

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.02.015

湖南省近 56 年降水变化趋势及空间特征

符 静^{1,2}, 旷 微^{1,2}, 邓运员^{1,2},
田亚平^{1,2}, 赵 莎^{1,2}

1. 衡阳师范学院 传统村镇文化数字化保护与创意利用技术国家地方联合工程实验室, 湖南 衡阳 421002;
2. 衡阳师范学院 古村古镇文化遗产数字化传承湖南省协同创新中心, 湖南 衡阳 421002

摘要: 为揭示季风气候区降水变化规律, 基于湖南省 87 个气象站点 1960—2015 年逐月降水数据, 利用线性回归、Mann-Kendall 检验、GIS 空间分析等方法研究了区域年、季尺度降水的时空特征。结果表明: 近 56 a, 湖南省年降水量增幅为 0.833 4 mm/a, 春、夏、秋、冬四季降水变化幅度分别为 -0.971, 1.393 7, -0.199 1, 0.633 6 mm/a。湖南省年度及春季降水量空间变化大致呈自东南向西北递减趋势, 夏季大致呈自东南、西北向中部递减趋势, 秋季一定程度上呈自东南向西北递增趋势, 冬季呈明显的自东南向西北递减趋势。年尺度 P_a 显示, 湖南省 2002 年为中涝, 2011 年为中旱, 其余绝大部分为正常年; 季尺度 P_a 表明, 除了春季, 其余季节均有中度及以上旱情或雨涝。湖南省降水未来趋势反持续性的区域比重略高于持续性的区域比重, 且未来呈增加趋势的分布范围更大。

关键词: 降水; 趋势; 时空特征; Hurst 指数; 湖南省

中图分类号: P462

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2021)02-0110-10

降水是气候和水文气象最重要的变量之一, 是地表淡水资源的主要来源, 与人类生产生活密切相关。降水模式的变化可能引发洪水、干旱、滑坡、泥石流等自然灾害, 致使生物多样性丧失和农业生产能力下降等^[1-2], 从而较其他气候变量会产生更直接的社会经济影响^[3]。因此, 研究降水时空变化规律对于气候分析和水资源规划决策至关重要。

鉴于全球气候变化对水文过程的影响, 降水趋势分析已成为气候研究的重要组成部分^[4-5]。近年来, 中国区域大尺度上降雨量研究^[6-10]显示整体上年均降水变化趋势无统计学意义, 但分区域却存在明显的时空差异性, 然而不同学者对相关区域分析所得结论或许有不同之处, 这可能与其所选研究时段、方法以及数据资料等不同有关; 也有不少学者从流域尺度^[11-15]、区域尺度^[16-18]、地方尺度^[19-20]等对降水变化趋势进行分析与探讨, 在一定程度上丰富了全球气候变化研究。湖南省地处亚热带季风气候区, 降水变率大, 近期气候具有暖湿化趋势^[21], 且该区域持续性干旱主要是由高温和降水偏少造成, 因此, 从地理空间信息视角, 对湖南省多站点、长时间序列降水变化进行综合分析对于评估气候引发的风险及其对策非常重要。本文从年、季尺度上分析了湖南省 1960—2015 年降水的时空特征, 提高了数据的时效性, 试图揭示区域降水变化的某些规律, 以期对水资源的调控、防汛抗旱提供决策参考, 从而缓解旱涝灾害影响。

收稿日期: 2019-09-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(411771150); 湖南省教育厅资助科研项目(19A062, 19B078); 大学生创新创业训练计划项目(CX1703)。

作者简介: 符 静, 博士, 讲师, 主要从事 GIS 应用与水文气象的研究。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

湖南省位于亚热带季风气候区的中国中部地区(108°47′—114°15′E, 24°38′—30°08′N), 东西方向延伸约 667 km, 南北方向延伸约 774 km, 土地总面积 $21.18 \times 10^4 \text{ km}^2$. 该区域海拔介于 23~2 115 m 之间, 地势东、西、南三面相对较高, 永州北部、衡阳盆地、长株潭地区、洞庭湖平原一带地势较低; 地形地貌复杂, 山地、丘陵分布广泛, 二者面积约占区域总面积的 2/3(图 1). 此外, 湖南省水系发达, 河网密布, 境内洞庭湖水系由湘江、资江、沅江、澧水及其支流汇聚而成, 最长的河流是湘江, 最大的湖泊是洞庭湖.

1.2 数据来源及预处理

选取湖南省 87 个气象站点 1960—2015 年逐月气候资料, 数据来源于湖南省气象局, 并通过初步质量控制. 选定的站点数据序列整体上较为完整, 针对部分站点少量缺测或无效数据, 基于站点观测资料进行线性插补. 标准气候平均值采用 1981—2010 年的平均值. 利用站点经纬度信息, 在 ArcGIS 10.2 软件中将站点数据转换成 Shapefile 点矢量数据, 大致均匀地覆盖整个研究区域(图 1), 以实现空间数据与属性数据挂接, 进行空间插值.

1.3 研究方法

1.3.1 气候趋势与特征分析

统计每一气象站点年、季尺度降雨量, 基于泰森多边形、面积加权法获得研究区同尺度降雨量. 运用线性回归方程模拟得到气候倾向率^[22], 用以表示降水变化趋势, 并对线性趋势做 t 检验. 采用非参数 Mann-Kendall($M-K$) 检验^[21]

评估降水时间序列的突变特征. 依据“气象干旱等级”国家标准(GB/T 20481-2017), 选取降水距平百分率(Pa)指标揭示气候异常特征, 年尺度阈值设定为 $|Pa| = 15\%, 30\%, 40\%, 45\%$, 季尺度设定为 $|Pa| = 25\%, 50\%, 70\%, 80\%$, 将气象等级划分为正常与轻、中、重、特旱(或涝).

1.3.2 Hurst 指数

采用 Hurst 指数(H)评价区域降水时间序列的持续状态, 计算 H 的基本步骤如下:

1) 时间序列必须分成长度为 n 的 d 个连续子序列, 且 $d \times n = N$, N 即时间序列的总长度. 任一子序列表示为 I_a , 其中, $a = 1, 2, \dots, d$. I_a 中每一个元素记为 $N_{k,a}$, 其中, $k = 1, 2, \dots, n$.

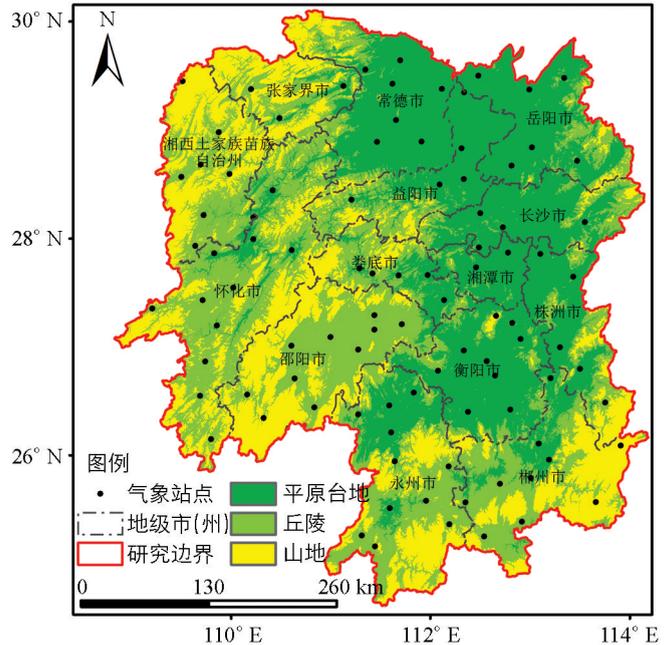
2) I_a 的均值定义为:

$$E_a = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n N_{k,a} \quad (1)$$

式中: E_a 对应每一子序列 I_a 的均值, 为均值序列.

3) I_a 对于均值的累积离差定义为:

$$X_{k,a} = \sum_{k=1}^n (N_{k,a} - E_a) \quad (2)$$



基于审图号: GS(2019)3333 号标准地图制作.

图 1 研究区及气象站点分布

式中: $X_{k,a}$ 表示每一子序列 I_a 的累积离差.

4) 极差定义为:

$$R_{I_a} = \max(X_{k,a}) - \min(X_{k,a}) \quad (3)$$

式中: R_{I_a} 表示极差; $\max(X_{k,a})$ 表示累积离差的最大值, $\min(X_{k,a})$ 表示最小值.

5) 子序列 I_a 的样本标准差表示为:

$$S_{I_a} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (N_{k,a} - E_a)^2}{n}} \quad (4)$$

式中: S_{I_a} 表示每一子序列 I_a 的标准差.

6) 对于任意 R_{I_a} , 均由对应的 S_{I_a} 进行标准化, 则 R/S 值定义为:

$$(R/S)_n = \frac{1}{d} \sum_{a=1}^d \frac{R_{I_a}}{S_{I_a}} \quad (5)$$

7) 增加 n 的值, 重复上述步骤①—⑥, 直到 $n=N/2$, 可得到一系列 $(R/S)_n$.

8) 分别以 $\text{Log}(n)$, $\text{Log}(n)$, $\text{Log}(R/S)_n$ 为横轴和纵轴 $\text{Log}(R/S)$ 进行回归分析, 所得方程的斜率即 H 的估计值. H 介于 $0 \sim 1$ 之间: 当 $H=0.5$, 表明时间序列为随机序列; 当 $H > 0.5$, 表明时间序列未来趋势对历史趋势具有持续性(持续增加或持续减少), 且 H 越接近 1, 持续性越强; 当 $H < 0.5$, 表明时间序列未来趋势对历史趋势具有反持续性(增加转减少或减少转增加), 越接近 0, 反持续性越强.

2 结果与分析

2.1 湖南省降水量时间变化特征

2.1.1 年际变化

由图 2a 可知, 1960—2015 年, 湖南省年均降水增幅为 0.8334 mm/a (未通过显著性检验), 表明多年降水呈不显著的上升趋势. 区域降水多年均值为 1412.3 mm , 2002 年降雨量最大 (1924.5 mm), 2011 年降雨量最少 (998.4 mm), 其余大部分年份围绕平均值上下波动. 1960—1985 年间降水波动变化较为平稳, 之后有明显的“增—减”趋势. $M-K$ 检验表明, 所有正时间序列统计量构成的 UF 曲线和时间序列的逆转样本得到的逆序列统计量构成的 UB 曲线在置信区间内虽有多多个交点, 但统计量未超出临界值 ($p < 0.05$), 表明区域多年降水量无突变特征, 且 UF 曲线在 1987—2002 年几乎呈单调递增趋势, 与此期间降水变化趋势基本一致 (图 2b).

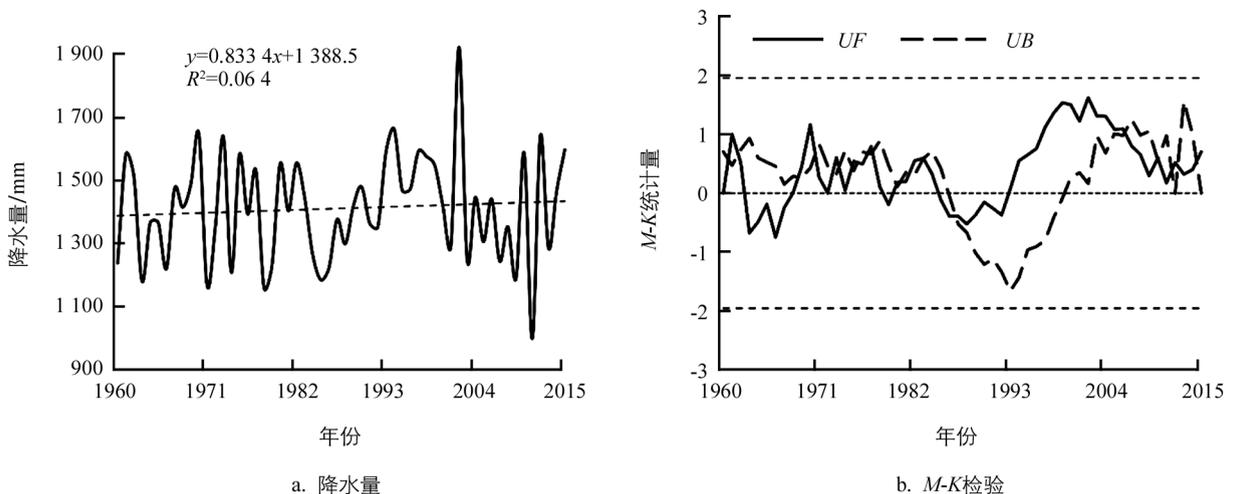


图 2 1960—2015 年湖南省降水量年际变化 (a) 及 Mann-Kendall 突变检验 (b)

图 3a 显示, 降水量在 1984—1999 年间呈现明显的连续偏枯和连续偏丰现象. 据统计, 1963 年、1971 年、1978 年、1985 年表现为轻旱, 2011 年为中旱; 1970 年、1973 年、1994 年、2012 年表现为轻涝, 2002 年为中涝.

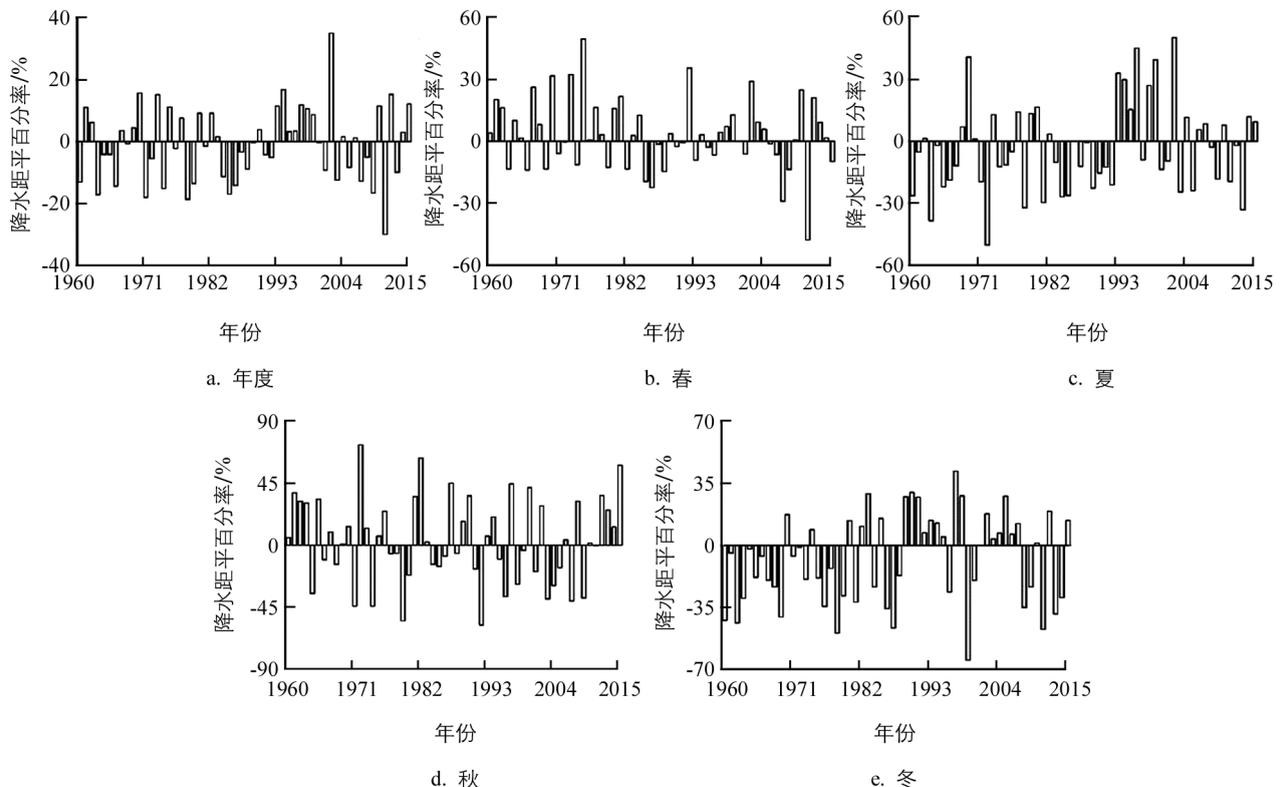


图 3 1960—2015 年湖南省年度及四季降水距平百分率 (Pa)

图 3b-e 所示, 春季 P_a 正负值交替出现, 没有明显的规律性, 降水连丰年和连枯年较少; 夏季降水有明显的连续偏丰、偏枯现象, 主要集中在 1963—1970 年和 1983—1999 年 2 个时段; 秋季 P_a 变化规律与春季类似, 但波动幅度较大; 冬季降水整体上偏枯现象较为严重, 且较其他季节更易出现降水连丰和连枯现象, 例如在 1989—1995 年和 2002—2007 年 2 个时期有连丰现象, 1960—1969 年和 1975—1979 年 2 时期有连枯现象. 据统计, 从雨涝来看, 春季轻涝 6 a, 夏季轻涝 6 a、中涝 1 a, 秋季轻涝 13 a、中涝 2 a、重涝 1 a、特涝 1 a, 冬季轻涝 7 a, 从旱情来看, 春季轻旱 2 a, 夏季轻旱 7 a、中旱 1 a, 秋季轻旱 9 a、中旱 2 a, 冬季轻旱 14 a、中旱 1 a. 由此可知, 研究区近 56 a 发生旱涝的年份秋季最多 (28 a), 冬季次之 (22 a), 春季最少 (8 a), 其中, 秋季雨涝年份最多, 冬季干旱年份最多, 且除了春季, 其余季节均有中度及以上雨涝或旱情.

2.1.2 年内变化

1960—2015 年, 湖南省年内降水集中, 春、夏两季降水较多, 秋、冬两季相对较少, 绝大部分年份冬季降水最少. 四季降水多年均值分别为 500.2, 494.2, 238.2, 179.6 mm, 春、夏两季降水量对全年贡献较大, 合计占全年降雨量的 70.4%; 气候倾向率分别为 $-0.971, 1.3937, -0.1991, 0.6336$ mm/a, 均未通过显著性检验, 表明春、秋两季降水呈减少趋势, 夏、冬两季降水有增加趋势 (图 4a-d).

$M-K$ 检验表明, 春、秋两季多年降水无突变点, 夏、冬两季有突变特征 (图 4e-h). 具体地, 春季绝大部分年份 $M-K$ 统计量为负值, 显示出降水整体呈下降趋势 (图 4e). 夏季 UF 曲线表明 1984—1992 年间降水呈下降趋势, 1992 年之后降水明显增加, 1999 年超出置信区间 ($p < 0.05$), 降水有显著增加趋势 (图 4f). 秋季自 1963 年开始, 降水呈下降趋势 (图 4). 冬季 1969 年为突变点 ($p < 0.05$), 1988 年之前降水呈波

动上升趋势,之后单调增加,1993年超出置信区间,降水呈显著上升趋势(图 4h)。

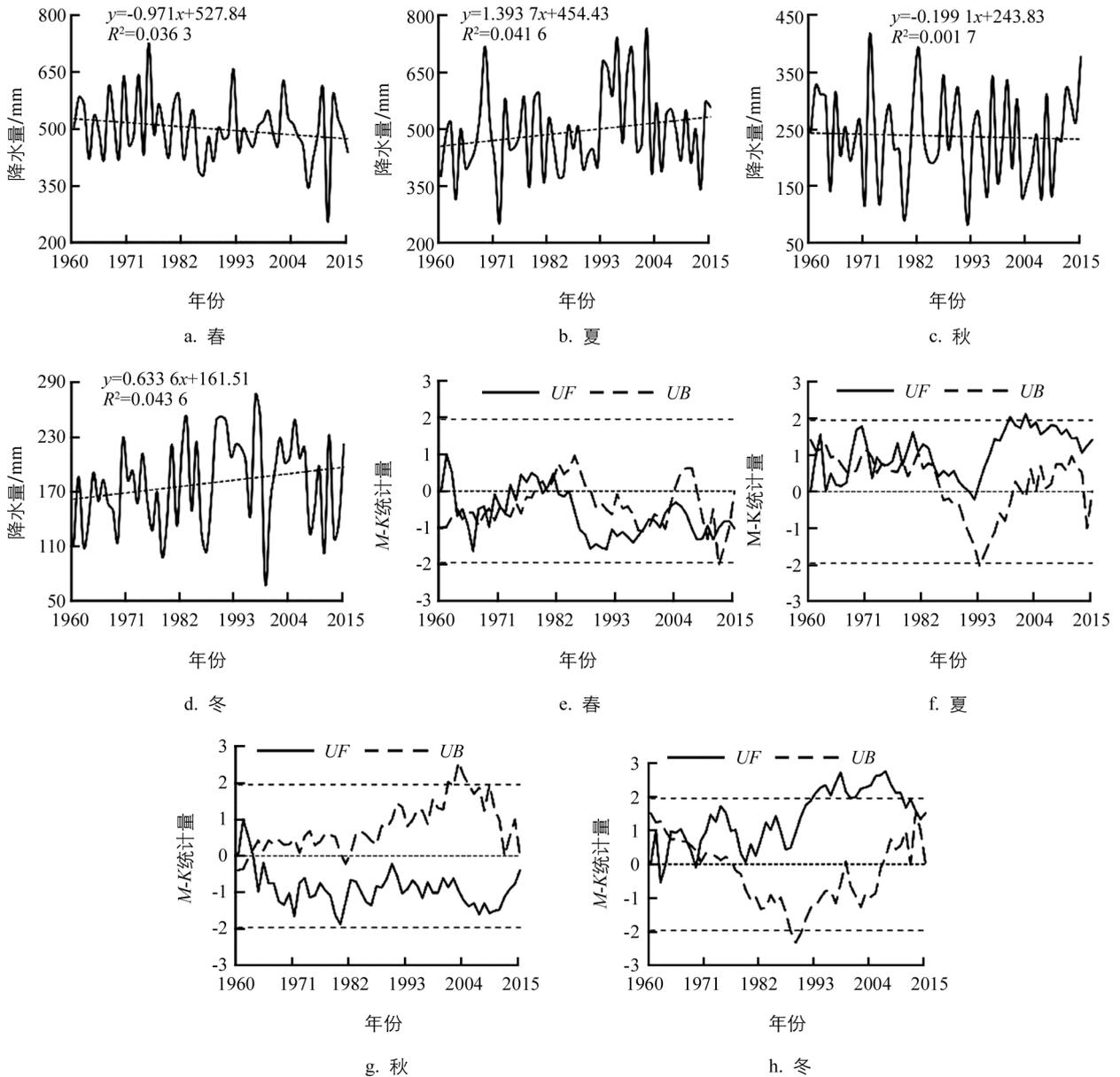


图 4 1960—2015 年湖南省季节性降水量(a-d)及 Mann-Kendall 突变检验(e-h)

2.1.3 空间格局

由图 5a 可知,近 56 a 湖南省降水增速高值区主要分布于洞庭湖平原、罗霄山一带和湘中丘陵区,合计有 62 个气象站点降水呈上升趋势,其中,增速较高的站点主要有资兴(5.03 mm/a)、临湘(3.61 mm/a)、岳阳(3.56 mm/a)、醴陵(3.5 mm/a)、江永(3.47 mm/a)、安仁(3.32 mm/a)、华容(3.23 mm/a)等,其中,仅资兴(5.03 mm/a)通过了显著性检验($p < 0.05$),呈显著上升趋势.研究区降水降速较大的区域主要分布在澧水、酉水上游和资水下游,合计 25 个站点降水呈下降趋势,其中,降速较大的站点主要有古丈(-2.65 mm/a)、龙山(-2.48 mm/a)、武冈(-2.32 mm/a)、花垣(-1.97 mm/a)、新宁(-1.42 mm/a)等,均未通过显著性检验.

1960—2015 年,春季降水整体上减少趋势明显,合计 87.4% 的站点呈下降趋势,其中,保靖、武冈、吉首等 7 个站点达到了显著性水平($p < 0.05$),且洪江呈极显著下降趋势(2.46 mm/a)($p < 0.01$),这些具有显著性变化的站点主要分布在大湘西地区;资兴、江永、攸县等 11 个站点呈增加趋势,主要分

布在湖南南岭地区、湘东南和洞庭湖区北部(图5b)。夏季降水整体增加趋势明显,90%以上的站点呈上升趋势,其中,辰溪、涟源、株洲等8个站点达到了显著性水平($p < 0.05$),新化呈极显著上升趋势(3.15 mm/a)($p < 0.01$),这些具有显著性变化的站点主要分布在株洲北部、湘中和湘西地区;古丈、嘉禾、龙山等地呈下降趋势(图5c)。秋季降水合计59个站点呈下降趋势,其余28个站点趋于上升,湘西南和湘南地区减少趋势明显,湘东北及其向东延伸至常德、张家界地区增加趋势明显(图5d)。冬季降水整体上增加趋势最为明显,基本表现为南部增速快,北部相对较慢,仅南岳和沅陵2个站点呈下降趋势,其余85个站点趋于上升,有4个站点达到了显著性水平($p < 0.05$),资兴呈极显著上升趋势(2.45 mm/a)($p < 0.01$)(图5e)。

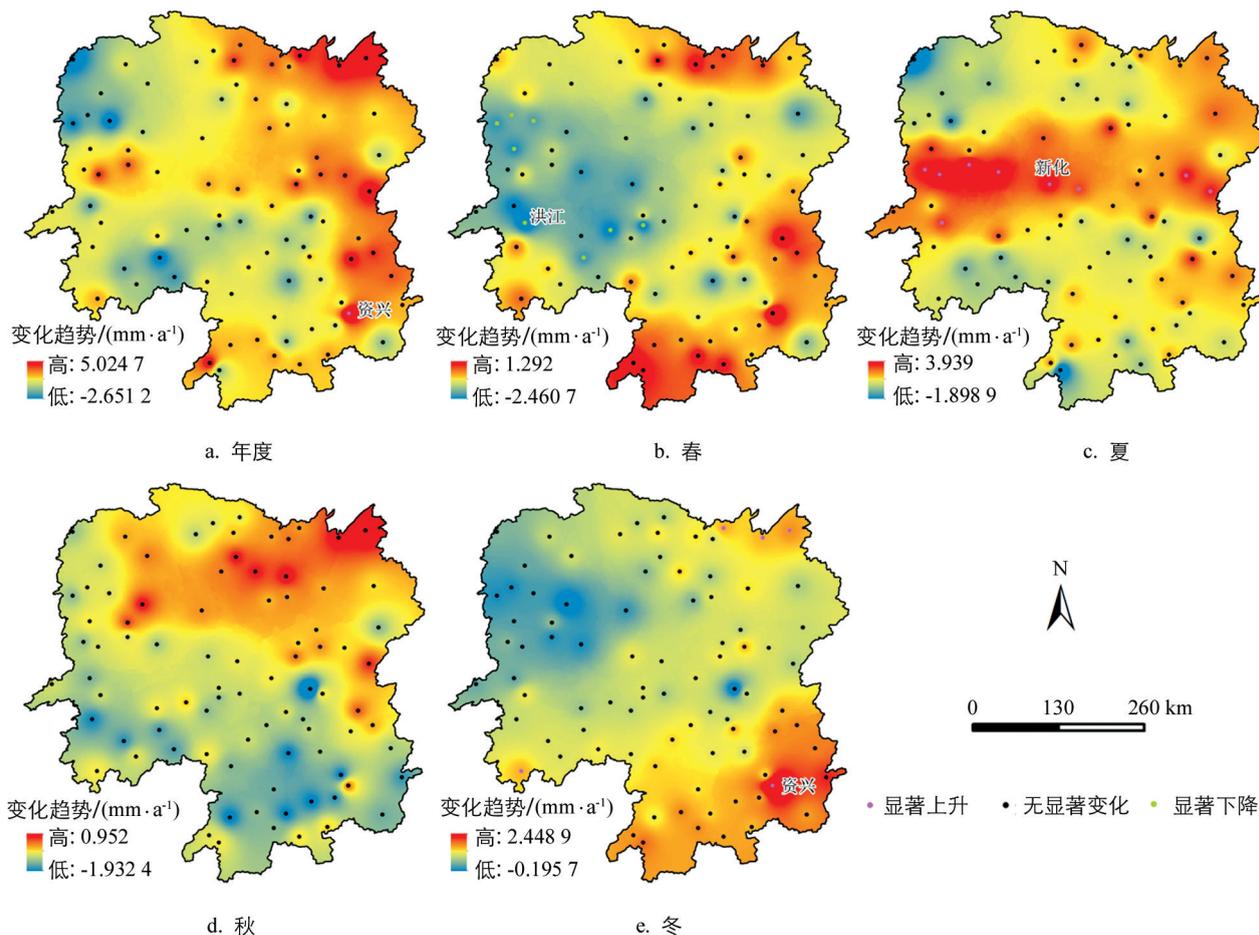


图5 1960—2015年湖南省年度(a)及四季(b-e)降水变化趋势空间分布

2.2 湖南省降水量空间分布特征

由图6a可知,湖南省年均降水量大致呈自东南向西北递减趋势,受地形因素影响,有明显的“牛眼”现象。降水高值区始于雪峰山北端,延伸至连云山、罗霄山、八面山和南岭,呈“人”字形与降水匮乏区隔开,年均降雨量最大值出现在南岳($2\,023.4 \text{ mm}$),其次是桂东($1\,707.2 \text{ mm}$)和安化($1\,704.1 \text{ mm}$)。降水相对偏少区域主要分布在洞庭湖平原、衡邵盆地和湘西南地区,其中新晃最少为 $1\,164.3 \text{ mm}$,其次是衡阳县($1\,241.3 \text{ mm}$)和安乡($1\,246.1 \text{ mm}$)。

春季降水空间分布特征大致与年度降水相似,雪峰山、罗霄山和南岭一带为降水丰富区,澧水流域、西水流域等降水相对较少(图6b)。夏季降水大致呈自东南、西北向中部递减趋势,除衡邵盆地、洞庭湖区和湘西沅水流域降水量较少以外,其他地区降水量均较多(图6c)。秋季降水空间格局较为复杂,与春季形成强烈对比,一定程度上呈自东南向西北递增趋势,且降水量较春、夏两季普遍减少(图6d)。冬季降雨量

相对偏少, 高值区域没有其他季节明显, 且降水空间格局呈明显的自东南向西北递减趋势(图 6e).

此外, 结合图 1 和图 6 可知, 山区降水明显多于平原和盆地区域. Pearson 相关分析发现, 研究区年度及夏、秋、冬三季降水与海拔呈极显著正相关($p < 0.01$), 相关系数分别为 0.48, 0.589, 0.575, 0.571, 春季降水与海拔呈显著正相关($p < 0.05$), 相关系数为 0.173, 表明降水受地形影响较大. 例如, 南岳、安化、桂东等地海拔较高, 从年、季尺度上看皆是区域降水极值区(图 6).

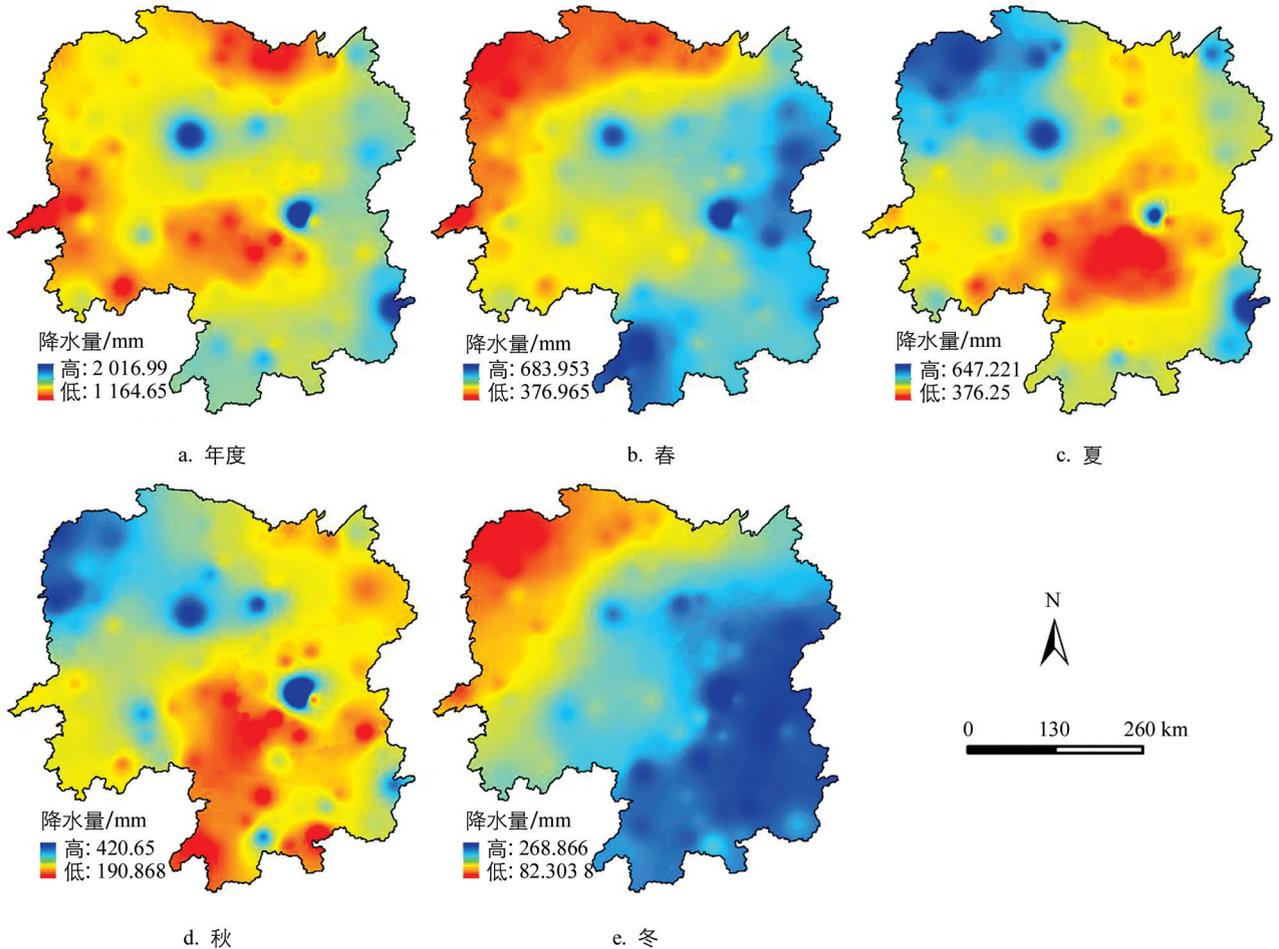


图 6 1960—2015 年湖南省年度(a)及四季(b-e)降水空间分布

2.3 湖南省降水量未来趋势

湖南省 $Hurst$ 指数(H)介于 0.008 6~0.740 7 之间, 高值区位于资兴、宜章、平江、江华和通道等地, 低值区位于张家界、慈利、沅陵、泸溪和石门等地(图 7a). 安化、安仁、安乡等 45 个站点的 H 值在 0~0.5 之间, 其中张家界(0.008 6)和慈利(0.039 8)最为接近 0, 说明这 2 个站点的反持续性最强. 郴州、辰溪、道县等 42 个站点的 H 值在 0.5~1 之间, 其中资兴(0.740 7)最为接近 1, 表明该站点的持续性最强. 永州 $Hurst$ 指数值最接近 0.5, 表明其降水时序为随机序列.

结合图 5a 和图 7a 进行叠加分析, 得到增加转减少、减少转增加、持续增加和持续减少 4 种降水未来趋势(图 7b). 由图 7b 可知, 芷江、绥宁、邵阳市、衡阳县、嘉禾、汝城等地降水呈持续减少趋势, 其中江华下降趋势最明显; 资兴、临湘、岳阳、醴陵、江永等地降水呈持续增加趋势, 其中资兴上升趋势最明显; 张家界、龙山、花垣、永顺、保靖等地降水趋势由减少转增加, 慈利、汉寿、安化等地降水趋势由增加转减少. 据统计, 湖南省降水未来呈增加趋势的区域比重(60.63%)大于呈减少趋势的区域比重(39.37%), 且未来趋势反持续性的区域比重(51.2%)略高于持续性的区域比重(48.8%).

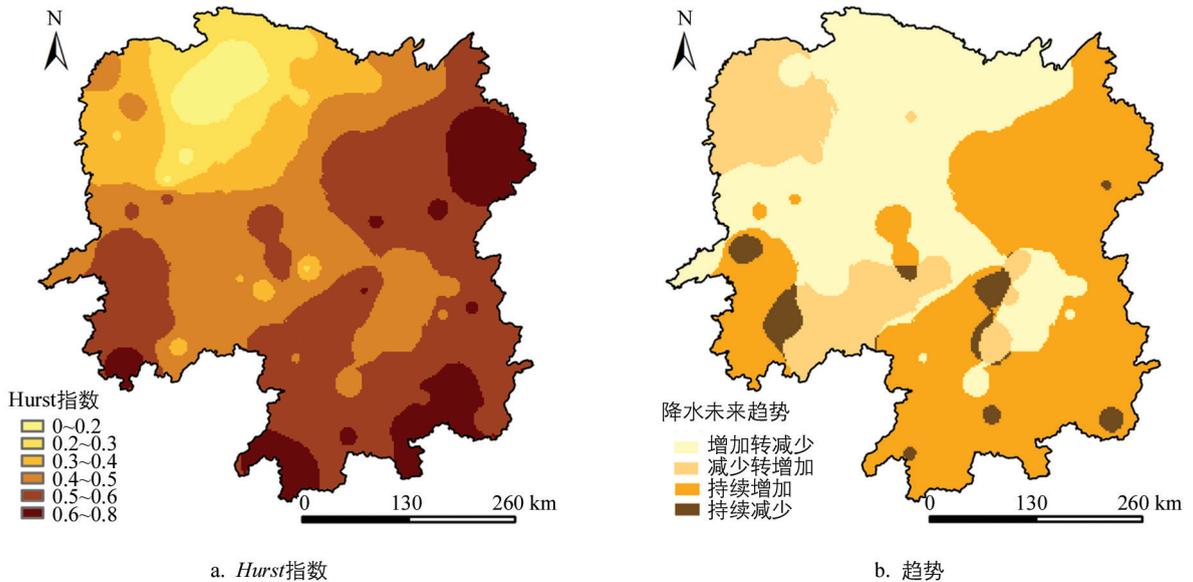


图7 湖南省降水 Hurst 指数(a)及未来趋势(b)

3 结论与讨论

利用湖南省 87 个站点 1960—2015 年逐月气候资料,实现了该区域多站点、长时间序列的降水时空特征研究,主要结论如下:

1) 时间上,湖南省年均降水增幅为 0.8334 mm/a ,无突变特征.春、夏两季降水量较多,秋、冬两季相对较少,四季降水多年均值分别为 $500.2, 494.2, 238.2, 179.6 \text{ mm}$,气候倾向率分别为 $-0.971, 1.3937, -0.1991, 0.6336 \text{ mm/a}$.春、秋两季多年降水无突变点,夏、冬两季有突变特征.各站点降水变化有增有减,年度降水合计 62 个气象站点呈上升趋势,春、秋两季分别有 76 个和 59 个站点呈下降趋势,夏、冬两季分别有 80 个和 85 个站点趋于上升.

2) 空间上,湖南省年均降水大致呈自东南向西北递减趋势,有明显的“牛眼”现象.春季和年度降水空间分布特征相似;夏季降水大致呈自东南、西北向中部递减趋势;秋季降水空间格局较为复杂,一定程度上呈自东南向西北递增趋势,且降水量较春、夏两季普遍减少;冬季降雨量相对偏少,空间格局呈明显的自东南向西北递减趋势.

3) 年尺度 P_a 显示,降水量在 1984—1999 年间呈现明显的连续偏枯和连续偏丰现象,2011 年为中旱;2002 年为中涝.季尺度 P_a 显示,春季正负值交替出现,表明降水连丰年和连枯年较少;夏季降水集中在 1963—1970 年和 1983—1999 年这 2 个时段有明显的连续偏丰、偏枯现象;秋季降水变化规律与春季类似,但波动幅度较大;冬季降水整体上偏枯现象较为严重.且研究区发生旱涝的年份秋季最多(28 a),冬季次之(22 a),春季最少(8 a).

4) $Hurst$ 指数介于 $0.0086 \sim 0.7407$ 之间,高值区位于资兴、宜章、平江、江华和通道等地,低值区位于张家界、慈利、沅陵、泸溪和石门等地.降水未来趋势反持续性的区域比重略高于持续性的区域比重,其中,芷江、绥宁、邵阳市、衡阳县、嘉禾、汝城等地降水呈持续减少趋势,资兴、临湘、岳阳、醴陵、江永等呈持续增加趋势;张家界、龙山、花垣、永顺、保靖等呈反向增加趋势,慈利、汉寿、安化等呈反向减少趋势.

湖南省位于南方湿润区,受地形、西太平洋副高、社会经济等因素共同影响,形成了典型亚热带季风气候,降水变率大,导致年、季尺度降水的时空差异性,旱涝灾害多发,本文仅讨论了地形对降水变化的影

响, 后续研究可通过实验或相关性算法挖掘更多因素。此外, 空间插值是由点及面的模拟算法, 进一步研究可比较不同插值方法误差, 选取适合研究区的最优插值方法, 以提高空间插值精度。

参考文献:

- [1] 李运刚, 胡金明, 何大明, 等. 1960—2007 年红河流域强降水事件频次和强度变化及其影响 [J]. 地理研究, 2013, 32(1): 64-72.
- [2] 叶殿秀. 东北华南降水偏少, 部分地区有旱情气温变化幅度大, 局地出现冷(冻)害 [J]. 气象, 2003, 29(7): 62-63.
- [3] GILLETT N P, WEAVER A J, ZWIERS F W, et al. Detection of Volcanic Influence on Global Precipitation [J]. Geophysical Research Letters, 2004, 31(12): 577-588.
- [4] SAYEMUZZAMAN M, JHA M K. Seasonal and Annual Precipitation Time Series Trend Analysis in North Carolina, United States [J]. Atmospheric Research, 2014, 137(1): 183-194.
- [5] BERANOVA, ROMANA, KYSELY J. Trends of Precipitation Characteristics in the Czech Republic Over 1961—2012, Their Spatial Patterns and Links to Temperature and the North Atlantic Oscillation [J]. International Journal of Climatology, 2017, 38(51): E596-E606.
- [6] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析 [J]. 高原气象, 2004, 23(2): 238-244.
- [7] GEMMER M, BECHER S, JIANG T. Observed Monthly Precipitation Trends in China 1951—2002 [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2004, 77(1-2): 39-45.
- [8] 任国玉, 任玉玉, 战云健, 等. 中国大陆降水时空变异规律——II. 现代变化趋势 [J]. 水科学进展, 2015, 26(4): 451-465.
- [9] 王 英, 曹明奎, 陶 波, 等. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征 [J]. 地理研究, 2006, 25(6): 1031-1040.
- [10] 冯新灵, 罗隆诚, 冯自立. 中国近 50 年降水变化趋势及突变的 Hurst 指数试验 [J]. 干旱区地理, 2019, 32(6): 859-866.
- [11] 徐宗学, 张 楠. 黄河流域近 50 年降水变化趋势分析 [J]. 地理研究, 2006, 25(1): 27-34.
- [12] 肖 义, 唐少华, 陈 华, 等. 湘江流域 1960—2008 年降水气温变化趋势分析 [J]. 人民长江, 2013, 44(3): 10-12, 32.
- [13] JIANG T, SU B D, HARTMANN H. Temporal and Spatial Trends of Precipitation and River Flow in the Yangtze River Basin, 1961-2000 [J]. Geomorphology, 2007, 85(3-4): 143-154.
- [14] 陆文秀, 刘丙军, 陈俊凡, 等. 近 50 a 来珠江流域降水变化趋势分析 [J]. 自然资源学报, 2014, 29(1): 80-90.
- [15] 卢燕宇, 吴必文, 田 红, 等. 基于 Kriging 插值的 1961—2005 年淮河流域降水时空演变特征分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(5): 567-573.
- [16] 张剑明, 黎祖贤, 章新平, 等. 湖南省近 46 年来降水时空分布特征及趋势分析 [J]. 水文, 2009, 29(4): 73-78.
- [17] 李巧媛. 1962—2011 年湖南各量级降水的年变化特征 [J]. 干旱气象, 2012, 30(3): 353-359.
- [18] 彭嘉栋, 李刚, 吴芳. 近百年洞庭湖区可利用降水量变化特征 [J]. 生态环境学报, 2017, 26(1): 104-110.
- [19] 王安琪, 高玉琴, 蔡 涛. 大凌河流域朝阳地区 1955—2014 年降水趋势变化及突变分析 [J]. 水文, 2017, 37(5): 92-96.
- [20] 奚立平, 吴海鹰, 蔡文庆. 近 60 年无为县降水变化趋势研究 [J]. 水土保持研究, 2019, 26(1): 209-214.
- [21] 符 静, 秦建新, 黎祖贤, 等. 变化中的参考作物蒸散量及其对气候的响应 [J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(7): 1615-1624.
- [22] 庞艳梅, 陈 超, 潘学标. 1961—2010 年四川盆地冬小麦需水量时空变化 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(12): 1-11.

Trends of Precipitation Variations and Their Spatial Patterns in Hunan Province Over 56 Years (1960—2015)

FU Jing^{1,2}, KUANG Wei^{1,2}, DENG Yun-yuan^{1,2},
TIAN Ya-ping^{1,2}, ZHAO Sha^{1,2}

1. National-Local Joint Engineering Laboratory on Digital Preservation and Innovative Technologies for the Culture of Traditional Villages and Towns, Hengyang Normal University, Hengyang Hunan 421002, China;
2. Cooperative Innovation Center for Digitalization of Cultural Heritage in Traditional Villages and Towns, Hengyang Normal University, Hengyang Hunan 421002, China

Abstract: In order to deepen the understanding of how precipitation changes in the monsoon climate zone, based on the meteorological data of 87 weather stations in Hunan Province from 1960 to 2015, various methods, *e. g.* linear regression analysis, Mann-Kendall non-parametric statistical test, GIS spatial analysis and Hurst exponent, were used to determine the spatial-temporal distribution pattern and trend of precipitation and to interpret climate anomalies by combining precipitation percent departures. The results indicated that during the 56 years, the precipitation of the study area increased with an average annual speed of 0.833 4 mm per year, and precipitation in spring, summer, autumn and winter was found to change at a rate of -0.971 , $1.393\ 7$, $-0.199\ 1$ and $0.633\ 6$ mm per year, respectively; that geographically, average annual precipitation generally showed a decreasing trend from southeast to northwest inside our study area and, to some degree, the distribution of precipitation in spring was similar to the pattern of annual precipitation; in summer, the precipitation displayed a downward trend from southeast and northwest to the central area; precipitation in autumn presented an upward trend from southeast to northwest to some extent; and in winter, precipitation showed a significant declining trend from southeast to northwest. Annual precipitation percent departures showed that moderate waterlogging occurred in 2002, and moderate drought happened in 2011. Also, seasonal precipitation percent departures displayed that moderate or severe or extreme drought or waterlogging were observed for all seasons except for spring. Hurst exponent revealed that the future trend of precipitation shifting from increasing to decreasing or from decreasing to increasing would be more probable than that of steadily decreasing or increasing, and that the proportion for 60.63% of the total area was categorized as an upward trend in the future.

Key words: precipitation; trend; temporal and spatial variation; Hurst exponent; Hunan Province