

中国雨日的气候变化

王颖¹ 施能^{1,2} 顾骏强³ 封国林⁴ 张立波¹

1 南京信息工程大学江苏省气象灾害和环境变化重点实验室, 南京 210044

2 广州热带海洋气象研究所, 广州 510080

3 浙江省气象科学研究所, 杭州 310017

4 国家气候中心气候研究开放实验室, 北京 100081

摘要 利用1954~2000年中国160站的资料, 通过计算趋势系数等现代统计诊断方法, 研究了中国年、季、月雨日的时、空特征和气候变化。指出, 中国年雨日已经明显减少, 而且雨日的减少比降水量的减少明显得多, 平均每10年减少雨日3.8天。各季的雨日都是负趋势; 季雨日平均每10年减少1天左右。夏季雨日减少最明显(统计检验最显著), 秋季雨日减少最多(雨日减少天数多)。雨日长期趋势变化有明显的空间变化, 东北、华北、西南区的雨日减少是最多的, 这些地区的雨日每10年减少7~10天。雨日的长期趋势变化与降水量的长期变化并不完全一致。雨日的负趋势与降水的负趋势比较, 不但范围广, 而且强度大(负趋势绝对值大)。中国年降水量明显的负趋势仅位于华北(34°N~38°N, 109°E~122°E), 而雨日减少最多的地区是东北、华北、西南, 范围比降水量大得多。季雨日的长期变化与季降水量的长期变化的差别很大。中国没有一个季节、一个测站的雨日有明显的正趋势变化, 但是, 降水量仅在秋季是大范围的负趋势, 夏季降水量有些测站是明显正趋势, 冬季降水量只是小范围的负趋势(冬季的降水量在增加), 在冬季, 东北仅是很小范围的降水量在减少, 而雨日是大范围的明显减少。

关键词 雨日 降水量 气候变化 趋势系数

文章编号 1006-9895(2006)01-0162-09

中图分类号 P468

文献标识码 A

Climatic Variations of Wet Days in China

WANG Ying¹, SHI Neng^{1, 2}, GU Jun-Qiang³, FENG Guo-Lin⁴, and ZHANG Li-Bo¹

1 Key Laboratory of Meteorology and Environment, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 Guangzhou Institute of Tropical and oceanic Meteorology, Guangzhou 510080

3 Meteorological Science Research Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310017

4 Key Laboratory of Climate Research, National Climate Center, Beijing 100081

Abstract There have been many studies on climatic changes in rainfall and droughts/floods, however, study on climatic changes in wet days has been rarely seen. The wet day number of a place is associated with rainfall in the place, but differs from the rainfall. The existing studies show that changes in wet day number differ from those in rainfall. It is necessary to study changes in wet day number, especially to study the difference between them, under the global warming. Up to now, study on climatic changes in wet days nation-wide has not been seen. The climatic change of wet days and the spatial/temporal features of annual, seasonal, and monthly wet days in China are investigated in the context of the observational data at 160 stations during the period of 1954-2000 by using modern statistical diagnostic methods such as the computation of trend coefficients. It is pointed out that the annual wet days have

declined at a mean rate of 3.8 days per decade, and the decline of wet days is more obvious than that of rainfall. The temporal trends of seasonal wet days are all negative with a mean reduction rate of one day per decade. The reduction of summer wet days is most remarkable (most statistically significant), and the reduction of autumn wet days is the largest in magnitude. As far as the spatial change of the secular trend variation of annual wet days is concerned, the reduction of annual wet days is the largest in Northeast China, North China and Southwest China, where the reduction rate is 7–10 days per decade. The secular trend variation of wet days does not completely accord with that of rainfall. The negative trend of annual wet days not only covers a larger area than the negative trend of rainfall, but its intensity is also larger, i. e., the absolute value of the negative trend is larger. The distinct negative trend of annual rainfall lies only in North China within ($34^{\circ}\text{N} - 38^{\circ}\text{N}$, $109^{\circ}\text{E} - 122^{\circ}\text{E}$), while the largest reduction of annual wet days covers Northeast China, North China, Southwest China, which is a larger area than North China. The secular trend variation of seasonal wet days differs greatly from that of seasonal rainfall. The seasonal wet days do not show an obviously positive trend in a single season at a single station. However, the seasonal rainfall shows a negative trend only in autumn over a large-scale area, but an evident positive trend in summer at some stations. In winter, the seasonal rainfall shows a negative trend only over a small area (the winter precipitation is increasing in China). In Northeast China, the winter rainfall is reducing only over a small area, but the wet day is reducing evidently over a large-scale area.

Key words wet day, rainfall, climatic change, trend coefficient

1 引言

在气象预报中, 降水预报是需要特别注意研究的, 因为洪涝、干旱、暴雨、连阴雨等灾害天气与降水量、雨日的多少有关。不过, 人们更多地研究降水量和旱涝气候变化^[1~6], 却很少研究雨日的特征与变化。雨日变化既与降水量有关系, 但也有区别, 例如, 连阴雨天气过程的雨日可能很多, 但是过程的总降水量不一定多。我通常认为, 雨日多, 降水量也会多, 或者降水量多, 雨日也一定多。这对大的时间、空间平均来说, 通常是正确的, 但是, 对季节、月的时间尺度或者比较小的空间范围, 上述观点不一定正确。特别是雨日的气候变化与降水量的气候变化会有很大的差别, 这在我国的部分省份已有研究^[7]。我们知道, 冬季雨日经常表现为降雪, 而降雪与气温变化有很大关系, 所以降雪日的气候变化还与气温变化有关, 这与单纯的降水量气候变化不同。所以, 雨日的变化不可能与降水量的变化一致。在全球气候变暖后, 有必要研究雨日的气候变化, 特别是研究雨日变化与降水量变化的区别。

目前, 关于全国范围雨日时间、空间特征及气候变化的研究还不多, 有关区域范围雨日气候变化的工作也很少。顾骏强等^[7]研究了浙江省雨日的气候变化, 指出浙江省除了7、8月份的雨日是增加

以外, 其他月份的雨日数都表现为减少。由此得到启发, 本文将研究全国范围雨日的气候变化, 从全国范围看, 雨日是增加还是减少了? 年、季、月雨日的变化特征如何, 有什么空间分布特征? 雨日的长期变化与同时发生的降水量的长期变化在时间、空间上有什么差异。

2 资料与方法

2.1 资料

本文所用资料是由中国气象局气象信息中心资料室整编的, 从全国建站开始到2000年的地面逐日平均温度、平均最高温度、平均最低温度和降水量光盘资料。我们从逐日降水量资料中统计月雨日数。雨日定义为日降水量(包括降雪)大于0的日数, 0.0微量降水日, 也计入雨日。考虑到资料的具体情况及使用的习惯, 整理出1954~2000年逐月160个气象观测站的雨日数资料(拉萨站缺1954年的资料, 这12个月的资料用平均值代替; 个别站月雨日的缺测用邻近的站代替, 但仍有4.76%的缺测)。从1954年1月到2000年12月, 有12个闰2月, 共有17167($365 \times 47 + 12$)天。在这17167天中统计了逐日降水量缺测天数, 结果有37个站缺测, 总缺测的天数是817天。37个站平均缺测22天, 缺测最多的是陕坝站(243天), 其次为汉中(159天)。考虑到缺测率不到5%($817/17167 =$

0.0476), 非雨日又是相对大的概率, 所以将缺测的天数统计为非雨日。另外, 季节雨日是夏季用 6~8 月, 春季用 3~4 月, 冬季用 12~2 月, 秋季用 9~11 月。12 个月的雨日数累加为年雨日数。

2.2 方法

2.2.1 长期变化的的定量指标

为了解气象要素的长期趋势变化, 根据文献 [6, 8] 的方法, 计算气象要素的时间序列与自然数数列之间的相关系数(称为趋势系数)。这样定义的趋势系数, 是无量纲, 变化在正负 1 之间。可以证明, 它就是标准化的一元线性回归系数, 它消去了气象要素的均方差和单位对线性回归系数数值大小的影响, 从而可以在不同的地理位置、不同的气象要素之间比较趋势变化的大小。特别适合于研究和揭露大范围气象场长期变化的空间变化特征。对计算的趋势系数还可以进行相关系数的统计检验或者蒙特卡洛显著性检验^[9~11]。

2.2.2 相似系数

为了定量地表示二幅空间分布图(如平均降水量图与平均雨日图)的相似程度, 采用相似系数。它由下式计算,

$$\cos\theta = \frac{\sum_{i=1}^m x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m y_i^2}}, \quad m = 160 \text{ (站)}, \quad (1)$$

其中, $\cos\theta$ 是二幅图相似程度的定量指标, x_i 、 y_i 分别是第 i 站(空间点)在二幅图的要素值。相似系数等于 1.00(−1.00) 为完全相同(相反), 等于 0.0 时表示完全不相似, 正值越大图形越相似, 负值越大图形越相反。

2.2.3 EOF (Empirical Orthogonal Function) 分析及突变分析

EOF 分析方法用于了解雨日的空间分布与时间变化特征。为检测雨日序列的变化是否有突变, 采用了移动 t 检验方法。

3 我国年、季、月雨日的气候特征

3.1 平均特征

表 1、表 2 给出经过空间平均的我国年、季、月雨日的多年的平均值、均方差、雨日概率(雨日数除以总天数)、趋势系数和回归系数。我们看到, 我国雨日的平均 161.7 天, 季节雨日数从大到小,

表 1 我国 160 站平均的年、季雨日的平均值、均方差、雨日概率、趋势系数和回归系数

Table 1 Mean values, standard deviations, probabilities, trend coefficients and regression coefficients of the number of annual and seasonal wet days averaged over 160 stations in China

	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	年 Year
平均值 Mean/d	43.4	52.6	35.8	29.8	161.7
雨日概率 Probability of wet days	0.47	0.57	0.39	0.33	0.44
均方差 Standard deviation/d	2.34	2.11	3.28	3.85	7.41
趋势系数 Trend coefficient	0.49	−0.59	−0.44	−0.35	−0.68
回归系数 Regression coefficient/d · (10 a) ^{−1}	−0.9	−0.9	−1.1	−1.0	−3.8

依次为夏(52.6 天)、春、秋、冬季(29.8 天)。月雨日数从大到小依次为 7 月(18.3 天), 6 月、8 月、5 月、9 月、4 月、3 月、10 月、2 月、1 月、11 月、12 月(8.9 天), 月雨日的年变化明显表现为从 7 月向前后二端减少的特征。但是, 从计算的均方差看, 雨日最多的夏季和 7 月有最小的均方差, 而雨日最小的冬季及 12 月有最大的均方差。上面的结果是经过空间 160 站平均的。其实我国雨日数的空间变化是比较大的。

3.2 雨日的空间分布特征

分别制作我国多年平均的年总降水量图及年总雨日的图(图略)。可以看出二幅图非常相似, 多年平均的年降水量与雨日都是南(28°N 以南)多北少。降水量最多在广东的阳江、河源, 2000~2400 mm; 雨日最多的在贵州的毕节、西昌等, 达到 260 天以上; 降水量最少在新疆的吐鲁番(18 mm)、且末和若羌(若羌 24 mm); 雨日最少的也在南疆, 若羌 40 天、且末 43 天, 非常一致。所以, 从多年平均看, 年总降水量和年雨日的空间分布是非常一致的。事实上, 计算二幅图的相似系数为 0.93, 可见它们是非常相似的。我们还分别对季、月的降水量与同时段的季、月的雨日空间分布计算相似系数, 结果变化在 0.82~0.93 之间。这表示它们的分布特征也非常一致。将多年平均的年雨日数除以 365, 得到雨日概率。表 3 给出统计的 1954~2000

表 2 我国 160 站平均的月雨日的平均值、均方差和趋势系数回归系数

Table 2 Means, standard deviations and trend coefficients of the number of monthly wet days averaged over 160 stations in China

月 Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均值 Mean/d	10.1	10.7	13.1	14.0	16.2	17.2	18.3	17.1	14.4	11.8	9.6	8.9
均方差 Standard deviation/d	1.88	1.88	1.32	1.28	1.31	0.98	0.98	1.23	1.59	1.70	1.98	2.08
趋势系数 Trend coefficient	−0.05	−0.22	−0.14	−0.26	−0.48	−0.38	−0.37	−0.41	−0.42	−0.14	−0.28	−0.31

表 3 我国最大、最小雨日概率的 10 个城市

Table 3 Ten cities with the maximum and minimum of wet days of China

最大概率 Maximum probability	0.74	0.74	0.72	0.68	0.67	0.66	0.65	0.63	0.63	0.63
站名 City	毕节 Bijie	西昌 Xichang	康定 Kangding	贵阳 Guiyang	兴仁 Xingren	遵义 Zunyi	德钦 Deqin	西阳 Xiyang	榕江 Rongjiang	彬县 Binxian
最小概率 Minimum probability	0.11	0.12	0.13	0.13	0.15	0.17	0.20	0.21	0.23	0.23
站名 City	若羌 Ruoqiang	且末 Qiemo	敦煌 Dunhuang	和田 Hetian	吐鲁番 Turpan	哈密 Hami	陕坝 Shanba	酒泉 Jiuquan	银川 Yinchuan	喀什 Kashi

年我国最大、最小雨日概率的 10 个城市，可以看出，雨日最多的城市主要位于贵州省，雨日概率可以高达 0.74，10 天内平均有 7 个雨日。而我国西北部的南疆、青海、河套北部，雨日概率仅为 0.11~0.2 左右，说明我国雨日数的空间变化是很大的。

4 我国年、季、月雨日的气候变化

4.1 年平均雨日数的长期趋势

图 1a 是我国 160 站的平均的年总雨日的时间序列，可以看出，我国的雨日总趋势减少。这与表 1 的结果是一致的[表 1 给出年雨日趋势系数为

−0.68，回归系数为−3.8 d/10 a(即平均每 10 年减少 3.8 个雨日)]。图 1b 是对 160 站的年雨日数 EOF 分解的第一时间系数(数值已标准化)。图 1b 与图 1a 非常相似，都可以说明我国的雨日在减少，从 20 世纪 80 年代开始雨日减少更明显一些，近年虽然有些上升，但是，仍处在很低的值。由表 1 看出，各季节的情况是，每 10 年减少雨日 1 天左右，夏季雨日减少最明显，但是秋季雨日减少最多(图略)。

图 1 仅是我国的空间平均情况。为了了解空间变化，我们计算逐站的趋势系数，并做出趋势系数

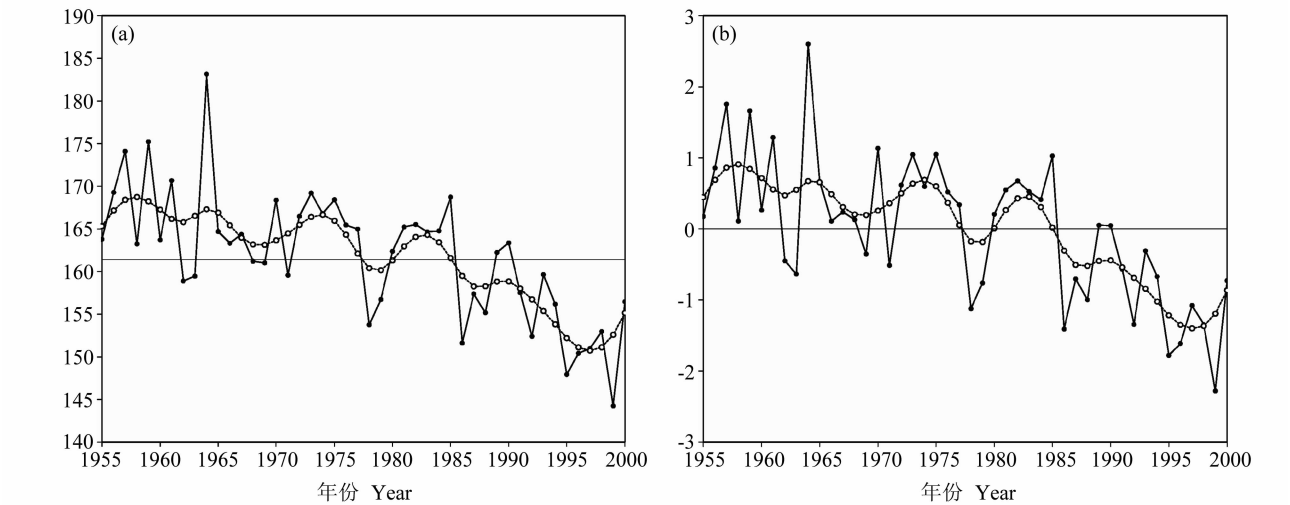


图 1 我国年平均雨日的时间变化 (a, 单位: d) 和年雨日 EOF 分解的第一时间系数(b), 虚线为高斯滤波曲线
Fig. 1 Time series of annually averaged wet days (a, units for the ordinate; d) and the temporal coefficient (b) of its EOF1. The dotted line is for the Gaussian 9-year filtering

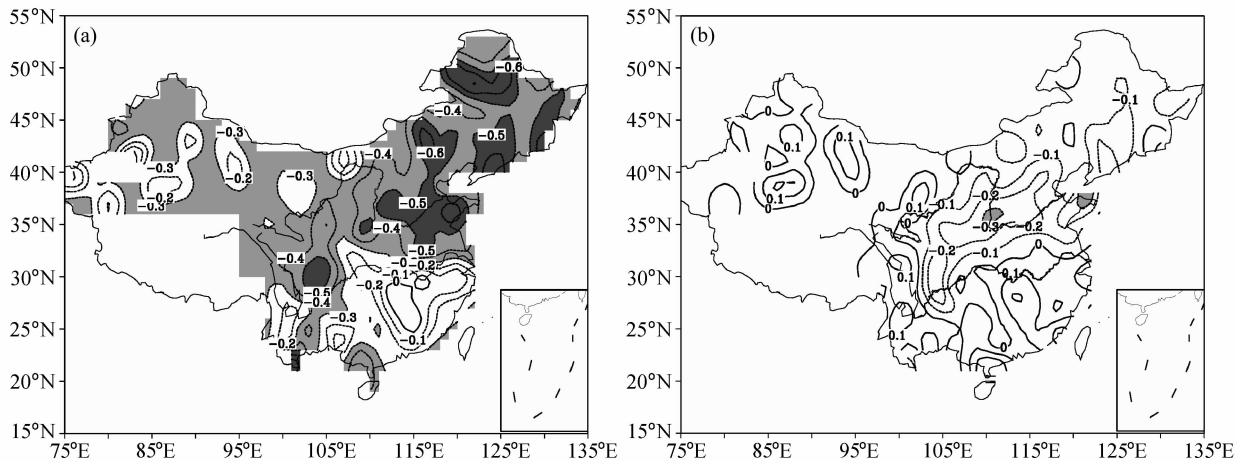


图 2 我国年雨日(a)及年降水量(b)的趋势系数。浅灰、深灰阴影是趋势系数绝对值大于 0.3、0.5 的区域，虚线为负值
Fig. 2 Trend coefficients of annual wet days (a) and rainfall (b) with gray (black) regions in China for its absolute value larger than 0.3 (0.5). The dashed curves indicate negative values

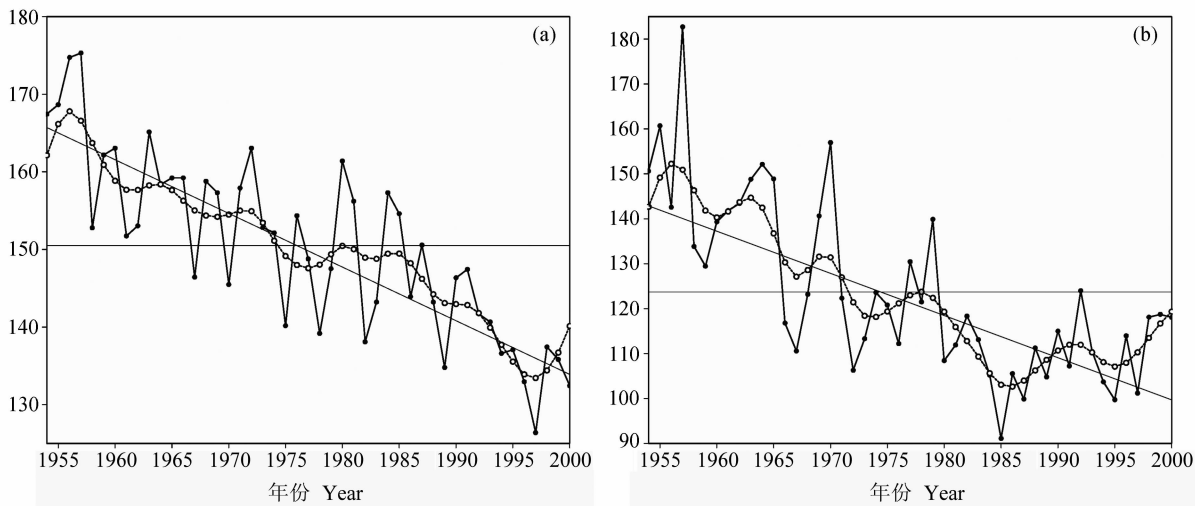


图 3 我国东北 (a)、华北 (b) 年雨日的时间变化和回归线(曲线是高斯 9 点滤波线)
Fig. 3 The time series of the annual wet-day number and its regression line for (a) Northeast China and (b) North China (the dashed curve is for the Gaussian 9-year filtering). Units for the ordinates; d

的空间分布图。图 2a 是年雨日数的趋势系数的空间分布，为了比较，同时给出年降水量趋势系数的空间分布(图 2b)。图 2a、b 的相似系数是 0.41，说明它们长期变化的空间分布特征仍基本相似，但是这已经比它们本身数值的空间分布的相似程度(相似系数为 0.93)降低了许多。可以看出，它们的数值差别是很大的。事实上，图 2a 负值的强度比图 2b 强，而且范围也大。图 2a 中有 143 个站是负值，仅 17 站是正的，最大的正趋势在安庆，回归系数为 0.33 (即每 10 年平均增加 3.3 个雨日)。图 2a 中雨日负趋势达到 0.05 信度以上的站有 101 个，

最强的负趋势达到 -0.70 以上，其中，趋势系数超过 -0.60 的有博克图、海拉尔、丹东、嫩江、多伦、延吉、长春、富锦、通辽、锡林浩特、齐齐哈尔、牡丹江、景洪、成都、昆明；青岛、西安、太原、长治、菏泽、连云港都达到 0.001 以上的统计显著性。说明这些地方的年雨日在非常明显的减少。计算的线性回归系数说明，上述大多数测站的年雨日数减少达到每 10 年 10 天左右。减少最多的是景洪(23 d/10 a)。而在年降水量趋势变化(图 2b)中，仅有 84 个站是负值，76 个站是正值，但是负趋势的强度比正趋势强，明显的负趋势位于 $(34^{\circ}\text{N}\sim 38^{\circ}\text{N}, 109^{\circ}\text{E}\sim$

表 4 我国东北、华北、西南各站平均的年雨日的趋势系数与回归系数

Table 4 Trend and regression coefficients of annual wet days averaged over 23 stations in Northeast China, 26 stations in North China and 3 stations in Southwest China respectively

	东北 23 个站 23 stations in Northeast China	华北 26 个站 26 stations in North China	西南 3 站 3 stations in Southwest China
趋势系数 Trend coefficient	−0.82	−0.72	−0.66
回归系数	−6.93	−10.1	−7.5
Regression coefficient/d · (10 a) ^{−1}			

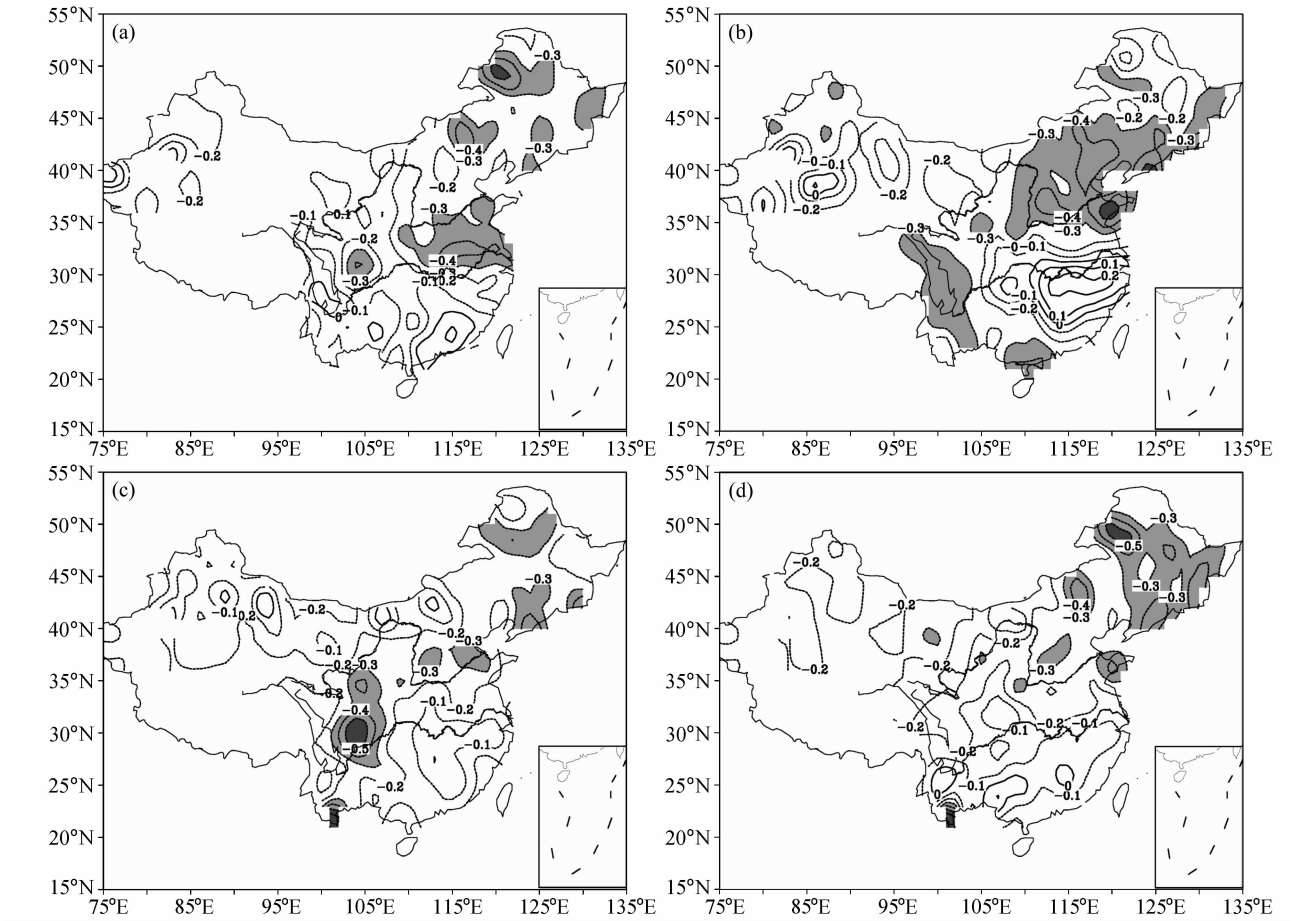


图 4 我国季雨日的趋势系数：(a) 春季；(b) 夏季；(c) 秋季；(d) 冬季。浅灰、深灰阴影是显著性达到 0.05、0.01 的区域；虚线为负值

Fig. 4 Trend coefficients of wet days for spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d) with grey (black) regions in China for significance at the 0.05 (0.01) level. The dashed curves indicate negative values

122°E) 范围内(主要是华北区, 包括 20 个观测站的平均降水量的趋势系数为−0.40), 以及成都、绵阳、宜宾一带(趋势系数−0.45), 说明这些地方的年降水量也在明显减少, 但是, 比较它们的趋势系数说明, 年雨日数比降水量减少的多, 而且范围也大, 这必然使每次降水的平均雨量有了明显的增加, 或者强降水的次数增加了。

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 3 个区(表 4)。图 3a 是 115°E 以东, 40°N 以北的东北 23 个站(包括呼玛、锡林浩特、沈阳、鸡西等)平均年雨日的逐年时间曲线, 而图 3b 是 110°E 以东, 34°N~39°N 的华北 26 个站(包括北京、延安、大连、郑州等)平均年雨日的逐年时间曲线。表 4 给出它们的趋势系数与回归系数。表 4 中还有绵阳、成都、宜宾等西南 3 站平均的年雨日(图略)。可以看出, 它

表 5 我国季雨日和季降水量(括号内的数值)负趋势的站数
Table 5 The numbers of station with a negative secular trend of seasonal wet days and rainfall (in bracket)

	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	年 Year
负趋势的站数 Number of station with a negative secular trend	135(90)	128(77)	146(110)	144(59)	143(88)
达 0.05 信度负趋势的站数 Number of station with 0.05 significant negative secular trend	57(7)	73(7)	46(9)	44(5)	101(12)
达 0.05 信度正趋势的站数 Number of station with 0.05 significant positive secular trend	0(8)	0(8)	0(4)	0(5)	1(6)

们都有非常强的减少趋势，以东北 23 个站区的雨日下降最明显。因为华北 26 个站区的年雨日的均方差大，所以平均华北下降最多，平均每 10 年减少了 10 个雨日。

4.2 季雨日的长期趋势变化

图 4 是用 4 个季雨日计算的趋势系数图。从图 4 和表 5 看出，4 个季的雨日仍是大范围(占 80%~90%观测站)的负趋势，没有一个季节、一个测站的雨日有明显的正趋势变化。但是，降水量情况却不同，除了秋季降水量有近 70%的站是负趋势以外，其他各季节降水量是正、负趋势各占一半，特别地，我国夏季降水量有些测站是明显正趋势(图略)。

图 4 说明在我国的东北，4 个季节的雨日(特别是冬季降雪日)都是明显的减少趋势。春季，江淮和华北南部雨日明显减少。夏季，在我国的东部，呈现华北雨日明显减少而长江流域和华中雨日增加，西南雨日减少的特征。秋季是我国最大范围(占 91%的观测站)的雨日减少。冬季也是大范围(占 90%的观测站)的雨日减少，东北的雪日明显减少。需要指出，我国冬季的降水量只有 36.9%(59/160)的观测站是负趋势，也就是说，我国冬季的降水量在增加，在东北也仅是小范围的降水量减少(图略)。另外，我国春季江淮和华北南部降水量的减少远不是明显的，而在我国的长江流域到华中降水量是负趋势(图略)。图 4a、d 分别与它们对应的季降水量的趋势系数图求相似系数，分别为-0.16(春季)、-0.08(冬)；说明它们是基本不相似的。

4.3 月雨日的长期趋势变化特征

逐月计算 160 个观测站的趋势系数，并分别对雨日和月降水量统计 160 个观测站中趋势系数为负值的站数(表 6)；统计了趋势变化达到 0.05 信度(趋势系数的绝对值大于 0.28)的站数(表 7)。还制作我国月雨日和月降水量趋势系数的空间分布图

(图略)。根据这些结果可以归纳出月雨日和月降水量长期变化的如下的一些结果。在 1 月份，降水量(雨日)是大范围正(负)趋势，东北雨日(降雪日)明显负趋势，长江以南，华中降水量和雨日都为明显正趋势；2 月，雨日大范围负趋势。东北雨日明显负趋势，长江以南为正趋势；3 月，东北雨日明显负趋势；4 月，华北雨日明显负趋势；5 月，我国雨日大范围负趋势，26°N~33°N 范围雨日、降水量为明显负趋势；6 月，华北、东北雨日明显负趋势，长江流域，特别是中游雨日正趋势；7 月长江以北(南)雨日大范围负(正)趋势，华北雨日明显负趋势，华南雨日负趋势；8 月，我国雨日大范围负趋势、华北雨日明显负趋势，长江下游雨日正趋势，长江下游、东南沿海降水量明显正趋势；9 月，我国降水量、雨日大范围负趋势，东北雨日明显负趋势；10 月，我国雨日大范围负趋势，西南雨日、降

表 6 我国月降水量及月雨日的趋势系数的统计特征
Table 6 Characteristics and Statistics of trend coefficients of monthly rainfall and wet days for 160 stations in China

月 Month	负趋势的站数 Number of station with a negative secular trend	
	雨日 Wet days	降水量 Rainfall
1	108	44
2	122	90
3	85	55
4	117	87
5	142	84
6	122	60
7	116	76
8	133	100
9	147	108
10	100	74
11	132	89
12	144	76

表 7 我国月雨日、月降水量(括号内的值) 趋势达到 0.05 信度的站数

Table 7 The numbers of station with a negative secular trend (significant at the 0.05 level) for monthly wet days and rainfall (in bracket) in China

月 Month	负趋势站数 Number of station with a negative secular trend	正趋势的站数 Number of station with a positive secular trend
1	21(4)	12(21)
2	25(13)	0(0)
3	25(5)	2(4)
4	35(3)	1(2)
5	52(12)	1(4)
6	37(1)	2(10)
7	42(5)	7(10)
8	28(4)	2(7)
9	44(18)	1(2)
10	17(3)	2(4)
11	19(6)	0(2)
12	29(1)	0(3)

水量明显负趋势; 11 月我国雨日大范围负趋势, 西南雨日明显负趋势; 12 月, 我国雨日大范围负趋势, 西南、东北雨日(降雪日)明显负趋势。

用移动 t 检验方法对 160 个站的年雨日数的时间序列进行了检验, 结果发现, 除了东北, 华北的北部, 和西部年雨日有明显的突变(这些地区, 在 20 世纪 70 年代末期以后, 年雨日数的明显减少), 其他地区年雨日没有明显的突变。

5 结论与讨论

(1) 研究了年、季、月雨日的空间平均特征。指出我国夏季雨日最多, 其次为春、冬与秋季。月雨日 7 月最大, 向前后二端减少。雨日最多的季、月的年际变化并不最大。雨日比较少的季、月有比较大的均方差。多年平均的雨日空间分布图与降水量空间分布非常一致。年雨日最多的在毕节、西昌, 与年降水量最多的地区并不一致; 但是, 南疆的降水量、雨日都最少。

(2) 在分析的时间段内, 我国年雨日明显减少的, 趋势系数为 -0.68 (平均每 10 年减少雨日 3.8 天)。各季的雨日都是负趋势, 夏季雨日减少最明显, 而秋季雨日减少最多。

(3) 雨日长期趋势变化有明显的空间变化。东北、华北、西南区雨日减少是最多的, 这些地区的平均雨日每 10 年减少 7~10 天, 是全国平均值的

2~3 倍。雨日的长期趋势变化与降水量的长期变化不完全一致。年雨日的负趋势不但比降水的负趋势范围广, 而且强度大。我国年降水量明显的负趋势仅位于华北中部($34^{\circ}\text{N}\sim 38^{\circ}\text{N}$, $109^{\circ}\text{E}\sim 122^{\circ}\text{E}$ 范围内), 而我国雨日减少最多的东北、华北中部、西南, 范围广得多。

(4) 季雨日的长期变化与季降水量的长期变化的差别很大。各季的雨日是大范围的负趋势, 没有一个季节、一个测站的雨日有明显的正趋势变化。但是, 降水量情况却不同, 降水量仅在秋季是大范围的负趋势, 夏季降水量有些测站有明显正趋势, 冬季降水量只是小范围观测站是负趋势, 也就是说我国冬季的降水量在增加, 在东北也仅是很小范围的降水量减少。年雨日数的突变现象不明显。除了东北、华北的北部和西部年雨日有明显减少, 突变主要发生在 20 世纪 70 代末期以后, 其他地区的年雨日没有明显的突变。

(5) 气候变化的原因是一直在探讨的问题^[12]。目前, 全球降水量、全球气温的变化都有了不少的研究, 但我们还没有研究全球雨日的气候变化, 从本文研究的我国雨日的气候变化看, 我国雨日的减少是非常明显的。我国雨日的减少比降水量的减少明显得多。要全面解释各地雨日气候变化的原因, 恐怕比解释降水量与气温的气候变化的原因更困难些。全球降水量的气候变化表现在高纬度是增加的趋势, 在中低纬度是减少^[4~6]。我国东北雨日的减少比降水量减少明显得多, 这说明雨日的变化与气温变化有关, 我国东北冬季雨日的明显减少主要是因为气候变暖造成降雪的日数减少, 抵消了降水量增加。雨日的变化间接反映了太阳直接辐射, 它影响当地国民经济, 特别是影响农作物的选取、布局与产量。所以更大范围(例如全球雨日)的气候变化也是值得研究的。

参考文献 (References)

[1] 黄嘉佑. 赤道东太平洋海温与我国夏季雨日的相关矩分析. 气象学报, 1989, **47**(4): 475~478
Huang Jiayou. The study for the relationships between earlier sea surface temperature in eastern Pacific of the equator and rain days in summer over China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1989, **47**(4): 475~478
[2] 孙淑清, 马淑杰. 海温异常对东亚夏季风及长江流域降水影响的分析及数值试验. 大气科学, 2003, **27**(1): 36~52

- Sun Shuqing, Ma Shujie. Analysis and numerical experiment on the relationship between the 1998 summer monsoon activities and SSTA in the tropical region. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27**(1): 36~52
- [3] 韦志刚, 黄荣辉, 董文杰. 青藏高原气温和降水的年际和年代际变化. 大气科学, 2003, **27**(2): 157~170
Wei Zhigang, Huang Ronghui, Dong Wenjie. Interannual and interdecadal variations of air temperature and precipitation over the Tibetan plateau. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27**(2): 157~170
- [4] 杨扬, 施能. 1948~2001 年全球陆地 9~11 月降水的长期变化. 气象科学, 2003, **23**(3): 253~262.
Yang Yang, Shi Neng. The secular variation of global land rainfall fields in September–November from 1948~2001. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2003, **23**(3): 253~262
- [5] 夏冬冬, 施能, 陈绿文. 1948~2000 年 ENSO 事件与全球陆地年降水量的关系. 南京气象学院学报, 2003, **26**(3): 333~340
Xia Dongdong, Shi Neng, Chen Luwen. Relation between ENSO and global land precipitation in 1948~2000. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2003, **26**(3): 333~340
- [6] 施能, 黄先香, 杨扬. 1948~2000 年全球陆地年降水量场趋势变化的时、空特征. 大气科学, 2003, **27**(6): 971~982
Shi Neng, Huang Xianxiang, Yang Yang. Spatiotemporal features of trend variation of global land annual rainfall fields from 1948~2000. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27**(6): 971~982
- [7] 顾骏强, 施能, 薛根元. 近 40 年浙江省降水量、雨日的气候变化. 应用气象学报, 2002, **13**(3): 322~329
Gu Junqiang, Shi Neng, Xue Genyuan. Climatic variations of rainfall and wet days in Zhejiang Province. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 2002, **13**(3): 322~329
- [8] 施能. 北半球冬季大气环流遥相关的长期变化及其与我国气候变化的关系. 气象学报, 1996, **54**(6): 675~683
Shi Neng. Secular variation of winter atmospheric teleconnection pattern in the Northern Hemisphere and its relation with China's climate change. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1996, **54**(6): 675~683
- [9] Livezey R E, Chen W Y. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques. *Mon. Wea. Rev.*, 1983, **111**(1): 46~59
- [10] 施能, 顾骏强, 黄先香, 等. 合成风场的统计检验和蒙特卡罗检验. 大气科学, 2004, **28**(6): 950~956
Shi Neng, Gu Junqiang, Huang Xianxiang, et al. Significance test and Monte Carlo test used in composite analysis of wind fields. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2004, **28**(6): 950~956
- [11] Shi Neng, Gu Junqiang, Yi Yanming, et al. An improved south Asian summer monsoon index with Monte Carlo test. *Chinese Physics*, 2005, **14**(4): 844~849
- [12] 李崇银, 翁衡毅, 高晓清, 等. 全球增暖的另一可能原因初探. 大气科学, 2003, **27**(5): 789~797
Li Chongying, Weng Hengyi, Gao Xiaoqing, et al. Initial investigation of another possible reason to cause global warming. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2003, **27**(5): 789~797