

张立波,景元书,娄伟平,等. 2013. 近50 a 华东地区雨日及降水量的变化特征[J]. 大气科学学报,36(4):426-433.

Zhang Li-bo, Jing Yuan-shu, Lou Wei-ping, et al. 2013. Variability of rainy days and rainfall in East China in recent 50 years[J]. Trans Atmos Sci, 36(4):426-433. (in Chinese)

近50 a 华东地区雨日及降水量的变化特征

张立波¹, 景元书², 娄伟平³, 肖薇²

(1. 绍兴市气象局, 浙江 绍兴 312000; 2. 南京信息工程大学 应用气象学院, 江苏 南京 210044; 3. 新昌县气象局, 浙江 新昌 312500)

摘要:利用1961—2010年华东地区88个气象站逐日降水资料,采用趋势分析和突变检测等方法,研究了华东地区年、季、月雨日和降水量的时空变化特征。结果表明,华东地区年雨日和年降水量的长期趋势变化几乎相反,年雨日普遍减少(区域平均气候倾向率为 $-2.3\text{ d}/(10\text{ a})$),而年降水量除山东省外却普遍增加,反映年平均的日降水强度增加。季雨日与季降水量的长期变化较一致,秋季最相似;春季、秋季雨日和降水量都是大范围负趋势,但雨日的负趋势比降水量的范围更广、强度更大;夏季、冬季降水量在山东省呈减少趋势,在其他地区呈增加趋势,其中长三角地区夏季及江淮流域冬季的降水增加显著,而雨日在山东和福建是负趋势,其他地区为正趋势。年雨日在山东中东部、福建北部减少最多,这些地区一年四季雨日都是减少趋势,平均每10 a减少3~5 d。山东半岛年雨日在20世纪70年代末期发生突变,此后年雨日明显减少。

关键词:华东地区;雨日;降水量;趋势系数

中图分类号:P467 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-7097(2013)04-0426-08

Variability of rainy days and rainfall in East China in recent 50 years

ZHANG Li-bo¹, JING Yuan-shu², LOU Wei-ping³, XIAO Wei²

(1. Shaoxing Meteorological Bureau, Shaoxing 312000, China; 2. School of Applied Meteorology, NUIST, Nanjing 210044, China; 3. Xinchang Meteorological Bureau, Xinchang 312500, China)

Abstract: Based on the daily precipitation data of 88 stations in East China during 1961—2010 the temporal and spatial variation characteristics of yearly, seasonal, and monthly rainfall and rainy days in East China are investigated by using statistical diagnostic methods such as trend analysis and abrupt change detection. Results show that the secular trend variation of yearly rainy days is contrary to that of yearly rainfall in East China. The yearly rainy days decrease (regional averaged climate trend rate is $-2.3\text{ d}/(10\text{ a})$), while yearly rainfall increases in East China except in Shandong Province, showing that the intensity of yearly mean daily precipitation increases. The trend variation of seasonal rainy days is comparatively consistent with that of seasonal rainfall, especially in autumn. The negative trend variations of rainfall and rainy days in spring and autumn cover most of East China, but the negative trend variation of rainy days cover larger areas with greater intensity compared with rainfall. The trend variations of rainfall in East China except in Shandong Province in summer and winter are positive, especially in the Yangtze River Delta Region in summer and in Yangtze-Huaihe Rivers in winter. The trend variations of rainy days in East China in summer and winter are positive, except in Shandong and Fujian provinces. The largest reduction of yearly rainy days covers the middle and eastern Shandong province and the

收稿日期:2012-04-24; 改回日期:2012-12-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31100359);江苏省“青蓝工程”;南京市留学人员资助项目;浙江省科技厅重点农业项目(2011C22082)

通信作者:张立波,博士生,研究方向为应用气象及气候变化, mengqiu842@126.com.

northern Fujian province, and the trend of rainy days in the two areas reduces with 3—5 d/(10 a). The abrupt change of yearly rainy days in Shandong Peninsula appears in the late 1970s. After that time, the yearly rainy days reduce clearly.

Key words: East China; rainy days; rainfall; trend coefficient

0 引言

IPCC(2007)第四次评估报告指出,近半个世纪全球地表气温的线性增暖速率几乎是近100 a的两倍,气候呈现出显著增暖的变化特点。气候变暖正直接或间接对自然生态系统及社会经济发展产生极大影响(丁一汇,2008)。近年来,国外不少学者开始关注气候变化对雨日和降水量及降水强度的影响(Batisani and Yarnal, 2010; Kumar and Jain, 2010; Rosell, 2011; Jhahharia et al., 2012)。研究表明,不同区域降水特征受气候带和地形等综合因素影响,对全球变化的响应程度不尽相同,而同一区域雨日和降水量的变化趋势也并不一致。就中国整体区域降水而言,尽管近50 a中国平均降水量变化趋势不明显,但雨日减少明显,降水强度有增加趋势,强降水事件趋于集中,大范围严重旱涝事件出现频率显著增加(任国玉等,2005;王颖等,2006;吴徐燕等,2011)。因为降水的空间局限性,区域性降水变化研究往往更具现实和指导意义。而有关区域范围的研究也大都表明了雨日和降水量的不同步变化特征(黄亮等,2010;符传博等,2011;潘敖大等,2011;伍红雨等,2011;项瑛等,2011)。这说明在研究降水强度时,雨日的研究也是十分必要的。

华东地区包括山东、江苏、安徽、江西、浙江、福建和上海六省一市,地跨黄河、淮河、长江和钱塘江4大流域,是中国最具活力的经济增长带之一。干旱和洪涝是华东地区最严重的两类气象灾害,而旱涝灾害的发生在很大程度上取决于降水在时间和空间上的不均匀分配,即与降水事件的频率和强度有更密切的联系。近年来,以逐日资料为基础,部分省份已开展了各自降水变化特征的研究(顾骏强等,2002;王颖等,2007;艾卉等,2009),得出了许多有意义的结论,但对整个区域来说,这样的工作还不多见。而且部分研究的资料序列较短,需要利用近期资料作进一步研究。本文对1961—2010年华东地区年、季、月雨日和降水量的变化特征进行全面分析,以期了解近50 a华东区域降水的变化规律。这不仅对揭示气候变化影响区域水资源具有重要的理论意义,而且对华东地区自然生态系统和社会经济

发展应对气候变化政策的制定具有实践意义。

1 资料与方法

1.1 资料

本文所用资料来源于中国气象局国家气象信息中心提供的1961—2010年华东地区132个测站逐日降水量数据集。剔除资料长度不满足1961—2010年连续性观测及资料有缺失的站点,得到本文所用的88站逐日降水量资料(位置分布见图1)。它们较均匀分布在华东地区内,资料长度为50 a。春季用3—5月,夏季用6—8月,秋季用9—11月,冬季用12月—次年2月。雨日定义为日降水量(包括降雪)大于等于0.1 mm的日数,本文从逐日降水量资料中统计月、季、年雨日数。这样,所有年、季、月资料可以组成 $m \times n$ 的资料矩阵($m = 88$ 站, $n = 50$ a),可以代表华东地区的雨日及降水量的特征。

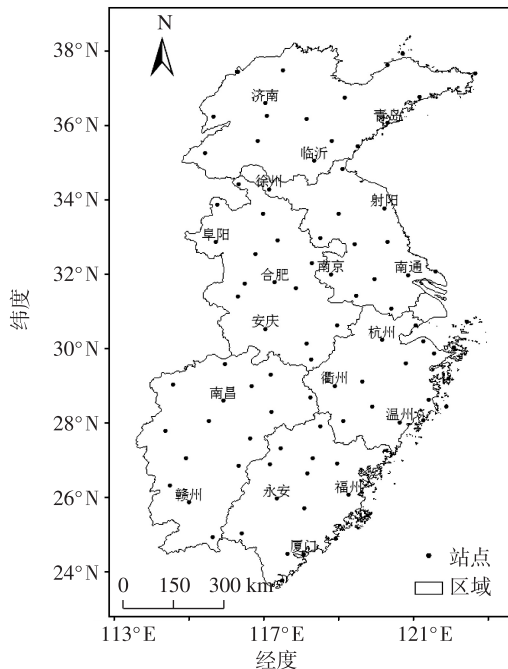


图1 华东地区88个气象站点分布

Fig. 1 Distribution of 88 meteorological stations in East China

1.2 方法

为了解气象要素的长期趋势变化,计算了气象要素时间序列与自然数序列之间的趋势系数(施

能,2009)。对趋势系数的统计检验采用随机 Monte Carlo 显著性检验(Livezey and Chen,1983;施能等,2004)。为定量地表示两幅图的相似程度,计算了图型之间的相似系数(顾骏强等,2002)。为检测气象要素序列的变化是否有突变,采用 Yamamoto 检验方法(符淙斌和王强,1992)。

2 华东地区年、季、月雨日及降水量的气候特征

2.1 多年平均特征

华东地区年平均雨日数为 129.8 d, 季节雨日数从大到小, 依次为春(39.8 d)、夏、冬、秋(25.3 d); 年平均降水量为 1 263.4 mm, 季节雨量从大到小, 依次为夏(520.5 mm)、春、秋、冬(145.6 mm)。月雨日数从大到小依次为 6 月(13.5 d)、5 月、4 月、3 月、7 月、8 月、2 月、9 月、1 月、11 月、12 月(7.2 d), 月降水量从大到小依次为 6 月(199.3 mm)、7 月、5 月、8 月、4 月、3 月、9 月、2 月、11 月、1 月、12 月(34.9 mm), 月雨日和降水量的年变化都表现为从 6 月向前后两端减少的特征。从计算的季、月均方差看, 夏季和 6 月雨日均方差最小, 而冬季和 12 月雨日均方差最大; 冬季及 12 月有最小的降水量均方差, 夏季和 8 月有最大的降水量均方差。

2.2 空间分布特征

上述结果为经过空间 88 站平均所得, 为了解雨日及降水量的空间变化, 分别制作华东地区多年平均的年总雨日和年总降水量分布(图略)。可以看出, 两幅图极为相似(相似系数为 0.99), 多年平均的年降水量与雨日都是南(28°N 以南)多北少, 在

福建东南沿海有一雨日和降水量的相对低值区。雨日较多的在福建九仙山、屏南等地, 为 160 ~ 200 d; 降水量较多的在江西庐山、贵溪及福建屏南、邵武等地, 为 1 500 ~ 2 000 mm; 雨日较少的在山东朝阳(67.2 d)、惠民县和兖州(73.5 d); 降水量较少的也在山东朝阳(539.5 mm)、长岛(558.9 mm)、惠民县(572.1 mm); 两者非常一致。本文还对季、月的雨日图与同时段的降水量空间分布图分别计算相似系数, 结果为 0.97 ~ 0.99, 表明雨日与同期降水量在空间上基本对应, 即在空间分布上雨日多的地方降水量也多。

华东地区多年平均的季雨日和季降水量的空间分布特征是: 春季、秋季和冬季均是南多北少, 夏季雨日呈南多北少, 降水量南北分布均匀。而多年平均的月雨日和月降水量的空间分布特征是: 大部分月份均是南多北少; 只有 7 月降水量呈北多南少, 雨日是北部和浙闽沿海多, 其他地区分布均匀; 8 月雨日和降水量呈浙闽沿海多, 其他地区分布均匀; 9 月雨日和降水量都表现为东部沿海地区多、西部内陆地区少的特征。

3 华东地区年、季、月雨日及降水量的变化特征

3.1 年雨日和降水量的长期趋势变化

图 2 是经过 88 站空间平均后的年雨日时间序列。可以看出, 华东地区雨日的总趋势是减少, 趋势系数是 -0.36 (通过 0.01 信度的显著性检验), 气候倾向率为 $-2.3 \text{ d}/(10 \text{ a})$, 说明在平均状态下, 华东地区的年雨日是明显大幅度减少, 进入 21 世纪后

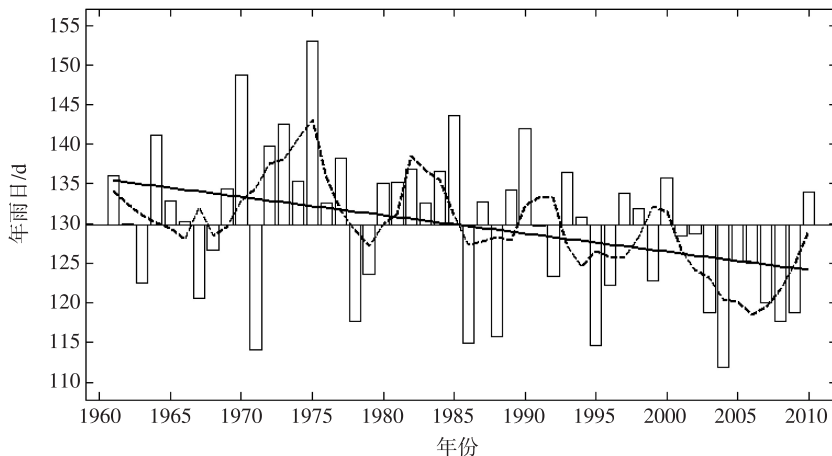


图 2 华东地区年雨日的逐年变化(单位:d;虚曲线是高斯 9 点滤波线,实直线是回归线)

Fig. 2 Yearly variation of rainy days in East China (units: d; dashed curve: Gaussian 9-year filtering; straight line: regression line)

雨日减少更明显。各季节的情况是,春秋季雨日明显减少,夏冬季雨日趋势变化不明显。

图2仅是华东地区的空间平均情况。为了了解空间变化,逐站计算趋势系数,并做出趋势系数的空间分布。图3a、3b分别是年雨日、年降水量趋势系数的空间分布。图3a与图3b的相似系数是-0.15,说明年雨日的长期变化和年降水量长期变化的空间分布特征很不一致。由图3a可见,华东地区年雨日数大范围减少,其中负趋势站数占统计站点数的96.6%,趋势减少显著(通过0.05信度的显著性检验)的区域主要位于山东、浙江东部沿海及福建西北部和西南部,显著负趋势的站数占统计站点数的41%;计算的气候倾向率说明,上述大多数测站年雨日数的减少超过3 d/(10 a),减少最多的是福建建瓯(7.3 d/(10 a))。年降水量(图3b)以34°N为分界,以北的山东普遍是负趋势,以南的区域是大范围正趋势,但是降水量增加和减少的趋势值都很小。

通过比较雨日和降水量的趋势系数说明,华东地区年雨日数的减少比降水量的减少明显得多,而且空间范围也大,这必然使每次降水的平均雨量有所增加。事实上,计算88站年雨日的平均降水量

(年总降水量除以年雨日数)的趋势系数发现,除成山头、朝阳、莒县、日照和射阳5站外,其余83站均呈上升趋势,这进一步说明年平均雨日的降水强度增加了,增加显著的区域主要位于江西中部、江苏南部、浙江和福建两省大部,其气候倾向率为0.25~0.88 mm/(10 a)。

将趋势系数性质相同、地理位置相近的站合并为区,得到年雨日趋势系数变化最大的2个区。图4a是117°E以东,35°N以北的山东中东部12个站(包括惠民县、潍坊、青岛、日照等)平均年雨日的逐年变化曲线;图4b是福建北部5个站(包括邵武、浦城、建瓯、屏南和南平)平均年雨日的逐年变化曲线。由图4可见,它们都有非常强的减少趋势,以山东中东部12个站区的雨日下降最明显。因为福建北部5个站区的年雨日的均方差大,所以平均而言,福建北部下降最多,平均每10 a减少4.9个雨日。

3.2 季雨日和降水量的长期趋势变化

图5是用四季雨日计算的趋势系数分布;表1是四季雨日和降水量趋势特征的统计结果。表1中的“趋势系数差”是降水量的趋势系数减雨日的趋势系数(顾骏强等,2002)。当“趋势系数差”为正值时,表示降水量相对于雨日在增加(降水量的正趋

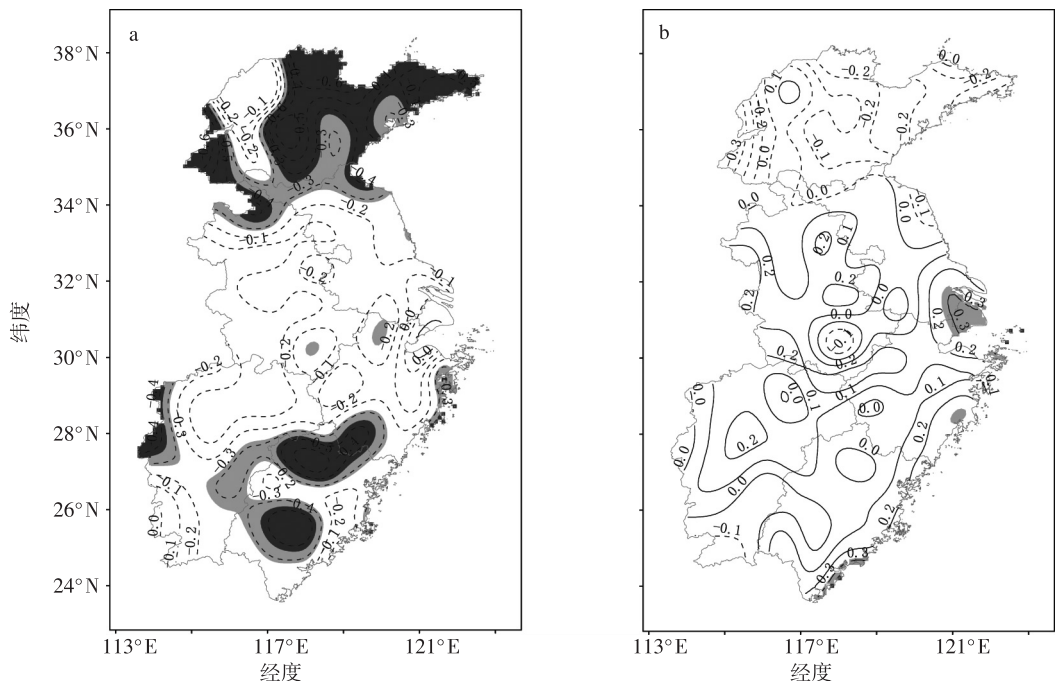


图3 华东地区年雨日(a)及年降水量(b)趋势系数的空间分布(深、浅阴影分别表示通过0.01、0.05信度的显著性检验;虚、实线分别为负、正趋势)

Fig. 3 Trend coefficients of (a) yearly rainy days and (b) yearly rainfall in East China (light and dark grey regions denote the significance at 0.05 and 0.01, respectively; dashed and solid lines indicate negative and positive value, respectively)

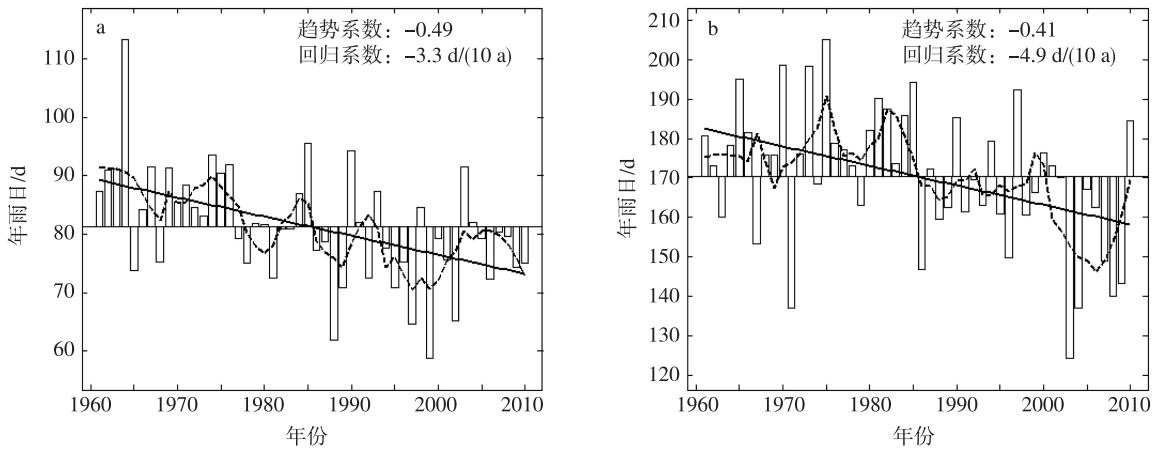


图 4 山东中东部 12 站(a)和福建北部 5 站(b)年雨日的逐年变化(虚曲线是高斯 9 点滤波线,实直线是回归线)
 Fig. 4 Yearly variation of rainy days of (a) 12 stations in east-central Shandong Province and (b) 5 stations in north Fujian Province(dashed curve:Gaussian 9-year filtering;straight line:regression line)

势比雨日的正趋势明显,或者降水量的负趋势没有雨日的负趋势明显);“趋势系数差”为负值时,表示降水量相对于雨日在减少。表 1 中春、夏、秋、冬四季“趋势系数差”为正值的站数占统计总站数的比例分别达 96.6%、81.8%、94.3%、93.2%,说明华东地区四季降水量相对于雨日是大范围增加,这样季节平均的降水强度也可能呈增加趋势。

由图 5 和表 1 可以看出,华东地区春季、秋季雨日普遍都是负趋势,负趋势的站数分别占统计总站数的 96.6% 和 100%,负趋势通过 0.05 信度检验的站点比例分别为 35.2% 和 59.1%。由春季、秋季降水量的趋势系数分布(图略)可知,它们仍是较大范围减少,但大都不显著,负趋势的站数分别占统计总站数的 63.6% 和 83.0%,春季降水量没有一站有明显的负趋势变化,秋季降水量负趋势变化通过 0.05 信度检验的站数仅占统计站数的 6.8%。利用图 5a、5c 分别与它们对应的季降水量的趋势系数图求相似系数,结果分别为 0.48(春季)、0.74(秋季)。综上所述,春季、秋季雨日的趋势变化与降水量的趋势变化较相似,秋季的相似特征更明显,但与对应的

季雨日趋势系数相比,季降水量减少的范围和强度都有所减弱;事实上,在山东半岛和福建中南部,春季降水量是弱的正趋势,浙江、福建沿海和江西中部秋季降水量也为弱的正趋势,而上述区域同期的雨日则呈弱的负趋势。

华东地区夏季(图 5b)、冬季(图 5d)雨日趋势变化的空间分布基本一致(相似系数为 0.65),都表现为山东和福建为大范围负趋势,其他区域普遍都是正趋势,正负趋势的站数各占一半,但无论雨日增加还是减少,趋势变化基本不显著。华东地区夏季、冬季降水量趋势变化的空间分布(图略)非常一致(相似系数为 0.81),除山东省普遍是负趋势外,其他区域是大范围正趋势,正趋势的站数分别占统计总站数的 80.7% 和 90.9%,夏季降水量增加显著的区域主要位于长三角地区,冬季则主要位于江淮流域。利用图 5b、5d 分别与它们对应的季降水量的趋势系数图求相似系数,结果分别为 0.48(夏季)和 0.44(冬季),反映出夏季、冬季雨日趋势变化与降水量趋势变化的空间分布较一致,差别明显的区域主要在福建省,其雨日是负趋势占主导,而降水量则全部是正趋势。

表 1 华东地区季雨日和季降水量趋势系数的统计特征

Table 1 Statistical characteristics of trend coefficient of seasonal rainy days and rainfall in East China

	季雨日				季降水量				降水量与雨日趋势系数差为正的站数
	负趋势的站数	正趋势的站数	通过 0.05 信度检验的负趋势站数	通过 0.05 信度检验的正趋势站数	负趋势的站数	正趋势的站数	通过 0.05 信度检验的负趋势站数	通过 0.05 信度检验的正趋势站数	
春季	85	3	31	0	56	32	0	1	85
夏季	43	45	10	2	17	71	0	10	72
秋季	88	0	52	0	73	15	6	0	83
冬季	45	43	1	0	8	80	0	10	82
年	85	3	36	0	22	6	0	6	88

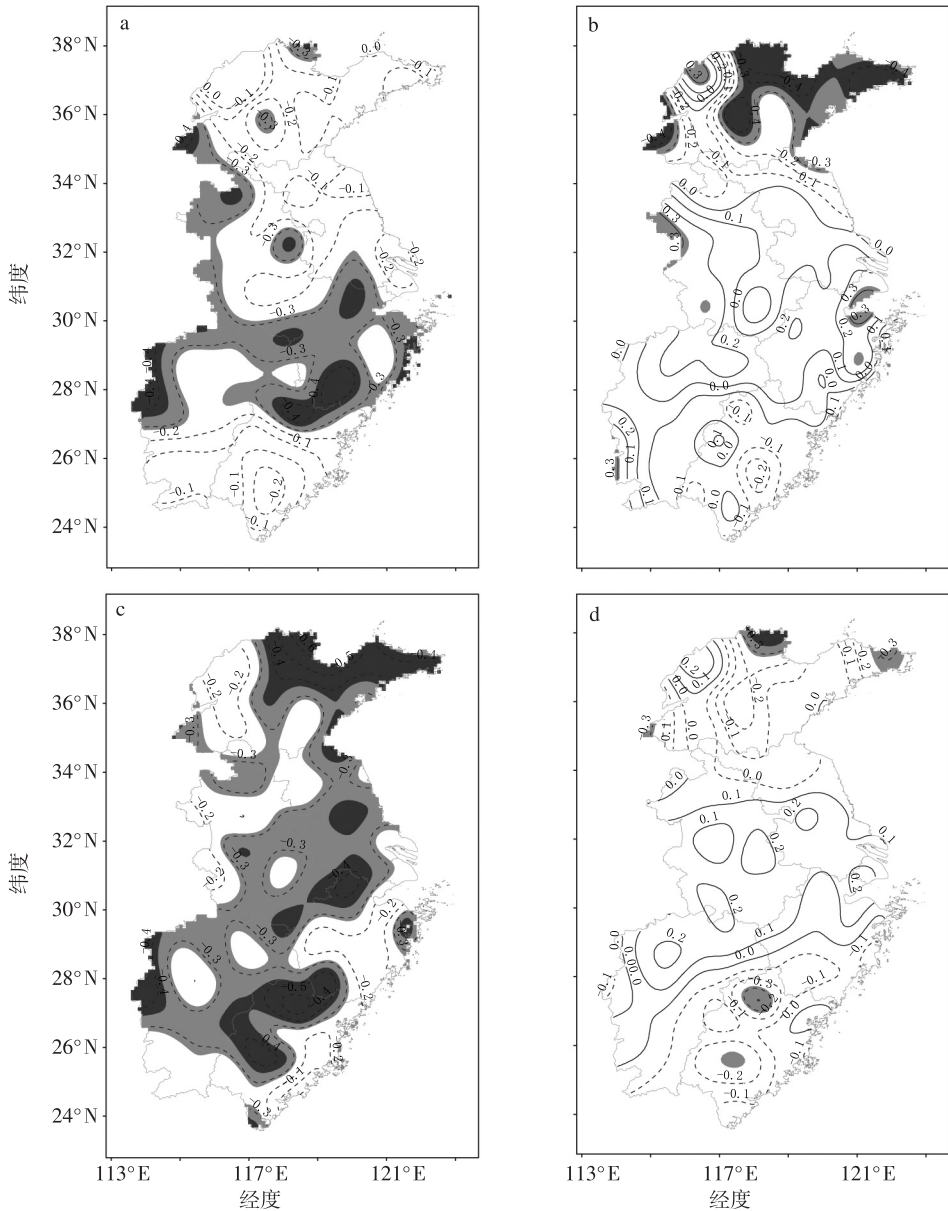


图5 华东地区春季(a)、夏季(b)、秋季(c)、冬季(d)雨日趋势系数的空间分布(深、浅阴影分别表示通过0.01、0.05信度的显著性检验;虚、实线分别为负、正趋势)

Fig. 5 Trend coefficients of rainy days for (a) spring, (b) summer, (c) autumn, and (d) winter in East China (light and dark grey regions denote the significance at 0.05 and 0.01, respectively; dashed and solid lines indicate negative and positive value, respectively)

3.3 月雨日和降水量的长期趋势变化

对于月时间尺度的特征,计算并绘制了月雨日、月降水量的趋势系数分布(图略);表2是其趋势特征的统计结果。根据这些结果可以归纳出月雨日和月降水量的长期变化特征。1月,雨日和降水量都是大范围正趋势,增加显著区域位于江淮流域,山东、福建东南部雨日与降水量呈弱负趋势;2月,降水量是大范围正趋势,雨日正负趋势各占一半,山东大部、浙江中南部和福建呈减少趋势,其他区域呈增加趋势,但雨日和降水量增加或减少的趋势都不明

显;3月,降水量仍是大范围正趋势,仅在山东南部至江苏、安徽两省北部呈弱减少趋势,雨日在江苏、安徽东部、福建南部、江西南部呈弱增加趋势,其他区域呈弱减少趋势;4月,雨日和降水量都为大范围负趋势,减少显著区域集中在30°N以北,福建中南部呈弱增加趋势;5月,雨日和降水量分别在33°N及35°N以南是大范围负趋势,以北是正趋势;6月降水量是大范围正趋势,仅在福建和江西两省南部呈弱减少趋势,雨日除28~32°N区域以正趋势为主外,其他全部呈减少趋势;7月,34°N以北区域降

表 2 华东地区月雨日和月降水量趋势系数的统计特征

Table 2 Statistical characteristics of trend coefficient of monthly rainy days and rainfall in East China

	月雨日				月降水量			
	负趋势 的站数	正趋势 的站数	通过 0.05 信度检 验的负趋势站数	通过 0.05 信度检 验的正趋势站数	负趋势 的站数	正趋势 的站数	通过 0.05 信度检 验的负趋势站数	通过 0.05 信度检 验的正趋势站数
1 月	21	67	0	14	15	73	0	32
2 月	41	47	0	0	14	74	0	1
3 月	46	42	0	0	13	75	0	2
4 月	86	2	38	0	72	16	4	0
5 月	72	16	32	0	59	29	7	4
6 月	58	30	4	0	20	68	0	0
7 月	46	42	14	0	19	69	5	3
8 月	25	63	0	5	15	73	0	17
9 月	82	6	16	0	70	18	10	0
10 月	88	0	27	0	78	10	0	0
11 月	82	6	8	0	32	56	0	0
12 月	66	22	1	0	17	71	0	0

水量趋势减少,以南趋势增加,雨日在福建中南部和 33°N 以北区域呈负趋势,山东中东部的负趋势显著,其他是弱正趋势;8 月,雨日和降水量都是正趋势占主导地位,杭州湾两岸正趋势显著,没有测站呈显著负趋势;9—10 月,雨日和降水量都是大范围负趋势,没有测站呈显著正趋势,9 月雨日显著负趋势区域主要位于江淮流域,10 月南移至 28~32°N 区域;11 月,雨日仍是大范围负趋势,山东东北部的负趋势显著,降水量在 26~34°N 区域以正趋势为主,山东、江西南部 and 福建南部降水量呈弱减少趋势;12 月,雨日以负趋势为主,降水量则是正趋势占主导地位,雨日仅在江淮流域和杭州湾沿岸呈弱增加趋势,降水量在山东中西部和江西东南部呈弱减少趋势。

用 Yamamoto 检验方法对 88 个站年雨日数和降水量的时间序列进行突变检验,结果发现,除山东半岛年雨日有明显突变(突变发生时间为 20 世纪 70 年代末期,此后年雨日数明显减少)外,其他地区年雨日和年降水量没有明显的突变。

4 结论与讨论

1) 华东地区春季雨日最多,其次为夏、冬、秋季,夏季雨量最多,其次为春、秋、冬季。月雨日和降水量的年变化都表现为从 6 月向前后两端减少的特征。多年平均的雨日与降水量的空间分布非常一致。年雨日最多的地区位于九仙山、屏南,与年降水量最多的地区不一致;山东的雨日、降水量都最少。

2) 1961—2010 年华东地区 34°N 以南区域年降水量和年雨日数的长期趋势变化的空间分布几乎相反,此区域大多数测站的年雨日数是负趋势,而同期年降水量则普遍是正趋势,年雨日数减少显著的区域主要位于浙江东部沿海及福建西北部和西南部,而浙江东部沿海恰是年降水量增加显著的地区。山东省年雨日和年降水量呈同步减少趋势,但前者负趋势强于后者负趋势。华东地区年雨日的平均降水量呈上升趋势,说明年平均的降水强度增加了,增加显著的区域主要位于江西中部、江苏南部、浙江和福建两省大部。

3) 季雨日的长期变化与季降水量的长期变化较一致,秋季的相似特征最明显。春季、秋季雨日和降水量都是大范围负趋势,但雨日比降水量的负趋势范围更广、强度更大。夏季、冬季降水量除山东省呈减少趋势外,普遍呈增加趋势,增加显著的区域分别位于长三角地区和江淮流域,而雨日在福建省却以负趋势为主。山东中东部、福建北部雨日减少最多,这些地区一年四季雨日都是减少趋势,平均每 10 a 减少 3~5 d。

4) 除山东半岛年雨日存在突变(突变发生在 20 世纪 70 年代末期)外,其他地区年雨日和降水量没有明显的突变。

本研究表明江淮流域春、秋季的雨日和降水量同步减少,而夏、冬季的雨日和降水量则同步增加;而相关研究表明此区域各季热量资源均呈增加趋势

(李军等,2009;缪启龙等,2009),但日照时数却呈减少趋势(何彬方等,2009;虞海燕等,2011)。这些因子的变化,既有利于作物生长的,也有制约作物生长的,值得进一步研究。

参考文献:

- 艾卉,张耀存,卢伟. 2009. 我国东部地区夏季不同等级降水日数年际变化特征分析[J]. 气象科学,29(3):299-306.
- 丁一汇. 2008. 人类活动与全球气候变化及其对水资源的影响[J]. 中国水利(2):20-27.
- 符传博,吴润,丹利. 2011. 近50年云南省雨日及降水量的气候变化[J]. 高原气象,30(4):1027-1033.
- 符淙斌,王强. 1992. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,16(1):111-119.
- 顾骏强,施能,薛根元. 2002. 近40年浙江省降水量、雨日的气候变化[J]. 应用气象学报,13(3):322-329.
- 何彬方,冯妍,苟尚培,等. 2009. 安徽省50年日照时数的变化特征及影响因素[J]. 自然资源学报,24(7):1275-1285.
- 黄亮,赵勇,刘敏. 2010. 长江中下游地区春季降水的时空特征[J]. 大气科学学报,33(3):375-384.
- 李军,陈惠,陈艳春,等. 2009. 华东地区热量资源的变化特征、趋势预估及农业适应对策[J]. 生态学杂志,28(10):2069-2075.
- 缪启龙,丁园圆,王勇,等. 2009. 气候变暖对中国热量资源分布的影响分析[J]. 自然资源学报,24(5):934-944.
- 潘敖大,王珂清,曾燕,等. 2011. 长江三角洲近46 a 气温和降水的变化趋势[J]. 大气科学学报,34(2):180-188.
- 任国玉,郭军,徐铭志,等. 2005. 近50年来中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报,63(6):942-956.
- 施能. 2009. 气象统计预报[M]. 北京:气象出版社.
- 施能,顾骏强,黄先香,等. 2004. 合成风场的统计检验和蒙特卡洛检验[J]. 大气科学,28(6):950-956.
- 王颖,施能,顾骏强,等. 2006. 中国雨日的气候变化[J]. 大气科学,30(1):162-170.

- 王颖,封国林,施能. 2007. 江苏省雨日及降水量的气候变化研究[J]. 气象科学,27(3):287-293.
- 伍红雨,杜尧东,陈桢华,等. 2011. 华南雨日、雨强的气候变化[J]. 热带气象学报,27(6):877-888.
- 吴徐燕,杨德保,王式功,等. 2011. 近50 a 中国大陆无雨日的时空变化特征分析[J]. 干旱区地理,34(4):596-603.
- 项瑛,程婷,王可法,等. 2011. 江苏省连阴雨过程时空分布特征分析[J]. 气象科学,31(增刊):36-39.
- 虞海燕,刘树华,赵娜,等. 2011. 我国近59年日照时数变化特征及其与温度、风速、降水的关系[J]. 气候与环境研究,16(3):389-398.
- Batisani N, Yarnal B. 2010. Rainfall variability and trends in semi-arid Botswana; Implications for climate change adaptation policy [J]. Applied Geography, 30:483-489.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis [C]// Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Jhajharia D, Yadav B K, Maske S, et al. 2012. Identification of trends in rainfall, rainy days and 24h maximum rainfall over subtropical Assam in Northeast India [J]. Comptes Rendus Geoscience, 344: 1-13.
- Kumar V, Jain S K. 2010. Trends in seasonal and annual rainfall and rainy days in Kashmir Valley in the last century [J]. Quaternary International, 212:64-69.
- Livezey R E, Chen W Y. 1983. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques [J]. Mon Wea Rev, 111(1): 46-59.
- Rosell S. 2011. Regional perspective on rainfall change and variability in the central highlands of Ethiopia, 1978—2007 [J]. Applied Geography, 31:329-338.

(责任编辑:倪东鸿)