

文章编号: 2096-1618(2021)02-0223-07

重庆南川区雾气候特征及天气成因分析

任照环¹, 许伟¹, 余蜀豫¹, 黄玉叶²

(1. 重庆市防雷中心, 重庆 401147; 2. 重庆市南川区气象局, 重庆 南川 408400)

摘要:为深入了解南川区雾的气候特征及天气成因,利用1957–2017年常规气象资料分析南川区雾的气候特征及影响因子。利用NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的FNL资料,采用合成分析方法,对典型的锋面雾和辐射雾的天气成因进行分析。研究结果表明:(1)南川区雾日气候平均值为41.6 d/a,20世纪70年代处于少雾期,80–90年代雾日快速增长,进入21世纪初雾日有所回落;(2)雾过程的发生次数随着持续天数的增加呈幂函数形式减少,连续5 d及以上的雾过程占总数的4.8%;(3)雾日数与混合层厚度及平均、最低、最高气温呈负相关;温度露点差低于 0.5°C 、风速介于 $2\sim 3\text{ m/s}$ 、大气稳定度为中性及较稳定是雾出现的最有利条件;(4)辐射雾发生时,重庆位于500 hPa天气图的槽后脊前,高空受干冷的西北气流控制,地面上高压控制中东部地区,重庆位于均压场之中;锋面雾发生时,500 hPa青藏高原北部有一横槽正在发展,亚洲中纬度地区环流经向梯度较强,青藏高原南部有短波槽活动,地面上高压中心位于蒙古国境内,锋面位于重庆至湖南一带;(5)锋面雾相对湿度场特征为湿层深厚,且中高空有明显的逆湿现象,辐射雾则表现为上干下湿;辐射雾发生时低层有等温层。

关键词:气象学;气候变化;南川;雾;气候特征;合成分析

中图分类号:P426.4

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2021.02.015

0 引言

雾是一种常见的低能见度天气现象,对交通、电力、通信等领域有严重危害,同时雾滴容易吸附有毒气体、颗粒物、细菌等,人体吸入后会损害身体健康。因此,开展雾的特征和成因研究,对雾的预报及灾害管理都有十分重要意义。近年,关于中国雾时空特征的研究很多,王丽萍等^[1]指出中国主要有6个雾区:天山及新疆北部、甘肃东部—陕西一带、云南贵州一带、淮河流域、长江中游、东南沿海地区;孙彧等^[2]、刘小宁等^[3]研究了中国大范围雾的气候变化及特征,都发现中国大雾日数呈现东南部多、西北部少的分布特征;吴兑等^[4]发现西南地区是中国雾日的中心之一,四川盆地年平均雾日有20多天,轻雾日数则在100天以上;韩余等^[5]统计发现重庆雾日呈西多东少的分布形势;白莹莹等^[6]则指出随着全球气候变化,川渝一带雾日有明显的下降趋势。此外,不少学者也对雾的成因进行了分析,王丽萍等^[1]统计发现雾日的变化与相对湿度及温度的变化存在一定的关系;白莹莹等^[6]发现四川、重庆一带雾与风速的变化趋势较为一致,与相对湿度呈正相关;毛冬艳等^[7]统计了华北地区雾发生时气象要素的变化,发现雾的形成与地面水平风速、相对湿

度、温度露点差、地面气温以及大气层结状态等气象要素显著相关;余庆平等^[8]发现高空风场、低层相对湿度、海平面气压场的变化都影响着大雾天气的生消;欧映瑜等^[9]用微波辐射计资料分析了昆明辐射雾和锋面雾发生时的温湿度垂直变化,发现近地面逆温层的生消辐射雾发生发展消亡的过程吻合。

南川区位于重庆南部,与贵州相邻,是渝南黔北的重要交通门户,对南川地区大雾天气进行研究,对于南川交通安全、公众健康都有重要意义。因此,系统地统计分析了南川区雾的气候特征及与气温、相对湿度、风速、温度露点差、混合层厚度、大气稳定度的关系,并筛选具有代表性的锋面雾和辐射雾个例,利用合成分析方法,对环流形势和温、湿度垂直结构进行分析,比较异同点,分析雾的天气成因,希望为大雾天气的预警预报及其影响评估提供基础。

1 资料和方法

根据《地面气象观测规范》(2003年版)^[10]对雾的定义:“雾是指大量微小水滴浮游空中,常呈乳白色,使水平能见度小于1.0 km的天气现象”。

常规气象资料来源于重庆市气象资料共享平台,相对湿度、气温、风速等常规气象资料时间为1957–2017年,能见度、雾观测资料时间为1973–2017年,云量观测资料时间为1973–2013年。合成分析用到

收稿日期:2020-03-30

基金项目:重庆市气象局青年基金资助项目(QNJJ-201507);重庆市气象局智慧气象技术创新团队资助项目(ZHCXTD-201821)

1°×1°NCEP/NCAR 的 FNL 资料,来源于美国国家大气研究中心 (NCAR) 官网 (<https://rda.ucar.edu/>)。

合成分析^[11]是气象学分析与预报中经常使用的方法,它是将某两种不同特征或者状态的气象变量进行合成,也就是求不同状态下的某气象要素的平均值,比较有无明显差异。

混合层厚度计算采用国家标准《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/T3840-1991) 中附录 E 规定的方法^[12]。

大气稳定度等级的划分使用帕斯奎尔 (Pasquill) 稳定度分类法,分强不稳定、不稳定、弱不稳定、中性、较稳定和稳定六级,分别由 A、B、C、D、E 和 F 表示。具体计算方法见文献[12]附录 B。

辐射雾、锋面雾的选取标准参考文献[5],锋面雾定义为雾出现前后 6 h 有锋面降水发生,而无降水发生的雾则归为辐射雾。

2 结果分析

2.1 气候变化特征

2.1.1 长期变化趋势

图 1 为 1973–2017 年南川区雾日的年际变化曲线。南川区雾日的气候平均值 (1981–2010 年) 为 41.6 d,雾日最多为 2014 年,共 215 d,雾日最少为 2012 年,共 5 d。从雾日十年平均值来看,20 世纪 70 年代雾日较少 (平均 28 d/a),之后 80–90 年代雾日快速攀升 (80 年代平均 39.1 d/a, 90 年代平均 51.6 d/a); 21 世纪头 10 年,雾日有所回落 (平均 34.2 d/a)。

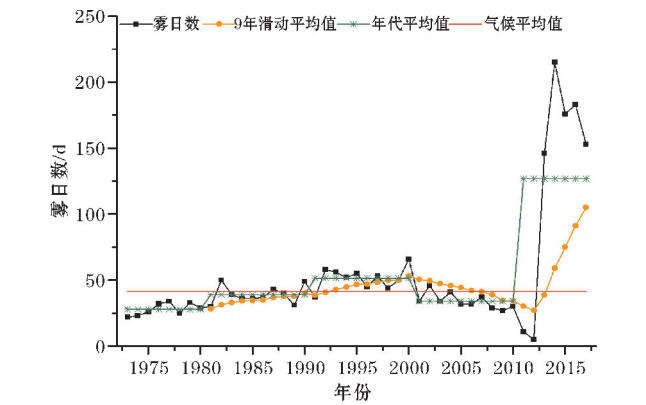


图 1 南川区 1973–2017 年雾日的年际变化图

从 2013 年开始,雾日急剧上升,2013 年 146 d, 2014 年 215 d, 2015 年 176 d, 2016 年 183 d, 2017 年 153 d。这是因为从 2013 年开始南川国家气象站从城

区搬迁至城外山上,海拔上升 139.3 m。站点的搬迁影响了资料的连续性,对于雾这种局地性很强的天气现象影响更大。

2.1.2 季节变化特征

从表 1 可见,南川一年四季都有雾发生,但季节差异大。冬季雾日最多,占总数的 32.5%;秋季略低,占总数的 29.7%;再次为春季,占总数的 21.7%;夏季所占比例最低,占总数的 16.2%。

表 1 南川区四季平均雾日及所占百分比

季节	雾日/d	所占百分比/%
春季(3–5 月)	11.4	21.7
夏季(6–8 月)	8.5	16.2
秋季(9–11 月)	15.6	29.7
冬季(12–2 月)	17.1	32.5

从图 2 可见,南川区各月雾日差异也很大,全年基本呈单谷型分布。雾日最低值出现在 7 月,平均 2.2 d,随后雾日迅速上升,10 月后雾日维持在一个较高的水平,且在冬季 12 月出现最多,平均 7.2 d。其中,10 月至次年 1 月,是全年中雾日最多的时间段,月平均雾日为 6.2 d,4 个月合计占全年雾日的 47.3%。

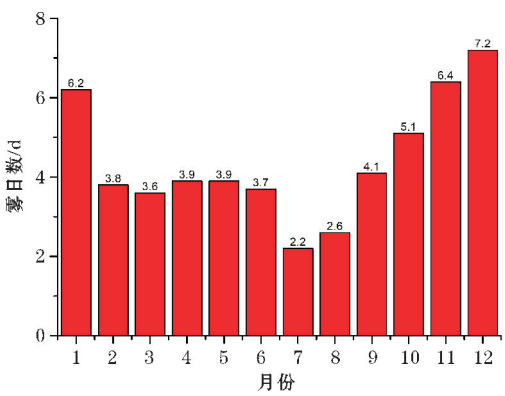


图 2 1973–2017 年南川区雾日的逐月分布

2.1.3 雾天气过程持续日数变化趋势

对 1973–2017 年南川区雾日进行统计,将连续的雾日记为一次雾天气过程,共统计到雾天气过程 1387 次。持续天数为 1 天的雾天气过程有 926 次,占总次数的 66.8%;持续 2 天的雾天气过程共 261 次,占总次数的 18.8%。持续 1~4 d 的雾天气过程共 1320 次,占总次数的 95.2%;持续 5 d 及以上的雾天气过程共 67 次,占总次数的 4.8%;从图 3 可以看出,随着持续天数的增加,雾天气过程出现的次数呈幂函数递减,拟合函数的 R^2 为 0.998。持续天数最多的雾天气过程有 21 d,发生在 2015 年 9 月 22–10 月 12 日;其次是 18 d,发生在 2017 年 6 月 12–28 日。

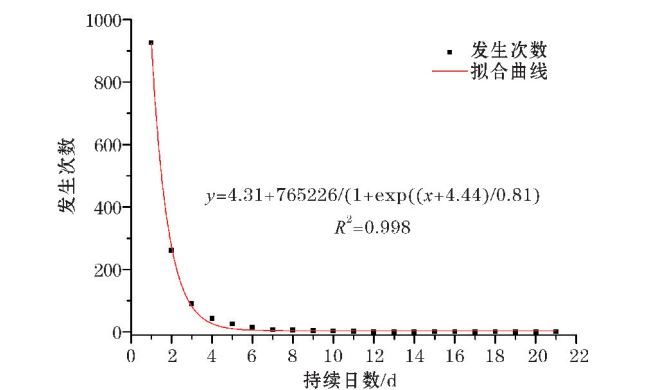


图3 1973–2017 年南川区雾持续日数分布图

持续 5 d 及以上的雾天气过程在一年四季均有出现,但在冬季次数最多,共出现 26 次,其次是秋季,共出现 19 次(表 2)。虽然连续 5 d 及以上的雾天气过程只有 4.8%,但雾持续天数越多,对社会公众健康、城市空气质量及交通等各方面的负面影响越严重,因此这类持续性雾很值得关注。

表 2 持续 5 d 及以上雾次数季节分布

季节	次数
春季	12
夏季	10
秋季	19
冬季	26

2.2 气象要素特征及其影响

2.2.1 气温

按日序对雾日和平均、最低、最高气温多年平均值进行统计(图 4),逐日发生雾现象日数呈单谷型分布,这与按日序统计的平均、最高及最低气温的多年平均值变化曲线呈对称分布,波峰及波谷正好相反。雾日数与平均、最低及最高气温呈负相关,Spearman 相关系数为-0.69、-0.65及-0.62,均通过了 0.01 的显著性水平检验。

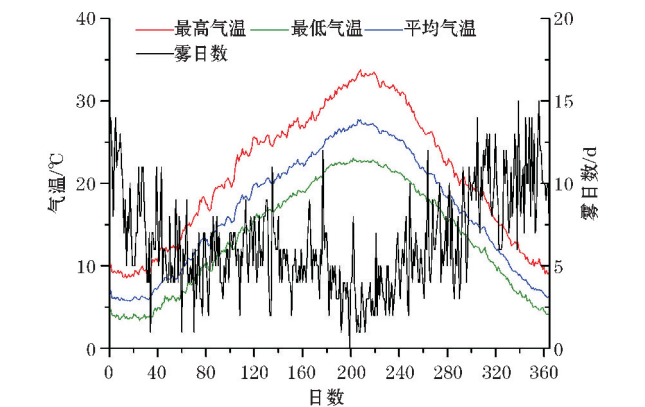


图 4 1973–2017 年南川区逐日发生雾日数累计值和最低、最高、平均气温多年平均值分布图

2.2.2 风速

风速对雾的形成影响非常大,风力太强会导致空气中湍流很强,对雾的形成有负面影响;风力太弱又缺乏足够的能量将空气下层的水汽运送至中高层,不利于形成足够厚度的雾,只能形成浅雾或者露、霜;而合适风力强度既能保证空气中水汽的运送,又不至于使湍流太强,从而有助于雾的生成。如图 5 所示,风速为 2~3 m/s 时,雾天气形成概率最高,为 23.9%,随着风速增大或减小,出现雾天气的概率随之减小。

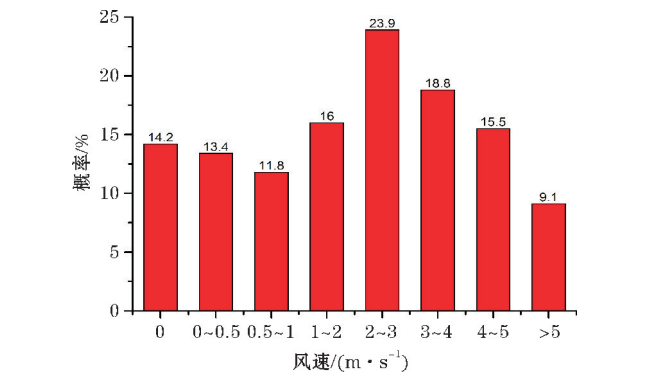


图 5 1973–2017 年南川区各风速段雾出现概率

2.2.3 温度露点差

当空气中的温度在一定条件下降低到接近露点温度时空气接近饱和或准饱和,空气中的水汽就要凝结,在地面附近形成雾。由图 6 可见,当温度露点差小于 0.5℃ 时,发生雾的概率为 30.7%,随着温度露点差的增大,发生雾的概率逐渐减小,当温度露点差大于 5℃ 时,发生雾天气的概率只有 5.1%。

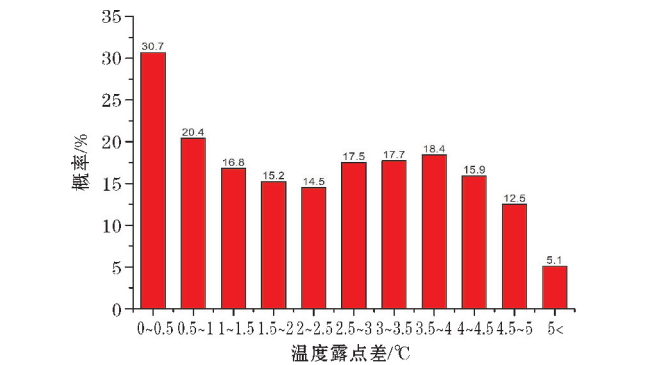


图 6 1973–2017 年南川区各温度露点差段雾出现概率

2.3 混合层厚度及大气稳定度特征及其影响

2.3.1 混合层厚度

混合层因其较强的垂直混合使位温、水汽等要素随着高度均匀混合而得名^[13],混合层厚度越大,扩散条件越好,越不利于形成雾^[14]。南川区多年平均混合层厚度为 361 m,其中夏季混合层厚度平均 448 m,春

季平均403 m,秋季平均319 m,冬季平均269 m。图 7 按日序对混合层厚度及雾日数进行统计,可见混合层厚度与雾日曲线成对称关系,波峰波谷正好相反。按日序统计的混合层厚度与雾日数呈负相关,Spearman 相关系数为-0.652,通过了0.01的显著性检验。

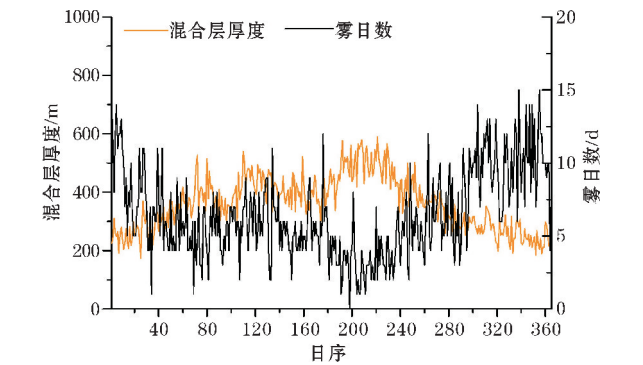


图 7 1973–2013 年南川区按逐日发生雾日数
累计值和混合层厚度多年平均值分布图

2.3.2 大气稳定度

由表 3 可见南川大气稳定度以中性为主,占总日数的 86%。强不稳定和稳定日数为 0,这可能与统计时的取值有关,例如风速为1 m/s、太阳辐射等级为 2 级时,大气稳定度可以取 A 或者 B,而文中取了 B。从各大气稳定度等级与雾的关系来看,中性及较稳定大气发生雾的概率较高,在 12% 左右,不稳定大气发生雾的比例较低。

表 3 大气稳定度等级及雾发生概率			
稳定度等级	雾发生日数/d	总日数/d	雾发生比例/%
强不稳定	0	0	0
不稳定	42	1692	2.5
弱不稳定	0	48	0
中性	1542	12803	12
较稳定	51	402	12.6
稳定	0	0	0

2.4 气象条件合成分析

重庆雾主要有两类^[16],一类是由于辐射冷却的作用使地面气层水汽凝结而形成的辐射雾,此类雾约占 73.7%;另一类是锋面雾,发生在锋面附近,伴有降水出现,因此又常被天气预报员称为雨雾,此类雾约占 26.3%。分别选取发生在南川的 10 个锋面雾天气个例和 10 个辐射雾天气个例(表 4),使用 NCEP 的 1°×1°的 FNL 资料,采用合成分析方法,对环流形势和温、湿度垂直结构进行分析,比较异同点,分析雾的天气成因。

表 4 南川区典型辐射雾和锋面雾个例		
日期		日期
2014/01/07		2014/01/14
2014/12/15		2014/12/29
2015/03/21		2015/01/13
2015/12/29		2015/11/02
锋面雾	2016/01/07	辐射雾 2016/01/03
	2016/12/20	辐射雾 2016/12/08
	2017/11/30	辐射雾 2017/12/30
	2017/03/30	辐射雾 2017/12/31
	2018/03/13	辐射雾 2018/12/17
	2018/11/05	辐射雾 2018/12/20

2.4.1 500 hPa 环流形势

在500 hPa天气图上(图 8~9),辐射雾发生时,高空槽已经移出重庆上空,位于湖南、湖北至贵州一带,青藏高原至中亚一带受高压脊控制,东亚大槽位于朝鲜半岛一带;重庆位于槽后脊前,受干冷的西北气流控制,这样的高空形势下夜间多为晴朗少云天气,有利于辐射雾发生。锋面雾出现时,500 hPa天气图上青藏高原北部有一横槽正在发展,亚洲中纬度地区环流经向梯度比辐射雾更强,东亚大槽偏东,青藏高原南部有短波槽活动,每当短波槽移动到重庆上空,就为重庆带来一次降水过程,降水蒸发使近地面的低层空气达到饱和而形成雾;锋面雾出现时的500 hPa形势与文献[5]略有不同,主要体现在青藏高原北部的横槽以及中纬度更加明显的短波槽,这可能是因为文中主要选取冬季个例,而在文献[5]

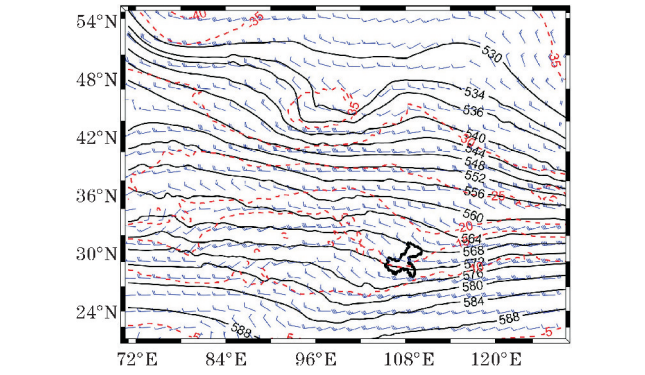


图 8 辐射雾当日 02 时 500 hPa 环流形势合成

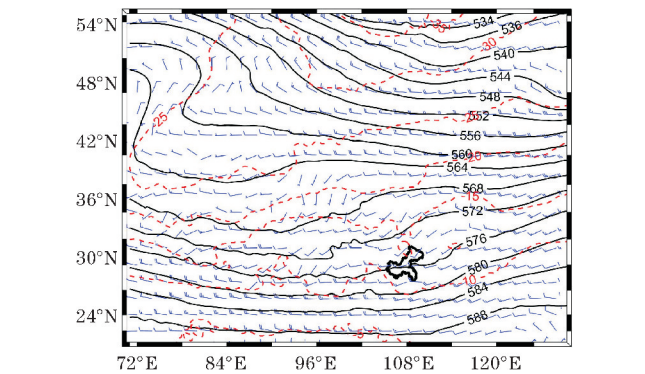


图 9 锋面雾当日 02 时 500 hPa 环流形势合成

中春、秋、冬季个例均有选取,且个例相对较少,合成后部分特征被平均,因而特征不明显。

2.4.2 海平面气压场

在海平面气压图上(图 10~11),辐射雾发生当日,高压控制着中国整个中东部地区,冷锋前沿已经南下到两广至福建一带,重庆处在均压场之中,等压线稀疏,地面风速较小,大气层结稳定,并且由于冷锋经过后带来的降雨使大气低层水汽含量增大,为辐射雾的形成创造了有利的湿度环境。锋面雾发生时,地面高压中心位于蒙古国境内,高压前沿分裂出的冷空气已经到达重庆,锋面位于重庆至湖南一带,加上 500 hPa 天气图上短波槽影响,重庆便会产生降水。

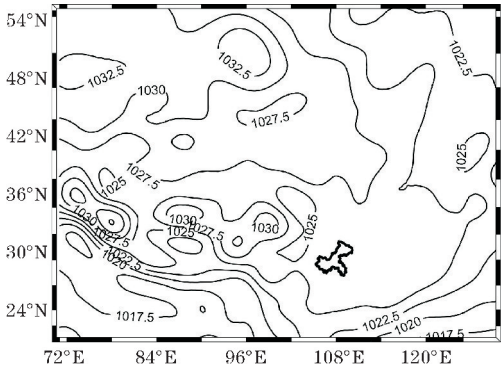


图 10 辐射雾当日 08 时海平面气压场合成

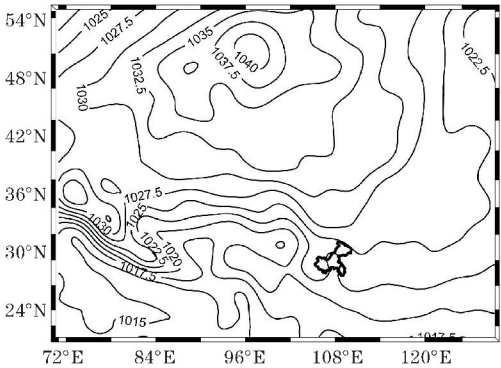
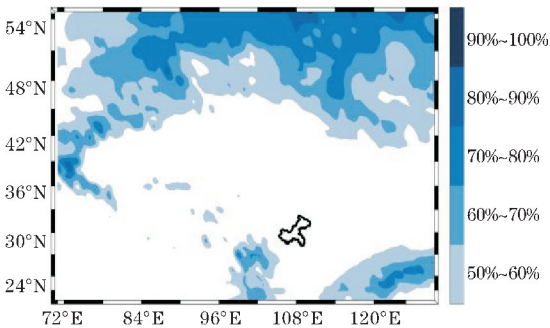


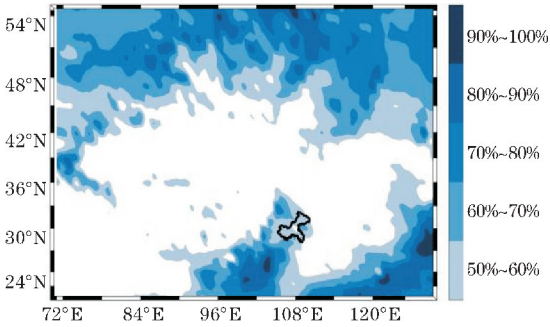
图 11 锋面雾当日 08 时海平面气压场合成

2.4.3 湿度场特征

辐射雾发生时,700 hPa湿度场(图 12a)上中东部为大范围的干区,相对湿度小于 50%;随着高度的降低,重庆上空相对湿度逐渐增大,850 hPa(图 12b)相对湿度为 50%~60%,950 hPa相对湿度为 60%~70%;高空晴朗少云,夜晚地面辐射降温强烈,有利于辐射雾形成。当锋面雾发生时,700 hPa湿度场(图 13a)上中东部地区是广大的湿区,相对湿度大于 60%,重庆上空相对湿度则大于 80%,局部地区大于 90%;850 hPa(图 13b)上相对湿度大于 90%的区域覆盖了广西、贵州以及重庆中西部大部分地区,在 850 hPa偏南风的作用下,将南侧高湿气流输送到重庆,使水汽在重庆上空进一步堆积,有利于降水的形成。

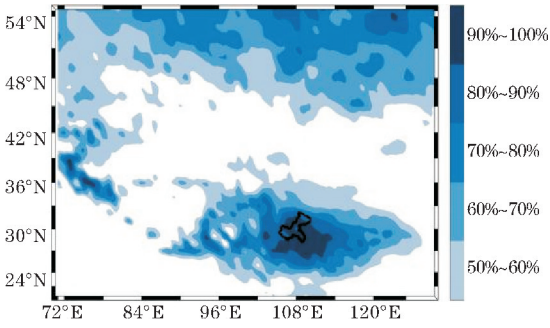


(a) 700 hPa

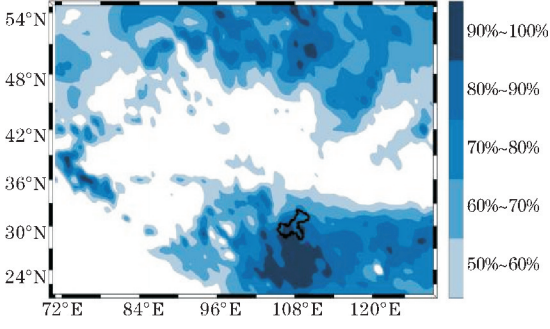


(b) 850 hPa

图 12 辐射雾当日 08 时相对湿度合成



(a) 700 hPa



(b) 850 hPa

图 13 锋面雾当日 08 时相对湿度合成

2.4.4 温度和湿度的垂直结构

对比辐射雾和锋面雾发生时的湿度垂直变化(图 14),可见辐射雾发生时 1000 m 以下相对湿度 70%~73%,1000 m 以上相对湿度迅速下降,到 3000 m 高度减小到 20%左右。锋面雾发生时 3000 m 以下空气相对湿度都大于 90%,最高相对湿度出现在 2500 m

左右,达96%,3000 m以上相对湿度迅速减小,且6000~9000 m有明显的逆湿层,这种现象可能与冷锋上方的暖湿空气有关,也就是说在南川上空锋面高度在6000 m左右。锋面雾发生时,无论是低层,还是高层,相对湿度都比辐射雾发生时大得多。文献[5]用L波段雷达资料分析的湿度垂直特征也呈现相似变化规律,但由于L波段雷达探测高度有限,无法反映锋面出现时中高空的逆湿现象。

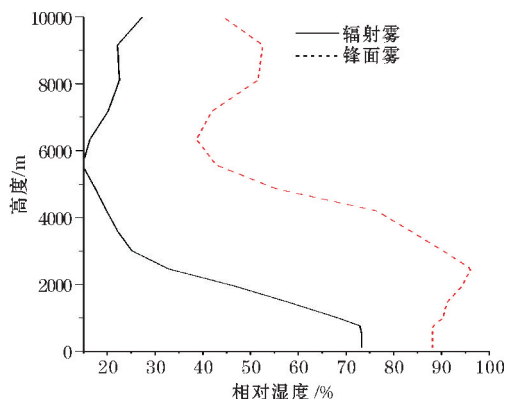


图14 雾当日08时相对湿度垂直变化

对比两种雾发生时的气温垂直结构(图15),可见两者高空结构类似,都是气温随高度递减,最大的区别在低层。当辐射雾出现时,低层有明显的等温层,等温层的存在抑制了垂直运动的发展,使大量的水汽聚集在低层,有利于辐射雾的形成。

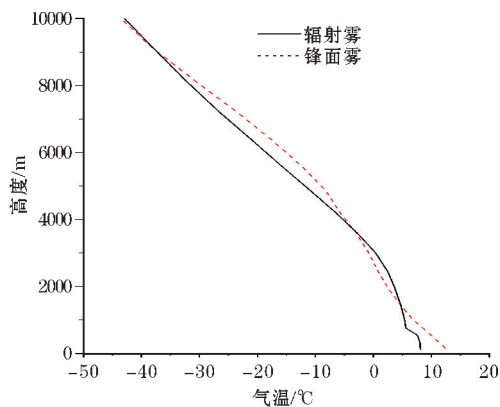


图15 雾当日08时气温垂直变化

3 结论

(1)重庆市南川区雾日气候平均值为41.6 d,20世纪70年代雾日较少,之后80~90年代雾日快速攀升,2010年后雾日有所回落;雾日主要集中在10月至次年1月,月平均雾日为6.2 d,合计占全年雾日的47.3%;持续时间为1 d的雾天气过程占比为66.8%,随着持续天数的增加,雾天气过程出现的次数呈幂函

数递减;连续5 d及以上的雾天气过程占比4.8%;持续天数最多的雾天气过程有21 d,发生在2015年9月22~10月12日。

(2)雾日数与平均气温、最高气温、最低气温及混合层厚度呈负相关,Spearman相关系数为-0.69、-0.65、-0.62及-0.65;风速为2~3 m/s、温度露点差小于0.5℃、中性及较稳定大气是雾形成的有利条件。

(3)辐射雾发生时,重庆位于500 hPa天气图槽后脊前,受西北气流控制;海平面气压图上高压控制着中国中东部地区,冷锋前沿已经南下到两广至福建一带,重庆处在均压场之中,等压线稀疏,地面风速较小;相对湿度场特征为上干下湿;在低层可见明显的等温层。

(4)锋面雾出现时,500 hPa天气图上青藏高原北部有一横槽正在发展,亚洲中纬度地区环流经向梯度较强,青藏高原南部有短波槽活动;海平面气压场上,高压中心处于蒙古国境内,锋面位于重庆至湖南一带;相对湿度场特征为湿层深厚,且中高空之间有明显的逆湿现象。

参考文献:

- [1] 王丽萍,陈少勇,董安祥.中国雾区的分布及其季节变化[J].地理学报,2005(4):689-97.
- [2] 孙彧,马振峰,牛涛,等.最近40年中国雾日数和霾日数的气候变化特征[J].气候与环境研究,2013,18(3):397-406.
- [3] 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(2):220.
- [4] 吴兑,吴晓京,李菲,等.中国大陆1951-2005年雾与轻雾的长期变化[J].热带气象学报,2011,27(2):145-51.
- [5] 韩余,刘德,王欢,等.重庆雾气候特征及天气成因分析[J].气象与环境学报,2013,29(6):116-22.
- [6] 白莹莹,张德军,杨世琦,等.川渝地区雾霾时空分布特征及影响因子分析[J].西南师范大学学报(自然科学版),2018,43(11):112-119.
- [7] 毛冬艳,杨贵名.华北平原雾发生的气象条件[J].气象,2006(1):78-83.
- [8] 余庆平,孙照渤.长三角地区11月大雾频次变化的天气气候背景[J].大气科学学报,2010,33(2):205-211.
- [9] 欧映瑜,朱克云,张杰,等.微波辐射计对昆明雾天的监测及应用[J].成都信息工程大学学报,2018,33(1):54-61.
- [10] 中国气象局.地面气象观测规范[M].北京:气象出版社,2003:21-27.

[11] 施能. 气象统计预报[M]. 北京:气象出版社, 2009.

[12] 国家环境保护局. 制定地方大气污染物排放标准的技术方法 GB/T3840-91[S]. 1992.

[13] 马金,郑向东. 混合层厚度的经验计算及与探空观测对比分析[J]. 应用气象学报,2011,22(5):567-576.

[14] 俞科爱,陈磊,张晶晶,等. 浙江省大气混合层高度变化特征分析[J]. 气象科技,2017,45(4):735-744.

Analysis on the Climatic Characteristics and Weather Causes of Fog in Nanchuan District of Chongqing

REN Zhaohuan¹, XU Wei¹, YU Shuyu¹, HUANG Yuye²

(1. Chongqing Lightning Protection Center, Chongqing 401147, China; 2. Nanchuan Meteorological Bureau, Nanchuan 408400, China)

Abstract: In order to deeply understand the climatic characteristics and weather causes of fog in Nanchuan District, the climatic characteristics and influence factors of fog in Nanchuan District were analyzed with conventional meteorological data from 1957 to 2017. The weather causes of rain fog and radiation fog in Nanchuan District are analyzed by using synthesis and analysis method and NCEP 1°×1° data. The results show that, the climatic average value of foggy day in Nanchuan District is 41.6 d/a, which was in the period of low fog in 1970's, and then increased rapidly from 1980s to 1990s, and the number of foggy days declined in the early 21st century; (2) The number of foggy weather processes decreases in the form of exponential function with the increase of continuous days, and foggy processes lasting for 5 days or more account for 4.8% of the total; (3) The number of fog days is negatively correlated with the day-by-day mixed layer depth, the minimum, maximum and average temperature; the temperature dew point difference is less than 0.5 °C, the wind speed is 2-3 m/s, the most favorable condition for fog is that the atmospheric stability is neutral and relatively stable; (4) When the radiation fog occurred, Chongqing was located in front of the ridge behind the trough on the 500 hPa weather map, and the high altitude is controlled by the dry and cold northwest air flow; On the ground, the central and eastern China is controlled by high pressure, and Chongqing is located in the uniform pressure field; When the front fog occurred, there was a horizontal trough developing in the northern part of the Qinghai Tibet Plateau on the 500 hPa weather map, the meridional gradient of circulation in the middle latitude of Asia is strong, and the short wave trough was active in the southern part of the Qinghai Tibet Plateau; the center of the surface high pressure was located in Mongolia, and the front was located in the area between Chongqing and Hunan; (5) The relative humidity field of frontal fog is characterized by a thick wet layer, and there is an obvious inverse wet phenomenon in the middle and high altitude, while the radiation fog is characterized by upper dry and lower wet; the radiation fog occurs in the lower layer with an isothermal layer.

Keywords: meteorology; climate change; Nanchuan; fog; climatic characteristics; composite analysis