

青岛大气气溶胶的浓度分布和 干沉降的观测研究*

张仁健¹⁾ 浦一芬¹⁾ 徐永福¹⁾
盛立芳²⁾ 金井豊³⁾ 太田充恒³⁾

- 1) (中国科学院东亚区域气候-环境重点实验室, 中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和
大气化学国家重点实验室, 北京 100029)
2) (中国海洋大学, 青岛 266003)
3) (日本产业技术所地球科学研究部, 日本, 筑波)

摘 要 根据青岛沙尘天气历史资料和近年来的青岛地面气溶胶观测资料, 分析了青岛沙尘日数的长期变化趋势、季节变化特征以及气溶胶质量浓度、谱分布和干沉降的季节变化。分析结果表明, 1961~1988年青岛沙尘日数呈波动变化, 且幅度较大。1999年以来沙尘日数明显增加, 且以浮尘天气为主。青岛在1961~2001年扬沙日数年平均值为1.83天, 是北京同期的13%; 年浮尘日数为2.93天, 是北京同期的75%。青岛沙尘发生日数主要集中在冬春季, 春季最高, 冬季次高; 夏季没有沙尘天气, 秋季很低。青岛气溶胶质量浓度有明显的季节变化, 春季最高, 冬季次之, 秋季又次之, 夏季最低。大流量观测的总悬浮颗粒物(TSP)年平均浓度为 $177 \mu\text{g m}^{-3}$, 安德森分级采样器观测的气溶胶质量浓度为 $123 \mu\text{g m}^{-3}$, 两者的差别与不同的观测时间和观测仪器有关。在3月和4月, 粗细粒子的浓度相差很大, 粗粒子分别占总浓度的80%和62%。青岛气溶胶沉降通量在 $0.06 \sim 0.2 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 之间, 平均值为 $0.13 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 是北京沉降通量的30%。

关键词: 气溶胶; 物理特性; 干沉降

文章编号 1006-9895 (2004) 02-0390-06 **中图分类号** P402 **文献标识码** A

1 引言

大气气溶胶是大气的重要组分, 尽管其在大气中的浓度很低, 却能影响大气环境质量、云雨的形成和气候的能量平衡^[1]。因此, 有关气溶胶及其导致的辐射强迫一直是近些年环境和气候变化研究领域的热门课题^[2,3]。东亚地区气溶胶问题引起了世界范围内的广泛关注, 并开展了一系列国际合作研究。2001年春天在ACE-Asia (Aerosol Characterization Experiments in Asia)^[4]和TRACE-P (TRANsport and Chemical Evolution over the Pacific)^[5]观测期间, 研究人员对东亚地区气溶胶开展了大规模的地面观测^[6,7]和沙尘数值模拟研究^[8,9]。

2000年中国科学院和日本科技厅启动了中日沙尘暴合作研究。青岛是中日合作的

2004-02-20收到, 2004-04-02收到修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目 G1999043400、国家自然科学基金资助项目 40205017 和中国科学院“引进国外杰出人才”计划(全球环境变化)共同资助

主要地面观测站点之一。青岛市地处山东半岛南部，东、南濒临黄海，是中国东部大陆和海洋的交界处。青岛受来自洋面上的东南季风及海流、水团的影响，具有显著的海洋性气候特点，空气湿度大，雨量充沛。由于沿海地区气溶胶的来源、输送、转化和沉降有其自身的特点^[10,11]，因此在青岛开展气溶胶特性和干沉降的观测研究，可为研究沙尘的长距离输送与入海通量以及海洋物质循环提供重要的资料。

2 实验观测和资料

中日沙尘暴合作项目青岛气溶胶地面观测站位于中国海洋大学校园内气象系一小山（八观山）顶的 3 层小楼上（36°6′N，120°19′E），八观山靠近海边的汇泉弯，海拔高度约 65 m。

采用日本 SIBATA 公司生产的 HV-1000F 型大流量采样仪观测青岛总悬浮颗粒物（TSP）浓度，采样膜片为日本生产的 PF040 玻璃纤维滤膜（20 cm×25 cm），采样流量固定在 1000 L min⁻¹。气溶胶分粒径采样器采用日本 SIBATA 公司生产的 AN-200 型安德森低流量采样器，流量为 28.3 L min⁻¹。采样为 9 级，测量的粒径范围为 >11、11~7.0、7.0~4.7、4.7~3.3、3.3~2.1、2.1~1.1、1.1~0.65、0.65~0.43、<0.43 μm（backup filter）分别对应 0、1、2、3、4、5、6、7、8 级。其中 0~6 级和 7~8 级分别采用日本 Advantec Co., Ltd. 公司生产的 PF050 太氟龙膜片和 2500QAT-UP 石英膜片，膜片直径为 80 mm。采样时间一般为 7 天左右。

干沉降采集器为一不锈钢盒子，底部有效面积为 22.5 cm×17.5 cm，盒高 25 cm。采用日本生产的 PF040 玻璃纤维膜片（20 cm×25 cm），采样实际有效面积为 17.5 cm×22.5 cm。样品采集滤膜在采样前后放置在温度为 25 ℃、相对湿度为 37% 的恒温、恒湿箱内 24 h 以上，然后采用常熟天平厂生产的精度为万分之一（10⁻⁴ g）的 LAC214 型号天平精确称重。

1961~2001 年青岛沙尘日数（沙尘暴、扬沙和浮尘）历史资料来自国家气象局资料中心的台站观测资料。根据气象观测中的定义^[12]，沙尘天气分为 3 个等级：浮尘、扬沙和沙尘暴。浮尘是指尘土、细沙均匀地浮游于空中，使水平能见度小于 10 km。扬沙是指大风将地面尘沙吹起，空气相当混浊，水平能见度在 1 km 至 10 km 之间。沙尘暴是指由于强风将地面的大量沙土吹起，使空气相当混浊，水平能见度小于 1 km。

3 结果与讨论

3.1 青岛沙尘天气的长期变化和季节变化

图 1 给出了青岛 1961~2001 年扬沙和浮尘天数的年际变化。分析结果表明，在过去的 41 年中，只有 1979 年 4 月发生过一次沙尘暴天气，其余为扬沙和浮尘天气。在其 41 年中，青岛扬沙年平均日数为 1.83 天，是北京同期的 13%；青岛浮尘年平均日数为 2.93 天，是北京同期的 75%。1961~1988 年，青岛年沙尘日数呈波动变化，且幅度较大。1979 年扬沙日数出现最大值为 13 天；1971 年浮尘日数出现最大值为 14 天；1989~1998 年的 10 年中，青岛一共只有 2 天扬沙和 4 次浮尘天气。1999 年以来沙尘日

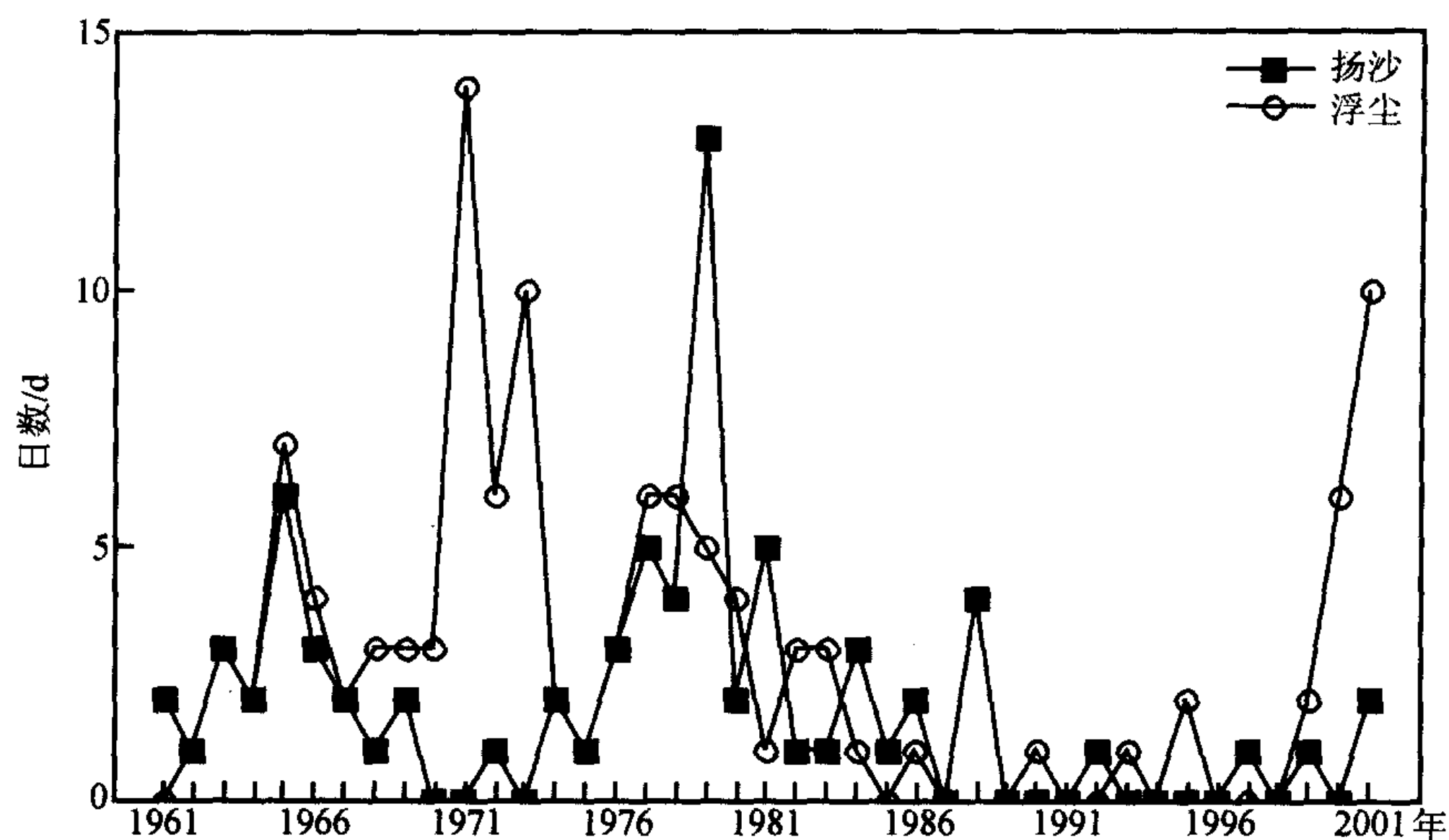


图1 青岛1961~2001年扬沙和浮尘天数的年际变化

数有明显增加趋势,且以浮尘天气为主。1999、2000和2001年青岛年扬沙日数分别为1天、0天和2天,而浮尘日数分别为2天、6天和10天。2000~2002年,中国北方地区频频发生沙尘暴天气^[13~16],青岛也受到明显影响。

图2给出了青岛站扬沙和浮尘月平均日数的季节变化。青岛扬沙日数主要集中在冬春季,春季(4月)最高,冬季次之;夏季没有沙尘天气,秋季沙尘日数也很少。沙尘天气发生的日数和气候周期性变化有内在的联系^[13, 17, 18]。青岛扬沙日数的季节变化和中国北方地区气候的季节变化是一致的。由于青岛处于亚洲沙尘的下游地区,离沙尘源区较远,发生浮尘天气日数高于扬沙日数。

3.2 青岛 TSP 浓度的季节变化

图3给出了2001年11月~2002年10月青岛TSP质量浓度的逐月变化。青岛气溶胶浓度春季、夏季、秋季和冬季的TSP质量浓度分别为300、110、113和185 $\mu\text{g m}^{-3}$,全年平均浓度177 $\mu\text{g m}^{-3}$ 。其中,2002年3月TSP浓度高达460 $\mu\text{g m}^{-3}$,2002年6月最低,只有61 $\mu\text{g m}^{-3}$ 。青岛TSP质量浓度有明显的季节变化,春季最高,冬季次之,秋季又次之,夏季最低。

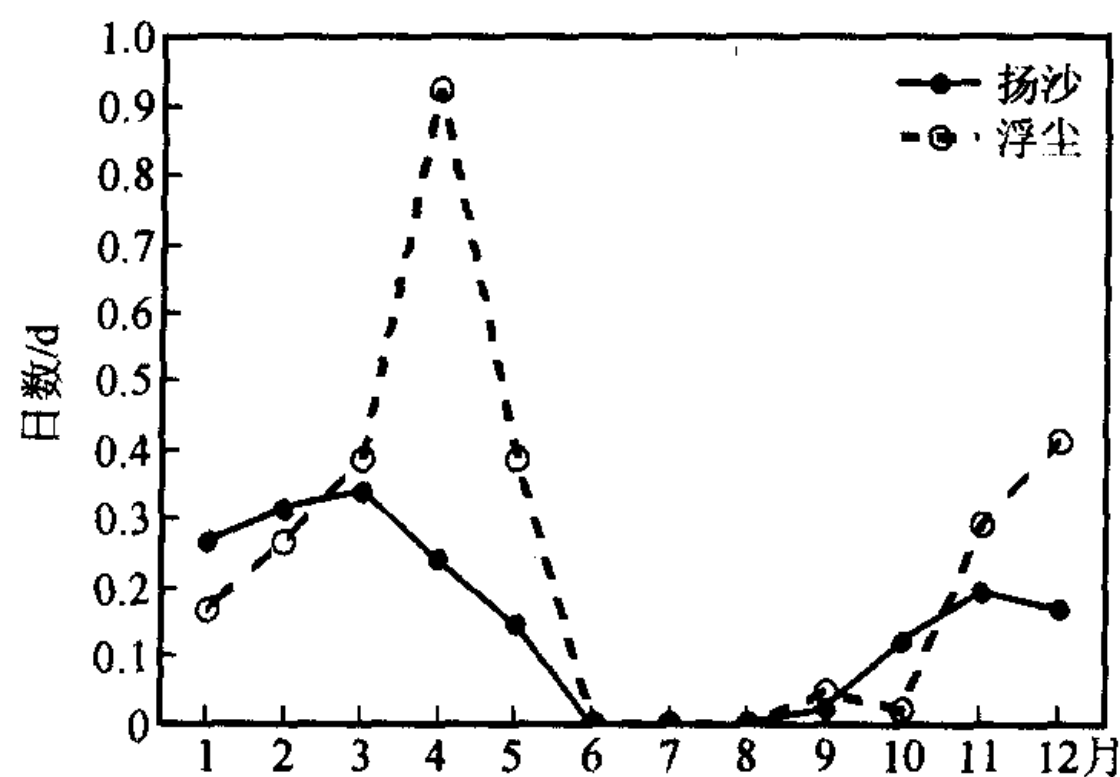


图2 青岛扬沙和浮尘日数的季节变化

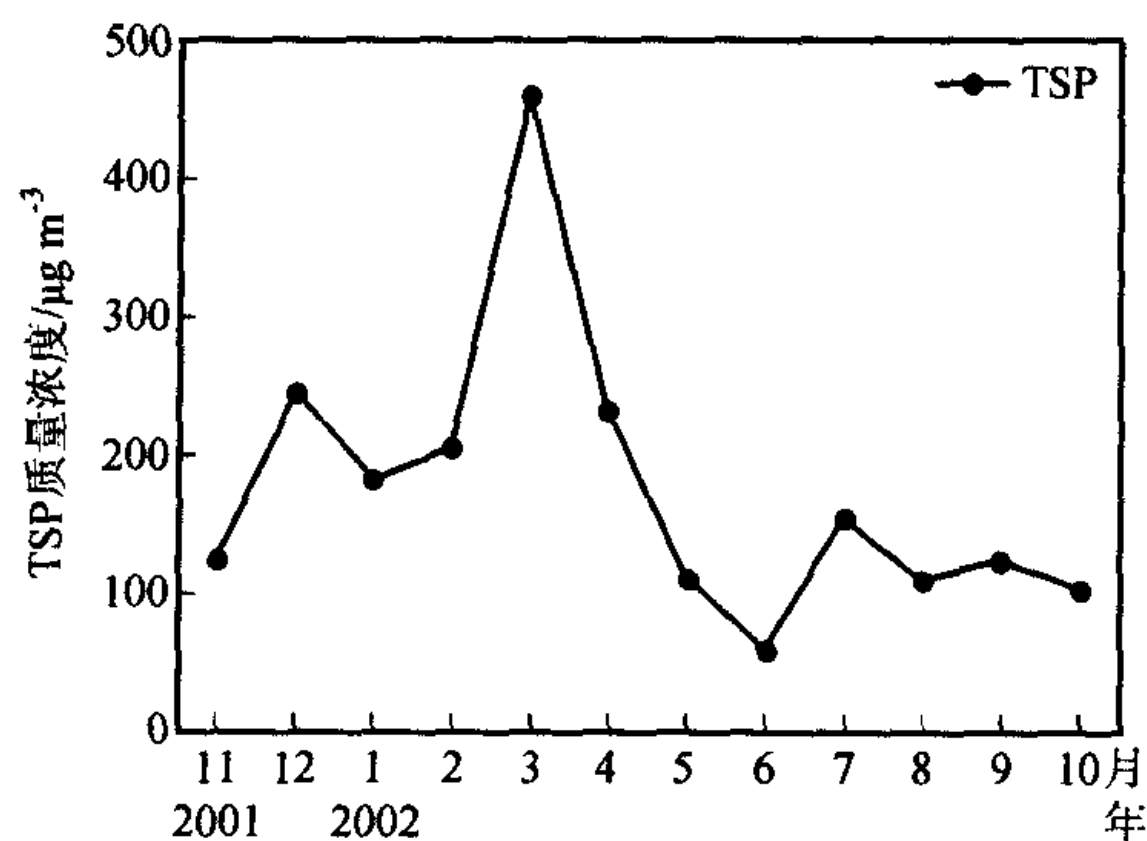


图3 青岛气溶胶TSP质量浓度的季节变化

3.3 气溶胶粗、细粒子浓度的季节变化

由于分级采样仪共有 9 级，全部给出 9 级的季节变化不易看清楚。为方便起见，这里分为粗、细粒子来讨论。一般把粒径大于 $2\ \mu\text{m}$ 的粒子称为粗粒子，把粒径小于 $2\ \mu\text{m}$ 的粒子称为细粒子。将 0~4 级粒径范围为 >11 、 $11\sim7.0$ 、 $7.0\sim4.7$ 、 $4.7\sim3.3$ 、 $3.3\sim2.1\ \mu\text{m}$ 的粒子浓度加起来，代表粗粒子浓度；把 5~8 级粒径为 $2.1\sim1.1$ 、 $1.1\sim0.65$ 、 $0.65\sim0.43$ 、 $<0.43\ \mu\text{m}$ 的粒子浓度加起来，代表细粒子浓度。从图 4 可以看出，粗粒子浓度在 3 月达到最大值，细粒子浓度在 12 月达到最大，粗细粒子的浓度均在 6 月最小。在 3 月和 4 月，粗细粒子的浓度相差很大，粗粒子分别占总浓度的 80% 和 62%。其他 10 个月粗细粒子比重比较接近，粗粒子和细粒子的平均浓度分别为 53 和 $52\ \mu\text{g m}^{-3}$ 。这表明春季沙尘天气对粗粒子的贡献更明显。粗、细粒子的年平均浓度分别为 71 和 $52\ \mu\text{g m}^{-3}$ 。安德森分级采样器的结果比大流量观测的 TSP 结果 ($177\ \mu\text{g m}^{-3}$) 要低 30%，但是二者的相关性很好，相关系数为 0.89。大流量和分级采样仪观测浓度的差别很可能和仪器的观测时间不一致有关。

3.4 青岛气溶胶干沉降通量的季节变化

图 5 给出了青岛干沉降通量的季节变化。降水对气溶胶有明显的清除作用^[19]。由于青岛多降水天气，没有能取得完整的地面干沉降资料。虽然没有 3、4 月份气溶胶沉降通量的观测，但从 5 月份气溶胶的沉降通量也可以看出，春季受沙尘天气的影响，青岛空气中气溶胶粒子含量明显增加，沉降通量增大。青岛气溶胶沉降通量在 $0.06\sim0.2\ \text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 之间，平均值为 $0.13\ \text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 。从青岛 2002 年 11 月份的观测资料中也能看出，这个季节青岛空气中的气溶胶浓度增大，气溶胶的沉降通量较平时增加。北京除 3 月和 4 月沉降通量较高，其他时间气溶胶的沉降通量在 $0.12\sim0.42\ \text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 之间，干沉降通量全年平均值为 $0.42\ \text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 。比较两地在 2002 年 10 月 1~31 日和 11 月 1 日~12 月 1 日同期观测数据，北京在这 2 个月的沉降通量分别是 $0.33\ \text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 和 $0.42\ \text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ，青岛在这 2 个月沉降通量分别是 $0.1\ \text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ 和 $0.16\ \text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ，北京的干沉降通量分别是青岛的 3.2 倍和 2.7 倍。这一方面与它们距离沙尘源地的远近有关，另一方面也与本地的气候条件有关。北京地处内陆，空气较干燥，大风天气里易吹起地面尘土；青岛地处沿海，空气湿润，降水较多，沙尘在输送到青岛的过程中已大都沉降到地面，同时，青岛局地浮尘较少，起风时不易扬起尘土。

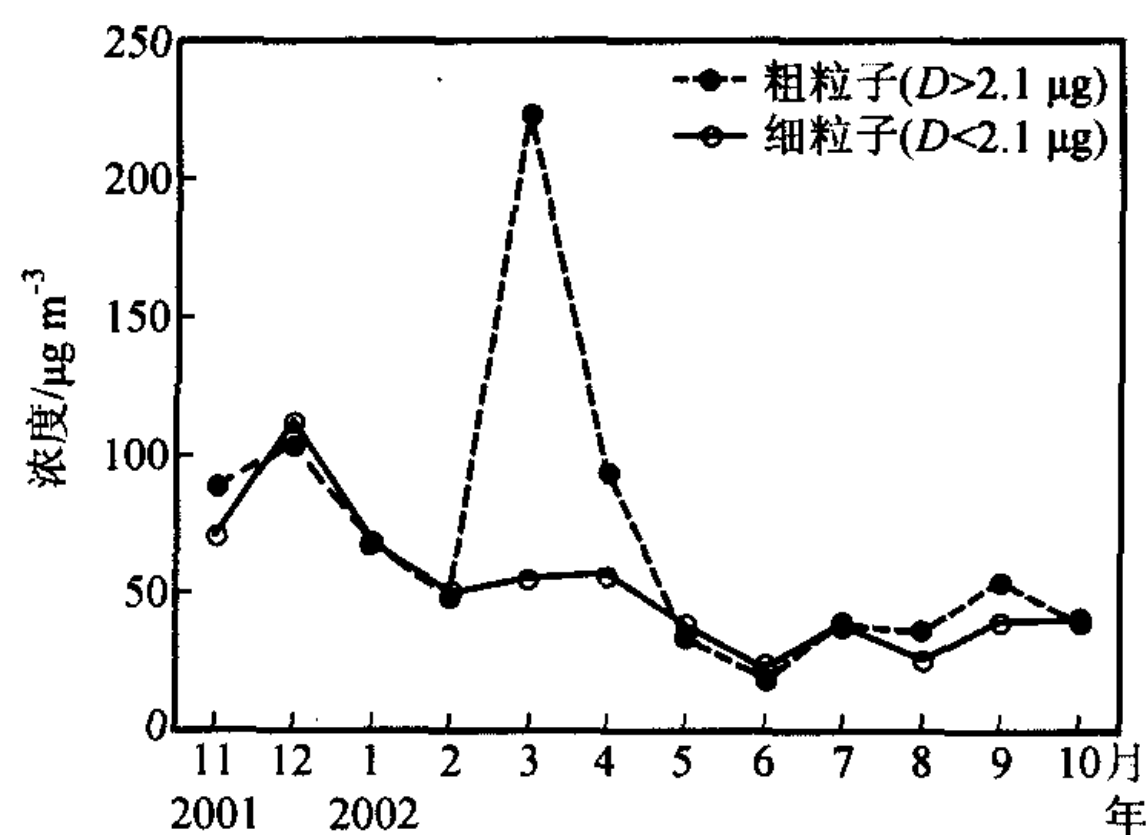


图 4 青岛气溶胶粗、细粒子浓度的季节变化

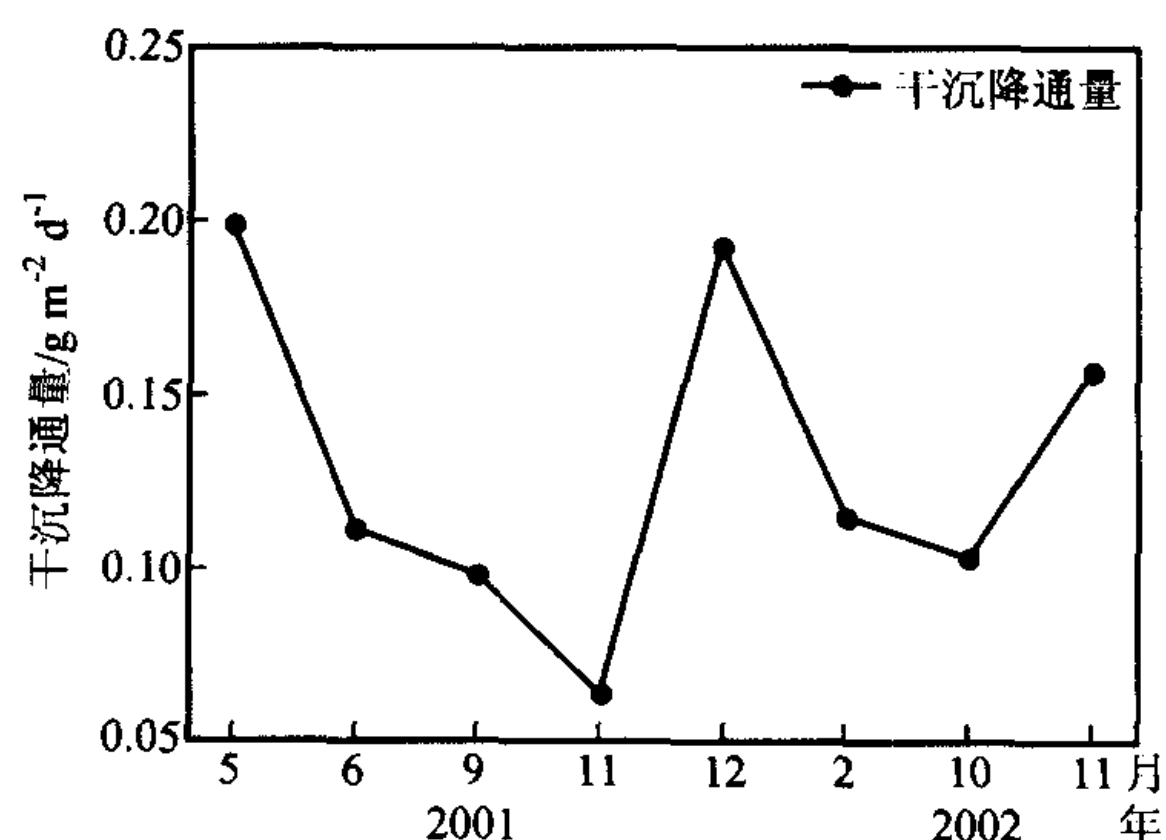


图 5 青岛干沉降通量的季节变化

4 结论

通过分析青岛沙尘天气历史资料和地面气溶胶观测资料, 得到以下结论:

(1) 1961~1988 年, 青岛沙尘日数呈波动变化, 且幅度较大; 而在 1989~1998 年的 10 年中, 青岛只发生 6 天沙尘天气; 1999 年以来沙尘日数明显增加。在过去 40 年中, 青岛扬沙年平均日数为 1.83 天, 是北京的 13%; 青岛浮尘年平均日数为 2.93 天, 是北京的 75%。

(2) 青岛沙尘日数主要集中在冬春季, 春季最高, 冬季次之; 夏季没有沙尘天气, 秋季沙尘天数也很少。

(3) 青岛气溶胶质量浓度有明显的季节变化, 春季最高, 冬秋季次之, 夏季最低。

(4) 大流量观测的 TSP 年平均浓度为 $177 \mu\text{g m}^{-3}$, 安德森分级采样器观测的气溶胶质量浓度为 $123 \mu\text{g m}^{-3}$, 分级采样器的结果比大流量观测的结果要小 30%。安德森分级采样器观测果表明, 粗细粒子的浓度在 3 月和 4 月相差很大, 其他月份粗细粒子比较接近。

(5) 青岛气溶胶沉降通量在 $0.06 \sim 0.2 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 之间, 平均值为 $0.13 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 是北京沉降通量 30%。

致 谢 感谢国家气象中心提供青岛站沙尘天气历史资料。

参 考 文 献

- 1 Sokolik, I. N., D. M. Winker, G. Bergametti et al., Introduction to special section: Outstanding problems in quantifying the radiative impacts of mineral dust, *J. Geophys. Res.*, 2001, **106** (D16), 18015~18027.
- 2 Tegen, I., and I. Fung, Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport, and optical thickness, *J. Geophys. Res.*, 1994, **99**, 22897~22914.
- 3 张仁健、王明星、浦一芬等, 2000 年北京春季特大沙尘暴物理化学特性的分析, 气候与环境研究, 2000, **5** (3), 259~266.
- 4 Jacob, D. J., D. D. Davis, S. C. Liu et al., Transport and chemical evolution over the Pacific (TRACE-P): A NASA/GTE aircraft mission, <http://www-gte.larc.nasa.gov/trace/tracep.html/>
- 5 ACE-Asia, Asia Pacific Regional Aerosol Characterization Experiment Project Prospectus, <http://saga.pmel.noaa.gov/aceasia/AAIntro.html/>.
- 6 张仁健、徐永福、韩志伟, ACE-Asia 期间北京 PM_{2.5} 的化学特征及其来源分析, 科学通报, 2003, **48** (7), 730~733.
- 7 Zhang Xiaoye, Gong Sunling, Shen Zhenxing et al., Characterization of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia. 1: Network observations, *J. Geophys. Res.*, 2003, **108** (D 9), 4261~4273.
- 8 赵琳娜、孙建华、赵思雄, 一次引发华北和北京沙尘(暴)天气起沙机制的数值模拟研究, 气候与环境研究, 2002, **7** (3), 279~294.
- 9 孙建华、赵琳娜、赵思雄, 一个适用于我国北方的沙尘暴天气数值预测系统及其应用试验, 气候与环境研究, 2003, **8** (2), 125~142.
- 10 王珉、胡敏, 青岛沿海大气气溶胶中无机组分在粗、细粒子上的分布, 环境科学, 2001, **22** (5), 35~36.

- 11 王珉、胡敏, 青岛沿海地区大气气溶胶浓度与主要无机化学组成, 环境科学, 2001, **22** (1), 6~9.
- 12 方宗义、朱福康、江吉喜等主编, 中国沙尘暴研究, 北京: 气象出版社, 1997.
- 13 张仁健、韩志伟、王明星、张小曳, 中国沙尘暴新特征及成因分析, 第四纪研究, 2002, **22** (4), 374~380.
- 14 叶笃正、丑纪范、刘纪远等, 关于中国华北地区沙尘天气的成因与治理对策, 地理学报, 2000, **55** (5), 513~521.
- 15 周自江, 近 45 年中国扬沙和沙尘暴天气, 第四纪研究, 2001, **21** (1), 9~17.
- 16 王伟、岳欣、刘红杰等, 北京市春季沙尘暴天气大气气溶胶污染特征研究, 环境科学学报, 2002, **22** (4), 494~498.
- 17 王会军、郎咸梅、周广庆、康杜鹃, 我国今冬和明春气候异常与沙尘气候形势的模式预测初步报告, 大气科学, 2003, **27** (1), 136~140.
- 18 郎咸梅、王会军、周广庆, 我国 2003 年冬季气候异常与 2004 年春季沙尘气候形势的实时预测初步报告, 气候与环境研究, 2003, **8** (4), 381~386.
- 19 姚克亚、郭俊、傅云飞、刘勇, 气溶胶粒子的降雨清除, 气候与环境研究, 1999, **4** (3), 297~302.

Observation on Mass Concentration and Dry Deposition of Atmospheric Aerosols in Qingdao

Zhang Renjian¹⁾, Pu Yifen¹⁾, Xu Yongfu¹⁾, Sheng Lifang²⁾,
Yutaka Kanai³⁾, and Atsuyuki Ohta³⁾

- 1) (*Key Laboratory of Climate-Environment for East Asia, START Regional Center for Temperate East Asia, State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)
- 2) (*China Ocean University, Qingdao 266003*)
- 3) (*Geological Survey of Japan, National Institute, Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba, Japan*)

Abstract Using history data of dust weather recorded from 1961~2001 and ground aerosol observation data, the trend of blowing-sand weather and its seasonal variation in the last 50 years in Qingdao is studied. The seasonal variation of total suspended particles (TSP), size distribution and dry deposition in Qingdao are also studied. It shows that the annual dust day varied much during 1961~1988. During 1989~1998, there were only 6 dust weather days. From 1999, dust days increased obviously. The average of annual dust days in the last 40 years is 1.83 day, which is 11% of Beijing. The order of dust days and mass concentration in Qingdao are listed from high to low: spring, winter, autumn, and summer. The averaged mass concentration by High-Volume instrument and Anderson cascade are $177 \mu\text{g m}^{-3}$ and $123 \mu\text{g m}^{-3}$ respectively, and the difference has relation to different sampling time and instrument. In March and April, mass concentration of coarse particles account for 80% and 62% respectively. The dry deposition flux in Qingdao is between $0.06 \sim 0.2 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ with averaged value of $0.13 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, which is 30% of Beijing.

Key words: aerosol; physical characteristics; dry deposition