

童尧青, 银燕, 许遐祯, 等. 南京地区雾的气候特征 [J]. 南京气象学院学报, 2009, 32 (1): 115-120.

南京地区雾的气候特征

童尧青¹, 银燕¹, 许遐祯², 徐萌柳¹, 项瑛²

(1. 南京信息工程大学 大气物理学院, 江苏 南京 210044; 2. 江苏省气象局, 江苏 南京 210009)

摘要:利用 1961—2006 年南京气象站和江浦、六合、溧水、江宁、高淳 5 个南京郊区站地面资料, 统计分析了南京地区雾天气的气候特征及其与气象要素的关系。结果表明: 受地形和下垫面等特性的影响, 南京地区各站雾日分布不均, 有明显的地区差异。溧水、六合和南京比江浦、江宁和高淳更易出现雾天气, 其中溧水雾日最多, 年均均为 34.9 d。雾的季节分布表现为: 秋冬季最多, 春季次之, 夏季最少。溧水、高淳、江浦年均雾日数表现出明显的上升趋势, 而南京、江宁、六合雾日数略有下降。分析结果也指出, 雾天气多出现在近地面弱风、高湿和弱高压等气象条件下。

关键词:南京; 雾; 气候特征; 气象要素

中图分类号: P402 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022 (2009) 01-0115-06

Climatological Characteristics of Fogs in Nanjing

TONG Yao-qing¹, YIN Yan¹, XU Xia-zhen², XU Meng-liu¹, XIANG Ying²

(1. School of Atmospheric Physics, NU IST, Nanjing 210044, China; 2. Jiangsu Meteorological Bureau, Nanjing 210009, China)

Abstract: Based on the meteorological observations at Nanjing Meteorological Observatory and other five suburban meteorological stations (Jiangpu, Luhe, Lishui, Jiangning and Gaochun) during 1961—2006, the climatological characteristics of fogs in Nanjing and their relationships with various meteorological parameters are analyzed. Results show that, depending on the topography and the nature of underlying surface, the occurrences of fog events at these six locations are different. The fog processes are more likely to happen at Lishui, Luhe and Nanjing than at other three places (Jiangpu, Jiangning and Gaochun) with the highest frequency of fogs (34.9 days annually). Fog events at six stations show the same seasonal characteristics with the maximum frequency in winter and autumn, the next in spring and the minimum in summer. It is also found that the annual fog days at Lishui, Gaochun and Jiangpu are increasing and an opposite tendency occurs at Nanjing, Jiangning and Luhe. Results reveal that the fog events are more likely to occur under the conditions of weak surface wind, high humidity and weak high system.

Key words: Nanjing; fog; climatologic characteristics; meteorological parameters

0 引言

雾是指大量微小水滴或冰晶悬浮在贴地层空气中, 使水平能见度小于 1 km 的天气现象。雾滴对可见光的强散射作用会降低能见度, 危害交通。雾加剧近地层空气污染^[1], 大气污染又可以使雾水酸化^[2], 危害人体健康。作为一种灾害性天气, 雾引起了人们越来越多的关注, 众多国内外学者在雾的

观测、数值模拟和预报等方面进行了许多研究。雾天气的预报服务已经引起了有关部门的高度重视。在 Fisher 等^[3]首先建立雾的数值模式之后, 雾模式在国内外得到了较大的发展^[4-9], 国内也有很多学者利用 PP 方法^[10]、MOS 方法^[11]及 MM5^[12-13]对雾进行了预报和模拟研究。但是这些模拟大多数建立在个例研究的基础上。欲进一步提高雾预报水平, 须加强雾天气预报技术的研究, 建立一套高精度的预报

收稿日期: 2007-10-26; 改回日期: 2008-06-18

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目 (BK2006226)

作者简介: 童尧青 (1983—), 女, 湖南耒阳人, 硕士生, 研究方向为大气成分变化与区域气候效应, tongyaoqing@126.com; 银燕 (通讯作者), 教授, 博士生导师, yinyan@nuist.edu.cn

方法和服务系统。由此,对区域雾天气气候特征进行全面的分析研究,掌握其变化特点与规律就显得尤为重要。何金梅等^[14]利用 1971—2004 年甘肃省高等级公路沿线 20 个站气象资料,分析了雾天气的地域分布及气候特征,并在此基础上将不同路段的雾天划分为不同的预报服务期,为高等级公路沿线的雾天预报提供依据。郭刚等^[15]利用 1995—2004 年辽西地区 4 个代表站的雾观测资料,分析了区域性雾天气的气候统计特征并提出判别雾出现的预报指标,近 10 a 平均历史概括率为 81.0%,单站历史资料抽样预报效果检验,总空报率为 22.2%,漏报率为 5.1%,预报效果较好。蒋大凯等^[16]通过对 1994—2002 年辽宁区域性雾天气资料,分析得到了区域性雾的时空分布特征、雾的成因及要素演变特征,用 PP 法建立区域性雾的客观预报方法,并使用该法在 2003 年 9 月—2005 年 8 月期间对雾预报业务进行了试运行,预报正确率为 58%。此外,还有许多学者^[17-22]对雾天气的气候特征、雾的形成与常规气象要素的关系进行了统计研究,也为局地雾天预报服务提供了依据。

南京地区地处长江下游平原,属北亚热带季风气候,地属宁镇丘陵区,地区性气候特征明显。本文对南京地区雾的气候规律和雾日下各种气象要素的变化特征进行了探讨,以期对南京地区雾的气候特征及其与环境变化的关系有所了解。

1 资料来源与统计方法

本文所用资料来自南京气象站(市区小校场)和江浦、六合、溧水、江宁、高淳 5 个郊区气象站 1961—2006 年的地面气象观测资料(02:00、08:00、14:00、20:00,北京时间),包括雾天气日期、能见度、日均气压、日均温度、日均风速等。雾以观测记录为准,当日每 3 h 地面观测只要出现一次(或一次以上)能见度小于 1.0 km 的雾,无论持续时间长短,均记为一个雾日。

分析雾的年际变化,使用线性倾向估计方法^[23],用 x_i 表示逐年雾日数,用 t_i 表示 x_i 所对应的时间,建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归方程:

$$x_i = a + bt_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_0$$

其中:回归系数 b 表示趋势, b 值正(负)反映雾日的上升(下降)趋势,其大小反映上升或下降速率。

2 雾的空间分布及季节特征

2.1 年雾日数的空间分布特征及其初步解释

对上述 6 站雾日出现频率的简单统计表明,1961—2006 年,溧水、六合、南京、江宁、江浦、高淳的年均雾日分别为 34.9、27.6、23.0、16.8、16.0、15.6 d。可见,溧水、六合和南京比江浦、江宁和高淳更易出现雾天气,其中溧水雾日最多,气候概率高达 9.6%。溧水为茅山山脉绵延地区,境内多山脉、丘陵,其面积占全县面积的 70% 以上^[24]。由于地形的作用,使雾日明显增多,其峰值高达 64 d,尤其在秋季的 10 月,雾日比南京市多 1 倍以上,比江浦多 5 倍。六合雾日仅次于溧水。六合地势北高南低,全年最多风向为东南偏东风(ESE)^[24],风沿地形爬坡抬升,由水汽凝结而形成上坡雾,这可能是该地区雾日较多的原因。高淳地势东高西低,在其背风坡易产生下沉气流,不利于形成雾,故在 6 个站中年均雾日数最少。南京市由于城市气溶胶污染较重,为雾的形成提供了比较丰富的吸湿性核^[25-26],再加上高大建筑物比较多,使得近地面风速比郊区小,因此,雾日也比较多。江浦与南京仅一江之隔,但全年雾日仅为南京的 69.5%;而与南京南面相接的江宁,全年雾日也仅为南京的 73.2%。

2.2 雾日的月季分布特征及成因

从月分布规律来看(图 1),尽管南京地区 6 站年雾日差异显著,但月、季规律基本一致,并以 11 月(溧水、六合、南京、高淳等 4 站)或 12 月(江浦、江宁 2 站)最多;6、7、8 月最少,多数站月均雾日不足 1 d。就季节规律而言(表 1),各站雾日秋冬季最多,春季次之,夏季最少。这可能与 11 月以后北方

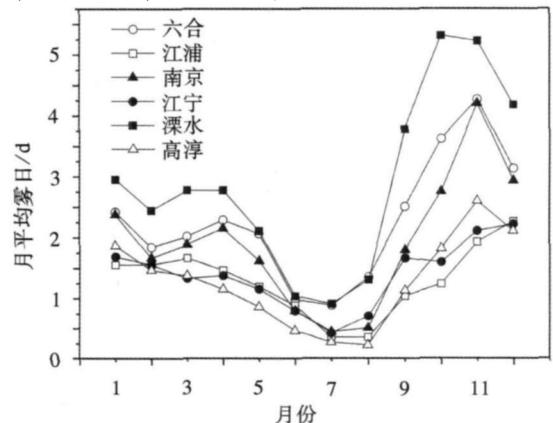


图 1 南京地区各站月平均雾日数

Fig 1 Average monthly number of fog days at six stations in Nanjing

冷空气已开始频频南下影响南京地区,夜间辐射降温加剧,加上深秋水汽仍较充沛,空气易达到饱和而形成辐射雾等因素有关。冬季 12 月—次年 1 月,南京地区多处于变性冷高压控制下,近地面大气层结比较稳定,夜间辐射冷却较强,且清晨多静、微风。如遇低层大气水汽充足的条件,易形成雾。夏季 6、7、8 月,夏季风盛行,温度高,除高山外,一般地区夜间辐射冷却降温平缓,空气湿度难以达到饱和成雾的条件,所以雾日最少。从全国范围来看,由于各地区的地理条件、气象条件和工业发展状况的不同,各地的月雾日数存在差别。按各地雾日在各月分布的相同点,孙弈敏^[27]将全国的月雾日分布划分为冬季正态分布型、夏季偏正态型、上半年雾日极多型等 7 种类型。华东地区的南京正处多雾季节从秋到冬过渡的纬度,属于“冬半年雾日多于夏半年”型。

表 1 南京地区 6 站各季节平均雾日数占全年的百分比

Table 1 The average ratio of the seasonal number of fog days to the annual fog days at six stations in Nanjing %

观测站	春季 (3—5月)	夏季 (6—8月)	秋季 (9—11月)	冬季 (12月—次年 2月)
江浦	23.17	11.82	37.67	27.34
南京	27.58	10.46	26.50	35.46
江宁	24.27	7.46	37.68	30.59
溧水	22.84	11.87	31.74	33.55
高淳	22.07	9.35	40.84	27.74
六合	21.73	6.27	35.93	36.07

3 雾的年际变化

3.1 雾日数的年际和年代际变化

1961—2006 年南京地区六合、江浦、南京、江

宁、溧水、高淳等 6 站年最多雾日分别为 47、37、36、33、64、30 d;年最少雾日分别为 13、4、9、5、13、7 d。不同年份的雾日差距明显。为了进一步分析雾的年变化趋势,建立了逐年雾日数与逐年年份之间的一元线性回归方程(图 2)。由图可见,溧水、高淳、江浦等 3 站上升趋势明显,增加趋势最明显的是溧水,为 0.32 d/a,其次为江浦(0.23 d/a)、高淳(0.12 d/a)。江宁、六合、南京等 3 站略有下降,趋势系数为同一量级,南京站略大些。刘小宁等^[19]研究结果也指出大部分城市站点雾日有逐年减少的趋势。

为了分析南京地区雾日数的年代际变化,计算了 6 站雾日数的各年代际距平平均值(表 2)。1961—1970 年,6 站距平均为负值,且多数站下降明显,尤其是溧水站下降幅度超过了 11 d。1971—1980 年,除溧水、江浦外其余 4 站均为上升趋势。20 世纪 80 年代为总体上升趋势最为显著的一个年代,南京、江宁、溧水、高淳 4 站雾日明显上升,以溧水站为最(11.23 d)。1991—2000 年,雾日总体上略微下降,除溧水雾日明显增加外,其余 5 站均为减少趋势。2001—2006 年,各站有升有降。南京、江浦 2 站雾日显著减少,江宁雾日大幅增加,达 11.23 d。从 6 站平均值的年代际变化来看,20 世纪 60 年代雾日是下降的;自 20 世纪 70 年代以来,除 1991—2000 年略有下降外,距平均值都为正。

3.2 浓雾出现日数的年际变化

参照刘小宁等^[19]的分析方法,统计了每日 4 次观测中至少 1 次能见度小于等于 0.5 km 的浓雾。选取具有完整气象能见度资料的南京、溧水、高淳、江浦等 4 站分析浓雾的年变化特征。由于 1961—1979 年的能见度记录仅精确到个位数(km),所以浓雾分析起始于 1980 年。因为线性倾向估计方法受时间序列起、终点影响明显,要对比 1980—2006

表 2 南京地区 6 站年雾日数的各年代际距平平均值

Table 2 Mean anomalies of annual fog days in each decade at six stations in Nanjing d

观测站	1961—1970 年	1971—1980 年	1981—1990 年	1991—2000 年	2001—2006 年
六合	- 1.29	5.21	- 2.17	- 2.69	1.58
江浦	- 3.40	- 0.60	- 1.40	- 1.40	11.33
南京	- 0.62	0.58	2.88	- 0.42	- 4.02
江宁	- 1.85	3.45	1.45	- 1.85	- 2.01
溧水	- 11.57	- 1.37	11.23	4.73	- 5.04
高淳	- 4.31	1.39	2.29	- 0.81	2.39
平均值	- 3.84	1.44	2.38	- 0.41	0.71

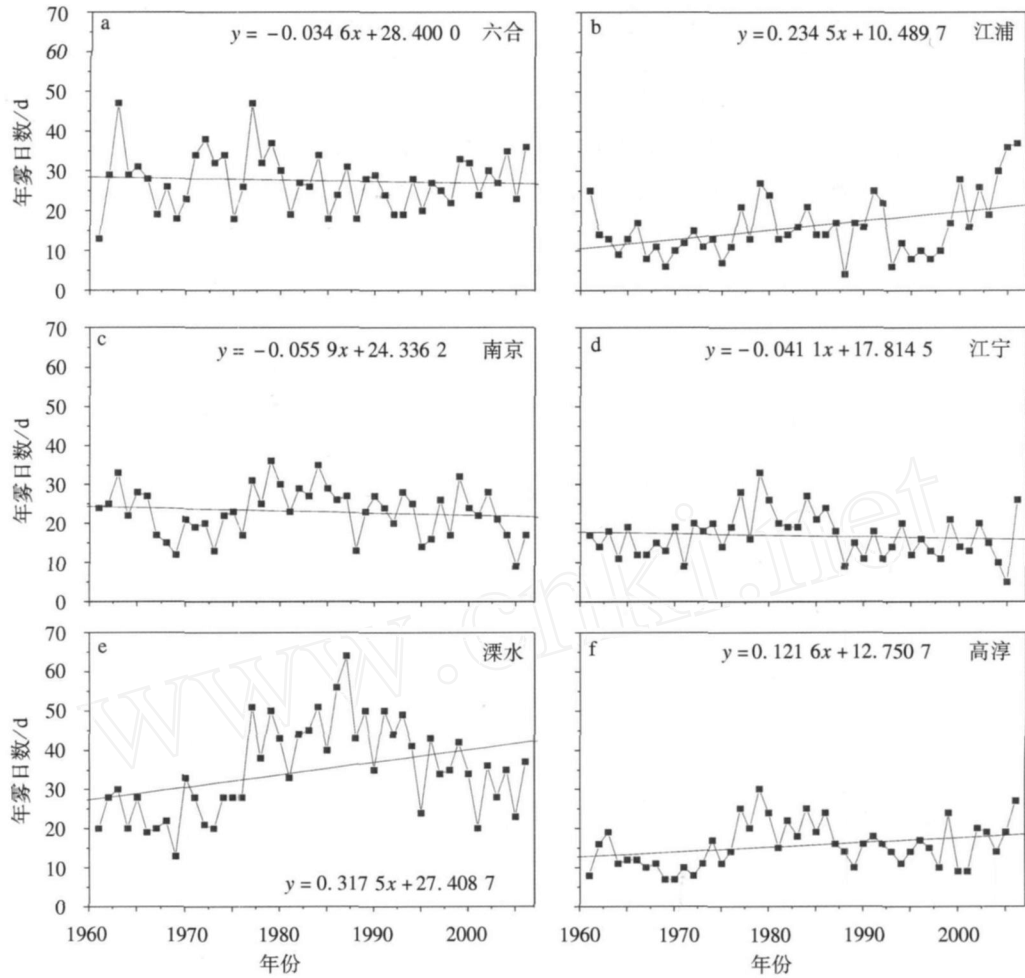


图 2 南京地区六合 (a)、江浦 (b)、南京 (c)、江宁 (d)、溧水 (e)和高淳 (f)各站年雾日数的变化趋势

Fig 2 Time-variations of annual fog days at (a)Luhe, (b)Jiangpu, (c)Nanjing, (d)Jiangning, (e)Lishui and (f)Gaochun stations in Nanjing

年浓雾、雾的变化趋势还需分析该 4 站 1980—2006 年各站雾日的线性回归方程。

由表 3 可见,各地按年均雾日数和浓雾日数的排序是一致的,均为溧水 >南京 >江浦 >高淳。4 站浓雾日数占总雾日的比重为 34.1% ~ 45.3%。

因为同一站点的年浓雾日少于年雾日,因此不能通过比较浓雾、雾的倾向值的数值来判定二者的

变化强弱,应该参照雾、浓雾的年相对倾向值(某站倾向值与对应的年均浓雾或雾日的比值)。从变化趋势来看,江浦、南京、溧水 3 站浓雾和雾的倾向值符号(即升降趋势)一致。溧水、南京 2 站浓雾日下降,溧水的浓雾日下降程度较雾日小,南京站浓雾下降程度比雾日剧烈;江浦站浓雾、雾日增加程度相当。高淳地区雾日是下降的,但浓雾日数却略有上

表 3 1980—2006 年南京、溧水、江浦、高淳 4 站雾、浓雾(能见度 0.5 km)年日数及趋势对比

Table 3 The annual fog days and dense fog days (visibility 0.5 km) and their tendencies at Nanjing, Lishui, Jiangpu and Gaochun from 1980 to 2006

观测站	浓雾			雾		
	年雾日 /d	拟合方程	年相对倾向值 /a ⁻¹	年雾日 /d	拟合方程	年相对倾向值 /a ⁻¹
江浦 58237	8.07	y = 0.2064X + 5.1852	0.026	17.78	y = 0.453x + 11.436	0.025
南京 58238	9.63	y = -0.2283X + 12.8262	-0.024	23.30	y = -0.3956x + 28.835	-0.017
溧水 58339	13.62	y = -0.09402X + 14.9459	-0.007	39.96	y = -0.7222x + 50.074	-0.018
高淳 58340	7.70	y = 0.09524X + 6.3704	0.012	17.00	y = -0.1117x + 18.564	-0.007

升。

由以上讨论可知,从 1961—2006 年,随着南京城市的发展,其雾日减少程度为 6 站之最,而且其浓雾下降趋势比雾更明显。近年来,大城市的雾日减少是普遍的观测特征。推测其原因,可能和全球变暖有关,也有可能是城市化带来的环境变化及城市热岛效应^[28],但要全面理解城市雾日减少的原因,可能需要进行专门理论研究和观测实验。

4 雾与日均气象要素的统计关系

在雾的日常业务预报中,除了要充分考虑大尺度环流背景和影响系统外,也要密切关注数值模式对当地温、压、湿、风等要素的预报^[29-30]。雾作为边界层特有的一种天气现象,其生消发展与边界层内各气象要素密切相关。但常规气象观测只包括固定时次的观测资料,并不具备雾出现或消散时温、压、湿、风等气象要素的实时观测值,所以本节仅给出雾日下各气象要素(温、压、风等)的日均值与雾发生频率之间的统计关系(以南京站为例,图 3),以期为雾的预报提供一定的参考依据。

南京地区最常见的雾是辐射雾(四季均可能出现,但以秋冬季居多),其次是平流雾(多发于春秋季节)。风对于这两种类型的雾所起的作用略有不同。辐射雾由辐射冷却作用成,一般出现在晴朗少云的夜间或凌晨。微风能起到扩散作用,把低层的水汽输送到适当高度,形成一定厚度的辐射雾;形成平流雾则要有暖湿空气向较冷的下垫面移动,因而风对平流雾也有促进作用。但风速过大使大气乱流加强,抑制雾形成和发展。一般 2~8 m/s 的风速,最适宜平流雾形成^[31]。就南京站而言(图 3a),当风速为 0.5~2.5 m/s 时,雾出现的频率较高,占总雾日的 74.2%。其中以风速 1.0~1.5 m/s 的子区间为最,其间雾发生的频率为 23.5%。这些数据验证了近地层弱风利于生雾的结论。

气压过低时,天气形势上可能表现为暖低压控制,或强烈的上升运动,不利于雾的形成;当气压过高时,可能为强冷空气过境,地面图上有强大的冷高压控制,也不利于雾形成^[32]。但秋冬季变性冷高压控制期间,近地面大气层结稳定,夜间冷却强烈,有利于辐射雾形成。南京站雾多发的气压为 1 011~1 027 hPa,占总雾日的 74.2% (图 3b)。

雾形成时对温度的要求并不严格,但仍存在一些规律。当温度过高时,不利于辐射冷却或者冷却不到水汽凝结的温度。统计结果表明(图 3c),南京

站雾日温度多集中在 0~26 之间,此区间外的雾很少。当日均温度大于 32 时就无雾出现;约 1.42% 的雾日下日均气温小于 0。值得注意的是,对雾生成起决定作用的是温度露点差,而非气温的绝对值。

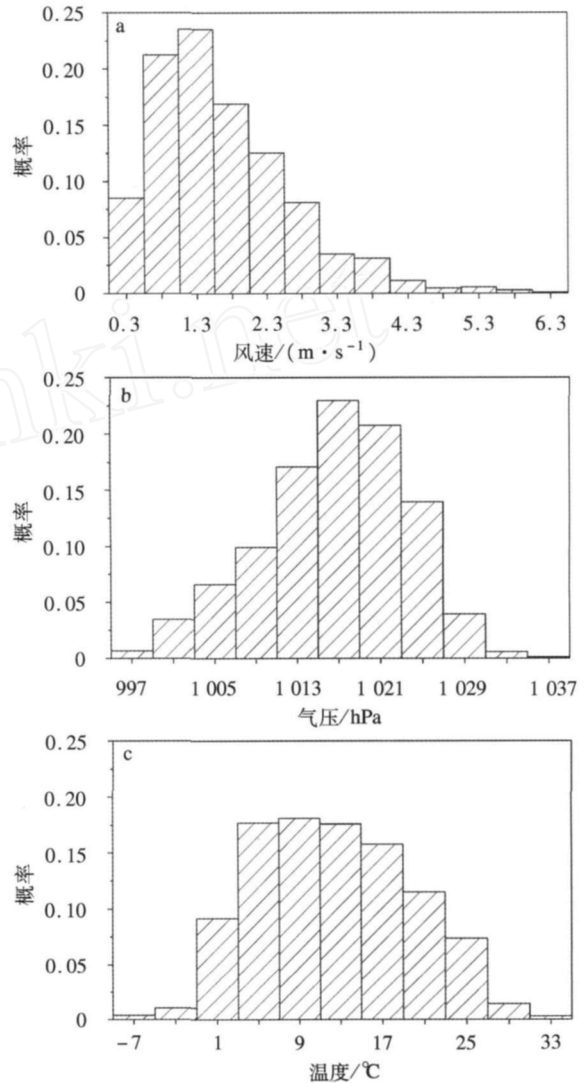


图 3 南京站发生雾的概率与各气象要素间的关系
a 风速; b 气压; d 温度

Fig 3 Relationships between the meteorological parameters and probabilities of fog occurrence at Nanjing station

a wind velocity; b pressure; c temperature

5 结论

(1)与地形和下垫面等特性的差别有关,南京地区各站雾日分布不均,有明显的地区差异。溧水、六合和南京比江浦、江宁和高淳更易出现雾天气,其中溧水雾日最多。6 站雾日秋冬季最多,春季次之,夏季最少。

(2)在南京地区,溧水、高淳和江浦 3 站年雾日表现出比较明显的上升趋势,而南京、江宁和六合 3 站略有下降。自 20 世纪 80 年代以来,溧水、南京站浓雾日数呈下降趋势,尤以南京站显著。高淳、江浦站浓雾日数上升。气候变暖和城市化导致的环境变化及城市热岛效应可能与城市雾的减少有关。

(3)日均风速 $0.5 \sim 2.5 \text{ m/s}$,日均气压 $1011 \sim 1027 \text{ hPa}$ 时出现雾的频率最高;当日均温度大于 32°C 时 6 站均无雾出现。

参考文献:

- [1] 周斌斌. 论雾与污染的关系 [J]. 气象, 1994, 20(9): 19-24.
- [2] Waldman J M, Munger J W, Jacob D J, et al. Chemical composition of acid fog [J]. Science, 1982, 218: 677-682.
- [3] Fisher E L, Caplan P. An experiment in the numerical prediction of fog and stratus [J]. J Atmos Sci, 1963, 20(5): 425-437.
- [4] Zdunkowski W G, Nielsen B E. A preliminary prediction analysis of radiation fog [J]. Pure Appl Geophys, 1969, 75(1): 268-299.
- [5] Roach W T, Brown R, Caughey S J, et al. The physics of radiation fog: A field study [J]. Quart J Roy Meteor Soc, 1976, 102(432): 313-333.
- [6] Brown B. A numerical study of radiation fog with explicit formulation of the microphysics [J]. Quart J Roy Meteor Soc, 1980, 106(450): 780-812.
- [7] 彭虎, 李子华. 包括详细微物理过程的一位辐射雾模式 [J]. 重庆环境科学, 1992, 14(3): 49-54.
- [8] 张利民, 李子华. 重庆雾的三位非定常数值模拟 [J]. 大气科学, 1993, 17(6): 750-755.
- [9] 吴洪. 北京地区大雾形成的分析和预报 [J]. 应用气象学报, 2000, 11(5): 124-127.
- [10] 赵玉广, 李江波, 康锡言. 用 PP 方法做河北省雾的分县预报 [J]. 气象, 2004, 30(6): 43-47.
- [11] 程戴晖, 杨美川. 上海浦西地区雾持续时间的统计释用预报 [J]. 气象, 2001, 27(7): 16-20.
- [12] 樊琦, 王安宇, 范绍佳, 等. 珠江三角洲地区一次辐射雾的数值模拟研究 [J]. 气象科学, 2004, 24(1): 1-8.
- [13] 李江波, 沈桐立, 侯瑞钦, 等. 华北平原一次大雾天气过程的数值模拟 [J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(6): 819-827.
- [14] 何金梅, 王冬梅, 李晓霞. 甘肃省高等级公路沿线大雾天气气候特征及其预报服务 [J]. 干旱气象, 2006, 24(1): 48-52.
- [15] 郭刚, 罗春田, 郭玲. 辽西地区区域性大雾气候统计特征及预报 [J]. 气象与环境学报, 2006, 22(3): 7-10.
- [16] 蒋大凯, 闵锦忠, 陈传雷, 等. 辽宁省区域性大雾预报研究 [J]. 气象科学, 2007, 27(5): 578-582.
- [17] 张军. 佛山市雾时年变化规律的统计分析 [J]. 气象科学, 1993, 13(4): 456-460.
- [18] 徐会明, 顾清源, 杨淑群, 等. 四川省大雾天气的气候特征 [J]. 四川气象, 2004, 24(3): 34-36.
- [19] 刘小宁, 张洪政, 李庆祥, 等. 我国大雾的气候特征及变化初步解释 [J]. 应用气象学报, 2005, 16(2): 220-229.
- [20] 陈传雷, 蒋大凯, 孔令军. 近 53 年辽宁雾的时空分布及成因分析 [J]. 气象与环境学报, 2006, 22(1): 21-24.
- [21] 王丽萍, 陈少勇, 董安详. 中国雾区的分布及其季节变化 [J]. 地理学报, 2005(4): 689-697.
- [22] 郭立平, 张素云. 冀中滨海平原大雾的形成特征及变化 [J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(3): 359-364.
- [23] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 37-42.
- [24] 周曾奎, 朱定真, 吴震, 等. 南京城市气候及其灾害性天气 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 1-43.
- [25] Hung R J, Liaw G S. Advection fog formation in a polluted atmosphere [J]. J Air Pollut Control Assoc, 1981, 31(1): 55-61.
- [26] Bott A. On the influence of the physico-chemical properties of aerosols on the life cycle of fog [J]. Bound-Layer Meteor, 1991, 56(1/2): 1-31.
- [27] 孙奕敏. 灾害性浓雾 [M]. 北京: 气象出版社, 1994: 6-10.
- [28] 徐祥德, 汤绪, 徐大海, 等. 城市化环境气象学引论 [M]. 北京: 气象出版社, 2002: 83.
- [29] 毛冬艳, 杨贵名. 华北平原雾发生的气象条件 [J]. 气象, 2006, 32(1): 78-83.
- [30] 李子华, 涂晓萍. 重庆市区冬季边界层气象要素的时空分布及与成雾的关系 [J]. 南京气象学院学报, 1993, 16(9): 329-333.
- [31] 贾金海, 张永红, 葛微衍. 渭南市大雾气候特征分析及影响对策 [J]. 陕西气象, 2005(3): 20-22.
- [32] 贺皓, 吕红, 徐虹. 陕西省大雾的气候特征 [J]. 高原气象, 2004, 23(3): 407-411.

(责任编辑:冯怀莹)