DOI: 10.12006/j.issn.1673-1719.2019.023
战云健，任国玉，王朋岭．数据处理方法对中国区域平均降水序列精度的影响 [J]. 气候变化研究进展，2019, 15 (6): 0-0
Zhan Y J, Ren G Y, Wang P L. The influence of data processing on constructing regional average precipitation time series [J]. Climate Change Research, 2019, 15 (6): 0-0

数据处理方法对中国区域平均降水序列精度的影响

战云健[1]，任国玉[2,3]，王朋岭[2]

1 中国气象局国家气象信息中心，北京 100081；
2 中国气象局国家气候中心，北京 100081；
3 中国地质大学环境学院大气科学系，武汉 430074

摘 要：利用地面观测站点资料研究大范围地区的降水长期变化规律，选取不同的指标会使分析结果出现显著差异。利用中国大陆区域内 2139 个国家站的逐日降水资料，比较不同数据处理方法得到全国和中国西部、中国东部地区的降水量、降水日数和降水强度的区域平均时间序列，探讨对其变化趋势估算的偏差。研究表明，1951—1957 年估算的中国区域平均降水量原始值出现虚假的偏高，使趋势估算出现较大误差；1951—2016 年中国西部地区平均降水量距平百分率时间序列的波动幅度显著偏大；区域平均降水量、降水日数和降水强度的距平和标准化距平序列较为可信。全国平均降水量、降水日数的原始值和距平值序列都基本反映了中国东部湿润地区降水的变化，降水量距平百分率的变化主要由西部干燥区域的降水变化构成，降水量标准化距平则可综合反映湿润和干燥地区的降水变化。

关键词：区域平均；指标；降水量；时间序列；气候变化

引 言

自工业革命以来，全球气候显著变暖，引起了科学界乃至人类社会的共同关注。气候变暖和降水变化直接相关，很可能引起陆地水循环要素的改变[1]，极端降水事件增加，洪涝和干旱的风险都增加[2-4]。认识大尺度区域的年代际降水变化事实，可以帮助人类合理地规划利用水资源，也为气候变化预估提供理论依据。然而，受制于资料因素，早期资料以及干燥地区的降水观测记录缺失严重，使得对大范围降水变化的争论较大，研究结论存在显著的不确定性[5-6]。

中国大陆地区面积广阔，地形复杂，不同地区之间年降水量、降水日数、降水强度等气候平均值差异大[7]。由于降水量要素的时空分布均不连续，局地性特征明显[8-10]，且降水量较多的地区，降水量年际变化的绝对量较大[11]，不同地区的不同降水指标变化幅度不一，基于不同降水指标的区域平均时间序列所反映出的降水变化结论也会存在差异，甚至趋势相反[12]。

以往的区域平均降水量变化分析工作中，原始值、距平、距平百分率、标准化距平等指标应

收稿日期：2019-01-24；**修回日期**：2019-03-27
资助项目：国家重点科技研发计划项目“全球变化及应对”重点专项（2018YFA0605603）；2017 年气象行业标准制修订计划（QX/T—2017-38）；中国气象局气候变化专项（CCSF201811）
作者简介：战云健，男，工程师，zhanyunjian@foxmail.com；任国玉（通信作者），男，研究员，guoyoo@cma.gov.cn

用较多。在研究区域不太大且数据完整性较好的情形下，前人多采用降水量的原始值或距平值进行分析。在研究区域较大时，降水量的距平百分率、标准化距平等指标也得到了较多应用。Jones 等[11]用距平、距平百分率、标准化距平三种指标分析讨论了全球平均降水序列变化，发现在降水量空间差异明显的较大范围地区应用不同指标对区域平均的结果影响巨大。理论上，绝对指标（原始值、距平值）会抹去干燥地区（气候平均降水量较少的地区）降水变化，相对指标（距平百分率、标准化距平）会放大干燥地区降水变化[11-12]。

中国地区 1951 年以来地面气象观测台站数量迅速增加，但西部地区台站较为稀疏且空间分布很不均匀。全国范围内各站建站时间不一，早期的数据缺测情况较为严重，很可能对区域平均序列产生较大影响。在不同空间和时间尺度、不同资料完整度情形下，不同降水指标的适用性会有所不同。当前大部分降水变化分析工作使用距平百分率或者距平两种指标，但其合理性未被深入探讨，缺少对中国区域降水量、降水频率、日降水强度的不同距平指标之间差异的定量分析工作，难以减少研究的不确定性。

本文基于中国地区高密度地面台站日值降水资料，利用 5.0°×5.0° 经纬度网格面积加权区域平均方法获取各降水指标序列，并均还原成原始降水量进行定量对比分析，讨论适合于中国区域平均降水变化分析的数据处理方法。

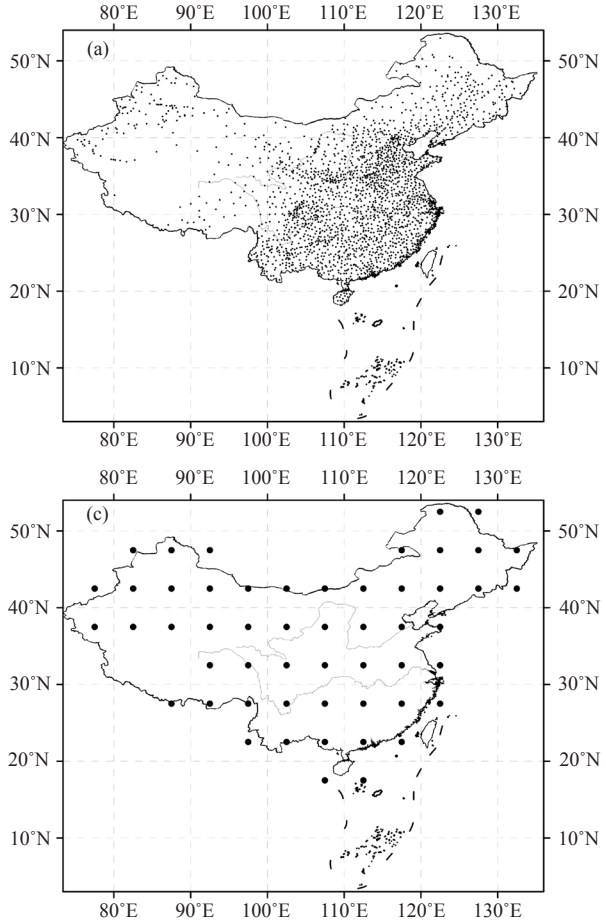
1　资料与方法

本文所用原始资料为国家气象信息中心提供的中国大陆区域 2425 个国家站逐日降水数据集、资料的起止时间为 1951—2016 年。计算所有要素距平的标准气候态是 1981—2010 年。本文对站点数据集进行了选站处理。某站某年存在任意一个月缺测天数达到 2 d 以上，则该年记为缺测。参考国家标准[13]，选取了研究时段（1951—2016 年）内至少有 50 个不缺测年且标准气候参考期（1981—2010 年）内至少有 25 个不缺测年的台站。75°～ 135° E，15°～ 55° N 的矩形区域内最终选用 2139 站，台站地理位置参见图 1(a)。100° E 以东的台站空间密度明显要大于 100° E 以西，以 100° E 为界线划分中国东部和中国西部，并对西部和东部地区进行区域平均序列的计算和分析。图 1(b) 上半部分表示中国西部和东部地区年有效台站数量，两地区的台站数量随时间有所增加，并在 1980 年之后趋于稳定。总体看来，东部的台站数量明显多于西部，但有效台站数量的时间变化不明显。

本文主要分析中国大陆区域年降水量（以下简称降水量）、年降水日数（以下简称降水日数）和年平均日降水强度（以下简称降水强度）长期趋势变化特征。降水量为每年全部日降水量的总和，单位为 mm。降水日数定义为日降水量≥ 0.1 mm 的天数，单位为 d。降水强度为年降水量与年降水日数之比，单位为 mm/d。如果某站某年一次降水也没有出现，该年的降水强度作为缺测处理。分别计算得到每个台站的降水量、降水日数、降水强度以及各自的距平、距平百分率、标准化距平序列。

采用经纬度网格加权平均方法[11]获取全国以及中国西部和东部的各种降水指标的区域平均序列。首先把研究区域按经纬度划分为 5.0°×5.0° 的网格，然后计算每个网格里所有站点值的算术平均，得到各网格的值。最后应用面积加权法计算所有网格的平均值，获得区域平均的时间序列。其中，如果区域中某年某网格无数据，则该网格不参与计算。图 1(c) 为中国范围所有有数据的网格的空间分布，全国范围内只有青藏高原西部的两个网格数据缺失。中国东部和西部的网格数目差异不多，远不如站点数量的差异明显。中国西部和东部的网格数量都随时间增加，网格数量在 1960 年之后趋于稳定（图 1b 下半部分）。

为便于比较不同的降水指标，将 1951—2016 年降水量、降水日数、降水强度的距平、距平百分率、标准化距平区域平均序列按照 Jones 等[11]提出的方法，统一还原成降水量数值，直接进行对比分析。距平、距平百分率和标准化距平的区



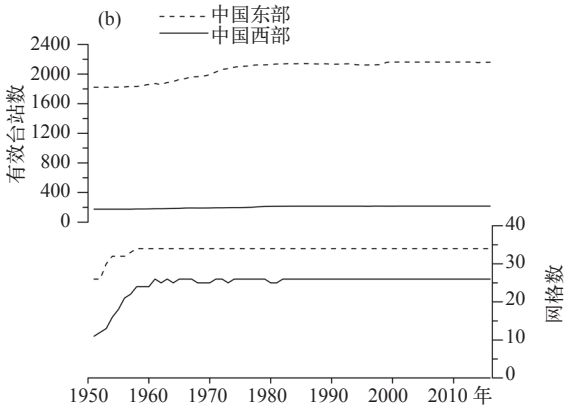


图 1 (a) 中国 2139 个降水观测站地理分布，(b) 非缺测的台站（上）和网格（下）数量随时间的变化，(c) 站点数据集插值成的 5.0° × 5.0° 网格地理分布

Fig. 1 (a) The spatial distribution of the selected 2139 stations, (b) number of stations (up) and grids (down) in West China and East China during 1951−2016, (c) the spatial distribution of the 5.0°×5.0° grids

域平均时间序列还原公式分别如下所示：

$$P_k = Y_k + \frac{\sum_{i=1}^{m}(\cos\theta_i)\times\overline{P}_i}{\sum_{i=1}^{m}(\cos\theta_i)}; \quad (1)$$

$$P_k = Y_k \times \frac{\sum_{i=1}^{m}(\cos\theta_i)\times\overline{P}_i}{\sum_{i=1}^{m}(\cos\theta_i)} + \frac{\sum_{i=1}^{m}(\cos\theta_i)\times\overline{P}_i}{\sum_{i=1}^{m}(\cos\theta_i)}; \quad (2)$$

$$P_k = Y_k \times \frac{\sum_{i=1}^{m}(\cos\theta_i)\times\overline{\sigma}_i}{\sum_{i=1}^{m}(\cos\theta_i)} + \frac{\sum_{i=1}^{m}(\cos\theta_i)\times\overline{P}_i}{\sum_{i=1}^{m}(\cos\theta_i)}; \quad (3)$$

其中 Y_k 分别为距平、距平百分率和标准化距平的第 k 年区域平均值，P_k 分别为距平、距平百分率和标准化距平的第 k 年区域平均值的还原值。$\overline{P}_i$ 和 $\overline{\sigma}_i$ 分别是第 i 个网格中标准气候期内所有台站的年降水量的平均值和标准差的平均值。

根据所有降水指标的区域平均序列和各个台站序列的相关系数，判别区域平均序列能否反映各个台站的变化，或者说台站的变化对区域平均的贡献。

2 结果分析

2.1 中国平均降水量、降水日数、降水强度原始值及三种距平指标还原值序列对比分析

中国区域平均的降水量原始值以及三种距平指标还原降水量值的时间序列显示（图 2），1951—1957 年，降水量原始值的区域平均结果异常偏高，是整个时段内的最高值，超出其他时段（如 1998 年）的较高值 100 mm 以上。还原之后的三种距平指标（以下正文中均省略“还原之后的”“还原值”等描述，“距平”“距平百分率”“标准化距平”均代表还原之后的值）的区域平均序列在 1950 年代只是略微偏高，数值与其他时间段的一些降水

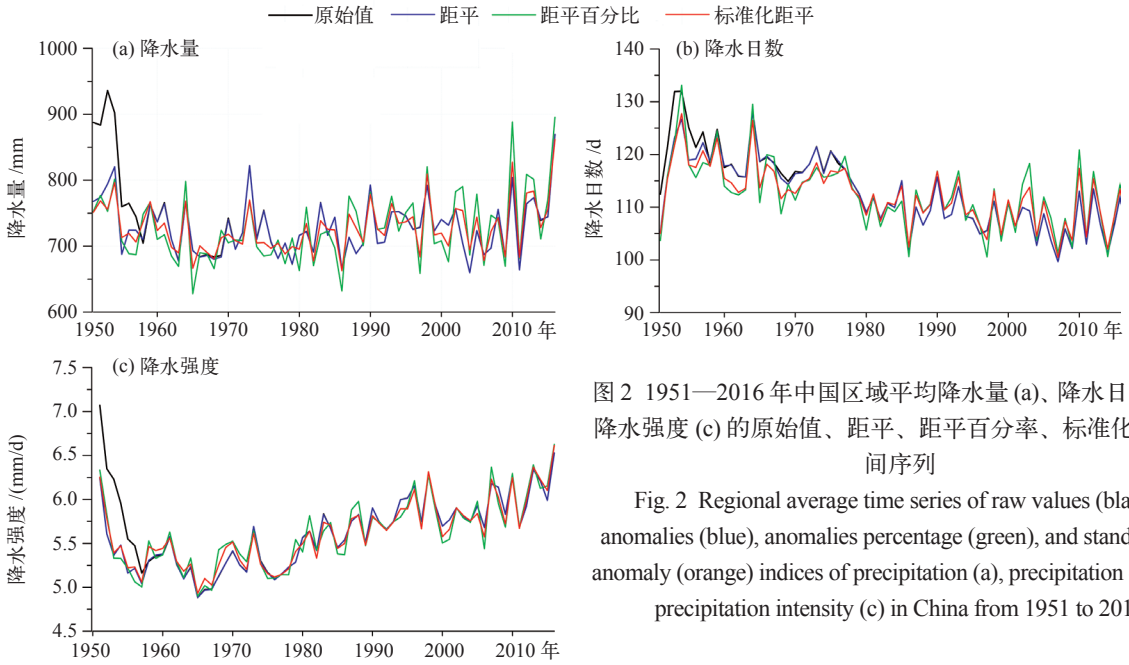


图 2 1951—2016 年中国区域平均降水量 (a)、降水日数 (b)、降水强度 (c) 的原始值、距平、距平百分率、标准化距平时间序列

Fig. 2 Regional average time series of raw values (black), anomalies (blue), anomalies percentage (green), and standardized anomaly (orange) indices of precipitation (a), precipitation days (b), precipitation intensity (c) in China from 1951 to 2016

量偏多年（如 1998 年）相差不多。1956 年之后区域平均降水量原始值迅速减少，1958 年之后降水量原始值和距平值序列基本重合，但是距平百分率和标准化距平与其存在一定偏差。其中距平百分率波动更明显，在降水量较多的年份比其他三种指标都要显著偏高，2010 年偏高达 50 mm 以上；标准化距平在大多数年份介于距平百分率和距平之间。由于降水量原始值早期虚假偏高，1951—2016 年的降水量原始值呈减少趋势，线性变化速率为 −6.32 mm/10a，但不显著。三种距平指标都呈现增加趋势，线性变化速率从小到大排序依次为距平 < 标准化距平 < 距平百分率，距平百分率序列的变化速率达到 7.45 mm/10a，通过了 0.05 的显著性水平检验，距平和标准化距平的增加趋势不显著（表 1）。

1950 年代（1951—1960 年，以下依此类推）全国平均降水量原始值序列的平均值达到了 491.3 mm，比距平、距平百分率、标准化距平指标偏高接近 100 mm，1960 年代之后，全国平均降水量原始值的平均值下降到 400 mm 左右，并且随着台站数量的逐渐增多，与距平值趋向于一致。1980 年代之前，在三种距平指标之中，降水量距平的年代平均最多，标准化距平次之，距平百分率最少；1990、2000 和 2010 年代距平百分率的

表 1 1951—2016 年中国区域平均降水量、降水日数、降水强度的原始值及其距平、距平百分率、标准化距平的还原值序列的线性趋势

Table 1 Linear trends of the regional average time series of raw values (Raw), the restore values of anomalies (AI), anomalies Percentage (PAI), and standardized anomaly (SAI) indices of the precipitation, precipitation days, and precipitation intensity in China from 1951 to 2016

降水序列	降水量趋势 /(mm/10a)			降水日数趋势 /(d/10a)			降水强度趋势 /((mm/d)/10a)		
	西部	东部	全国	西部	东部	全国	西部	东部	全国
Raw	−9.68**	−1.89	−6.32	−2.27**	−3.71**	−3.02**	0.05 *	0.16 **	0.10 **
AI	0.46	0.99	1.14	−1.29**	−3.36**	−2.54**	0.08 **	0.18 **	0.15 **
PAI	9.73 **	−1.46	7.45*	−0.16	−3.11**	−1.70**	0.08 **	0.15 **	0.14 **
SAI	4.64 **	−1.24	3.94	−0.34	−2.84**	−1.79**	0.07 **	0.15 **	0.13 **

注：Raw 表示原始值，AI 表示距平，PAI 表示距平百分率，SAI 表示标准化距平；* 表示通过 0.05 的显著性水平检验，** 表示通过 0.01 的显著性水平检验；下同。

年代平均值则转变为最多的（表 2）。这说明全国平均降水量距平百分率在年代际尺度上波动偏大，很可能会高估降水量的增加趋势。

从图 2 和表 2 中可以看出，1958 年之前，中国区域平均降水日数的原始值比各种距平指标偏多 5 ～ 10 d，导致 1950 年代平均降水日数原始值显著多于三种距平指标；1960 年之后，原始值与距平值逐渐趋于基本一致，1980、1990、2000 和 2010 年代平均的降水日数原始值和距平差异都在 0.1 d 以内。1977 年之前，距平百分率和标准化距平大多明显小于距平，之后趋向于一致，但 1990 年代之后两者的年代平均值都转变为多于距平值，其中距平百分率的正负波动更大一些。1958 年之前降水强度原始值明显比三种距平指标高，但 1959 年之后所有指标与原始值都相差不大。

1950 年代平均降水日数原始值偏高使其 1951—2016 年的变化速度达到了 −3.02 d/10a，变化速率显著高于距平百分率（−1.70 d/10a）和标准化距平（−1.79 d/10a），距平的变化速度 −2.54 d/10a 介于两者之间。1951—2016 年降水强度的变化速度均为正值，从大到小排列则依次为距平、距平百分率、标准化距平、原始值。虽然各种指标的全国平均时间序列具有一定差异，导致变化速率不同，但都显示 1951—2016 年中国平均降水日数显著减少而降水强度显著增强（表 1）。

2.2　中国西部和东部平均降水量、降水日数、降水强度原始值及三种距平指标还原值序列对比分析

1951—1955 年，中国西部区域平均降水量明显虚假偏高，相比其他时间段的最高值均超出 100 mm 以上，1951、1952 年降水量比正常年份偏多 200 mm 左右（图 3），应当是此时段内全国平均降水量偏高的主要来源。序列早期降水量原始值的虚假偏高，使得估算的 1951—2016 年线性变化趋势为显著的减少趋势，减少的速率达到了 −9.68 mm/10a（表 1），显然不符合观测事实。1956 年之后，随着参与计算的网格数增加，区域平均降水量原始值迅速减少，1960 年之后与距平值趋于一致。标准化距平值与它们有一定差异，但在大多数年份差异 <20 mm。降水量距平百分率的波动幅度明显大于其他指标，其在降水量较少的年份比降水量原始值、距平和标准化距平都偏少，而在降水量偏多的年份（如2010年、2016年）远远多于其他三种指标，偏差值超过 50 mm。总体来看，1951—2016 年中国西部降水量距平变化幅度不大，线性变化不显著；1980 年以来的距平百分率指标有非常显著的增加趋势，使 1951—2016 年的增加速率达到 9.73 mm/10a；标准化距平也显著增加，但增加速率只有距平百分率的一半左右（表 1）。

表 2 1951—2016 年中国区域平均降水量、降水日数、降水强度的原始值及其距平、距平百分率、标准化距平的还原值序列的年代平均值

Table 2 Decadal averages of the regional average time series of raw values, the restore values of anomalies, anomalies Percentage, and standardized anomaly indices of the precipitation, precipitation days, and precipitation intensity in China from 1951 to 2016

年代	降水量 /mm				降水日数 /d				降水强度 /(mm/d)			
	Raw	AI	PAI	SAI	Raw	AI	PAI	SAI	Raw	AI	PAI	SAI
1950	491.3	412.6	399.2	406.0	491.3	412.6	399.2	406.0	491.3	412.6	399.2	406.0
1960	405.8	402.2	375.5	391.1	405.8	402.2	375.5	391.1	405.8	402.2	375.5	391.1
1970	399.7	399.0	385.2	393.9	399.7	399.0	385.2	393.9	399.7	399.0	385.2	393.9
1980	406.3	405.6	401.1	402.4	406.3	405.6	401.1	402.4	406.3	405.6	401.1	402.4
1990	412.2	412.3	413.6	410.6	412.2	412.3	413.6	410.6	412.2	412.3	413.6	410.6
2000	410.7	410.7	437.1	422.1	410.7	410.7	437.1	422.1	410.7	410.7	437.1	422.1
2010	406.0	406.0	441.6	423.5	406.0	406.0	441.6	423.5	406.0	406.0	441.6	423.5

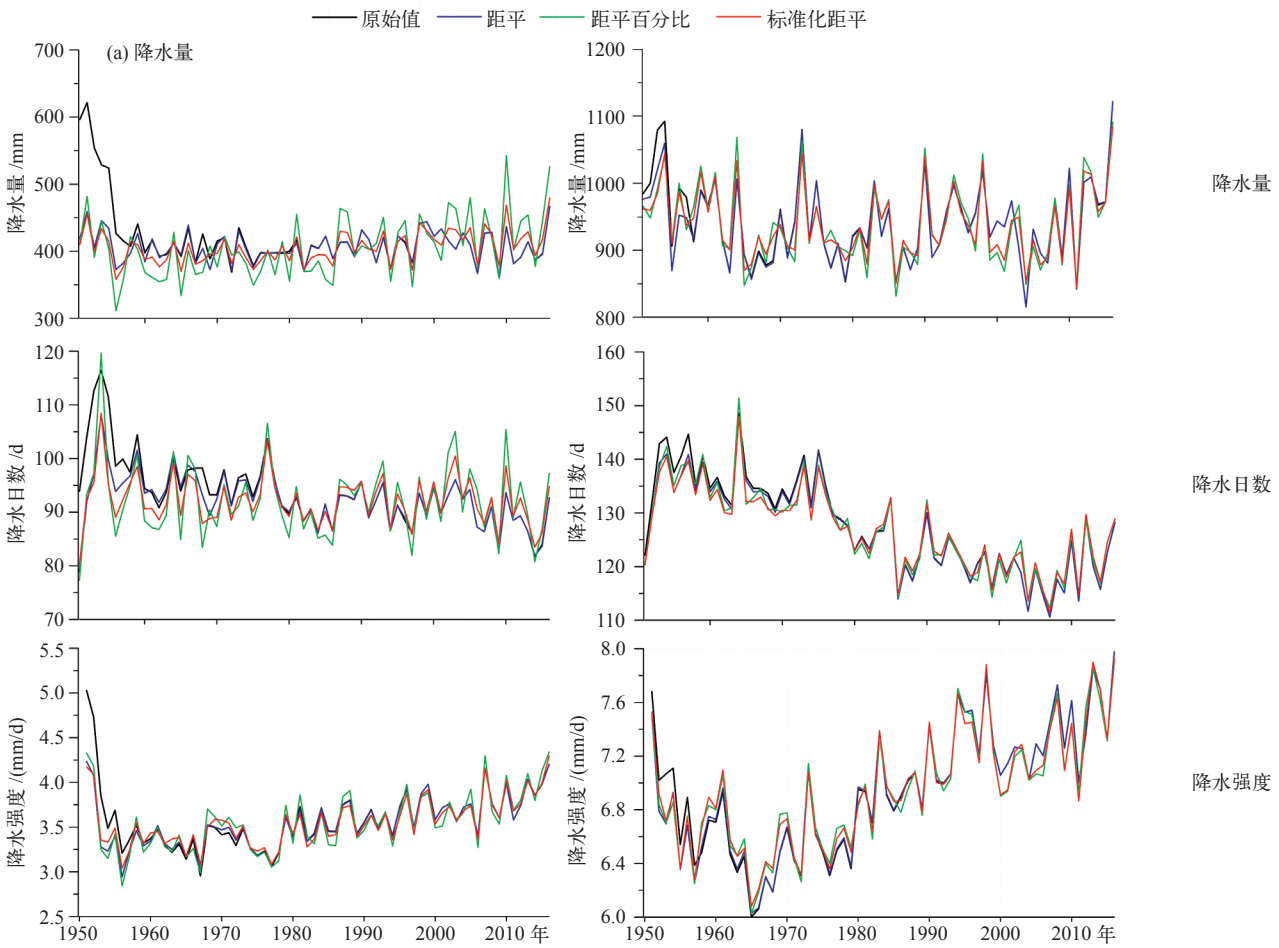


图 3 1951—2016 年中国西部、中国东部区域平均降水量、降水日数、降水强度的原始值、距平、距平百分率、标准化距平时间序列

Fig. 3 Regional average time series of raw values (black), anomalies (blue), anomalies Percentage (green), and standardized anomaly (orange) of precipitation (up), precipitation days (central), precipitation intensity (bottom) in western China (left) and eastern China (right) from 1951 to 2016

1958 年之前的中国东部平均降水量原始值也多于所有距平指标，但偏差量明显小于中国西部，均在 50 mm 以内。1960 年之后，随着网格的数目趋于稳定，中国东部地区各种降水指标的区域平均序列趋于一致，所有年份不同指标之间的差异均不超过 50 mm。中国东部的不同指标的年际振荡都相当明显，但相互之间的差异很小。所有降水指标的 1951—2016 年变化趋势绝对值都不超过 2 mm/10a，且均不显著（图 3，表 1）。总体来看，在中国东部应用不同数据处理方法得到的区域平均序列之间的差异较小，中国西部差异则较大，相比之下，降水量距平和标准化距平的序列较为稳定可信。

1951—1960 年，中国西部平均降水日数也比距平和标准化距平明显偏高，偏高的幅度可在 15 d 以上。距平百分率同样在整个时间段内波动显著偏大，其中 1953 年降水日数较多，区域平均距平百分率超过了原始值。1980 年之后，区域平均降水日数原始值和距平接近一致，标准化距平的波动略微大于距平。在整个研究时段内，中国西部平均降水日数略有减少，其中原始值和距平减少显著。

1951—2016 年，中国东部地区平均降水日数的四种不同指标序列都比较接近，相互之间的差异普遍不超过 5 d。四种指标都有显著的减少趋势，减少速率在 2 ~ 4 d/10a 之间不等，均通过了 0.01

的显著性水平检验。减少最显著的时间段是 1970 年代至 2000 年代，2010 年之后中国东部降水日数有所回升（图 3，表 1）。

1951—1955 年，中国西部和东部地区区域平均降水强度的原始值也比三种距平指标明显偏高。1960 年之后，原始值和距平值都趋向于一致。在中国东部，标准化距平和距平百分率基本一致，同距平的差异也很小。在中国西部，原始值、距平、标准化距平三种指标的区域平均结果相差无几，但距平百分率的波动幅度要大于其他三种指标。1960 年之后，所有处理方法得到的中国西部和东部降水强度序列都为明显增加趋势（图 3，表 1）。

综上所述，若资料的时间完整性出现变化，区域平均降水量原始值序列会出现显著偏差，其应用应当限制在数据完整性基本没有时间变化的情形下。距平百分率是一种波动较大，最不稳定的降水指标，在较为干燥的中国西部地区，区域平均距平百分率会出现明显偏大的波动，也可能导致虚假的降水量变化估算。距平的波动幅度较小，标准化距平的波动介于两者之间。在不同的资料时空完整性情况、不同气候值背景下，区域平均序列相对较为可靠的绝对指标是距平，相对指标是标准化距平。

2.3　中国平均降水量、降水日数、降水强度原始值及三种距平指标还原值序列相关分析

不同降水量指标的区域平均序列与各台站序列相关系数的大小可以体现出区域平均序列主要反映了哪些地区的降水变化情形（图 4），年降水量原始值的区域平均序列的变化同江南地区的降

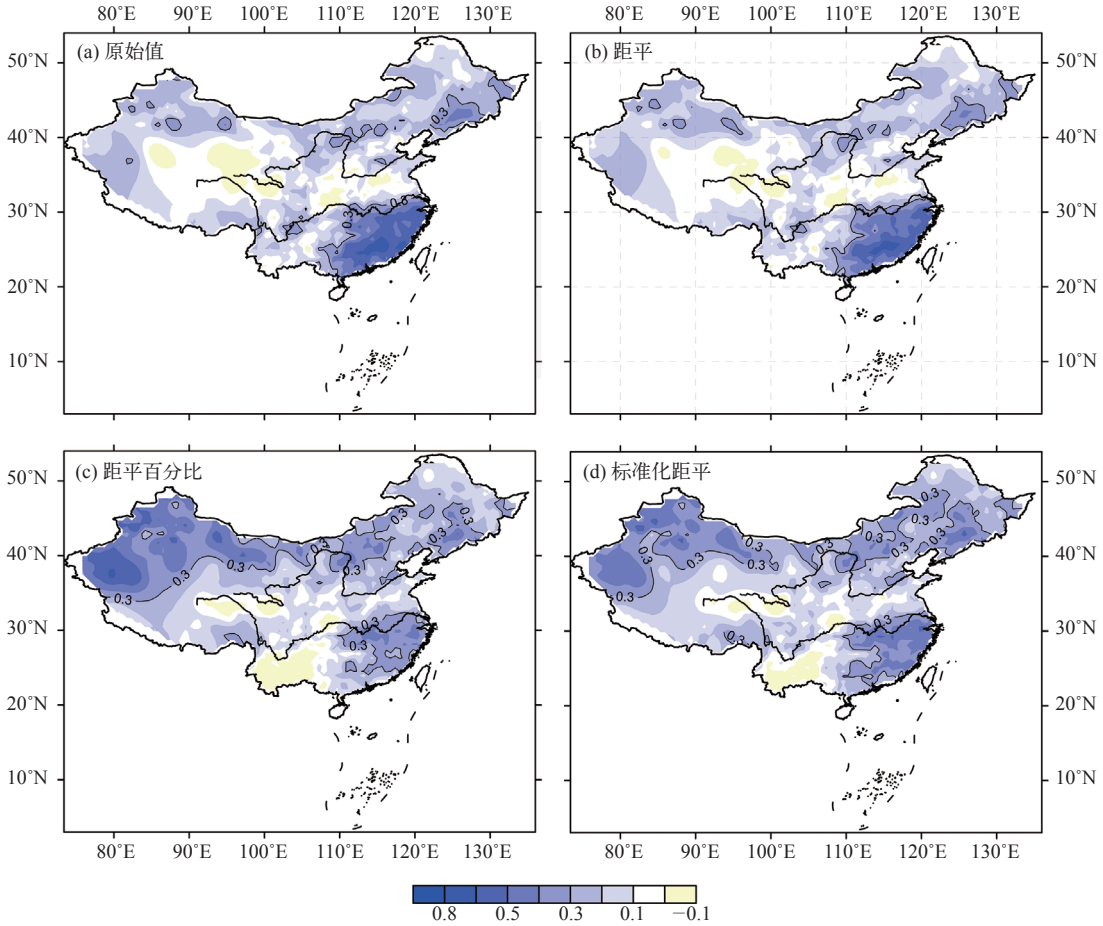


图 4　1951—2016 年全国区域平均年降水量时间序列与各台站时间序列的相关系数空间分布

Fig. 4　The spatial distribution of correlation coefficients of precipitation time series of original values (a), anomalies (b), percentages of anomalies (c), normalized anomalies (d) from 1951 to 2016 between regional average and each station

水量变化呈现出显著的正相关，相关系数＞ 0.3。青藏高原东北部地区则为较弱的负相关，其他地区为不显著的正相关（相关系数 <0.3）。年降水量距平的相关系数空间分布情形和原始值基本一致。年降水量距平百分率的相关系数空间分布则和原始值有较大差异，其在中国西北地区相关显著，相关系数大多超过 0.3，江南地区和东北地区次之，大多介于 0.2 ～ 0.4 之间。青藏高原东部和西南地区与全国平均序列的相关系数很小，部分地区呈现出负相关。标准化距平的相关系数分布则介于距平和距平百分率之间，只在青藏高原东部和西南地区的相关系数很小或者为负相关，在全国其他区域的相关系数基本都介于 0.1 ～ 0.4 之间，相关系数在全国的分布相对较为均匀。

从图 5 可以看出，100° E 以东大部分地区的降水日数原始值变化都与全国区域平均序列的变化较为一致，相关系数 >0.3，其中 40° N 以南地区相关系数 >0.4。100° E 以西的中国西部地区的降水日数序列与全国区域平均的相关很不明显，大部分地区都在 −0.3 ～ 0.1 之间。年降水日数距平的相关系数空间分布情形和原始值基本一致。中国东部地区和西北地区的年降水日数距平百分率序列与全国平均的相关系数都较大，在 0.2 ～ 0.4 之间。青藏高原地区的相关系数普遍很小，其中高原中部和东部部分地区为负相关。降水日数标准化距平的相关系数空间分布则介于距平和距平百分率之间，中国东部地区与全国的相关要大于中国西部，但中国西北大部分地区的相关系数也

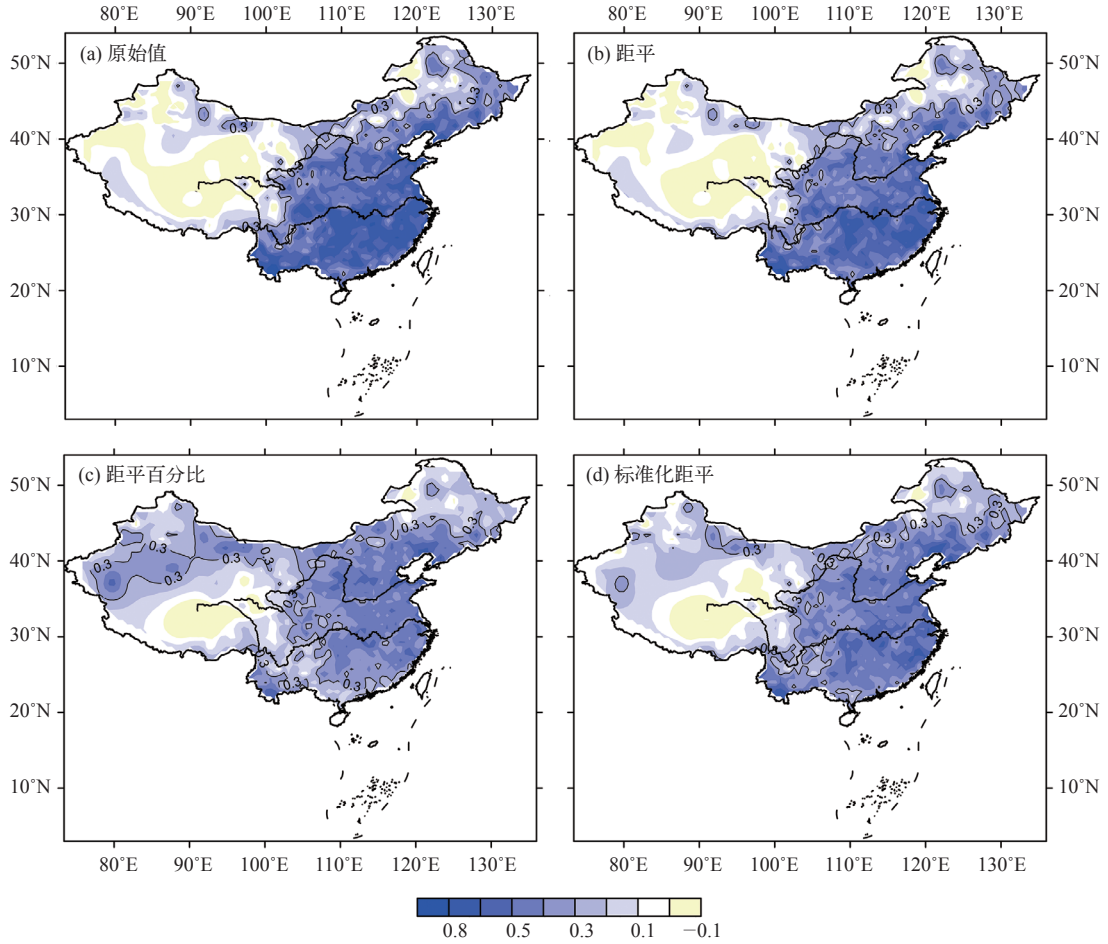


图 5 1951—2016 年全国区域平均年降水日数时间序列与各台站时间序列的相关系数空间分布

Fig.5 The spatial distribution of correlation coefficients of precipitation frequency time series of original values (a), anomalies (b), percentages of anomalies (c), normalized anomalies (d) from 1951 to 2016 between regional average and each station

在 0.1 ～ 0.3 之间，只有青藏高原中东部的相关系数为负值。

全国平均日降水强度的原始值和三种距平指标序列与中国大陆大部分区域的相关系数空间分布不存在显著差异，数值都在 0.1 ～ 0.4 之间，空间分布较为均匀，只有内蒙古东部部分区域的相关系数较低，江南大部分地区、云南西南部、北疆等地区相关系数较为显著（图 6）。

总之，无论降水量、降水日数还是降水强度，原始值与距平的相关空间分布都基本一致，标准化距平的相关系数分布则介于距平和距平百分率之间。对于降水量和降水日数，原始值和距平的区域平均序列变化基本由中国东部地区的变化构成，距平百分率的相关系数空间分布则具有很大差异，在降水量变化方面主要反映中国西部地区的降水变化情形，在降水日数的变化方面可以较为均匀地反映全国大部分地区的变化情形。所有指标的降水强度的相关系数在全国大部分地区都相差不大，且空间分布较为均匀，说明中国区域平均降水强度的变化对指标的选择不敏感，不同距平指标之间的差异不大，区域平均序列都可以较好地反映出中国大部分地区的降水强度变化情况。

3 结论和讨论

本文利用国家气象信息中心提供的中国地面 2139 站逐日降水数据集，采用 5.0° × 5.0° 经纬度网格面积加权区域平均方法，分析不同降水指标的应用给区域平均降水变化估算带来的影响，得到了以下主要结论。

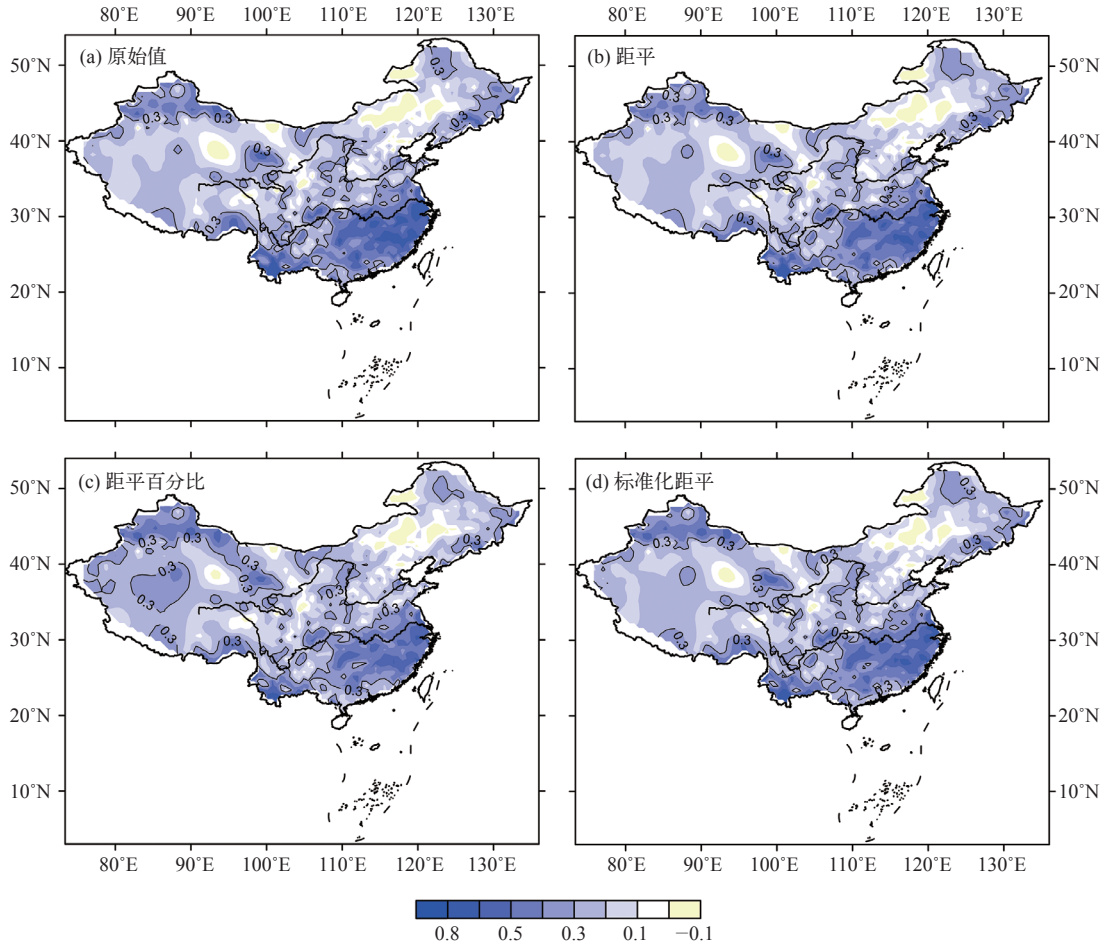


图 6 1951—2016 年全国区域平均日降水强度时间序列与各台站时间序列的相关系数空间分布

Fig.6 The spatial distribution of correlation coefficients of precipitation intensity time series of original values (a), anomalies (b), percentages of anomalies (c), normalized anomalies (d) from 1951 to 2016 between regional average and each station

(1) 降水量、降水日数、降水强度的原始值区域平均序列都受降水数据的时间完整性影响显著。1951—2016 年，中国区域平均年降水量原始值略有减少，但降水量距平、距平百分率、标准化距平都呈增加趋势。主要原因是 1951—1957 年参与计算的网格与之后存在显著差异，导致用降水量原始值估算的全国平均降水量出现虚假的偏高，尤其是在数据完整性差、区域降水量分布差异大的中国西部地区，偏高可达 200 mm 以上。无论全国、中国西部还是中国东部，降水日数和降水强度原始值的区域平均结果也在 1951—1957 年出现较大误差，且数据完整性较差的中国西部地区误差要明显大于东部地区。

(2) 在较为干燥的中国西部，区域平均降水量、降水日数、降水强度距平百分率序列振荡幅度均偏大，导致估算的降水量变化速率显著偏高，降水日数减小速率偏弱。中国东部地区的距平百分率序列则与其他指标序列的差异不明显。

(3) 降水量、降水日数、降水强度的区域平均距平和标准化距平序列都较为稳定，波动小，在不同数据完整性和不同气候值背景场下均未出现显著误差。标准化距平序列多位于距平序列和距平百分率序列之间。

(4) 区域平均降水量、降水日数的原始值和距平值序列都基本是中国东部地区降水变化的反映，而降水量距平百分率的变化则主要由较为干燥的中国西北地区的降水量变化所构成；降水日数距平百分率的区域平均结果可以反映全国大多数区域的变化事实。区域平均降水量标准化距平序列相关分布介于距平和距平百分率之间，中国西部和东部权重相差不大，降水日数标准化距平则在中国东部权重略高。区域平均降水强度的各种指标序列都可以较好地反映全国大部分地区的变化。

本文计算得到的全国平均降水量原始值、距平、距平百分率、标准化距平序列与以往的研究结论相差不大。本文发现 1951—2016 年全国平均降水量原始值显著下降，是由 1951—1957 年数据缺测引起的序列虚假偏高导致的。任国玉等 [12] 由于没有采用 1951—1955 年的降水量数据，并未发现 1956—2013 年全国平均降水量原始值有明显变化。然而本文发现 1956—1957 年降水量、降水日数、降水强度的原始值也有较明显的虚假偏多，其估算的变化趋势很可能仍然存在一定误差。若需使用这些降水指标原始值的区域平均序列计算趋势，起始年份不宜早于 1960 年。

降水量、降水日数、降水强度距平指标的区域平均序列受资料完整性问题影响较小，比较稳定。然而，由于全国平均降水量和降水日数距平序列基本不能表现出广大西部地区的变化情形，因此不宜用其代表全国总体降水变化。区域平均距平百分率和标准化距平序列可以反映中国东西部不同区域的降水变化情况，其中较为常用的降水量距平百分率序列在降水量偏少地区的权重明显较大，部分台站的一次极端强降水事件可能引起全国平均降水量距平百分率估计值的显著改变，使序列的振荡幅度明显偏大。虽然使用距平百分率序列同样可以得出近几十年来全国总体降水日数减少、降水强度增加等事实清楚的结论，但估算的变化趋势均显著偏高。

无论降水量、降水日数还是降水强度，标准化距平指标在各个时间段的区域平均值大都介于距平和距平百分率之间，区域平均序列可以反映中国大部分地区的变化，并且受干燥区极端强降水事件的影响小于距平百分率，如需要使用相对降水指标，应用标准化距平更为合适，这也与 Jones 等 [11] 对各大洲降水变化的分析结果一致。

总之，较大区域的降水量、降水日数、降水强度变化分析工作中，如果研究目的侧重于水汽、降水量级、事实上的气候变化等方面，应当选用距平指标；如侧重于农业生产、水资源利用等气候变化影响分析方面，则标准化距平指标较为适合。■

参考文献

[1] Trenberth K E, Dai A, Rasmussen R M, *et al*. The changing character of precipitation [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2003, 84 (9): 1205-1217

[2] Easterling D R. Climate extremes: observations, modeling, and impacts [J]. Science, 2000, 289 (5487): 2068-2074

[3] Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, *et al*. Global observed changes

in daily climate extremes of temperature and precipitation [J]. Journal of Geophysical Research, 2006, 111 (D5): 1042-1063

[4] Donat M G, Alexander L V, Yang H, *et al*. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: the HadEX2 dataset [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2013, 118 (5): 2098-2118

[5] Stocker T F, Qin D, Plattner G K, *et al*. IPCC. Climate change 2013: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013

[6] Wan H, Zhang X, Zwiers F W, *et al*. Effect of data coverage on the estimation of mean and variability of precipitation at global and regional scales [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2013, 118 (2): 534-546

[7] 任国玉 , 战云健 , 任玉玉 , 等 . 中国大陆降水时空变异规律 : I. 气候学特征 [J]. 水科学进展 . 2015, 26 (3): 299-310. Ren G Y, Zhan Y J, Ren Y Y, *et al*. Spatial and temporal patterns of precipitation variability over mainland China: I. Climatology [J]. Advances in Water Science, 2015, 26 (3): 299-310 (in Chinese)

[8] Liang L, zhao L, Gong Y, *et al*. Probability distribution of summer daily precipitation in the Huaihe basin of China based on gamma distribution [J]. Journal of Meteorological Research, 2012, 26 (1): 72-84

[9] Jamaludin S, Jemain A A. Fitting the statistical distributions to the daily rainfall amount in Peninsular Malaysia [J]. Journal Teknologi, 2007, 46 (1): 33-48

[10] Ison N T, Feyerherm A M, Bark L D. Wet period precipitation and the Gamma distribution [J]. Journal of Applied Meteorology, 2010, 10 (10): 658-665

[11] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations [J]. International Journal of Climatology, 1996, 16 (4): 361-377

[12] 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. Ren G Y, Ren Y Y, Zhan Y J, *et al*. Spatial and temporal patterns of precipitation variability over mainland China: II: Recent trends [J]. Advances in Water Science, 2015, 26 (4): 451-465 (in Chinese)

[13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 , 中国国家标准化管理委员会 . 中华人民共和国国家标准 : 地面标准气候值统计方法 (GB/T 34412–2017) [S]. 北京：中国标准出版社 , 2017: 1-16. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. National standard of the People's Republic of China: statistical method for surface standard climate normals (GB/T 34412–2017) [S]. Beijing: Standard Press of China, 2017: 1-16 (in Chinese)

The influence of data processing on constructing regional average precipitation time series

ZHAN Yun-Jian[1], REN Guo-Yu[2, 3], WANG Peng-Ling[2]

1 *National Meteorological Information Center, China Meteorological Administration, Beijing* 100081*, China*;
2 *National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing* 100081*, China*;
3 *Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan* 430074*, China*

Abstract: The selection of different anomaly indicators will make a significant difference to study the long-term variation of precipitation in a wide range of areas using surface observation data. Daily precipitation data of 2139 national stations in the Chinese mainland were used to construct the regional average time series of precipitation, precipitation days and precipitation intensity, obtained from different indicators. These series were compared to explore the deviation of the long-term trend estimation in precipitation for western China, eastern China, and the entire China. The results shows that from 1951 to 1957, the regional average raw values of precipitation, precipitation days, and precipitation intensities in China had spuriously high biases due to the lack of data from stations in western China, which caused large deviations in the linear trend estimates from 1951 to 2016. In western China, the time series of the regional average precipitation anomaly percentages had excessive fluctuations. The changes in series of anomalies and normalized anomalies were reasonable in every region. The regional average time series of the original values and anomaly values of precipitation amount and days of the entire China basically reflected the precipitation changes in the humid regions in eastern China, while the precipitation anomaly percentages were mainly composed of the precipitation changes in the arid regions. Normalized anomaly could comprehensively reflect the precipitation changes in humid regions and arid regions.

Keywords: Regional average; Indicator; Precipitation; Time series; Climate change