

吉林省雾的气候特征及变化成因分析

刘玉英¹, 李宇凡², 张 婷², 徐 洁¹

(1.吉林省气象信息网络中心, 吉林 长春 130062; 2.吉林省气候中心, 吉林 长春 130062)

摘要:利用1961~2010年吉林省雾日统计资料,对吉林省雾日的时空分布特征、变化趋势进行了详细分析,并分析了雾日变化的原因。结果表明:近50 a来,吉林省年和四季雾日的空间分布均呈东南部地区多、西部地区少的分布特征;雾日季节变化特征表现为8~9月多,10月至次年5月少,西部和中部地区雾日数月季变化呈现双峰型,东南部和东部地区呈现单峰型;雾大多数开始于夜间21时至次日早晨09时,结束于夜间22时至次日午后13时,持续时间多在6 h以下。近50 a来,除了春季雾日没有明显变化外,全省平均及各区域年和四季雾日均呈减少趋势;在2000年前后雾日数发生了一次明显的突变。雾日空间分布与海拔高度有密切关系;雾日趋于减少有人类活动导致的“热岛效应”、“干岛效应”、气溶胶密度加大等原因,也有气候趋于暖干化的自然原因。

关键词:雾;气候特征;成因;暖干化;吉林省

中图分类号:P46 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2015)08-1060-07

雾是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^[1]。雾是影响吉林省交通运输业的主要灾害性天气,吉林省发生次数在全国属于较多的区域^[2]。雾影响能见度的恶劣程度在所有天气现象中居首位。吉林省地形复杂,自西向东依次为平原、丘陵和山区,雾日时空分布差异大。近年来随着吉林省经济的快速发展,高速公路、轨道交通及航空运输的运行范围和密度明显增加,雾的影响越来越突出,因雾导致的交通事故频发。因此,分析雾日变化特征以及影响因素,有助于增进雾现象的认识,提高雾的预报和预防能力。

已有研究表明,中国雾日变化存在明显的区域性差异和季节性特征^[2,3]。在相同的天气系统背景下,雾主要受地理因素影响,特别是在山区,雾的局地特征更强,而不同天气系统与不同地理因素的组合,就会形成雾的不同特征^[4-6]。这些研究加深了人们对各地雾现象特征的认识。目前关于吉林省雾日研究多偏重于多年气候特征^[7,8]和天气学特征^[9],还没有开展对雾日的时空变化特征以及成因方面的分析。因此,本文利用1961~2010年气

象部门天气现象雾的观测资料,对吉林省雾日数的时空分布特征和气候变化趋势进行了分析,并从人类活动和气候条件变化两方面探讨了雾日变化的原因,为大雾灾害风险评估、防灾减灾提供参考。

1 资料和方法

1.1 资料

本文所用资料取自吉林省气象局气象信息网络中心整理的全省1951~2010年雾观测资料,包括雾日数、起止时间和持续时间。根据《气象观测规范》^[1],能见度在1 km之内的为雾。在统计某站雾日数时,规定只要该站在某日观测到一次或以上雾现象时,均统计为一个雾日。考虑到20世纪50年代气象站点少,一些站点序列短等因素,最后选取1961~2010年50个站进行时空特征和变化统计分析。根据地形特征把全省划分为4个区:西部地区(包括白城、松原地区,地形为平原)、中部地区(包括长春、四平地区,地形为丘陵)、东南部地区(包括辽源、吉林、通化、白山地区,地形为山区)和东部地区(包括延边州,地形为山间盆地),进行分区讨论。

收稿日期:2014-01-17; **修订日期:**2014-05-08

基金项目:中国气象局2010年气候变化专项(CCSF201003)和中国气象局2013年气候变化专项(CCSF201317)资助。

作者简介:刘玉英(1963-),女,辽宁北票人,高级工程师,主要研究方向:气候变化和气候资源开发利用。E-mail:clliuyuying@126.com

1.2 方法

在进行吉林省雾的时空变化特征分析过程中,利用线性回归方法和相关法进行趋势变化分析和检验^[10],采用小波分析^[11,12]、Mann-Kendall 法^[10]等进行周期和突变分析。

2 雾日数的时空分布特征

2.1 多年平均年和四季雾日数的空间分布

1961~2010年,全省平均年雾日数为17.5 d。多年平均年雾日数空间分布差异显著(图1),东南部山区多,西部平原少。西部地区为全省的少雾区,雾日不足10 d,白城西北部及临江雾日最少,在3~5 d之间;其他地区雾日在10 d以上,多雾区分布在东部山区,包括吉林东部、通化中部、白山西部、延边西部,雾日在30 d以上,其中长白雾日最多,达71 d,其次是通化县达60 d。为了分析雾日的年际变率大小,计算了每个站多年平均年雾日数的均方差,从空间分布上看,雾日多的地区(20 d以上),其年际变率也较大,均方差一般有7~15 d,长白达到45 d。

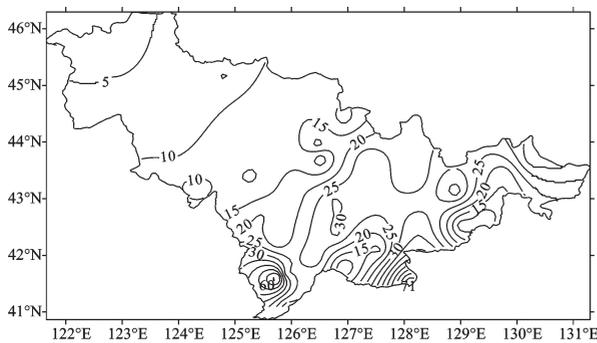


图1 吉林省1961~2010年平均年雾日数(d)分布

Fig.1 Average annual fog days (d) in Jilin Province in 1961-2010

雾日东南部地区多,西部地区少的分布态势在四季的空间分布中表现得较为明显(图略),多雾区和少雾区范围也较为一致。春季(3~5月),除通化县、长白和琿春雾日在5~9 d之间外,全省大部分地方雾日数不足3 d,西部地区大部及其集安和临江雾日不足1 d。夏季(6~8月),全省大部雾日在20 d以下,西部地区大部及集安和临江雾日不足2 d,山区雾日差异显著,通化县、长白、安图和二道雾日达到20 d以上,长白最多达44 d。秋季(9~11月)雾日空间分布差异小于夏季,全省大部雾日在10 d以下,西部地区大部不足3 d,但局部如通化县、长白雾日可达20 d左右。冬季(12月至次

年2月),雾日不足2 d的范围与春季分布情况相似,但西部地区不足1 d的范围要明显小于春季,中部地区的长春大部出现4~5 d的多雾区。吉林市受到松花江的影响,出现16 d的高值中心。

2.2 各区域雾日数月际特征

吉林省各区域雾日数均存在月际变化(图2),东部和东南部地区月际变化更明显,基本特点为:8~9月多,10月至次年5月少,在最多月,东部和东南部的雾日数是其他2个区域的3倍以上。具体来说,各区域的月际变化存在差异。西部和中部地区雾日数月变化呈现双峰型,一个峰值出现在8月,雾日数分别为0.9 d和1.9 d;另一峰值出现在11月,雾日数分别为0.9 d和1.4 d。东南部和东部地区雾日数月际变化呈现单峰型,但峰值出现月份有别。东南部地区雾日数峰值出现在8月,达到5.7 d,东部地区峰值出现在9月,达到5.9 d。东南部和东部地区冬季雾日数较中部和西部地区偏少。雾日数的年变化特征与四季天气气候条件变化有关。雾容易形成在高湿、微风、晴朗、低温的天气条件下^[13],6月虽然降水多,湿度大,但夜间晴朗天气少,不易形成雾;8、9月降水较6、7月有所下降,但降水量在全年中仍是较多的,同时进入初秋季节多秋高气爽天气,夜间晴朗无风天气较多,容易形成辐射雾;10月至翌年5月,各地降水明显偏少,空气干燥,秋季和春季多大风,雾日明显减少。西部和中部地区冬季出现雾日数的次峰值,主要原因是这2个区域地势偏低,冬季冷空气易于在低洼地堆积,夜间辐射冷却后也容易形成雾^[14]。

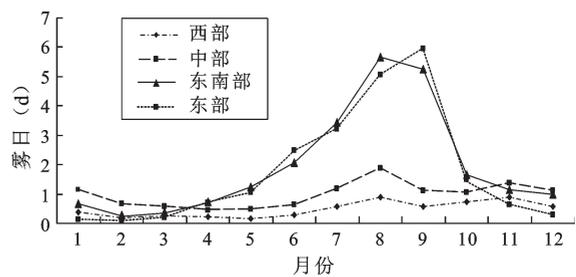


图2 各区域1961~2000年平均雾日数月际变化

Fig.2 Monthly variation of average fog days in various regions of Jilin Province in 1961-2000

2.3 雾的开始、结束和持续时间

掌握雾的开始、结束和持续时间的气候特征,对于开展雾的气象服务,规避雾天风险具有重要

意义。对吉林省 50 个气象站 1961~2010 年雾的开始时间、结束时间及持续时间进行了统计,其中 19 个站为白天和夜间均进行雾观测的站,另外 31 个站未进行雾的夜间观测,为了便于比较,本文对雾的开始时间、结束时间及持续时间只统计 19 个有全天观测的台站。统计时规定,开始时间处于 2 个整点之间的按照第一个整点统计,结束时间处于 2 个整点之间的按照第二个整点统计。比如出现时间 03:26 作为 03 时统计,结束时间 07:35 作为 08 时统计。如图 3 所示,雾主要开始于夜间 21 时至次日早晨 09 时,合计出现频率为 97.4%,早晨 04 时至 07 时出现频率偏高,合计频率达到 59.4%,其中 06 时是全天中出现频率最高的,达 19.0%。雾的结束时间主要出现在夜间 22 时至次日午后 13 时,早晨 07 时至 10 时出现频率偏高,合计达到 64.7%,08 时和 09 时出现频率相近,分别为 19.1% 和 19.7%,是全天各时次中出现频率最高的。雾结束时间的最高频率平均比开始时间的最高频率推迟了 2~3 h。从雾的开始时间和结束时间多处于早晨的特征来看,吉林省出现的雾以辐射雾为主。即夜间气温下降后,空气湿度逐渐增加,开始有雾形成,日出前的 6 点前后气温最低,空气湿度最大,风速也最小^[4],形成最有利于雾形成的气象条件。日出后,随着地表气温上升,雾逐渐消散,8~10 时多数雾完全消散。表 1 为雾不同持续时间出现的频率,持续时间在 6 h 以下,占总次数的 89.7%,以持续 1~3 h 出现频率最高,达 40.9%。从持续时间上也反映出发生在吉林省的雾大多数属于辐射雾。

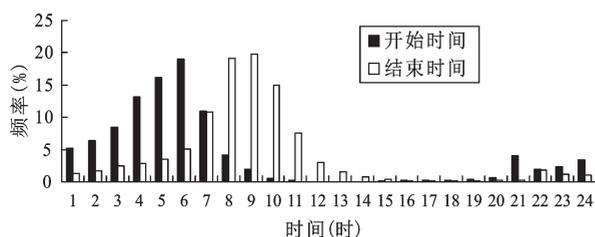


图3 1961~2010年吉林省雾开始时间和结束时间频率的日变化

Fig.3 The diurnal variation of frequency for the start time and the end time of fog in Jilin Province in 1961-2010

3 雾日数的时空变化特征

3.1 全省年雾日数的年际变化

1961~2010年,全省年雾日数呈现减少的变化

表1 吉林省不同持续时间雾的频率(%)

Table 1 The different duration frequency of fog in Jilin Province (%)

持续时间(h)	0~1	1~3	3~6	6~12	>12
频率(%)	24.5	40.9	24.3	9.3	1.0

趋势,平均每 10 a 减少 1 d(图 4)。雾日最多的年份是 1968 年的 24 d。从 2000 年开始雾日明显减少,并在 12 d 左右波动,2009 年为近 50 a 来最低值(11.2 d)。雾日最多的年份跟最少的年份相差 13 d。从年代际变化来看,呈现出先增加后减少的变化趋势,20 世纪 60 年代年雾日为 18.4 d,70 年代达到最多,为 19.6 d,80 年代(19.0 d)、90 年代(17.1 d)及 21 世纪前 10 a(13.3 d)逐年代递减。这与国内已有的一些研究结果一致^[15-19],即 20 世纪 60 年代雾日较少,70~80 年代达到最多,90 年代后雾日减少,进入 21 世纪雾日最少。

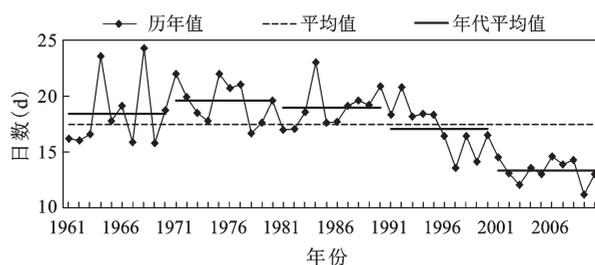


图4 1961~2010年吉林省平均年雾日数年际变化

Fig.4 Time series of annual fog days of Jilin Province in 1961-2010

图 5 为 Mann-Kendall (M-K) 突变检验曲线,UF 为按时间序列顺序排列的秩序列计算出的统计量,UB 为按时间序列逆序排列的秩序列计算出的统计量。可以看出,UF 和 UB 的交点为 2000 年,对给定的显著性水平 $\alpha=0.05$,交点落在 2 条直线(图 5 中的虚线) $U_{0.05}=\pm 1.96$ 内,说明在 2000 年前后雾日数发生了一次明显的突变,即 2000 年以后吉林省雾日数明显偏少。

对照年雾日数序列的小波变换图(图 6),图中较好地反映了上述雾日数的特征。由图中可见 10 a 年以下的高频波和 20 a 以上的低频波有着明显的变化规律。在 10 a 以下的高频波段,以 3 a 左右周期的信号最强,出现在 20 世纪 60 年代、70 年代前期、80 年代中期及 2000~2010 年。在 70 年代出现了 25 a 左右的明显周期,低频波强中心对应 70 年代的明显多雾期。在 60 年代至 90 年代,出现 40 a 以上

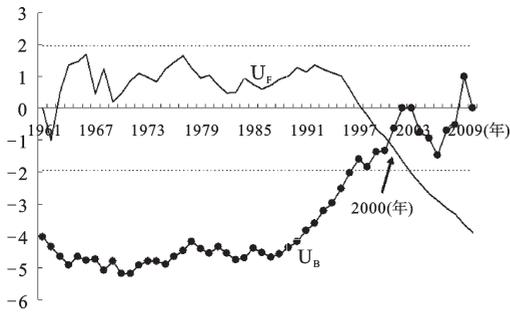


图5 吉林省年雾日数M-K检验曲线

Fig.5 Mann-Kendall test of annual fog days of Jilin Province

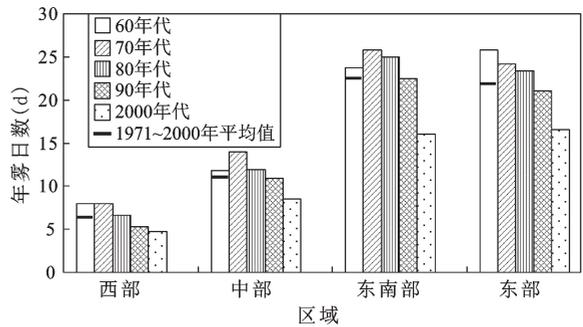


图7 全省各区域年雾日数年代际变化

Fig.7 Decadal variation of annual fog days in various regions of Jilin province

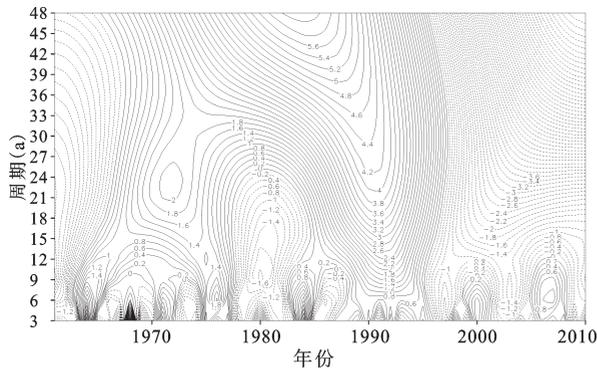


图6 吉林省年雾日数小波分析

Fig.6 Wavelet analysis of annual fog days of Jilin Province

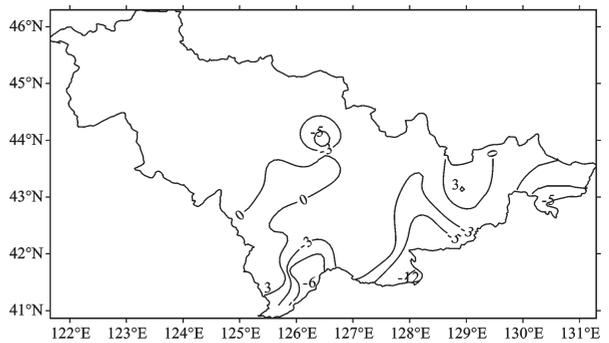


图8 吉林省1961~2010年年雾日数变化趋势(d/10a)

Fig.8 The trend of annual fog days in Jilin Province in 1961-2010 (d/10a)

的强低频波,等值线密集,正负低频波宽度对应2000年前后的多雾段和少雾段,2000年以后低频波波幅处于发展增强阶段,可以估计这种雾日数减少的趋势还将继续。

3.2 各区域年雾日数的年代际变化

各区域年雾日年代际变化不尽相同。西部和东部年代际变化趋势基本相同,呈现逐年代递减的变化,20世纪60、70和80年代,雾日数较常年偏多,60年代最多,70年代较多,进入90年代后,雾日数较常年偏少(图7)。中部和东南部变化特点相同,以70年代雾日数最多,较常年明显偏多,近50 a来经历先增后减的过程。各区域均以21世纪00年代雾日数最少。

3.3 年雾日数变化趋势的空间分布特征

图8为近50 a来年雾日数变化趋势空间分布图,由图可见,全省大部分地方雾日呈减少的趋势,特别是常年雾日多的地区,如通化南部、白山西部和东南部及吉林市松花江附近、珲春和二道等地,雾日减少幅度较大,趋势显著,一般减少5~7 d/10a,长白减少12 d/10a。吉林南部、辽源南部及通化局部地方呈现增加的趋势,增加幅度一般

不足2 d/10a,局部地方达到3 d/10a。

3.4 各区域年及四季雾日数的变化趋势

表2为1961~2010年全省平均年及四季雾日数的变化趋势,可见,除了春季雾日没有明显变化外,全省平均及各区域年和四季雾日均呈减少趋势,其中全省平均及各区域的年雾日、东部的春季雾日、全省平均及西部、东南部和东部的夏季雾日、西部和东部的秋季雾日、全省平均及各区域的冬季雾日呈现明显的减少趋势。

4 雾日时空变化的原因分析

4.1 雾日空间变化的原因

吉林省雾空间分布特点与其特殊的地形有着密切的关系。吉林省自西北向东南海拔高度逐渐增高,呈现平原-丘陵-山区的地形变化,西部为平原,中部为丘陵,东南部为山区,东部为盆地。受中高纬度西风带影响,全年以偏西风为主,冬半年盛行西北风,夏半年盛行西南风。西风气流进入吉林省境内后,随着地形不断增高,空气被迫抬升

表2 吉林省及各区域1961~2010年年及
四季雾日变化趋势(±d/10a)

Table 2 The trends of annual and seasonal fog days over
regions and the whole province in 1961-2010(±d/10a)

区域	全省	西部	中部	东南部	东部
年	-1.2**	-0.9**	-1**	-1.8**	-2.2**
春	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2*
夏	-0.5**	-0.3**	-0.2	-0.8**	-1.3**
秋	-0.2	-0.4**	-0.3	-0.3	-0.6**
冬	-0.4**	-0.2*	-0.4*	-0.7**	-0.2**

注:**表示通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验;*为通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。

冷却,湿度增加到一定程度出现水汽凝结而容易形成雾^[14]。所以雾日数与海拔高度有关^[20-22]。计算全省50个站年和四季雾日数与海拔高度的相关系数,结果见表3。可见,年及春季、夏季和秋季的雾日数与海拔高度存在着显著的正相关关系,说明海拔高度越高,雾日数越多。冬季雾日数与海拔高度存在着较显著的反相关关系,即海拔高度越低,雾日越多,这是因为冬季干冷空气容易在低海拔处堆积,加之低洼地风速小,冷空气不易扩散,夜间辐射冷却进一步使温度降低,从而易于形成雾。这类似于盆地地形多雾的成因^[23]。

表3 吉林省年和四季雾日数与海拔高度的相关系数

Table 3 The significance test of the correlation coefficient
between fog and altitude in Jilin Province

年和四季	年	春季	夏季	秋季	冬季
总雾日数(d)	17.5	1.7	7.6	5.9	2.4
与海拔高度的 相关系数	0.60**	0.49**	0.70**	0.52**	-0.25*

注:**表示通过 $\alpha=0.001$ 的显著性水平检验;*为通过 $\alpha=0.10$ 的显著性水平检验。

4.2 雾日时间变化趋势的原因

已有研究表明^[15-18,24-25],雾日数趋于减少的原因主要2个方面:一是人类活动的影响;二是气候条件的变化。

4.2.1 人类活动对雾日数变化的影响

人类活动对雾日数变化的影响主要表现在城市化的发展、气溶胶的增加和下垫面的变化。1976年,吉林省城市建成区的面积为462.79 km²,2007年达到1 544.86 km²,1976~2000年吉林省城

市建成区年均扩展率为5.02%,在2000~2007年达到了6.86%^[26],城市扩展呈加速态势。1980~2000年,吉林省人口由2 210.65万人增加到2 727.99万人,增加了23.40%,20 a内耕地增加了4 340.21 km²,主要来自于草地、未利用地、林地和水域的转化^[27]。东北三省出现热岛效应的区域主要分布在城市及其周边地区以及工矿附近^[28]。城市化发展带来的“热岛效应”和“干岛效应”,使低空湍流加强,空气相对湿度降低,对雾形成起到了抑制作用^[29,30]。社会经济发展使空气污染物增加,气溶胶密度加大,对雾形成具有双重作用^[31,32],一方面使大雾滴数密度增加,另一方面由于其辐射效应,在夜晚增加大气向地面的长波逆辐射,减小地面辐射降温,影响雾的形成。人口增加在促进城市扩张的同时,耕地面积明显增加,林地、草地和湿地面积减少,使空气中水汽减少,夜晚相对湿度降低,对大雾日数的减少有较大的促进作用^[25]。总的来看,人类活动对雾日数减少起到促进的作用。

4.2.2 气候条件变化对雾日数变化的影响

气候变暖背景下,雾形成的天气气候条件也发生了变化,气候暖干化趋势使得雾日趋于减少^[25,33,34]。吉林省也存在气候暖干化趋势,气温增加明显,降水趋于减少^[35]。为了客观反映气候干湿变化,计算了空气相对湿度和气候干旱指数的变化趋势。气候干旱指数的计算公式如下^[36]:

$$DI_i = PI_i + TI_i \quad (1)$$

式中, DI_i 为第*i*年的干旱指数, DI_i 值越大,表示气候越干旱; PI_i 是第*i*年的降水距平指数, TI_i 为第*i*年的温度距平指数。 PI_i 和 TI_i 的计算公式分别为:

$$PI_i = (P - P_i)/P \quad (2)$$

$$TI_i = (T_i - T)/T \quad (3)$$

式中, P 、 T 分别表示1971~2000年年降水量和年平均气温的平均值, P_i 、 T_i 分别表示第*i*年的年降水量和年平均气温。

依据公式(1)~(3)计算了1961~2010年全省平均及各区域年和四季平均气候干旱指数的变化趋势,结果见表4,同时计算了1961~2010年全省平均及各区域年和四季平均相对湿度的变化趋势,结果见表5。由表4可见,全年及春季(东部除外)、夏季和秋季的平均气候干旱指数呈现增加的趋势,年平均气候干旱指数和秋季各区域(东部除外)增加趋势显著,特别是西部地区年平均气候干旱指数增加幅度大,达到0.085/10a。冬季各区域

平均气候干旱指数呈现较小趋势,但减小趋势均不显著。表5中除了东部地区春季相对湿度区域增加的之外,其他区域及全省的全年和四季相对湿度变化趋势均是减小的。

对比表1和表4、表5可见,相对湿度的时空变化趋势与雾日数的变化趋势总的来说比较一致,说明相对湿度作为影响雾形成的重要因子,能够更客观地反映雾日数的长期变化趋势;全年及春季、夏季和秋季气候干旱指数增加趋势与雾日数的减少趋势一致,但冬季气候干旱指数与雾日均呈减少变化趋势。分析1961~2010年冬季全省年平均气温和年降水量变化趋势(图略)表明,全省冬季平均气温为 -13.4°C ,呈现增加的变化趋势,全省冬季平均降水量为18.0 mm,呈现增多的变化趋势。降水多,降低了冬季气候暖干化程度。但吉林省冬季以固态降水为主,固态降水的水汽蒸发量要小于液态降水,因而尽管冬季降水趋于增加,但对气候干旱程度的贡献要小于气温增加的贡献,所以冬季气候仍然趋于暖干。由此也说明气候干旱指数适用于液态降水的时期或区域。

表4 1961~2010年全省平均及各区域年和四季平均气候干旱指数的变化趋势($\pm/10\text{a}$)

Table 4 The trends of annual and seasonal mean arid index over regions and whole area in 1961-2010($\pm/10\text{a}$)

区域	全省	西部	中部	东南部	东部
年	0.064**	0.085**	0.062*	0.058*	0.053*
春	0.001	0.014	0.015	0.012	-0.012
夏	0.019	0.047	0.018	0.004	0.015
秋	0.071*	0.074*	0.093*	0.067*	0.047
冬	-0.036	-0.035	-0.067	-0.016	-0.034

注:**表示通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验;*为通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。

表5 1961~2010年全省平均及各区域年和四季平均相对湿度的变化趋势($\pm\%/10\text{a}$)

Table 5 The trends of annual and seasonal mean relative humidity over regions and whole province in 1961-2010($\pm\%/10\text{a}$)

区域	全省	西部	中部	东南部	东部
年	-0.554**	-0.688**	-0.732**	-0.459**	-0.343*
春	-0.166	-0.166	-0.561	-0.097	0.228
夏	-0.632*	-0.664	-0.636*	-0.599*	-0.669**
秋	-0.808**	-1.174**	-1.074**	-0.553**	-0.524*
冬	-0.666	-0.861	-0.731	-0.632*	-0.408

注:**表示通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验;*为通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。

5 结论

1) 吉林省年和四季雾日的空间分布均呈东南部地区多、西部地区少的分布特征;各地区雾日季节变化特征总的来说是8~9月多,10~5月少,西部和中部地区雾日数月季变化呈现双峰型,东南部和东部地区呈现单峰型。

2) 雾大多数开始于夜间21时至次日早晨09时,以04~07时出现频率偏高;大多数结束于夜间22时至次日午后13时,尤其以07~10时为雾消散高峰时段;持续时间多在6 h以下,以持续1~3 h出现频率最高。

3) 1961~2010年,除了春季雾日没有明显变化外,全省平均及各区域年和四季雾日均呈减少趋势;在2000年前后雾日数发生了一次明显的突变,2000年以后雾日数减少的趋势还将继续。

4) 雾日空间分布特征与海拔高度有密切关系;雾日时间变化的原因一方面是人类活动导致的“热岛效应”、“干岛效应”、气溶胶密度加大等会导致雾日数减少,另一方面气候趋于暖干化,是雾日数减少的自然原因。

参考文献:

- [1] 中国气象局.地面气象观测规范.北京:气象出版社,2003:23.
- [2] 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,2005,60(4):689~697.
- [3] 吴兑,吴小京,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):145~151.
- [4] 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.
- [5] 顾清源,徐会明,陈朝平,等.四川盆地大雾成因剖析[J].气象科技,2006,34(2):162~165.
- [6] 刘健,周建山,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.
- [7] 王慧清.吉林省气候[M].气象出版社,1997:116~118.
- [8] 周琳.东北气候.气象出版社,1991:105~106.
- [9] 王美玉,孙鸿雁.2007年吉林省大雾天气分析[J].吉林气象,2008,(3):20~23.
- [10] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999:63~66.
- [11] Torrence C,Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1998, 79(1):61~78.
- [12] 林振山,邓自旺.子波气候诊断技术的研究[M].北京:气象出版社,1999:22~25.
- [13] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文.天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,1981:410~411.
- [14] 傅抱璞.山地气候[M].北京:科学出版社,1983.

- [15] 周自江,朱燕君,鞠晓慧.长江三角洲地区的浓雾事件及其气候特征[J].自然科学进展,2007,17(1):66~71.
- [16] 李子华.中国近40年来雾的研究[J].气象学报,2001,59(5):616-624.
- [17] 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,2005,60(4):689-697.
- [18] 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):220~230.
- [19] 陈潇潇,郭品文,罗勇.中国不同等级雾日的气候特征[J].气候变化研究进展,2008,4(2):106~110.
- [20] 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.
- [21] 陈添宇,郑国光,陈跃,等.祁连山夏季西南气流背景下地形云形成和演化的观测研究[J].高原气象,2010,29(1):152~163.
- [22] 陶寅,王胜,田红,等.安徽省大雾时空分布特征及其发生的气象条件[J].地理科学,2012,32(3):374~379.
- [23] 顾清源,徐会明,陈朝平,等.四川盆地大雾成因剖析[J].气象科技,2006,34(2):162~165.
- [24] 石春娥,杨军,邱明燕,等.从雾的气候变化看城市发展对雾的影响[J].气候与环境研究,2008,13(3):327~336.
- [25] 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.
- [26] 王斌,姜琦刚,孟翔冲,等.东北三省城市扩展及植被覆盖状况[J].世界地质,2012,31(1):218~223.
- [27] 王宗明,张柏,张树清.吉林省近20年土地利用变化及驱动力分析[J].干旱区资源与环境,2004,18(6):61~65.
- [28] 王斌.东北三省城市扩展及热岛效应研究[D].长春:吉林大学,2012.
- [29] 周淑贞,郑景春.上海城市对雾的影响[J].气象学报,1987,45(3):366~369.
- [30] 周月华,王海军,吴义城.增暖背景下武汉地区雾的变化特征[J].气象科技,2005,33(6):509~512.
- [31] 张利民,石春娥,杨军,等.雾的数值模拟[M].北京:气象出版社,2002.
- [32] 石春娥,杨军,邱明燕,等.从雾的气候变化看城市发展对雾的影响[J].气候与环境研究,2008,13(3):327~336.
- [33] 罗喜平,杨静,周成霞.贵州省雾的气候特征研究[J].北京大学学报(自然科学版),2008,44(5):765~771.
- [34] 于润玲,穆海振.上海雾的气候变化特征及城市化对雾影响的初步研究[J].大气科学研究与应用,2009,(1):27~37.
- [35] 于秀晶,李栋梁,胡靖彪.吉林近50a来气候的年代际变化特征及其突变分析[J].冰川冻土,2004,26(6):779~783.
- [36] 刘明春.石羊河流域气候干湿状况分析及评价[J].生态学杂志,2006,25(8):880~884.

The Climatic Characteristics and Causes of Fog Days in Jilin Province

LIU Yu-ying¹, LI Yu-fan², ZHANG Ting², XU Jie¹

(1. Jilin Meteorological Information Network Center, Changchun, Jilin 130062, China;

2. Jilin Climate Center, Changchun, Jilin 130062, China)

Abstract: By using the data of fog days in the period of 1961-2010 in Jilin Province, the characteristics and changes of spatial and temporal distribution of fog days as well as reasons are analyzed. Results show that the spatial pattern of annual and seasonal fog days presents more in southeastern areas and less in western areas of Jilin Province. The seasonal characteristics appear more during Aug. to Sep., but less during Oct. to May. The inter-monthly variation of fog days in western and middle areas appears bimodal pattern, and that in southeastern and eastern areas appears unimodality. Fog usually begins at 21:00-09:00 LST and ends at 22:00-13:00 LST, with duration 0-6 h. In recent 50 years, the annual and four seasonal fog days of the province's average and all areas exhibited decreasing trends. The fog days appear obvious sudden change in 2000. The spatial distribution of fog days have relations with altitude. The causes of fog days decreasing are that the "heat island effect", "dry island effect" and the increase of aerosol, and that the climate becoming warm and dry.

Key words: fog; climate characteristic; cause; warm and dry; Jilin Province