

近 50 a 淮河流域汛期降水日数和强度的分布与变化特征*

叶金印^{1,2}, 黄 勇³, 张春莉², 李致家¹

(1: 河海大学水文水资源学院, 南京 210098)

(2: 淮河流域气象中心, 蚌埠 233040)

(3: 安徽省气象科学研究所, 合肥 230031)

摘 要: 选用 1961—2010 年淮河流域 145 个地面气象站的观测资料, 分析淮河流域汛期(5—9 月)降水的时空变化规律。结果表明: 淮河流域汛期降水的空间分布不仅受到地理位置和地形的影响, 而且与湿度和风速的空间分布具有较好的相关性; 在时间变化上, 雨日出现频率有下降的趋势, 但暴雨日比重和暴雨日平均降水量均有升高的趋势。淮河流域汛期暴雨日出现频率以及各类型雨日的平均降水量均有上升的趋势, 强降水时空变化呈现局地性和频发性。

关键词: 降水; 气候特征; 淮河流域; 汛期

Characteristics of precipitation days and intensity over the Huaihe River basin in flood season during recent 50 years

YE Jinyin^{1,2}, HUANG Yong³, ZHANG Chunli² & LI Zhijia¹

(1: College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, P. R. China)

(2: Huaihe River Basin Meteorological Center, Bengbu 233040, P. R. China)

(3: Anhui Institute of Meteorology Science, Hefei 230031, P. R. China)

Abstract: The Huaihe River basin is located in the transitional zone from north subtropical to south warm temperate climate. The characteristics and influential factors of precipitation in different fields are various. This study investigated the distribution and determined the influential factors of precipitation in flood season over the Huaihe River basin. For this goal, the meteorological observation data of 145 stations from 1961 to 2010 were collected and analyzed. The percent of different intensity rainfall days and the ratio between storm days and rainfall days were calculated. Finally, the temporal variations of meteorological observation data were analyzed. The results showed that rainfalls in the southern of Huaihe River basin are higher than those in the northern, affected by several factors, such as terrain, moisture and wind. Meanwhile, rainfall exhibited temporal characteristics, with the percent of storm cases and ratio of storms to rainfall increasing from 1961. This study derived two main conclusions: first, the precipitation of the Huaihe River basin became heterogeneous in spatial and temporal distribution with the changing of climate; second, the heavy rain cases such as storm occurred more frequently than before.

Keywords: Precipitation; climatic characteristic; Huaihe River basin; flood season

在全球气候变化的影响下, 降水的气候特征, 特别是极端强降水事件时空分布也随之变化^[1], 在多数陆地地区强降水事件的发生频率呈增加趋势^[2]。研究表明: 我国降水的长期趋势具有明显的区域性^[3-4], 极端强降水平均强度和极端强降水事件都有增加的趋势^[5]。翟盘茂等利用中国 296 个分布均匀的观测站逐日降水资料, 研究了中国过去 45 年降水事件频率和强度等方面的极值变化趋势, 认为降水日数极端偏多的区域范围有越来越小的趋势; 平均降水强度极端偏高的区域范围表现为扩大的趋势; 中国降水极值变化还反映

* 国家自然科学基金项目(40875012, 40905019)、公益性行业(气象)科研专项项目(GYHY200906007, GYHY201006037)、中国气象局气象关键集成应用项目(CMAGJ2011M25)和淮河流域气象开放研究基金项目(HRM201002, HRM201103)联合资助。2012-08-13 收稿; 2012-12-18 收修改稿。叶金印, 男, 1968 年生, 博士研究生, 高级工程师; E-mail: yejinyin@sina.com。

出明显的区域性特点^[6]. 刘小宁利用我国 25 个观测站的大雨日数、暴雨日数、1 d 最大降水量资料, 分析了我国暴雨频数及 1 d 最大降水强度时空分布特征^[7]. 诸多研究表明, 雨日的变化与降水量的变化存在明显的地区性差异^[8-14]. 进入 21 世纪以来, 淮河流域夏季强降雨带频繁出现, 2003、2005 和 2007 年更是发生了严重的暴雨洪涝灾害, 给该地区的人民生命财产和经济造成了巨大损失^[15], 然而专门分析淮河流域极端降水的时空变化趋势和统计特征的研究还不多见.

淮河流域(30°55' ~ 36°20'N, 111°55' ~ 121°20'E)地处我国东部之间, 西起桐柏山、伏牛山, 东临黄海, 南以大别山、江淮丘陵、通扬运河和如泰运河南堤与长江流域分界, 北与黄河南堤和沂蒙山脉与黄河流域毗邻, 流域面积为 $27 \times 10^4 \text{ km}^2$. 流域内以废黄河为界, 分为淮河和沂沭泗河两大水系, 面积分别为 19×10^4 、 $8 \times 10^4 \text{ km}^2$. 淮河流域西部、南部和东北部为山丘区, 面积约占流域总面积的 1/3, 其余为平原(含湖泊和洼地), 是黄淮海平原的重要组成部分(图 1). 淮河流域地处我国南北气候过渡带, 北部属于暖温带半湿润季风气候区, 南部属于亚热带湿润季风气候区. 流域内天气系统复杂多变, 降水量年际变化大, 年内时空分布也极不均匀. 地形地貌的复杂性以及气候特点决定了淮河流域降水空间分布的独特性. 此外, 伴随全球气候变化以及变暖的趋势, 淮河流域降水分布特征也在随之发生改变. 为此, 本文利用 1961—2010 年淮河流域内 145 个气象站的日降水以及相关气象要素的观测资料, 分析淮河流域汛期降水日数和强度的气候变化规律, 进一步了解气候变化对淮河流域降水的影响.

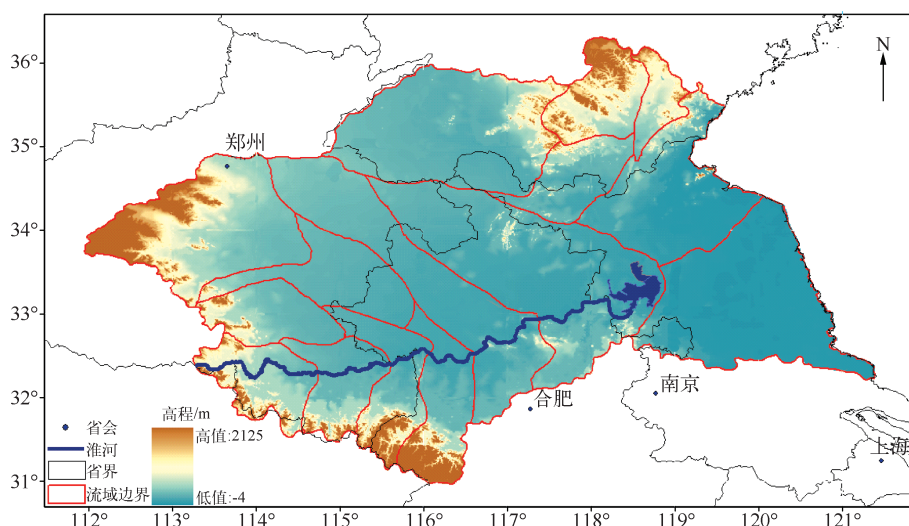


图 1 淮河流域地形、地貌分布

Fig. 1 Topography and geomorphology distribution in Huaihe River basin

1 数据与处理方法

选用淮河流域内 145 个地面气象观测站 1961—2010 年汛期(5—9 月)逐日的降水、平均气温、相对湿度以及风速等气象要素观测资料. 本文采用中国气象局预报与网络司下发的《短期气候预测质量分级检验办法》的降水强度分级标准, 根据 24 h 降水量将雨日分为 3 类: 雨日、大雨日以及暴雨日. 其中, 雨日是指 24 h 内降水量大于 0.1 mm; 大雨日是指 24 h 降水量大于等于 25 mm 且小于 50 mm; 暴雨日则是指 24 h 降水量超过了 50 mm.

为分析不同类型降水日的时空分布, 对逐日资料进行统计, 统计量包括出现频率(P)、不同等级降水所占比重(W)以及平均降水强度(\bar{R}). 另外, 考虑到不同类型降水日出现频率的平均值有所差异, 为便于在同一张图上进行频率/比重随纬度和高度变化的分析, 引入频率偏差(P_b)和比重偏差(W_b). 各统计量计算方法为^[16]:

$$P = N_{\text{Rain}} / N_{\text{Total}} \quad (1)$$

$$W_i = P_i / P_0 \quad (2)$$

$$P_D = (P - \bar{P}) / \bar{P} \quad (3)$$

$$W_D = (W - \bar{W}) / \bar{W} \quad (4)$$

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^M R_i / M \quad (5)$$

式中, N_{Rain} 表示各种雨日出现的天数, N_{Total} 表示总日数; P_i 表示 i 等级降水日出现的频率, P_0 表示雨日的出现频率; P 表示各观测站点的出现频率, \bar{P} 表示研究区域内所有站点频率的平均值; W 表示各观测站点上的比重, \bar{W} 表示研究区域内所有站点比重的平均值; R_i 表示某等级降水中第 i 次的日降水量, M 表示某等级降水出现的总日数。

2 空间分布分析

2.1 降水空间分布

雨日出现频率(图 2a)的空间分布具有典型的地域分布特性,呈现北低南高的分布. 在淮南山区和里下河地区出现了两个高发区,随着纬度的增加,出现频率逐渐减小. 大雨日的出现频率(图 2b)与雨日出现频率在总体上相似,同时出现了一些小的差异,主要体现在:淮南山区的峰值区开始向南延伸,且峰值中心也开始南移;另外,在淮河干流下游出现一个低值区. 对于暴雨日出现频率(图 2c)来说,其分布出现了较大的变化:在淮河源头桐柏山区、淮南山区和沂沭泗地区出现三个高值中心的同时,黄淮北部出现了两个低值区,一个位于沙颖河上游,另外一个位于涡河中游. 就三个高值区而言,位于新沂河区的高值区与雨日出现频率的分布相近,而位于淮河源头桐柏山区、淮南山区的高值区在位置上却有所

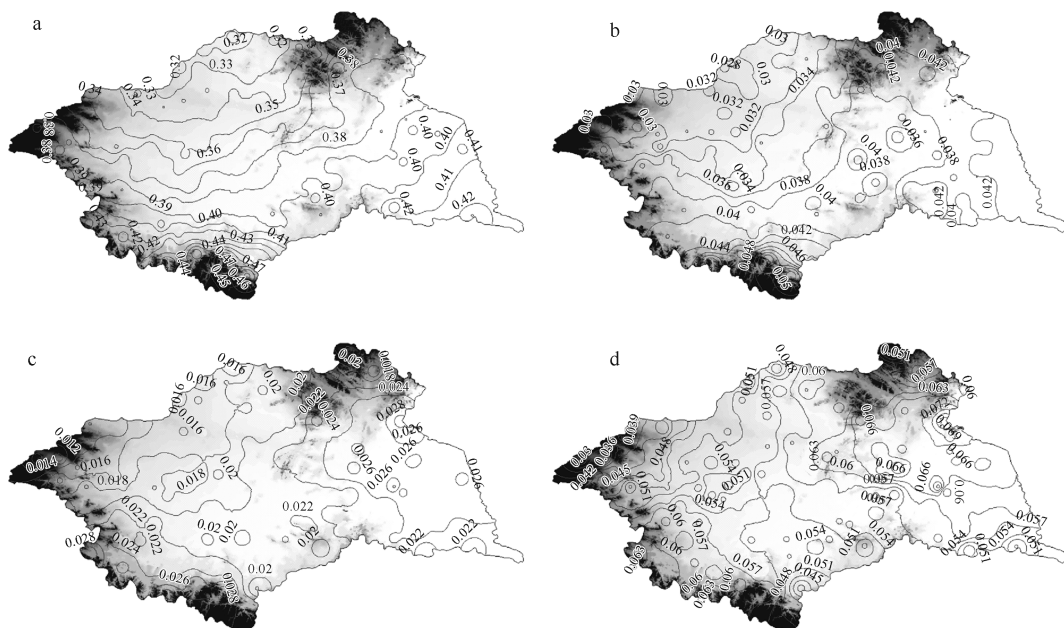


图 2 雨日(a)、大雨日(b)、暴雨日(c)出现频率和暴雨日比重(d)

Fig. 2 Percents of rainfall(a), heavy rain(b), storm(c), ratio of storm(d)

偏差,峰值区向西偏移.另外,黄淮北部出现的频率低谷,频率分布仍然呈现北低南高的趋势.从暴雨日比重(图2d)的空间分布来看,其特征与暴雨日出现频率的分布接近,只是在大别山区南侧的沿江出现了一个峰值区.

通过与地形分析对比可以看出,各类雨日的出现频率均与地形之间有着较好的对应关系,海拔高的区域出现频率高.而暴雨日比重的分布特征不仅表现为高海拔地区的数值较大,而且在南四湖和洪泽湖的低海拔区也出现了一个峰值区.相反地,在海拔较高的流域南部淮南山区却未出现峰值,这是暴雨日比重分布与各种雨日出现频率分布所不同的地方.

从出现频率偏差随高度的变化(图3a)可以看出,虽然变化曲线出现了许多波动,但是总体上呈现随高度增加而增加的趋势,其中暴雨日的变化幅度最大.当海拔高于90 m($\ln(\text{高度}) = 4.5$ m)时,雨日的出现频率呈现出随高度增加而增加的趋势;特别是大雨日和暴雨日的频率偏差急剧上升.当高度高于90 m以后,海拔高度对暴雨日出现频率的影响较大,而对降水日出现频率的影响明显小于对暴雨日的影响.当达到一定高度时,高度变化的影响虽有波动,但随高度不再发生显著变化.

分析比重偏差随高度的变化(图3b)发现:以海拔高度90 m($\ln(\text{高度}) = 4.5$ m)为界可将随高度的变化分为两部分:低于90 m的低海拔区大雨日和暴雨日比重呈现波动,无明显的上升或下降趋势;海拔高于90 m的区域表现出大雨日和暴雨日比重上升趋势明显,而大雨日比重下降趋势明显.

综合以上分析可以看出:雨日的出现频率总体上呈现随高度增加而增加的趋势,即高海拔对暴雨日的出现有正效应,但其影响有一定的限度.

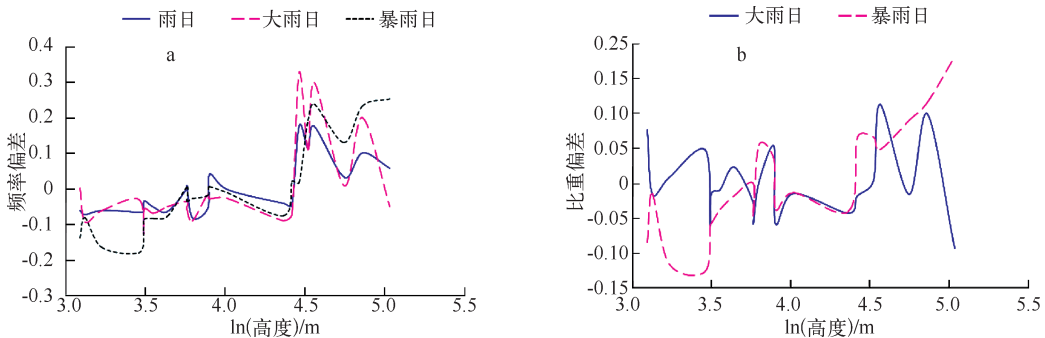


图3 频率偏差(a)、比重偏差(b)随高度变化

Fig. 3 Bias change of percents(a) and ratios(b) with height

从频率偏差随纬度的变化(图4a)看,各等级降水日数均有随纬度增加而减小的趋势,并伴随有不规则的波动.从变化幅度来看,在低纬度地区波动明显,32°N以北的变化曲线相对较为平滑.从地形分布上可以看出,32°N以北地形起伏不明显,而32°N以南则主要为淮南山区和桐柏山区,故波动主要反映了地形高度

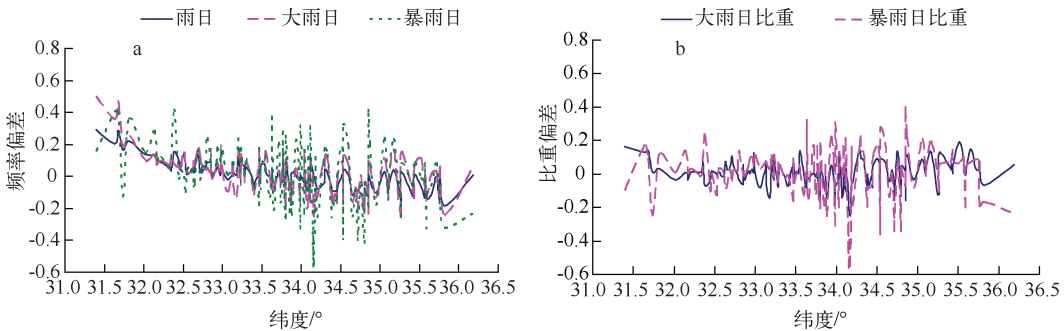


图4 频率偏差(a)和比重偏差(b)随纬度变化

Fig. 4 Bias change of percents(a) and ratios(b) with latitude

对降水的影响。因此,抛去地形影响,频率偏差总体上呈现出随纬度增加而较小的趋势。与频率偏差的分布有所不同,暴雨日比重偏差随纬度的变化趋势不明显,主要表现为波动变化(图 4b)。因此,可以认为暴雨日比重随纬度无明显变化趋势。对各类雨日的平均降水量以及暴雨日降水量在汛期降水总量中所占比重进行统计发现:从空间分布来看,总体上呈现淮河干流上下游多、中游少的“哑铃状”分布;另外,随着日降水量的增多,分布特征变得更加复杂多变。

在雨日平均降水量的空间分布中,在淮河上游桐柏山区和淮南山区西侧存在一个高值,另一个高值区位于邳仓区、新沂河区以及里下河北部(图 5)。两个高值区中间的淮河中游为低值区。大雨日平均降水量的分布要显得复杂了许多,总体上来说有三个大值区:淮南山区、沙颍河和涡河中游及淮河干流中下游地区;同时在沂沭泗水系也存在分散的高值区。对于暴雨日的平均降水量来说,分布相对更有规律,主要表现为:总体上呈现淮河干流上下游多、中游少的分布,但暴雨日平均降水量淮河中上游明显高于下游,尤其是淮河源头桐柏山区暴雨日平均降水量更大。从暴雨日降水量所占比重的分布来看,明显地呈现淮河干流上下游多、中游少的“哑铃状”分布,沙颍河上游存在明显的低值区。

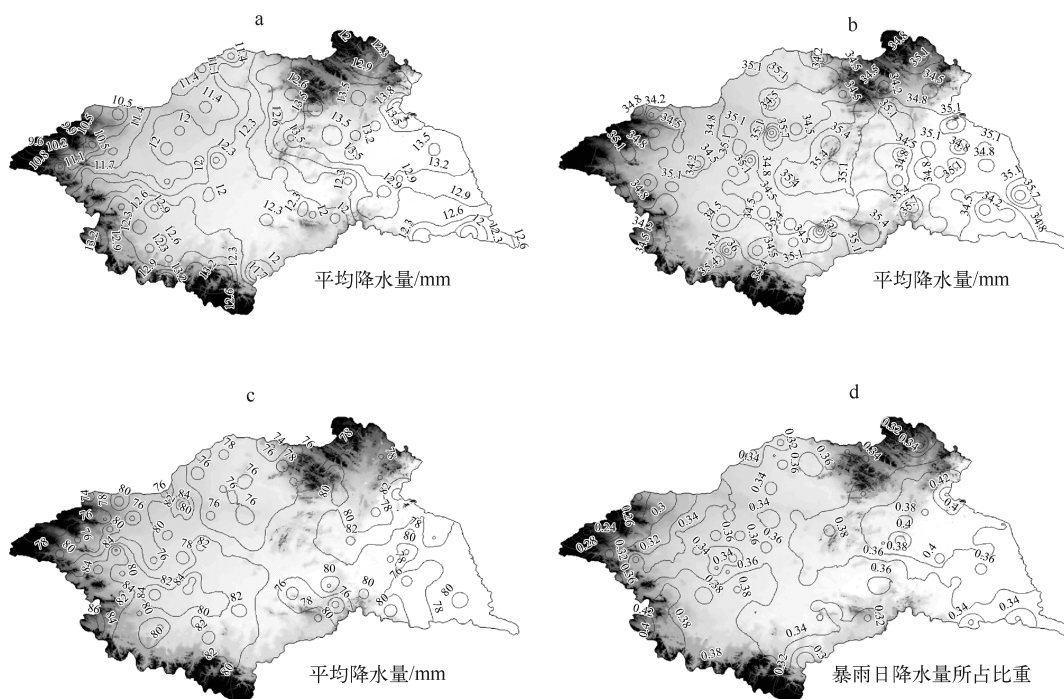


图 5 雨日(a)、大雨日(b)、暴雨日(c)平均降水量和暴雨日降水量所占比重(d)

Fig. 5 Average precipitation of rainfall(a), heavy rain(b), storm(c) and ratio of storm precipitation (d)

对降水量空间分布的分析表明:随着日降水量的增大,其空间分布变得更加不均匀;另外,在淮河上游和下游均出现了暴雨日降水量比重的高值中心及其对应的中游低值区,说明地形的存在会使某一区域强降水事件频发,而另一区域强降水量事件减少,从而使得分布上出现了不均匀的空间分布。

2.2 温湿要素的空间分布

分别选取气温、相对湿度和风速进行时空变化分析,以了解这些因子的时空分布特征以及与降水分布特征的异同。

从平均相对湿度和相对湿度 $\geq 90\%$ 出现频率的空间分布(图 6a、b、c、d)来看,总体上均呈现出南多北少、东西多中间少的空间分布特征,大值中心主要位于淮河上游桐柏山区和淮南山区以及下游里下河地区。对于三种不同等级降水日(雨日、大雨日和暴雨日)来说,平均相对湿度空间分布特征相似,仅仅是在量值上

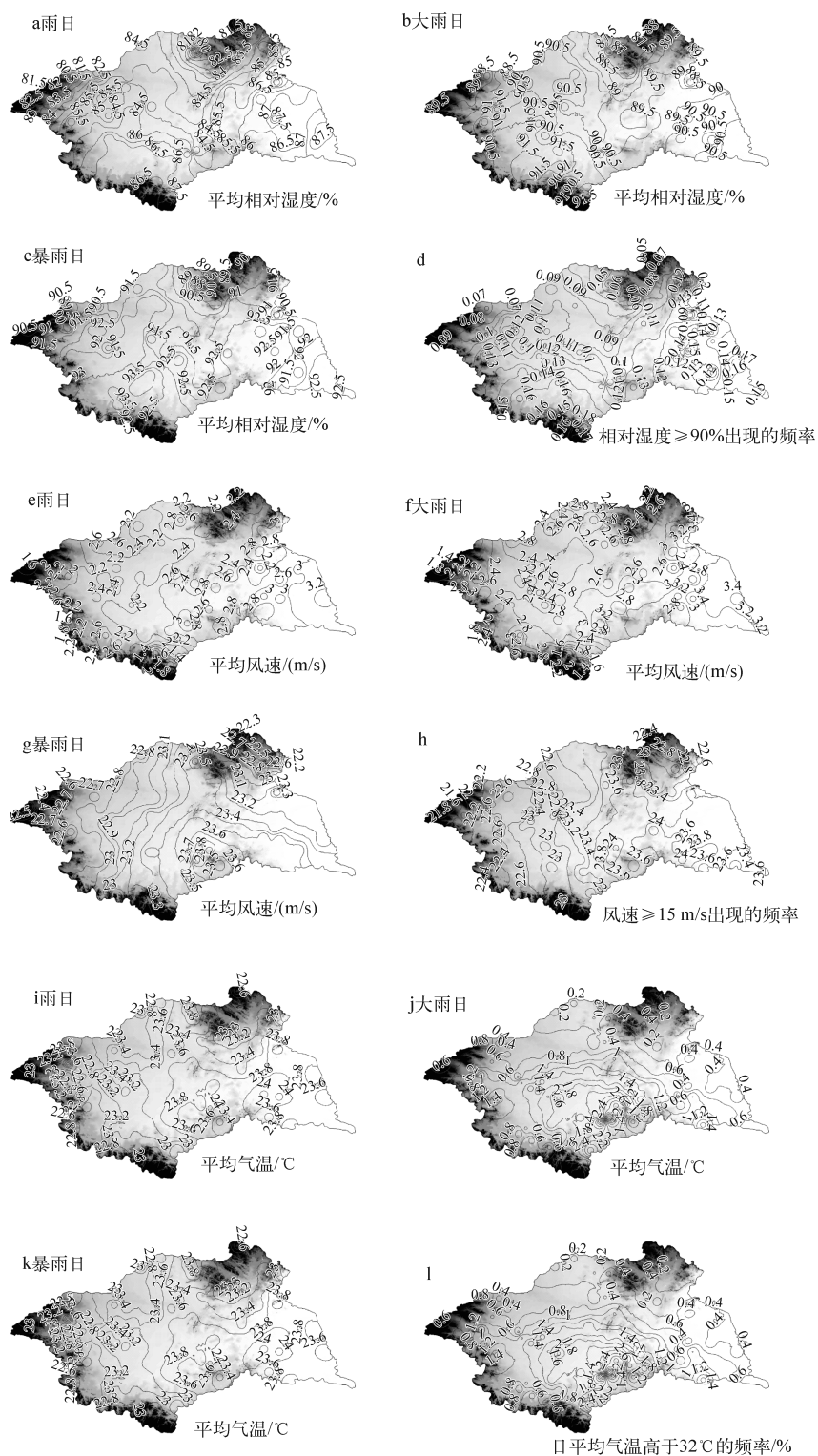


图 6 相关气象要素空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of related meteorological factors

有所差异:日均降水量越大,平均相对湿度越大.此外,在沂沭泗地区南部,出现了与总体分布特征相悖的特征:高暴雨日比重区内,出现了一个相对湿度的低值区.

从各种平均风速的空间分布来看(图 6e、f、g),各种分布总体上相似,风速低值区均与降水高频率区的分布相类似.淮南山区和桐柏山区的平均风速以及风速 ≥ 5 m/s 出现频率(图 6h)均较低,而这些区域恰好为发生雨日的高频率区以及高湿度区.另外,在淮河下游里下河地区存在大风区,大雨日和暴雨日发生频率以及大雨日和暴雨日平均降水量在这一区域却表现为相对的低值区.

对于气温而言,不论是任何等级降水日的年平均气温空间分布(图 6i、j、k),还是平均气温高于 32°C 频率的空间分布(图 6l),均表现为淮河中下游为高值区,在南四湖区也存在次高值中心,淮河干流上游和沙颍河上游以及沂蒙山区为低值区.气温的空间分布对雨日的降水量级空间变化无明显响应.

3 时间变化分析

通过对变化曲线进行线性拟合,提取出其中的斜率因子,以此来表征频率的变化趋势(其中斜率为负表示有下降趋势,斜率为正表示有上升趋势).1961—2010 年淮河流域雨日出现频率有下降的趋势,而暴雨日所占比重却有上升的趋势(图 7a).对平均降水量而言,雨日和暴雨日平均降水量均表现为增加的趋势(图 7b),且随着日降水量的增大,增加趋势更加显著(表现为拟合斜率随雨强增大).暴雨日数所对应的暴雨总量占总降雨量的比重也存在明显的变化趋势,从二次多项式拟合趋势线(图 7c)可以看出,呈现先降后升的变化趋势,趋势转折点在 1978 年,表明淮河流域极端强降水事件在 1978 年前后存在明显的趋势转折.通过以上分析可以认为,1961—2010 年淮河流域降水呈现出次数减少而强度增强的变化趋势.

在对降水变化趋势进行分析的基础上,分别对温度、相对湿度和风速进行统计,变化趋势见图 8.其中温度为上升的趋势,相对湿度表现为弱的减少趋势,而风速则表现出了较强的减弱趋势.

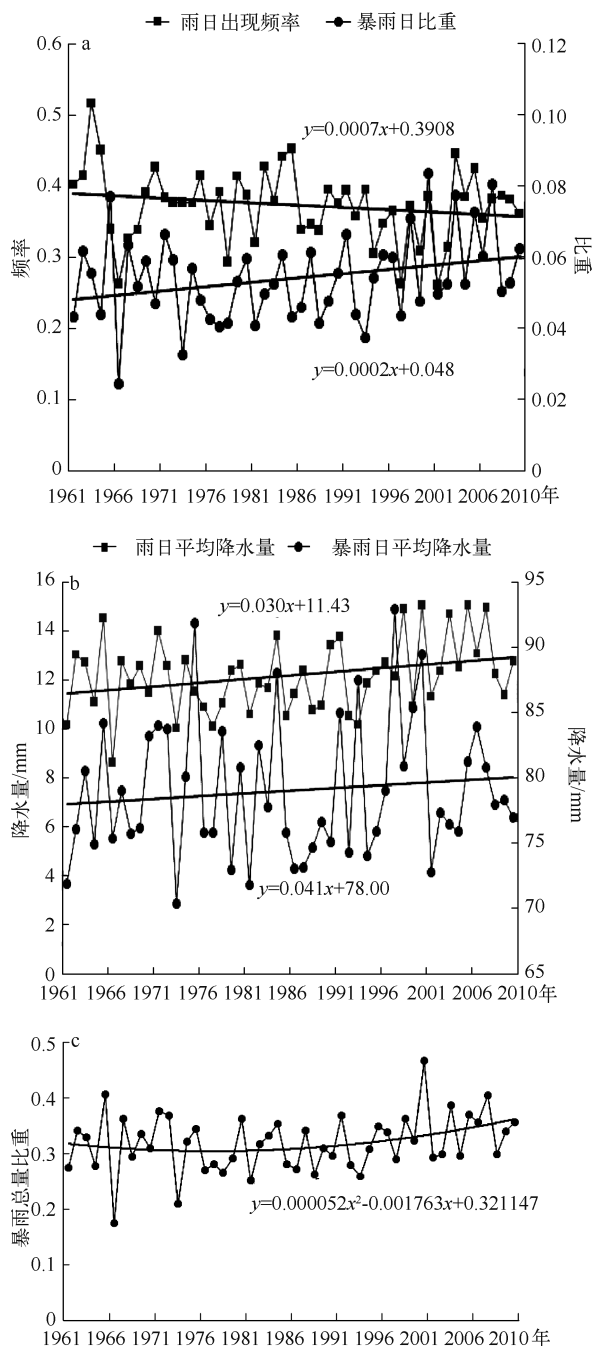


图 7 1961—2010 年雨日、暴雨日出现频率和比重(a)、平均降水量(b),暴雨总量比重(c)变化曲线

Fig. 7 Change curves of percents and ratios(a), average precipitation(b) of rainfall and storm, ratio of storm precipitation (c) during 1961—2010

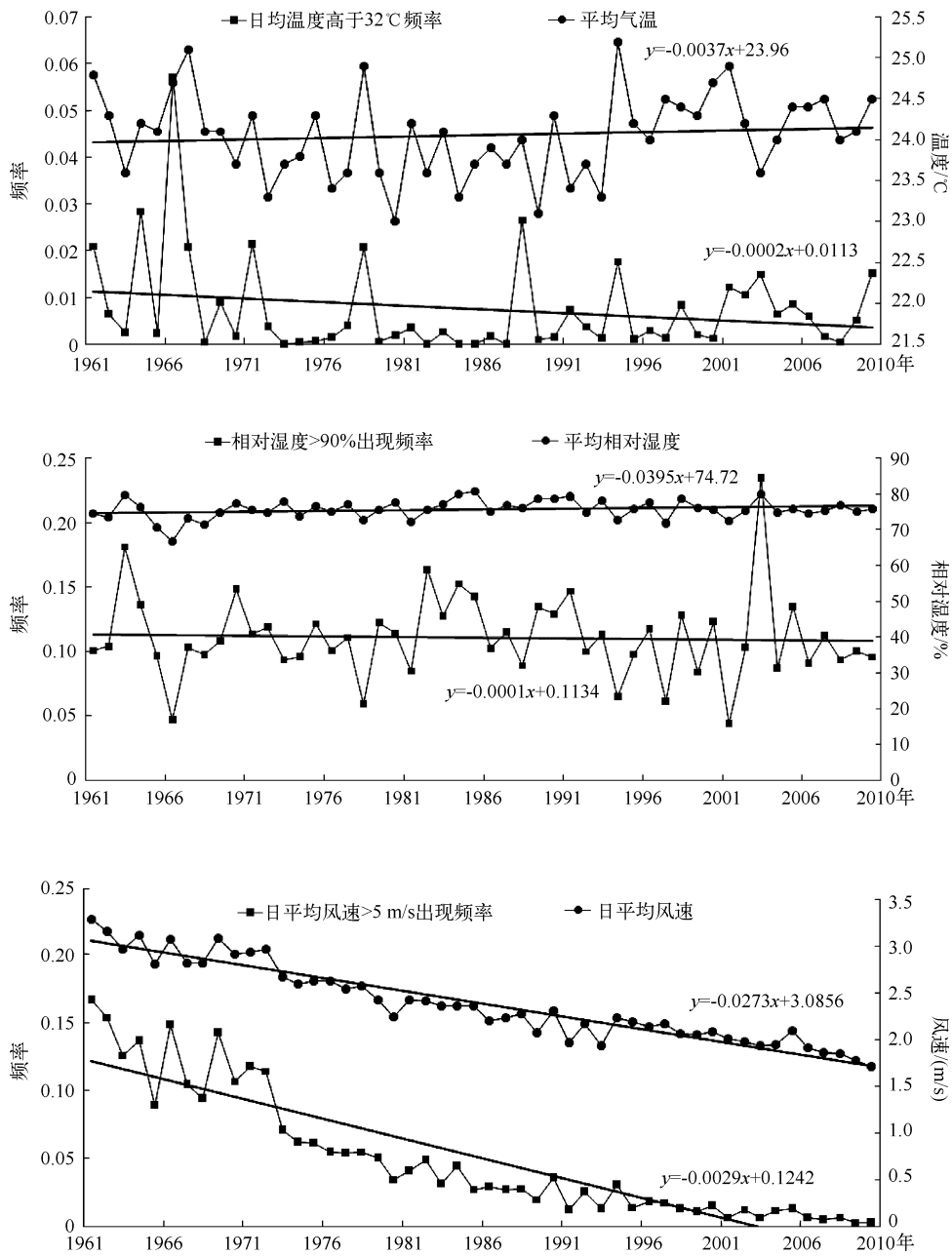


图 8 1961—2010 年各气象要素变化

Fig. 8 Meteorological factors varity during 1961 – 2010

4 讨论

根据以上分析,淮河流域的降水有着显著的时空变化特征,突出表现为:空间变化的不均匀性和时间变化的趋势性.

空间变化的不均匀性主要表现在:淮河上游和下游均出现了暴雨日降水量比重的高值中心及其对应的中游低值区. 另外,雨日平均降水量分布随着日降水量的增大,其空间分布变得更加不均匀. 从频率偏差随

纬度分布来看,各等级降水日数均有随纬度增加而减小的趋势,并伴随有不规则的波动.从变化幅度来看,在低纬度地区波动明显, 32°N 以北的变化曲线相对较为平滑.这种空间变化与其他相关研究结果具有较好的一致性^[17-18].导致降水空间分布不均匀性的原因除纬度因素外,还与流域特有的地形有关.淮河流域西部、西南部及东北部为山区和丘陵区,东临黄海.来自印度洋孟家拉湾、南海的西太平洋的水汽,受边界上大别山、桐柏山、伏牛山、沂蒙山和内部局部山丘地形的影响,产生抬升作用,利于降水;而在广阔的平原及河谷地带,缺少地形对气流的抬升作用,则不利于降水.因此,在水汽和地形的综合影响下,致使降水呈现自南部、东部向北部、西部递减,山丘区降水大于平原区,山脉迎风坡降水量大于背风坡的规律.通过与地形图对比可以看出,各类雨日的出现频率均与地形之间有着较好的对应关系,海拔高的区域出现频率高.从地形分布上可以看出, 32°N 以北地形起伏不明显,而 32°N 以南则主要为淮南山区和桐柏山区,故波动主要反映了地形高度对降水的影响.降水的空间不均匀性除与地形相关外,可能还受其它因子的影响,值得今后进一步研究.

时间变化的趋势性表现在雨日出现频率有下降的趋势,而暴雨日出现频率以及各类型雨日的平均降水量均有上升的趋势.淮河流域汛期的降水过程呈现局地性、突发性的强降水过程增多的发展趋势,在这种气候变化背景下,淮河流域突发性暴雨事件频发.

对温度、相对湿度和风速的统计分析表明:相对湿度有减少趋势,表明淮河流域的水汽条件在变差,可能的原因是降水频率在减小.淮河流域地面气温在升高而风速却在降低,地面气温的升高有利于热力不稳定能量的积累以及热对流的产生,而风速的降低则不利于区域内物理量的交换,从而导致局地性分布规律增强.温度和风速的共同影响,使得淮河流域局地性对流系统频发,进而引起暴雨日的增多以及暴雨日降水量的增加.这种变化趋势与其他相关研究结果具有较好的一致性^[19-20].虽然雨日出现的频率在减少,但由于平均降水量的增加,总降水量也表现出增加的趋势.

5 结论

通过对 1961—2010 年汛期(5—9 月)淮河流域 145 个地面气象站降水、温度、相对湿度和风速观测资料的分析,总结出淮河流域汛期降水的时空分布规律.

1) 在纬度上,南多北少,雨日的出现频率以及相应的降水量随纬度增加而减小;随着海拔高度的增加,频率和降水量都有所增加;随着日降水量的增大,空间分布特征开始变得更加复杂.

2) 影响淮河流域降水分布的因子有地形地貌(包括下垫面分布)、温度分布以及风速和相对湿度的大小,其中在山丘区,地形影响较大.但地形对暴雨的影响有一定限度,到达一定高度后,海拔高度对于降水的影响效应将不再显著.

3) 1961—2010 年雨日出现频率有下降的趋势,而暴雨日出现频率以及各类型雨日的平均降水量均有上升的趋势.淮河流域汛期局地性、突发性的强降水事件呈现增多的趋势.

由于以上分析采用的是 145 个站点的观测资料,在分析区域分布时对观测资料进行了插值,因此所得出的空间分布规律还不够精细且分布特征与实际之间尚存在一定的差异.这有待于进一步选用时空分辨率更高的观测和探测资料来进行分析,以得到更加精细化的降水分布及变化规律.

6 参考文献

- [1] 张强,李剑锋,陈晓宏等.基于 Copula 函数的新疆极端降水概率时空变化特征.地理学报,2011,66(1):3-12.
- [2] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis//Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press,2007.
- [3] 江志红,丁裕国.近 40 年我国降水量年际变化的区域性特征.南京气象学院学报,1994,17(1):75-78.
- [4] 王大钧,张运福,陈列等.近 40 年来中国降水量、雨日变化趋势及与全球温度变化的关系.热带气象学报,2006,22(3):283-289.
- [5] Zhai PM, Zhang XB, Wan H *et al.* Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *Journal of Climate*, 2005, 18: 1096-1108.
- [6] 翟盘茂,任福民,张强.中国降水极值变化趋势检测.气象学报,1999,57(2):208-216.

- [7] 刘小宁. 我国暴雨极端事件的气候变化特征. 灾害学, 1999, **14**(1): 54-59.
- [8] 王 颖, 施 能, 顾骏强等. 中国雨日的气候变化. 大气科学, 2006, **30**(1): 162-170.
- [9] 王小玲, 翟盘茂. 1957—2004 年中国不同强度级别降水的变化趋势特征. 热带气象学报, 2008, **24**(5): 459-466.
- [10] 孙凤华, 杨素英, 任国玉. 东北降水日数、强度和持续时间的年代际变化. 应用气象学报, 2007, **18**(5): 610-618.
- [11] 白爱娟, 刘晓东. 华东地区近 50 年降水量的变化特征及其与旱涝灾害关系的分析. 热带气旋学报, 2010, **26**(2): 194-200.
- [12] 陆 虹, 陈思蓉, 郭 媛等. 近 50 年华南地区极端强降水频次的时空变化特征. 热带气旋学报, 2012, **28**(2): 219-227.
- [13] 孙凤华, 杨素英, 任国玉. 东北地区降水日数、强度和持续时间的年代际变化. 应用气象学报, 2007, **28**(2): 219-227.
- [14] 格 桑, 唐小萍, 路红亚. 近 35 年青藏高原雨量和雨日的变化特征. 地理学报, 2008, **63**(9): 924-930.
- [15] 魏凤英, 张 婷. 淮河流域夏季降水的振荡特征及其与气候背景的联系. 中国科学: D 辑: 地球科学, 2009, **39**(10): 1360-1374.
- [16] 黄 勇, 张 红, 冯 妍. 近 38 年安徽省夏季降水日数和强度的分布与变化特征. 长江流域资源与环境, 2012, **21**(2): 157-167.
- [17] 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. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(5): 567-573.
- [18] 于文金, 郝 玲. 淮河流域暴雨灾害时空分布及趋势规律研究. 长江流域资源与环境, 2012, **21**(3): 314-320.
- [19] 陈 峪, 高 歌, 任国玉等. 中国十大流域近 40 多年降水量时空变化特征. 自然资源学报, 2005, **20**(5): 637-643.
- [20] 汪 方, 田 红. 淮河流域 1960—2007 年极端强降水事件特征. 气候变化研究进展, 2010, **6**(3): 228-229.