

苟杨,周智晖,廖波,等. 近 30 a 黔南地区辐射雾和雨雾时空分布特征[J]. 中低纬山地气象, 2023, 47(3): 73 - 79.

近 30 a 黔南地区辐射雾和雨雾时空分布特征

苟 杨¹, 周智晖², 廖 波³, 黄麟媛¹, 谢亚玲¹, 宋彦棠¹

(1. 贵州省黔南布依族苗族自治州气象局, 贵州 都匀 558000,
2. 贵州省丹寨县气象局, 贵州 丹寨 557500, 3. 贵州省气象服务中心, 贵州 贵阳 550002)

摘 要: 利用 1991—2020 年黔南地区 12 站逐日最小能见度、降水量、日照时数、云量、气温、相对湿度、风速等气象观测资料, 对辐射雾和雨雾进行判定, 并采用正交函数分解 (EOF)、Mann - Kendall 突变检验、线性倾向估计等方法分析其时空分布特征。结果表明: 黔南地区辐射雾和雨雾时空分布差异较大, 辐射雾高发区为平塘、罗甸、龙里, 雨雾高发区为独山、都匀、长顺。都匀、龙里、长顺、瓮安、平塘、福泉、荔波、罗甸近 10 a 辐射雾明显减少或雨雾异常增多, 异常变化特征显著; 辐射雾日比雨雾日多 42.2%, 辐射雾占大雾过程的 87.1%, 雨雾占 13.9%, 辐射雾主要在夏末至秋冬季, 雨雾主要在冬季至初春; 辐射雾在 2011 年之后明显减少、雨雾在 2017 年之后急剧陡升, 均发生显著突变; 辐射雾有 9 站呈减少趋势, 雨雾有 8 站呈现增加趋势。

关键词: 黔南地区; 辐射雾; 雨雾

中图分类号: P426.4⁺2 **文献标识码:** B

Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Radiation Fog and Rain Fog in Southern Guizhou in Recent 30 years

GOU Yang¹, ZHOU Zhihui², LIAO Bo³, HUANG Linyuan¹, XIE Yaling¹, SONG Yantang¹

(1. Qiannan Bouyei and Miao Autonomous Prefecture Meteorological Bureau of Guizhou Province, Duyun 558000, China; 2. Danzhai Meteorological Bureau of Guizhou Province, Danzhai 557500, China; 3. Guizhou Meteorological Service Center, Guiyang 550002, China)

Abstract: Radiation fog and rain fog were determined based on meteorological observation data of 12 stations in Qiannan area from 1991 to 2020, which include minimum visibility, daily precipitation, sunshine duration, cloud cover, air temperature, relative humidity, wind speed and so on. Orthogonal function decomposition (EOF), Mann - Kendall mutation test, linear propensity estimation were used to analyze the temporal and spatial distribution characteristics of radiation fog and rain fog. The results show that: the spatial and temporal distributions of radiation fog and rain fog in Qiannan area are quite different. Radiation fog occurs most frequently in Pingtang, Luodian and Longli, while the rain fog occurs most frequently in Dushan, Duyun and Changshun. Radiation fog decreased obviously or rain fog unusual increase in recent 10 years in Duyun, Longli, Changshun, Weng'an, Pingtang, Fuquan, Libo and Luodian, the characteristics of abnormal change are obvious. Radiation fog day is 42.2% more than rain fog day. Radiation fog accounts for 87.1% and the rain fog accounts for 13.9% of the fog process. Radiation fog mainly occur from late summer to winter, and rain fog mainly occur from winter to early spring; radiation fog decreased significantly after 2011, rain fog increased sharply after 2017, all of which showed

收稿日期: 2022 - 09 - 16

第一作者简介: 苟杨 (1991—), 女, 工程师, 主要从事天气预报研究, E-mail: 983733200@qq.com。

通讯作者简介: 宋彦棠 (1981—), 男, 高工, 主要从事气象信息网络工作, E-mail: 19431883@qq.com。

资助项目: 贵州省气象局科研业务项目 (黔气科登 [2021] 09 - 03 号): 黔南雨雾与辐射雾的气象要素演变及时空分布; 贵州省科技计划项目 (黔科合支撑 [2022] 一般 286): 贵州山区高速公路团雾监测预警技术研究。

a significant mutation. Radiation fog at 9 stations showed a decreasing trend, while rain fog at 8 stations showed an increasing trend.

Key words: Qiannan area; radiation fog; rain fog

0 引言

黔南地区位于青藏高原东南侧的斜坡地带,地势西北高东南低,属于中国亚热带高原季风湿润气候。由于地处低纬山区,地势高低相差悬殊,天气气候特点在垂直方向上差异较大,立体气候明显,有利于雾的形成和发展^[1]。随着近年来高速公路建设的发展,雾的影响日益突出,成为一种常见的灾害性天气,它虽然不像暴雨、冰雹等直接导致人员伤亡和财产损失,但它是交通事故、电力安全以及疾病爆发的诱因^[2]。雾的种类很多,常见的有辐射雾、平流雾、锋面雾、蒸发雾、上坡雾、混合雾等。李慧晶等^[3]分析了四川不同等级雾的时空分布、持续时间及生消时间,王茂书等^[4]通过分析比较筛选出对预报有意义的气象要素,建立一套适用于本地区的预报方法并开发了预报雾的应用平台;顾清源等^[5]对本地大雾形成的原因进行分析;另有一些学者^[6-18]对本地大雾的时空分布、环流形势、气象要素演变等进行了总结;还有一些学者^[14-16]对典型大雾天气过程进行分析研究,探讨其发生发展的详细经过,得出了一些雾的特征及预报思路。黔南地区最常见的是辐射雾、下雨导致低能见度的雨雾以及静止锋锋面雾。本文对黔南州辐射雾和雨雾的时空分布特征进行了统计分析,为黔南地区辐射雾预报、雨雾预报及服务提供理论支撑。因静止锋锋后常常阴雨蒙蒙、能见度低,故本文将静止锋锋面雾也归到雨雾进行研究。

1 资料与方法

本文采用黔南地区 1991—2020 年 12 个国家气象观测站逐日地面气象资料,包括夜间(20—08 时)降水量、白天(08—20 时)降水量、最小能见度、日照时数、日总云量、日最高气温、日最低气温、平均相对湿度、最小相对湿度、平均风速等气象观测资料,并进行质控处理。辐射雾是夜间天气晴空少云,辐射降温较快导致低层水汽饱和和引起的,雨雾则与降水发生、持续和结束时间几乎同步。根据两者不同的形成原理提取出各站辐射雾日和雨雾日的时间序列,采用验正交函数(EOF)分析、Mann-Kendall 突变检验、线性趋势等方法对辐射雾和雨雾时空变

化特征进行分析。

辐射雾:日最小能见度 $< 1\text{ km}$, (1) 当 24 h 无雨时,满足总云量 ≤ 4 成、日温差 $\geq 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等条件,定义为辐射雾日; (2) 当白天(08—20 时)雨量 $\geq 0.1\text{ mm}$ 时,满足总云量 ≤ 4 成、日温差 $\geq 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、日照时数 $\geq 5\text{ h}$ 、平均相对湿度 $\leq 80\%$ 等条件,定义为辐射雾日。

雨雾:日最小能见度 $< 1\text{ km}$, (1) 当 24 h 雨量 $\geq 0.1\text{ mm}$ 时,满足总云量 ≥ 8 成、日温差 $\leq 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、日照时数 $\leq 2\text{ h}$ 等条件,定义为雨雾日; (2) 当 24 h 无雨时,满足平均相对湿度 $> 80\%$ 条件,定义为雨雾日。

大雾过程:黔南地区出现 4 站(占总站数的 1/3)及以上出现辐射雾或雨雾认为大雾过程;出现 6 站(占总站数的 1/2)及以上出现辐射雾或雨雾认为大范围大雾过程。

2 结果与分析

2.1 空间分布特征

2.1.1 平均值分布 从近 30 a 与近 10 a 黔南地区 12 个国家气象站的辐射雾日和雨雾日年平均值来看,辐射雾(图 1a、1b)近 30 a 来高发中心为平塘站 34.8 d/a,高发区位于平塘—罗甸—龙里一带,年均发生 20 d/a 以上,最少为西部长顺的 2.8 d/a;近 10 a 来高发中心仍在平塘(28.2 d/a),高发区有所不同,主要为罗甸—平塘—都匀—福泉一带,年均发生 10 d/a 以上,最少仍为长顺 2.1 d/a。其中,龙里和罗甸频次异常降低,龙里从近 30 a 的 21.8 d/a 降至近 10 a 的 4.2 d/a,罗甸从 24.1 d/a 降至 11.6 d/a,从高发区降至贫发区。

雨雾(图 1c、1d) 近 30 a 来高发中心为独山(30.7 d/a),高发区为独山—都匀一带,年均发生 20 d 以上,西部长顺也是小高值区 14.4 d/a,最少为东南部荔波(1.2 d/a)。雨雾近 10 a 来高发中心为都匀(55.3 d/a),高发区为都匀—独山一带,另一高发区仍在长顺(21.1 d/a)。近 30 a 和近 10 a 来高发中心的独山年平均雨雾日数变化不大,而都匀由近 30 a 来的 21.0 d 增加至近 10 a 来的 55.3 d,雨雾频次异常增大。

2.1.2 异常分布 从以上分析可以看出,黔南地区的辐射雾和雨雾空间分布发生了异常变化。为了进一步分析异常分布,分别对辐射雾和雨雾进行

EOF 分解前 2 个空间模态。辐射雾(图 2a、2b)第 1 载荷向量除北部瓮安、都匀为负值少值外,其余地区为正值多值区,正值大值中心出现在北部龙里、惠水、贵定、南部罗甸,模态对总方差贡献率为 35.2%;雨雾第 1 载荷向量除龙里为负值少值外,其余地区为正值多值区,正值大值中心为西部惠水和

长顺、东部三都、中部平塘、北部瓮安,模态对总方差贡献率为 46.1%。分析表明,在大尺度天气气候系统影响下,瓮安、都匀、贵定、龙里、惠水、罗甸等站的辐射雾和龙里、平塘、三都、惠水、长顺、瓮安等站的雨雾易发生异常变化。

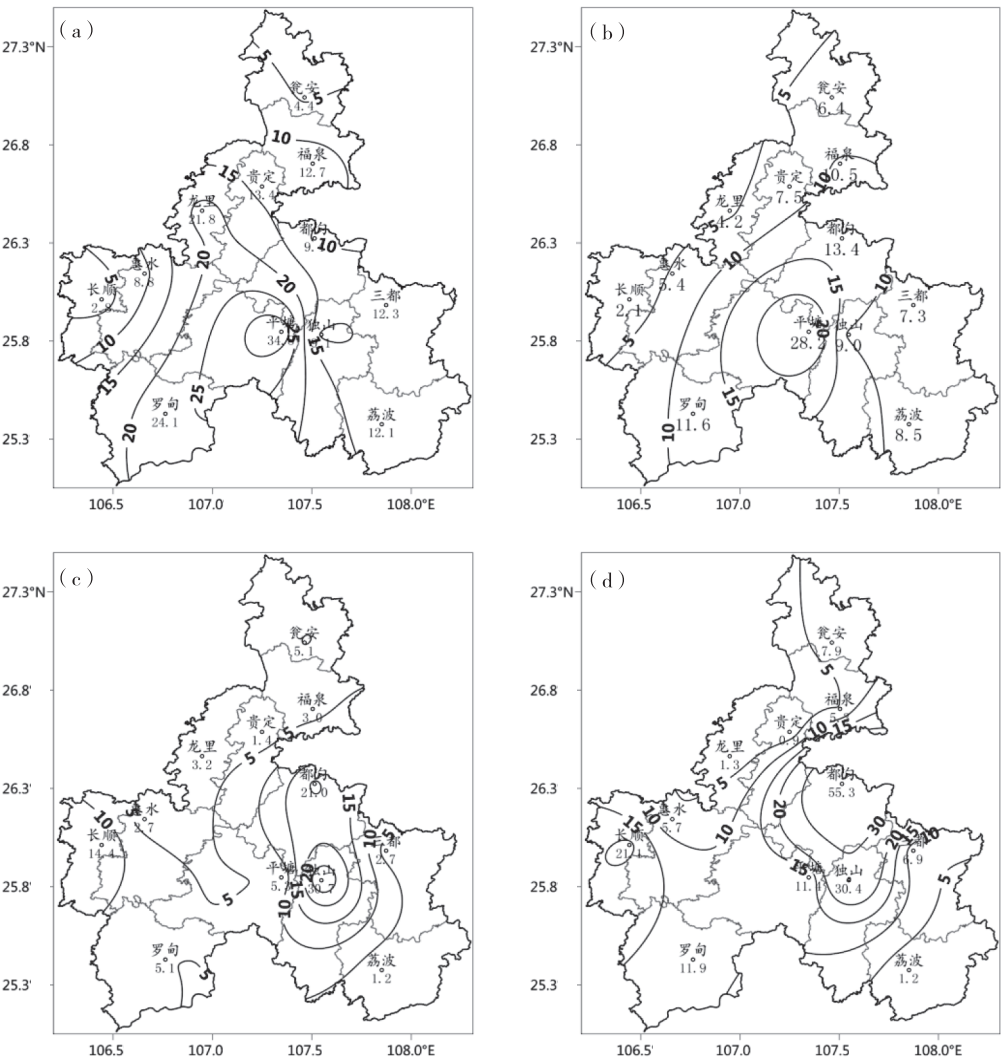


图 1 黔南地区年平均辐射雾(a. 近 30 a; b. 近 10 a)和雨雾(c. 近 30 a; d. 近 10 a)空间分布
Fig. 1 Spatial distribution of annual mean radiation fog(a. in recent 30 years, b. in recent 10 years)
and rain fog (c. in recent 30 years, d. in recent 10 years) in southern Guizhou

辐射雾和雨雾的第 2 模态分布各有所不同(图 2c、2d)。辐射雾:东南部荔波和三都、西北部贵定和龙里的第 2 载荷向量均为负值,其余地区为正值,正值中心为南部独山和北部瓮安,且正值中心绝对值大于负值中心绝对值,该模态对总方差贡献率为 19.2%。雨雾:东部福泉和都匀、南部罗甸、西部惠水的第 2 载荷向量均为负值,其余地区为正值,正值中心为北部龙里,正值中心绝对值大于负值中心绝

对值,该模态对总方差贡献率为 20.2%。从辐射雾和雨雾第 2 模态分布来看,正负值既有东西反向变化,又有南北反向变化,但一定程度上反映出地形地貌和海拔高度对辐射雾和雨雾的影响。
以上分析可以看出,近 10 a 来黔南地区的都匀、龙里、长顺、瓮安、平塘、福泉、荔波、罗甸等站辐射雾明显减少或雨雾异常增多,异常变化特征显著。

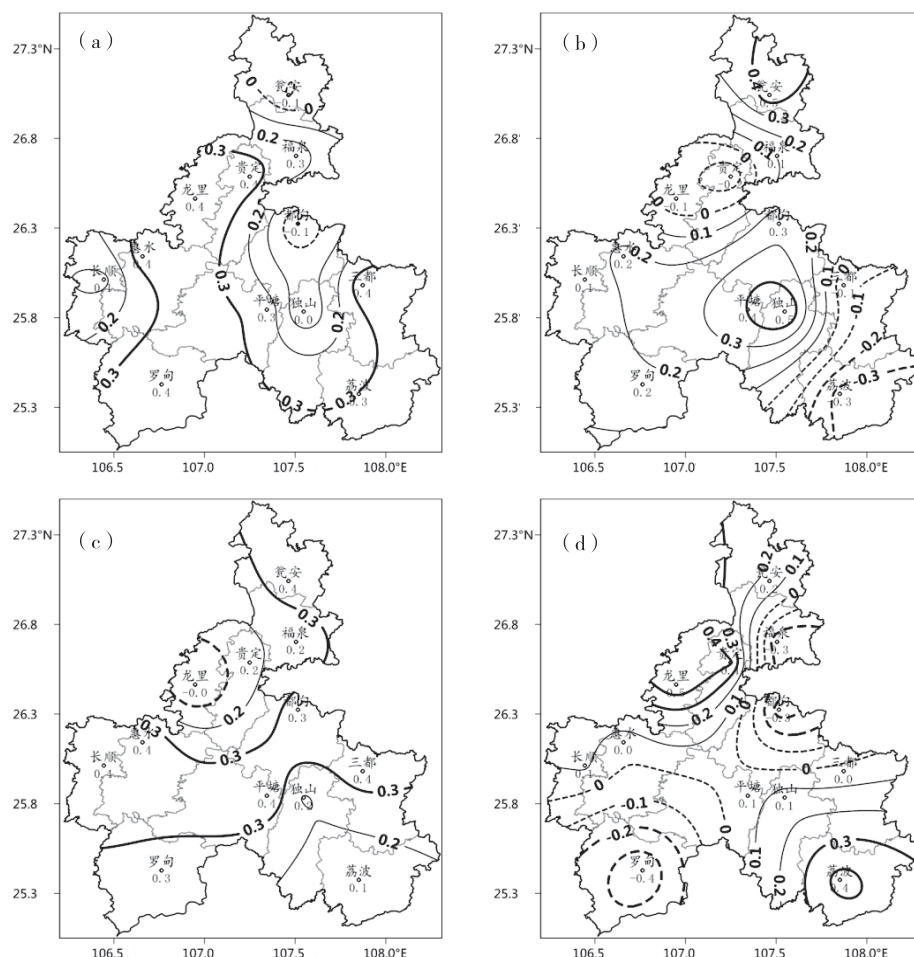


图 2 黔南地区辐射雾(a.第1模态;b.第2模态)和雨雾(c.第1模态;d.第2模态)的 EOF 分解空间分布图

Fig. 2 Distribution of radiation fog (a. the first mode, b. the second mode,) and rain fog (c. the first mode, d. the second mode) before EOF decomposition in southern Guizhou

2.2 时间分布特征

2.2.1 年际分布 为了描述辐射雾和雨雾的长期变化趋势,对黔南地区近 30 a 辐射雾和雨雾的第 1 时间系数序列进行年际分析(图 3)。辐射雾 1991—2004 年年际变化的波动起伏较小,2004—2010 年波动起伏相对较大,而 2011 年之后辐射雾明显减少;1991—2000 年年平均时间系数为 1.36/

10 a,2001—2010 年为 0.93/10 a,2011—2020 年为 -2.28/10 a,黔南地区近 10 a 来辐射雾异常下降变化显著。雨雾 1991—2017 年年际变化相对比较平缓,但 2017 年之后雨雾急剧陡升;1991—2000 年年平均时间系数为 -0.71/10 a,2001—2010 年为 -1.03/10 a,2011—2020 年为 1.73/10 a,黔南地区近 10 a 来雨雾异常陡升变化显著。

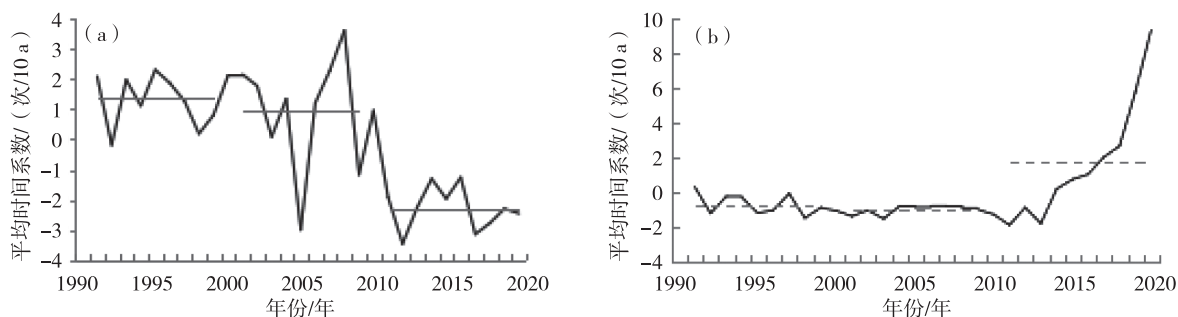


图 3 黔南地区近 30 a 年辐射雾(a)和雨雾(b)年际变化分布图

Fig. 3 Distribution of radiation fog (a) and rain fog (b) in southern Guizhou over the past 30 years

近 30 a 黔南地区出现 404 次辐射雾过程和 60 次雨雾过程(表 1)。大雾过程中主要以辐射雾为主,占大雾过程的 87.1%,雨雾仅占大雾过程的 13.9%。其中,大范围大雾过程中,辐射雾占比 28.2%,雨雾占比 1.9%。辐射雾过程年平均为 13.4 次/a,雨雾过程相对较少,仅为 2 次/a。2017 年黔南各个观测站开始试运行自动能见度观测仪之后,由于能见度低于 500 m 自动计为大雾天气,小雨天气很容易被观测为大雾天气,导致雨雾天大大增加。

表 1 黔南地区近 30 a 大雾过程累计分布(单位:次)
Tab. 1 The cumulative distribution of heavy fog processes over the last 30 years in southern Guizhou

出现雾站数	辐射雾过程	雨雾过程
4	151	32
5	122	19
6	59	2
7	42	4
8	12	2
9	14	1
10	3	0
11	1	0
合计	404	60

2.2.2 月际分布 对近 30 a 来黔南地区 12 县市辐射雾和雨雾各月出现总次数进行分析(如图 4)。近 30 a 来各月辐射雾和雨雾次数分布各不相同,1—3 月雨雾比辐射雾次数偏多 17.4%~64.4%,其

余月份辐射雾比雨雾偏多,8—12 月辐射雾比雨雾偏多 51.8%~74.6%。辐射雾最多出现在 11 月(765 次),次多在 8 月(586 次);最少在 2 月(216 次),次少在 3 月(225 次)。表明黔南地区辐射雾主要出现在夏末至秋冬季,冬末至夏季中期相对较少,这与影响黔南地区的大气环流背景有密切关系。雨雾最多出现在 1 月(480 次),次多在 3 月(370 次);最少在 10 月(135 次),次少在 9 月(139 次)。表明黔南地区雨雾主要出现在冬季至初春季,这与影响冬季至初春的静止锋在黔南地区常驻影响有密切关系。总之,近 30 a 来辐射雾比雨雾总次数偏多 42.2%,且辐射雾和雨雾在月际峰值和谷值各不相同,4—12 月共 9 个月辐射雾比雨雾多,而 1—3 月共 3 个月雨雾比辐射雾偏多。

大范围辐射雾过程主要出现在 11 月—次年 1 月,其次是 2 月、4 月、10 月,主要出现在秋冬季,最多出现深秋至前冬。这是由于秋冬季气温较低,气温越低,近地面空气越容易达到饱和,秋冬季冷空气活动频繁,冷空气影响带来降水,使近地面水汽含量高,冷空气影响之后地面受冷高压控制,在夜间晴空辐射效应下气温下降较快,使近地面层空气达到饱和而形成雾。大范围雨雾过程主要出现在 11 月—次年 1 月,其次在 5 月,这主要与静止锋天气活动频繁有关,黔南地区一般受西部静止锋和中部静止锋影响,静止锋后阴雨绵绵、能见度低,易出现雨雾。

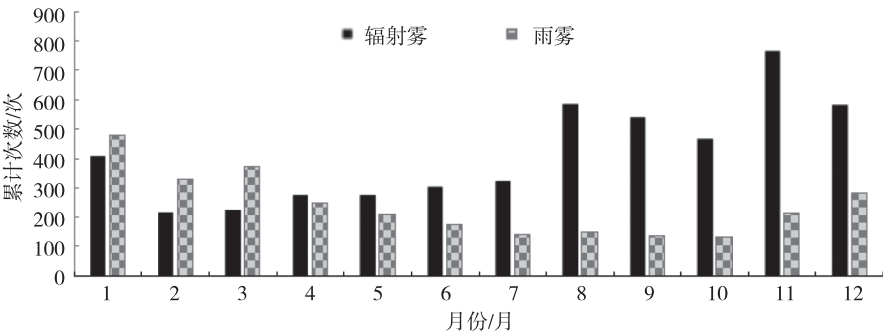


图 4 近 30 a 黔南地区辐射雾和雨雾月际分布图
Fig. 4 The monthly distribution of radiation fog and rain fog in southern Guizhou in recent 30 years

2.3 突变分析

利用黔南地区近 30 a 辐射雾和雨雾的 EOF 分解出第 1 时间系数序列进行 Mann-Kendall 突变分析,如图 5。辐射雾日数的 UF 和 UB 曲线交点在 2011 年,1991—2010 年 UF 线变化相对平稳,2012 年之后超过 0.05 显著水平线,表明减少趋势显著;

雨雾日数的 UF 和 UB 曲线交点在 2017 年,1991—2013 年 UF 线变化相对少变,2013 年之后处于增加趋势,2020 年后雨雾增加趋势超过 0.05 显著水平线。以上分析可以看出,辐射雾日数和雨雾日数近 10 a 发生了显著突变,辐射雾呈减少趋势,雨雾呈显著增加趋势。

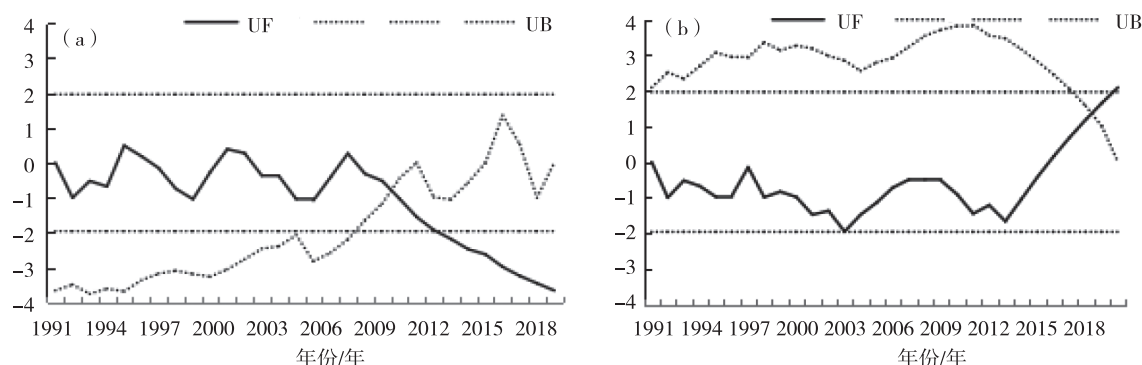


图 5 黔南地区近 30 a 雾的 Mann - Kendall 检验分布图(a. 辐射雾,b. 雨雾)

Fig. 5 Mann - Kendall test distribution map of fog over southern Guizhou for nearly 30 years (a. radiation fog, b. rain fog)

2.4 线性趋势变化

对黔南 12 个站进行线性倾向估计计算分析(图 6)。辐射雾:近 30 a 来福泉、贵定、龙里、惠水、长顺、罗甸、平塘、荔波、三都 9 站辐射雾呈现减少趋势,其中,贵定、龙里、长顺、罗甸、荔波、三都 6 站减少趋势通过 0.05 信度检验;而瓮安、独山、都匀 3 站

的辐射雾却呈现增加趋势,都匀增加趋势通过 0.05 信度检验。雨雾:近 30 a 来瓮安、福泉、惠水、长顺、罗甸、平塘、三都、都匀 8 站呈现增加趋势,其中,福泉、罗甸、都匀 3 站增加趋势通过 0.05 信度检验;而贵定、龙里、独山、荔波 4 站雨雾呈现减少趋势,减少趋势均通过 0.05 信度检验。

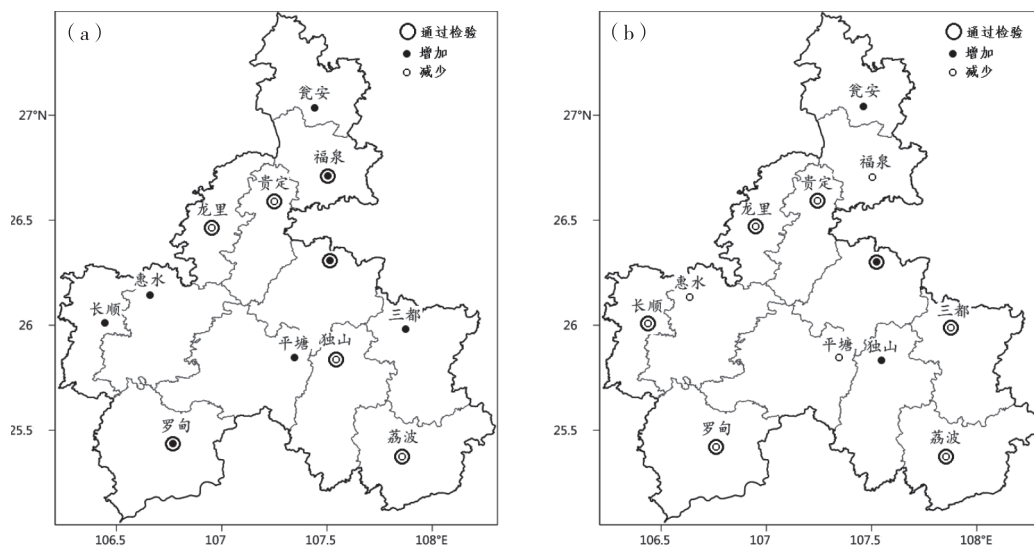


图 6 黔南地区近 30 a 各站雾变化趋势分布(a. 辐射雾,b. 雨雾)

Fig. 6 Distribution of fog variation trend at stations in southern Guizhou in recent 30 years (a. radiation fog, b. rain fog)

3 结论

(1)辐射雾近 30 a 来黔南地区高发中心为平塘,高发区位于平塘—罗甸—龙里一带,年均发生 20 d/a 以上;近 10 a 来高发中心仍在平塘,高发区罗甸—平塘—都匀—福泉一带,年均发生 10 d/a 以上,其中,龙里、罗甸从高发区降至贫发区。雨雾近 30 a 高发中心为独山,高发区在独山—都匀一带,年均发生 20 d/a 以上,西部长顺也是小高值区 14.4

d/a;近 10 a 来高发中心为都匀,高发区为都匀—独山一带,另一高发区仍在长顺;都匀雨雾频次异常增大。总之,近 10 a 来都匀、龙里、长顺、瓮安、平塘、福泉、荔波、罗甸等站辐射雾明显减少或雨雾异常增多,异常变化特征显著。

(2)近 30 a 来辐射雾年际波动起伏相对较大,2011 年之后显著减少;雨雾年际变化相对比较平缓,但 2017 年之后雨雾急剧陡升。辐射雾占大雾过程的 87.1%,雨雾占 13.9%;辐射雾占大范围大雾

过程的 28.2%,雨雾占 1.9%;辐射雾过程年均 13.4 次/a,雨雾过程年均 2 次/a。辐射雾主要发生在夏末至秋冬季,冬末至夏季中期相对较少,最多 11 月,最少 2 月;雨雾主要发生在冬季至初春季,最多 1 月,最少 10 月;近 30 a 来辐射雾比雨雾偏多 42.2%,辐射雾和雨雾月际峰值和谷值各不相同,4—12 月辐射雾比雨雾多,1—3 月雨雾比辐射雾偏多。

(3)辐射雾 2012 年之后超过 0.05 显著水平线,减少趋势显著;雨雾在 2013 年之后处于增加趋势,2020 年后雨雾增加趋势超过 0.05 显著水平线。辐射雾有福泉、贵定、龙里、惠水、长顺、罗甸、平塘、荔波、三都呈现减少趋势,6 站减少趋势通过 0.05 信度检验,瓮安、独山、都匀辐射雾呈增加趋势,都匀增加趋势通过 0.05 信度检验;雨雾有瓮安、福泉、惠水、长顺、罗甸、平塘、三都、都匀呈增加趋势,3 站增加趋势通过 0.05 信度检验,贵定、龙里、独山、荔波 4 站呈减少趋势且通过 0.05 信度检验。

(4)近 10 a 来都匀、龙里、长顺、瓮安、平塘、福泉、荔波、罗甸等气象观测站的迁移,受搬迁环境的影响,有些迁移站点建在远离城镇地区或孤立山头上,云里雾里天气较多,也是雾日发生异常变化原因之一。

参考文献

- [1] 黄治勇,牛奔,杨军,等. 湖北西南山地一次辐射雾和雨雾气象要素特征的对比分析[J]. 气候与环境研究,2012,17(5):532-537.
- [2] 陈娟,罗宇翔,郑小波. 近 50 a 贵州雾的时空分布及变化[J]. 高原山地气象研究,2013,33(2):46-50.
- [3] 李慧晶,李洪梅,刘东升,等. 四川地区雾的气候特征及变化趋势研究[J]. 高原山地气象研究,2019,39(3):43-47.
- [4] 王茂书,张勇,贾贵兰. 雾的特征分析、预报方法及预报模型建立[J]. 高原山地气象研究,2012,32(3):28-31.
- [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] 罗喜平,周明飞,汪超,等. 贵州区域性辐射大雾特征与形成条件[J]. 气象科技,2012,40(5):799-806.
- [7] 常军,黄玉超,李素萍,等. 河南省大雾的时空分布特征及 500 hPa 环流特点分析[J]. 气象,2007,33(6):82-88.
- [8] 黄荟,唐明松,黄桂珍,等. 近 60 a 百色市大雾天气变化特征分析[J]. 气象研究与应用,2020,41(2):35-38.
- [9] 郑玉萍,李景林. 乌鲁木齐近 31 a 大雾天气气候特征分析[J]. 气象,2008,34(8):22-28.
- [10] 胡跃文,秦杰,苏静文,等. 2016—2017 年贵州大雾时空分布及气象要素演变分析[J]. 气象,2019,45(5):659-666.
- [11] 吴哲红,符凤平,王兴菊,等. 安顺大雾的环流分型及典型个例分析[J]. 贵州气象,2017,41(1):1-7.
- [12] 龙先菊,梁平,田菊萍,等. 黔东南大雾气候特征[J]. 气象科技,2010,38(3):321-324.
- [13] 唐海,张云秋,陈茜茜,等. 近 10 a 黔北地区雾的时空分布及能见度与 AQI 的关系浅析[J]. 中低纬山地气象,2020,44(4):46-49.
- [14] 岳炼,段炼. 双流机场一次低能见度天气过程分析[J]. 高原山地气象研究,2020,40(3):66-72.
- [15] 唐钱奎,鲁燕,张涛,等. 2014 年成都地区一次连续性大雾天气的成因分析[J]. 高原山地气象研究,2018,38(1):57-61.
- [16] 牛广山,周长春,王大勇,等. 豫北一次持续性大雾的成因分析[J]. 高原山地气象研究,2014,34(3):67-73.
- [17] 马强,陶法,茆佳佳,等. 激光雷达和毫米波雷达探测海雾回波的对比分析[J]. 气象水文海洋仪器,2022,39(2):9-11.
- [18] 庄颜. 雾霾天气变化特征观测与分析[J]. 气象水文海洋仪器,2016,33(3):58-62.