

2000~2002年青岛地区沙尘天气分析*

张凯¹⁾ 高会旺¹⁾ 张仁健²⁾ 盛立芳³⁾ 毛震⁴⁾ 朱燕君⁵⁾

1) (中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266003)

2) (中国科学院大气物理研究所大气边界层和大气化学国家重点实验室, 北京 100029)

3) (中国海洋大学物理海洋研究所, 青岛 266003)

4) (青岛市气象局, 青岛 266003)

5) (国家气象局, 北京 100081)

摘要 利用气象台沙尘天气常规观测资料和 micaps 天气图资料, 借助美国国家海洋和大气局 (NOAA) 后向轨迹模式 (HYSPLIT), 分析了影响青岛市的沙尘来源、移动路径, 以及沙尘粒子的干沉降通量。结果表明: 青岛市沙尘天气主要发生在春季, 一天中出现沙尘频率最高时刻是 14 时。影响青岛的沙尘暴天气主要爆发于蒙古国, 在境内的浑善达克沙地、科尔沁沙地以及蒙晋冀长城沿线得到加强后到达青岛。影响青岛的沙尘天气移动路径主要是偏西和偏北两条路径, 偏西路径是爆发于蒙古国的沙尘暴由内蒙古中部入侵, 沿着山西北部—河北—山东—青岛的路径到达青岛; 偏北路径是爆发于蒙古国的沙尘暴由内蒙古东部入侵, 经内蒙古东部的浑善达克沙地或科尔沁沙地至河北北部, 再沿京津地区—山东—青岛的路径到达青岛。每年由青岛入黄海的沙尘粒子干沉降通量为 $51.3 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, 春季的干沉降通量为 $0.20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, 整个黄海每天的总干沉降量为 $7.58 \times 10^5 \text{ g}$ 。

关键词: 沙尘天气; 移动路径; 沙尘源地; 干沉降通量

文章编号 1006-9895 (2004) 03-0510-10 **中图分类号** P445+.4 **文献标识码** A

1 引言

沙尘天气是自古以来一直存在的一种天气现象^[1,2], 20 世纪 50 年代以来, 由于大气环流等气候方面的变化, 我国沙尘暴天气总体上呈波动减少的趋势^[3], 60~70 年代略有回升, 80~90 年代中期明显下降, 90 年代末在减少中略有回升, 21 世纪初又出现增加趋势^[4,5], 其原因与生态环境恶化和气象条件变化有关^[6~8]。冬春季发生于我国西北沙漠地区的强沙尘暴天气会随高空西北气流影响到我国东部沿海地区和海滨, 不仅会影响这些地区的大气环境质量及正常的交通和生产活动, 而且由于沙尘粒子在向海洋沉降的同时, 携带了大量微量元素, 因此也会影响海洋中浮游植物营养盐的供给, 对海洋中的初级生产力产生促进作用^[9~12]。地处山东半岛的青岛市从 2000 年开始多次受到沙尘天气的侵袭, 为这座海滨城市蒙上了一层“面纱”。本文利用青岛市气象台沙尘天气常规观测资料, 中国气象局 micaps 资料, 北京和青岛的沙尘干沉降资料, 并借助于美国国家海洋和大气局 (NOAA) 后向轨迹模式 (HYSPLIT), 分析了影响青岛

2003-11-05 收到, 2004-07-20 收到再改稿

* 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金, 科技部“亚洲棕色云综合影响及我国应对战略研究”项目和国家自然科学基金资助项目 40205017 资助

市的沙尘来源、移动路径以及沙尘粒子的沉降通量, 从而进一步加深沙尘天气及沙尘粒子对沿海及海洋环境影响的认识。

2 资料来源

本文数据资料来源于青岛市气象台逐日观测资料。青岛市气象台位于青岛市内伏龙山山顶, 地理位置是 (36°04'N, 120°20'E)。天气图资料为每隔 3 h 一次的地面天气图, 资料来源于中国气象局。

1999 年以前青岛市气象台几乎没有沙尘资料的记录。1999 年全年青岛市共发生沙尘天气 3 次, 以后沙尘天气逐年增多。2000 年青岛共出现 6 天浮尘天气 (表 1), 时间集中于 3 月下旬到 4 月底。2001 年出现 10 天沙尘天气, 其中 8 天为浮尘天气, 2 天为扬沙天气, 出现时间较长, 从 3 月初到 5 月底。2002 年出现 14 天沙尘天气, 其中 13 天为浮尘天气, 1 天为扬沙天气, 时间从 2 月上旬到 4 月中旬。可见这 3 年沙尘天气出现的天数有逐渐增多的趋势。

表 1 2000~2002 年青岛沙尘天气状况

时间	平均气温/	平均气压/	最大风速/		天气状况	
	°C	hPa	平均风向	m s ⁻¹		
2000-03-23	8.4	1010.6	NNW	10.4	NW	轻雾, 扬沙
2000-04-07	10.3	1017.3	NW	7.1	NNW	烟幕, 扬沙
2000-04-08	8.8	1012.4	SE	8.5	SSE	轻雾, 扬沙
2000-04-10	7.6	1012.1	NW	10.5	N	大风, 阵雨, 扬沙
2000-04-17	13.9	1002.5	SW	6.4	SSW	烟幕, 扬沙
2000-04-26	14.1	998.4	NW	12.1	NNW	轻雾, 扬沙, 大风
2001-03-01	6.2	1009.2	NW	9.1	NNW	轻雾, 浮尘, 雨
2001-03-06	5.2	1008.1	NW	11.5	NNW	露, 轻雾, 烟幕, 浮尘, 大风
2001-03-14	5.8	1006.4	NW	15.8	NNW	露, 轻雾, 大风, 扬沙
2001-03-21	11.2	995.8	S	11	ESE	轻雾, 浮尘, 大风
2001-03-22	9.9	1004.2	NW	16.5	NNW	扬沙, 大风
2001-04-10	9.6	1013	NW	13.3	NNW	轻雾, 大风, 扬沙, 雨
2001-04-11	11	1008.3	NW	8.8	NW	扬沙
2001-04-15	15	1006.1	SW	10	SSW	轻雾, 扬沙
2001-04-24	13.4	1010.8	NW	6.4	NNW	烟幕, 扬沙
2001-05-28	22.9	997.7	SW	8.5	SSW	扬沙, 阵雨
2002-02-08	3.6	1013.4	N	12	N	扬沙, 大风
2002-03-16	12.1	1006.3	SW	7.9	SSW	浮尘
2002-03-17	11.2	1009.8	NW	10.3	N	浮尘, 烟幕
2002-03-19	10.4	1006.8	SE	10.2	ESE	轻雾, 浮尘
2002-03-20	10.7	1002.4	S	12.3	NNW	露, 轻雾, 浮尘, 大风, 阵雨, 雷暴
2002-03-21	9.4	1002.5	W	6.1	NNW	轻雾, 阵雨, 浮尘
2002-03-22	8.9	1004.5	NW	9.9	NW	浮尘, 雨
2002-03-23	7.7	1008.7	NW	5.5	NW	浮尘
2002-04-03	12.1	1006.6	NW	6.3	SE	轻雾, 浮尘, 露
2002-04-07	11	1005.6	NW	12.8	NW	轻雾, 浮尘, 露, 大风
2002-04-08	9.6	1006.6	NW	9.1	NW	浮尘
2002-04-09	9.6	1009.8	NW	7.8	NW	浮尘
2002-04-10	10.8	1011.4	S	5.2	S	露, 浮尘
2002-04-16	14.5	1001.3	NW	10.2	NW	轻雾, 雨, 浮尘

虽然每次沙尘天气的发生都具有随机性和不确定性,但均与沙尘源地和天气条件,如大尺度天气形势、中尺度环流系统、当地的天气状况有关。通过对近3年沙尘天气的统计分析发现,影响青岛地区的沙尘源地和移动路径还是有一定规律性的。

3 时间分布特征

青岛的沙尘天气基本都出现在每年的3~5月份(图1),这与多种因素有关。首先,我国西北沙漠地区3~5月份是沙尘暴天气多发季节,这个季节由于冷暖气流交替加剧,易出现大风天气,同时我国北部大部分地区盛行西北风,在大尺度气流场的影响下,西北沙漠地区大量的沙尘气溶胶会随沙尘暴天气进入到大气中^[13],并随高空气流输送到东部地区及沿海城市;其次,最近3年青岛的春季,尤其是3月份,气温偏高,降水偏少,出现持续干旱的现象,为局地沙尘天气的发生提供了可能;再次,每年3月以后,青岛天气开始转暖,许多建筑工程开始动工,城市里的松动土壤较多,加上春季出现大风天气的次数频繁,在有大风的日子,本地的一些沙尘会被吹到高空,形成浮尘或扬沙天气。

图2中可以看出,一天中不同时刻沙尘天气出现的频率不同,存在一个峰值和一个低谷。高值区集中于中午11时~傍晚17时(北京时,下同),其中峰值出现在14时,出现概率为27.78%(概率值是根据各时刻出现沙尘次数除以所有时刻总沙尘次数得出),低值区集中于晚20时~凌晨05时,最低值出现在05时。

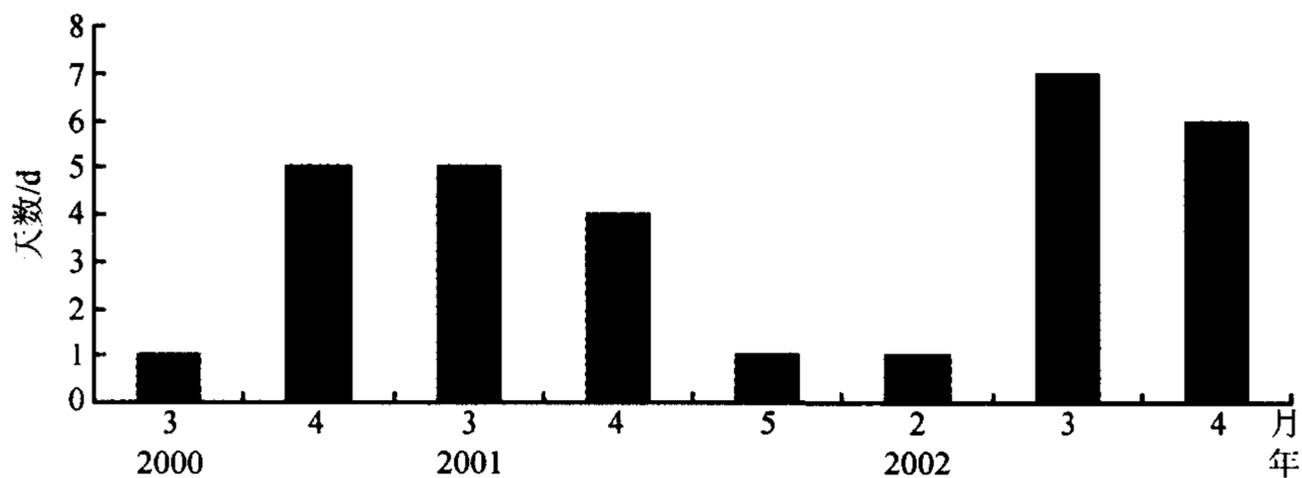


图1 青岛沙尘天气的月变化

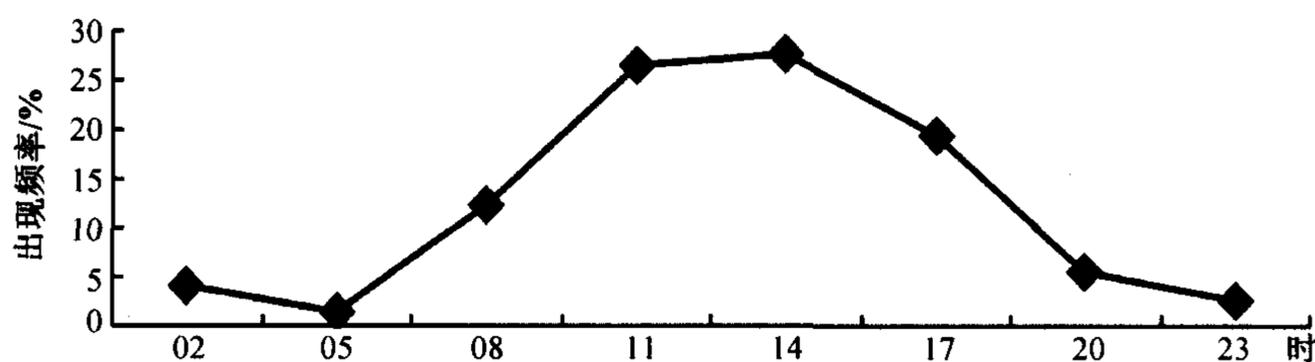


图2 青岛沙尘出现的时间变化

4 天气形势分析

青岛的沙尘天气主要可分为两类，一类是本地（局地）沙尘，一类是从外地飘来的高空浮尘。2000~2002 年青岛市共出现 30 天沙尘天气，其中 2000 年为 6 天，2001 年为 10 天，2002 年为 14 天。由表 1~2 可以看出，局地沙尘形成沙尘天气时，平均风向大多为南风或西南风，由外地的高空浮尘形成沙尘天气时，平均风向多为北风或西北风。在所有沙尘天气的日数中，本地沙尘有 7 天，占 23.3%，外地的高空浮尘有 23 天，占 76.7%。可见青岛的沙尘天气多是由西北沙漠地区扬起的高空浮尘飘移而来的，与我国西北沙尘暴天气有密切关系。

青岛因外地高空浮尘而出现沙尘天气典型的高空环流形势是在我国东北有一深厚的低压中心，我国大部分地区处于高空偏西气流影响下。以 2002 年 4 月 8 日 08 时 500 hPa 天气图为例（图 3），从东北低压中心向南伸出的低压槽经过山东半岛，青岛处于低压中心南部偏西气流作用下，沙尘粒子沿气流输送而在青岛形成沙尘天气。因局地沙尘天气的高空环流形势无显著特征，本文不做具体分析。

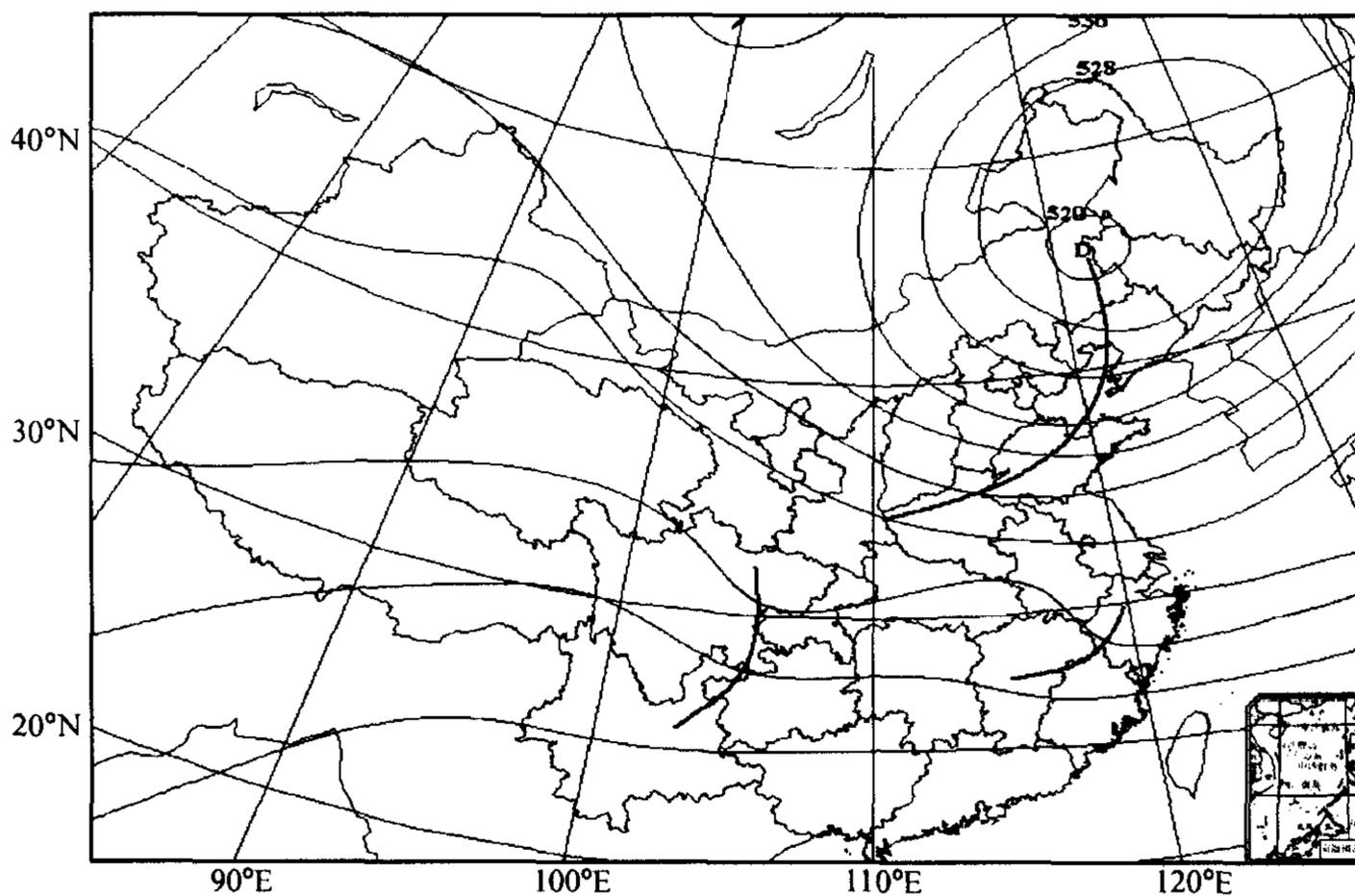


图 3 2002 年 4 月 8 日 08 时 500 hPa 高空形势

5 移动路径

沙尘天气的移动路径与发生源地的位置、风力风向、中尺度环流系统有关。判断沙尘天气移动路径时，不仅要分析前一时刻地面天气图上沙尘天气出现的位置，而且应根据风向判断最可能的来源途径。在分析影响青岛地区的沙尘天气移动路径时，本文采用的是后向轨迹法，即在青岛出现沙尘天气时，根据前一时刻（3 h 之前）的地面天气图，寻找出现沙尘天气的地区，依此类推，直到找到本次沙尘过程最初的发源地，

表2 影响青岛的沙尘粒子来源及移动路径

时间	爆发地	沙尘粒子来源	移动路径
2000-03-23T11~17	蒙古国中部	浑善达克沙地	锡林郭勒盟西部入侵→浑善达克沙地→河北北部→北京→山东→青岛
2000-04-07T08~14 2000-04-07T20~08T02	蒙古国	浑善达克沙地	二连浩特入侵→浑善达克沙地→河北北部→京津地区→山东→青岛
2000-04-10T11	蒙古国	浑善达克沙地	二连浩特入侵→浑善达克沙地西部→河北→山东→青岛
2000-04-17T14		本地沙尘	
2000-04-26T08~14	内蒙古东部	科尔沁沙地	科尔沁沙地西部→京津地区→山东半岛→青岛
2001-03-01T14~17		本地沙尘	
2001-03-06T11~17	蒙古国	浑善达克沙地	锡林郭勒盟中部入侵→浑善达克沙地西部→河北北部→京津地区→山东半岛→青岛
2001-03-14T14	蒙古国	浑善达克沙地	锡林郭勒盟西部入侵→浑善达克沙地→河北东部→山东半岛→青岛
2001-03-21T11~17 2001-03-22T02	蒙古国	浑善达克沙地	锡林郭勒盟西部入侵→浑善达克沙地→河北东部→山东半岛→青岛
2001-04-10T14 2001-04-11T11~14	蒙古国	蒙晋冀长城沿线 农牧交错带	包头入侵→山西→河北→山东→青岛
2001-04-15T14~17		本地沙尘	
2001-04-24T11~17	蒙古国	科尔沁沙地	锡林郭勒盟东部入侵→科尔沁沙地西部→秦皇岛→山东半岛→青岛
2001-05-28T11~14		本地沙尘	
2002-02-08T11		本地沙尘	
2002-03-16T17~20 2002-03-17T11~17	蒙古国	蒙晋冀长城沿线 农牧交错带	二连浩特入侵→河北中部→沧州、东营→山东→青岛
2002-03-19T17 2002-03-20T11~14 2002-03-21T08~20 2002-03-22T08~11 2002-03-23T 08	蒙古国	内蒙西部沙漠、 蒙晋冀长城沿线 农牧交错带	内蒙中部的巴彦淖尔盟入侵→山西北部→河北中部→山东→青岛
2002-04-03T08~17	内蒙古东部	科尔沁沙地	内蒙东部沙地→吉林西部→辽东东部→青岛
2002-04-07T08~08T17 2002-04-09T08~11	蒙古国	浑善达克沙地	锡林郭勒盟西部入侵→浑善达克沙地西部→京津地区→山东→青岛
2002-04-10T11		本地沙尘	
2002-04-16T14~17	蒙古国	内蒙西部沙漠	巴彦淖尔盟入侵→山西北部→河北中部→山东→青岛

并结合美国国家海洋和大气局 (NOAA) 的后向轨迹模式 (HYSPLIT) 综合分析得出沙尘粒子的移动路径。通过对近 3 年发生于青岛市的沙尘天气过程的分析, 发现对于青岛来说, 影响青岛地区沙尘天气过程的移动路径大体可以分为偏西路径和偏北路径 (图 4)。

(1) 偏西路径: 爆发于蒙古国的沙尘暴由内蒙古中部的巴彦淖尔盟或包头入侵, 沿着山西北部—河北—山东—青岛的路径到达青岛;

(2) 偏北路径: 爆发于蒙古国的沙尘暴由内蒙古东部的锡林郭勒盟入侵, 经内蒙古东部的浑善达克沙地或科尔沁沙地至河北北部, 再沿京津地区—山东—青岛的路径到达青岛。

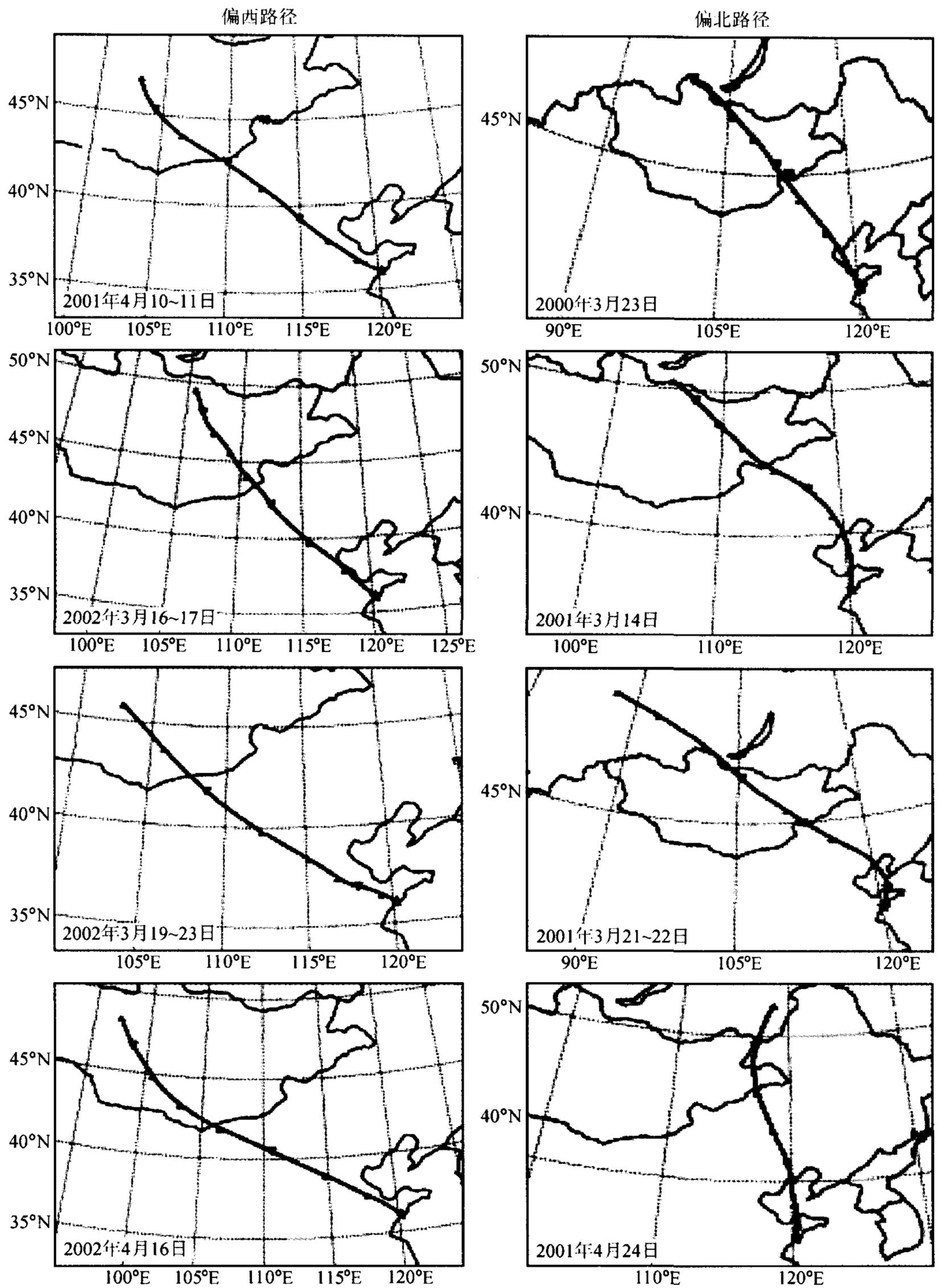


图4 影响青岛地区的沙尘天气移动路径
左图为偏西路径，右图为偏北路径

影响青岛的沙尘天气过程中, 偏西路径与偏北路径之比大约为 1:2。图 4 给出了具有代表性的 8 次沙尘天气的移动路径, 发生于 2002 年的“3·20”特强沙尘暴是经偏西路径而影响青岛的。

6 沙尘来源分析

沙尘天气源地是指一次沙尘暴天气过程, 最早出现沙尘暴的地区中, 处于最上风方向的地区。本文中, 沙尘粒子来源是指能影响到青岛的沙尘粒子爆发地。

根据地面天气图, 可将影响青岛地区的沙尘天气以沙尘来源分为境外源型和国内源型(图 5)。境外源型多爆发于蒙古国境内, 它的主要入侵地区有两个: 一是内蒙古中部的巴彦淖尔盟和包头, 二是内蒙古东部的锡林郭勒盟。它们分别沿偏西和偏北路径移动而影响青岛。国内源型沙尘粒子来源多集中在两个地方, 一是内蒙古中西部沙漠地区和蒙晋冀长城沿线农牧交错带, 二是内蒙古中东部的锡林郭勒盟、浑善达克沙地、科尔沁沙地。它们也是分别沿偏西和偏北路径向东南移动影响青岛。通常情况下, 国内源区是境外源区的加强, 增大了沙尘暴的强度、规模和影响范围。

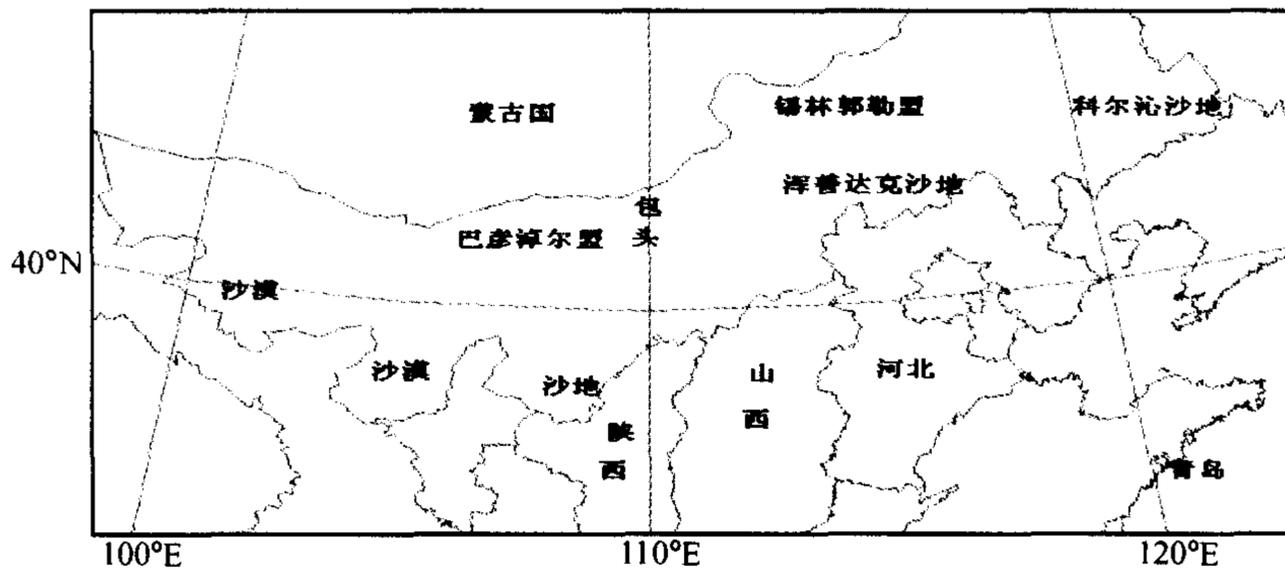


图 5 影响青岛地区的沙尘气溶胶源地

7 沙尘入海量分析

黄海是半封闭海, 位于我国大陆和朝鲜半岛之间, 其面积为 $3.8 \times 10^5 \text{ km}^2$, 是受沙尘影响最严重的海区之一。刘素美等^[14]对青岛地区大气沉降物对海洋的影响进行了研究, Zhang 等^[15,16]发现对黄海表层的真光层而言, 大气沉降可能成为营养元素的主要来源。因此, 分析沙尘入海量对于海洋环境的研究具有一定的科学意义。

本文沙尘气溶胶入海(黄海)通量是以青岛干沉降资料的数据为代表来估算的。为了比较气溶胶在内陆和沿海城市的差别, 本文以北京、青岛为代表城市, 分别分析气溶胶的干沉降通量。青岛的采样点设在中国海洋大学校内的八关山上。八关山濒临汇泉湾, 海拔高度 65 m。北京采样点设在中国科学院大气物理研究所大气物理与大气边界层实验室院内, 位于北三环和北四环路之间, 其北侧 150 m 处为东西走向的北土城西路。仪器架设在院内的二层楼楼顶 ($39^\circ 58' \text{N}$, $116^\circ 22' \text{E}$)。观测方法是在空旷地方

放置一带盖铁箱, 铁箱的大小刚好能放进面积为 $25\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 的滤膜 (有效面积为 $22.5\text{ cm} \times 17.5\text{ cm}$)。试验开始前, 先把滤膜烘干、称重。在晴朗的天气里, 打开箱盖, 放入已称重的滤膜, 使其充分暴露在空气中。连续观测 20 天后, 取出滤膜并烘干、称重, 同时放入新的滤膜, 进行下一次观测试验。这是国际上统一的干沉降观测方法。北京干沉降资料的获取时间为 2002 年 3 月 27 日到 2003 年 2 月 28 日, 青岛的干沉降资料的获取时间为 2001 年 5 月 1 日到 2002 年 12 月 1 日。由于青岛市经常在晚上降雨, 有多次实验失败, 所得到的数据较北京少。

从图 6 中很明显的可以看出, 春季的气溶胶沉降量较大。春季是沙尘天气频发季节, 北京受沙尘天气影响, 空气中的气溶胶粒子浓度大幅度上升, 沙尘季节气溶胶的沉降量比无沙尘季节的沉降量高近 10 倍。在有沙尘暴天气出现的 2002 年 4 月 8 日, 沙尘粒子的沉降量达到 $8.1\text{ g m}^{-2}\text{ d}^{-1}$, 是平时气溶胶沉降量的 30 倍左右。青岛虽然没有 3、4 月份气溶胶沉降量的观测, 但从 5 月份气溶胶的沉降量也可以看出, 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, 沉降量增大。气溶胶沉降量的次大值在冬季 11 月份, 这个季节也是西北地区易出现沙尘暴天气的季节, 北京受其影响空气中沙尘粒子浓度增大, 沉降量也随之增大。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, 气溶胶的沉降量较平时增加。

由图 6 可见, 北京平时气溶胶的沉降通量在 $(0.2 \sim 0.3)\text{ g m}^{-2}\text{ d}^{-1}$, 而青岛平时气溶胶的沉降通量在 $0.1\text{ g m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ 左右, 最高值也不超过 $0.2\text{ g m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ 。比较两地都有观测数值的 2002 年 10 月 1 日~10 月 31 日和 11 月 1 日~12 月 1 日, 北京这两次的沉降通量分别是 0.33 、 $0.42\text{ g m}^{-2}\text{ d}^{-1}$; 青岛两次沉降通量分别是 0.1 、 $0.16\text{ g m}^{-2}\text{ d}^{-1}$, 北京的沉降通量分别是青岛的 3.18 倍和 2.68 倍。这一方面与他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

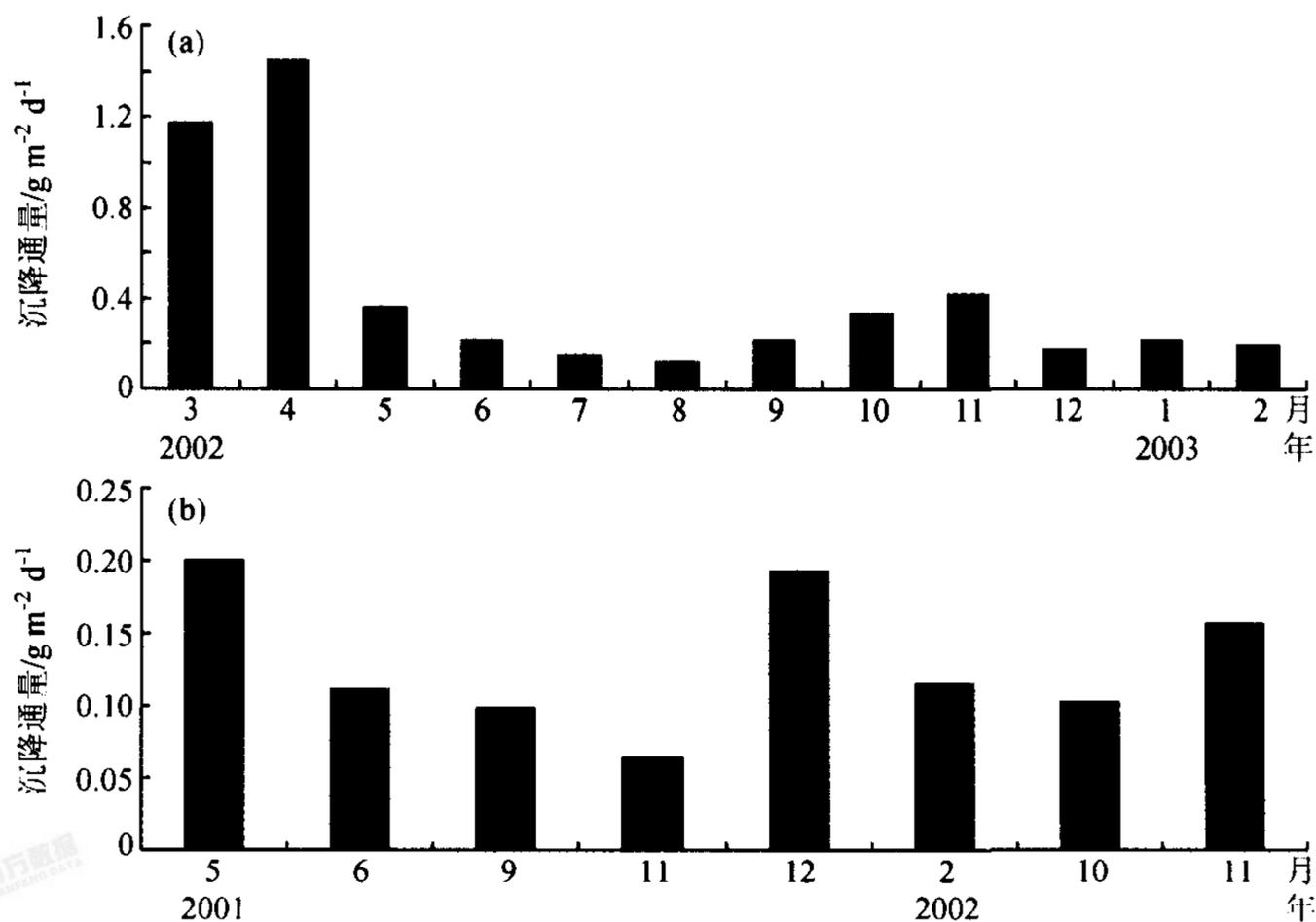


图 6 北京 (a) 和青岛 (b) 气溶胶干沉降通量的月变化

里易吹起地面尘土；青岛地处沿海，空气湿润，地面浮尘较少。

在青岛共采集到8个有效样品，把这些数据平均后可得青岛全年入黄海的气溶胶通量约为 $51.3 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。这些数据多来源于春秋时节，夏季因经常下雨缺少观测资料，因此这一数据可能比实际值略高一些。如果以5月份的沉降量作为春季沙尘气溶胶粒子入黄海的量，经计算可知春季每天进入黄海的气溶胶干沉降通量为 $0.20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ，整个黄海春季每天的干沉降总量为 $7.58 \times 10^5 \text{ g}$ 。

8 总结

通过以上对青岛地区沙尘天气的分析，得到以下结论：

(1) 青岛的沙尘天气在2000~2002年的3年中有逐渐增多的趋势，可能与西北生态环境恶化和冬季风的增强有关。青岛的沙尘天气可分为本地沙尘和外来的高空浮尘，二者的比例分别为23.3%和76.7%。

(2) 青岛地区的沙尘天气多发于春季3~5月份，每天出现沙尘天气最多的时刻是11~17时，其中14时是出现沙尘频率最高的时刻。

(3) 影响青岛的沙尘天气过程移动路径主要有两条：偏西路径和偏北路径，它们对青岛的影响概率为1:2。沙尘来源可分为境外源型和国内源型，且以境外源型为主，在我国境内移动经过荒漠化地表时得以加强。沙尘粒子多来源于两个地方：一是内蒙古中西部沙漠地区和蒙晋冀长城沿线农牧交错带，二是内蒙古中东部的锡林郭勒盟、浑善达克沙地、科尔沁沙地。

(4) 根据观测资料计算表明，青岛全年入黄海的气溶胶干沉降通量约为 $51.3 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ，春季每天进入黄海的气溶胶干沉降通量为 $0.20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ，整个黄海春季每天的干沉降总量为 $7.58 \times 10^5 \text{ g}$ 。

参 考 文 献

- 1 徐启运、胡敬松，我国西北地区沙尘天气的时空分布特征分析，中国沙尘暴研究，北京：气象出版社，1997，11~15.
- 2 程道远，大气尘埃来源与尘暴，世界沙漠研究，1994，(1)，10~16.
- 3 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.
- 4 王涛、陈广庭、钱正安等，中国北方沙尘暴现状及对策，中国科学院院刊，2001，16(5)，343~348.
- 5 陆均天、邹旭恺、王锦贵等，近3年我国沙尘天气较频繁发生的原因分析，气候与环境研究，2003，8(1)，107~113.
- 6 王式功、杨德保、金炯等，我国西北地区黑风暴的成因和对策，中国沙漠，1995，15(1)，19~30.
- 7 王明星、杨昕，人类活动对气候影响的研究 I：温室气体和气溶胶，气候与环境研究，2002，7(2) 247~254.
- 8 张仁健、韩志伟、王明星等，中国沙尘暴天气的新特征及成因分析，第四纪研究，2002，22(4)，374~380.
- 9 Duce, R. A., P. S. Liss, J. T. Merrill 等，微量物质对海洋的大气输入，气象科技，1997(1)，9~19.
- 10 庄国顺、郭敬华、袁蕙等，大气海洋物质交换中的铁硫耦合机制，科学通报，2003，48(4)，313~319.
- 11 Zhang Jing, and Liu minguang, Observations on nutrient elements and sulphate in atmospheric wet depositions o-

- ver the northwest Pacific coastal oceans—Yellow Sea, *Marine Chemistry*, 1994, **47** (2), 173~189.
- 12 Chung, C. S., G. H. Hong, S. H. Kim et al, Shore based observation on wet deposition of inorganic nutrients in the Korean Yellow Sea coast, *The Yellow Sea*, 1998, **4** (1), 30~39.
- 13 Zhang Xiaoye, R. Arimoto, and Z. S. An, Dust emission from Chinese deserts linked to variation in atmospheric circulation, *Journal of Geophysical Research*, 1997, **102** (D19), 28041~28047.
- 14 刘素美、黄薇文、张经等, 青岛地区大气沉降物的化学成分研究. I: 微量元素, *海洋环境科学*, 1991, **10** (4), 21~28.
- 15 Zhang Jing, Atmospheric wet deposition of nutrient elements: Correlation with harmful biological blooms in northwest Pacific Coastal Zones, *Ambio*, 1994, **23** (8), 173~189.
- 16 Zhang Jing, and Liu Minguang, Observations on nutrient elements and sulphate in atmospheric wet deposition over the northwest Pacific coastal oceans—Yellow Sea, *Marine Chemistry*, 1994, **47**, 173~189.

The Analysis of Sand-Dust Storms Invading Qingdao During 2000 to 2002

Zhang Kai¹⁾, Gao Huiwang¹⁾, Zhang Renjian²⁾, Sheng Lifang³⁾,
Mao Zhen⁴⁾, and Zhu Yanjun⁵⁾

1) (*College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003*)

2) (*State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Layer Physics and Atmospheric Chemistry, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Science, Beijing 100029*)

3) (*Institute of Physical Oceanography, Ocean University of China, Qingdao 266003*)

4) (*Qingdao Meteorological Service, Qingdao 266003*)

5) (*National Meteorological Service, Beijing 100081*)

Abstract Based on the routine observation data in Sand-dust weather in Qingdao, the micaps meteorology data, and the backward trajectory model in NOAA, the location and movement routes of Sand-dust aerosols which invaded Qingdao and deposition on the sea were analyzed. The results showed that sand-dust weather in Qingdao occurred frequently in spring, and the highest time of day was 14: 00. Most sand dust storms affected Qingdao came from Mongolia, and dust aerosols in Qingdao came from two areas; the desert in east of Inner Mongolia and the dene along the Great Wall. The west track and the north track were two movement routes of dust aerosols which intruded Qingdao coastal area. The west track was that the sand-dust storm which broke out in Mongolia invaded in China from the middle part of inner Mongolia, arrived in Qingdao by the north of shanxi, hebei, and shandong. The north track was that the sand-dust storm which broke out in Mongolia invaded in China from east of inner Mongolia, arrived in Qingdao by hunshandake desert or keerqin desert, north of hebei, Beijing, Tianjin, and shandong. Dry deposition flux to the Yellow Sea was about $51.3 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$, and atmospheric flux in spring was $0.20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. The all dry deposition of Yellow Sea were $7.58 \times 10^5 \text{ g}$ each day.

Key words: sand-dust; movement route; sand source; dry deposition flux