

闵俊杰,孙莉娟,黄 进. 近 45 年安徽省极端连续降水事件的时空演变[J]. 江苏农业科学,2020,48(20):301-307.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.20.055

近 45 年安徽省极端连续降水事件的时空演变

闵俊杰¹, 孙莉娟^{2,4}, 黄 进^{3,4}

(1. 国电环境保护研究院有限公司, 江苏南京 210031; 2. 安徽省人工影响天气办公室, 安徽合肥 230031;

3. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏南京 210044; 4. 淮河流域气象中心, 安徽合肥 230031)

摘要:依托安徽省 77 个气象站点 1973—2017 年逐日降水资料及全省粮油作物产量数据,运用降水指标群评估极端连续降水事件的时空演变格局。结果显示:(1) 基于各站点 8 种降水指数的多年均值,主成分分析表明安徽省连续降水的频次和极值均呈现出显著的南北梯度,高值区域主要集中在最南端;(2) 各站点不同类型降水指数与全省水灾受灾总面积的相关分析表明,持续 5~6 d 降雨事件的最大降水量(P5~6 d)是表征雨涝灾害最有效的指标;(3) 基于主成分分析,安徽省大致可以划分为 4 个呈现不同 P5~6 d 变化特征的子区域,分别为中部、北部、南部、西北部,其中南部地区 2003 年后 P5~6 d 增加趋势较为强烈;(4) 粮油作物单产与 P5~6 d 存在着显著的负相关性,尤其是安徽西北部 P5~6 d 对稻谷、花生和芝麻的单产波动有着更为显著的指示作用。

关键词:安徽省;极端连续降水;主成分分析;粮油作物;时空演变

中图分类号: P426;S161.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)20-0301-07

我国幅员辽阔且地理跨度较大,降水分配呈现出明显的季节和区域特性,因而探求不同区域降水的时空演变对掌握旱涝变化规律具有重要的指导意义^[1]。安徽省地跨长江、淮河,作为全国重要的粮食产区,南北气候条件差异大,水涝灾害频发,农业经济损失严重^[2]。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第 4 次评估报告指出,江淮流域极端降水事件在 21 世纪将加剧,其诱发的洪水和内涝将会给群众的生命财产和公共基础设施带来重大影响^[3]。因此,相关领域科研人员从降雨事件的频次、雨量、极值等不同角度探求安徽省降水变化及其对农业影响的区域差异性^[4-6]。相关研究表明,某时期内持续时间较长的降水事件是当地的洪涝灾害形成的重要诱因,此外长历时持续降水还会带来低温寡照和湿渍害等农业气象灾害^[7-8]。诊断极端连续降水事件的变化趋势已在我国广西壮族自治区、甘肃省、湖南省、新疆维吾尔自治区、江苏省等地区得到研究^[9-13]。然而安徽省现有的研究对极端连续降水事件时空变化规律的探求还很薄弱。因此,笔者重点分析研究区不同持续时间连续降水

事件的时空演变,并探讨其对主要粮油作物产量波动的可能影响。

1 材料与方法

1.1 基本数据

降水资料来源于安徽省气象局提供的 77 个气象观测站 1973—2017 年间的逐日降水数据,这 77 个站点的空间分布见图 1。此外,国家统计局数据库(<http://data.stats.gov.cn/>)记录了全省尺度 1973—2017 年间的水灾受灾面积,同时还提供了全省尺度水稻、小麦、玉米、花生、油菜、芝麻 6 种主要粮油作物 1973—2017 年间的单位面积产量(简称单产)数据。

1.2 极端连续降水指数的定义

参考现有研究,根据连续降水事件持续的时间,定义了 8 种极端连续降水指数(表 1)。其中,连续降水事件的最短持续时间为 1 d,且日降水量超过 1 mm。

1.3 降水指数的时空分析方法

主成分分析常用于多指标综合评价的数据降维,其作用于多样本(站点)多指标构成的矩阵时,可以把有一定相关性的多个原始指标通过线性变换为另 1 组新的不相关的少量指标。新的指标按照方差依次递减的顺序排列,排第 1 位的指标称为主成分 1(PC1),依次类推^[14]。主成分分析在识别气

收稿日期:2020-02-01

基金项目:淮河流域气象开放研究基金(编号:HRM201802)。

作者简介:闵俊杰(1987—),男,江苏宜兴人,硕士,工程师,主要从事水土保持、气候变化的研究。E-mail:mjjclimate@163.com。

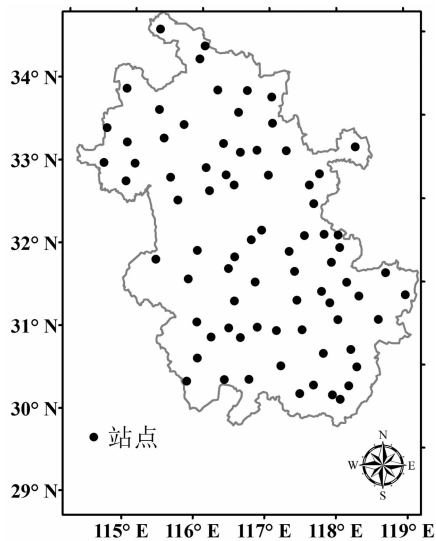


图1 安徽省 77 个气象站的空间分布

表 1 降水指数的定义

序号	降水指数	定义
1	N1 ~ 2 d	持续 1 ~ 2 d 降雨事件的频次(次)
2	N3 ~ 4 d	持续 3 ~ 4 d 降雨事件的频次(次)
3	N5 ~ 6 d	持续 5 ~ 6 d 降雨事件的频次(次)
4	N > 6 d	持续 6 d 以上降雨事件的频次(次)
5	P1 ~ 2 d	持续 1 ~ 2 d 降雨事件的最大降水量(mm)
6	P3 ~ 4 d	持续 3 ~ 4 d 降雨事件的最大降水量(mm)
7	P5 ~ 6 d	持续 5 ~ 6 d 降雨事件的最大降水量(mm)
8	P > 6 d	持续 6 d 以上降雨事件的最大降水量(mm)

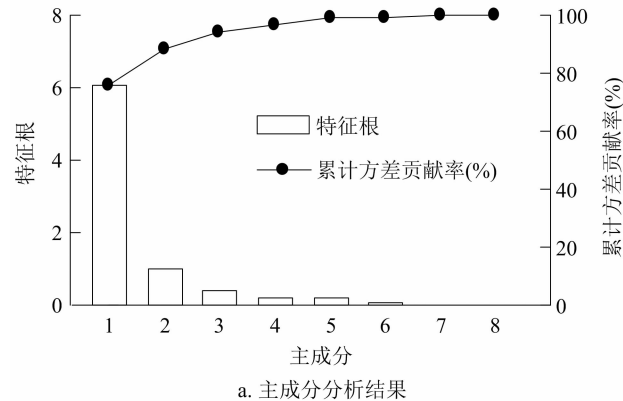
候变量相似及分异性的区划中也有广泛应用,其作用于多样本(站点)单一指标时间序列构成的矩阵时,新生成的若干主成分得分序列表征了研究区不同类型的年际变化,不同主成分在各站点原始序列

的载荷可有效地用于空间尺度的气候分区^[15]。与此同时,“Mann - Kendall 趋势检验(M - K 检验)”以及 5 年滑动平均处理用来诊断相关降水指数的变化特征,其中 M - K 检验提供度量值(Z)来判别时间序列变化趋势是否显著,若 Z 的绝对值大于 1.96 则认为趋势显著^[16]。此外,借助集合经验模态分析(ensemble empirical mode decomposition,简称 EEMD)推求降水指数的主导周期,其可以有效地从离散无序的信号序列中提取各尺度趋势分量,剥离出的有限本征模函数(intrinsic mode function,简称 IMF)分量体现了基于不同时间尺度的原信号序列的局部特征^[17-18]。

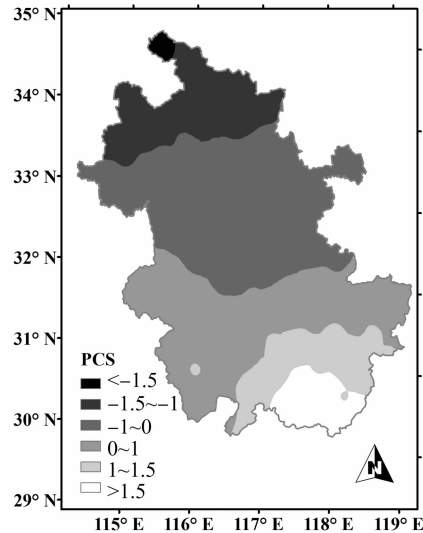
2 结果与分析

2.1 极端连续降水指数的空间分布

首先计算了安徽省各站点 8 种降水指数的多年均值,将其构建的 8 列(8 个降水指标) × 77 行(77 个站点)的矩阵导入统计软件 SPSS 19.0 中的主成分分析模块。从图 2 - a 可知,主成分 1(PC1)的方差贡献率超过了 80%,且特征根均大于 2,因此原指标群降维成的 PC1 这个新的综合指标。SPSS 基于原始指标和主成分的线性关系输出的各站点主成分得分(PCS)通过 ArcGIS 10 的反距离权插值提炼出安徽省极端连续降水的空间分布格局。图 2 - b 中 PCS 呈现出显著的由南向北递减的梯度变化,表明南部不同历时极端连续降水事件的频次和极值均明显高于其他区域,这主要是由安徽省典型的气候南北过渡性和纬度地带性所导致的^[2,5]。



a. 主成分分析结果



b. PCS 的空间分布

图2 降水指标群的主成分分析结果以及 PCS 的空间分布

基于图 2-a 中 PCS 的数值高低,全省划分为 4 个不同气候平均态的区域。从图 3 中降水频次来看,全省持续 5~6 d 降水事件年均发生频次不足 3 次,而持续 6 d 以上降水事件的年均发生频次不足 1 次。相比较安徽北部(区域 A、B),南部地区(区域 C、D)的长历时连续降水事件的频次明显较高,特别是持续 5~6 d 降水事件的频次超过了 2 次。从图 3

中雨量贡献率来看,安徽北部(区域 A、B)降水主要集中在持续 1~2 d 降水事件,其贡献了 60% 左右的降水量。而南部地区(区域 C、D)持续 3~4 d、5~6 d 降水事件的贡献率分别超过了 30%、10%,最南部(区域 D)持续 6 d 以上降水事件的水量贡献率接近了 10%。

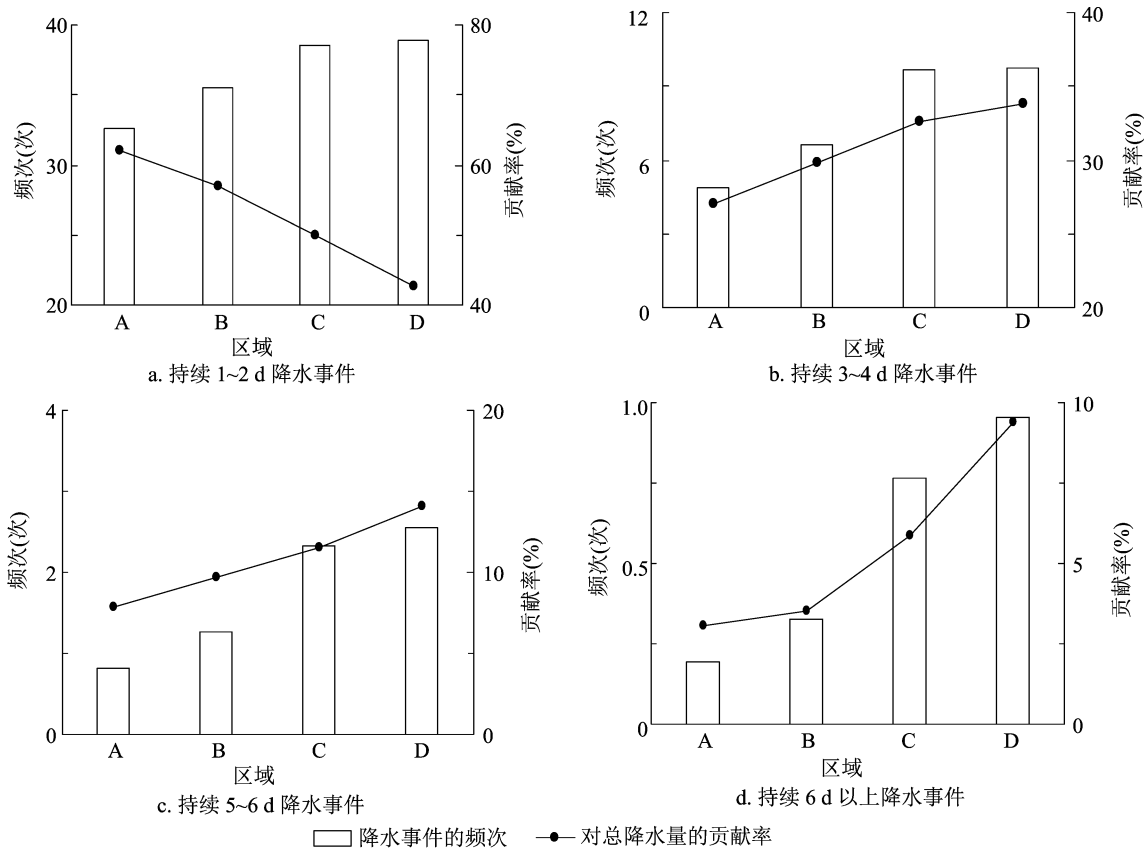


图3 连续降水事件频次及雨量贡献的多年均值

2.2 连续降水指数的变化趋势

对全省尺度连续降水指数的年际变化序列进行 M-K 趋势检验分析。从图 4-a 中频次变化趋势可以发现,除 N1~2 d 外,N3~4 d、N5~6 d、N>6 d 的检验 Z 值均小于 0,但都没有达到显著性水平的阈值 -1.96。相比较下,极值的变化趋势较为显著,其 P1~2 d 的增加趋势通过了显著性水平。图 4-b 中站点尺度降水指数 M-K 检验结果与图 4-a 基本吻合。在超过 60% 的站点上,除 N1~2 d 和 P1~2 d 外的其他 6 个降水指数均呈现出减少趋势,但其中呈现显著减少趋势的站点不超过 3 个。总体而言,安徽省中长期连续降水事件的发生频次与极值呈现出一定的减弱趋势。

2.3 关键降水指数的筛选

图 2 中主成分分析结果反映了降水指数之间极强的共线性,指标群过于冗繁,因此简化并筛选出关键指标有利于精准评估研究区雨灾的时空变化。汇总了各站点某种类型降水指数与全省水灾受灾面积年际变化同步性的分析结果(表 2),相关性越高,同步性越强,则该指标越能表征研究区的雨灾变化。由此可以发现,无论是比较相关系数的均值还是呈显著正相关性站点的数量,持续 5~6 d 降雨事件的最大降水量(P5~6 d)明显优于其他降水指数,其对指示研究区水灾具有较强的普适性,应作为关键指标进一步分析。

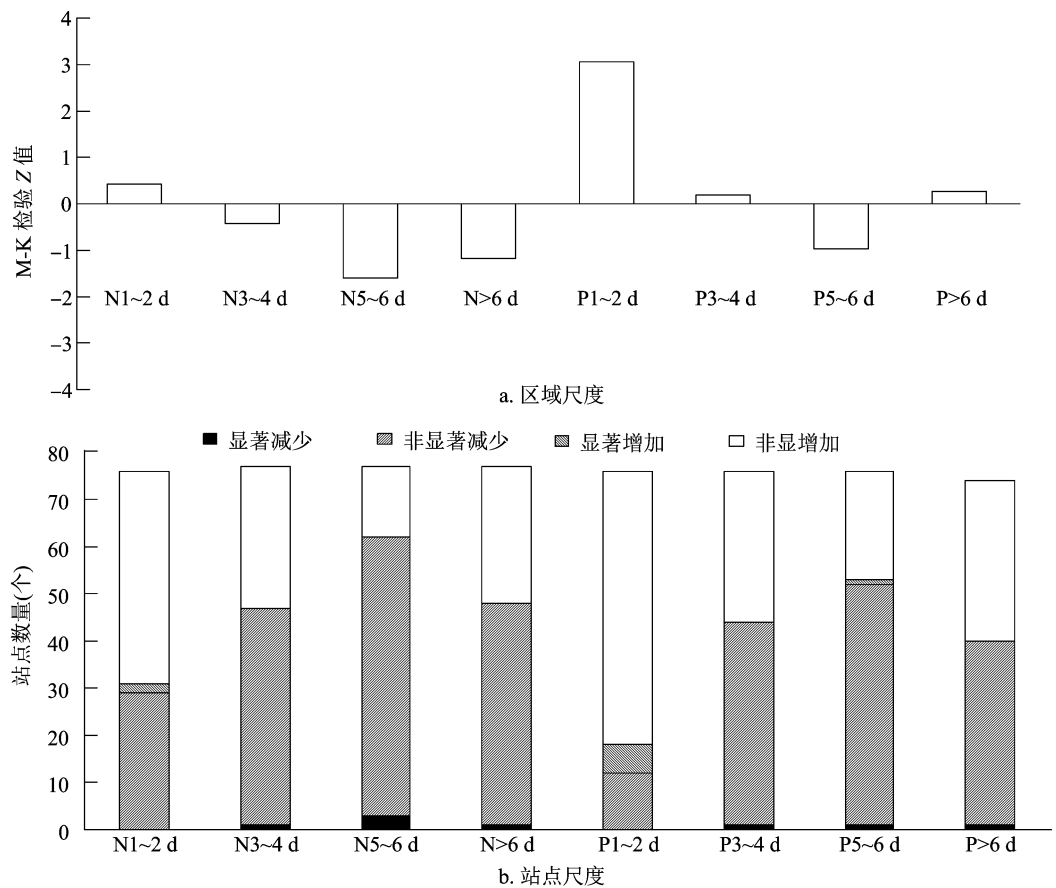


图4 区域尺度和站点尺度不同类型降水指数的 M-K 检验结果

表2 各站点不同类型降水指数与全省水灾受灾总面积的相关性分析

降水指数	相关系数	正相关站点
N1 ~ 2 d	-0.13	0
N3 ~ 4 d	0.29	30
N5 ~ 6 d	0.24	21
N > 6 d	0.12	8
P1 ~ 2 d	0.14	19
P3 ~ 4 d	0.21	15
P5 ~ 6 d	0.32	40
P > 6 d	0.23	26

2.3 P5 ~ 6 d 的时空演变

为了辨识关键水灾指标 P5 ~ 6 d 年际变化的区域差异,将各站点 P5 ~ 6 d 逐年序列构建的 77 列 (77 个站点) × 45 行 (45 年) 的矩阵导入统计软件 SPSS 19.0 中进行主成分分析。图 5 中前 4 个主成分特征根及累计方差贡献率尤为突出,因而 77 个站点 P5 ~ 6 d 近 45 年的年际变化可识别出 4 种特征各异的典型变化模态。图 6 中的载荷表征了不同模态与各站点 P5 - 6d 序列的相关性,可有效地将研究区划分为与 4 个主成分相对应的子区域,分别为

区域 I (中部)、区域 II (北部)、区域 III (南部)、区域 IV (西北部)。

主成分得分序列直观地表征了各子区域近 45 年 P5 ~ 6 d 演变过程 (图 7)。从 M - K 检验结果来看,各序列 1973—2017 年间的变化趋势均没有通过显著性检验,其中区域 IV 的 P5 ~ 6 d 下降趋势较强。此外,各序列的 5 年滑动平均曲线进一步刻画出了 P5 ~ 6 d 的波动与振荡。从图 6 可以看出,区域 I、II、III、IV 的 P5 ~ 6 d 有着较明显的年代际转折,其中区域 I、II、III 大致分别呈现出增加—减少—增加变化型,而区域 IV 呈现出增加—减少—增加—减少的变化型。值得关注的是 2003 年以后,安徽南部 (区域 III) P5 ~ 6 d 上升态势较为显著,而安徽西北部 (区域 IV) P5 ~ 6 d 则呈现出显著的下降态势。20 世纪 90 年代末以来全球海温持续偏暖,西太平洋副热带高压与南亚高压偏强,其引发雨带滞留于长江以北地区,进而导致安徽省降水变化异常的南北差异^[19]。

为了进一步探究 P5 ~ 6 d 的周期性特征,对各子区域的 PCS 序列进行 EEMD 分解,其结果见表 3。

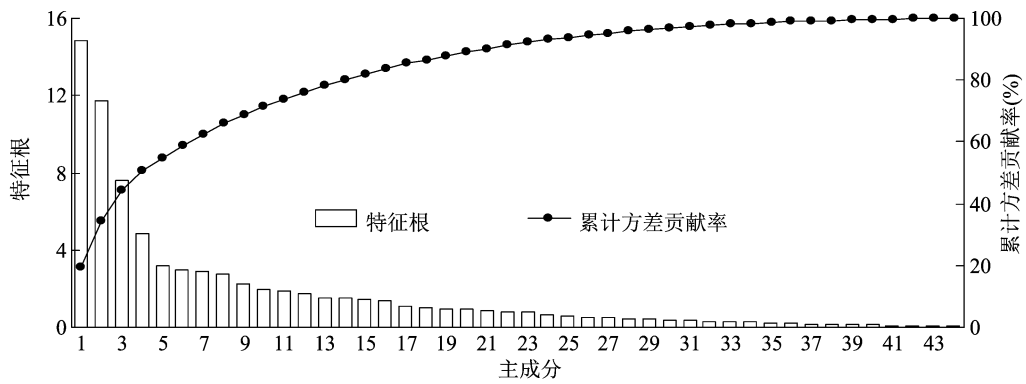


图5 各站点 P5~6 d 逐年序列的主成分分析结果

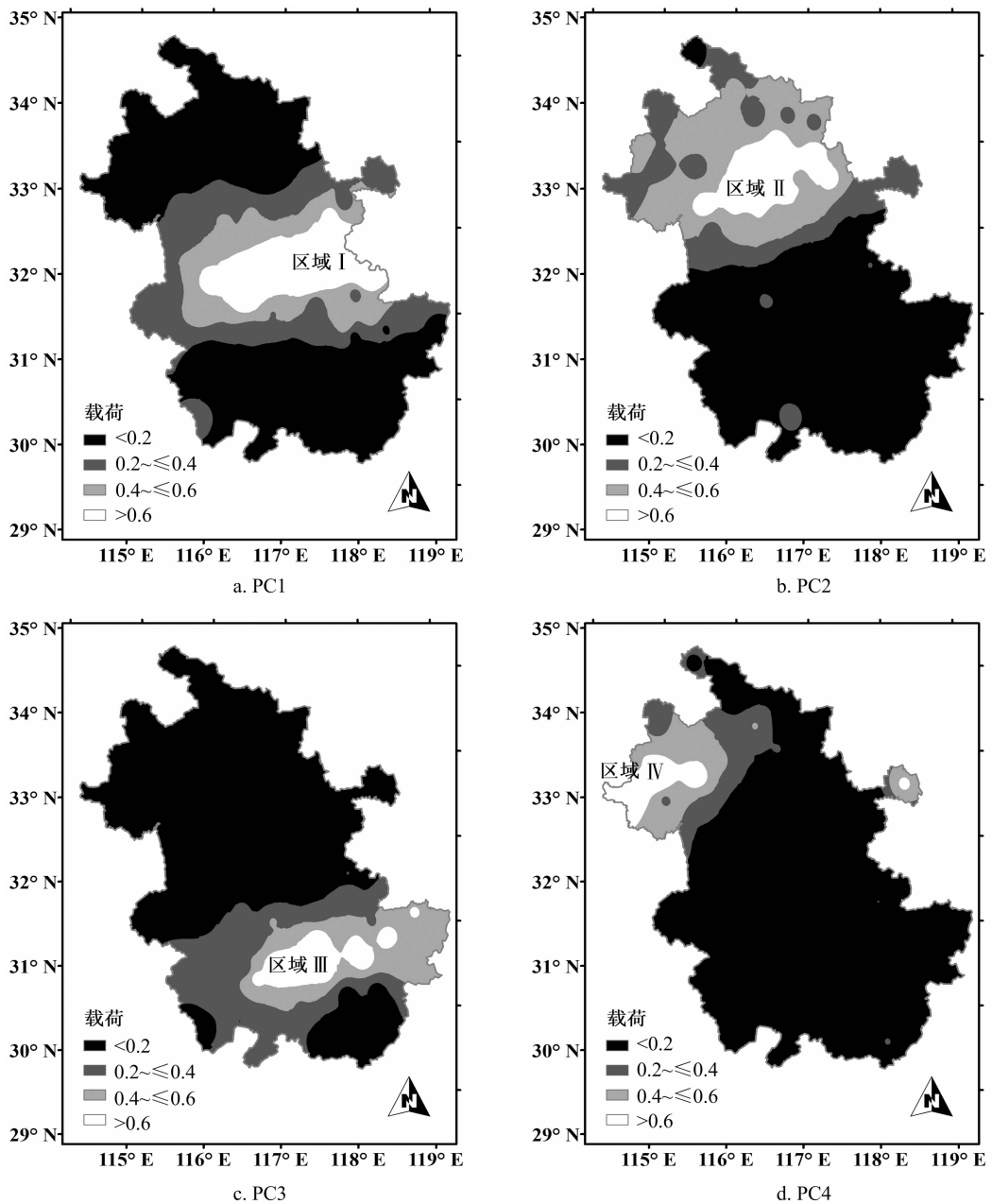
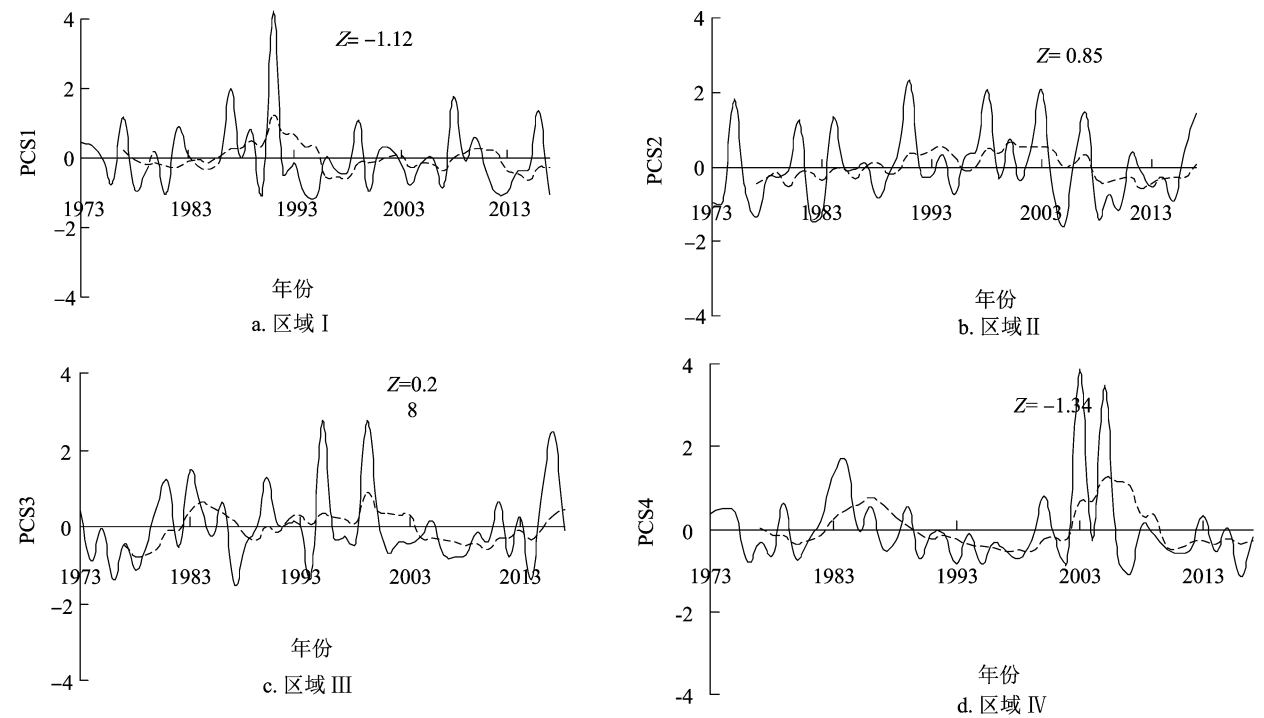


图6 各主成分对应载荷的空间分布



实线为 PCS；虚线为 PCS 的 5 年滑动平均；Z 为 M-K 检验结果
图7 各子区域主成分得分序列的趋势检验

表 3 各分区 PCS 序列 EEMD 分解结果

各区域的 PCS	指标	IMF1	IMF2	IMF3	IMF4	IMF5
PCS1	周期(年)	2.65	5.00	11.25	22.17	89.53
	方差贡献率(%)	48.57	33.28	8.36	6.84	2.95
PCS2	周期(年)	2.65	5.00	9.00	22.44	145.90
	方差贡献率(%)	67.98	21.69	5.16	4.38	0.79
PCS3	周期(年)	2.37	5.00	15.00	40.07	89.50
	方差贡献率(%)	65.75	19.59	8.75	2.46	3.46
PCS4	周期(年)	2.81	5.00	15.00	23.96	83.07
	方差贡献率(%)	64.10	12.30	18.83	3.73	1.03

总体而言,研究区 P5 ~6 d 的呈现出以 2 ~3 年为主周期的年际振荡,体现在各分区 PCS 的 IMF1 分量的方差贡献率均接近或超过了 50%,所占比重最高。这与安徽省年、季节降水量 Morlet 小波分析的结果相接近,其存在着 2 ~4 年的振荡周期^[5]。此外,P5 ~6 d 的次周期特征存在一定的区域差异,区域 I、II、III 呈现出周期为 5 年的振荡变化,其对应 IMF2 分量的方差贡献率均高于 IMF3、IMF4、IMF5;而区域 IV 则呈现出周期为 15 年的振荡,其对应 IMF3 分量的方差贡献率高于 IMF2、IMF4、IMF5。

2.4 P5 ~6 d 对粮油作物单产波动的潜在影响

为了剔除生产技术进步等非气候要素对产量形成的影响^[20],采用一阶差分法计算全省尺度 6 种主要粮油作物单产和各子区域 PCS 序列的相关系

数(表 4),以此来探求不同区域 P5 ~6 d 年际变化对粮油生产安全的可能作用。从表 3 可以看出,除玉米外,其他作物的单产均与 PCS 存在着显著的负相关性。特别是稻谷、花生、芝麻单产与 PCS4(表征区域 IV 的 P5 ~6 d)的相关性分别达到了 -0.500、-0.583、-0.489,此外小麦单产与 PCS2(表征区域 II 的 P5 ~6 d)的相关性也达到了 -0.406,且这些相关性均通过了 0.01 显著性水平检验。相比较而言,油菜籽单产与 PCS 的相关性较弱,只通过了 0.05 显著性水平检验。鉴于此,安徽省稻谷、花生、芝麻、小麦这 4 种作物的种植对长历时极端连续降水事件更为敏感,P5 ~6 d 可以作为重要的农业气象灾害评估指标加以广泛应用。总体而言,P5 ~6 d 的年际变化对安徽省粮油作物单产波动有着显著

表 4 安徽省粮油作物单产与各分区 PCS 的相关分析

各区域 PCS	与各粮油作物单产的相关系数					
	稻谷	小麦	玉米	花生	油菜籽	芝麻
PCS1	-0.319	-0.289	0.076	-0.170	-0.173	-0.332 *
PCS2	-0.279	-0.406 **	-0.101	-0.330 *	-0.309 *	-0.005
PCS3	-0.015	0.067	0.163	0.071	0.128	-0.007
PCS4	-0.500 **	-0.190	-0.293	-0.583 **	-0.145	-0.489 **

注: *、** 分别表示相关性通过了 0.05、0.01 显著性水平。

的指示作用,加强西北部(区域Ⅳ)这一重点区域 P5~6 d 的监测及预报,有利于降低雨涝灾害带来的农业损失。

3 结论

(1)本研究计算并提取了安徽省 77 个气象站点的 8 种连续降水指数,主成分分析指出研究区不同历时极端连续降水事件的频次与极值均由南向北递减。(2)各站点不同类型降水指数与全省水灾受灾总面积的相关分析指出持续 5~6 d 降雨事件的最大降水量(P5~6 d)可作为研究区表征雨涝灾害的最优指标。(3)基于主成分分析,安徽可以划分成中部、北部、南部、西北部这 4 个呈现不同 P5~6 d 年际变化特征的子区域,其中南部地区 P5~6 d 自 2003 年以来呈现出较为明显的增加趋势。(4)除玉米外,水稻、小麦、花生、油菜籽和芝麻的单产均与表征 P5~6 d 的 PC3 存在着显著的负相关性,尤其是安徽西北部 P5~6 d 对水稻、花生和芝麻的单产波动有着更为显著的指示作用。

参考文献:

- [1]曾 燕,谭云娟,邱新法,等.我国十大流域不同等级降水的变化趋势分析[J].江苏农业科学,2017,45(14):189-195.
- [2]丁建隆,汪海欧,董召荣,等.1960—2013 年安徽极端降水特征研究[J].干旱气象,2016,34(2):252-260.
- [3]王 静,余锦华,何俊琦.江淮地区极端降水特征及其变化趋势的研究[J].气候与环境研究,2015,20(1):80-88.
- [4]谢五三,田 红.近 50 年安徽省暴雨气候特征[J].气象科技,2011,39(2):160-164.
- [5]聂 兵,沈 非,徐光来,等.安徽省近 50 年降水时空变化分析[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2017,40(6):574-579.

- [6]付 伟,司红君,程 智,等.安徽省极端降水事件的时空分布特征及其对农业生产的动态影响分析[J].中国农学通报,2017,33(15):117-123.
- [7]黄荣辉,陈 栋,刘 永.中国长江流域洪涝灾害和持续性暴雨的发生特征及成因[J].成都信息工程学院学报,2012,27(1):1-19.
- [8]吴洪颜,曹 璐,李 娟,等.长江中下游冬小麦春季湿渍害灾损风险评估[J].长江流域资源与环境,2016,25(8):1279-1285.
- [9]孙桂凯,余 璇,高 沫,等.广西极端连续降水变化趋势及周期性研究[J].水电能源科学,2018,36(2):6-9,19.
- [10]李小亚,张 勃.河西地区最大连续降水事件的时空变化特征[J].水土保持通报,2013,33(2):43-48.
- [11]张剑明,廖玉芳,段丽洁,等.湖南近 50 年极端连续降水的气候变化趋势[J].地理研究,2012,31(6):1004-1015.
- [12]李剑锋,张 强,白云岗,等.新疆地区最大连续降水事件时空变化特征[J].地理学报,2012,67(3):312-320.
- [13]徐 阳,孙莉娟,黄 进,等.江苏省单季稻生育期内连续降水事件的时空变化[J].江西农业学报,2018,30(5):89-93.
- [14]张 泰,张 莉,彭佳红.基于主成分与支持向量机的邵阳县烟草产量预测[J].中国农学通报,2019,35(13):152-156.
- [15]李 斌,李丽娟,李海滨,等.澜沧江流域干旱变化的时空特征[J].农业工程学报,2011,27(5):87-92,393.
- [16]任婧宇,赵俊侠,马红斌,等.2015—2100 年黄土高原四季气候变化的时空分布趋势预测[J].水土保持通报,2019,39(5):262-271.
- [17]赵雪花,桑宇婷,祝雪萍.基于 CEEMD-GRNN 组合模型的月径流预测方法[J].人民长江,2019,50(4):117-123,141.
- [18]刘晓琼,吴泽洲,刘彦随,等.1960—2015 年青海三江源地区降水时空特征[J].地理学报,2019,74(9):1803-1820.
- [19]李淑萍,侯 威,封泰晨.近 52 年长江中下游地区夏季年代际尺度干湿变化及其环流演变分析[J].大气科学,2015,39(5):885-900.
- [20]王 柳,熊 伟,温小乐,等.温度降水等气候因子变化对中国玉米产量的影响[J].农业工程学报,2014,30(21):138-146.