

广西环北部湾地区降水的时空变化特征*

刘占明¹, 陈子燊², 胡宝清^{3,4}, 魏兴琥¹

(1. 佛山科学技术学院资源环境系, 广东 佛山 528000;

2. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275;

3. 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西南宁 530001;

4. 广西地表过程与智能模拟重点实验室, 广西南宁 530001)

摘要: 选取 1961–2011 年广西环北部湾地区 12 测站逐日降水数据, 采用降水发生率和贡献率指标, 分析不同历时和等级降水的时空变化规律, 利用 Mann-Kendall 检验法探讨降水的变化趋势, 结果如下: ① 各历时降水发生率随降水历时增加大致呈指数形式递减, 贡献率则先增加后减小; 从引发洪涝灾害的角度分析, 3~4 d 历时降水造成洪涝灾害发生的可能性最大。各历时降水发生率与贡献率空间差异表现基本一致, 均表现为 1~2 d、 ≥ 10 d 差异较大, 3~9 d 差异较小。② 降水发生率随着降水等级的增加而减小, 贡献率则随着降水等级的增加而增大; 空间差异主要表现在南部的北海、钦州、东兴所在区域的小雨和暴雨方面, 即小雨发生率、贡献率偏低, 暴雨发生率、贡献率偏高; 其余各站差异较小。③ 各历时降水发生率与贡献率变化趋势表现基本一致, 即 1~2 和 ≥ 6 d 表现为下降, 3~5 d 表现为上升。小雨、大雨、暴雨发生率、贡献率在区域变化趋势上表现基本一致, 即小雨表现为下降, 大雨、暴雨表现为上升; 而中雨发生率和贡献率分别表现为上升和下降。

关键词: 降水发生率; 降水贡献率; 降水历时; 降水等级; 广西环北部湾地区

中图分类号: TV125; TV121 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2017) 04-0154-07

Spatial-temporal variation characteristics of precipitation patterns in the Circum-Beibu-Gulf region of Guangxi

LIU Zhanming¹, CHEN Zishen², HU Baoqing^{3,4}, WEI Xinghu¹

(1. Department of Resources and Environment, Foshan University, Foshan 528000, China;

2. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

3. Key Laboratory of Beibu Gulf Environment Change and Resources Use,
Ministry of Education, Nanning 530001, China;

4. Guangxi Key Laboratory of Earth Surface Processes and Intelligent Simulation, Nanning 530001, China)

Abstract: On basis of daily precipitation data from 12 rain-gauge stations over the Circum-Beibu-Gulf region of Guangxi from 1961 to 2011, the spatial-temporal variation characteristics of precipitation pattern were analyzed. The incidence rate and contribution rate of precipitation are defined and used to assess the spatial and temporal variation of precipitation pattern. And the Mann-Kendall test method is used to discuss the trend of precipitation pattern. The results show that: ① The incidence rate of precipitation e-

* 收稿日期: 2016-12-30

基金项目: 国家自然科学基金 (41361022, 41371498, 41571091); 广西自然科学基金 (2014GXNSFDA-118031); 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室基金; 广西地表过程与智能模拟重点实验室基金 (2015BGERLKF03); 佛山市科技发展专项基金 (2009031)

作者简介: 刘占明 (1979 年生), 男; 研究方向: 水文学; E-mail: liuzhanming177@163.com

通信作者: 陈子燊 (1952 年生), 男; 研究方向: 水文气象事件与风险评估; E-mail: eesczs@mail.sysu.edu.cn

vents for different durations decreases exponentially with the increase of precipitation durations, while the corresponding contribution rate firstly increases and then decreases; As far as disaster is concerned, precipitation events for 3 ~ 4 d are most likely to trigger flood disaster. The spatial distribution of precipitation events for different durations has a similar variation trend such as 1 ~ 2 d and ≥ 10 d with great difference and 3 ~ 9 d with little difference. ② The incidence rate for different grades decreases with the increase of precipitation grade, while the corresponding contribution rate is increasing; The incidence rate and the contribution rate of light rain events are lower in southern region (Bei hai, Qinzhou and Dongxing), while torrential rain events are higher than other regions. ③ Precipitation events for different durations throughout the region have a similar variation trend such as 1 ~ 2 d and ≥ 6 d showing a downward trend and 3 ~ 5 d showing an upward trend. Light, heavy and torrential rains throughout the region have a similar variation trend such as heavy and torrential rains with an upward trend and light rain with a downward trend; while the opposite trend is found for the incidence rate and the contribution rate of moderate rain events, showing upward and downward trends, respectively.

Key words: incidence rate of precipitation; contribution rate of precipitation; precipitation duration; precipitation grade; Circum-Beibu-Gulf region of Guangxi

在全球变暖和人类活动强烈干扰的大背景下, 全球或局部地区降水格局发生了显著变化, 导致区域乃至全球的水循环系统发生改变, 极端降水事件频发, 给人类社会生产生活造成巨大影响^[1]。降水作为水循环的主要环节和驱动因素^[2], 深入了解其内部变化特征有助于分析探讨区域乃至全球水循环的变化规律; 为此, 国内外学者对区域或全球的降水变化特征开展了大量的研究工作。如: Liu等^[3]通过气候合成模式探讨了自然因素与人类干预对全球降水演变的影响; Allan等^[4]采用卫星观测资料研究发现降水极值变化与气温上升存在着明显的联系; Zolina等^[5]利用连续湿天历时及强度研究了欧洲降水的变化特征; Li等^[6]应用ESM模型分析预测了2071-2100年中国极端降水的变化趋势; 宋晓猛等^[7]采用发生率和贡献率指标分析了北京地区不同降水历时和等级的时空变化特征。

广西环北部湾地区(图1)地处我国沿海西南端, 由广西南宁、北海、钦州、防城港、玉林、崇左六个地级市所辖行政区域构成, 陆地国土总面积约7.28万 km^2 ^[8]。该区纬度较低, 南部濒临海洋; 西北部为西江水系, 东南部为独流入海河流(南流江、钦江、茅岭江、防城河、北仑河等)水系; 属中南亚热带季风气候, 年降水量丰富, 但由于降水年内分布不均匀, 旱涝、滑坡、泥石流等自然灾害频繁发生, 并造成严重的经济损失和人员伤亡。因此, 研究该区降水时空演变特征具有重要的理论和现实意义。目前, 关于该区降水的研究主要集中于降水量变化趋势及遥联分析等方面^[9-10], 对降水内部结构演变的研究较少。本研究基于广西环北

部湾地区日降水资料, 运用降水发生率和贡献率指标, 从降水历时和降水等级两方面分析该区降水的时空演变特征, 对于科学认识区域水量平衡、洪旱灾害时空演变乃至生态安全都具有重要意义, 也可为指导区域工农业生产及防灾减灾建设提供科学依据。

1 数据资料与研究方法

1.1 数据资料

本文选取1961-2011年广西环北部湾地区分布较均匀且没有发生位置变更的12测站逐日降水数据资料, 数据来源于中国气象局气象信息中心, 连续完整, 各测站位置如图1所示。

1.2 研究方法

本文主要从降水历时和降水等级两方面分析广西环北部湾地区降水的时空变化特征。根据气象部门的有关规定, 日降水量大于等于0.1 mm即为有效降水发生, 因此, 本文将一次降水过程(日降水量 ≥ 0.1 mm)从开始至结束的日数定义为降水历时^[11], 此段时间内的降水量之和定义为一次降水过程的降水量; 本文将降水历时分成10类, 即1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9和 ≥ 10 d(连续10日以上)。参照国家标准^[12]中的日降水量将降水等级分为4类: 小雨(日降水量为0.1~9.9 mm)、中雨(10.0~24.9 mm)、大雨(25.0~50.0 mm)、暴雨(≥ 50.0 mm)。

为了综合评价广西环北部湾地区上述两方面降水事件的变化特征, 本文引入降水发生率和降水贡献率2个指标; 降水发生率表示各类降水事件在某

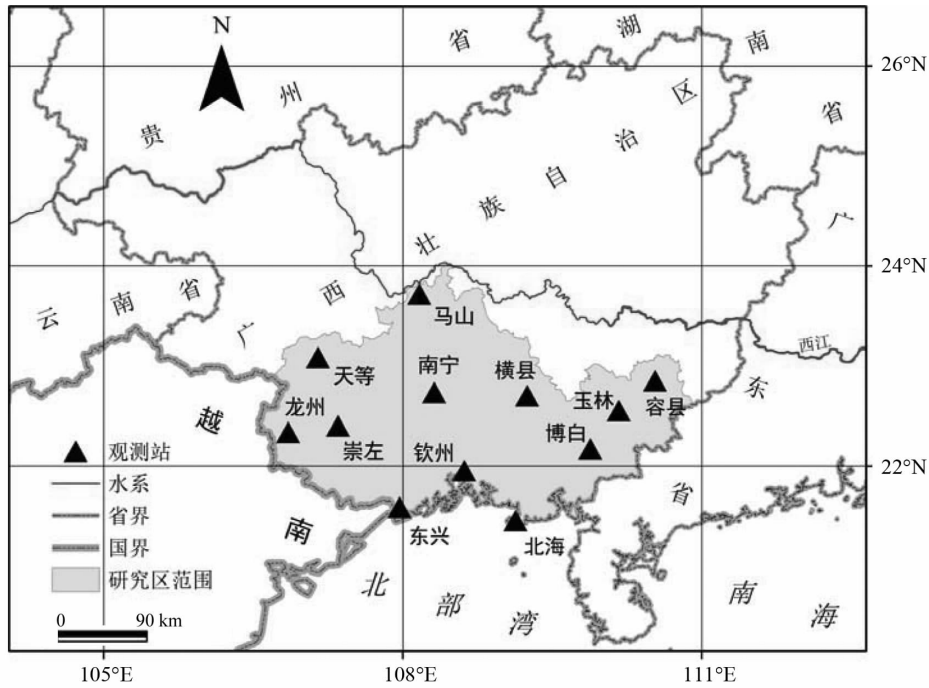


图 1 广西环北部湾地区范围及观测站位置

Fig. 1 The position of the Circum-Beibu-Gulf region of Guangxi and stations distribution

种分类情况下发生的次数占总次数的比例, 降水贡献率定义为某种分类情况下的降水量占总降水量的比例。本文采用 Mann-Kendall (简称 M-K) 检验法^[13] 对各类降水事件发生率和贡献率变化趋势进行检验。

2 各历时与等级降水发生率、贡献率变化特征

2.1 区域统计特征

图 2 给出了广西环北部湾地区不同历时降水事件的发生率及其对总降水量的贡献率。从图中可以看出, 各历时降水发生率随降水历时增加大致呈指数形式递减 (1, 2, ..., 9 d, ≥ 10 d 历时降水事件发生率分别为 35.6%、21.7%、14.2%、9.4%、6.1%、4.0%、2.6%、2.0%、1.1%、3.3%); 但各历时降水贡献率变化与发生率变化不一致, 而是随着降水历时的增加呈先增加后减小、至 ≥ 10 d 历时又出现显著上升的趋势。在 1 ~ 9 d 历时降水贡献率中, 3 d 最高 (14.6%), 其次为 4 d (14.0%), 再次为 2 d (12.3%); ≥ 10 d 历时降水发生率虽然仅为 3.3%, 但贡献率却高达 16.0%。

综合统计分析发现, 对于降水发生率而言, 以 1 ~ 4 d 历时为主, 发生率合计达 80.9%; 就降水贡献率而言, 2 ~ 5 d 历时达 51.8%, 其次为 ≥ 10 d

历时 (16.0%); 从降水引发洪涝灾害的角度分析, 虽然 ≥ 10 d 历时降水贡献率超过 3 d、4 d 历时降水, 但考虑到降水到达地表形成径流泄洪所经历的时间因素, 3 ~ 4 d 历时降水造成洪涝灾害发生的可能性显然高于 ≥ 10 d 历时降水。

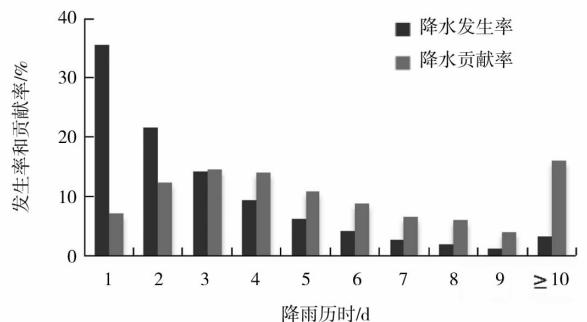


图 2 广西环北部湾地区各历时降水发生率与贡献率

Fig. 2 Incidence rate and contribution rate of different precipitation duration in the Circum-Beibu-Gulf region of Guangxi

2.2 空间差异分析

图 3 为广西环北部湾地区 12 测站各历时降水事件的发生率 (a) 及其对总降水量的贡献率 (b)。从图 3 (a) 可以看出, 各站降水发生率都满足随降水历时增加而递减的规律。从区域各站各

历时降水发生率大小对比来看，1 d、2 d、 ≥ 10 d 差别相对较大（图 3（a）），即存在着相对明显的区域差异；而 3~9 d 差别较小，各站基本都在平均值上下波动，即空间上没有表现出明显的区域差异；从统计结果来看，12 站 3~9 d 历时降水发生率分别在 13%~15%、8%~10%、5%~7%、3%~5%、2%~3.5%、1%~2.5%、0.7%~1.4% 之间。进一步对比发现，1 d、2 d 历时降水发生率空间变化趋势表现基本一致（各观测站具体位置如图 1 所示，为节省篇幅，这里不再给出空间差异分析图示，下同），均表现为南部的北海和中西部的龙州、崇左、南宁所在区域发生率较高（1 d 发生率在 37% 以上，其中北海高达 42.3%；2 d 发生率 23%~24% 之间），马山、东兴及东部的博白、玉林、容县所在区域发生率较低（1 d、2 d 发生率分别在 33%~34%、20%~21% 之间）。 ≥ 10 d 历时降水发生率空间变化趋势与 1 d、2 d 相反，东兴站及东部的博白、玉林、容县所在区域发生率较高（4%~6%），北海站和中西部的龙州、崇左、南宁所在区域发生率较低（1%~2%）。

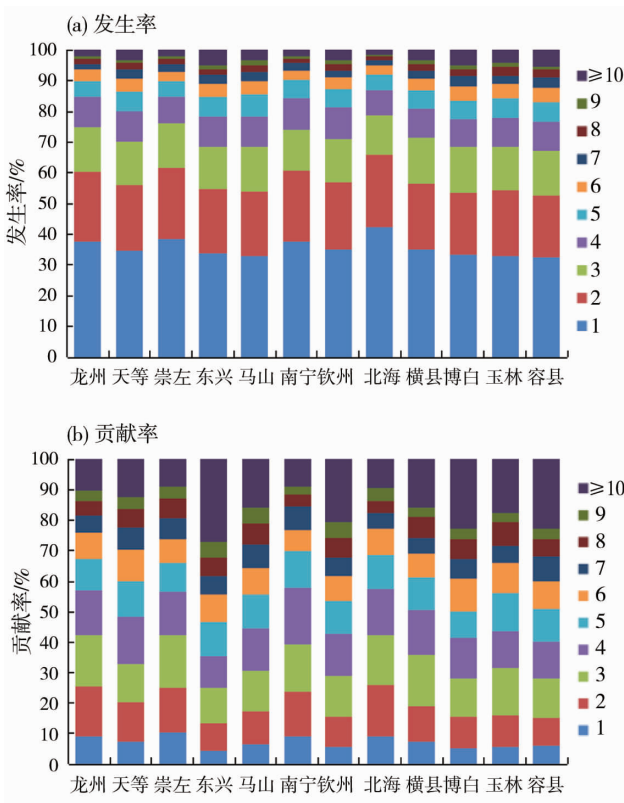


图 3 广西环北部湾地区各站各历时降水发生率与贡献率

Fig. 3 Incidence rate and contribution rate of different precipitation duration of different station

从图 3（b）可以看出，12 站各历时降水贡献率基本都满足随着降水历时增加呈先增加后减小、至 ≥ 10 d 历时又出现显著上升的趋势。相对降水发生率（图 3（a））而言，各站各历时降水贡献率大小差别较大。通过各历时降水贡献率大小对比（图 3（b））发现，1 d、2 d、 ≥ 10 d 差别相对较大，而 3~9 d 差别相对较小（贡献率分别在 12%~17%、11%~16%、9%~12%、7%~11%、5%~8%、4%~7%、3%~6% 之间），这一结果与各历时降水发生率大小对比结果基本一致。进一步分析发现，与 1 d、2 d 历时降水发生率相似，1 d、2 d 历时降水贡献率空间变化趋势表现基本一致，均表现为南部的北海和中西部的龙州、崇左、南宁所在区域贡献率较高（1 d、2 d 贡献率分别在 9%~11%、15%~17% 之间），钦州、东兴及东部的博白、玉林、容县所在区域贡献率较低（1 d、2 d 贡献率分别在 4%~6%、8%~10% 之间）。 ≥ 10 d 历时降水贡献率空间变化趋势与 1 d、2 d 贡献率空间变化趋势相反，钦州、东兴站及东部的博白、玉林、容县所在区域贡献率较高（20% 以上，其中东兴高达 26.9%），北海站和中西部的龙州、崇左、南宁所在区域贡献率较低（8%~10%）。

2.3 区域统计特征分析

从图 4 可以看出，降水发生率随着降水等级的增加而减小，降水贡献率则随着降水等级的增加而逐渐增大。对于降水发生率而言，小雨占据绝对优势，达 73.2%，中雨、大雨、暴雨分别为 14.9%、7.6%、4.3%；但小雨对总降水量的贡献率仅为 17.8%，中雨、大雨、暴雨贡献率分别为 24.1%、25.9%、32.2%。由此可知，广西环北部湾地区等级降水频次以小雨为主，中雨、大雨、暴雨发生率合计不到 30%，但却贡献了超过 80% 的降水量。

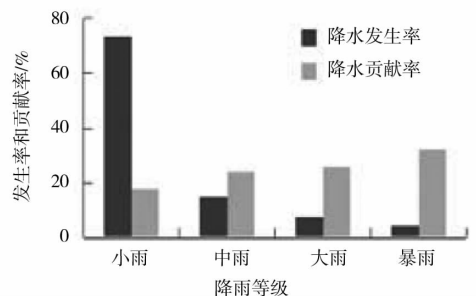


图 4 广西环北部湾地区各等级降水发生率与贡献率
Fig. 4 Incidence rate and contribution rate of different precipitation grade in the Circum-Beibu-Gulf region of Guangxi

2.4 空间差异分析

图 5 为广西环北部湾地区 12 测站各等级降水事件的发生率 (a) 及其对总降水量的贡献率 (b)。从图 5 (a) 可以看出, 各站均满足降水发生率随着降水等级的增加而减小以及小雨占据绝对优势的特征。相对而言, 南部沿海的东兴、钦州、北海 3 站小雨发生率偏低, 暴雨发生率偏高; 其余各站各等级降水发生率比较接近, 基本都在平均值上下波动。

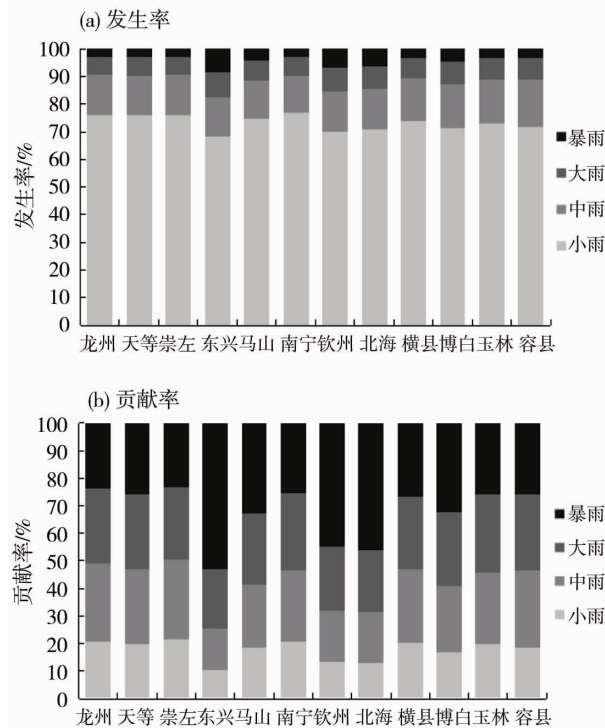


图 5 广西环北部湾地区各站各等级降水发生率与贡献率

Fig. 5 Incidence rate and contribution rate of different precipitation grade of different station

从各站各等级降水对总降水量的贡献率 (图 5 (b)) 来看, 12 站均表现出小雨贡献率最低 (基本都在 20% 以下), 其中南部沿海的东兴、钦州、北海 3 站小雨贡献率在 10% ~ 13.5% 之间, 为全区最低值。东兴、钦州、北海、马山、博白、横县 6 站中雨、大雨、暴雨贡献率呈现出比较明显的递增趋势, 尤其是东兴、钦州、北海 3 站, 暴雨贡献率都在 45% 以上, 较其他各站明显偏高 (图 5 (b)), 这可能是由于其位于南部沿海 (图 1), 首先遭遇来自海洋的台风等强对流天气系统正面袭

击, 强降水天气较多; 其余 6 站中雨、大雨、暴雨贡献率比较接近, 且表现出中雨或大雨贡献率轻微超过暴雨的情况。

2.5 变化趋势分析

图 6 给出了区域 12 站各历时降水发生率 (a) 与贡献率 (b) M-K 变化趋势检验结果。从图 6 (a) 可以看出, 1 d、2 d 均表现为呈下降趋势的站点数多于呈上升趋势的站点数, 即分别有 7 站、9 站表现为下降趋势, 而表现为上升趋势的站点数分别为 5 站、3 站。对于 3, 4, 5 d 而言, 表现为上升趋势的站点数明显多于表现为下降趋势的站点数, 即分别有 10 站、7 站、8 站表现为上升趋势, 而表现为下降趋势的站点数分别为 2、5、4 站。对于 6, 7, 8, 9 d, ≥ 10 d 而言, 表现为下降趋势的站点数明显占据绝对优势, 8 d、9 d 历时降水发生率甚至出现了所有站点变化趋势完全一致且大部分站点通过了 95% 水平显著性检验 (MK 统计量 > 1.96 或 < -1.96 , 下同) 的情况。通过对比图 6 (a) 与图 6 (b) 发现, 各历时降水发生率、贡献率表现为升降趋势的站点数目对比结果以及通过 95% 水平显著性检验的情况几乎一致, 即二者有着几乎完全一致的区域变化趋势。

综合以上分析可以发现, 广西环北部湾地区各历时降水发生率与贡献率变化趋势表现基本一致, 即 1 d、2 d、 ≥ 6 d (即 6, 7, 8, 9 d, ≥ 10 d) 历时降水发生率、贡献率主要表现为下降趋势, 其中 ≥ 6 d 下降趋势更加明显, 而 3 ~ 5 d (即 3, 4, 5 d) 历时降水发生率、贡献率主要表现为上升趋势。

2.6 各等级降水发生率、贡献率变化趋势分析

图 7 给出了区域 12 站各等级降水发生率 (a) 与贡献率 (b) M-K 变化趋势检验结果。从图中可以看出, 小雨、大雨、暴雨发生率、贡献率在区域变化趋势上有着几乎一致的表现, 如小雨发生率、贡献率均表现为下降趋势, 且都有近 50% 的站点通过了 95% 水平显著性检验; 大雨、暴雨发生率、贡献率均主要表现为上升趋势。对于中雨而言, 从图 7 (a) 可以看出, 其发生率变化趋势主要表现为上升 (8 站上升、4 站下降), 从图 7 (b) 可以看出, 其贡献率变化趋势主要表现为下降 (10 站下降、2 站上升); 因此, 在中雨的区域变化趋势上, 发生率与贡献率有着相反的表现。

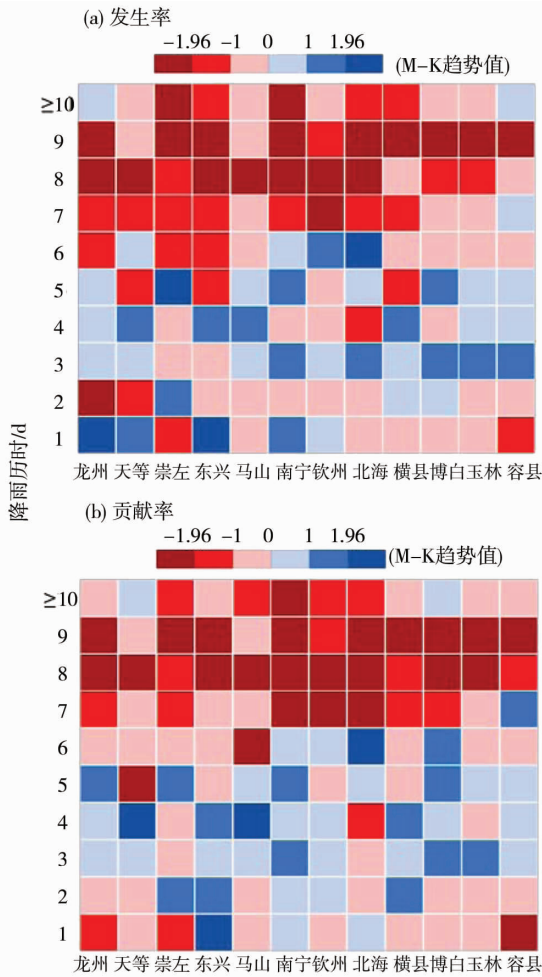


图 6 广西环北部湾地区各站各历时降水发生率与贡献率变化趋势检验结果

Fig. 6 Test results of change trend of incidence rate and contribution rate for different duration of different station

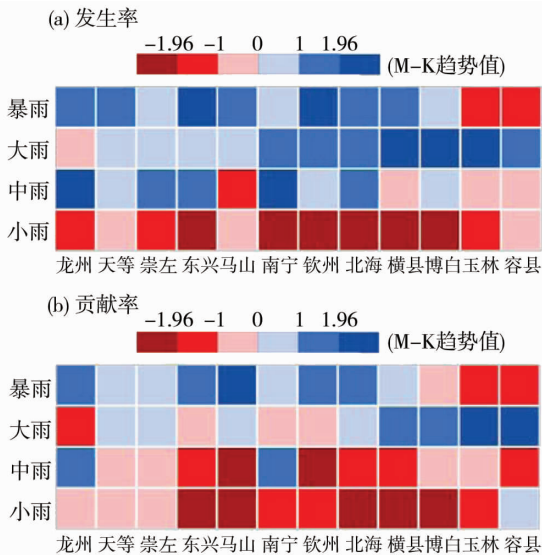


图 7 广西环北部湾地区各站各等级降水发生率与贡献率变化趋势检验结果

Fig. 7 Test results of change trend of incidence rate and contribution rate for different grade of different station

3 结 论

1) 广西环北部湾地区各历时降水发生率随降水历时增加大致呈指数形式递减，其中 1~4 d 发生率合计超过 80%；各历时降水贡献率随着降水历时的增加呈先增加后减小、至 ≥ 10 d 又出现显著上升的趋势；在 1~9 d 贡献率中，3 d 最高，其次为 4 d，两者贡献率合计接近 30%，因此，从降水引发洪涝灾害的角度分析，3~4 d 历时降水造成洪涝灾害的可能性最大。各历时降水发生率与贡献率空间差异表现基本一致，均表现为 1~2 d、 ≥ 10 d 差异较大，3~9 d 差异较小；1~2 d、 ≥ 10 d 空间差异主要表现为南部的北海和中西部的南宁、崇左、龙州所在区域与东部的玉林、博白、容县所在区域反向变化。

2) 降水发生率随着降水等级的增加而减小，降水贡献率则随着降水等级的增加而逐渐增大；其中，小雨发生率超过 70%，但贡献率不到 20%；中雨、大雨、暴雨发生率合计不到 30%，却贡献了超过 80% 的降水量。各等级降水发生率、贡献率空间差异主要表现在南部的北海、钦州、东兴 3 站小雨和暴雨方面，其余各站各等级降水发生率、贡献率差异较小；具体而言，北海、钦州、东兴 3 站均表现为小雨发生率、贡献率偏低，暴雨发生率、贡献率偏高；尤其是暴雨贡献率，3 站都在 45% 以上（即暴雨降水量占全年降水量 45% 以上），明显高于其它站，这可能是由于其位于南部沿海，首先遭遇来自海洋的台风等强对流天气系统正面袭击，强降水天气较多。

3) 各历时降水发生率与贡献率变化趋势表现基本一致，具体表现为 1~2 d、 ≥ 6 d 主要为下降趋势，其中， ≥ 6 d 下降趋势更加明显；而 3~5 d 主要表现为上升趋势，结合前面的结论（即 3~4 d 历时降水造成洪涝灾害的可能性最大），可以进一步得出，广西环北部湾地区洪涝灾害呈上升趋势。小雨、大雨、暴雨发生率、贡献率在区域变化趋势上表现也基本一致，具体而言，小雨主要表现为下降趋势，大雨、暴雨主要表现为上升趋势；而中雨发生率和贡献率则分别表现为上升和下降趋势。

参考文献：

[1] 张建云,宋晓猛,王国庆,等. 变化环境下城市水文学的发展与挑战 I: 城市水文效应[J]. 水科学进展, 2014, 25(4):594-605.

- ZHANG J Y, SONG X M, WANG G Q, et al. Development and challenges of urban hydrology in a changing environment I: Hydrological response to urbanization [J]. *Advances in Water Science*, 2014, 25(4): 594 – 605.
- [2] 王浩, 龙爱华, 于福亮, 等. 社会水循环理论基础探析 I: 定义内涵与动力机制 [J]. *水利学报*, 2011, 42(4): 379 – 387.
- WANG H, LONG A H, YU F L. Study on theoretical method of social water cycle I: Definition and dynamical mechanism [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2011, 42(4): 379 – 387.
- [3] LIU J, WANG B, CANE M A, et al. Divergent global precipitation changes induced by natural versus anthropogenic forcing [J]. *Nature*, 2013, 493(7434): 656 – 659.
- [4] ALLAN R P, SODEN B J. Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes [J]. *Science*, 2008, 321(5895): 1481 – 1484.
- [5] ZOLINA O, SIMMER C, GULEV S K, et al. Changing structure of European precipitation: Longer wet periods leading to more abundant rainfalls [J]. *Geophysical Research Letters*, 2010, 37(6): L06704.
- [6] LI J, ZHANG Q, CHEN Y, et al. Changing spatiotemporal patterns of precipitation extremes in China during 2071 – 2100 based on Earth System Models [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2013, 118(22): 12537 – 12555.
- [7] 宋晓猛, 张建云, 刘九夫, 等. 北京地区降水时空演变特征 [J]. *水利学报*, 2015, 46(5): 525 – 535.
- SONG X M, ZHANG J Y, LIU J F, et al. Spatial-temporal variation characteristics of precipitation pattern in Beijing [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2015, 46(5): 525 – 535.
- [8] 广西壮族自治区发展计划委员会. 新世纪广西区域经济发展战略 [M]. 南宁: 广西人民出版社, 2001.
- [9] 周绍毅, 徐圣璇, 黄飞, 等. 广西农业气候资源的长期变化特征 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27(27): 168 – 173.
- ZHOU S Y, XU S X, HUANG F, et al. Secular variation features of agricultural climate resources in Guangxi [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(27): 168 – 173.
- [10] 覃卫坚, 李耀先, 廖雪萍. MJO 活动对广西 6 月阶段性降水的影响研究 [J]. *气象研究与应用*, 2015, 36(1): 25 – 30.
- QIN W J, LI Y X, LIAO X P. Impact of the Madden-Julian Oscillation activity on the phase precipitation in Guangxi [J]. *Journal of Meteorological Research and Application*, 2015, 36(1): 25 – 30.
- [11] 冶运涛, 梁犁丽, 龚家国, 等. 长江上游流域降水结构时空演变特性 [J]. *水科学进展*, 2014, 25(2): 164 – 171.
- YE Y T, LIANG L L, GONG J G, et al. Spatial-temporal variability characteristics of precipitation structure across the upper Yangtze River basin, China [J]. *Advances in Water Science*, 2014, 25(2): 164 – 171.
- [12] 中国国家标准化管理委员会. 降水量等级 (GB/T28592 – 2012) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 1 – 2.
- [13] HAMED K H. Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis [J]. *Journal of Hydrology*, 2008, 349: 350 – 363.