

恩施州气象站雾日变化趋势及原因分析^{*1}

汪川又¹ 赵采玲² 罗菊英¹

(1. 湖北省恩施自治州气象局, 湖北 恩施 445000;

2. 中国气象局兰州干旱气象研究所甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 西北区域数值预报中心, 甘肃 兰州 730000)

【摘要】:选取恩施州 8 个国家气象站 1960~2015 年地面气象观测资料, 利用相关、线性倾向估计、M-K 突变检验等方法对该地雾日变化趋势进行分析, 并对雾日变化原因进行初步探寻。结果表明:2000~2015 年恩施州各站雾日空间分布较 1960~1999 年发生了较大变化, SW-NE 向带状大值中心被切断, 出现了 NW-SE 向的雾日小值分布带; 近 56 年除宣恩年雾日持续减少外, 各站年雾日均在 20 世纪 60、70 年代突变后增多, 20 世纪末期减少并于 2012 年再次突变, 州西南部最先增减、西北部其次、东部最慢, 特别是近 16 年来年雾日显著减少, 州北部站点 ($-40 \sim -20 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$) 减少比南部 (约 $-4 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$) 快; 各站雾日变化和风速均呈负相关, 和相对湿度均呈正相关, 而气温和降水对不同站点雾日变化的影响则存在差异; 近 16 年恩施州低山山地 (恩施、来凤、宣恩、建始) 雾日减少主要和气温升高、风速增加有关, 中山山地 (咸丰、利川) 雾日减少主要与相对湿度减少有关。

【关键词】:雾日; 变化趋势; 原因

【中图分类号】:P49 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2017)03-0454-07

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201703016

雾在气象学中被定义为大量微小水滴悬浮于空中, 使水平能见度小于 1.0 km 的视程障碍现象, 以北京时 20 时为日界, 观测到一次即算一个雾日^[1]。雾对交通、农业、人体健康等多方面均有不利影响^[2~4], 因此引起了气象学者的关注^[5~10]。王丽萍等^[11]利用 1961~2003 年中国 602 个台站的地面观测资料, 分析发现大雾日数与气温、相对湿度存在一定关系。吴兑等^[12]对中国大陆雾和轻雾的长期变化趋势进行分析, 发现我国大陆雾日东南多西北少、冬半年多夏半年少。

¹ 收稿日期:2016-06-16; 修回日期:2016-10-31

基金项目:湖北省恩施州气象局科技发展基金项目 201604 [Science and Technology Development Foundation of Enshi Autonomous Prefecture Meteorological Bureau (No. 201604)]

作者简介:汪川又(1990~), 女, 助理工程师, 主要从事中短期预报方法研究. E-mail:eswcy@sohu.com

恩施州位于湖北省西南部,境内地势复杂,其东北部是大巴山山脉,北部是巫山山脉,西北部为齐岳山山脉,东南部为武陵山山脉。恩施山区大雾频发,给交通安全带来较大威胁,引起了当地气象工作者的重视。2008年前后,罗菊英等^[13~15]从气候特征、天气形势等方面对恩施州大雾进行了分析,并建立了短期预报方法,但缺乏对雾长期演变特征的细化研究。统计1960~2015年恩施州8个国家气象站年雾日数据,发现从2000年起恩施、来凤、宣恩年雾日开始持续减少,近16年中有15年年雾日低于56年平均值,咸丰、利川、鹤峰均有10年及以上年雾日低于56年平均值,同时恩施、宣恩近16年年平均雾日比近56年年平均雾日分别偏少18、21.2d,表明2000年以来恩施州各站雾日正在大幅减少,尤其是恩施站,1992年年雾日达到103d,而2015年仅3d。近几年,我国部分气象站(如重庆、安徽等地)雾的记录逐渐由能见度观测仪取代人工观测,恩施州各站虽于2013年启用自动能见度仪(恩施站除外),但截至2015年,天气现象和能见度定时观测仍以人工目测为准,故近年雾日数据的急剧变化跟启用自动能见度仪关系不大,但雾日的这种大幅减少绝非偶然,因此针对恩施州雾日变化趋势分析及原因探究显得尤为必要。

本文选取恩施州8个国家站1960~2015年地面实测资料,将大雾急剧减少前后两个时段(1960~1999年、2000~2015年)进行对比分析,同时采用相关统计学方法,在分析雾日变化趋势的基础上,与可能影响大雾变化的其它气象要素进行深入分析,初步探寻雾日变化的气象因子,对本地区气候变化研究、预报服务等具有一定的参考价值。

1 资料与方法

1.1 采用资料

恩施州8个国家站地面观测资料。该时段迁站信息如下:

巴东:2000年从柳树坪山腰(海拔294.5m)迁至白土坡狮子包(海拔334.0m);

建始:1985年从红土坪(海拔614.1m)迁至县城城郊(海拔609.5m);

来凤:2010年从金盘山脚机场(海拔459.5m)迁至翔凤镇老寨坪村和尚堡(海拔502.8m)。

1.2 研究方法

(1) 相关分析法^[16]

相关分析法是衡量两变量间关系密切程度的一种方法。当Pearson相关系数 $R > 0$,表示两变量呈正相关; $R < 0$ 为负相关; $R = 0$ 则相互独立。 $|R|$ 越接近1,相关越显著。给定显著性水平 α ,如果 $|R| > R_{\alpha}$,认为在 α 的显著性水平上,相关系数是显著的。本文选取 $\alpha = 0.05$ 和 $\alpha = 0.01$ 为显著性水平。

(2) 气候倾向率估计法^[16]

气候倾向率估计法是指通过建立气候序列与时间的一元线性回归,得到气候序列变化趋势。回归系数 b 表示气候趋势倾向, $b > 0$ 说明 X 随时间呈上升趋势, $b < 0$ 则呈下降趋势, b 值大小反映上升或下降速率, a, b 可用最小二乘法估计。雾日气候倾向率即为 $10 * b$,单位为 $d \cdot (10 a)^{-1}$ 。如果雾日与时间的相关系数 R 通过显著性检验,则气候倾向率是显著的。

(3) Mann-Kendall (M-K) 突变检验法^[16]

M-K 突变检验法是一种非参数方法,用于检验统计量随时间的变化趋势。若统计量 UF_1 、 UBK 大于 0,则表明序列呈上升趋势;小于 0 则下降。给定显著性水平 α ,若 $|UF_1| > UF \alpha$,则表明序列存在明显趋势变化。若 UF 、 UB 两条曲线在临界线之间出现交点,则交点对应时刻即突变开始时间。

2 结果与分析

2.1 雾日变化趋势

2.1.1 空间分布的时间演变

将 1960~1999 年、2000~2015 年恩施州各站年雾日进行算术平均,得到雾日空间分布图(图 1)。图 1a 可见 1960~1999 年恩施州年平均雾日空间分布西多东少,自西南部向中北部延伸的咸丰、恩施雾日最多(60d 以上),形成 SW-NE 向带状大值中心,位于东南部的鹤峰和东北部的巴东雾日较少。恩施、咸丰地处西北部高大山岳齐岳山和中南部武陵山之间的山谷盆地,山脉屏障作用导致近地面常年弱风,一方面利于辐射降温,另一方面也使水汽积聚在近地面,此外山谷风热力环流导致盆地气温日较差较大,夜间山风流向谷地进一步降低气温,促使空气中水汽凝结成雾,在多种有利因子作用下,恩施、咸丰成为州内雾日大值中心。图 1b 可见 2000~2015 年除巴东、建始外恩施州各站年雾日均有显著减少,雾日空间分布也发生了较大改变。恩施站年平均雾日减少显著,不再是州内大雾频发中心,巴东则由州内雾日少发地变为雾日多发地,SW-NE 向带状大值中心被切断,出现了 NW-SE 向的雾日小值分布带。对比前后两个时段,雾日空间分布有明显的变化,建始、巴东可能受到迁站影响,但恩施和咸丰的地形并没有发生大的改变,咸丰仍是恩施州内雾日大值中心,而恩施雾日却大幅减少,这是值得关注的。

2.1.2 气候倾向率

表 1 给出了恩施州各站 1960~1999 年、2000~2015 年的雾日气候倾向率。前 40 年,除宣恩年雾日以 $6.71 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 的速度减少外,其余各站年雾日均呈增加趋势,其中巴东增加最快($15.52 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$),且除咸丰外均通过显著性检验,说明该时段恩施州大部站点年雾日增加趋势显著;近 16 年来恩施州各站年雾日则呈明显减少趋势,北部站点(恩施、利川、巴东、建始)雾日气候倾向率在 $-40 \sim -20 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 之间,即每年减少 2~4d,巴东减小最快,恩施次之,南部除咸丰雾日减少幅度为 $-14.5 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 外,其余各站均为 $-4 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 左右,即恩施州北部站点雾日减少较快,南部则减少相对较慢,且除宣恩和来凤外都通过显著性检验,说明该时段恩施州大部站点年雾日减少趋势显著。从两个时段的气候倾向率值大小来看,除来凤前期增加速度较后期减少速度快外,其余各站前 40 年的增加速度都远小于近 16 年的减少速度。从整个时段上看(1960~2015 年),除宣恩雾日持续减少外,其余各站均呈先增后减趋势。

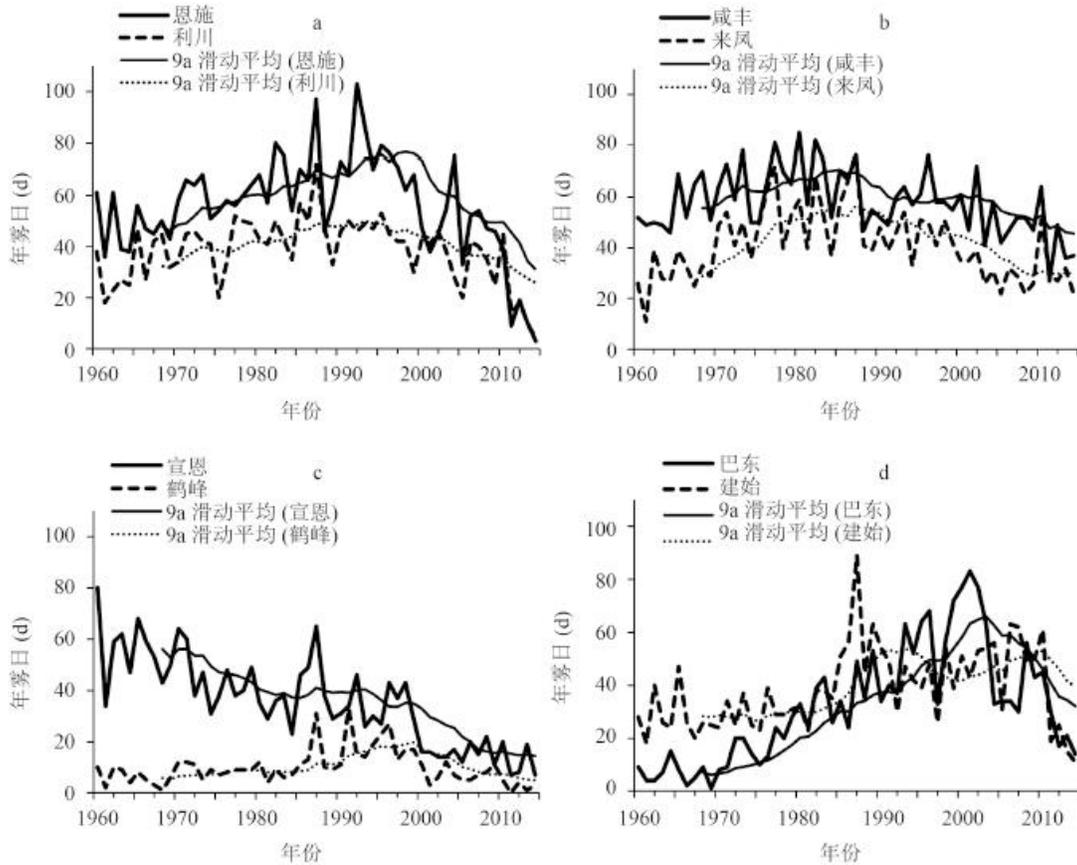
表 1 恩施州各站雾日气候倾向率
Tab.1 Climate Inclination Rate of Fog in Enshi Area

站点	恩施	利川	咸丰	来凤	宣恩	鹤峰	巴东	建始
1960~1999年	8.05**	4.37**	1.18	5.14**	-6.71**	3.87**	15.52**	6.4**
2000~2015年	-30.88**	-21.94**	-14.54*	-4.22	-4.25	-4.19*	-39.26**	-25.81**

注: *表示通过0.05显著性检验, **表示通过0.01显著性检验;单位: $\text{d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。

2.1.3 雾日年度变化

对恩施州各站年雾日进行聚类分析,发现恩施和利川相似、咸丰和来凤相似,因此下文在分析各站雾日逐年分布时,将恩施、利川分为一组,咸丰、来凤分为一组。图2给出了恩施州各站雾日逐年变化图,可见各站雾日年际变化较大,波动起伏明显,因此采用9 a滑动平均法削弱短时间序列的波动影响。



注: a: 恩施、利川, b: 咸丰、来凤, c: 宣恩、鹤峰, d: 巴东、建始

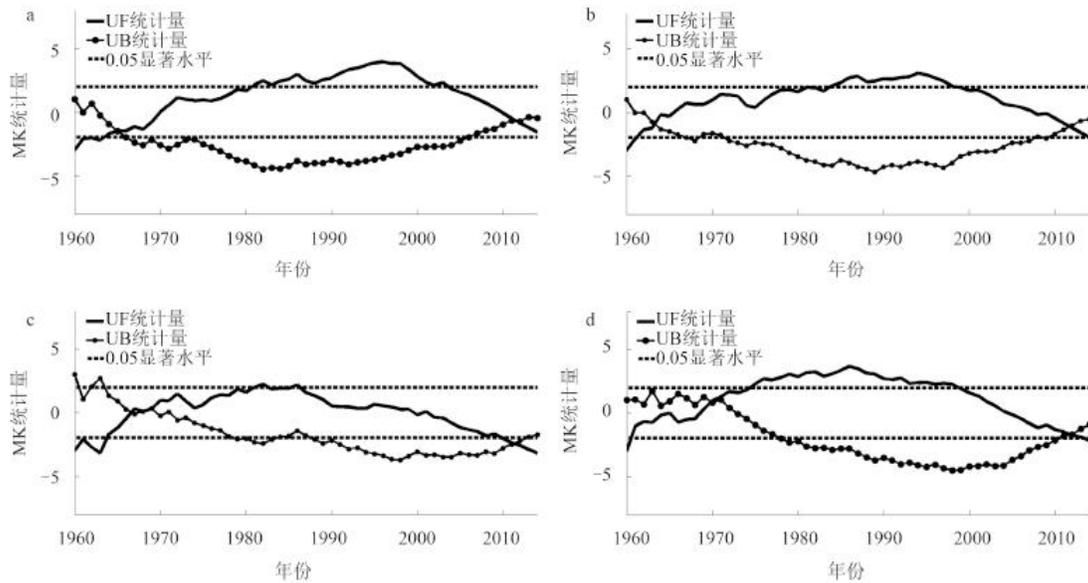
图2 1960~2015年恩施州各站年雾日时间分布及9 a滑动平均图

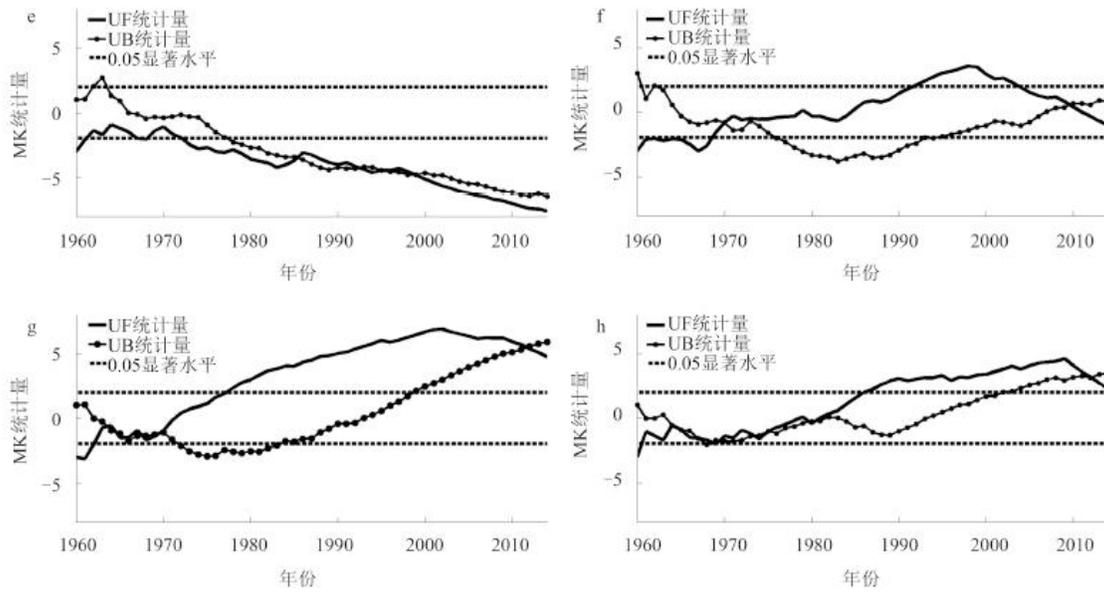
Fig.2 Time Distribution and 9 a-Sliding of Fog in Enshi Area During 1960-2015

图2a表明恩施、利川年雾日先波动上升,于20世纪80、90年代达到顶峰后减少,21世纪以来减少较快,恩施年雾日明显多于利川,但近年恩施年雾日减少幅度更大,以至于2011年以来两站年雾日几乎一致;图2b表明可见咸丰年雾日明显多于来凤,咸丰、来凤年雾日先波动上升,在20世纪70、80年代达到最多,80年代后期则逐渐减少;图2c表明宣恩年雾日呈线性减小趋势,鹤峰年雾日变化不大,但两站年雾日均在20世纪80、90年代有明显波动;图2d表明巴东年雾日随时间逐步增加,但2000年突然减少,可能是迁站所致,但后期也有明显减小,建始年雾日于1985年显著上升,可能为迁站所致,之后变化平缓,直到2009年前后明显减小。综上,州内各站除宣恩年雾日持续减少外,其余各站年雾日都呈先增后减分布,这和丁一汇等^[17]结论一致,州西南部最先增减、西北部其次、东部最慢,雾日的增加相对较慢,减少却很快。

2.1.4 雾日年突变检查

图3给出了恩施州各站年雾日M-K突变检验结果,图3a、3b表明恩施、利川年雾日在20世纪60年代末出现突变后呈增加趋势,80、90年代增加趋势显著,21世纪初雾日减少,并于2012年左右再次突变;图3c、3d表明咸丰、来凤年雾日在20世纪60年代末、70年代初发生突变后增加,70、80年代来凤增加趋势显著,之后雾日减少,并于2012年左右发生突变;图3e表明宣恩年雾日从20世纪60年代后期开始持续下降,80年代开始下降趋势显著;图3f表明鹤峰年雾日在20世纪70年代初突变后变化平缓,90年代初上升趋势显著,之后则减少且于2012年左右发生突变;图3g表明巴东年雾日在20世纪60年代末突变后增多,80年代开始显著上升;图3h表明建始在20世纪70年代发生突变,90年代增多趋势显著。结果表明,恩施州除宣恩年雾日持续减少外,其余各站年雾日均发生了两次突变,在20世纪60代末、70年代初发生第一次突变后呈增多趋势,在20世纪后期增多趋势显著,后又逐渐减少,21世纪初年雾日减少较快,并于2012年前后发生第二次突变。





注: a: 恩施, b: 利川, c: 咸丰, d: 来凤, e: 宣恩, f: 鹤峰, g: 巴东, h: 建始, $\alpha=0.05$ 显著性水平临界值为 ± 1.96

图3 恩施州各站年雾日M-K突变检验图

Fig.3 M-K Test of Fog in Enshi Area

2.2 雾日变化的气象因子

雾是水汽在静风高湿状态下,气温降低凝结形成,因此本文选取平均最低气温、平均相对湿度、平均风速和降水量等气象要素,分析恩施州各站雾日和气象要素相关性,以探究雾日减少的气象因素。这些气象要素不仅能直接导致雾日减少,相互也有内在联系。降水量减少会导致大气水汽含量减少,从而使相对湿度减少;气温升高也意味着大气中需含有更多的水汽才会使空气饱和。由于年雾日数据相对较少,本文用数据更加丰富的月雾日和气象要素进行了相关性分析,以期寻找雾日变化的气象因子。

表2、表3分别给出了两个时段(1960~1999年、2000~2015年)月雾日和气象要素的相关性分析,通过分析发现雾日变化与气象要素关系密切,且大部通过显著性检验。由表2可知,各站雾日变化和风速均呈负相关,和相对湿度均呈正相关,而气温和降水对不同站点雾日变化的影响则存在差异。低山山地恩施、来凤、宣恩、建始雾日与气温、降水量呈负相关,且与气温关系密切程度最大,相关系数均在0.5以上,说明低山雾日变化主要和气温相关;中山山地利川、咸丰雾日变化与降水量呈负相关,和气温呈正相关,且与风速关系最为密切;巴东雾日变化与气温、降水量呈正相关,和相对湿度、风速相关系数均在0.5以上,说明巴东雾日变化主要和相对湿度和风速有关,这可能和巴东位于沿江河谷多平流雾有关,平流雾发生时一般比辐射雾风速稍大,使雾能维持一定时间和厚度,但风速又不能过大以致雾滴浓度被稀释;鹤峰雾日变化与气温呈负相关,和降水量呈正相关,且主要和湿度、气温相关。

表 2 1960~1999年恩施各站月雾日与气象要素相关性

Tab.2 Correlation Between Monthly Fog and Meteorological Elements in Enshi Area During 1960-1999

站点	恩施	来凤	宣恩	建始	利川	咸丰	巴东	鹤峰
月平均最低气温	-0.65**	-0.53**	-0.52**	-0.5**	0.05	0.09*	0.26**	-0.14**
月平均相对湿度	0.52**	0.19**	0.32**	0.37**	0.1*	0.12**	0.54**	0.18**
月降水量	-0.43**	-0.41**	-0.39**	-0.39**	-0.04	-0.02	0.42**	0.03
月平均风速	-0.23**	-0.31**	-0.29**	-0.37**	-0.3**	-0.13**	-0.5**	-0.1*

注: *表示通过0.05显著性检验, **表示通过0.01显著性检验.

表 3 2000~2015恩施各站月雾日与气象要素相关性

Tab.3 Correlation Between Monthly Fog and Meteorological Elements in Enshi Area During 2000-2015

站点	恩施	来凤	宣恩	建始	利川	咸丰	巴东	鹤峰
月平均最低气温	-0.59**	-0.61**	-0.6**	-0.57**	0.01	0.02	0.23**	-0.14**
月平均相对湿度	0.42**	0.32**	0.22**	0.28**	0.25**	0.14	0.5**	0.1
月降水量	-0.38**	-0.41**	-0.47**	-0.39**	-0.04	-0.13	0.43**	0.02
月平均风速	-0.32**	-0.21**	-0.35**	-0.43**	-0.27**	-0.38**	-0.39**	-0.06

注: *表示通过0.05显著性检验, **表示通过0.01显著性检验.

从表 3 中可见近 16 年来恩施州各站月雾日和气象要素相关性与前 40 年一致,但从相关系数数值大小来看,低山山地雾日与气温的相关系数数值除恩施外均增加,与风速相关系数数值除来凤外均增加,表明近 16 年低山山地雾日显著减少与气温升高、风速增大有关,中山山地雾日与相对湿度相关系数数值均增大,表明近 16 年中山山地雾日显著减少与相对湿度减少有关。此外,对近 16 年各站年雾日和气象要素做 2 次多项式趋势分析进行验证(图略),也发现和上述结论基本一致。

3 结论

综合上述分析,可以得出以下结论:

(1) 2000~2015 年恩施州各站雾日空间分布较 1960~1999 年发生了较大变化, SW-NE 向带状大值中心被切断,出现了 NW-SE 向的雾日小值分布带,恩施不再是州内雾日大值中心。

(2) 1960~2015 年除宣恩雾日持续减少外,恩施州各站雾日均在 20 世纪 60、70 年代突变后增多,20 世纪末期减少并于 2012 年再次突变,州西南部最先增减、西北部其次、东部最慢,雾的增加相对较慢,减少却很快。特别是近 16 年来年雾日显著减少,州北部($-40 \sim -20 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$)减少比南部(约 $-4 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$)快。

各站雾日变化和风速均呈负相关,和相对湿度均呈正相关,而气温和降水对不同站点雾日变化的影响存在差异。低山山地与气温、降水量呈负相关;中山山地与降水量呈负相关,和气温呈正相关;巴东雾日变化与气温、降水量呈正相关;鹤峰雾日变化与气温呈负相关,和降水量呈正相关。

恩施州低山雾日变化主要和气温有关,中山山地主要和风速有关,巴东主要受风速和相对湿度的影响,鹤峰主要受相对湿度和气温影响。近 16 年恩施州低山山地雾日减少主要和气温升高、风速增加有关,中山山地雾日减少主要与相对湿度减少有关。

参考文献:

[1] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 23.

-
- [2] 赵慧霞, 王维国, 李泽椿, 等. 雾对我国交通运输的不利影响及对策[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(2): 58 - 62.
- 【ZHAO H X, WANG W G, LI Z C, et al. Effects of fog on traffic and transportation and the countermeasures in China[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2010, 26(2): 58 - 62.】
- [3] 张福斌, 余清波. 浅谈雾对农业生产的影响[J]. 吉林农业, 2012(6):145 - 146.
- [4] 潘 铭. 浅谈雾霾对人体健康的影响[J]. 微量元素与健康研究, 2013, 30(5): 65 - 66.
- [5] 黄治勇, 牛 奔, 叶丽梅, 等. 长江三峡库区极端大雾天气的气候变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(5): 646 - 652.
- 【HUANG Z Y, NIU B, YE L M, et al. Analysis of climatic characteristics of extreme fog in the region around the three gorges reservoir[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(5): 646 - 652.】
- [6] 崔驰潇, 包云轩, 袁成松, 等. 江苏省沿海高速公路雾的时空变化特征研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(12): 6 - 20.
- 【CUI C X, BAO Y X, YUAN C S, et al. Study on temporal and spatial occurrence pattern of fog on the coastal expressway of Jiangsu province[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(12):6 - 20.】
- [7] 李子华. 中国近 40 年来雾的研究[J]. 气象学报, 2001, 59(5): 616 - 623.
- 【LI Z H. Studies of fog in China over the past 40 years[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 59(5): 616 - 623.】
- [8] 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.
- 【WANG L P, CHEN S Y, DONG A X. The distribution and seasonal variations of fog in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(4):689 - 697.】
- [9] 向 波, 刘 德, 廖代强. 重庆雾的特点及其变化分析[J]. 气象, 2003, 29(2): 48 - 52.
- 【XIANG B, LIU D, LIAO D Q. Analysis of characteristics of fog and its change in Chongqing[J]. Meteorological Monthly, 2003, 29(2):48 - 52.】
- [10] 宫世贤, 凌升海. 西双版纳雾在减少[J]. 气象, 1996, 22(11): 10 - 14.
- 【GONG S X, LING S H. Fog in Xishuangbanna was reducing[J]. Meteorological Monthly, 1996, 22(11): 10 - 14.】
- [11] 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.

【WANG L P, CHEN S Y, DONG A X. Impact of climate warming on fog in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(5): 527 - 536. 】

[12] 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 - 151.

【WU Y, WU X J, LI F, et al. Long-term variation of fog and mist in 1951—2005 in mainland China[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2011, 27(2): 145 - 151. 】

[13] 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.

【LIU J, ZHOU J S, GUO J, 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] 罗菊英, 周建山, 刘 健, 等. 鄂西南不同地形地貌环境下大雾气候特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2011, 31(4): 51 - 58.

【LUO J Y, ZHOU J S, LIU J, et al. Analysis of the heavy mist characteristics in different geographical Conditions in the Southwest of Hubei Province[J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2011, 31(4): 51 - 58. 】

[15] 罗菊英, 周建山, 刘 健, 等. 恩施山区冬季浓雾基本特征及生成机理研究[J]. 高原山地气象研究, 2009, 29(S1): 26 - 31.

【LUO J Y, ZHOU J S, LIU J, et al. Research on the basic characteristics and formation mechanism of the heavy fog in winter in Enshi mountain area[J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2009, 29(S1): 26 - 31. 】

[16] 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: 20 - 72.

【WEI F Y. Modern Climate Statistical Diagnosis and Prediction Technology[M]. Beijing: Meteorological Press, 1999: 20 - 72. 】

[17] 丁一汇, 柳艳菊. 近 50 年我国雾和霾的长期变化特征及其与大气湿度的关系[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(1): 37 - 48.

【DING Y H, LIU Y J. Analysis of long-term variations of fog and haze in China in recent 50 years and their relations with atmospheric humidity[J]. Science China Earth Sciences, 2014, 57(1): 36 - 46. 】