

2003—2013年高雄市霾日数变化规律与影响因素研究*

杨柳^{1,2}, 李廷勇¹, 蔡龙玲³

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 国立中央大学地球科学系, 台湾桃园 32001;

3. 国立中央大学应用地质研究所, 台湾桃园 32001)

摘要:利用2003—2013年高雄站的气象观测数据,统计分析了高雄地区日平均能见度低于5 km、平均相对湿度低于80%的霾天气的长期变化。研究发现:近年来高雄市的霾日数在逐年减少;霾日在1年内各季节均有发生,霾日数在冬、秋、春、夏季依次减少。全年霾日一月份发生最多,七月最少,1 d内11:00发生霾的可能性最大。在相对湿度小于80%时,随着相对湿度的增大,霾发生的可能性增大;气温越低,越易出现霾日;当风速小于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,霾发生的可能性最大,并且其主导风向为NNW。霾与空气污染指数在年际变化和月变化上都有一定的相关性; $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的浓度越大时,对霾的形成越有利。

关键词:高雄市;霾;时间变化规律;气象特征

中图分类号:P427

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2016)01-00130-08

霾是颗粒物和气体污染物导致能见度降低的一种天气现象^[1]。广义上讲,霾的本质是细粒子气溶胶污染,属于大气气溶胶范畴^[2]。近些年来,由于工业化、城市化进程的加快以及人类对环境的破坏,大气气溶胶污染趋于严重。气溶胶对气候变化、能见度的改变、环境质量变化、大气微量成份的循环及人类健康有着重要的影响^[3]。因此,对气溶胶的研究已成为科学家们关注的热点领域。

一些学者对霾天气发生时的气候特征进行了研究,结果表明,霾大多产生于秋冬季节,夏季较少^[4-6];气温、湿度、风速和风向等气象要素都会对霾的生成产生一定的影响^[7];亦有学者分析了霾的时空分布特征^[8-11]。据研究,霾的出现与逆温层有一定的关系,逆温层的出现会让温度较高的空气如锅盖一般笼罩在城市上空,使得空气中的粒子不易扩散,从而有利于霾的形成^[12-16]。霾的发生与空气污染密切相关,霾天数与空气污染指数(Air pollution index API)之间的年际变化和月际变化的趋势都保持一致^[17]。霾与肺部疾病、心血管疾病以及呼吸道疾病有密切关系^[18-22]。同时,由于霾是一种对视程造成障碍的天气现象,它使能见度降低,增大了交通事故的发生频率。

霾的危害最早可以追溯到1952年的伦敦烟雾事件^[1],该事件造成12 000多人死亡。1995—1999年,美国、欧洲和印度等国200多位科学家在印度和印度洋开展了一项国际大气实验。Ramanathan发现,在12月至翌年4月,有一约3 km厚的偏棕色气溶胶污染云层笼罩在印度、南亚和东南亚上空,并将其称之为亚洲棕色云(Asian brown cloud)^[23],有些学者也将其称之为灰霾天气^[24]。但近年来的研究发现,霾并不仅仅存在于亚洲,在世界广阔的范围内都有发生。目前中国存在4个明显大范围的霾污染地区,分别是华北地区、长江三角洲、四川盆地和珠江三角洲,并且有日益加重的趋势^[25]。

霾对人体健康也有很大的影响。流行病学研究发现,大气污染与居民肺癌发病率/死亡率的上升有关^[26]。霾天气发生时,空气中的颗粒物不但能进入并沉积于呼吸道甚至肺部,其中附着的有害物质还会对人体产生毒性作用诱发疾病^[18]。这些负面影响给民众的生活带来了严重的困扰。

高雄市作为台湾南部最大的城市,拥有全台湾最大的炼钢厂、造船厂和炼油厂,它的发展主要依靠重工业。根据台湾环保团体与医疗团体2012年公布资料显示,台湾省几个较大城市中,高雄市的空气污染最为严重。因此本文以高雄市为例,通过研究2003—2013年期间高雄市霾的发生频率和变化特征,以及霾的发生与气

* 收稿日期:2015-02-28 修回日期:2015-10-20 网络出版时间:2015-12-02 13:27

资助项目:国家自然科学基金(No. 41172165; No. 41302138)

作者简介:杨柳,女,研究方向为地理科学;通信作者:李廷勇,副研究员,研究方向为自然地理学和第四纪地质学,Email:cdlty@swu.edu.cn.

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20151202.1327.038.html>

象条件等因素的关系,对发生霾的环境条件进行详细分析,进而对中国城市制定环境改善计划以及预防预测霾天气等提供科学依据。

1 材料与方法

本文所用的数据包括 2003 年 1 月 1 日~2013 年 12 月 31 日高雄测站的地表气温、相对湿度、能见度、风速、风向等常规气象观测资料的时平均值和日平均值,空气质量 API 值、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的日平均浓度值^[27]。利用上述资料,统计分析 11 年来高雄市霾日的年变化、月季变化、日变化特征及其成因,同时分析霾日数与空气质量、PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的关系。2003—2005 年以及 2013 年 PM_{2.5} 含量的数据不完整,因此本文只对 2004—2012 年 PM_{2.5} 含量数据进行分析。

世界气象组织(WMO)曾多次给出过判定霾的标准,其中多使用能见度作为主判据,相对湿度作为辅助判据。此处将 WMO 报告 266 号^[28]与 783 号^[29]建议的标准与实际情况结合,将日平均能见度低于 5 km、平均相对湿度低于 80%的情况记为 1 个霾日。

2 结果与分析

2.1 霾的时间变化特征

2.1.1 霾的年际变化 高雄市霾日发生最多的是 2004 年,有 201 d,但在其后两年间,霾日数逐年降低,至 2007 年,霾日数有微小幅度的回增,之后以缓慢的速率递减,直至 2010 年的 79 d,其后霾出现的日数呈锯齿状上下波动,霾日最少的一年是 2012 年,全年共 50 个霾日,仅占 2004 年霾日天数的 1/4(图 1)。高雄市 2003—2013 年期间的霾日数整体变化趋势是逐步减少。其中原因是:早期城市片面注重经济发展,虽然制定了相关环境保护法规,但依然以经济发展为主。当地政府在 1975 年制定了《空气污染防治法》,并在 1995 年发布《空气污染防治费收费办法》,以“经济诱因”达到污染减量的目标。该体系建设后,对高雄市大气污染排放有重要影响,从而对高雄市污染控制产生重要作用,霾日数也随之下降。

2.1.2 霾的月季变化 高雄市的霾日主要发生在冬季,占到全年的 42.6%,其次秋季发生的次数占全年的 29.8%,春季的比例为 23.9%,夏季所占的比例最低,仅为 3.7%(图 2)。霾发生日数占全年比例按照冬、秋、春、夏季的顺序依次减小。霾日的季节分布与大多城市相似:冬多夏少。其主要原因有:1) 冬季逆温层的天数增多、强度增大,阻碍了对流层中大气的对流运动,使近地面的污染聚集在城市上空^[30-31]。2) 夏季的降雨量远多于冬季^[5,11]。秋冬季节,来自西伯利亚与蒙古的冷气团逐渐增强,带给台湾干冷的空气,使得降雨减少;春季大陆冷气团依然强烈,但由于赤道海洋暖气团与大陆冷气团实力相当,在交界处相遇形成滞留锋,从而产生锋面雨,使得春季的霾日比秋冬季节的有所减少。而夏季由于台风盛行,对流雨频繁,以及中央山脉对水气的阻拦,极大的增加了夏季的降水量,充沛雨量的冲刷作用使得霾日大幅减少。

霾日大多分布于 10 月至翌年的 4 月份,这 7 个月份占全年发生霾日数的 86.7%(图 3)。高雄地处北纬 22°30'30"至 22°45'30",属于热带季风气候,每年 5 月中旬至 9 月中旬受到赤道海洋气团的控制,会带来大量的降水,因此造成了高雄市旱季和雨季划分明显:每年 10 月至翌年 4 月为旱季,5 月至 9 月为雨季^[32],尤其是 6 月至 8 月,这 3 个月的降雨量达到全年的 82%。这也可以证明霾在湿润条件下不易形成,而在干燥条件下容易形成。这与逆温层在高雄所发生日数的月分布趋势相同^[33]。

2.1.3 霾的日变化 2003—2013 年,每日 2:00、5:00、8:00、11:00、14:00、

17:00、20:00、23:00 等 8 个时刻中,霾发生频率最高的刻是 11:00(图 4)。根据刘说安 2004 年的统计结果,高雄逆温发生的最大机率在 6:00,而发生的最小机率在 11:00~17:00^[30]。霾发生时间与逆温层出现时间的不一致,可能的原因有:1) 刘说安等所提供的仅为 2002 年 12 月~2003 年 9 月所统计的逆温层数据。2) 高雄市为由东

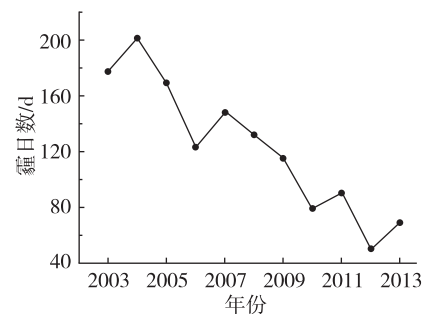


图 1 2003—2013 年高雄市霾日数的年际变化

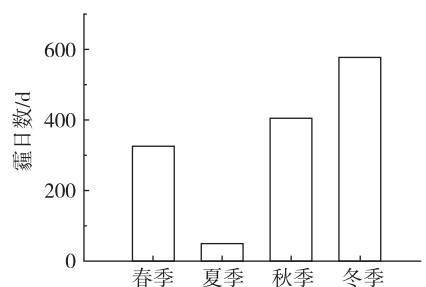


图 2 2003—2013 年高雄市各季度累计霾日数

北-西南延伸的长型区划,西南临靠台湾海峡,东北向玉山山脉和中央山脉延伸,并且玉山主峰与玉山南峰均在高雄市境内。台湾常年主要受锋面及东北季风的影响,高雄因位于中央山脉与玉山山脉的背风面,风速微弱且日照较强,不利于空气的流动^[33]。因而逆温层很难被打破,气溶胶粒子在逆温层中的累积有一个延迟的效果,当气溶胶离子达到一定含量时就会形成霾。3) 与高雄市各大工厂的工作时间有关。高雄市的经济产值以第二产业为重心。在高雄市有世界排名 19 位的钢铁厂、世界排名第 6 位的造船厂、台湾最大的石油公司以及众多工业园区。因此众多工厂、工业园区的工作时间也成为形成霾的原因之一。

2.2 霾的出现与气象特征

2.2.1 霾与气温的关系 2003—2013 年高雄市逐日发生霾现象日数呈单谷型分布,这与逐日平均、最高及最低气温多年平均值单峰型变化曲线呈镜像对称特征,峰谷值正好相反(图 5)。Pearson 相关系数是用来反映两个变量线性关系程度的统计量,相关系数绝对值越接近 1,则检验值相关性越大。根据 Pearson 相关系数检验表明,霾日数与逐日平均、最高、及最低气温均呈显著负相关($p < 0.05$),相关系数为 -0.79、-0.80、-0.78。因此,温度与霾日的形成呈负相关,温度越高越不利于霾的形成,反之则更利于霾的形成。台湾冬季盛行东北风,夏季盛行西南风。冬季东北风受到中央山脉的阻隔,同时由于“雨影效应”使得台湾西南地区冬季降水量远小于夏季降水量,有利于霾的形成。夏季的西南风则携带温暖的空气与大量降水,使得西南地区夏季降水量增多,不利于霾的形成。因此气温高时,霾天气不易产生;气温低时,霾日数增多。

2.2.2 霾与相对湿度(RH)的关系 在 RH 小于 80% 的范围内,随着日均 RH 的逐渐增大,高雄市的霾日机率呈现逐渐增大的趋势,当日均 RH 小于 60% 时,霾日出现的机率仅有 1.3%;日均 RH 增大至 60%~69% 区间时,霾日出现的机率有所增加,达到 25.3%;当日均 RH 达到 70%~79% 区间时,霾日出现的机率达到最高值 73.4%(表 1)。这与高雄市本身的气候条件有很大的关系。由于高雄市临海,RH 几乎没有低于 50% 的日数,所以 RH 的下限会偏高,同时霾发生的相对湿度梯度也会整体偏高。RH 偏高时,空气中的水分通过气溶胶中的亲水成分将气溶胶凝聚在一起,并随着 RH 增大,气溶胶中亲水成分的吸湿性增强,并增大气溶胶的消光能力^[35],从而降低大气能见度。

2.2.3 霾与风的关系 高雄市 2003—2013 年 11 年平均风速为 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,日平均风速不高于 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的天数仅为 5 d,因此风速在 $0 \sim 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间出现霾日次数很少。高雄市霾日出现时日平均风速在 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下,所占的比例为 95.5%;当风速大于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,所占比例为 4.5%(图 6)。可见,风速小于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,有利于霾的形成。当风速大于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,随着风速的增大,形成霾的机率逐渐减小。这表明风是影响霾形成的重要条件之一。近地层风的变化对大气污染物的传输和扩散影响明显,主要表现在小风速更有利于形成气流停滞区,能够为霾的形成提供相对稳定且水平输送较小的天气背景场^[7,34];随着风速的增大,大气平流输送能力也在逐渐增强,大气中的污染物更容易被驱散,不利于霾的形成^[12]。

高雄市出现霾日时,近地面的主导风向为 NNW 和 WNW,其中 NNW 比率最高,为 36.1%;其次是 WNW,为 25.0%;北风为 12.3%(图 7)。虽然台湾冬半年主要受到东北季风的影响,但是由于中央山脉和玉山山脉的

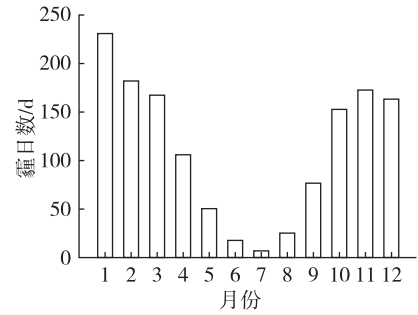


图 3 2003—2013 年高雄市各月累计霾日数

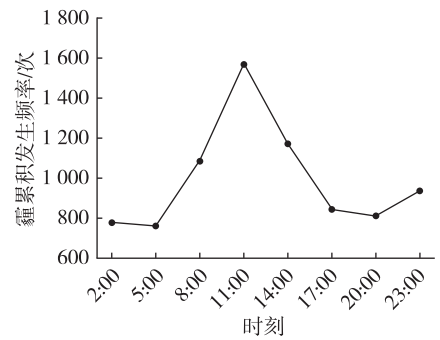


图 4 2003—2013 年高雄市 8 个时刻霾累积发生次数

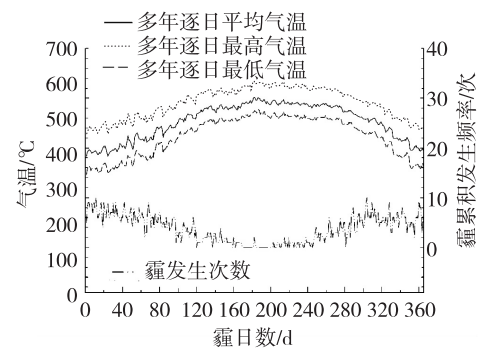


图 5 2003—2013 年高雄市逐日发生霾日数的历史累积值和逐日最低气温、最高气温、平均气温多年平均值

表 1 2003—2013 年高雄市不同日均相对湿度范围霾日出现的频次变化

相对湿度/%	霾日次数/次	百分比/%
51~60	18	1.3
61~70	344	25.3
71~80	1 002	73.4
合计	1 364	100

阻挡,使得东北季风对高雄市的影响并不大,反而根据高雄港以及市区多处数据显示,高雄市秋冬季的主导风向为 NNW,春季的主导风向为西北风,这与霾天气过程风向频率分布是基本一致的。

2.3 与其他因素的关系

2.3.1 霾与 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 含量的关系 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 分别指大气中空气动力学直径小于等于 2.5 μm 和 10 μm 的颗粒物^[35]。由于 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的含量与散射系数呈较好的相关性^[36],并且散射系数与能见度呈强烈的负相关^[37],因此 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的含量对霾的形成起重要作用,并且间接影响空气能见度。

高雄市历年 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 含量都呈现出秋冬季逐渐增高,春夏季逐渐降低的态势,秋、冬、春季的 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 含量明显比夏季要高(图 8)。但在 PM₁₀ 含量的图线中,2010 年 3 月 24 日 PM₁₀ 浓度陡增,这是由于 2010 年 3 月 24 日受到大陆西北部地区沙尘暴的侵袭,台湾空气受到严重影响而导致。霾日在秋、冬、春季出现的概率远大于夏季(图 3),这与 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 浓度的变化趋势呈现一致性。

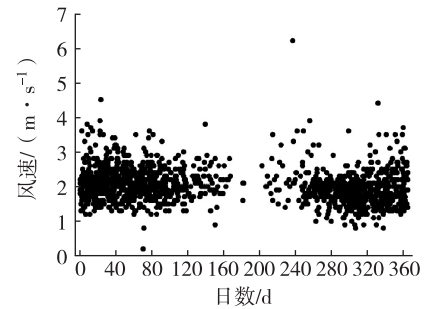


图 6 2003—2013 年高雄市所有霾日过程的日均风速分布

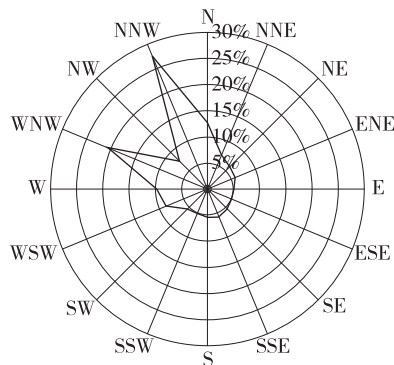


图 7 2003—2013 年高雄市霾天气过程风向频率分布

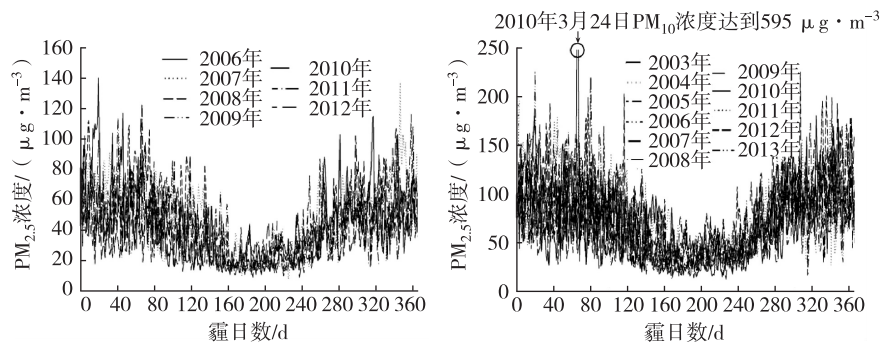


图 8 高雄市 2003—2013 年各年逐日平均 PM_{2.5} 与 PM₁₀ 含量变化

2.3.2 霾与 API 的关系 API 是根据环境保护部《环境空气质量标准》(GB3095—1996)和污染物对生态环境及人体健康的影响程度而制定的一项指标^[38]。中国一般将 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 的常规检测值简化为单一的数值,并分级表征空气污染程度与空气质量状况^[39]。空气污染指数的计算方法为:污染物(x)的分指数(I_x)运用线性内插法,按下式计算^[40],即当 C_{x,j} < C_x ≤ C_{x,j+1} 时,

$$I_x = \frac{C_x - C_{x,j}}{C_{x,j+1} - C_{x,j}} (I_{x,j+1} - I_{x,j}) + I_{x,j} \quad (1)$$

式中,C_x 为 x 检测值(单位:mg·m³);I_{x,j} 为第 j 转折点的污染分指数;I_{x,j+1} 为 j+1 转折点的污染分指数;C_{x,j} 为第 j 转折点上 x 的含量限值(对应于 I_{x,j})(单位:mg·m³);C_{x,j+1} 为第 j+1 转折点上 x 的含量值(对应于 I_{x,j+1})(单位:mg·m³)^[40]。对 x 的第 j 转折点(C_{x,j}, I_{x,j})的分指数值和相应的含量值,由表 2 决定。

表 2 API 分级限值表

API 值	污染物含量/(mg·m ⁻³)				
	SO ₂ (日均值)	NO ₂ (日均值)	PM ₁₀ (日均值)	CO(日均值)	O ₃ (日均值)
50	0.050	0.080	0.050	5	0.120
100	0.150	0.120	0.150	10	0.200
200	0.800	0.280	0.350	60	0.400
300	1.600	0.565	0.420	90	0.800
400	2.100	0.750	0.500	120	1.000

取各污染物中污染分指数最大者为该区域的 API,该污染物就是该区域中的首要污染物^[40-41]。

本研究统计分析了高雄市 2003—2013 年期间每日 8 次的 API 测试值分级结果(API 值为 0~50, 11~199) 次数与霾日数的关系(图 9,图 10)。随着霾日数的递减,空气污染指数为良好(API 值为 0~50)的次数有微弱的

递增趋势(图 9a)。根据 Pearson 相关性检验结果,霾日数与空气质量为良好等级次数呈负相关,相关系数为 -0.52。而霾日与空气质量不良次数呈现正相关,相关系数为 0.82 (图 9b)。

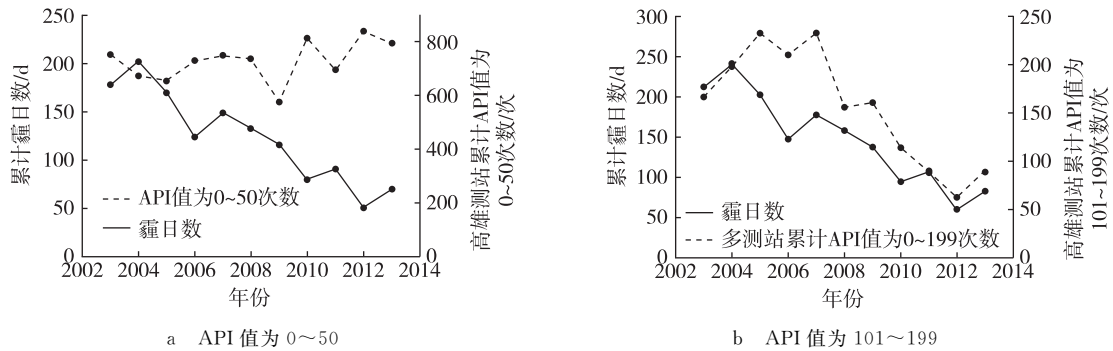


图 9 2003—2013 年高雄市累计(每日 8 次)API 值为 0~50,101~199 次数同霾日数的趋势

空气质量为良好的次数从 3 月之后开始加速上升,7 月达到最高峰,之后便开始下降,10 月达到最低点,之后处于平稳状态,呈单峰分布;而与之相对应的是月累计霾日数,1 月达到全年的最高累积日数后便开始减少,7 月霾日出现次数最少,以后便逐渐增加,呈单谷分布(图 10a)。这两者具有负相关性,相关系数为 -0.94。

7 月空气质量为不良次数与霾日数同时达到全年最低值;而在年初与年末其两者次数都较高,整体均呈现单谷形状(图 10b)。根据计算,两者相关系数为 0.76。当 API 处于 0~50 时(空气质量等级为良好),霾日数与其呈现负相关;当 API 处于 101~199 时(空气质量等级为不良),霾日数与其成正相关。

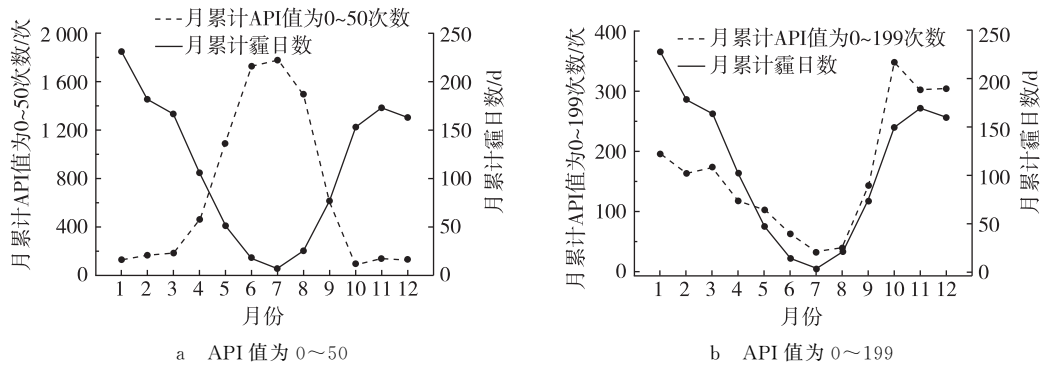


图 10 2003—2013 年高雄市月累计(每日 8 次)API 值为 0~50,0~199 的次数与霾日数的关系

综上所述,API 值的大小与是否产生霾日关系密切。空气中悬浮的微粒含量越大,API 值越大。悬浮微粒散射阳光,同时降低大气能见度,对霾日的产生有很大影响。

2.4 建议与对策

据研究表明,霾对环境、农业和人体健康等方面有极大地影响。近些年来,中国各大城市如北京、广州、深圳、西安等都遭受了霾的侵袭,对公众正常的生产生活造成了极大的负面影响。因此对于霾的防治显得至关重要。所以在此给出以下几点建议。第一,加强环境与健康立法,完善相关法律制度;第二,发展清洁能源;第三,推出“霾健康指数预报”,向公众普及霾对健康的危害知识,从而指导人们采取适当的措施应对霾害天气;第四,细颗粒物影响健康的可能性机制包括氧化和炎症作用,因此食用具有抗氧化作用的食物,如各种维生素含量丰富的蔬菜等,有可能降低霾对健康的影响^[42]。

此外,霾天气的发生有时候是大范围空间尺度内的天气过程,并不仅仅受到局地天气过程和局地大气中粉尘及污染物的影响。因此除了通过分析天气过程进行霾的预报预测之外,长期的大区域生态环境保护和恢复建设,以及城市和工农业污染有效控制和治理,才是减少霾日发生、改善空气质量,增进民众健康的根本性措施。

3 结论

1) 2003—2013 年期间,高雄市霾日数呈现减少的趋势。霾更容易在干燥的气候环境下产生,因而冬季霾日数最多,其次是秋季和春季,霾日数最少的是夏季。霾的日变化的影响因子主要包括逆温层的存在以及工厂的

工作时间,每天 11:00 发生霾的次数最多,05:00 最少。

2) 霾日数与逐日平均、最高及最低气温呈现明显的负相关性,气温越低,高雄市霾发生的可能性就越大;在相对湿度小于 80% 范围内,随着相对湿度的逐渐增大,高雄市霾出现机率也越大。平均风速小于 $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,最有利于霾天气的形成;高雄市出现霾时,近地面主导风向是 NNW。

(3) $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的含量与能见度呈现负相关,在 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 的含量增加时,能见度会随之降低,因此霾日出现的几率增加。霾日的发生与 API 值有很大的相关性,当霾日发生时,这一日的 API 值很可能处于 101~199 之间。

参考文献:

- [1] Watson J G. Visibility: Science and regulation[J]. Air & Waste Management Association, 2011, 52(6): 628-713.
- [2] 吴兑. 灰霾天气的形成与演化[J]. 环境科学技术, 2011, 34(3): 157-161.
Wu D. Formation and evolution of haze weather[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 52(6): 628-71.
- [3] 吴兑, 廖碧婷, 吴蒙, 等. 环首都圈霾和雾的长期变化特征与典型个例的近地层输送条件[J]. 环境科学学报, 2014, 34(1): 1-11.
Wu D, Liao B T, Wu M, et al. The long-term trend of haze and fog days and the surface layer transport conditions under haze weather in North China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, 34(1): 1-11.
- [4] 江崑, 曹春燕. 2003 年深圳市灰霾气候特征及影响因素[J]. 广东气象, 2004(4): 14-15.
Jiang Y, Cao C Y. Climate characteristics and influencing factors of haze days in Shenzhen city during 2003 [J]. Guangdong Meteorology, 2004(4): 14-15.
- [5] 刘爱君, 杜尧东, 王慧英. 广州灰霾天气的气候特征分析[J]. 气象, 2004, 30(12): 68-71.
Liu A J, Du Y D, Wang H Y. Climatic characteristics of haze in Guangzhou [J]. Meteorological Monthly, 2004, 30(12): 68-71.
- [6] 郭军. 天津地区会霾天气的气候特征分析[J]. 城市环境与城市生态, 2008, 21(3): 12-20.
Guo J. Climatic characteristics of atmospheric haze in Tianjin area [J]. City Environment and City Ecology, 2008, 21(3): 12-20.
- [7] 吴蒙, 范绍佳, 吴兑, 等. 广州地区灰霾与清洁天气变化特征及影响因素分析[J]. 中国环境学报, 2012, 32(8): 1409-1415.
Wu M, Fan S J, Wu D, et al. Characteristics and influence factors study of haze and cleaning weather over Guangzhou area [J]. China Environmental Science, 2012, 32(8): 1409-1415.
- [8] 吴蓁, 郑世林, 席世平, 等. 河南省霾的空间分布及其变化特征[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(4): 1899-1901.
Wu Z, Zhen S L, Xi S P, et al. Spatial distribution and change characters of haze in henan province [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(4): 1899-1901.
- [9] 史军, 崔林丽, 贺千山, 等. 华东雾和霾日数的变化特征及成因分析[J]. 地理学报, 2010, 65(5): 533-542.
Shi J, Cui L L, He Q S, et al. The changes and causes of Fog and Haze days in Eastern China [J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(5): 533-542.
- [10] 伍红雨, 杜尧东, 何健, 等. 华南霾日和雾日的气候特征及变化[J]. 气象, 2011, 37(5): 607-614.
Wu H Y, Du Y D, He J, et al. Climatic characteristic and variations of haze days and fog days in South China [J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(5): 607-614.
- [11] 叶光营, 吴毅伟, 刘必桔. 福州区域雾霾天气时空分布特征分析[J]. 环境科学与技术, 2010, 3(10): 114-119.
Ye G Y, Wu Y W, Liu B J. Spatial and temporal distribution characteristics of fog and haze in Fuzhou [J]. Environmental Science & Technology, 2010, 3(10): 114-119.
- [12] 马敏劲, 崔冬林, 王式功, 等. 兰州市霾日的气候特征[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2009, 45(6): 56-61.
Ma M J, Cui D L, Wang S G. Analysis of climate characteristics of haze in Lanzhou city [J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2009, 45(6): 56-61.
- [13] 李朝辉, 宋军亭, 张玉胜, 等. 沙尘与逆温时 PM_{10} 的变化规律及污染分析[J]. 中国环保产业, 2013(2): 13-16.
Li Z H, Song J T, Zhang Y S, et al. PM_{10} variation and pollution analysis at sand dust and temperature inversion [J]. China Environmental Protection Industry, 2013(2): 13-16.
- [14] 杜荣光, 齐冰, 郭慧慧, 等. 杭州市大气逆温特征及对空气污染物浓度的影响[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(4): 49-53.
Du R G, Qi B, Guo H H, et al. Characteristic of atmospheric inversion temperature and its influence on concentration of air pollution in Hangzhou, Zhejiang province [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2011, 27(4): 49-53.
- [15] 姚源山, 姚维, 唐化义. 贵阳市逆温特征分析[J]. 贵州气象, 2013, 37(5): 27-30.
Yao Y S, Yao W, Tang H Y. Analysis of characteristics of Temperature Inversion in Guiyang city [J]. Journal of Guizhou Meteorology, 2013, 37(5): 27-30.

- [16] 郑庆锋, 史军. 上海霾天气发生的影响因素分析[J]. 干旱气象, 2012, 30(3): 367-373.
Zheng Q F, Shi J. Study on the influencing factors of haze weathers in Shanghai[J]. Arid Meteorology, 2012, 30(3): 367-373.
- [17] 陈丽芳. 杭州灰霾气候特征及与清洁过程的对比分析[J]. 科技通报, 2012, 28(7): 31-35.
Chen L F. Climatic characteristics of haze in Hangzhou and intercomparison between haze process and cleaning process[J]. Bulletin of Science and Technology, 2012, 28(7): 31-35.
- [18] 白志鹏, 蔡斌彬, 董海燕, 等. 灰霾的健康效应[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(3): 198-201.
Bai Z P, Cai B B, Dong H Y, et al. Adverse health effects caused by dust haze review[J]. Environmental Pollution & Control, 2006, 28(3): 198-201.
- [19] 王臻. 可吸入颗粒物对呼吸系统危害的研究进展[J]. 国外医学呼吸系统分册, 2004, 24(4): 231-236.
Wang Z. Research of particulate matter harmful to respiratory system[J]. Foreign Medical Archies of Respiratory System, 2004, 24(4): 231-236.
- [20] 宋桂香, 江莉莉, 陈国海, 等. 上海市大气气态污染物与居民每日死亡关系的时间序列研究[J]. 环境与健康杂志, 2006, 23(5): 390-393.
Song G X, Jiang L L, Chen G H, et al. A Time-series study on the relationship between gaseous air pollutants and daily mortality in Shanghai[J]. Journal of Environment and Health, 2006, 23(5): 390-393.
- [21] 陈仁杰, 阚海东. 雾霾污染与人体健康[J]. 自然杂志, 2013, 35(5): 342-344.
Chen R J, Kan H D. Haze/fog and human health: a literature review[J]. Chinese Journal of Nature, 2013, 35(5): 342-344.
- [22] 殷文军, 彭晓武, 宋世震, 等. 广州市灰霾天气对城区居民心血管疾病影响的时间序列分析[J]. 环境与健康杂志, 2009, 26(12): 1081-1085.
Yin W J, Peng X W, Song S Z, et al. Effect of atmospheric haze on cardiovascular diseases of urban residents in Guangzhou: a time-series analysis[J]. Journal of Environment and Health, 2009, 26(12): 1081-1085.
- [23] Ramanathan V, Crutzen P J, Mitra A P, et al. The Indian Ocean experiment and the Asian brown cloud[J]. Current Science, 2002, 83(8): 947-955.
- [24] 吴兑. 霾与雾的识别和数据分析处理[J]. 环境化学, 2008, 27(3): 327-330.
Wu D. Discussion on the distinction between haze and fog and analysis and procession of data[J]. Environmental Chemistry, 2008, 27(3): 327-330.
- [25] 殷永文, 程金平, 段玉森, 等. 上海市霾期间 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 污染与呼吸科、儿呼吸科门诊人数的相关分析[J]. 环境科学, 2011, 32(7): 1894-1898.
Yin Y W, Cheng J P, Duan Y S. Correlation analysis between the $PM_{2.5}$, PM_{10} which were taken in the hazy day and number of outpatient about breathing section, breathing section of pediatrics in Shanghai[J]. Environmental Science, 2011, 32(7): 1894-1898.
- [26] 陈仁杰, 张金良, 阚海东. 中国大气污染与肺癌关系的流行病学研究回顾[J]. 卫生研究, 2011, 40(2): 243-245.
Chen R J, Zhang J L, Kan H D. The relationship between air pollution and lung cancer epidemiological study review[J]. Journal of Hygiene Research, 2011, 40(2): 243-245.
- [27] 台湾台风洪水研究中心. 大气研究资料库[EB/OL]. [2015-02-28]. <http://dbar.tfri.narl.org.tw>.
Taiwan Typhoon and Flood Research Institute. Data bank for atmospheric research [EB/OL]. [2015-02-28]. <http://dbar.tfri.narl.org.tw>.
- [28] WMO. WMO-no. 266, compendium of lecture notes for training class IV meteorological personnel: volume II - meteorology [R]. Geneva: WMO, 1984.
- [29] WMO. WMO-No. 782, aerodrome reports and forecasts: a user's handbook to the codes [R]. Geneva: WMO, 2005.
- [30] 韦肖林, 周慧僚, 唐新. 河池边界逆温现象变化特征及影响[J]. 气象研究与应用, 2012, 33(1): 30-34.
Wei X L, Zhou H L, Tang X. Boundary layer inversion phenomenon characteristics and its impact in Hechi city [J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2012, 33(1): 30-34.
- [31] 周荣芳. 浅谈逆温灾害及其防治[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(14): 257-258.
Zhou R F. Introduction to temperature inversion disasters and prevention [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2011, 17(14): 257-258.
- [32] 蒋丙然. 台湾气候志 [M]. 台北: 出版者不详, 1954: 220.
Jiang B R. Taiwan's climate [M]. Taipei: [s. n.], 1954: 220.
- [33] 刘说安, 颜翔昆, 杨之远. 台湾地区逆温现象形态之研究 [C]// 第八届全国大气科学学术研讨会. 龙潭: Acer Aspire Learning Center, 2004: 1-4.
Liu S A, Yan X K, Yang Y Z. The study of the temperature inversion form in Taiwan [C]// The eighth national conference on atmospheric science. Longtan: Acer Aspire Learning Center, 2004: 1-4.
- [34] 曹伟华, 梁旭东, 李青春. 北京一次持续性雾霾过程的阶段性特征及影响因子分析[J]. 气象学报, 2013, 71(5): 940-951.
Cao W H, Liang X D, Li Q C. A study of the stageful characteristics and influencing factors of a long-lasting fog/haze event in Beijing [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2013, 71(5): 940-951.

- [35] 李凤菊, 邵龙义, 杨书申, 等. 郑州大气 PM_{10} 的形貌特征及生物活性研究[J]. 环境科学, 2008, 29(9): 2654-2658.
Li J F, Shao L Y, Yang S S, et al. Morphology and bioreactivity of PM_{10} in air of Zhengzhou[J]. Environmental Science, 2008, 29(9): 2654-2658.
- [36] 徐昶, 叶辉, 沈建东, 等. 杭州大气颗粒物散射消光特性及霾天气污染特征[J]. 环境科学, 2014, 35(12): 4422-4430.
Xu C, Ye H, Shen J D, et al. Light scattering extinction properties of atmosphere particle and pollution characteristics in hazy weather in Hangzhou[J]. Environmental Science, 2014, 35(12): 4422-4430.
- [37] 朱李华, 陶俊, 陈忠明, 等. 2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子[J]. 环境科学, 2012, 33(1): 13-19.
Zhu L H, Tao J, Chen Z M, et al. Atmospheric extinction coefficient reconstruction and its contribution factors in Beijing during 2012[J]. Environmental science, 2012, 33(1): 13-19.
- [38] 李名升, 张建辉, 张殷俊, 等. 近10年中国大气 PM_{10} 污染时空格局演变[J]. 地理学报, 2013, 68(11): 1504-1512.
Li M S, Zhang J H, Zhang Y J, et al. Spatio-temporal pattern change of ambient air PM_{10} pollution in China from 2002 to 2012[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(11): 1504-1512.
- [39] 李小飞, 张明军, 王圣杰, 等. 中国空气污染指数变化特征及影响因素分析[J]. 环境科学, 2012, 33(6): 1936-1943.
Li X F, Zhang M J, Wang S J, et al. Variation characteristics influencing factors of air pollution index in China[J]. Environmental Science, 2012, 33(6): 1936-1943.
- [40] 中国环境监测总站. 城市空气质量日报技术规定[S]. 北京: 中国环境监测总站, 2000.
China Environmental Monitoring Station. Urban air quality daily technical regulations[S]. Beijing: China's Environmental Monitoring Station, 2000.
- [41] 环境保护部. 城市空气质量日报和预报技术规定[S]. 北京: 环境保护部, 2008.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Daily report and forecast of urban air quality technical regulations[S]. Beijing: Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2008.
- [42] 阚海东. 雾霾天气下的细颗粒物污染和居民健康[J]. 中华预防医学杂志, 2013, 47(6): 491-493.
Kan H D. States of particulate matter pollution and the health of the residents when haze days[J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2013, 47(6): 491-493.

The Variation and Influencing Factors of Haze Days in Kaohsiung City during 2003—2013

YANG Liu^{1,2}, LI Tingyong¹, CAI Longyi³

(1. Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715;

2. Department of Earth Sciences, National Central University, Taoyuan Taiwan 32001;

3. Institute of Applied Geology, National Central University, Taoyuan Taiwan 32001, China)

Abstract: Based on the meteoric data of Kaohsiung station from 2003 to 2013, the variation of haze weathers (average visibility < 5 km; average relative humidity < 80%) has been analyzed. It shows that haze days of Kaohsiung have decreased year by year during recent years. Although happening in every season, haze days become less and less in winter, autumn, spring and summer in sequence. Haze days appear mostly in January and least likely in July, while 11:00 a. m. is the most possible time when haze appears in a day. When the relative humidity is lower than 80%, the possibility of the forming of Haze increased with the rising of relative humidity. Plus, the haze weathers tend to formation when the air temperature is low. If wind speed is slower than $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, haze may mostly appear with a leading wind direction in NNW. Both haze and air pollution index are related to each other in different years and months. Except special weather, haze forms more frequently when the concentrations of $PM_{2.5}$ and PM_{10} become higher.

Key words: Kaohsiung; haze; temporal change; meteorological characteristics

(责任编辑 许甲)