裘祝香,张 硕,高晓荻,等. 吉林省雾霾和雾霾事件的时空特征及评估方法[J]. 干旱气象,2015,33(2):244-248, [XI Zhuxiang, ZHANG Shuo, GAO Xiaodi, et al. Temporal and Spatial Characteristics of Fog/Haze and Fog/Haze Event and Its Evaluation Methods in Jilin Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(2):244-248], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-02-0244

吉林省雾霾和雾霾事件的时空特征及评估方法

裘祝香[1],张 硕[2],高晓荻[1],纪玲玲[1]

(1. 吉林省气象台,吉林 长春 130062;2. 辽宁省气象灾害监测预警中心,辽宁 沈阳 110166)

摘 要:利用1961~2013年吉林省50站逐日资料,建立了雾霾事件综合指数。在此基础上,采用百分位数、累计距平、耿贝尔极值分布等方法分析了吉林省雾霾和雾霾事件的时空分布特征,建立雾霾事件评估指标。结果表明:吉林省年平均雾霾日数呈由西北向东南增加的空间分布特征;雾霾和雾霾事件8~9月发生频率较高,强雾霾事件主要出现在10~11月;雾霾和雾霾事件1967~1995年为偏多阶段,1996~2013年处于偏少阶段;1990年代以后雾霾和雾霾事件呈减少趋势。利用历史排位、等级评估及历史气候重现期评估指标等方法对雾霾事件进行的评估结果较为客观,便于业务应用。

关键词:雾霾事件;特征分析;综合指数;等级评估;气候重现期

文章编号:1006-7639(2015)-02-0244-05 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-02-0244

中图分类号:P49 **文献标识码**:A

引 言

雾霾是一种比较常见的自然灾害[1],当出现雾霾天气时,能见度明显降低,易造成车辆船只滞留、交通堵塞、航班延误,甚至引发严重的交通事故。同时,由于大气层结稳定,污染物不易扩散,导致空气污染,危害人们的身体健康。此外,雾霾对电力系统也有损坏,形成污闪效应等。多年来,一些学者对雾霾气候特征[2-3]、雾霾成因及机理[4-6]、雾霾的变化趋势[7-8]、大雾预报[9]、气候变化和人类活动对大雾影响[10]、雾灾损失评估[11]及其风险评估与区划[12-13]等方面开展了较多研究,但对雾霾事件的多因子综合评估的研究较为鲜见。

2013年10月20~23日吉林省大部分地方出现长达4 d的雾霾天气,雾霾天气导致多处高速公路关闭,火车晚点,民航龙嘉机场有49架次进出港航班受影响,3 000多名旅客受困机场,长春、吉林、四平、松原、辽源部分学校和幼儿园停课,此外,长春、四平、辽源部分医院呼吸道患者明显增多。此次雾霾天气具有持续时间长、范围广、能见度低等特点,用持续时间、出现范围、能见度任一因子对这次雾霾事件进行评估和定位,都无法全面反映该雾霾事件的历史地位和综合影响。为此,本文分析了吉林省雾霾及雾霾事件的时空分布特征,提出雾霾事件综合指数概念,建立相应的评估指标,并采用雾霾事件综合指数对2013年10月20~23日吉林省发生的雾霾天气进行历史排位、等级评估及历史气候重现期评估,以期提高对雾霾事件的综合评估能力及应急响应和服务能力,可供其它综合性气象灾害评估方法借鉴。

1 资料和方法

1.1 资 料

所用资料为1961~2013年吉林省50个地面观测站的雾、霾日数及出现时间和逐日02时、08时、14时、20时(北京时)能见度资料。从天气现象的记载来看,吉林省的雾霾以雾为主,1961~2013年期间共出现雾霾43 881站次,其中雾为42 003站次,占95.7%,而霾为1 878站次,仅占4.3%。由于1961~1979年为能见度级别资料,而1980~2013年为实际能见度资料,为了统一,参照1980年以前的地面气象观测规范,将1980年以后的实际能见度资料换算为能见度级别资料(表1)。

收稿日期:2014-05-28;**改回日期**:2014-09-19

基金项目:中国气象局关键技术集成与推广项目(CMAGJ2014M13)资助

作者简介:裘祝香(1963-),女,高级工程师,主要从事气象灾害评估研究. E-mail:xzx6310@126.com

表 1　能见度等级划分

Tab. 1　The division of visibility levels

能见度级别	0	1	2	3	4	5
实际能见度/km	<0.1	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	2.0 ~ 5.0

1.2　方　法

1.2.1　雾霾事件综合指数

定义连续 2 d 以上所评估区域出现 40 站次以上雾霾天气,且单日雾霾都在 10 站以上,为一个雾霾事件。

表征雾霾事件程度的因子有雾霾日数、雾霾持续时间、能见度等因素,其中能见度选择 0 ~ 3 级。考虑上述因素选择雾霾持续日数、覆盖范围、平均持续时间以及雾霾事件期间 3 级以下能见度的平均影响级别共 4 项作为雾霾事件的评估因子,各评估因子计算方法如下:

$$\begin{cases} x_1 = t_2 - t_1 + 1 \\ x_2 = \dfrac{n}{N} \\ x_3 = \dfrac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} h_j, j = 1, \cdots, m \\ x_4 = \dfrac{1}{k}\sum_{j=1}^{k} v_j, j = 1, \cdots, k \end{cases} \tag{1}$$

式中,x_1、x_2、x_3、x_4 分别为雾霾事件持续日数、覆盖范围、平均持续时间、≤3 级能见度的平均影响级别,t_1、t_2 分别为雾霾事件开始、结束日期,n 为区域内出现雾霾的站次,N 为区域内观测站点总数,h_j 为第 j 个站点雾霾的持续时间,m 为雾霾事件期间有雾霾出现的站次,v_j 为 02 时、08 时、14 时、20 时中最小能见度≤3 级的影响级别(考虑影响,对≤3 级的能见度进行影响级别划分,见表 2),k 为雾霾事件期间 4 个时次最小能见度为 3 级以下的站次。

表 2　≤3 级能见度的影响级别

Tab. 2　The influence level of visibility less than 3 level

能见度级别	0	1	2	3
影响级别	4	3	2	1

由于上述 4 个评估因子量纲不同,数据没有可比性,为消除不同计量单位的影响,采用平均值标准化处理,其计算方法[14]如下:

$$x_i = \left\{\frac{x_{1i}}{x_{1p}}, \frac{x_{2i}}{x_{2p}}, \frac{x_{3i}}{x_{3p}}, \frac{x_{4i}}{x_{4p}}\right\} \tag{2}$$

其中,$i = 1, 2, 3, \cdots\cdots, n$ 为样本数,x_i 为无量纲的评估因子,x_{1i} 为雾霾持续日数因子序列,x_{1p} 为雾霾持续日数因子序列平均,其它因子意义类同。

经无量纲处理后,采用等权重方案,对其进行综合评估,则雾霾事件综合指数 W_i 为:

$$W_i = \frac{x_{1i}}{x_{1p}} + \frac{x_{2i}}{x_{2p}} + \frac{x_{3i}}{x_{3p}} + \frac{x_{4i}}{x_{4p}} \tag{3}$$

从(3)式可看出,雾霾持续日数越多、覆盖范围越大、持续时间越长、影响级别越高,雾霾事件综合指数 W_i 越大,雾霾事件影响越重。

1.2.2　雾霾事件等级划分

通过计算雾霾事件综合指数序列百分位数的方法对雾霾事件进行分级[15],根据不同百分位数将雾霾事件分为 4 个等级,分级标准为:综合指数≥95% 百分位数对应的雾霾事件为特强雾霾事件(1 级),80% ~95% 百分位数对应的为强雾霾事件(2 级),50% ~80% 百分位数对应的为偏强雾霾事件(3 级),<50% 百分位数对应的为一般雾霾事件(4 级)。

1.2.3　极端雾霾事件气候重现期极值的估算

历史气候重现期是指 T 年内(如 50 a、100 a)出现一次的极值,利用耿贝尔分布函数计算历史气候重现期极值[16]。

雾霾事件综合指数 W_i 的分布服从耿贝尔分布函数:

$$\begin{aligned} F(W) &= P(W_i < W) \\ &= \exp(-\exp(-\alpha(W-\mu))) \end{aligned} \tag{4}$$

则其 T 年一遇的重现期的分布函数为:

$$P(W_i \geqslant W) = 1 - \exp(-\exp(-\alpha(W-\mu))) \tag{5}$$

式(4)和(5)中,α 和 μ 是参数。

经推导,历史气候重现期极值 W_T 计算公式为:

$$W_T = \overline{W} - \frac{S_W}{S_y}\bar{y} + \frac{S_W}{S_y}(-\ln(-\ln(1-\frac{1}{T}))) \tag{6}$$

其中,S_W 和 $\overline{W}$ 为雾霾事件综合指数样本序列(W_1, W_2, $W_3 \cdots$, W_n)的均方差和平均值,S_y 和 $\bar{y}$ 为序列($y_m = -\ln(-\ln(1-m/(n+1)))$, $m = 1, 2, 3, \cdots$, n)的均方差和平均值。

2　结果与分析

2.1　雾霾事件评估等级指标及等级分布

按照雾霾事件的定义,1961 ~2013 年期间共筛

选出 58 次雾霾事件。基于雾霾事件综合指数，根据雾霾事件百分位数等级划分方法，得到了雾霾事件等级评估指标（表 3）。

表 3　吉林省雾霾事件等级评估划分指标

Tab. 3　Division indicators of fog/haze event with different levels in Jilin Province

	等级	指标
特强雾霾事件	1	$W_i \geqslant 5.983$
强雾霾事件	2	$4.326 \leqslant W_i < 5.983$
偏强雾霾事件	3	$3.741 \leqslant W_i < 4.326$
一般雾霾事件	4	$W_i < 3.741$

根据表 3 雾霾事件的等级划分指标，对吉林省 1961 年以来的 58 次雾霾事件进行等级评估。其中，特强雾霾事件 3 次，其平均综合指数为 7.22，排在第一位的是 1992 年 8 月 11 ~ 20 日的雾霾事件，综合指数达 7.969，持续日数达 10 d，出现雾霾 160 站次，雾霾平均持续时间为 4.5 h，≤3 级能见度的影响级别平均为 1.96；强雾霾事件 9 次，平均综合指数为 5.083；偏强雾霾事件 18 次，平均综合指数为 3.980；一般雾霾事件 28 次，平均综合指数为 3.320。

2.2　雾霾日数空间分布特征

由图 1 可知，吉林省年平均雾霾日数呈由西北向东南递增的空间分布特征，西部地区大部年平均雾霾日数一般在 5 ~ 10 d 之间，最少出现在白城，只有 4.6 d；中部地区大部以及延边盆地一般在 10 ~ 20 d 之间；东南部地区一般为 20 ~ 40 d，通化县和长白县是年平均雾霾日数最多的地方，分别为 59.4 d 和 63.2 d（图 1）。

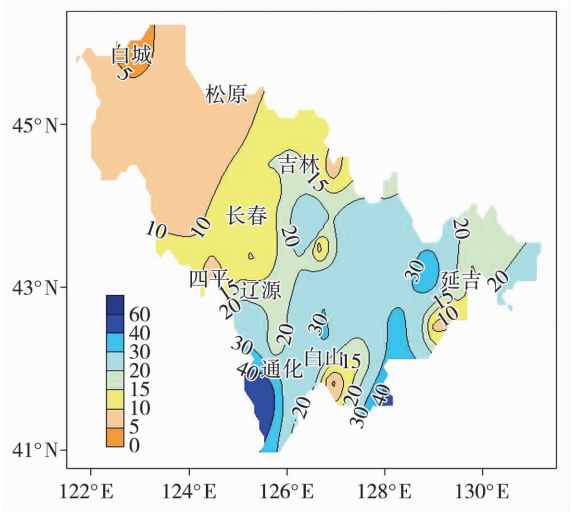

图 1　吉林省年平均雾霾日数（单位：d）

Fig. 1　Annual average fog/haze days in Jilin Province (Unit: d)

2.3　雾霾和雾霾事件的时间变化

2.3.1　雾霾和雾霾事件的月变化特征

从吉林省各月雾霾平均发生次数来看（图 2a），8 月是吉林省雾霾出现次数最多的月份，达 173 次，9 月次之，为 169 次，7 月雾霾次数明显下降，为 106 次，其它月份都不足 65 次，其中 2 ~ 3 月雾霾次数最少，均为 16 次。

从雾霾事件发生月份上看（图 2b），吉林省雾霾事件主要出现在 8 ~ 9 月，8 月出现雾霾事件 22 次，多为一般性雾霾事件，为 13 次，偏强雾霾事件出现 5 次，强雾霾事件出现 3 次，特强雾霾事件仅出现 1 次；9 月出现雾霾事件 18 次，其中一般雾霾事件 9 次，偏强雾霾事件 6 次，强雾霾事件 3 次，没有出现特强雾霾事件。3 月、5 ~ 6 月没有出现雾霾事件，其它月份只出现少量的雾霾事件，合计起来不过 18 次，

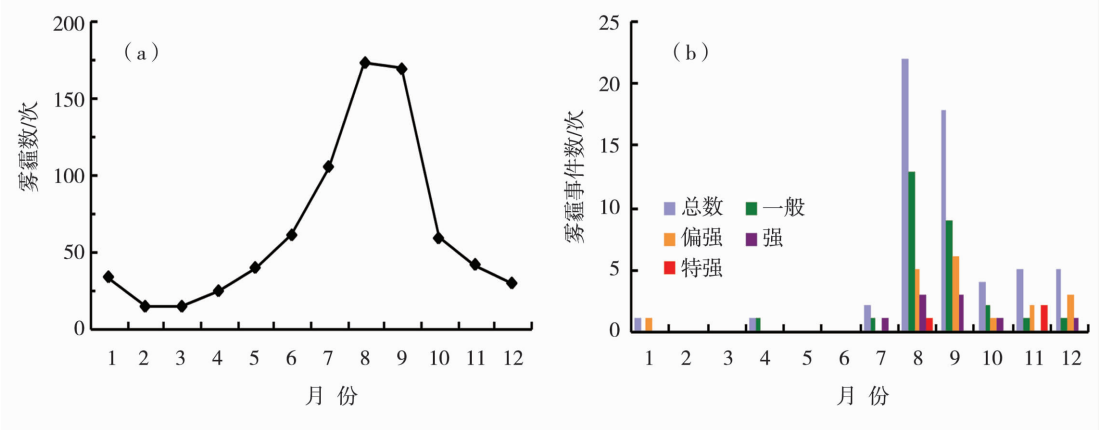

图 2　吉林省各月平均雾霾（a）和雾霾事件（b）发生次数

Fig. 2　Monthly change of average fog/haze (a) and fog/haze event (b) numbers in Jilin Province

其中一般雾霾事件有 6 次,偏强雾霾事件有 7 次,强雾霾事件有 3 次,特强雾霾事件有 2 次。上述可见,8 月和 9 月雾霾事件次数相近,但 8 月雾霾事件强度略强于 9 月,其它月份雾霾事件次数虽少,但特强雾霾事件 3 次有 2 次出现这些月份,且全部出现在 11 月。

2.3.2　雾霾和雾霾事件年际及年代际变化特征

图 3 为吉林省雾霾和雾霾事件出现次数的年际变化以及累积距平。由图 3a 看出,吉林省雾霾 1961 ~ 1995 年处于多发阶段,1996 ~ 2013 年处于少发阶段,其中雾霾次数最多年份出现在 1963 年,为 31.9 次,最少年份出现在 2011 年,仅为 9.2 次,较 1963 年少 3 倍之多。

由雾霾事件次数年际变化和累积距平曲线可见(图 3b),1961 ~ 1967 年和 1996 ~ 2013 年吉林省雾霾事件处于少发阶段,1968 ~ 1995 年处于多发阶段。除 1961 ~ 1967 年时段外,雾霾事件发生次数与雾霾的年变化规律基本一致,这说明 1961 ~ 1967 年雾霾事件发生的强度较弱。

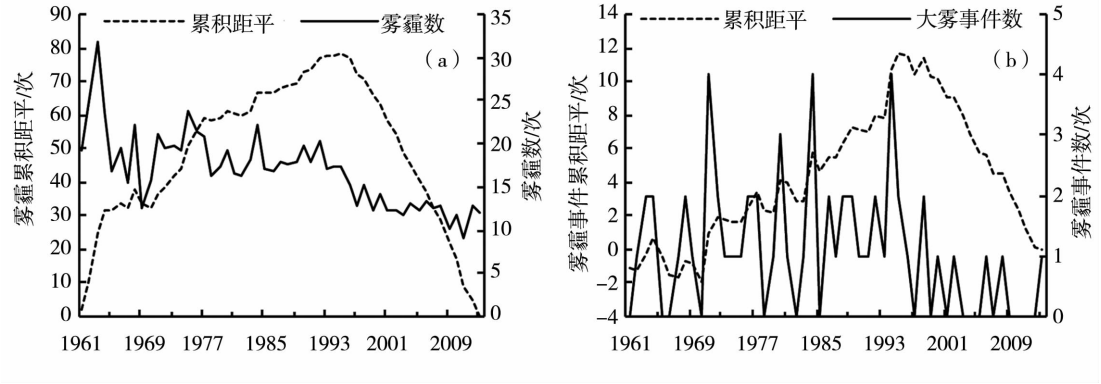

图 3　吉林省雾霾(a)和雾霾事件(b)次数年际变化

Fig. 3　Annual average variation of fog/haze(a) and fog/haze event(b) numbers in Jilin Province

统计全省雾霾次数的年代际变化(表 4)发现,雾霾次数呈逐年代下降趋势,但 1990 年代之前下降速度缓慢,之后下降速度有所加快。与雾霾不同,雾霾事件的年代际变化呈单峰型,1970 年代是雾霾事件出现最频繁的年代,达 17 次,1980 ~ 1990 年代次之,均为 14 次,2000 年以后雾霾事件明显减少,这说明 1970 ~ 1990 年代雾霾强度偏强。另外从各年代雾霾事件发生强度看,1990 年代以后,一般、偏强、强雾霾事件发生次数都有明显的减少趋势。由于特强雾霾事件出现频率低,53 a 仅出现了 3 次,且各年代出现次数均未超过 1 次,故其变化特征不明显。

2.4　雾霾事件历史气候重现期极值

基于雾霾事件综合指数,利用公式(6)估算了吉林省雾霾事件历史重现期极值指标(表 5),并利用该评估指标考察了吉林省 1961 年以来的 58 个雾霾事件,发现达到 5 a 以上一遇的雾霾事件有 10 次,达到 10 a 以上一遇的雾霾事件有 5 次,达到 50 a 以上一遇的雾霾事件有 2 次,迄今为止吉林省没有出现 100 a 以上一遇的雾霾事件。

2.5　雾霾事件试评估

利用上述雾霾事件评估指标对 2013 年 10 月 20 ~ 23 日雾霾事件进行了试评估(表 6)。可以看出,2013 年 10 月 20 ~ 23 日的雾霾事件综合指数为 5.974,位于 1961 年以来雾霾事件的第 4 位,为特强雾霾事件,且为 10 a 一遇的雾霾事件。

表 4　吉林省雾霾及雾霾事件的年代际分布

Tab. 4　Decadal distributions of fog/haze and fog/haze event with different levels in Jilin Province

	1961 ~ 1970	1971 ~ 1980	1981 ~ 1990	1991 ~ 2000	2001 ~ 2010	2011 ~ 2013
雾霾	20.2	19.9	18.2	16.1	12.4	11.4
雾霾事件	9	17	14	14	3	1
一般雾霾事件	5	9	5	7	2	0
偏强雾霾事件	0	6	6	5	1	0
强雾霾事件	3	1	3	1	0	1
特强雾霾事件	1	1	0	1	0	0

表 5 吉林省雾霾事件历史重现期极值评估指标

Tab. 5 Extreme value evaluation index of return period with historical fog/haze event in Jilin Province

重现期/a	5	10	20	30	50	100	200	300	500	1 000	10 000
极值指标	4.635	5.534	6.394	6.889	7.508	8.343	9.174	9.660	10.271	11.100	13.853

表 6 2013 年 10 月 20 ~ 23 日雾霾事件特征及评估

Tab. 6 Characteristics and assessment of the fog/haze event from 20 to 23 October 2013

持续日数/d	出现站次/次	平均持续时间/h	≤3 级能见度的平均影响级别	综合指数	排位	等级	历史重现期
4	86	7.6	2.51	5.974	4	2	10 a 一遇

3 小 结

(1)吉林省年平均雾霾日数呈由西北向东南增加的特点。

(2)吉林省雾霾及雾霾事件主要出现在 8 ~ 9 月,8 月雾霾事件强度略强于 9 月,但强雾霾事件主要出现在 10 ~ 11 月。1967 ~ 1995 年为雾霾和雾霾事件的偏多阶段,1996 ~ 2013 年雾霾和雾霾事件处于偏少阶段。1970 年代是雾霾和雾霾事件出现最频繁的年代,其次是 1980 ~ 1990 年代,此后雾霾和雾霾事件呈明显减少趋势,但强雾霾事件变化不明显。

(3)基于雾霾事件的多项因子构建了雾霾事件综合指数,在此基础上建立了雾霾事件的等级评估指标和历史气候重现期评估指标。

(4)用雾霾事件综合指数对吉林省 2013 年 10 月 20 ~ 23 日的雾霾事件进行了历史排位、等级评估及历史气候重现期评估,发现评估结果较为客观,便于业务应用。

尽管 21 世纪以来吉林省雾霾和雾霾事件发生次数明显减少,但由于气候变化背景下异常天气气候事件的频繁出现,异常雾霾事件仍有可能发生,2013 年 10 月 20 ~ 23 日吉林省出现的特强雾霾事件就是一个典型的例子,今后仍然要注意防御异常、突发性雾霾事件的发生。

参考文献:

[1] 王志强,王静爱. 关于雾灾几个相关问题的探讨[J]. 自然灾害学报,2004,13(2):134 - 139.

[2] 汪学军. 安徽九华山山区雾的气候特征与形成机理[J]. 干旱气象,2012,30(3):374 - 380.

[3] 王珊,修天阳,孙扬,等. 1960—2012 年西安地区雾霾日数与气象因素变化规律分析[J]. 环境科学学报,2014,34(1):19 - 26.

[4] 苗爱梅,李苗,王洪霞. 一次持续性雾霾天气过程的阶段性特征及影响因子分析[J]. 干旱气象,2014,32(6):947 - 953.

[5] 张人禾,李强,张若楠. 2013 年 1 月中国东部持续性强雾霾天气产生的气象条件分析[J]. 中国科学,2014,44(1):27 - 36.

[6] 汤鹏宇,何宏让,阳向荣. 大连海雾特征及形成机理初步分析[J]. 干旱气象,2013,31(1):62 - 69.

[7] 高红燕,贺音,王丹,等. 近 50 年西安市雾日数的变化趋势及可能原因[J]. 高原气象,2013,32(6):1739 - 1746.

[8] 张智,陈玉华,周红. 宁夏雾日和霾日的变化趋势分析[J]. 干旱气象,2013,31(4):715 - 719.

[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.

[10] 王丽萍,陈少勇,董安祥. 气候变化对中国大雾的影响[J]. 地理学报,2006,61(5):527 - 536.

[11] 周伟灿,魏炜. 基于灰色关联度法的雾灾损失评估模型研究[J]. 气象与环境科学, 2010,26(1):12 - 15.

[12] 邹晨曦,王晓云,王颖,等. 雾灾风险评估与区划方法[J]. 中国科技信息,2011(6):34 - 37.

[13] 史军,穆海振,崔林丽. 上海大雾气候特征及风险区划研究[J]. 自然灾害学报,2012,21(3):103 - 109.

[14] 万素琴,周月华,李兰,等. 低温雨雪冰冻极端气候事件的多指标综合评估技术[J]. 气象,2008,34(11):40 - 46.

[15] 蔡新玲,路岑之,程肖侠. 陕西省区域性暴雨过程综合评估方法研究[J]. 陕西气象,2012(6):16 - 19.

[16] 鹿翠华. 最大风速变化特征及再现期极值估算[J]. 气象科技,2010,38(3):399 - 402.

(下转至 290 页)