

Y 887428

学校代码: 10200
分类号: X32 083001

研究生学号: 10200200421362
密 级: 无



东北师范大学
硕士学位论文

沙尘天气的地基数字监测

The earth-based digital monitoring of sand-dust storm weather

作者: **张刚**

指导教师: **冯江 教授**
学科专业: **环境科学**
研究方向: **环境科学**
学位类型: **学历硕士**

东北师范大学学位评定委员会

2006 年 5 月

摘 要

沙尘暴天气对城市和乡村的环境,工农业生产,以及人类健康等有着严重的不良影响。而沙尘天气的监测是沙尘天气研究的基础,是研究数据获取的基本方法。本文试着探讨一种组成简单,成本低且效果好的数码地面监测系统,并使用遥感图像分析软件 ENVI4.0 (The Environment for Visualizing Images) 对监测数据进行 RGB 色彩数据分析处理,结合 TSP (总悬浮颗粒物) 和能见度等指标,经验证此方法能够定性定量的判定沙尘天气过境。

2003~2005 年在长春完成了数码地基沙尘暴监测,共监测到轻度、中度和强沙尘天气过境 39 次、8 次和 2 次。作者并通过对监测数据分析总结了本地区沙尘天气过境的特点,预测了本地区沙尘天气的发生发展趋势。

经研究分析,本地区沙尘天气发生发展的趋势特点为:

(1)、监测地长春市所属东北亚地区,本地区沙尘天气发生的趋势在时间分布上为一般每年冬春季节为沙尘天气频发时段,在 3~5 月份沙尘天气的发生无论次数,强度均明显高于其他月份。

(2)、长春是亚洲地区沙尘暴传输的重要通道之一,常年受到沙尘天气的影响。亚洲的沙尘暴向东可以影响至朝鲜半岛和日本列岛。

(3)、多年监测结果显示,本区沙尘天气有发生频次趋于增加,但是强度趋于减弱的趋势,因沙尘天气过境往往在 2~3 小时内结束,呈现明显的过境通过趋势,故判断沙尘粒子的来源异地多于本地。

关键词: 数码地面监测; RGB 数据分析; 沙尘天气过境; 沙尘天气监测历史数据库

Abstract

Sand-dust storm is harmful to the environment of urban and country, industry and agriculture production, human health and so on. The sand-dust storm weather monitoring is the base of sand-dust storm study and a basic method to obtain data. The article will try to establish a simple-structure, low-price and good-effect digital earth-base monitoring system. And I apply the ENVI4.0 to analyse the RGB of the monitoring data. By the TSP(Total Suspended Particles) and Visibility the method can quantitatively and qualitatively monitor the sand-dust weather passing through the area.

During the course of 2003 ~2005 we have done the work of digital earth-base monitoring of sand-dust storm in Chang Chun and have observed 39 light, 8 moderate and 2 hard sand-dust storms. Based on the monitoring data we draw a conclusion of the monitoring area, find some characteristic rules and bring forward the sand-dust weather development current.

According to the analysis of the monitoring data, the characteristic of the monitoring area is :

- (1) ChangChun belongs to the North-East Asian, The sand-dust storm bursts out in winter and spring in high frequency in the district. And the frequency and intensity of sand-dust storm from March to May are higher than other months;
- (2) ChangChun is impacted by sand-dust storm annually. It is the one of the roads that Asian sand-dust storm passes through and the Asian sand-dust storm can even impact the Korea Peninsula and Japan islands.
- (3) By the analysis of monitoring data the frequency of Asian sand-dust storm increases and intensity of it goes to lower. Because the sand-dust storm often passes the monitoring area in 2~3 hours obviously, I believe the sand-dust particles from other places is more than local places.

Key words: digital earth-base monitor RGB data analysis sand-dust weather passing through history data-base's establishment of sand-dust storm weather monitor

独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得东北师范大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

学位论文作者签名：张凤 日期：2006.6.1

学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解东北师范大学有关保留、使用学位论文的规定，即：东北师范大学有权保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权东北师范大学可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

学位论文作者签名：张凤 指导教师签名：张凤
日期：2006.6.1日 期：

学位论文作者毕业后去向：

工作单位：东北师范大学城环学院 电话：13844801544
通讯地址：东北师大城环学院 邮编：130024

1. 引言

近年来随着全球气候变暖及异常气候事件的频繁发生,我国北方地区,尤其是西北华北和东北地区沙尘暴天气频繁发生,对当地造成严重危害,并波及全国,乃至影响东北亚各国。沙尘暴已经成为一种严重的气象灾害和生态环境问题。因此,加强对沙尘暴等灾害性天气的研究,对做好防灾减灾、保护人民生命财产安全具有及其重要的意义。本文试着探讨建立一种简便,及时有效,成本低,便于使用维护的地面沙尘暴监测系统,以对频繁爆发的沙尘暴等灾害性天气形成网络覆盖式的监控,为沙尘暴等天气的研究提供充足的资料,对进一步做好准确及时的预报、防灾减灾提供科学的理论依据。

1.1 沙尘暴概述

沙尘暴是干旱和半干旱地区特有的一种灾害性天气,是大气运动和自然地理环境的综合产物。沙尘暴不仅严重破坏沙尘源区生态环境,加剧源区土地的沙漠化,给工农业生产造成重大损失,甚至严重威胁人民生命财产安全,沙尘暴频频发生是生态环境恶化的标志之一^[1]。但同时也有不少学者提出,沙尘暴能够抑制酸雨的发生,同时净化大气环境,并通过长途输送,为海洋输送大量营养物质。

我国的沙尘暴区是中亚沙尘暴多发区的一部分,属全球沙尘暴高发区之一,主要发生在西北、华北和东北的部分地区。多年来大量的气象观测分析和有关部门的实地调查证明,河西走廊到内蒙古中西部、宁夏干旱区既是我国沙尘暴最主要的源地区,也是受沙尘影响最严重的地区。我国华北北部(山西、内蒙古东部、河北北部、北京、天津)的广大地区均为沙尘暴的扩散影响区。东北亚地区,包括朝鲜半岛两国,日本国均监测到源于我国的沙尘天气系统过境。^[2]

影响我国沙尘暴的主要沙尘源区有五个:即蒙古国东南部戈壁荒漠区、哈萨克斯坦东部沙漠区、浑善达克沙地、巴丹吉林沙漠、塔克拉玛干沙漠和古尔班通古特沙漠。^[3]我国北方沙尘暴在空间分布上有五大尘源区^[4],即南疆塔克拉玛干沙漠南缘(民丰和田一带)、阿拉善高原(拐子湖)、河西走廊(民勤、金昌一带)、鄂尔多斯高原和浑善达克沙地。我国沙尘暴天气在近50a来的年代际变化上总体趋势在减少,其中20世纪60~70年代沙尘暴频数在波动中上升,80~90年代呈波动式减少,90年代是近5个年代中沙尘暴最少的,但20世纪末到21世纪初,沙尘暴日数有回升趋势。^[5]

沙尘暴天气属中小尺度天气系统,具有空间尺度小,生命周期短,移动速度快、预报难度大等特点。许多观测事实指出,我国北方地区的沙尘暴不仅与大风天气有关,同时还与当时的大气热力、动力状态和沙源地区的人类活动以及土壤、植被、水分等生态环境因素有关。目前监测站网不能有效监测沙尘暴发生发展的整个过程,对沙尘暴形成机理和预报技术方法的研究还没有形成较强的业务能力,预报技术简单、方法单一、预

报时效短、预报警报准确率较低，还远远不能适应经济建设和社会发展的需要。

沙尘暴 (sand-dust storm) 是沙暴 (sand storm) 和尘暴 (dust storm) 两者兼有的总称^[6]。根据地面气象观测规范^[7]定义，沙尘暴是指强风把地面大量沙尘卷入空中，使空气特别浑浊，水平能见度低于 1km 的天气现象，当水平能见度小于 500m 时，为强沙尘暴。其中沙暴是指大风把大量沙粒吹入近地面气层所形成的携沙风暴，尘暴则是大风把大量尘埃及细粒物质卷入高空所形成的风暴。

表 1.1 西北地区沙尘暴天气强度的划分标准

强度	瞬间极大风速 (f_{\max})	最小能见度 (m)
特强 (黑风暴)	≥ 10 级, $\geq 25\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	0 级 <50m
强	≥ 8 级, $\geq 20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1 级 <200m
中	6~8 级, $\geq 17\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	2 级 200~500m
弱	4~6 级, $\geq 10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	3 级 500~1000m

对沙尘暴强度的等级划分各地标准不太一致，但一般都是采用风速和能见度两个指标，例如钱正安等^[8]在普遍调查的基础上，制定了适合西北地区沙尘暴天气强度划分标准 (表 1.1)。目前，我国许多气象台站都采用了此标准。

1.2 沙尘暴的监测方法分类

沙尘天气研究手段主要有遥感监测和地面定点观测。^[9]遥感监测多指对沙尘气溶胶的空间分布范围、影响区进行识别、定位；对沙尘传输路径和传输规律的变化过程进行动态监测；沙尘信息的遥感定量提取；沙尘灾害产生的大气及下垫面等背景状况监测；沙尘灾害动态模拟等研究。地面定点监测分为集中观测和长期观测。沙尘灾害发生时的集中观测主要包括沙尘光学厚度测定、自动气象站气象要素记录、沙尘源地土壤状况分析、激光雷达沙尘垂直分层观测、沿气流方向沙尘通量观测、垂直方向沙尘通量观测、能见度观测(肉眼、能见度计)、多普勒声探测器、沙尘粒子理化特征采样分析等。长期监测则包括自动气象站气象要素观测、大气气溶胶光学厚度监测、天空辐射计辐射观测记录、沙尘通量估算、能见度观测、历史气候资料的整理分析、土壤观测研究、沙尘暴历史数据库建立等。集中观测可获得第一时间内的实测资料，长期观测可积累大量的环境背景数据，对沙尘天气研究均十分重要，但观测研究也具有局限性，表现为：1)需要特定的观测仪器才能实现；2)受沙尘发生时恶劣的环境条件、发生时间不确定和历时较短等因素的制约；3)有限站点观测不能保证研究所需的时间频率和空间覆盖率。遥感监测弥补了地面观测的不足，可进行以下研究：(1)反演沙尘灾害产生区；(2)沙尘扩展区和大气扰动的关系；(3)沙尘传输过程中的扩散；(4)沙尘在可见光、近红外和热红外波段的辐射特性；(5)沙尘气溶胶光学厚度的反演；(6)不同卫星数据的相互校正和校勘等。

对沙尘暴的监测应该综合遥感监测和地面定点监测。而且地面定点监测信息的获取

对于综合研究沙尘暴具有重要作用。地面调查信息主要包括：(1)用光谱仪测量地表具有稳定反射值的地物光谱反射率，如沙化土地、沙漠；(2)湖面和海面的光谱反射值；(3)太阳光度计测量太阳光谱辐射；(4)袖珍热红外辐射计测量表面温度；(5)便携式红外辐射计测量天空温度；(6)近地面温度和湿度；(7)景观全景照片等。进行沙尘灾害研究应重视地面实验遥感的研究。

随着监测技术的迅速发展，卫星遥感资料更加翔实精准，地面监测方法也呈多样化发展，获取的实测资料更加客观及时，使用更先进监测技术方法是深入研究沙尘暴形成机理，发生发展的重要基础保证，对于沙尘暴的后续研究具有决定性作用。

1.3 国内外研究现状

1.3.1 我国沙尘暴研究现状

我国的沙尘灾害研究历史比较短暂。我国近代沙尘暴研究首先在地质学领域开展起来，主要从第四纪地质学的角度研究黄土与粉尘沉积^[10]。20世纪50年代，沙尘天气开始纳入我国气象常规观测中必须监测的天气现象。而沙尘灾害的研究则始于20世纪70年代末，进展速度一直较慢。自1993年5月5日西北地区特强沙尘暴天气发生后，沙尘天气及其灾害研究才受到关注，1993年9月在兰州召开了“首届全国沙尘暴天气研讨会”。国家科委将沙尘暴研究正式列入“八五”攻关项目，设立“西北地区沙尘暴研究”项目。我国气象部门1993年开始研究使用气象卫星监测沙尘暴，并初步掌握了沙尘暴的监测方法。1994年以来，国家自然科学基金委又先后资助了几项与沙尘暴有关的研究项目，科技部和部分省市的有关科技管理部门也相继立项支持对沙尘暴灾害的研究。沙尘暴研究的第一本专辑《中国沙尘暴研究》于1997年1月正式出版^[11]。这一时期的沙尘灾害研究主要集中在对西北地区强沙尘暴的研究方面，且主要进行沙尘暴成因分析、沙尘暴监测预报方法研究、沙尘暴天气预警服务系统设计等研究，以定性和半定量研究为主。随着20世纪90年代末我国北方地区大范围沙尘天气频繁出现，沙尘灾害研究进入了新时期，国际合作项目不断增加，2000年朱镕基总理访日期间，中科院与日本科技厅签署“风送沙尘的形成、输送机制及其气候与环境影响的研究”政府级合作项目，主要从气象学方面研究沙尘的形成和传输过程，并将分别在策勒、阿克苏、敦煌、沙坡头、西安、青岛和北京建立环境监测站。开始进行沙尘长距离输送机制、沙尘对全球气候系统的影响等相关研究。由中国气象局组织建立的国家级沙尘暴监测预警服务业务系统于2001年3月1日投入业务试运行，中央气象台把沙尘暴预报纳入日常天气预报业务范围，发布沙尘暴预报与强沙尘暴警报，对2002年3月20日的强沙尘暴提前发出警报。中国气象局从2002年2月开始启动国家沙尘暴监测预警服务系统首期工程，在新疆、甘肃、内蒙古、宁夏、陕西、北京等地各气象站布设仪器设备，组建一个自动化程度较高的沙尘暴天气综合监测网，增加对沙尘天气的特种观测项目和观测密度，在第一时间获得沙尘暴形成、移动、分布以及有关环境变化的数据，提高沙尘暴天气预报的准确性和时效性^[12]。国家林业局荒漠化监测中心负责的“沙尘暴卫星遥感监测与灾情评估系统”于

1998 年开始研建, 2001 年试运行, 2002 年开始对外公布我国沙尘暴灾情评估报告, 并首次报告了 2002 年 3 月 15~17 日、20~21 日两次沙尘天气过程中的地面损失情况和沙尘出现的时间、移动路径等内容。沙尘天气多发的西北五省气象部门将联合建立“沙尘暴联报联防”系统, 加强西北地区对沙尘暴灾害的整体预防和治理工作。甘肃省气象局设计并创建的“中国沙尘暴专业网站”已正式开通。

由沙尘暴专业信息库、产品库、知识库、新闻库和实况聚焦库 5 个模块构成。这些地面监测站网的建立, 为沙尘灾害的深入研究奠定了基础, 对揭示沙尘灾害的内在机理及其产生、发展、消亡的动态变化过程, 沙尘灾害和生态环境的相互关系研究具有重要作用。自 20 世纪 90 年代以来沙尘暴及沙尘灾害研究在我国广泛开展起来。

1.3.2 国外沙尘暴研究现状

国外早在上个世纪 20 年代就开始了沙尘暴的研究。比如 Hankin^[13]对印度的“*Andhi*”型沙尘暴的上升和下沉气流进行了研究, 1925 年 Sutton^[14]对北非苏丹喀士穆地区的黑风(当地称 *Haboob*)的若干特征进行了分析研究。之后, 对沙尘暴的研究不断深入开展。Morals^[15]对苏丹 1973 年的一个沙尘暴个例进行了诊断分析, 认为干冷空气和锋前的辐和上升气流共同作用形成了沙尘暴。Ott, S.T 和 A.Ott^[16](1991)等利用卫星和 GATE 资料对撒哈拉沙尘暴的爆发作了分析。在数值模拟方面, Westphal^[17]用一个三维的气溶胶模型和一个三维的大气数值模式, 研究了 1974 年 8 月 23 日至 28 日撒哈拉沙尘起沙和远距离输送到大西洋的沙尘暴个例。另外日韩许多学者也十分关注沙尘暴的研究, 每年都有国际性的关于沙尘暴研究的会议在各国各地举办。20 世纪 90 年代以来, 日本国鹿儿岛大学木下纪正先生带领研究团队致力于亚洲沙尘暴的影响分布范围, 沙尘粒子特性, 沙尘粒子迁移等方面的研究。2002 年携手中国东北师范大学, 2004 年又有蒙古国乌兰巴托水利与气象学院的加入, 共同监测亚洲沙尘暴的发生发展, 影响范围, 过境特性等, 为沙尘暴的研究积累了大量宝贵资料。

1.4 本文研究目的及意义

本文研究对象为区域性沙尘天气的监测。论其实质, 从微观上讲, 是监测大气中沙尘气溶胶浓度随时间的变化; 从宏观上看, 是研究亚洲地区沙尘气溶胶传输路径及相关特征。具体的实验方法采用了数码拍摄设备自动定时拍摄记录低层大气图片数据, 依据 ENVI4.0 (遥感分析软件) 分析记录的数码照片上的色彩信息(记录的色彩信息量与大气中沙尘气溶胶对太阳光线反射散射和吸收等作用的强弱的关系相对应), 从而确定沙尘气溶胶即大气载沙量的多寡, 同时结合相关能见度指标的观测, 定性和半定量地判定出沙尘天气过境的具体时段, 同时积累沙尘气溶胶的基础观测数据。

沙尘气溶胶又称矿物气溶胶, 是对流层气溶胶的主要组成部分。全球气溶胶主要来自撒哈拉沙漠地区, 美国西南部沙漠区和亚洲地区。^[18]亚洲源区由于位于高原, 起沙后更容易被输送到很远的地区。^[19]沙尘气溶胶与地球辐射系统的相互作用比其他气溶胶更复杂, 这是由于沙尘气溶胶既能吸收又能反射太阳和红外辐射, 因而在不同条件下对气

候产生加热或冷却作用。

目前对于亚洲地区的沙尘气溶胶研究还处于起始阶段，已有的研究结果是分散的，沙尘气溶胶的物理、化学、光学特性以及影响沙尘输送的物理过程（起沙机制、分谱机制、沉降机制、沙尘表面的非均相过程等）都还很不清楚。另外本区沙尘气溶胶输送过程的模型明显区别于其他两个源地，具有自身显著特点，但由于缺乏相应观测资料，尚需深入研究。^[20]

本监测工作内容作为中日蒙三国（中国东北师范大学，日本国鹿儿岛大学及蒙古人民共和国乌兰巴托水利与气象学院）联合展开的亚洲沙尘天气监测计划的组成部分。项目总负责人鹿儿岛大学的木下纪正教授自从 20 世纪 80 年代开始研究亚洲沙尘天气问题。2002 年访问中国东北师范大学，与我校环境科学系以王宁教授为首的科研团队（作者亦为团队成员）签订联合监测协议，在东北师范大学建立了监测点，2004 年又邀请蒙古国乌兰巴托水利与气象学院加入监测队伍。日方并提供了 90 年代中期起在日本开始使用的沙尘天气的数码监测方法，此法目前已在日本国形成监测网络，监测结果及内容形成文章，在日本，韩国，澳大利亚等地举行的国际学术会议上发表并受到同行们的认同。结合中国长春市地区具体的地理及气象特征，中方团队适当改进监测方法，是为本文所用监测方法。

由项目的存在背景，本工作对于确定亚洲沙尘气溶胶的输送路径，传输特征提供了基础监测数据，为亚洲源区沙尘气溶胶传输机制，输送路径及其模型的确定提供了基础性研究工作。因此对于亚洲沙尘区的深入研究具有积极意义。

2. 实验设计及数据分析理论基础

2.1 实验设计

2.1.1 监测点的选取

本实验设计监测点选址位于中国吉林省长春市，东北师范大学城市与环境科学学院，环境科学楼（2002~2004 年），城市与环境科学学院地理楼（2005 年），东经 125°19'26"，北纬 43°51'38"。监测点房屋窗朝向正北方（图 2.1）。监测地点封闭或者半封闭，有充足电力供应，且视野广阔，利于监测。

图 2.1 监测地点及自动监测仪器

2.1.2 监测实验方法

监测采用数码拍摄设备（数码相机，数码摄像机）自动定时监测记录沙尘天气。使用遥感软件 ENVI4.0 对得到的数码图片进行分析，得到分析结果。

在监测点朝窗口方向放置数码相机（Casio QV-R4 with 512 MB SD memory），数码摄像机（SONY DCR-TRV40E），使用不间断电源（UPS）保证持续提供稳定电能，监测过程中室内所有灯光均关闭（防止灯光干扰拍摄）。

数码相机（图 2.2a）设定为定时自动拍摄，时间间隔为 1h，拍摄时刻为 CST(China Standard Time)的整点时刻，焦距为无穷，画幅大小设定为 640×480dpi，图像质量为极好（fine），无曝光补偿，其他设定为默认值。

图 2.2a 数码相机 Casio QV-R4	图 2.2b 数码摄像机 SONY DCR-TRV40E	图 2.2c 不间断电源 UPS
----------------------------	---------------------------------	---------------------

数码摄像机（图 2.2b）设定为自动拍摄，拍摄间隔为 10min，拍摄时刻以 CST 的标准整点为起点，时刻依次为 10min，20min，30min，40min，50min 和 60min，记录时间为 0.5s，每秒 30 帧，焦距为无穷，拍摄目标内容基本与数码相机相符。摄像机的感光 CCD 为 80 万像素，镜头为 10X 光学变焦。

实验设计监测计划为 2 年，前期工作由 2003 年开始，监测截至本文共获得 2003~2005 年三年的基础监测数据。由于 2005 年监测点换址为地理楼，区别于 2003~2004 年的监测点环境科学楼，后文分开阐述。（表 2.1）

表 2.1 沙尘暴自动监测计划:

	2003 年	2004 年	2005 年
起始日期	3 月 19 日	3 月 10 日	3 月 8 日
结束日期	8 月 25 日	8 月 21 日	6 月 17 日
监测地点	环境科学楼四楼		地理楼六楼

由于是自动化监测,一般 5~7 天维护一次。数码相机记忆卡容量为 512Mb,理论上能够完成一个年度的监测数据存储;数码摄像机的 DV 磁带为 90min,理论上能存储 50 天左右的数据,需要按时更换,亦可根据数据分析需要及时更换。UPS 不需要维护。

本实验方法属于沙尘暴监测方法中的地面定点监测。但同时区别于其他地面监测方法。本方法实质是监测大气中沙尘气溶胶的浓度变化,通过比较各种天气状况下记录的数码信息,结合 ENVI 软件的分析,从而确定沙尘天气发生的相应强度级别。与地面常规气象上对沙尘暴的监测相比,本法具有 (1) 方法简单实用,监测设备成本低;(2) 监测自动化程度高,不受自然因素和人为因素影响;(3) 监测结果经分析后对照比较,表明监测结果是行之有效的。与卫星遥感监测相比,本法具有 (1) 时间及空间分辨率高;(2) 成本低廉;(3) 可控性强。

2.2 理论基础及数据处理

2.2.1 理论基础

1、能见度 在常规气象监测中能见度是反映大气质量状况的一个重要指标,能见度 (visibility) 是用目标物的能见距离来表示。^[21]在目前对沙尘暴的定义以及分级中,多采用能见度结合风速进行定义并分级。因此本文在监测参考了能见度,监测拍摄的数码照片中(2.3a,2.3b)目标物如图所示,在进行数据分析处理时,能够在此法中对沙尘暴天气的判断起到辅助作用。

图 2.3a 能见度监测中目标物的选取 (2003~2004 年)	图 2.3b 能见度监测中目标物的选取 (2005 年)
-----------------------------------	------------------------------

2、沙尘气溶胶 沙尘气溶胶,即矿物沙尘 (mineral dust),是对流层气溶胶的主要构成成分。^[22]据估计,全球每年进入大气的沙尘气溶胶达 10~20 亿 t,几乎占了对流层中气溶胶总量的一半^[23~24]。矿物气溶胶主要来源于干旱或半干旱地区的风蚀过程。沙尘在长距离传输过程中,由于重力作用向陆面和海面沉降,并为陆地和海洋生态系统提供铁和其他微量元素。

组成沙尘气溶胶的化学成分中,以 SiO₂ 含量最高,常超过 50% 以上;其次是 Al₂O₃,也超过 10%;其他成分如 Fe、Mg、Ca、Na 和 K 的氧化物,含量一般不超过 5%。沙

尘气溶胶的数密度约 $1\sim 100/\text{cm}^3$ ，粒径范围一般大于 0.02 微米，以 0.1~50 微米为最多见，在大气中的寿命与其粒径大小有关，根据 IPCC^[23]，沙尘的平均寿命约为 4 天。

沙尘气溶胶主要是通过吸收和散射太阳辐射及地面和云层长波辐射来影响地球辐射收支和能量平衡的，这就是沙尘气溶胶所谓的直接辐射效应^[25]，由于沙尘气溶胶光学厚度大，且分布范围广，所以和硫酸盐及碳黑气溶胶一样，它对地球系统辐射平衡的影响也非常重要。由于矿物沙尘的谱分布范围很大，可以同时散射入射的可见光和出射的地面长波辐射，与硫酸盐和火山灰气溶胶相比，沙尘的粒径更大，对太阳短波辐射的吸收更强，沙尘气溶胶在地面和大气顶对辐射平衡的影响依赖于气溶胶浓度、化学成分、谱分布和垂直分布等气溶胶参数以及地面反照率，温度等一些外参数^[26-27]。

由于沙尘气溶胶悬浮于大气中，对太阳光线产生了反射散射和吸收等作用，在沙尘暴过境时，大气中载沙量明显增加，大气气溶胶浓度上升，悬浮沙尘消光作用增强，导致光线明显区别于其他天气条件下的情况。依此分析，我们可以考虑用数码照片的形式记录沙尘暴过境时的物理现象，并分析此时太阳光线经过沙尘气溶胶强烈散射作用而导致记录色彩数据信息的明显变化，以此判定沙尘暴的发生及量化沙尘信息。

3、数码相片记录 数码相机是通过记录被拍摄物体反射的光线信息而得到数码照片的，获得的数码图片是由所有感光像素点记录的色彩信息还原形成。本实验设计使用 640×480 像素的幅面来记录图片信息，成像质量为 fine，每个像素可以记录 $2^8=256$ 个灰度级别的色彩，三个像素一组，分别记录 R (red)，G (green)，B (blue) 三种色彩，三色彩混合呈现出对应的记录的数码图片上相应像素点色彩信息，所有像素点色彩信息组合形成数码照片。

根据数码照片的像素记录特点，我们可以把记录的图片中像素点色彩信息提取出来，并分别提取出 R，G，B 值。由于沙尘暴过境时，大气中沙尘气溶胶浓度的异常变化，吸收和散射作用增强，导致光线明显区别于其他天气系统，故相应像素点记录的 RGB 色彩值也发生明显改变。根据分析，晴天，多云天气，沙尘过境时所记录的数码照片的像素点色彩信息确有明显区别（详见下文）。

2.2.2 数据分析处理

监测计划完成后，将实验监测获得的图片数据进行实验室内处理分析。现取 2005 年 5 月 5 日 12 时（图 2.4a），多云天气；5 月 3 日 12 时（图 2.4b），晴天；4 月 6 日 15 时（图 2.4c），沙尘天气（1）；4 月 30 日 12 时（图 2.4d），沙尘天气（2），作为数据分析处理样例进行说明。

图 2.4a 多云天气 c05505_12	图 2.4b 晴天 c05503_12
图 2.4c 沙尘天气（1） c05406_15	图 2.4d 沙尘天（2） c05430_12

图中能够比较直观的分别出不同天气条件下，获取的图片具有较明显的区别，所选

图片均为太阳光线比较强烈的时段，因此具有可比性。图 2.4a 为多云的天气条件下的图片，据图，色调较暗，偏蓝色，远处监测目标物模糊可见，能见度较低；与之区别图 2.4b 为晴天，天气晴好，视觉效果好，能见度高，目标物体清晰可见，色彩偏亮，色蓝；另选择两个疑是沙尘天进行对比分析，其一为图 2.4c，整体图片色调偏黄，目标物模糊不清，能见度低，图片整体色彩不均；其二为 2.4d，程度较前者为轻，但是同样监测目标物不清，能见度低。

分析时分别从四幅图片中水平方向上取一条线（图 2.5 所示），在监测平面（监测设备所处水平面）上，提取此线上图片所记录的 RGB 值，做得曲线（2.6a~2.6d），竖直垂直取一条线（图 2.5 所示），任意位置均可，但是在不同图片的相对位置应该一致，同理得到曲线（2.7a~2.7d）。

图 2.5 绘图所选区域

图 2.6a Hplot-cld-0550512	图 2.6b Hplot-cs-0550312
图 2.6c Hplot-d1-0540615	图 2.6d Hplot-d2-0543012

图 2.7a Vplot-cld-0550512	图 2.7b Vplot-cs-0550312
图 2.7c Vplot-d1-0540615	图 2.7d Vplot-d2-0543012

分析比较所获得曲线，图 2.6a~2.6d 中纵坐标为像素点色彩的灰度级，横坐标为所取水平线上依次对应的像素点。图 2.7a~2.7d 中横坐标为像素点色彩的灰度级，纵坐标为竖直线上依次对应的像素点。

由图 2.7a~2.7d 所示，在多云天气条件下图 2.7a，红色绿色值十分贴近，蓝色值偏离，灰度级别 $R < G < B$ ；晴天图 2.7b，红色绿色蓝色均离散，互相偏离较大，灰度级别 $R < G < B$ ；而沙尘天气（1）图 2.7c，红色绿色蓝色曲线较接近，呈集中分布，灰度级别 $B < G < R$ ；沙尘天气（2）图 2.7d，三色趋于重叠，十分集中，总体上看低空 $B < G < R$ ，高空略呈现 $R < G < B$ 。由此可见，在沙尘天气条件下像素点的色彩信息会出现 $B < G < R$ 的变化规律，而晴天和多云天气条件下 $R < G < B$ 。由于沙尘天气过境时，大气中沙尘气溶胶浓度增大，因此对太阳光谱中的短波长光线散射作用加大，消光作用强烈，谱段中蓝紫光等的光波能量损失较大，因此体现在图片上，就是蓝紫光的灰度级别明显低于长波长的红光；在明亮的晴朗天气状况下，情况正相反，体现为短波长蓝色光灰度级别高于长波长红色光。

现将具体区别列于表 2.2。图 2.6a~2.6d 亦同法分析得到结果并归于表 2.2。

表 2.2 不同天气条件下记录图片水平垂直样线三色变化曲线比较

	垂直样线		水平样线	
	曲线关系	RGB 关系	曲线关系	RGB 关系
图 2.4a 多云	红绿接近, 蓝偏离	$R < G < B$	红绿接近, 蓝偏离	$R < G < B$
图 2.4b 晴天	均分散	$R < G < B$	均分散	$R < G < B$
图 2.4c 沙尘(1)	均集中	$B < G < R$	均分散	$B < G < R$
图 2.4d 沙尘(2)	均集中	$B < G < R$	均集中	$B < G < R$

另外, 从图中可以看出, G 曲线相对于 R 和 B 曲线变化不大, 虽然有当多云天气和晴天的 $R < G < B$, 轻度和中度 (本文研究的两个对应例子的对比) 沙尘天气的 $B < G < R$, 但是 G 曲线始终位于 R 和 B 之间, 位置较为固定, 故我们用 B/G, 和 R/G 分别作为横纵坐标, 统计不同天气条件下相应的曲线上对应三色点的比值, 并标于坐标系内, 得到图 2.8。

图 2.8 不同天气条件下的 R/G—B/G 图

由图 2.8 我们可以看到, 所获得的四类点集, 具有明显相区别的位置关系, 以 $R/G = 1$ 和 $B/G = 1$ 分别做直线, 得到一个相交的十字线, 交点 $R/G = 1$ 和 $B/G = 1$, 图 2.4d 集中在 R/G 和 B/G 为 1 的附近, 图 2.4c 居于十字交叉线的左上部分, 而图 2.4a 和图 2.4b 处于右下部, 四类点集依次排布。对应天气系统分别为中度沙尘天气, 轻度沙尘天气, 多云天气, 晴天。

综上所述, 可以依据记录的图片数据的 RGB 分析, 区别开沙尘天气与其他天气系统, 沙尘天气条件下, 图片上的 RGB 关系为 $B < G < R$; 并可以通过 R/G—B/G 图, 从记录的数码图片获取的信息标出的点集所处的位置上, 来半定量判定沙尘天气发生的强度 [28-29]。

2.3 沙尘量化信息提取

本监测从图片数据上来判定沙尘天气的发生与否是有效的。对沙尘天气的判定需要参考相应的量化指标, 在实验设计中拟定了以能见度和 R/G—B/G 指数作为量化指标。

2.3.1 能见度指数

目前国内外对于沙尘暴的定义多以能见度和风速作为依据 (参考 1.1)。并以能见度作为划分沙尘暴强度的重要参数。基于此种考虑, 本实验设计了对能见度指数的监测 (见图 2.3a 和图 2.3b)。目标物体的选取参考表 2.3。

表 2.3 监测目标物与监测点相距表

监测目标物名称	2003~2004 年监测		2005 年监测	
	代号	至监测点距离	代号	至监测点距离
东北师大宾馆	A	108m	---	---
中吉大厦	B	1473m	A	1442m
水务大厦	C	825m	B	795m
中安大厦	D	2045m	C	2020m
中环 16 区	E	2382m	D	2357m

监测目标物的选择主要考虑建筑物明显可辨,且足够突出,此外分布对于监测点而言具有一定距离梯度分布。2003~2004 年的监测目标物较合理,梯度较明显,且有助于判别沙尘天气过境时的强弱。2005 年由于监测地点的改变(原地装修),失去了对东北师大宾馆该点的监测,即失去了较近点的参照(100m 左右),这个问题应该能够在后续年度监测中解决。监测点距离监测目标物的距离,是由以下方法确定的,先用图片记录,从图片中分离要监测的目标建筑物,在地图上标出相应的建筑物,最后通过地图的比例尺进行换算,得到相应距离,参考地图比例尺为 1:5 万。

本实验中获取的能见度指数可以辅助进行沙尘天气的判定。由记录的图片数据中,监测目标物能见度指数级别,即能见 A、B、C、D 或者 E,初步确定该日基本天气系统,是晴好、雨、阴天或者沙尘天等等。再由 ENVI4.2 作图判定 RGB 关系,由 RB 与 G 的位置关系可以判定是否有沙尘天气过境(见 2.2.2)^[30-31]。另外,监测目标物体的能见程度也可以用来判定沙尘天气发生的强度,即通过 A、B、C、D 或者 E 的能见与否,与事先测量出的监测点与目标物体的距离来判定沙尘暴发生强度。目标物体最远距离为 2382m,最近距离为 100m,其中有水务大厦点为 800m 左右,均可以用来作为判断沙尘天气强度的依据。

下面通过分析吉林省气象局长春国家基准气象站(以下简称基准站)提供的 2003 年 3~7 月能见度数据与本实验监测的能见度指数,进行相互比较来说明能见度指数在判断沙尘天气过境的可行性。选择使用每日 6~16 时的数据,且选出能见度小于 10km 的特殊日期进行比较(表 2.4)。由于基准站和监测地点地理位置不同,故而基准站提供的数据与本实验监测所得图片数据在时间和强度上存在一定差异。

表 2.4 2003 年 3~7 月长春市能见度

(吉林省气象局提供)

单位: 0.1km

日期	6 时	7 时	8 时	9 时	10 时	11 时	12 时	13 时	14 时	15 时	16 时
3.21	90	60	50	80	100	120	150	150	150	150	150
3.22	100	80	80	100	120	120	120	150	150	150	150
3.24	80	80	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3.27	100	80	70	70	80	70	70	100	100	150	150
3.28	100	80	90	100	120	150	200	200	200	200	200
3.30	80	50	07	07	09	09	80	100	100	100	100
4.1	50	30	50	50	100	100	100	120	120	120	120
4.2	60	60	80	90	100	100	100	120	120	120	120
4.6	90	80	90	100	100	120	120	120	120	120	120
4.10	100	80	100	100	100	120	120	120	120	120	120
4.16	100	100	100	100	100	100	40	20	20	50	100
4.24	100	70	70	100	100	100	120	120	120	120	150
5.1	120	150	150	120	100	80	80	80	80	60	40
5.4	70	60	80	100	100	100	120	120	120	150	150
5.13	90	90	80	80	60	80	90	100	100	100	100
5.17	70	70	100	120	120	150	150	150	150	150	150
5.20	70	70	100	100	100	120	120	120	150	150	150
6.6	70	100	100	120	120	120	120	120	120	120	120
6.9	100	100	100	90	100	100	80	70	100	100	120
6.11	60	100	100	120	120	120	120	120	120	120	120
6.13	60	60	80	100	120	120	120	120	150	150	150
6.21	60	60	60	100	100	100	100	100	100	100	100
6.25	09	20	40	90	100	120	120	120	120	120	120
7.9	90	70	90	100	100	120	150	150	200	200	150
7.10	90	100	150	200	250	250	250	250	250	250	250
7.16	60	80	100	150	200	200	250	250	250	250	250
7.21	70	80	90	100	100	100	120	120	120	120	120
7.24	90	90	100	100	100	100	120	120	120	120	120
7.29	05	30	50	70	80	100	120	120	120	150	150

从表 2.4 中可以看到, 在 7 月 29 日 6 时, 基准站提供的能见度为仅为 500m, 7 时为 3km, 8 时为 5km, 9 时为 7km, 10 时为 8km。比较监测所得图片数据中提取的能见度指数信息(表 2.5), 7 月 29 日 6 时, 仅有目标物 A(东北师大宾馆)可见, 其余目标

物均不能见，能见度指数小于 B 点 825m；待到 7 时，基准站提供的能见度为 3km，而监测图片中能见 C（水务大厦 825m）不能见 B（中吉宾馆 1483m），直到 11 时，基准站的能见度为 10km 时候，所有监测目标物体才均可见。

同样可以查看 4 月 16 日 11~13 时的基准站能见度数据（10km，4km，2km）和本实验拍得的图片数据（表 2.5），12 时监测得到图片上只有 AC 可见，其余目标物体均不可见（图 2.9），能见度指数小于 1473m，而基准站提供能见度数据为 4km。缘由基准站和监测点存在地理位置差异，导致数据不同步，但是在各自数据集合中，此时刻能见度数据都明显区别于其他时刻，并且经过分析，该日为沙尘暴过境，故可知，能见度指数能够更好的指示出监测点的能见程度的大小，比基准站提供的数据更适合本实验实际监测的需要，能够更好的作为判定沙尘天气过境和相应强度的依据。

图 2.9 2003 年 4 月 16 日 12 时监测数码照片

表 2.5 基准站能见度与本实验能见度指数的比较

具体时段	能见度 (0.1km)	师大宾馆	水务大厦	中吉宾馆	中安大厦	中环 16 区
3.21-8 时	50	能见	能见	不能见	不能见	不能见
3.21-9 时	80	能见	能见	能见	不能见	不能见
3.21-12 时	150	能见	能见	能见	能见	能见
3.30-9 时	07	能见	不能见	不能见	不能见	不能见
3.30-10 时	09	能见	能见	不能见	不能见	不能见
3.30-12 时	80	能见	能见	能见	能见	不能见
4.16-11 时	100	能见	能见	能见	能见	不能见
4.16-12 时	40	能见	能见	不能见	不能见	不能见
4.16-13 时	20	能见	能见	不能见	不能见	不能见
6.25-6 时	09	能见	能见	能见	不能见	不能见
6.25-7 时	20	能见	能见	能见	不能见	不能见
6.25-8 时	40	能见	能见	能见	能见	不能见
6.25-9 时	90	能见	能见	能见	能见	能见
7.29-6 时	05	能见	不能见	不能见	不能见	不能见
7.29-7 时	30	能见	能见	不能见	不能见	不能见
7.29-8 时	70	能见	能见	不能见	不能见	不能见
7.29-9 时	80	能见	能见	不能见	不能见	不能见
7.29-10 时	100	能见	能见	能见	不能见	不能见
7.29-11 时	120	能见	能见	能见	能见	能见

2.3.2 R/G—B/G 指数

R/G—B/G 指数（简称 RGB 指数）是指本实验数据分析中，用于指示沙尘暴强度，区分沙尘天气与其他天气一个重要参照指数（见 2.2.2）。

从分析图片数据得到的单像素点三原色（RGB）折线图中，观察到 G 线相对于 R 和 B 线位置较为固定，基本居中，又有沙尘过境时候 R 和 B 两折线明显交换位置关系，因此考虑求得 R/G 和 B/G 的比值作为数据比较，并以 R/G 和 B/G 作为横纵坐标轴，监测图片上所取的一条位置固定的曲线，曲线上每个像素点经过分解获得三色彩信息点，形成三条折线，将折线 RGB 上对应像素点的 R/G 和 B/G 所有比值于坐标系内，比较其相关位置关系。

如图 2.8，按照上述方法经过处理后（见 2.2.2），获得四个点集于坐标系内，由左上至右下依次排列的天气为中度沙尘天气，轻度沙尘天气，多云天气，晴朗天气，沙尘天气的 R/G 值明显大于等于 1，非沙尘天气时候的 R/G 值相应的均小于 1，天气越晴好，R/G 值越小。

因此，我们也考虑依据 RGB 指数将沙尘暴过境时候的强度量化。根据所选取曲线上 RGB 三色获得的 R/G 比值的大小来判定沙尘暴过境的强度。参见图 2.10。

图 2.10 2003 年不同天气状况下 RGB 指数图

图 2.10 中，依次选取 2003 年 8 月 3 日 11 时（晴天），8 月 2 日 10 时（多云），4 月 10 日 12 时（多云），5 月 10 日 12 时（轻度沙尘天气），3 月 26 日 15 时（中度沙尘天气），5 月 1 日 15 时（强沙尘天气），经过分析做图得到相应点集标于图上，由图知，所得点集按 R/G 值大小依次分布，其中 R/G 趋近 1 的日期为 5 月 10 日 12 时（轻度沙尘天气），明显大于 1 的为 3 月 26 日 15 时（中度沙尘天气）和 5 月 1 日 15 时（强沙尘天气），并且按照沙尘天气发生的强弱有序分布排列。R/G 值小于 1 的日期为多云和晴天，排列顺序如果所示。

由于有沙尘天气过境的时候，大气载沙量增加，单位大气体积内尘粒数目增加，对于长波光谱的红色一类光的反射散射影响较小，而对短波长区域的蓝色光谱的发射散射影响较强烈，^[32]因此体现为灰度级上的差异、而数码相机的感光 CCD 也因此记录了更多的长波长光色彩数据信息，所以体现出来红色光的灰度级要高一些，而短波长的蓝色光灰度级别较低。晴天条件下，短波长的蓝色光更容易被反射，从而被数码相机而记录，长波长的光线被建筑物所吸收，故而灰度级较低。

另外由表 2.6 的 2003 年月均 TSP（总悬浮颗粒物，指大气中粒径大于 100 微米的所有悬浮物质总和）值的变化可以看出，4、5 月份的大气中总悬浮颗粒物要明显高于其他月份。其中日均 TSP 值 5 月 10 日（轻度沙尘天气）较 4 月 10 日（多云天气）明显要高，说明当时大气中沙尘起溶胶浓度明显增大，大气载沙量明显增高。TSP 数据对于量化判定沙尘天气过境时的强度也提供了辅助作用。

表 2.6 2003 年 4~8 月部分日期及月均 TSP 值 (mg/L)
(长春市环保局监测站提供)

时间	第一食品厂	邮电学院	园林处	净月植物园 (清洁对照点)
4.1	0.326	0.273	0.254	0.098
4.6	0.273	0.226	0.185	0.062
4.10	0.236	0.234	0.157	0.062
4.15	0.283	0.263	0.258	0.051
4.18	0.341	0.293	0.287	0.042
4.25	0.221	0.214	0.200	0.039
4.27	0.252	0.226	0.214	0.037
月均	0.217	0.197	0.176	0.050
5.2	0.243	0.238	0.248	0.043
5.6	0.259	0.246	0.234	0.042
5.9	0.303	0.280	0.197	0.072
5.10	0.313	0.274	0.260	0.070
5.13	0.294	0.262	0.258	0.074
5.16	0.298	0.280	0.193	0.063
5.20	0.262	0.260	0.240	0.062
5.23	0.276	0.272	0.257	0.064
月均	0.233	0.223	0.202	0.055
6.8	0.165	0.152	0.143	0.043
6.20	0.218	0.211	0.213	0.051
6.22	0.204	0.199	0.194	0.050
月均	0.137	0.130	0.127	0.130
7.13	0.147	0.146	0.139	0.053
7.22	0.218	0.180	0.184	0.069
月均	0.140	0.128	0.122	0.052
8.19	0.241	0.211	0.219	0.070
月均	0.155	0.147	0.145	0.056

由上述分析可见, 使用 RGB 指数对沙尘天气过境时候的强度进行半定量化, 也是十分有效的, 此法能够很好的区别开不同的天气系统。

3. 东北亚沙尘暴监测（2003—2005年）结果分析

3.1 2003—2004年沙尘暴监测结果分析

3.1.1 监测时段

2003~2004年监测点位于长春市东北师范大学环境科学楼，监测仪器架设位置参考图2.3a，本监测计划起止日期参考表2.1，监测方法参考2.1.2，后期数据分析方法见2.2.2。

3.1.2 监测数据统计分析

经过后期数据的分析处理(见2.2.2)，确定2003年度监测，沙尘天气发生日期为2003年3月26日，4月7、10、14~16日，5月1、2、8、10、19日，6月8、23日，7月12日。

2004年3月10、23、28~29日，4月10~11、15、18~19、29日、5月7~8、25、27日，6月3、15、24~25、27~29日，7月15日。

图3.1 2003年监测计划沙尘暴发生次数统计分布

图3.2 2004年监测计划沙尘暴发生次数统计分布

表3.1 2003年沙尘天气过境强度统计

	弱	中	强	总次数
2003.3	—	26	—	1
2003.4	7, 10, 14, 15	16	—	5
2003.5	2, 8, 10	19	1	5
2003.6	8, 23	—	—	2
2003.7	12	—	—	1
2003年总次数	10	3	1	14

表3.2 2004年沙尘天气过境强度统计

	弱	中	强	总次数
2004.3	23, 28, 29	10	—	4
2004.4	10, 11, 15, 18, 19, 29	—	—	6
2004.5	7, 8, 27	25	—	4
2004.6	3, 15, 24, 25, 27, 28, 29	—	—	7
2004.7	15	—	—	1
2004年总次数	20	2	0	22

由图 3.1 可知, 2003 年的 4、5 月份为沙尘天气多发月份, 分别达到了 5 次, 6 月份后沙尘天气发生明显减少, 并持续到 7 月份左右, 到 8 月份基本不再有沙尘天气发生。据表 3.1, 过境沙尘天气强度也以 4、5 月份为最大, 5 月 1 日有强沙尘天气系统过境, 中度沙尘天气 3、4、5 月份各有一次过境。年内有 14 次沙尘天气系统过境。

而 2004 年, 图 3.2 中曲线呈现双峰, 高发月份为 4、6 月, 分别为 6、7 次, 3、5 月也较其他月份高, 为 4 次。7 月份观测到 1 次, 到 8 月份后不再出现。据表 3.2 本年度沙尘天气系统过境较多, 但强度较小, 仅有两次中度沙尘天气系统过境, 分布于 3 月和 5 月, 无强沙尘天气发生。与 2003 年比较, 具有发生频次增多, 强度减弱的趋势。^[30]

由监测数据可知一般沙尘天气系统过境多发生于午后, 持续时间不长, 2~3 小时段内即完成天气系统的更替。另由 RGB 图可以看出, 沙尘粒子一般粒径小, 多漂浮于高空, 来源多为异地传输。

综合两年监测, 发现沙尘天气发生高峰一般出现在 3~5 月份, 且强度也大, 其他月份由于大气运动的改变, 气温及降雨的影响, 沙尘天气发生次数, 强度都有明显减少和降低。

3.1.3 2003—2004 年沙尘暴监测结论

综合 2003~2004 年监测数据, 可以得到, 沙尘暴多发生于每年的 3~5 月份, 尤其以 4、5 月份为多, 强度亦大。沙尘暴的发生从年际上看有发生频次增加, 强度降低的趋势; 从月内看, 分布分散; 日内多发于午后, 过境时间段较短, 且沙尘异地源居多。

3.2 2005 年沙尘暴监测结果分析

3.2.1 监测时段

2005 年监测点位于长春市东北师范大学地理楼, 监测仪器架设位置参考图 2.3b, 本监测计划起止日期参考表 2.1, 监测方法参考 2.1.2, 后期数据分析方法见 2.2.2。

3.2.2 监测数据统计分析

根据 R/G-B/G 图分析, 2005 年监测到发生沙尘天气日期为 3 月 9、19、21、27、30 日, 4 月 5~6、14、19、30 日, 5 月 17、26 日, 6 月 13 日。

由已统计的 2005 年沙尘天气发生频次统计, 作图 3.3。另分析数据得到表 3.3。

图 3.3 2005 年监测计划沙尘暴发生次数统计分布

表 3.3 2005 年沙尘天气过境强度统计

	弱	中	强	总次数
2005.3	9, 19, 27, 30	21	—	5
2005.4	19, 30	5, 6	14	5
2005.5	17, 26	—	—	2
2005.6	13	—	—	1
2005 年总次数	9	3	1	13

参考图 3.3 可知, 2005 年沙尘天气主要发生于 3、4 月份, 均达到 5 次, 待 6 月份后明显减少, 到 7 月份后基本监测不到沙尘天气的出现。2005 年 4 月为本年度沙尘天气多发月, 有两次中度沙尘天气, 一次强沙尘天气系统过境, 且总次数与 3 月份一起成为年度之最。沙尘天气仍然多发于 3~5 月份, 强度也较其他月份为大。发生特点较 2004 年比为频次下降, 强度增强, 较 2003 年比基本趋势一致。

2005 年监测数据图见图 3.4a~3.4m。

3.2.3 2005 年沙尘暴监测结论

综观 2005 年整年监测情况, 发现 3~5 月份仍为沙尘天气多发时段, 特点为次数多, 强度大, 发生日期分散, 整月上中下旬都有发生。另外在日内也多发于午后, 尤其中度和强沙尘天气系统更是如此, 此外还有沙尘天气系统维持时间不长。

3.3 东北亚沙尘暴发生发展趋势分析

沙尘暴是大气运动和自然地理环境的综合产物。许多观测事实指出, 我国北方地区的沙尘暴天气不仅与大风天气有关, 同时还与当时的大气热力、动力状态和沙源地区的土壤、植被和水分等生态环境因素密切相关。沙源区裸露的地表, 疏松的土壤为沙尘暴的发生提供的物质基础, 而大气热力差异, 大规模的气团移动及大气环流等大气运动为沙尘粒子的迁移运输提供了输送动力。对于沙源地的监测工作目前已经很充分, 但是关于具体的起沙机制, 及沙尘的传输机制, 沙尘气溶胶迁移中的物理化学状态等内容, 我们仍知之甚少。这也是目前关于沙尘暴研究的热点问题之一。

本实验是通过记录太阳光谱中不同波长的光受到大气中沙尘气溶胶的反射及散射作用而导致其色彩信息的灰度级别出现差异, 这种差异可以通过 ENVI4.0 软件的处理, 很好的区别出来。实验的实质是大气中沙尘气溶胶浓度的变化而导致记录的色彩信息的变化, 通过 TSP 和能见度指标也能够证实此种变化。

根据 2003~2005 年的监测数据及统计分析, 可以发现, 东北亚地区的沙尘天气的发生在年内多集中于 3~5 月份, 在此期间, 沙尘天气过境频次明显高于其他月份, 同时强度也较其他月份为大, 发生次数分散, 但往往与冷空气过境同时发生。由于沙尘粒子的迁移运输是大气运动提供的动力, 因此沙尘暴的发生往往受到西伯利亚贝加尔湖冷空气团, 冬季亚洲大陆的蒙古高压的控制。每年的 3~5 月份, 西伯利亚及贝加尔湖冷空气频频南下, 亚洲大陆受到蒙古高压的控制, 同时此时正是我国冬春交接的季节, 我国北方大部, 尤其几个主要沙源区植被尚未恢复, 频繁过境的冷空气, 通过沙源区, 携带起大量沙尘, 向东, 向南运动, 影响到我国东北华北等很多地区, 甚至长途迁移至朝鲜半岛及日本列岛。而 6 月份后, 在亚洲大陆逐渐形成蒙古低压, 来自太平洋的高压逐渐占据了控制地位, 暖湿空气频繁北上, 降水增多。随着大陆和海洋高压和低压的交替更迭, 大气运动趋势发生明显改变, 沙尘失去传输的动力因子, 故东北亚地区沙尘天气过境次数明显减少, 以至基本不在发生。这也是沙尘暴频繁发生于冬春季节的原因。故而在长春监测到的频发于 3~5 月份的沙尘天气主要是受到此季节频繁过境的来自西伯

利亚地区的冷空气的影响。

另外根据监测发现，监测到的沙尘天气过境频发于午后，持续时间一般为 2~3 小时。根据拍摄到的照片显示，沙尘天气过境时，空气中弥漫的沙尘气溶胶呈现明亮的黄色，且据地面 TSP 采样发现，沙尘粒子呈现黄色，颗粒细小，与本地土壤颗粒区别明显。同时随着冷空气过境后，沙尘天气也随即消失，沙尘随冷空气迁移。故可判断，沙尘来源多为异地，是伴随着冷空气的运动而迁移，监测地区是沙尘暴输送的重要通道之一。

^[31] 在联合监测的乌兰巴托地区监测到的沙尘天气过境时段与长春，日本鹿儿岛的监测有明显的时间梯度分布，通过卫星遥感图片信息的解析，证实沙尘天气由亚洲地区我国北部产生后，可以持续影响到朝鲜半岛和日本地区。因此可以断定，沙尘天气的影响范围随着大气运动而扩大，影响地域广大。

综上所述，可以得到如下结论：

(1)、监测地长春市所属东北亚地区沙尘天气发生的趋势在时间分布上为一般每年冬春季节为沙尘天气频发时段，在 3~5 月份沙尘天气的发生无论次数，强度均明显高于其他月份。

(2)、长春是亚洲地区沙尘暴传输的重要通道之一，亚洲沙尘暴向东可以影响至朝鲜半岛和日本列岛。且长春常年受到沙尘天气的影响。

(3)、多年监测结果显示，本区沙尘天气有频次趋于增加，但是强度趋于减弱的趋势，因沙尘天气过境往往在 2~3 小时内结束。沙尘粒子来源异地多于本地。

4. 监测数据库的建立

监测数据库的建立对于保存、整理监测数据，以备后续研究分析具有重要意义。^[33]大量的图片数据只有通过合适的方法保存，才能随时按要求被抽调出来以供使用，现代计算机技术完全能够提供这样的方法。

监测数据经过整理输入数据库备查，按照原始数据和后期处理分析获得的数据资料设计数据库结构。需要录入库中的数据有原始图片，图片的名称（年/月/日/时），R/G（与1的大小关系），B/G（与1的大小关系），监测目标物能见级（ABCDE 哪个不可见），目视天气状况（晴，云，雨，沙尘）。参数的选取依据充分保留原始数据，并且突出图片特征的原则。

表 4.1 沙尘暴监测数据库结构表

序号	图片名称 (年/月/日/时)	R/G—B/G		监测目标 物能见级	目视天气状况 (晴，云，雨，沙尘)
		R/G? 1	B/G? 1		
1	05/05/05/12	<1	>1	B	云
2	05/05/03/12	<1	>1	D	晴
3	05/04/06/15	>1	<1	A	沙尘
4	05/04/30/12	=1	=1	A	沙尘
.....

如表 4.1 所示，图片名称一项，依次存入时间结构为，年/月/日/时，小时的选取范围应为日出日落前后的整点时刻。R/G—B/G 中对于 R/G 和 B/G 与 1 的关系判定，均是统计关系，并非绝对一一对应。监测目标物能见级的判定，不能看见 A 和看不见 B 均为 A，其余看不到下一项，即选前一项，依次为 ABCDE。目视天气状况为图片数据初始粗划分，即取得后直观首先判断，应属于原始数据部分。

本数据库的建立有助于后续的监测数据的保存，研究工作，以及统计分析分类，还有助于数据的共享。对于整个监测计划的完成具有重要意义。

5. 结 论

5.1 结论

沙尘天气的监测及研究有助于沙尘灾害的前期预警及防灾减灾工作，是有关沙尘天气后续研究的基础。对沙尘暴的监测，方法多种多样，本文在鹿儿岛大学木下纪正教授提供的方法基础上，结合本地区特点，适当调整了方法，是为本文所用监测方法。

通过 2003~2005 年的监测，在分析大量的监测资料的基础上，作者结合监测数据阐述了东北亚地区沙尘天气发生的趋势和特点。

综上文所述，有以下结论。

1、本文所用数码监测系统对于沙尘天气的监测是行之有效的。通过数码相机和数码摄像机的组合定时自动拍摄来监测沙尘天气过境，同时使用遥感分析软件 ENVI4.0 对数码照片进行分析处理，分析记录像素点的 RGB 色彩信息变化，以区别开沙尘天气与普通天气，另通过 TSP（总悬浮颗粒物）和能见度指标来验证方法的可靠性。同时本法还在乌兰巴托水利与气象学院，日本的鹿儿岛大学等地实行监测，三地数据互通，共享监测结果。

2、2003~2005 年监测到 2 次强沙尘暴过境，8 次中度沙尘天气过境，39 次轻度沙尘天气过境。沙尘天气过境图片数据的记录及 ENVI4.0 的数据分析对于研究沙尘天气过境时候的天气特点，气象要素特点，沙尘气溶胶的浓度变化特点，不同强度沙尘天气过境时的特点比较等提供了研究基础。

3、沙尘天气监测历史数据库的建设对于后续沙尘天气相关问题的研究具有基础作用，意义明显。将监测到的图片及视频数据通过数据库存储起来，其参考价值，及对本地沙尘天气过境的历史研究，本相关题目的后续研究等，均有较高的价值。

4、东北亚地区的沙尘天气发生的特点及趋势为：

(1)、监测地长春市所属东北亚地区沙尘天气发生的趋势在时间分布上为一般每年冬春季节为沙尘天气频发时段，在 3~5 月份沙尘天气的发生无论次数，强度均明显高于其他月份。

(2)、长春是亚洲地区沙尘暴传输的重要通道之一，常年受到沙尘天气的影响，亚洲沙尘暴向东可以影响至朝鲜半岛和日本列岛。

(3)、多年监测结果显示，本区沙尘天气有频次趋于增加，但是强度趋于减弱的趋势，因沙尘天气过境往往在 2~3 小时内结束，呈现明显的过境通过趋势，故沙尘粒子来源异地多于本地。

5.2 后续研究

本文首先探讨了沙尘天气过境的数码监测方法，并就监测到的数据使用遥感分析软

件 ENVI4.0 进行统计分析，得出了本地沙尘天气过境时的沙尘气溶胶变化特点，同时提出了建立数据库管理监测数据的方法，所有工作的完成是进行沙尘天气后续研究的基础，为相关的沙尘天气的理论研究提供借鉴。

后续相关沙尘天气的研究应该注重沙尘气溶胶的特性研究，通过分析沙尘气溶胶运动迁移的规律，沙尘成分及来源，沙尘气溶胶的光学特点等，更有效的进行沙尘天气的研究。^[34]同时扩大监测范围，形成沙尘天气的监测网络，对于研究沙尘天气系统的影响范围，传输路径，运移规律等具有重要价值。

参考文献

- [1] 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[J], 中国沙漠, 2002, 22 (2): 106~111.
- [2] 石广玉.中日沙尘合作研究专案(ADEC)情况简介[(台湾)沙尘暴学术研讨会, 2002 年 6 月 28~30 日, 台北, 39-40.
- [3] 张德二.我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析[J].中国科学(B 辑),1984(2):278-288.
- [4] 周秀骥,徐祥德,颜鹏,等. 2000 年春季沙尘暴动力学特征[J].中国科学(D 辑),2002,32(4):327-334.
- [5] 李栋梁,钟海玲,魏丽,等.中国北方年沙尘暴日数的气候特征及对春季高原地面感热的响应[J].高原气象,2003,22(4):337-345.
- [6] 赵兴初, 甘肃特大沙尘暴的危害与对策[J], 中国沙漠, 1993, 13 (3): 1~7.
- [7] 地面气象观测规范[S], 北京, 气象出版社, 1979: 21~23.
- [8] 钱正安, 贺慧霞, 瞿章等, 我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例及其统计特征[A], 中国沙尘暴研究[C], 北京, 气象出版社, 1997, 1~10.
- [9] 李海萍, 熊利亚, 庄大方. 中国沙尘灾害遥感监测研究现状及发展趋势[J] 地理科学进展, 2003, vol. 22 (1): 46~52
- [10] 史培军, 严平, 高尚玉等.我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望[J].自然灾害学报, 2000, 9(3): 71~77.
- [11] 方宗义,朱福康,江吉喜,等.中国沙尘暴研究[J].北京:气象出版社,1997.
- [12] 重拳出击沙尘暴.中国气象报,2002.2.21.
- [13] Hankin EH, On dust raising wings and descending currents, Part VI [J], India Met Memoirs,1921,22(1): 80~84.
- [14] Sutton L J, Habboobs[J], Quart J R Met Soc, 1925,51(2): 25~30.
- [15] Morals H C, A case study of a dust storm weather situation in the Sudan in April 1973[J], Pure, Appl, Geophys, 1981, 119: 658~676.
- [16] ott S T, Ott A, Analysis of a Trans-Atlantic Saharan dust outbreak based on satellite and GATE data[J], Mon Wea Rev ,1991,119,(8): 1832~1850.
- [17] Westphal D L , O B Toon and T N Carlson, A two dimensional numerical investigation of the dynamics and Microphysics of Saharan dust Storms[J], J, Geophys, Res. 1988,92 :3027~3049.
- [18] Houghton J.T.(eds.), Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Sciences, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1995
- [19] 安俊岭,张仁建,韩志伟,北方 15 个大城市总悬浮颗粒物的季节变化, 气候与环境研究, 2000, 5 (1), 25~29.

- [20] 张美根, 韩志伟, 雷孝恩, 天津市总悬浮颗粒物浓度分布的数值模拟, 气候与环境研究, 2000, 5 (1), 30~35.
- [21] 张广兴, 李霞. 沙尘暴观测及分级标准研究现状[J]. 中国沙漠, 2003, 9 (5): 586~591.
- [22] 钱云, 符淙斌, 王淑瑜. 沙尘气溶胶与气候变化[J]. 地球科学进展, 1999, 14 (4): 391~394
- [23] IPCC (Inter governmental Panel on Climate Change). Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC 1992 Emission Scenarios (M). Cambridge Univ Press, 1994.
- [24] Duce RA. Aerosol Forcing of Climate (M). Charlson R J, Heintzenberg J, eds. New York: Wiley, 1995.
- [25] Zhou M Y, Chen Y, Huang RH, et al. Effects of two dust storm on solar adiation in the Beijing Tianjin area (J). Geo-phys Res Lett, 1994, 21: 2697~2700.
- [26] Tegen I, Lacis A A, Fung I. The influence on climate forcing of mineral aerosols from disturbed soils (J). Nature, 1996, 380: 419~422.
- [27] Sokolik I N, Toon O B. Direct radiative forcing by anthropogenic airborne mineral aerosols (J). Nature, 1996, 381: 681~683.
- [28] Kisei Kinoshita, 1* Wang Ning, 2 Zhang Gang, 2 Andrew Tupper, 3 Naoko Iino, 4 Satoshi Hamada and Satoshi Tsuchida, 1. Long-term observation of Asian dust in Changchun and Kagoshima[C]; 2nd International Workshop on Sandstorms and Associated Dustfall, Nagoya, 13-15 Nov. 2003
- [29] Kisei Kinoshita, Naoko Iino, Satoshi Hamada and Hiroyuki Kikukawa, Tsatsaral Batmunkh and Jugder Dulam, Wang Ning and Zhang Gang, Andrew Tupper; Automatic Image Recording Network of Sand Storms and Dusty Airs in Northeast Asia[C]; IRS 2004 Proceedings 'Current Problems in Atmospheric Radiation', 2005
- [30] Kisei Kinoshita, Satoshi Hamada, Naoko Iino, Hiroyuki Kikukawa, Jugder Dulam, Tsatsaral Batmunkh, Wang Ning and Zhang Gang; Interval Camera Recordings of 2004 Asian Dusts in Mongolia, Northeast China and Southwest Japan; Workshop on Aeolian Dust Experiment on Climate Impact. Nagasaki, Japan, Jan 26-28, 2005
- [31] Kisei Kinoshita (1), Hiroyuki Kikukawa (2), Naoko Iino (3), Wang Ning (4), Zhang Gang (4), Jugder Dulam (5), Tsatsaral Batmunkh (5) and Satoshi Hamada; Properties of long-time digital camera record in Changchun and Ulaanbaatar; [C]. CEReS International Symposium on Radiation Budget and Atmospheric Parameters Studied by Satellite and Ground Observation Data, Feb. 17-18, 2005, Chiba, Japan
- [32] 李曙光, 刘晓东, 侯蓝田. 沙尘暴对低层大气红外辐射的吸收和衰减. 电波科学学报, 第 18 卷, 第 1 期 2003 年 2 月, 43~47.
- [33] 王鹏祥, 王遂缠, 王锡稳. 沙尘暴天气监测预警服务业务系统设计思路及其实现. 甘肃气象[J], 2003 年第 21 卷第 2 期, 7~8.
- [34] 王明星, 张仁健. 大气气溶胶研究的前沿问题[J]. 气候与环境研究, 第 6 卷第 1 期 2001 年 3 月, 120~124.

附 图

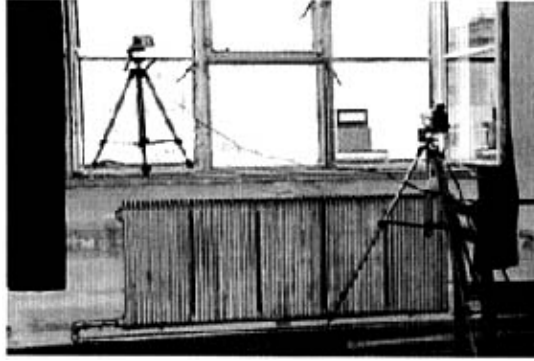


图 2.1 监测地点及自动监测仪器

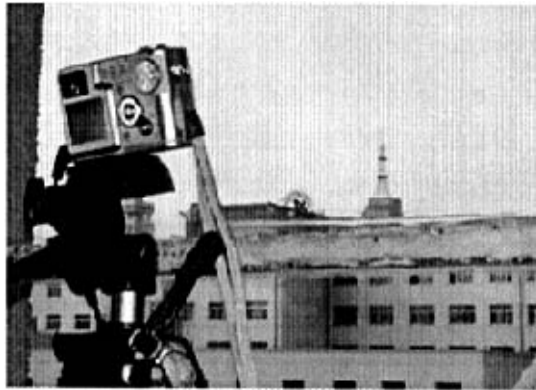


图 2.2a 数码相机 Casio QV-R4

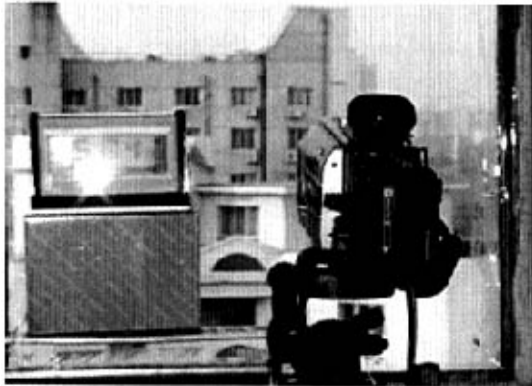


图 2.2b 数码摄像机 SONY DCR-TRV40E



图 2.2c 不间断电源 (UPS)



图 2.3a 能见度监测中目标物的选取 (2003~2004 年)

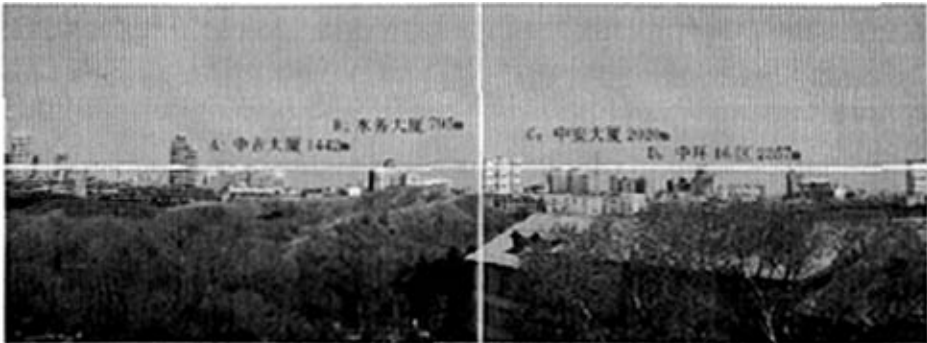


图 2.3b 能见度监测中目标物的选取 (2005 年)



图 2.4a 多云的天空 c05505_12



图 2.4b 晴天 lines-c05503_12



图 2.4c 沙尘天气 (1) c05406_15

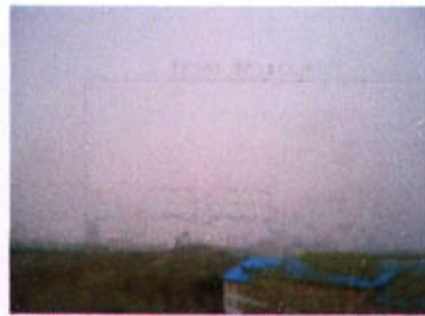


图 2.4d 沙尘天 (2) c05430_12

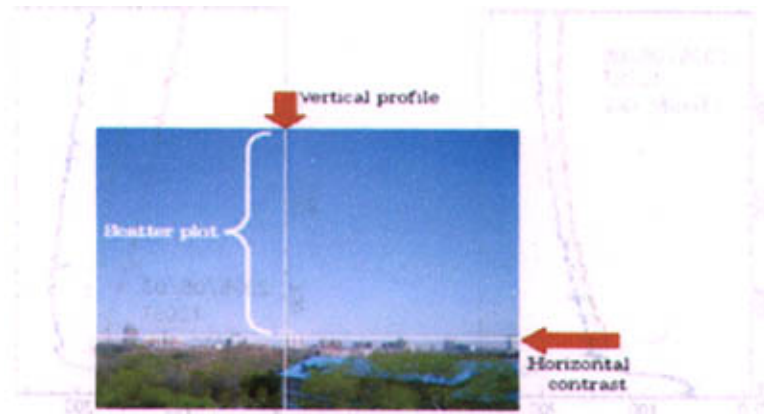


图 2.5 绘图所选区域

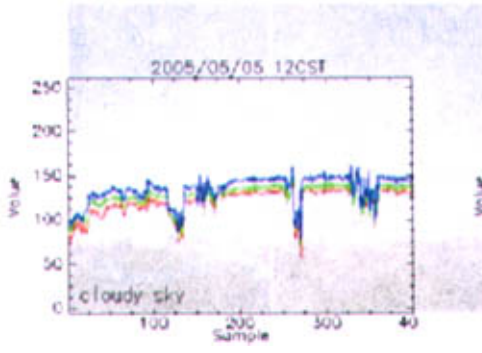


图 2.6a Hplot-cld-0550512

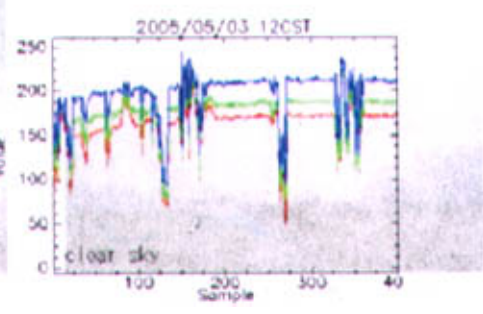


图 2.6b Hplot-cs-0550312

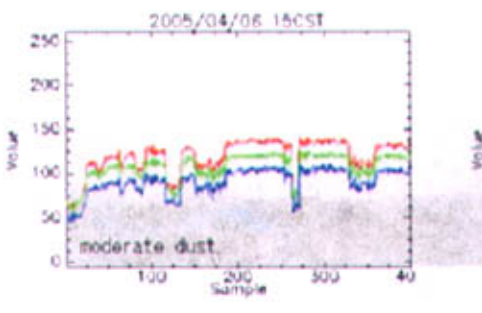


图 2.6c Hplot-d1-0540615

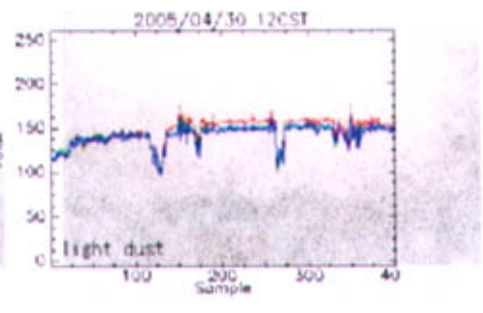


图 2.6d Hplot-d2-0543012

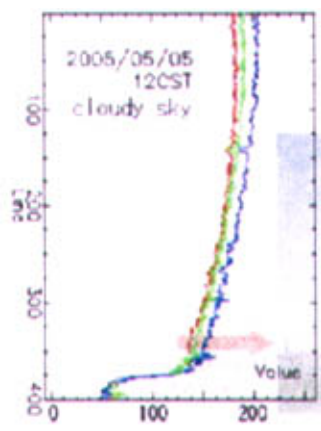


图 2.7a Vplot-cld-0550512

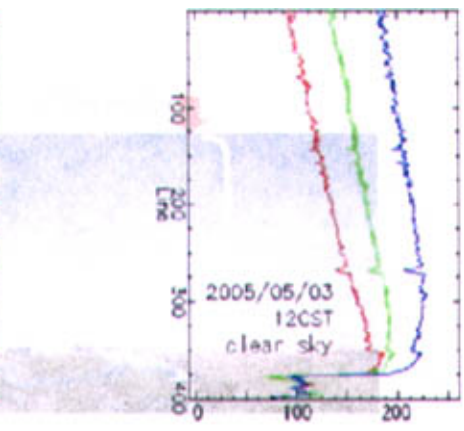


图 2.7b Vplot-cs-0550312

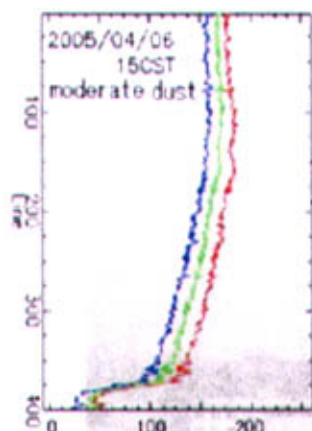


图 2.7c Vplot-d1-0540615

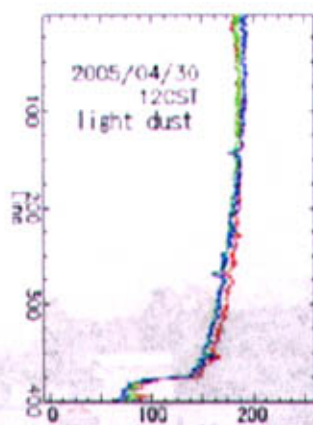


图 2.7d Vplot-d2-0543012

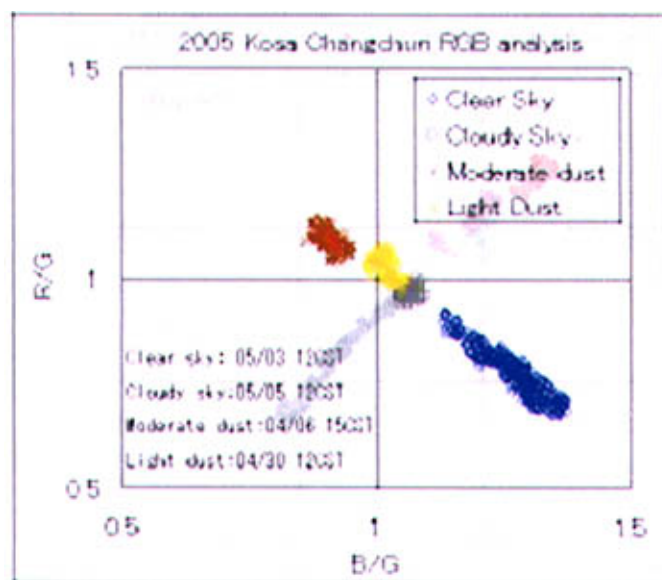


图 2.8 不同天气条件下的 R/G-B/G 图



图 2.9 2003 年 4 月 16 日 12 时监测数码照片

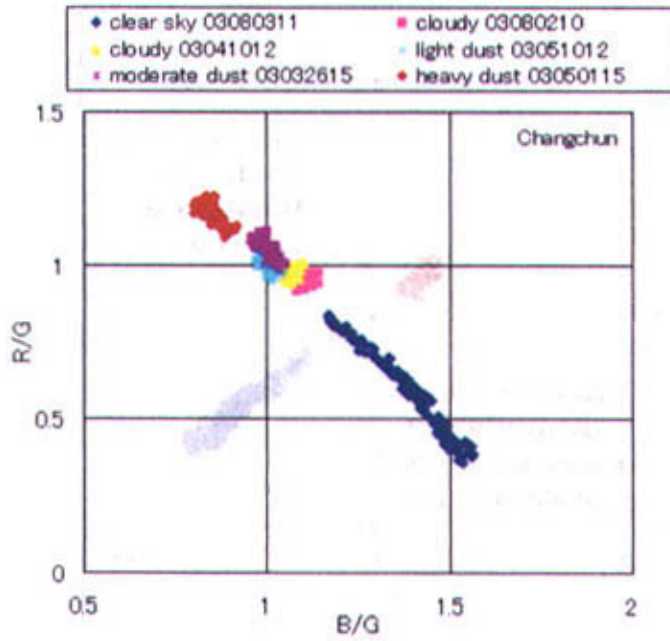


图 2.10 2003 年不同天气状况下 RGB 指数图

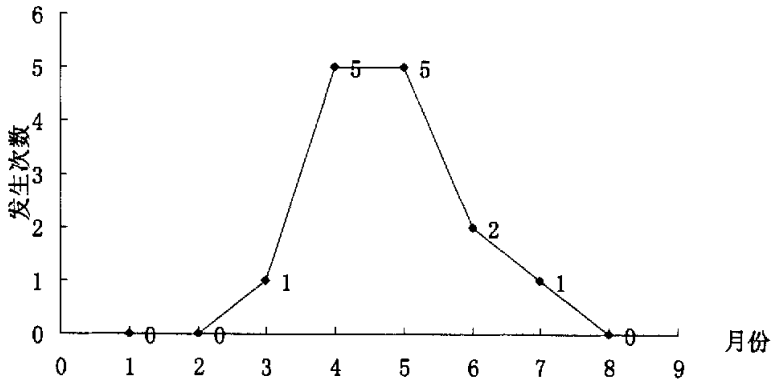


图 3.1 2003 年监测计划沙尘暴发生次数统计分布

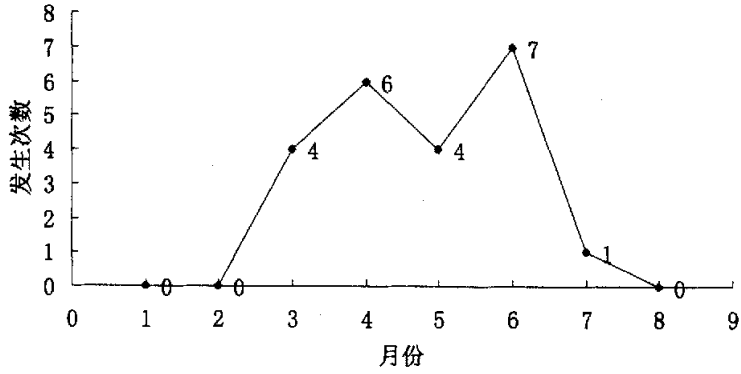


图 3.2 2004 年监测计划沙尘暴发生次数统计分布

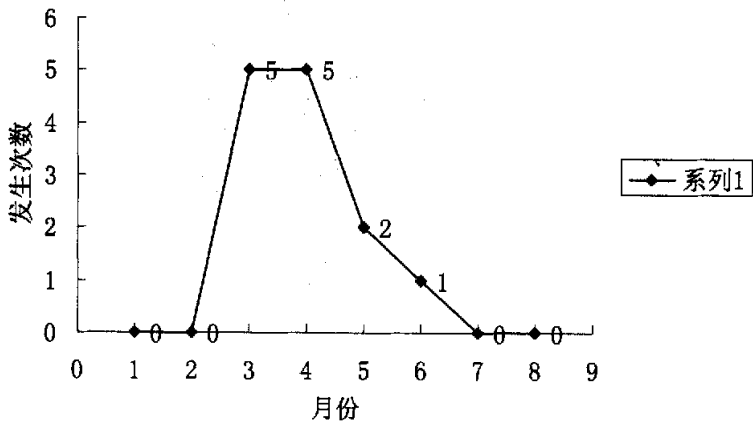


图 3.3 2005 年监测计划沙尘暴发生次数统计分布

Changchun 8-15 March 2005 (7-18 CST)

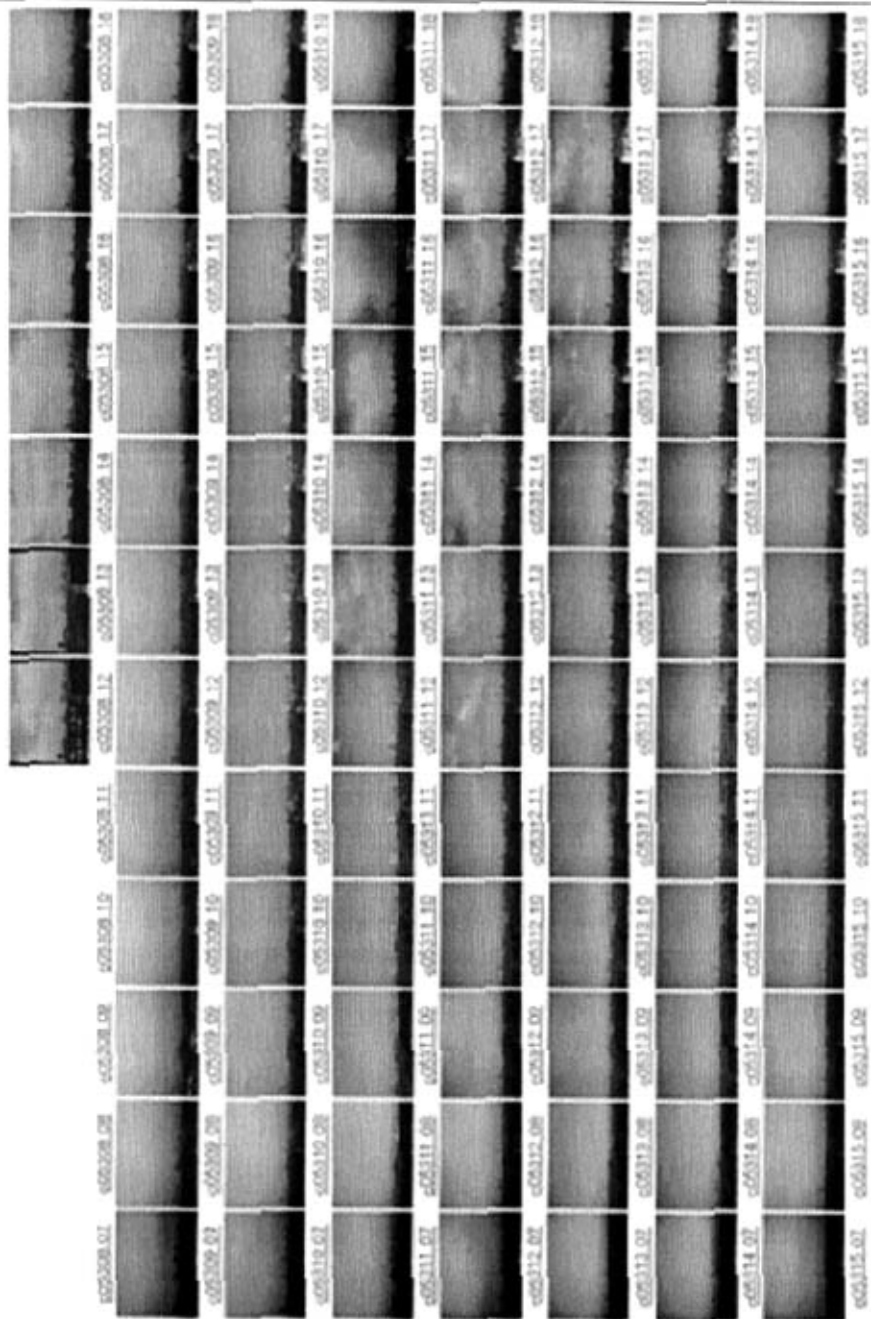


图 3.4a C05308-15

Changchun 16-23 March 2005 (7-18 CST)

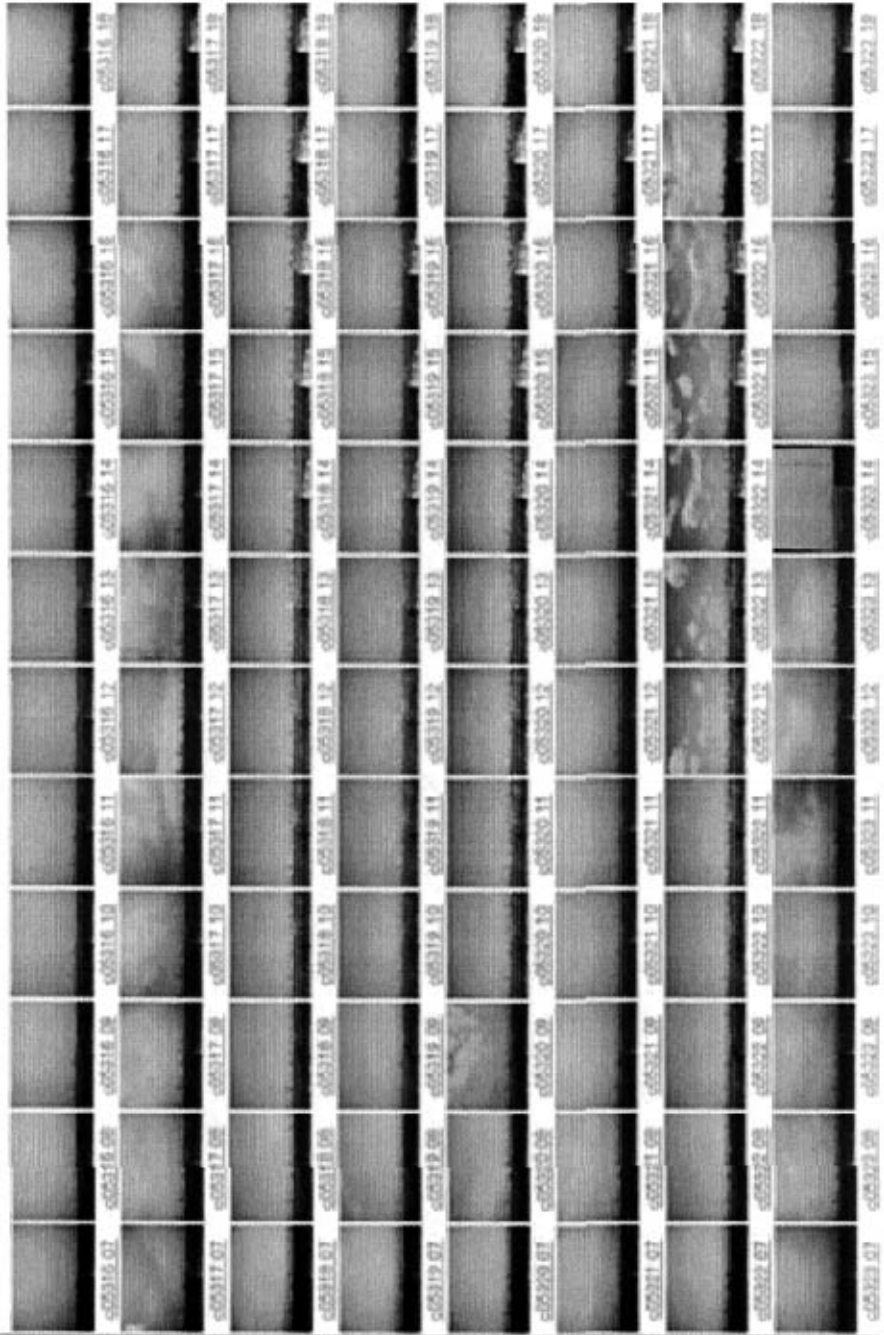


图 3. 4b c05316-23

Changchun 24-31 March 2005 (7-18 CST)

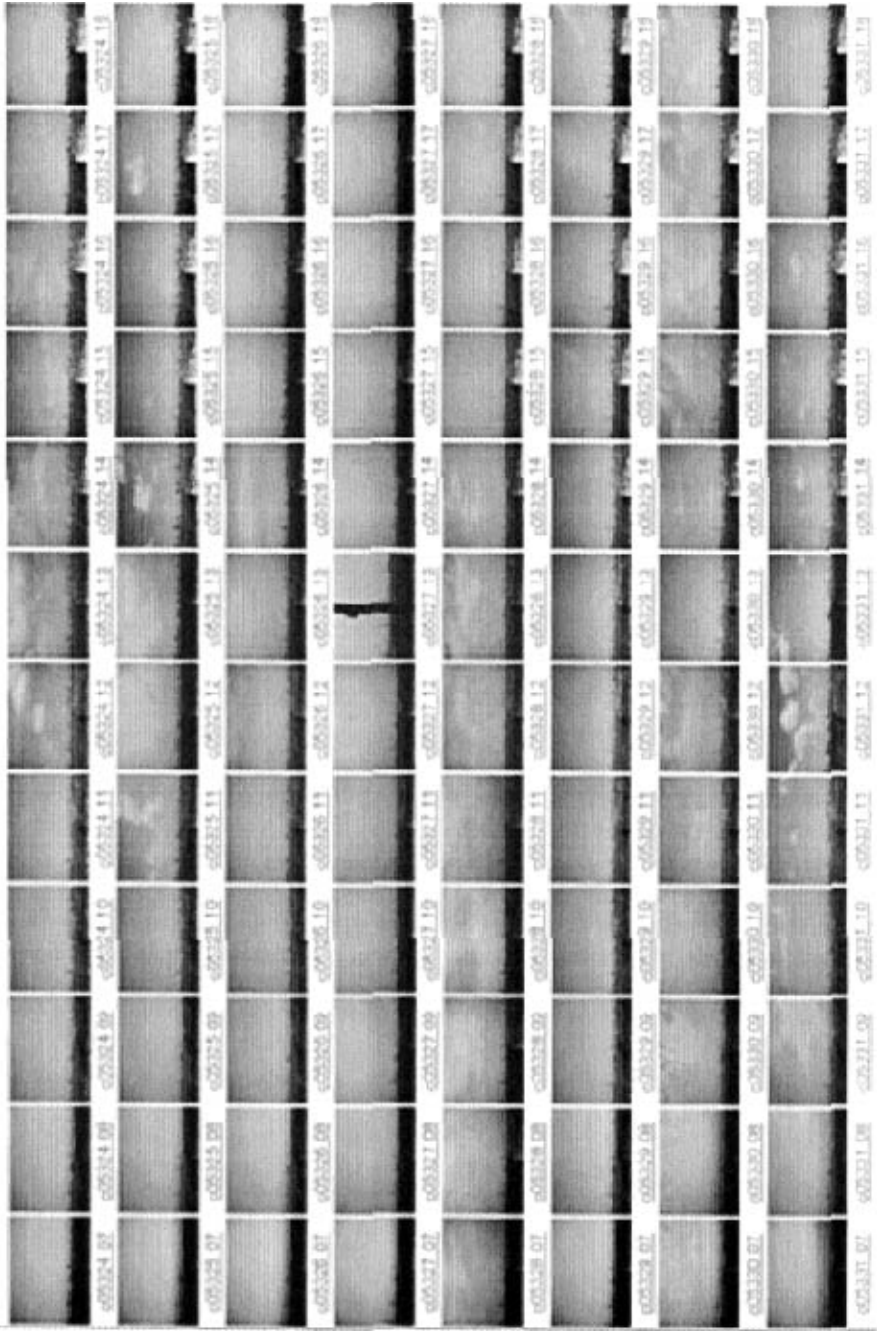


图 3. 4c c05324-31

Changchun: 1-8 April 2005 (7-18 CST)

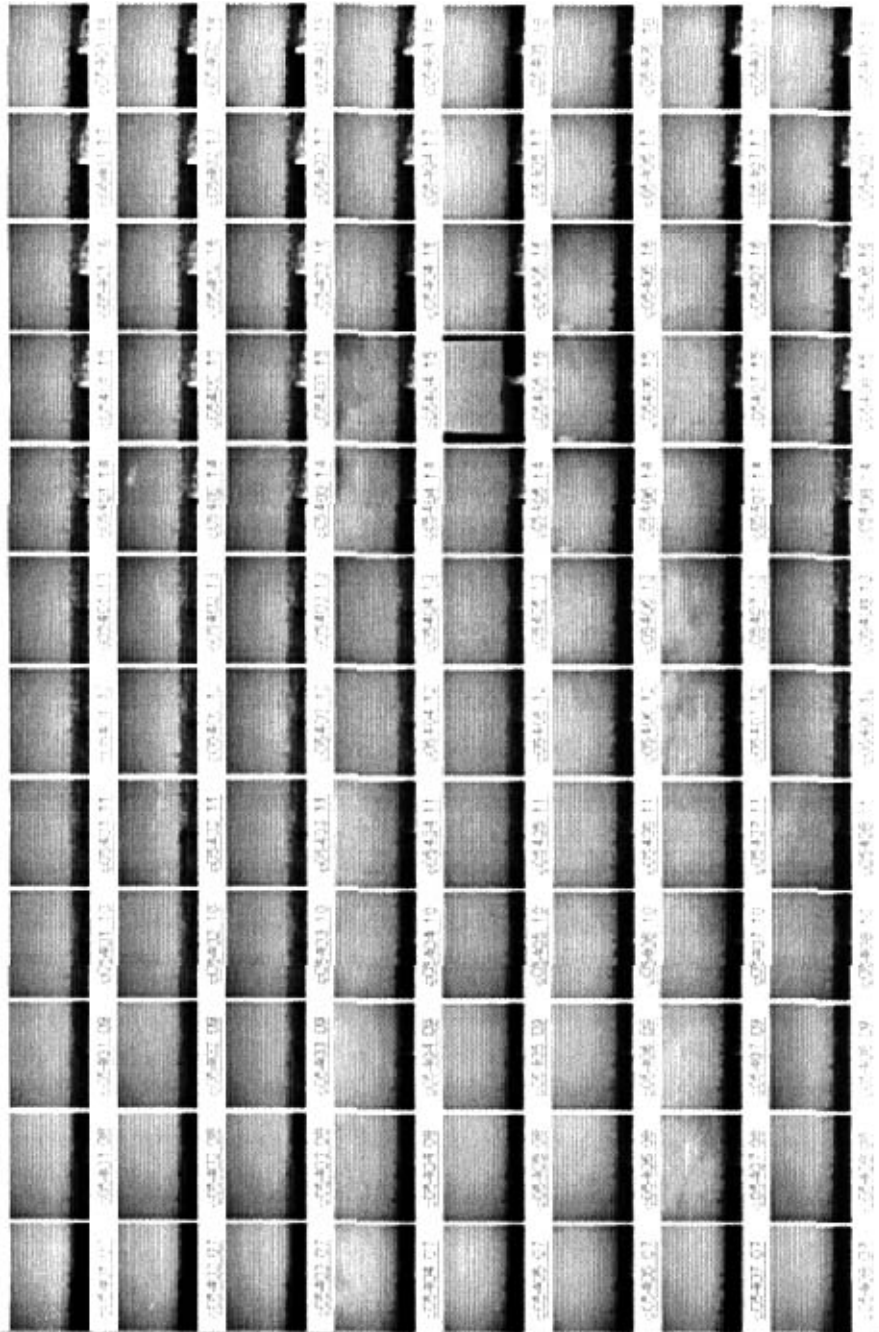


图 3.4d C05401-8

图 3.4d C05401-8

Changchun : 9-16 April 2005 (7-18 CST)

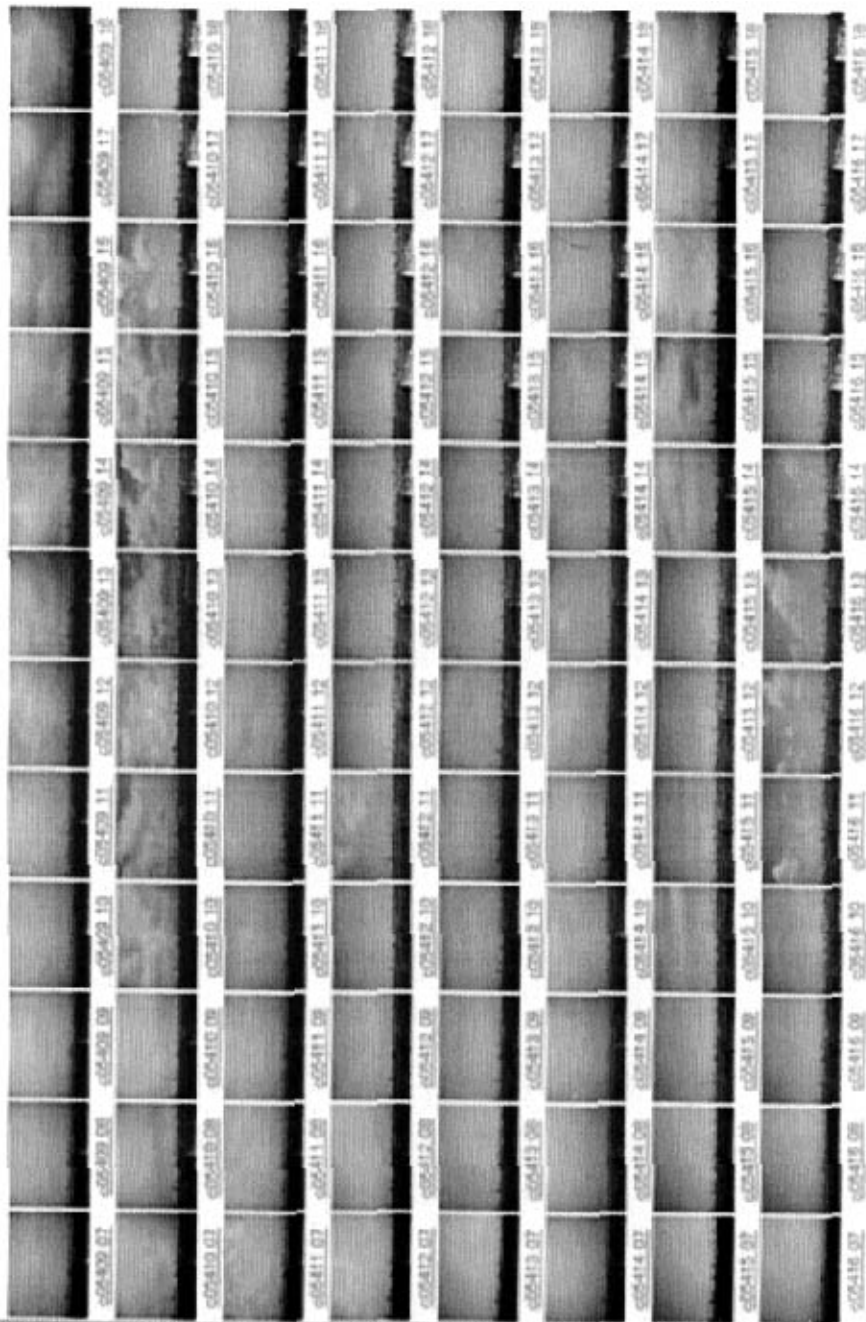


图 3.4e c05409-16

Changchun : 17-24 April 2005 (7-18 CST)

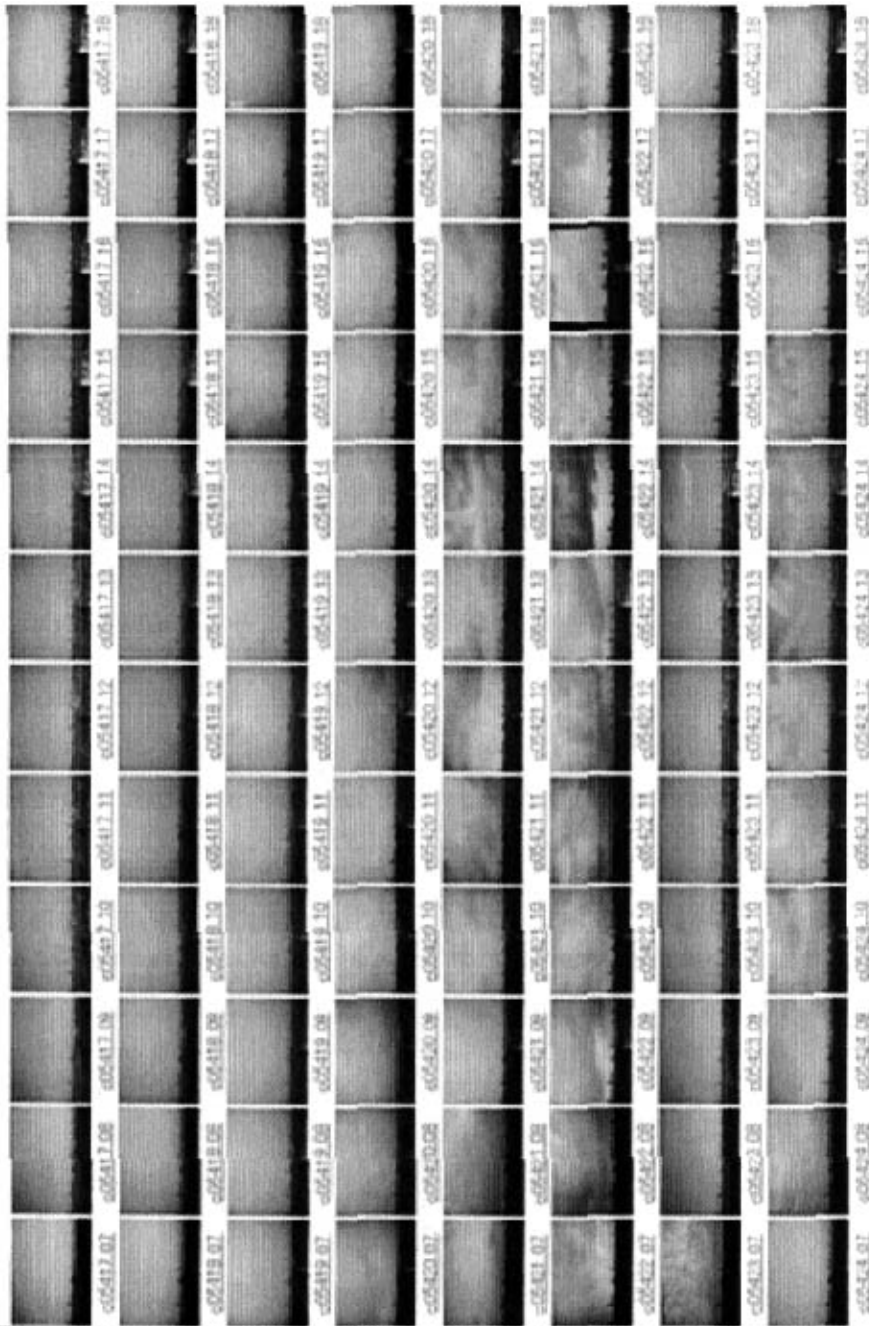


图 3.4f c05417-24

Changchun : 25-30 April 2005 (7-18 CST)



图 3. 4g c05425-30

Changchun : 1-8 May 2005 (6-19 CST)

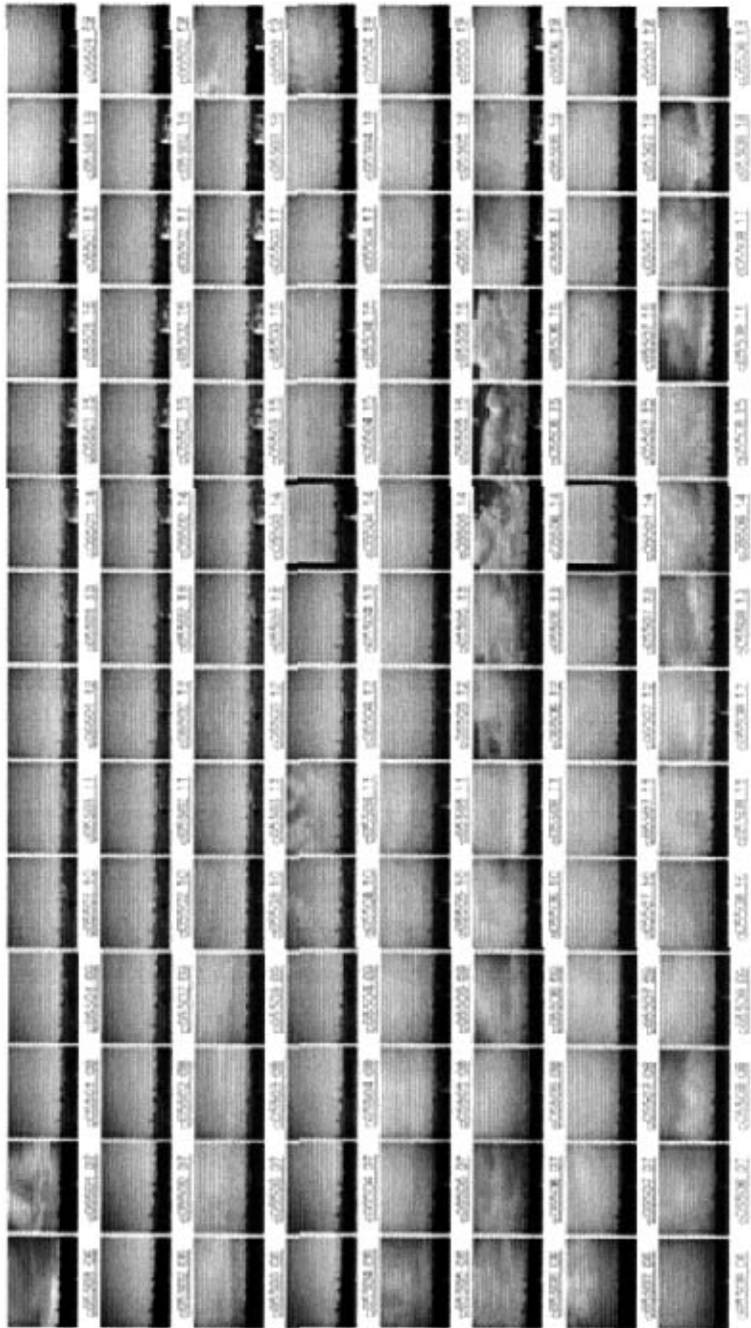


图 3. 4h C05501-8

Changchun : 9-16 May 2005 (6-19 CST)

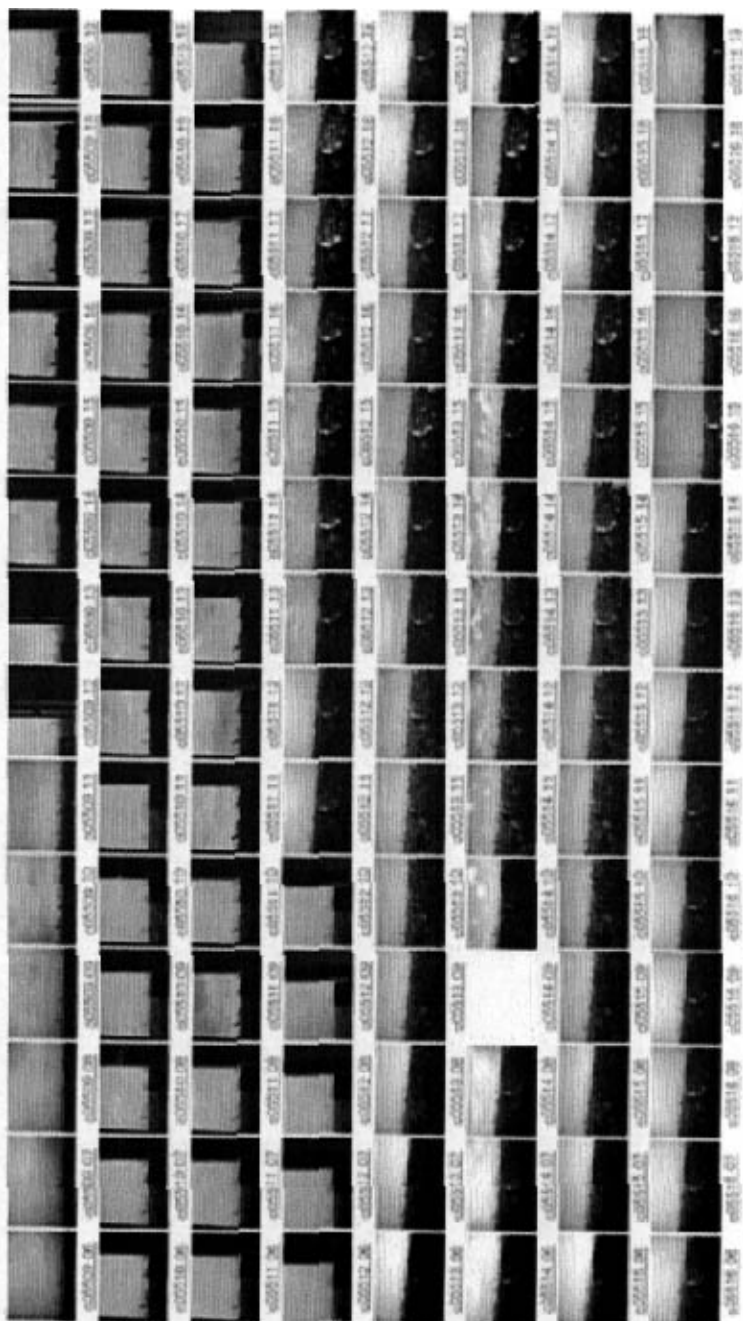


图 3.4i c05509-16

Changchun : 17-24 May 2005 (5-19 CST)

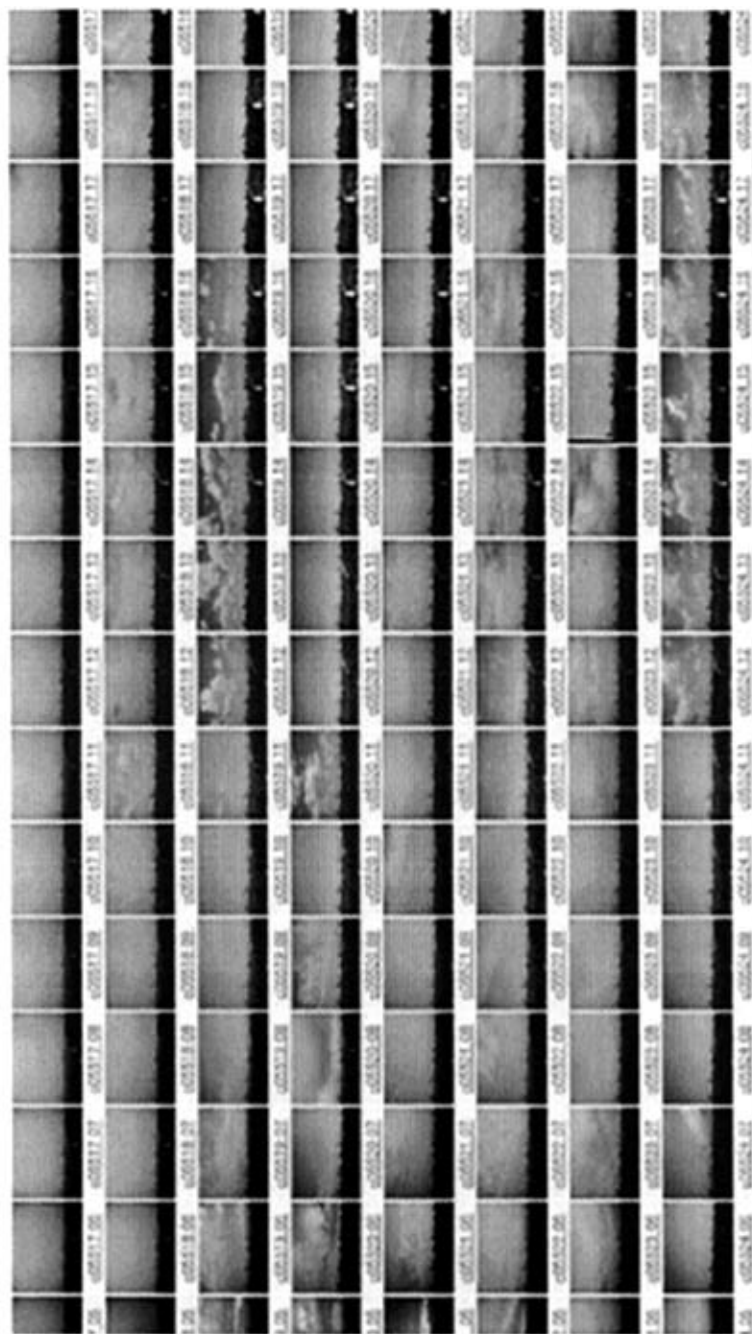


图 3.4j c05517-24

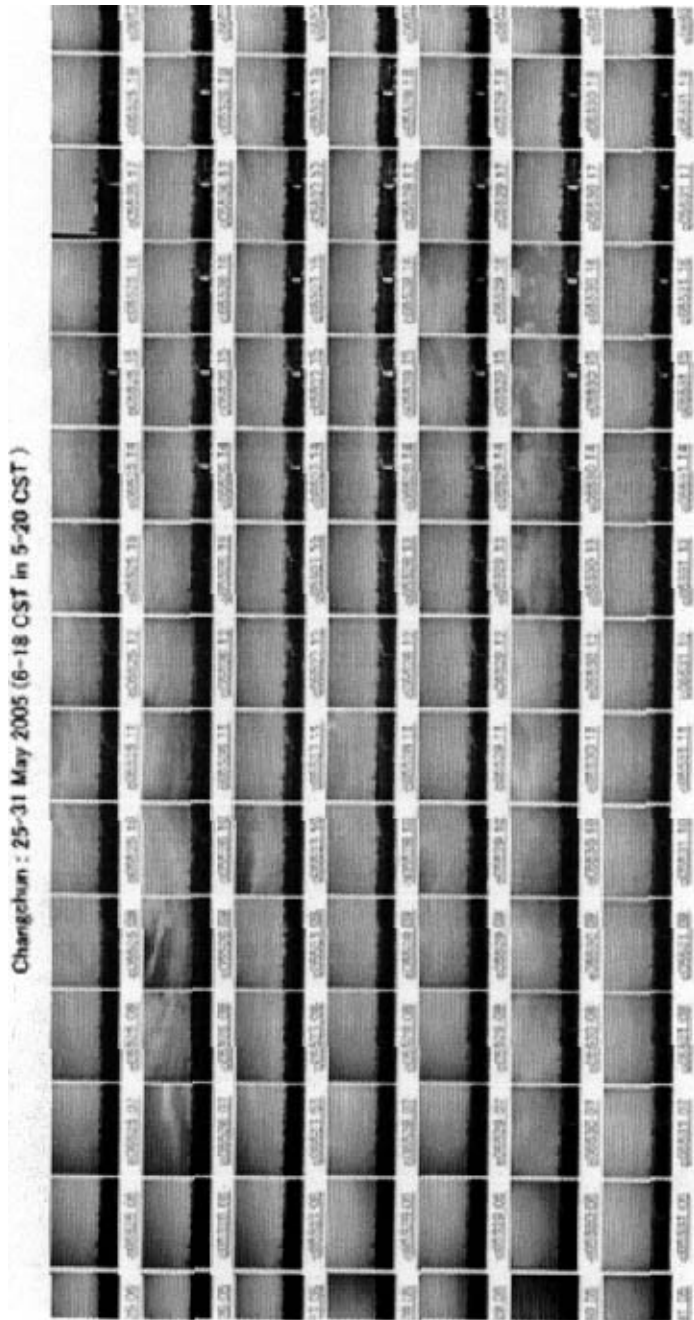
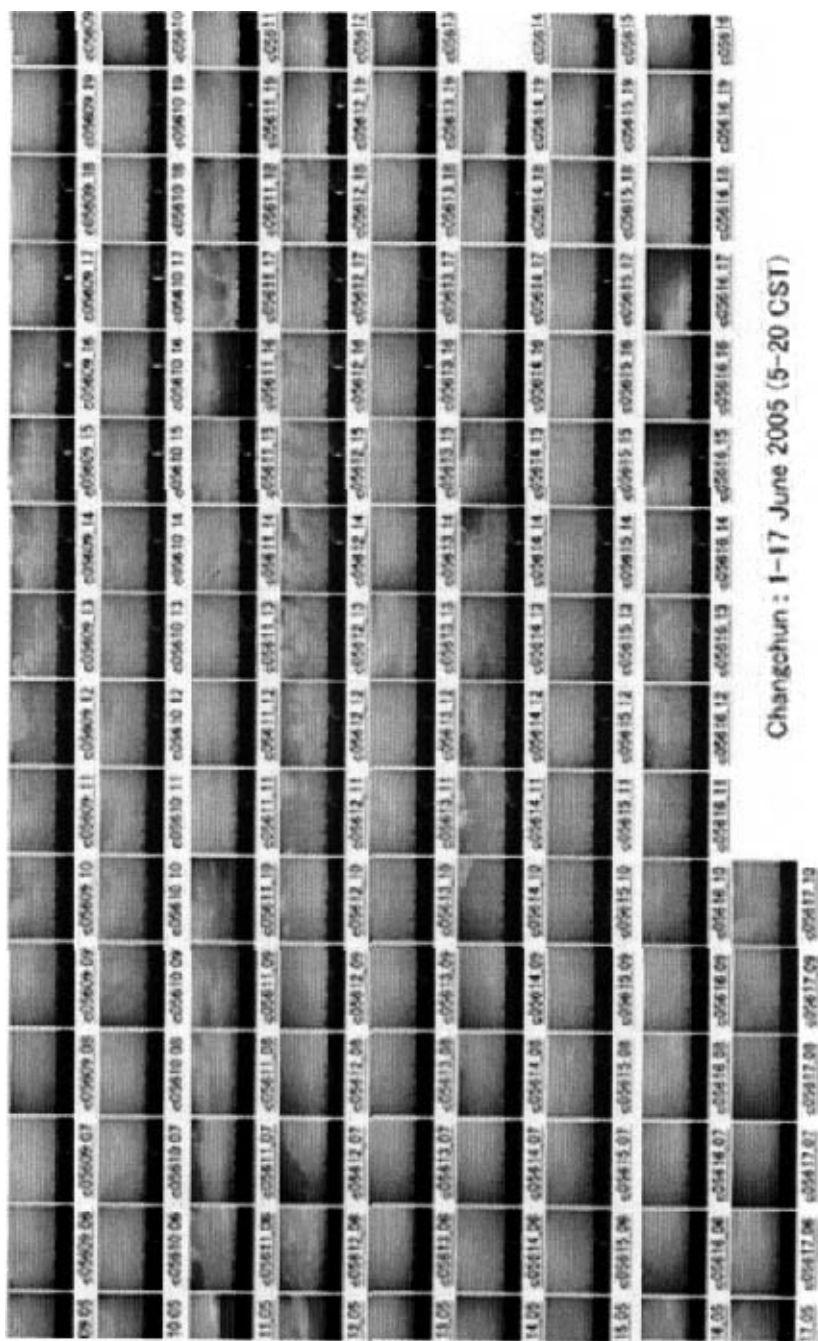


图 3. 4k c05525-31

Changchun : 1-17 June 2005 (5-20 CST)



图 3.41 C05601-8



Changchun : 1-17 June 2005 (5-20 CST)

图 3. 4m c05609-17

致 谢

首先感谢我的导师冯江教授对本文的悉心指导。导师寓教于行，诲人有方，对本篇论文的完成倾注了大量的心血。导师渊博的学识，严谨的治学态度以及宽厚的待人方式给我留下了深刻的印象，这将使我受益终生。

感谢王宁老师和与本项目合作的日本鹿儿岛大学教育学院的木下纪正教授，以及其他合作人员，十分感谢这些老师和同事们对论文提出的参考建议。

感谢环境科学与工程系的丁蕴铮老师和地理系的吴正方老师，为本论文提供的监测场所。

感谢环境科学系与工程系的全体老师。

感谢吉林省气象局的工作人员。

感谢长春市环保局监测站的工作人员。

再一次衷心感谢所有对本论文提供指导和帮助的老师 and 同学们，感谢大家在我硕士研究生学习和工作期间提供的无私帮助。

与论文相关的合作项目简要介绍

本项目由日本鹿儿岛大学木下纪正教授等人积极策划筹备，2003年3月，木下纪正教授访问了东北师范大学，在城市与环境科学学院王宁教授、张雪花同学、王璦同学以及作者本人的全程陪同下，在城市与环境科学学院作了关于亚洲沙尘暴的学术报告，受到学院广大师生的强烈关注。访问结束后，木下教授代表鹿儿岛大学教育学院与王宁教授代表东北师大环境科学系签署了一份在长春进行长期沙尘暴监测的协议。作者也有幸成为其中一员，并在合作计划中负责监测设备的架设，调试，维护和后期数据的整理工作，经过2003~2005年的工作积累，现在将工作结果部分整理成文，以便于其他学者参考研究。

本项目又于2004年与蒙古共和国乌兰巴托水利与气象学院合作，在扩大了合作队伍的同时也扩大了地面监测范围，对于整个亚洲中东部地区的沙尘暴发生发展及传输的研究具有重要意义。

项目的合作组成员如下：

1、Wang Ning and Zhang Gang

Environmental Science Department, Northeast Normal University, ChangChun, 130024, China

2、Jugder Dulam and Tsatsaral Batmunkh

Institute of Meteorology and Hydrology, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

3、Hiroyuki Kikukawa, Tetsuo Nagamatsu, Naoko Iino and Kisei Kinoshita

Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan