

珠江流域降水集中度时空变化特征及成因分析

郑炎辉^{1,2}, 陈晓宏^{1,2}, 何艳虎^{1,2}, 赖成光^{1,2}, 王兆礼³

(1.中山大学水资源与环境研究中心,广东 广州 510275;

2.华南地区水循环和水安全广东普通高校重点实验室,广东 广州 510275;

3.华南理工大学土木与交通学院,广东 广州 510641)

摘要:基于珠江流域内43个常规气象站点1960~2012年的逐日降水资料,计算了流域内各站点长期降水集中度(LCI)和逐年降水集中度(ACI);采用Mann-Kendall趋势检验法和Sen's坡度检验法检测ACI时间上的变化趋势;同时采用反距离权重插值法(IDW)对LCI的区域特征和ACI的变化趋势进行空间插值以分析降水集中度的时空分布规律;采用随机森林(RF)算法对降水集中度的影响因子进行重要度分析。结果表明:(1)珠江流域逐年降水集中度ACI的年际变化不明显,东南部呈上升趋势,西北部呈下降趋势;(2)珠江流域西北部长期降水集中度LCI值偏小,即降水分布较平均;东南部长期降水集中度LCI值偏大,即降水较集中,表明该地区降水极值情况发生的几率相对较高,该空间分布趋势可能是受距离海洋的远近及海拔的影响;(3)众多气候影响因子中,东亚夏季季风(EASMI)对珠江流域的降水集中度影响最明显。

关键词:降水分布;降水集中度;时空变化特征;随机森林;珠江流域

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)05-0022-07

IPCC第5次评估报告(IPCC,2013)^[1]指出近百年来(1906~2005),全球气温上升了0.4℃,并预测21世纪末,全球地表平均增温1.1~6.4℃。随着全球气候变暖,极端气候事件和重大自然灾害频发,特别是降水的时空分布格局发生了明显变化,人类生存环境与社会经济发展受到严峻的挑战。降水量的时空分配不均匀对农业生产、防汛抗旱、人类生活等各个方面均有重要影响,在时空上过于集中,容易导致局部地区产生洪涝灾害。因此,分析降水的时空集中分布特征及变异,可为区域防洪防涝工作提供科学的参考依据。

降水集中度是分析降水的时空集中分布特征的一个重要指标,该指标是分析降水非均匀性的一种常用方法。对于降雨时空集中分布特征的分析,国内学者张录君等人利用向量分析原理,把一个时段内的降水量数值作为向量的长度值,把对应的时间段作为向量的方向,由此定义了两个指标(降水集中度(PCD)和降水集中期(PCP)^[2-3])来分析降水的时间分布特征。李远平^[4]

等利用PCP与PCD分析了渭河流域汛期降水的时空分布特征,结果表明渭河流域汛期降水集中度和降水量正相关关系较为显著。曹永强^[5]等通过PCP与PCD指标对浙江省降水时空变化特征进行分析,得出浙江省西北部地区的降水比东部地区集中等结论。该方法在某种程度上能体现不同时段内降水量的配比,但对于较长时段的气候研究存在一定缺陷,且计算方法较为复杂,在具体实用中不易操作^[6]。西班牙气象学家Martin Vide^[7]定义了一个关于降水集中度的指数Concentration Index(CI),该指数可以估算不同分类降水日所贡献的降水量百分比之间的差异,同时还可以作为流域降水强度和降水侵蚀力的一个指标,用于直观分析研究区域的降水极值情况,且操作方法较为简单,因而得到广泛应用^[8-10]。如Alijani B^[8]利用CI分析了伊朗的降水时空分布,发现伊朗的南岸、Zagros山西坡与里海沿岸面临极端降水风险最大;Cortesi N^[9]利用欧洲大陆1971~2010年的日降水序列计算了CI值,结

收稿日期:2015-10-27

基金项目:国家自然科学基金项目(51210013,51479216,51509127);国家科技支撑计划(2012BAC21B0103);水利部公益项目(201201094,201301002-02)

作者简介:郑炎辉(1990-),男,广东揭阳人,博士研究生,主要从事水文与水资源方面的研究。E-mail: zheng_yanhui@foxmail.com

通讯作者:陈晓宏(1963-),男,湖北公安人,教授,博士生导师,主要从事水文与水资源方面的研究。E-mail: eesexh@mail.sysu.edu.cn

果表明 CI 值四季呈西北到东南递增的趋势,以及整个欧洲大陆 1971~2010 年间降水时间分布并未显著改变;王伟光^[10]分析了长江流域的降水分布,得出高 CI 值集中于流域中游,流域上下游 CI 值较低。

珠江流域作为我国经济最发达、人口最密集的流域之一,由于近年来的极端降水事件频发,流域内的社会经济发展受到较大影响,因而其降水变化特征引起了众多学者关注^[11-13]。上述成果有助于更好地了解珠江流域的降水时空变化特征,但对于与洪涝、干旱灾害密切相关的降水集中度时空演变的研究尚少,尤其缺乏对于降水集中度的影响因子识别的研究。掌握珠江流域降水集中度的时空演变特征和识别其各影响因子的贡献度,显然有助于该地区采取针对性的预防措施。鉴于此,本文基于珠江流域 43 个常规气象站点 1960~2012 年的逐日降水数据计算逐年降水集中度(ACI)以及长期降水集中度(LCI),分析其时空分布特征,并利用随机森林(RF)算法识别流域降水集中度的影响因子。研究结果以期为珠江流域的防洪抗旱、灾害管理及西江水库调度、压咸补淡等水资源调配工作提供科学的参考依据。

1 研究区域与数据来源

珠江流域面积 $44.21 \times 10^4 \text{ km}^2$,地势呈西北高、东南低的特点。流域地处热带和亚热带季风气候区,多年平均气温为 $14 \sim 22^\circ\text{C}$,多年平均降水量 $1\,525.1 \text{ mm}$,年内降水多集中在 4~9 月,约占全年水量的 80%。为方便空间分析,区域划分 11 个小流域,本文采用珠江流域 43 个气象站点(见图 1)1960~2012 年逐日降水数据进行研究,数据来自中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>),利用 R 语言 RCLimDex 模块检测并修正错误数据,采用三次样条函数内插对数据进行插补延长。流域内气象站点分布存在较为明显的地域差异,呈西少东多分布态势,但已全面覆盖了珠江流域的 11 个子流域。现有研究表明,站网密度对面雨量计算具有一定影响,但是考虑到雨量计本身的测量误差,且该资料已经过国家气象信息中心质量控制,对于一定区域内的面雨量测量而言,该资料还是具有一定的准确性及代表性。

为分析全球气候变化对珠江流域降水集中度的影响,本文主要采用 7 个影响因子,除了太阳黑子与 ENSO 指标(MEI、SMEI、SOI)外,还选取了对地处华南的珠江流域影响较大的东亚季风、南亚夏季季风以及

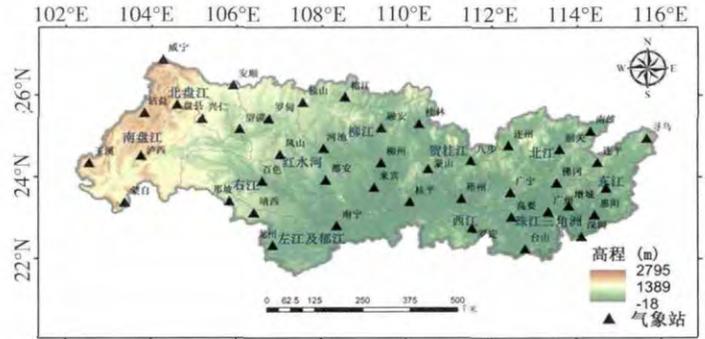


图 1 珠江流域气象站点分布图

Fig. 1 The distribution of the meteorological stations in the Pearl River basin

南中国海夏季季风。原始数据来源如下:ENSO 指标数据,包括 MEI、SMEI 和 Nino3.4 区 ($5^\circ\text{S} \sim 5^\circ\text{N}, 170^\circ\text{W} \sim 120^\circ\text{W}$)海温指数(SOI)均来源于美国国家海洋和大气局地球系统研究实验室(NOAA ESRL);太阳黑子(SS)数据来源于比利时皇家天文台;东亚夏季季风指数(EASMI)、南亚夏季季风指数(SASMI)和南中国海夏季季风指数(SCSSMI)均来自美国的 NCEP/NCAR 月平均分析数据集,均可在 <http://ljp.lasg.ac.cn/dct/page/65544> 下载。

2 研究方法

2.1 降水集中度

本文定义降水集中度(CI)是基于降水集中度呈负指数分布的客观事实^[7],即在一定时段内,降水量越大的降水天数越少,在双累积曲线上呈负指数分布。降水集中度旨在描述某时段内的降水量较大值出现的天数百分比和降水量百分比的分布规律,即假定在某气象站点上,某时段内的累积降水量百分比 Y 与累积降水天数百分比 X 呈洛伦兹曲线分布^[14],即可以采用洛伦兹曲线模拟实际降水情况,利用基尼系数评价此站的降水特性。其具体计算步骤如下:

(1)以 1 mm 为间隔,将日降水量从 $0.1 \sim 0.9$ 、 $1.0 \sim 1.9$ 开始分组,到本时段降水量最大值为止(假定 100 mm 为这一时段的最大降水量,则以 $100.0 \sim 100.9$ 为最后一组)。

(2)将日降水量按其大小分别对应各组,统计出各组的降水天数。

(3)将统计的各组降水天数分别乘以各组的均值得出总降水量。

(4)分别将各组的降水天数和降水量累加,除以

其累加总和得出累积降水天数百分比和累积降水量百分比。

(5)求得累积降水量百分比(Y)及累积降水天数百分比(X)后,由降水集中度的定义可知,其分布呈负指数分布,即符合洛伦兹曲线分布:

$$Y=aX\exp(bX) \quad (1)$$

式中: a 、 b 均为系数,用最小二乘法可率定。

(6)求出 a 与 b ,则曲线下的面积 S 可由积分所得,即

$$S=\int_0^{100} [X-aX\exp(bX)]dX \quad (2)$$

可得:

$$CI=2S/10000 \quad (3)$$

2.2 Mann-Kendall 趋势检测法与 Sen's 坡度检测法

非参数化 Mann-Kendall 趋势检验法和 Sen's 坡度检测法可监测气候要素的长期变化趋势,其特点是不必事先假定数据的分布特征,而是采用观测数据的秩序或变化斜率。因此,能很好地处理缺失值或异常值。这两种检验可很好地处理非正态分布的数据,适用于气象、水文数据时间序列变化的分析^[15-18],MK 检验值 Z 是一个正态分布的统计量,正值表明有上升的趋势,负值表示有下降的趋势, Z 的绝对值在大于等于 1.28、1.64 和 2.32 时,分别表示通过了信度 90%、95%、99% 的显著性检验。详细计算步骤可以参考文献^[15-18]。

2.3 RF 算法

RF 是由 Breiman 于 2001 年提出的一种基于统计学习理论的组合分类智能算法,利用 Bootstrap 重抽样方法从原始数据中抽取多个样本然后对每个 Bootstrap 样本进行分类树构建,对所有分类树的预测进行组合并通过投票方式得出最终结果^[19]。RF 作为一种自然的非线性建模工具,对解决多变量的预测具有很好的效果,且对异常值和噪声具有很好的容忍度,不容易出现过拟合,甚至被誉为当前最好的算法之一^[20]。

因降水影响因子错综复杂,不同变量对目标变量的影响程度不同,如何筛选出影响目标变量的几个主要变量是统计学的难点之一,本文将采用 RF 衡量影响因子的重要度^[21-22]。RF 对变量的重要性进行计算方法主要有以下两种:①对每棵树,首先计算其 OOB 误差(E_{OOB1});然后对变量 i 的数据加入噪声并计算 OOB 误差(E_{OOB2});最后,把 E_{OOB1} 与 E_{OOB2} 的差对所有树取平均,并用标准差归一化,即为变量 i 的重要性。②计算变量 i 在节点分割时基尼指数的减少值 D_{Gi} ;把森林中

所有节点的 D_{Gi} 求和后对所有树取平均,即为变量 i 的重要性。本研究采用上述第二种方法对 7 个影响因子进行重要性评判,并以变量平均基尼减小值占有所有变量平均基尼减小值总和的百分比度量变量的重要程度,可按式(4)计算。

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t D_{Ckij}}{\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^t D_{Gkij}} \times 100\% \quad (4)$$

式中: m 、 n 、 t 分别为总变量个数、分类树棵数和单棵树的节点数; D_{Ckij} 为第 k 个变量在第 i 棵树的第 j 个节点的残差平方和减少值; P_k 为第 k 个变量的在所有变量中的重要程度, P_k 值越大则表示第 k 个变量越重要。本文采用 R 语言中的 Random Forest 包进行计算,R 语言安装包可在 <http://cran.r-project.org/>加载。

3 结果分析

3.1 逐年降水集中度(ACI)在时间上的变化趋势

根据降雨集中度计算公式(式(1)~(3)),计算珠江流域 43 个降雨站点的逐年降水集中度 ACI 和 53a 长期降水集中度 LCI。鉴于篇幅有限,仅以 LCI 最大的深圳站(22.52°N,114.13°E)为例,采用洛伦兹曲线模拟该站 2009~2012 年实测降水天数百分比和降水量百分比分布,如图 2 所示。由图 2 可看出,模拟效果良好,可以使用降水集中度指标进行评价。

由表 1 可看出,珠江流域内 43 个站点中,32 个站点 Z 值及 Sen's 坡度值大于 0,即表明 32 个站点 ACI 呈上升趋势,11 个站点呈下降趋势,但是变化趋势均不明显($|Z|<1.64$),说明珠江流域目前的降水集中程度的变化并不明显。将各站点逐年降水集中度值的 Sen's 坡度值利用 IDW 法插值,得到珠江流域降水集中度(ACI)变化趋势的空间分布状况(见图 3)。可以看出,珠江流域的 Sen's 坡度值分布大致呈东正西负分布,大致以云贵高原为界,即珠江流域东部的降水集中度在 1960~2012 年呈上升趋势。柳江、红水河、右江中下游为界以东,降水集中程度将会增大,发生洪涝、干旱灾害频率会加大,西部呈下降趋势。柳江、红水河、右江中下游为界以西,降水时间分配将会趋向均匀。其中上升趋势最高值出现在威宁站,原因可能是威宁地处四川盆地与云贵高原交界处,该处降水不仅受到热带季风影响,还受高原夏季风与西太平洋副高影响,与已有的研究^[24-25]中四川盆地东部暴雨日数及强度增

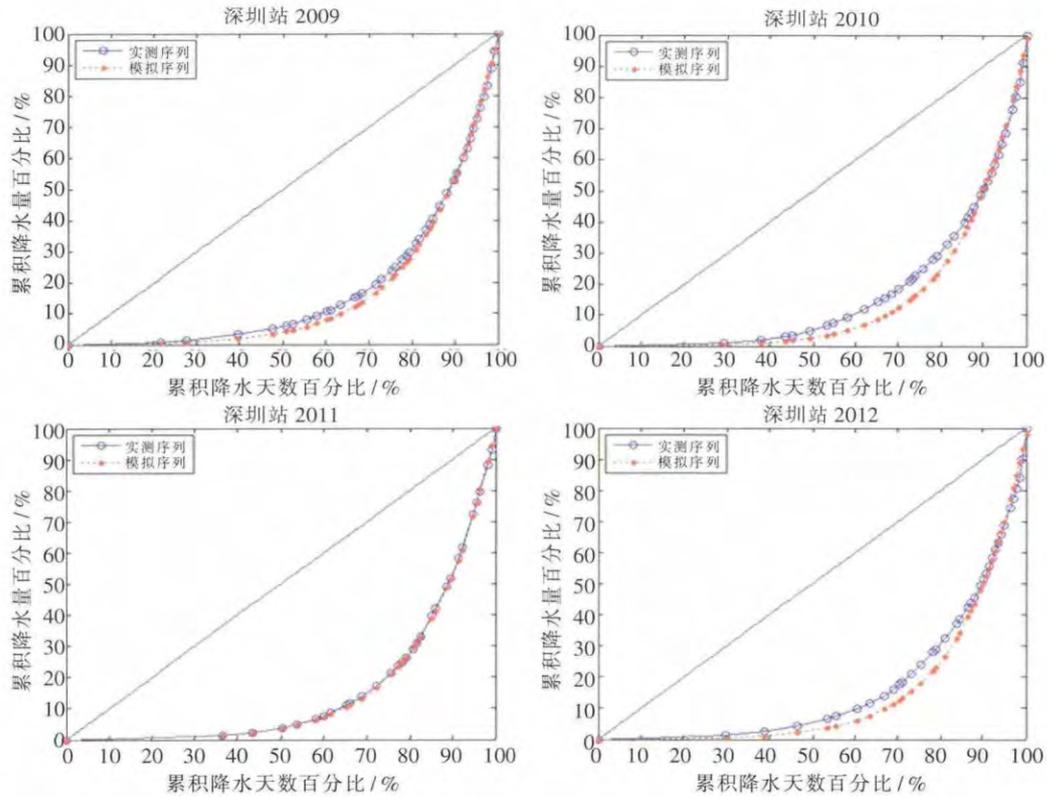


图2 深圳站 2009~2012 年采用洛伦兹曲线模拟与实测对比图

Fig.2 Lorenz curves for simulated and observed precipitation data from the Shenzhen station during 2009~2012

表1 珠江流域1960~2012年各站点逐年降水集中度(ACI)趋势检验结果及长期降水集中度(LCI)

Table 1 The results of the trend test for ACI during 1960~2012 and LCI in the Pearl River basin

站名	LCI	MK 检验值 Z	Sen's 坡度值	站名	LCI	MK 检验值 Z	Sen's 坡度值
威宁	0.756179	1.25	4.01E-04	韶关	0.810957	0.483	9.61E-05
沾益	0.75617	-0.001	-2.12E-06	佛冈	0.810955	0.268	6.68E-05
盘县	0.765507	-0.713	-2.27E-04	连平	0.808632	0.621	1.19E-04
玉溪	0.765508	-0.1	-2.95E-05	寻乌	0.808639	0.161	2.96E-05
泸西	0.768347	-0.253	-6.88E-05	那坡	0.809807	0.115	1.01E-05
蒙自	0.768346	-0.361	-1.11E-04	百色	0.809807	0.069	1.06E-05
安顺	0.784529	0.161	2.91E-05	靖西	0.809569	0.176	2.95E-05
兴仁	0.784528	-1.051	-2.32E-04	来宾	0.809569	0.499	7.71E-05
望谟	0.794295	-0.621	-2.01E-04	桂平	0.808044	0.652	9.16E-05
罗甸	0.794296	-0.483	-1.08E-04	梧州	0.808063	0.637	8.81E-05
独山	0.797806	-0.545	-1.23E-04	广宁	0.809839	0.575	7.48E-05
榕江	0.797984	-0.192	-3.73E-05	高要	0.809836	0.422	7.04E-05
融安	0.812018	0.008	5.31E-06	广州	0.807874	0.437	5.89E-05
桂林	0.811997	0.437	8.60E-05	河源	0.807864	0.821	8.11E-05
南雄	0.807174	0.621	1.39E-04	增城	0.807487	0.33	4.38E-05
凤山	0.807166	0.146	3.49E-05	惠阳	0.807484	0.1	8.49E-06
河池	0.808335	0.176	2.75E-05	龙州	0.80498	0.008	8.45E-06
都安	0.805753	0.422	7.16E-05	南宁	0.80581	0.023	8.19E-06
柳州	0.814376	0.437	6.42E-05	罗定	0.81023	0.054	7.77E-06
蒙山	0.814376	0.468	9.66E-05	台山	0.810232	0.146	2.51E-05
八步	0.810292	0.545	9.30E-05	深圳	0.820226	-0.115	-2.74E-05
连州	0.810297	0.637	1.21E-04				

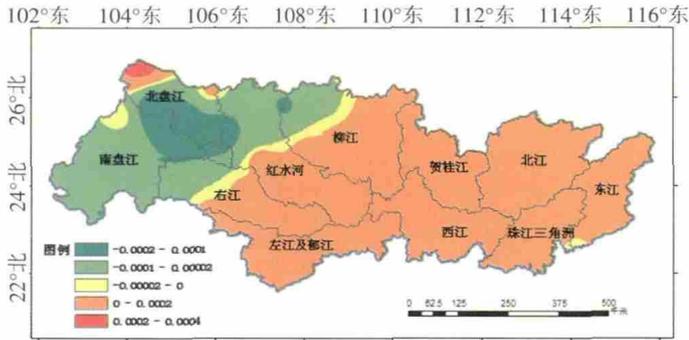


图3 珠江流域1960~2012年逐年降水集中度(ACI)Sen's 坡度值分布图
Fig.3 The spatial distribution of the Sen's slope values of ACI in the Pearl River basin during 1960~2012

加,极端降水事件线性趋势变化突出这些成果相符。

3.2 长期降水集中度(LCI)的空间分布

根据1960~2012年珠江流域各站点的LCI值,采用IDW空间插值方法,可得1960~2012年珠江流域LCI的空间分布,如图4所示。由图4可看出,珠江流域的LCI在空间上自西北向东南逐渐增大,与ACI变化趋势的空间分布相似,以云贵高原为界,西部LCI值偏小,东部LCI值较大,其中深圳站LCI最大(0.820226),沾益站LCI最小(0.75617),两站分别位于所有站点的最东部与最西部。表明在珠江流域东部,柳江、红水河、右江中下游为界以东多年降水较为集中,发生洪涝、干旱灾害频率较大;而在柳江、红水河、右江中下游为界以西,LCI值较小,说明其多年降水相对较分散,分配较均匀,降水极值情况发生较少,珠江流域的这种LCI空间分布趋势与欧洲大陆降水集中度空间分布趋势相似^[7],原因可能是珠江流域降水主要受到包括东亚夏季风、南亚夏季风以及南中国海夏季风的影响,流域东部地区地处亚热带季风区,离海洋较近,另外,流域总体地势以云贵高原为界,呈西北高、东南低特点,从而导致珠江流域的LCI值呈现从东南到西北逐

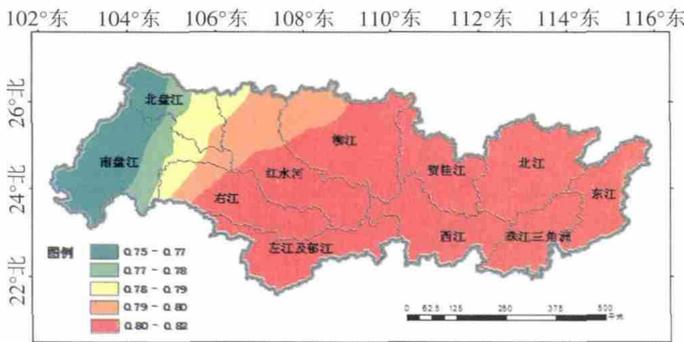


图4 珠江流域长期降水集中度(LCI)空间分布
Fig.4 The spatial distribution of LCI in the Pearl River basin

渐减小的特点。

3.3 影响因子重要性分析

对各站点的逐年ACI值与各影响因子的时间序列做RF重要性分析,以计算各个影响因子的重要度,进而分析珠江流域降水集中度的主要影响因素。

统计各站点重要度排序前三的影响因子,重要度排序第一(贡献度最高)的影响因子为EASMI,贡献度高达86%,表明珠江流域降水集中度最大的影响因子为东亚季风。各个站点标准化因子的重要度分布如图5所示,不同的影响因子在各个站点的重要度影响不同,总体来说影响程度最大的影响因子为EASMI(17.4%~36.8%)。影响程度第二大的因子分布大致可以划分为三个区域,其中珠江流域东南部,东江、珠江三角洲、西江、右江及左江与郁江流域第二大影响因子主要为MEI、SOI,即是说珠江流域东南部降水集中度受厄尔尼诺影响也较明显;北江流域第二大影响因子主要为SCSMI,说明北江流域降水集中度主要受东亚夏季季风影响外,还受南中国南海夏季季风影响较明显;珠江流域西北部,贺桂江、柳江、红水河、南北盘江流域,海拔较高,其降水集中度第二大影响因子主要为SS,但贡献度所占比例较小(13.4%~22.4%),即是说珠江流域西北部降水集中度一定程度上也受太阳黑子影响。

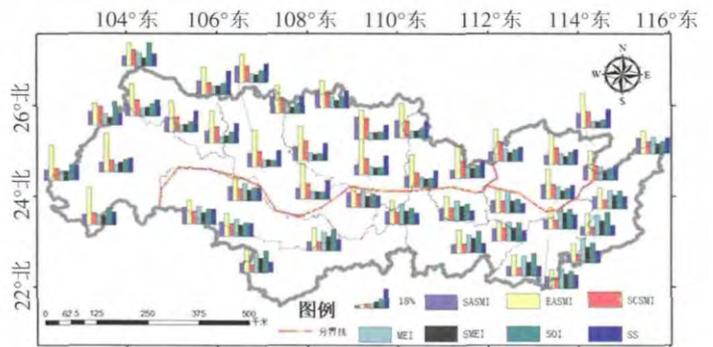


图5 各站点标准化因子的重要度分布图
Fig.5 The spatial distribution of the standardized indexes' importance degree

4 结论与讨论

根据珠江流域43个站点1960~2012年的逐日降水数据,计算各站点逐年降水集中度(ACI)以及52a的长期降水集中度(LCI),识别并分析珠江流域降水集中度的时空分布特征及其主要影响因素,主要结论如下:

(1)珠江流域逐年降水集中度变化趋势不明显,空间上呈现东升西降分布,东南部降水集中程度呈上升趋势,极端降水事件概率将会增大,西北部降水集中程度呈下降趋势,降水时间分配将会趋向均匀;

(2)受云贵高原地形及季风气候影响,珠江流域的长期降水集中度分布同逐年降水集中度变化趋势分布相近,呈现从东南到西北逐渐减小的特点,即东南部降水较为集中,西北部降水较为均匀;

(3)珠江流域降水集中度各影响因子的重要度分析表明,对降水集中度影响较大的影响因子分别为EASMI、MEI、SOI以及SS,其中EASMI即东亚季风对整个流域极端降水影响最为明显。

本文的研究结果可为珠江流域极端气候下防洪防涝及西江水水库调度、压咸补淡等水资源调配工作提供科学的参考依据。由于资料有限,论文选取影响极端降水的大尺度环流因子数目有限,且各个影响因子对降水集中度的影响机理尚未明确,需在日后研究中进一步完善。

参考文献:

- [1] IPCC. Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fifth Assessment Report [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Zhang Lujun, Qian Yongfu. Annual distribution features of the yearly precipitation in China and their interannual variations [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2003,17(2):146-163.
- [3] 张录军,钱永甫. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究[J]. *地球物理学报*, 2004,47(4):622-630. (ZHANG Lujun, QIAN Yongfu. A study on the feature of precipitation concentration and its relation to flood-producing in the Yangtze River valley of China [J]. *Chinese Journal Geophysics*, 2004,47(4):622-630. (in Chinese))
- [4] 李远平,杨太保,马建国. 渭河流域汛期降水集中度和集中期的变化特征[J]. *资源科学*, 2012,(3):418-423. (LI Yuanping, YANG Taibao, MA Jianguo. Change characteristics of precipitation concentration degree (PCD) and precipitation concentration period (PCP) in the flood season in Pi River valley [J]. *Resources Science*, 2012,(3):418-423. (in Chinese))
- [5] 曹永强,路璐,张亭亭,等. 基于降水集中度和集中期的浙江省降水时空变化特征分析 [J]. *资源科学*, 2013,(5):1001-1006. (CAO Yongqiang, LU Lu, ZHANG Tingting, et al. Spatio-temporal variation in precipitation in Zhejiang province based on PCD and PCP[J]. *Resources Science*, 2013,(5):1001-1006. (in Chinese))
- [6] 黄晓亚,陈喜,张志才,等. 西南喀斯特地区降水集中度及其变化特征分析-以乌江流域中上游为例 [J]. *地球与环境*, 2013,(3):203-208. (HUANG Xiaoya, CHEN Xi, ZHANG Zhicai, et al. Analysis of daily rainfall concentration and its change characteristics in southwestern Karst regions: a case study of Wujiang catchment [J]. *Earth and Environment*, 2013,(3):203-208. (in Chinese))
- [7] Martin Vide J. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain [J]. *International Journal of Climatology*, 2004,24(8):959-971.
- [8] Alijani B, O'Brien J, Yarnal B. Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran [J]. *Theoretical & Applied Climatology*, 2008,94(1-2):107-124.
- [9] Cortesi N, González-Hidalgo J C, Brunetti M, et al. Daily precipitation concentration across Europe during 1971-2010 [J]. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 2012,12(9):2799-2810.
- [10] Wang W, Xing W, Yang T, et al. Characterizing the changing behaviours of precipitation concentration in the Yangtze River basin, China [J]. *Hydrological Processes*, 2013,27(24):3375-3393.
- [11] Yang, Shao, HaoZ C, et al. Regional frequency analysis and spatio-temporal pattern characterization of rainfall extremes in the Pearl River basin, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2010,380(3):386-405.
- [12] 王兆礼,陈晓宏,张灵,等. 近40年来珠江流域降水量的时空演变特征[J]. *水文*, 2006,26(6):71-75. (WANG Zhaoli, CHEN Xiaohong, ZHANG Ling, et al. Spatio-temporal change characteristics of precipitation in the Pearl River basin in recent 40 years [J]. *Journal of China Hydrology*, 2006,26(6):71-75. (in Chinese))
- [13] 唐亦汉,陈晓宏. 近50年珠江流域降雨多尺度时空变化特征及其影响[J]. *地理科学*, 2015,(4):476-482. (TANG Yihan, CHEN Xiaohong. Multi-scale spatio-temporal characteristics and influence of precipitation variation in Zhujiang River basin during the last 50 years [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015,(4):476-482. (in Chinese))
- [14] Shaw G, Wheeler D. *Statistical Techniques in Geographical Analysis*[M]. Technometrics, 1985.
- [15] Mann H B. Nonparametric test against trend [J]. *Econometrika*, 1945,13(3):245-259.
- [16] Kendall M G. Rank Correlation Methods [J]. *Biometrika*, 1990.
- [17] Sen P K. Estimates of regression coefficient based on Kendall's tau [J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1968,63(324).
- [18] Yue S, Pilon P, Phinney B, et al. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series [J]. *Hydrological Processes*, 2002,16(9):1807-1829.
- [19] Breiman L. Random Forests [J]. *Machine Learning*, 2001,45(1):5-32.
- [20] Iverson LR, Prasad AM, Matthews SN, et al. Estimating potential habitat for 134 eastern US tree species under six climate scenarios[J]. *Forest Ecol. Manage.*, 2008,254:390-406.
- [21] 赖成光,陈晓宏,赵仕威,等. 基于随机森林的洪灾风险评估模型及其应用 [J]. *水利学报*, 2015,(1):58-66. (LAI Chengguang, CHEN Xiaohong, ZHAO Shiwei, et al. A flood risk assessment model based on random forest and its application [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2015,(1):58-66. (in Chinese))
- [22] Zhaoli Wang, Chengguang Lai, Xiaohong Chen, et al. Flood hazard

- risk assessment model based on random forest [J]. *Journal of Hydrology*, 2015,527:1130–1141.
- [23] 孙大利, 刘晓阳, 王久珂, 等. 雨量站网测量精度的评估[J]. *气象科技进展*, 2015,(5):50–54. (SUN Dali, LIU Xiaoyang, WANG Jiuke, et al. Research on the measurement precision of the rain-gauge networks [J]. *Advances in Meteorological Science and Technology*, 2015,(5):50–54. (in Chinese))
- [24] 胡豪然, 毛晓亮, 梁玲. 近 50 年四川盆地汛期极端降水事件的时空演变 [J]. *地理学报*, 2009,(3):278–288. (HU Haoran, MAO Xiaoliang, LIANG Ling. Temporal and spatial variations of extreme precipitation events of flood season over Sichuan basin in last 50 years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009,(3):278–288. (in Chinese))
- [25] 任小玢, 董治宝, 周正朝. 近 50 年来四川盆地降水日数的时空变化特征 [J]. *水土保持通报*, 2012,(4):65–70. (REN Xiaofen, DONG Zhibao, ZHOU Zhengchao. Spatio-temporal variation of precipitation days of Sichuan basin in nearly 50 years [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2012,(4):65–70. (in Chinese))

Spatial-temporal Variation of Precipitation Concentration Degree in Pearl River Basin and Its Causes

ZHENG Yanhui^{1,2}, CHEN Xiaohong^{1,2}, HE Yanhu^{1,2}, LAI Chengguang^{1,2}, WANG Zhaoli³

(1. Center for Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2 Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong Higher Education Institutes, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 3 School of Civil and Transportation Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Under the influence of the well-evidenced global warming, extreme precipitation events are likely to occur more and more frequently. As a result, the urban flood control and waterlogging prevention are under serious threat. The extreme precipitation events can be effectively identified by precipitation concentration index (CI), which is mainly used to describe the inhomogeneity of precipitation. This paper attempts to explore the spatiotemporal variations and the causes of precipitation concentration. Mann-Kendall statistical test and Sen's slope method were used to detect the temporal patterns of *ACI* (annual precipitation concentration index), and inverse distance weighted (IDW) interpolation method was used to analyze the spatial change of *LCI* (long period precipitation concentration index) as well as the temporal variation trend of *ACI* based on daily precipitation at the 43 stations during 1960–2012 in the Pearl River Basin. Meanwhile, the random forest algorithm (RF) was applied to identify the contributions of the influencing factors. The results show that: (1) The northwest of Pearl River Basin indicates lower *LCI* while the southeast part indicates higher *LCI*, which shows that the extreme precipitation events will occur more frequently in the southeast. (2) The interannual variation of *ACI* in Pearl River Basin is not obvious, the northwest part shows decreasing trend while the southeast part shows increasing trend, the spatial distribution trend is likely to be affected by distance from ocean and altitude. (3) The importance analysis based on RF shows that the east Asian summer monsoon (EASMI) is the most significant factor of precipitation concentration among the 7 factors.

Key words: precipitation distribution; precipitation concentration degree; spatial-temporal variation; random forest; Pearl River Basin

(上接第 57 页)

How to Implement Construction of Station Network for Provincial Section Water Resources Monitoring

JIANG Rong¹, SUN Shilei², LI Xia¹

(1. Bureau of Hydrology, MWR, Beijing 100053, China;
2. Bureau of Hydrology, Huanghe Water Resources Commission, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: Provincial section water resources monitoring is important and basic work to carry out the most strict water resources management system. This paper introduced the construction of station network for provincial section water resources monitoring in various respects, including the construction goal, main task, construction content and investment. Otherwise, this paper described the implementation and arrangement of the project, discussed the problems which are necessary to be paid attention for the project implementation and operation.

Key words: provincial section; station network; implementation; discussion