文章编号:1674-7070(2013)03-0229-07

九华山雾的时空分布特征及地形的影响作用

汪学军[1]

摘要

利用位于九华山不同海拔高度上测站和自动气象站的气象资料,对比分析雾的时空分布特征,探讨地形的影响作用. 结果表明:年平均雾日平地区为 19 d,低山区为 82 d,半山区为 145 d,高山区为 110 d,平地区雾日呈逐年增加的趋势,山区雾日呈逐年减少的趋势;平地区的雾主要出现在秋季和冬季,山区的雾多发生在春季和冬季;平地区雾日 10 月—次年 1 月出现频率较高一些,山区雾日的高值出现在 3 月,低值出现在 7 月,1—4 月山区雾的发生频率明显高于平地区;平地区和低山区最易生成雾的时间在 05—07 时,半山区和高山区在 04—08 时;平地区和低山区的雾主要在 08—10 时消散,半山区和高山区主要在 09—11 时;半山区雾的平均持续时间和最长持续时间均大于其他区域,高山区雾的最短持续时间仅有 0.2 h;未饱和湿空气随气流进入喇叭口后,受到上升运动的作用,气团抬升冷却,在喇叭口底部区域水汽达到饱和而形成雾;地形逆温的存在提供了稳定的层结条件,对雾的形成和维持起着重要作用;山区风场的辐合作用有利于雾的形成和维持.

关键词

雾;时空分布;地形作用;九华山

中图分类号 TN91

文献标志码 A

收稿日期 2012-05-21

资助项目 安徽省池州市科技社会发展项目(CZ201040)

作者简介

汪学军,高级工程师,从事区域小气候诊断分析和天气预报工作. jhsyz129@163.com

1 安徽省九华山气象管理处,九华山,242811

0 引言

雾是悬浮在近地面层空气中的大量微小的水滴或冰晶,由于雾粒对可见光的散射作用,使得雾中水平能见度显著减小[1]. 近年来,很多的气象工作者对雾的气候特征和成因进行了分析和研究,得出了不少有益的启示. 李子华等[2]通过分析大量的观测资料,揭示了重庆雾具有雾层厚、含水量小和雾滴多的特点,其生消特征反映了重庆地形和下垫面的复杂特性. 何立富等[3]从天气学方面深入研究大雾天气形成及动力、热力条件认为,对流层中低层暖性高压脊及地面变性冷高压稳定维持为持续性大雾过程提供了良好的背景条件,低层暖平流输入和边界层浅层抬升有利于大雾长时间维持. 梁军等[4]对大连地区大雾的环境场、热力和动力作用等进行诊断分析发现,中高纬度地区高空纬向暖干气流和对流层中下层西南暖湿气流,为大雾形成提供了有利的水汽和风场条件,低层大气稳定层结的建立及暖干空气与雾层的上下叠置,有利于大雾维持. 陈连友等[5]通过返查历史天气图,归纳秦皇岛地区雾的主要天气类型,并筛选出影响雾的主要天气要素,建立 MOS 预报方程,为大雾预报提供有利依据. 周翠芳等[6]对宁夏雾的时空分布特征和预报方法进行分析和研究,表明秋冬季是雾的多发季节,春末夏初是雾的少发季节,雾出现时,近地面层一般都有逆温存在. 熊秋芬等[7]、吕淑琳等[8]分别利用 NCEP 再分析资料及台站加密观测资料对华北平原的一次持续性大雾天气过程进行了研究,表明低层暖平流的输入和边界层的浅层抬升有利于大雾的长时间维持. 蒋大凯等[9]分析了辽宁省各种区域性大雾的成因及要素演变特征,从中提取预报指标,用 PP 法建立区域性大雾的客观预报方法. 石春娥等[10]利用复杂地形上的三维雾模式,模拟了重庆冬季雾的形成、发展和演变过程. 本文利用位于九华山不同海拔高度上测站和自动气象站的气象资料,分析雾的时空分布特征,探讨山地地形的影响作用,以期为进一步做好山区雾的预报以及服务提供帮助.

九华山是以悠久的佛教文化和绮丽的自然景观为特色的山岳型风景名胜区、国家地质公园和全国文明风景旅游区示范点. 九华山占地面积 120 km^2,位于我国东部季风区,属北亚热带湿润季风气候,受海拔高度和地形地势的影响,小区气候特征明显. 雾是九华山最为常见的天气现象之一,不仅发生频率大,而且持续时间长,其造成的恶

劣能见度对山区交通运输的危害非常严重. 为进一步提高雾的预报水平和服务能力,分析该地区雾的时空分布特征,探讨地形的影响作用十分必要.

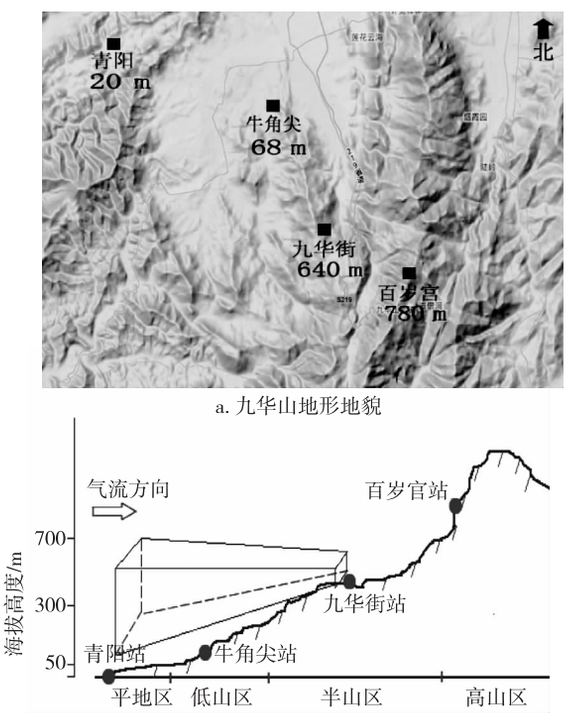
1 方法和资料

1.1 资料说明

利用1991—2010年位于九华山不同海拔高度上测站和自动气象站的气象资料. 文中以水平能见度小于1 km作为雾的判别标准[11],当测站在一个观测日内(当日20时—次日20时)的水平能见度满足该标准,则认为该测站所代表的区域当日出现雾,记为1个雾日. 季节划分:3—5月为春季,6—8月为夏季,9—11月为秋季,12月—次年2月为冬季.

1.2 区域划分

九华山地形中间隆起,由高山区向外围半山区、低山区、平地区依次逐级下降[12]. 由于海拔高度是引起山区雾分布差异的主要原因,故可以根据海拔高度的不同进行研究区域的分类[13]. 图1a所示为九华山地形地貌及站点分布. 图1b将九华山分为平地、低山、半山和高山4个区域,以便对比分析雾的时空分布特征,探讨地形的影响作用.



a. 九华山地形地貌

b. 各测站连线地形剖面及区域分类示意

图1 九华山地形地貌与沿各测站连线地形剖面及区域分类示意

Fig. 1 Landscape and topographic profile of observation stations at different altitudes of Mount Jiuhua

上述4个区域的范围为:1)平地区(海拔高度$H<50$ m),包括青阳、五溪镇、庙前镇等,以青阳站为代表;2)低山区($50\ \text{m}\leqslant H<300$ m),包括九华新区、桥庵村、甘露寺景区,以牛角尖站为代表;3)半山区($300\ \text{m}\leqslant H<700$ m),包括九华街区、凤凰松景区、闵园景区,以九华街站为代表;4)高山区($700\ \text{m}\leqslant H<1\ 400$ m),包括百岁宫景区、天台景区、花台景区,以百岁宫站为代表.

2 雾的空间分布

九华山主体山脉呈南北走向,西北低、东南高,地形起伏较大,整个山体由众多高度参差的高山、丘陵和外围平地组成,1 000 m以上的高峰10余座,最高峰十王峰1 348 m. 受海拔高度和地形地貌的影响,九华山雾的空间分布差异大,平地区年平均雾日仅为19 d,而半山区年平均雾日达到145 d. 总体来说,九华山山区雾日多于平地区,而又以半山区为最多,半山区和高山区是雾维持时间最长的区域.

3 雾的时间分布

3.1 年际变化

图2给出1991—2010年不同区域雾的年际变化. 年平均雾日平地区为19 d,低山区为82 d,半山区为145 d,高山区为110 d. 以半山区为山区的代表,分析雾日的年际变化趋势可知,平地区雾日呈逐年增加的趋势,而山区雾日呈逐年减少的趋势,特别是近10 a来,山区雾日减少的趋势比平地区雾日增加的趋势更加明显.

3.2 季、月变化

图3给出不同区域的四季平均雾日. 由图3可知:雾具有明显的季节性,平地区的雾主要出现在秋季(最多)和冬季(次多),春、夏季偏少;山区的雾多发生在春季和冬季,又以半山区春季和高山区冬季为最多. 图4给出不同区域雾的月际变化. 由图4可知:平地区雾日的月际变化不大,10月—次年1月出现频率较高一些,7月最少;山区雾日的月际变化较大,高值出现在3月,低值出现在7月,1—4月山区雾的发生频率明显高于平地区,以3月份表现最为明显. 从10月—次年2月,月平均雾日随海拔高度的变化不大,12月表现得最为明显,低山区、半山区和高山区的月平均雾日数非常接近,3—9月,月平均雾日随海拔高度的变化较大,如4月低山区为5 d,高山区为11 d,半山区达到14 d.

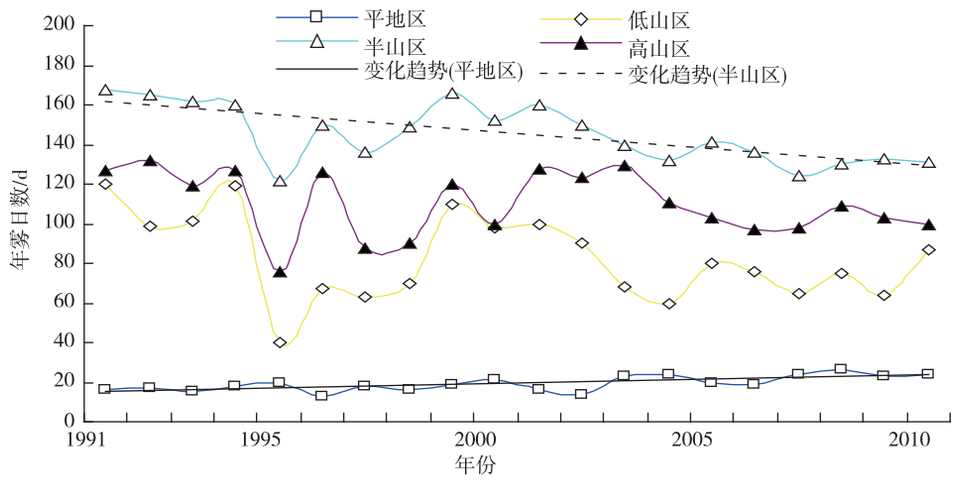


图 2　不同区域雾的年际变化

Fig. 2　Interannual variations of fog days at different altitudes

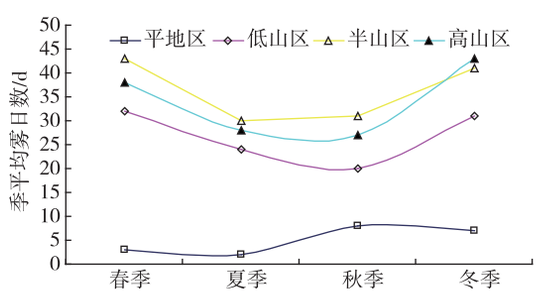


图 3　不同区域的四季平均雾日对比

Fig. 3　Inter-seasonal variations of fog days at different altitudes

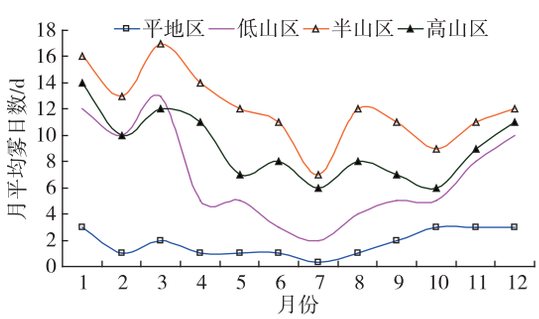


图 4　不同区域雾的月际变化

Fig. 4　Inter-monthly variations of fog days at different altitudes

3.3　日变化特征

根据地面气象观测记录,统计每一次雾天气过程的生成时间、消散时间和持续时长. 图 5 给出逐小时雾的生成次数占雾日总数的百分比. 由图 5 可见:平地区和低山区最易生成雾的时间在 05—07 时,分别占雾日总数的 73.0% 和 61.0%;半山区和高山区最易生成雾的时间在 04—08 时,分别占雾日总数的 56.0% 和 53.0%. 图 6 给出逐小时雾的消散次数占雾日总数的百分比. 由图 6 可知:平地区和低山区的雾主要在 08—10 时消散,分别占雾日总数的 89.0% 和 78.0%;半山区和高山区的雾主要在 09—11 时消散,分别占雾日总数的 72.0% 和 62.0%. 表 1 给出不同区域雾的持续时间. 由表 1 可知:半山区雾的平均持续时间最长,是平地区的 2 倍;半山区雾的最长持续时间达 7 d 之久,平地区不足 1 d;高山区雾的最短持续时间仅 0.2 h,而平地区和低山区均超过 1 h.

表 1　不同区域雾的持续时间

Table 1　Fog duration time for different latitudes

区域	持续时间/h		
	平均	最长	最短
平地区	3.1	18.2	1.2
低山区	3.9	25.2	1.1
半山区	6.5	169.4	0.3
高山区	5.8	76.1	0.2

4　地形的影响作用

4.1　喇叭口地形的影响作用

形成雾的水汽条件主要有 2 个,一是空气中的水汽要能够达到饱合,二是近地面层水汽充足. 空气中水汽的饱和程度通常用 850 和 700 hPa 的温度露点差表示,在这里不作分析. 本文主要探讨特殊的喇叭口(三面环山,一面开口的谷地)地形对近地面层水汽条件的影响.

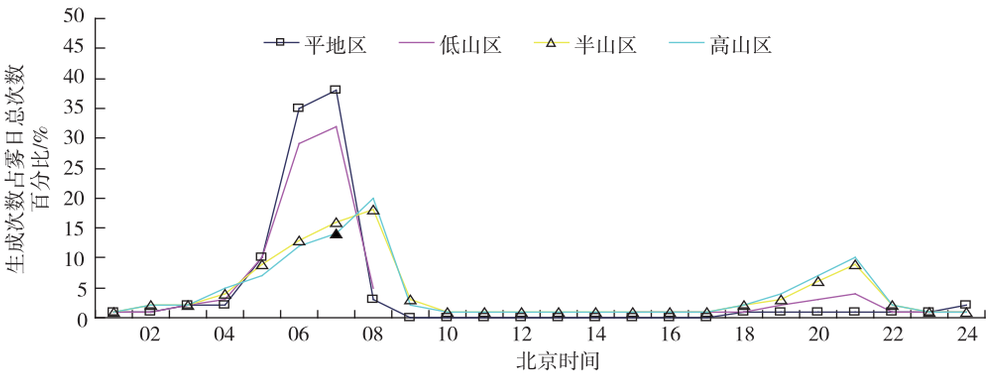


图 5　逐小时雾的生成次数占雾日总数的百分比

Fig. 5　Inter-hourly variations of fog formation time at different altitudes

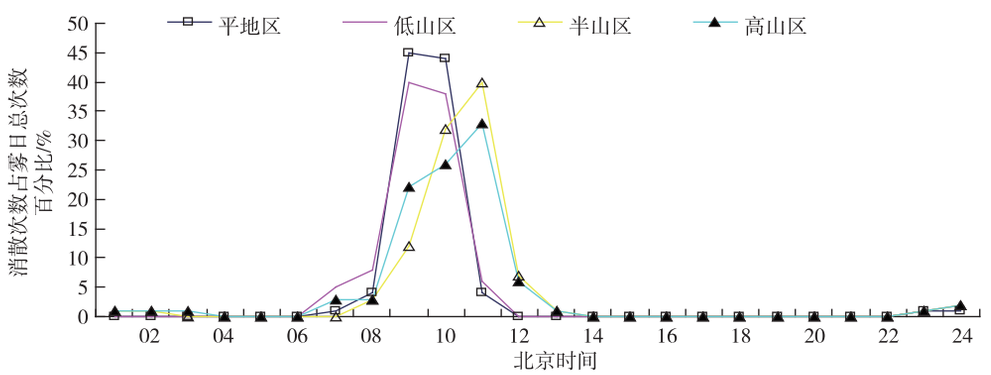


图 6　逐小时雾的消散次数占雾日总数的百分比

Fig. 6　Inter-hourly variations of fog dissipation time at different altitudes

如图 1 所示，青阳站区域为东北至西南向宽约 3 ~ 4 km 的喇叭口地带，九华街处于喇叭口底部，为直径约 1 km 的盆地，当气流朝喇叭口流进时，地形的收缩引起辐合上升运动，其上升速度可用下式表达[14]：

$$\omega = \overline{U}(\mathrm{tg}\, x + 2m\Delta Z), \qquad (1)$$

式(1)中，$\overline{U}$ 为喇叭口进口处的平均风速，其中 m 为阻碍系数(山地地表 $m>0$)，x 为近地面层风向与喇叭口开口方向夹角，ΔZ 为高度差. 由此可见，当喇叭口外的未饱和湿空气随气流进入喇叭口后，受到上升运动的作用，气团被抬升冷却.

为了揭示气团被抬升冷却引起湿度条件改变对雾的影响作用. 本文选取九华街站观测的 2010 年秋冬季 4 个无伴随降水或沙尘天气影响，风向为西北风、风速小于 3 m/s 雾的天气过程进行分析，这 4 次过程时间分别为 2 月 5 日 11:22—14:23、9 月 18 日 08:41—10:20、10 月 20 日 09:25—15:05 和 11 月 16 日 09:40—15:54. 图 7a 给出雾天气过程起始时间喇叭口内各测站的相对湿度值. 由图 7a 可见，青阳站(喇叭口)的相对湿度不到 85%，未饱和的湿空气在西北气流引导下进入喇叭口后，受到地形收缩作用，随海拔高度上升，相对湿度逐渐增大，越接近九华街站(喇叭口底部)，增加幅度越大，当相对湿度达 95% 左右时，形成雾. 图 7b 给出 4 次雾的天气过程开始前 20 min、开始前 10 min、雾开始及后 10 min 时喇叭口底部(九华街站)相对湿度值. 由图 7b 可见，在雾开始前 20 min 起相对湿度开始增大，特别是成雾前 10 min 至成雾时表现更明显，雾开始以后相对湿度继续缓慢上升，并保持在 96% 以上.

4.2　地形逆温是形成雾的重要条件之一

山区雾的出现频率和受影响的程度明显大于平地区，尤其在半山区和高山区表现得更为突出，这是由于地形逆温的存在为雾的形成和维持提供了有利的条件. 地形逆温是由于山坡上的冷空气沿山坡下沉到谷底，谷底原来的较暖空气被冷空气抬挤上升，从而出现温度的倒置现象. 地形逆温的存在给雾的形成提供了稳定的层结条件，对雾的形成和维持起

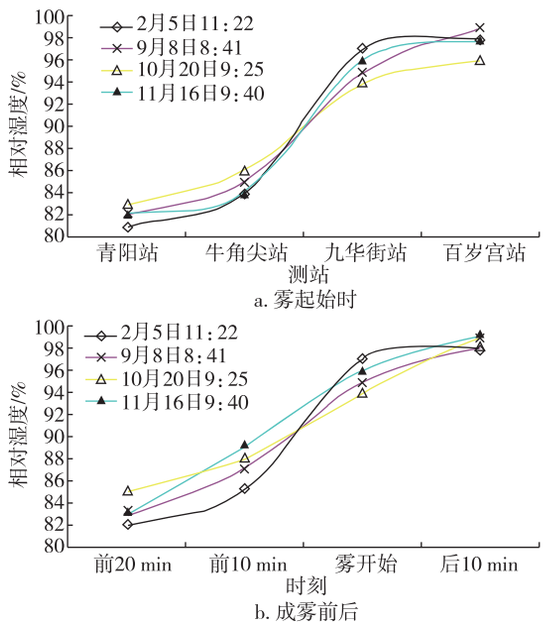


图 7　雾起始时喇叭口内各测站的相对湿度和成雾前后喇叭口底部相对湿度变化

Fig. 7　Relative humidity in funnel-shaped area before fog and near the fog formation

着重要作用. 本文以 08 时 $\Delta T = T_{百岁宫站} - T_{九华街站}$ 为判定近地面逆温层的一个指标,当 $\Delta T \geqslant 0$ 时,说明近地面层有逆温层存在. 表 2 显示,83.9% 的雾日有近地面逆温层存在,并且雾日数与逆温强度是呈正相关的. 郑玉萍等[15]对乌鲁木齐冬季雾日和逆温日进行了统计分析,指出冬季强逆温是形成雾的重要条件之一,并且雾日数与逆温日数及逆温层温差值之间呈正相关,这与本文所得出的结论也是一致的.

表 2　雾日数与近地面层逆温情况

Table 2　Number of fog days and the temperature inversion near ground layer

逆温差/℃	雾日数/d	百分比/%	逆温情况
<0	105	16.1	无逆温
≥0, <2	144	22.0	较明显逆温
≥2, <4	189	28.9	明显逆温
≥4	216	33.0	强逆温
合计	654	100.0	

4.3　近地面层风的作用对雾形成的贡献

九华山层林叠障,超过 1 000 m 的山峰就有 10 余座,地形起伏大,地面摩擦力大,环境风在进入山地后往往会发生改变. 以周边地区环境风代表地转风 V_g,山地实际风 V 与环境风有交角形成地转偏差 D,摩擦层中的地转偏差可用下式表达:

$$D = V - V_g = \frac{1}{f}K \times F, \tag{2}$$

由式(2)可知,地面摩擦力 F 作用的结果引起山地风向与环境风的差异,即风场发生改变. 因此,当气流经过山区下垫面时,由于山区地形起伏大,湍流交换强,能产生较大的摩擦力,使得实际风总是偏离地转风,形成风场的辐合[16].

为了揭示山区风场变化对雾的影响作用,本文选取 2010 年 10 月 20 日雾的天气过程(起止时间为 09:54—10:50,未伴随降水或沙尘天气)分析风场变化与雾的过程之间的联系. 图 8 给出青阳、牛角尖、九华街、百岁宫 4 站 2010 年 10 月 20 日 09:00—11:00 逐 10 min 平均风向风速. 由图 8 可见,平地青阳站风向风速(环境风)变化与山区 3 站(山区风场)相比明显不同,该站在雾过程中维持西北风,09:20 后,山区 3 站风速很小,但出现了明显的辐合,在湿度条件配合下,九华街站 09:54 出现雾,10:30 山区风场辐合状态被破坏,雾趋于消散.

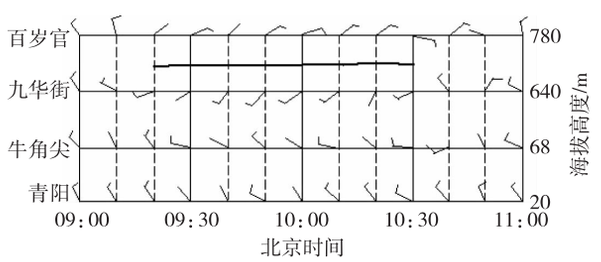


图 8　2010 年 10 月 20 日 09—11 时各站逐 10 min 平均风向风速

Fig. 8　Average 10 minute wind directions and wind speeds at different altitudes during 09:00—11:00 of October 20,2010

5　结论

利用位于九华山不同海拔高度上测站和自动气象站的气象资料,分析雾的时空分布特征,探讨山地地形的影响作用,得到如下几点结论:

1) 由于海拔高度和地形地貌的不同,雾的时空分布的差异很大,年平均雾日平地区为 19 d,低山区为 82 d,半山区为 145 d,高山区为 110 d,半山区和高山区是雾维持时间最长的区域.

2) 平地区雾日呈逐年增加的趋势,山区雾日呈逐年减少的趋势,特别是近 10 a 来,山区雾日减少的趋势比平地区雾日增加的趋势更加明显.

3) 平地区的雾主要出现在秋季和冬季,山区的

雾多发生在春季和冬季. 平地区雾日 10 月—次年 1 月出现频率较高一些,7 月最少;山区雾日的高值出现在 3 月,低值出现在 7 月;1—4 月山区雾的发生频率明显高于平地区,从 10 月—次年的 2 月,月平均雾日随海拔高度的变化不大,而从 3—9 月,月平均雾日随海拔高度的变化较大.

4) 平地区和低山区最易生成雾的时间在 05—07 时,半山区和高山区最易生成雾的时间在 04—08 时;平地区和低山区的雾主要在 08—10 时消散,半山区和高山区的雾主要在 09—11 时消散;半山区雾的平均持续时间最长,半山区雾的最长持续时间达 7 d 之久,平地区不足 1 d,高山区雾的最短持续时间仅有 0.2 h,而平地区和低山区均超过 1 h.

5) 当喇叭口外的未饱和湿空气随气流进入喇叭口后,受到上升运动的作用,气团抬升冷却,在喇叭口底部区域(半山区)水汽达到饱和而形成雾;地形逆温的存在提供了稳定的层结条件,对雾的形成和维持起着重要作用;山区风场的辐合作用有利于雾的形成和维持,山区风场辐合状态被破坏,雾趋于消散.

参考文献
References

[1] 邬平生. 气象学[M]. 北京:农业出版社,1979:179
WU Pingsheng. Meteorology[M]. Beijing:China Agriculture Press,1979:179

[2] 李子华,张利民,楼小凤. 重庆市区冬季雾的宏微观结构及其物理成因[J]. 南京气象学院学报,1993,16(1):48-54
LI Zihua,ZHANG Limin,LOU Xiaofeng. The macro-and micro-structure of winter fog in the Chongqing urban district and the physical cause of its formation [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology,1993,16(1):48-54

[3] 何立富,李峰,李泽椿. 华北平原一次持续性大雾过程的动力和热力特征[J]. 应用气象学报,2006,17(2):160-168
HE Lifu,LI Feng,LI Zechun. Dynamic and thermal features of a sustained heavy fog event in Huabei Plain[J]. Journal of Applied Meteorological Sciences, 2006, 17(2):160-168

[4] 梁军,张胜军,隋洪起,等. 大连地区大雾特征[J]. 应用气象学报,2009,20(1):28-35
LIANG Jun,ZHANG Shengjun,SUI Hongqi,et al. Characteristics of heavy fog in Dalian[J]. Journal of Applied Meteorological Sciences,2009,20(1):28-35

[5] 陈连友,李月英,曹秀芝,等. 秦皇岛地区雾天气气候特征及预报[J]. 气象,2009,35(12):126-132
CHEN Lianyou, LI Yueying, CAO Xiuzhi, et al. The weather and climatic characteristics of dense fog and its forecast in Qinhuangdao area[J]. Meteorological Monthly,2009,35(12):126-132

[6] 周翠芳,陈楠,张广平,等. 宁夏雾的时空分布特征及预报方法研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(30):11074-11078
ZHOU Cuifang, CHEN Nan, ZHANG Guangping, et al. Temporal and spatial distribution characteristic and forecast methods research of fog in Ningxia [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2010,38(30):11074-11078

[7] 熊秋芬,江亓军,王强. 北京一次浓雾过程的边界层结构及成因探讨[J]. 气象科技,2007,35(6):781-786
XIONG Qiufen,JIANG Qijun,WANG Qiang. Analysis of ABL structure and formation causes for a heavy fog event in Beijing[J]. Meteorological Science and Technology, 2007,35(6):781-786

[8] 吕淑琳,张敏,张晓平. 华北地区一次连续大雾的诊断分析[J]. 气象科技,2008,36(4):425-428
LÜ Shulin,ZHANG Min,ZHANG Xiaoping. Diagnostical analysis of a continuative fog event in North China [J]. Meteorological Science and Technology, 2008, 36(4):425-428

[9] 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):578-583
JIANG Dakai,MIN Jinzhong,CHEN Chuanlei,et al. The forecast research about the regional heavy fog in Liaoning province [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2007, 27(5):578-583

[10] 石春娥,杨军,孙学金,等. 重庆雾的三维数值模拟[J]. 南京气象学院学报,1997,20(3):308-317
SHI Chune, YANG Jun, SUN Xuejin, et al. 3D model study on fog for complicated terrain [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology,1997,20(3):308-317

[11] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京:气象出版社,2003:23
China Meteorological Administration. Specifications for surface meteorological observation [M]. Beijing: China Meteorological Press,2003:23

[12] 谢澎田,叶可信,焦得水,等. 九华山志[M]. 合肥:安徽黄山书社,1990:4-5
XIE Shutian, YE Kexin, JIAO Deshui, et al. Annals of Mount Jiuhua [M]. Hefei:Anhui Mount Huangshan Publishing House,1990:4-5

[13] 刘健,周健山,郭军,等. 湖北恩施山区雾的气候特征与成因分析[J]. 暴雨灾害,2010,29(4):370-376
LIU Jian, ZHOU Jianshan, GUO Jun, et al. Analysis of the climatic characters and origin of mountain fog in Enshi [J]. Torrential Rain and Disasters, 2010, 29(4):370-376

[14] 刘引鸽. 地形对对流天气和暴雨的作用[J]. 宝鸡文理学院学报:自然科学版,1995,33(3):68-71
LIU Yinge. The action of terrain on convective weather and torrential rain [J]. Journal of Baoji College of Arts and Science: Natural Science Edition, 1995, 33(3):68-71

[15] 郑玉萍,李景林,刘增强,等. 乌鲁木齐冬季大雾与低空逆温的关系[J]. 沙漠与绿洲气象,2007,1(3):21-25
ZHENG Yuping,LI Jinglin,LIU Zengqiang,et al. The relation between heavy fog and low temperature inversion in

winter in Urumqi[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2007,1(3):21-25
[16] 丁仁海,王龙学. 九华山暴雨地形增幅作用的观测分析[J]. 暴雨灾害,2009,28(4):377-381
DING Renhai,WANG Longxue. Observational analysis of topographical effect on heavy rainfall in Jiuhua mountain [J]. Torrential Rain and Disasters, 2009, 28(4): 377-381

Spatiotemporal distribution characteristic of and topographic effect on Mount Jiuhua fog

WANG Xuejun[1]
1 Jiuhua Mountain Meteorological Agency of Anhui Province, Mount Jiuhua 242811

Abstract Meteorological data from automatic observation stations at different altitudes of Mount Jiuhua are used to analyze and compare the temporal and spatial distribution characteristics of fog, and the topographic effect as well. The results show that the average annual fog days are 19, 82, 145, 110 days for flat land, low level, middle level and high level mountain areas, respectively, with increasing trends in flat land and decreasing trends in mountain areas. The temporal distribution of fog shows different characteristics in flat land and mountain areas. In flat land, fog occurred mainly in autumn and winter with peak value in October to January of next year, while in mountain areas, fog occurred mainly in spring and winter with peak value in March and low value in July. Fog mostly formed during 05:00—07:00 and disappeared during 08:00—10:00 in flat land and low level mountain area, while formed during 04:00—08:00 and disappeared during 09:00—11:00 in middle and high level mountain areas. The average and maximum fog lasting time is longer in middle level mountain area than it in other areas, and the shortest fog lasting time appeared to be 0.2 hour in high level mountain area. In the Mount Jiuhua, unsaturated air flows into the funnel-shaped area and cools down in ascending process, then the water vapor will reach saturation and the fog is formed thereby. Topographic temperature inversion provides stable stratification conditions, thus is significant for fog formation and duration. Convergence of wind field in mountain area also favors the fog formation and duration.

Key words fog; temporal and spatial distribution; effect of topography; mount Jiuhua