐量的是否存在相关性,因此结合二者进行相关分析。结果表明二者具有很强的相关性,相关系数为 0.784,由此可推断出该地区大气降尘的大部分盐分颗粒物源于艾比湖的干涸湖底及盐渍化区域。

根据盐尘的扩散强度、活动特点及其对土壤盐分及地表景观变化的影响强度,可以发现艾比湖地区盐尘危害的影响范围主要位于艾比湖南缘温泉至沙湾一带的天山北麓地区。从阿拉山口吹来的西北风经艾比湖干涸湖底后,携尘气流直逼精河,大风被山体阻挡后又分为2支,一支沿天山北坡向西,影响博乐市及附近团场。另一支吹向东北方向,影响乌苏、沙湾等地区。紧靠艾比湖的精河,是盐尘暴发生日数的高值区,一直延伸到天山北坡的广大区域.。

#### 3.3 盐尘扩散轨迹模拟

图 5 为 9 月、10 月、11 月、12 月的向后 5 天的模拟轨迹图。绿色、蓝色和红色分别代表 1000 m、1500 m 及 2000 m 高度的轨迹。通过对 9 月轨迹的模拟显示,3 个不同高度的运移路径基本相同,均向甘肃、内蒙古、博州、黑龙江等地移动;10 月轨迹的模拟显示,1000 m 高度向博州东南部运移,影响到精河县、乌苏市、奎屯市、乌鲁木齐市等区域。1500 m 及 2000 m 高度向博州北部的阿勒泰地区、蒙古等区域运移;11 月轨迹模拟显示几乎与 10 月的运移规律相同,低空 1000 m 高度仍向博州东南部运移,2000 m 高度向博州北部的阿勒泰地区、蒙古等区域运移;12 月轨迹模拟显示,1000 m 高度主要在博州四周活动,1500 m、2000 m 的向博州北部的阿勒泰地区、蒙古等区域运移,在黑龙江等地又返回中国境内。

从图 1 的研究区概况图中可以看出,博州是夹在西北部的阿拉套山和南部的天山山脉之间,在北部还有著名的阿拉山口大风口,而东北部是准噶尔盆地、古尔班通古特沙漠。当盐尘暴发生时,博州周围地势相对较高的山脉阻挡了盐尘,使盐尘粒子无法翻越天山山脉影响新疆南部的南疆,而艾比湖所处的位置地势相对更低,向东南倾斜,艾比湖的存在对于阿拉山口就像一个通道,使西北或北部来的盐碱粉尘及干涸湖底的富盐沉积物从此流过,向四周更快速的继续蔓延。从图 5 中还可以看到盐尘穿过博州后由于没有较高山脉的阻挡,同时还有来自于古尔班通古特沙漠的沙尘补给,顺着风向朝东北方向运移,到了内蒙古甚至到了黑龙江。

博州地区的地形及地表下垫面的变化对盐尘暴的运移路径有很大的影响,而且,阿拉山口和艾比湖的相对位置对盐尘暴天气的产生和运移起到了推波助澜的作用,一旦有西北气流,不仅博州受本地的盐尘的影响,大风还会带着盐尘越过艾比湖沿天山北坡直逼乌鲁木齐及更远地区,在移动过程中还会有补给的沙尘,严重危害生态环境与社会经济活动。

结合上文中研究区盐渍化的分布状况、大气降尘的分布规律及4个月的运移轨迹,得出博州地区盐尘暴 天气过程其移动路径主要分为:

- (1) 北路:博州→阿勒泰地区→甘肃地区→内蒙古地区→蒙古地区→黑龙江地区
- (2)东南路:博州本地(精河县、博乐市、温泉县、阿拉山口市)→乌苏市→奎屯市→乌鲁木齐市→库尔勒→吐鲁番地区→哈密地区。

#### 4 结论与讨论

研究区大面积间歇性裸露的干涸湖底加重了周围区域的盐渍化程度,干枯的松散、粗糙的干涸湖底结皮层及周边的盐渍化地,是盐尘暴粉尘的主要来源。在风力侵蚀作用下,盐碱粉末造成区域内大面积农作物及植被群落遭受不同程度的破坏,致使区域降尘成分、湖泊周边的土壤环境及地区景观发生了变化。本文对博州3个季度的土壤盐渍化程度及分布状态、地表土壤及大气降尘的采样数据相结合,分析了大气降尘的来源,

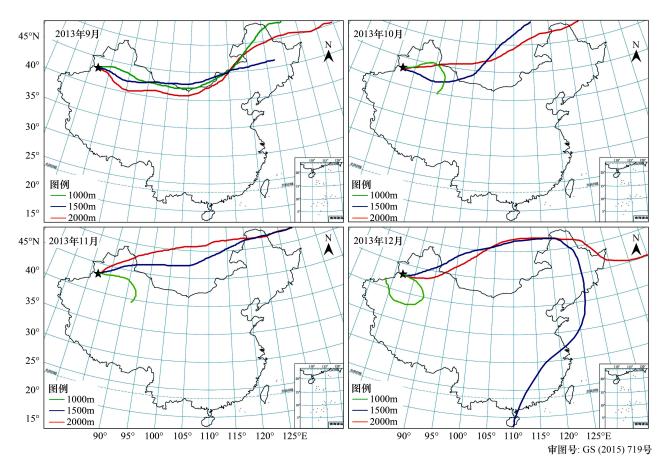


图 5 2013 年 9—12 月艾比湖盐尘扩散轨迹模拟图

Fig.5 Trajectory simulation of salt dust diffusion from September to December in 2013

同时应用 HYSPLIT 模型研究盐尘暴的运移路径,三者结合,综合分析湿地退化所引起的干涸湖底盐漠化对周边生态环境的影响,得出以下结论:

- (1)研究区几乎被不同程度的盐渍化土壤所覆盖,且盐渍化土地分布较为集中,以艾比湖为中心,依次向外围逐渐减弱,而且盐渍化土地会随着季节的变化发生变化。
- (2)实测的大气降尘数据与地表土壤数据相结合分析时显示,两者具有很高的相关性,表明该地区大气降尘的大部分盐分颗粒物源于艾比湖的干涸湖底及周边盐渍化区域。
- (3)综合艾比湖下垫面条件及大气降尘组分,运用 HYSPLIT 模型模拟研究区的 4 个月的运移轨迹,推断出博州地区盐尘暴天气的 2 条运移路径。

艾比湖三面环山,同时地表盐尘物质较为丰富,再加上阿拉山口的多风天气,使得博州地区盐尘暴的发生发展具有诸多诱发因素,加之不合理的人类活动等,最终导致盐尘暴灾害频发。因此,对该地区的盐尘暴进行治理,不仅要加强生态环境建设,其周边区域的生态工程也不容忽视。应当从生物、化学以及水利工程等多方面对盐渍土进行综合治理,同时适度调整农业产业结构,处理好水资源的分配问题,维持该地区生态环境的可持续发展。

# 参考文献 (References):

- [1] 田辽西, 巴建文, 赵军堂, 毕建龙, 赵荣昌. 湿地土壤盐渍化控制因素分析——以张掖市城北郊湿地为例. 地下水, 2010, 32(1): 27-29.
- [2] 曾晓玲, 刘彤, 张卫宾, 孙钦明, 沈雪莹, 司朗明. 古尔班通古特沙漠西部地下水位和水质变化对植被的影响. 生态学报, 2012, 32(5): 1490-1501.
- [3] 谢霞, 王宏卫, 塔西甫拉提·特依拜. 基于 RS 和 GIS 的艾比湖区域景观格局动态变化研究. 中国沙漠, 2010, 30(5): 1166-1173.

- [4] 张华兵,刘红玉,李玉凤,侯明行.自然条件下海滨湿地土壤生态过程与景观演变的耦合关系.自然资源学报,2013,28(1):63-72.
- [5] 姚远,丁建丽,雷磊,江红南,张芳,牛涛.干湿季节下基于遥感和电磁感应技术的塔里木盆地北缘绿洲土壤盐分的空间变异性.生态学报,2013,33(17):5308-5319.
- [6] 钱亦兵, 吴兆宁, 蒋进, 杨青. 近 50 a 来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.
- [7] 哈学萍, 丁建丽, 塔西甫拉提·特依拜, 高婷婷, 张飞. 基于 SI-Albedo 特征空间的土壤盐渍化遥感监测指数研究. 土壤学报, 2009, 46 (4): 698-703.
- [8] 王飞, 丁建丽, 伍漫春. 基于 NDVI-SI 特征空间的土壤盐渍化遥感模型. 农业工程学报, 2010, 26(8): 168-173.
- [9] 钱亦兵,吴兆宁,张立运,玉素甫艾力.新疆艾比湖地区沙尘天气的地表条件及土壤保持.资源科学,2006,28(5):185-189.
- [10] 纪迪, 张慧, 沈渭寿, 王桥, 李海东, 林乃峰, 太湖流域下垫面改变与气候变化的响应关系, 自然资源学报, 2013, 28(1): 51-62.
- [11] 吉力力・阿不都外力,徐俊荣,穆桂金,徐曼,Gabchenko M V. 艾比湖盐尘对周边地区土壤盐分及景观变化的影响.冰川冻土,2007,29 (6):928-939.
- [12] 吉力力・阿不都外力,米热班・阿布里米提,刘东伟,葛拥晓.艾比湖干涸湖底不同景观类型下富盐沉积物盐分积聚特征.中国沙漠, 2013,33(5):1426-1432.
- [13] 刘东伟, 吉力力・阿不都外力, 雷加强, 武广洋. 盐尘暴及其生态效应. 中国沙漠, 2011, 31(1): 168-173.
- [14] 刘东伟, 吉力力·阿不都外力, 穆桂金, 徐俊荣. 艾比湖干涸湖底化学组成及盐尘的风运堆积. 中国环境科学, 2009, 29(2): 157-162.
- [15] 刘艳菊,韩同林,庞健峰,郑柏峪,林景星,王绍芳,孙珍全,张婷婷,夏晓飞.北京地区盐尘暴粉尘物质的主要来源.地质通报,2010,29(5):713-722.
- [16] 张兴赢,庄国顺,袁蕙. 北京沙尘暴的干盐湖盐渍土源-单颗粒物分析和 XPS 表面结构分析. 中国环境科学, 2004, 24(5): 533-537.
- [17] 徐翠,张林波,杜加强,郭杨,吴志丰,徐延达,李芬,王风玉.三江源区高寒草甸退化对土壤水源涵养功能的影响.生态学报,2013,33 (8):2388-2399.
- [18] 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. 地理学报, 2001, 56(3): 316-322.
- [19] 董红梅, 努尔巴衣・阿布都沙力克. 新疆艾比湖流域盐尘分析. 干旱区资源与环境, 2008, 22(10): 121-124.
- [20] 冯益明, 智长贵, 姚爱冬. 基于决策树的戈壁信息提取研究. 干旱区地理, 2013, 36(1): 125-130.
- [21] 买买提沙吾提, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 何祺胜. 基于决策树分类法的塔克拉玛干南缘沙漠化信息提取方法研究. 环境科学研究, 2008, 21(2): 109-114.
- [22] 徐涵秋. 基于谱间特征和归一化指数分析的城市建筑用地信息提取. 地理研究, 2005, 24(2): 311-320.
- [23] 韩秀珍, 刘志丽, 马建文, 张小曳. 沙尘源区 LST/Albedo 时序变化与 TSP 的对比分析-以 2001 年春季中国北方强沙尘过程为例. 地理研究, 2004, 23(1): 19-28.
- [24] 姚远, 丁建丽, 张芳, 王刚, 江红南. 基于遥感的塔里木盆地北缘绿洲干湿季土地盐渍化监测. 应用生态学报, 2013, 24(11): 3213-3220
- [25] 王昌海, 崔丽娟, 毛旭锋, 温亚利. 湿地保护区周边农户生态补偿意愿比较. 生态学报, 2012, 32(17):5345-5354.
- [26] 郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 封洪强, 刘顺通, 曹雅忠. 利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹. 生态学报, 2011, 31(3): 889-894
- [27] 刘志丽,马建文,张仁健,王志刚,哈斯巴干,李启青.利用遥感综合分析西风引导气流与地形对沙尘运移路径的影响.中国沙漠,2004,24(3):330-334.
- [28] 刘志丽,马建文,韩秀珍,张小曳. 沙尘源区 AVHRR 数据地表温度时序变化与沙尘干量 TSP 数据的对比分析-以 2001 年春季北方强沙尘过程为例. 干旱区地理, 2003, (1): 89-96.
- [29] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林, 陈伏生, 李述. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水位对其影响研究. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 597-605.
- [30] 刘志丽,马建文,张国平,周自江.亚洲沙尘暴的遥感监测方法研究-以中国-日本合作研究区为例.武汉大学学报 信息科学版,2005,30(8):708-711.