

韩振宇, 周天军. 2012. APHRODITE 高分辨率逐日降水资料在中国大陆地区的适用性 [J]. 大气科学, 36 (2): 361–373, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2011.11043. Han Zhenyu, Zhou Tianjun. 2012. Assessing the quality of APHRODITE high-resolution daily precipitation dataset over contiguous China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 36 (2): 361–373.

APHRODITE 高分辨率逐日降水资料在 中国大陆地区的适用性

韩振宇^{1,2} 周天军¹

1 中国科学院大气物理研究所 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘 要 日本 APHRODITE (Asian Precipitation-Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources) 研究计划建立了一套高分辨率的逐日亚洲陆地降水数据集 (简称 APHRO), 时间从 1951 年到 2007 年, 空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 。本文从气候态、不同等级降水量分布以及长期变化等方面分析, 通过与中国 559 个台站观测资料对比, 考察了该降水资料在中国地区的适用性。结果表明: (1) 气候态分布方面, APHRO 降水量与台站资料一致, 并且可以准确表征雨带的季节性移动; 但是, 与台站资料相比, 这套资料的降水强度偏小, 而降水频率偏大。(2) 考察不同等级降水量的分布发现, APHRO 资料的暴雨年降水量相对偏少, 而小雨和中雨的年降水量偏多。(3) APHRO 资料揭示的近 50 年降水量的变化趋势与台站资料大致相同, 并能反映年平均降水频率“西增东减”的趋势; 两套资料近 50 年的年平均降水强度在东南沿海和西北部等区域都呈增加趋势, 但 APHRO 在华北、东北和江淮区域的降水强度变化趋势与台站资料差异显著。此外, 在年代际变化方面, APHRO 资料对中国东部降水夏季“南涝北旱”和“江南春旱”强度的描述与台站资料有所不同, 降水量的变化趋势偏弱。

关键词 高分辨率 降水强度 降水频率 降水等级 趋势

文章编号 1006-9895 (2012) 02-0361-13

中图分类号 P468

文献标识码 A

doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.2011.11043

Assessing the Quality of APHRODITE High-Resolution Daily Precipitation Dataset over Contiguous China

HAN Zhenyu^{1,2} and ZHOU Tianjun¹

1 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract A daily gridded precipitation dataset (APHRO) for Asia was created by the Asian Precipitation-Highly Resolved Observational Data Integration Towards the Evaluation of Water Resources (APHRODITE) project in Japan. The resolution of this dataset is $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, and the length is from 1951 to 2007. This study aims to assess the quality of the APHRO rainfall in contiguous China from the perspective of climatological mean, rainfall classes, and long-term trend. Daily rainfall records observed by 559 rain gauges are used for the comparison. The results are as follows: (1) For the mean states, the APHRO shows similar distribution of precipitation amount to station data,

and can accurately characterize the seasonal migration of rain-belt. However, compared with station data, this dataset underestimates precipitation intensity, but overestimates precipitation frequency. (2) For the distribution of different classes of precipitation, annual mean precipitation amount for heavy rainfall derived from the APHRO data is lower, while the amounts for light and moderate rainfall are higher than the station data. (3) The trends of precipitation amount in China during 1956–2005 derived from two dataset are identical, the trends of precipitation frequency are also highly consistent, and both show an “increase in the west but decrease in the east” pattern. A large difference between the two datasets is found in the spatial pattern of precipitation intensity trends. The precipitation intensity derived from station data shows an increasing trend throughout the Chinese mainland in the past 50 years; the APHRO data exhibit a similar trend in the southeastern coastal region and northwestern China, but a different pattern in northern China, northeastern China, and Jianghuai region. In addition, analysis on the seasonality of interdecadal variability indicates that the characteristics of “southern China flood and northern China drought” and “Jiangnan late spring drought” derived from the APHRO data are different from those derived from station data. The APHRO data tend to underestimate the trends.

Key words high-resolution, precipitation intensity, precipitation frequency, precipitation classes, trend

1 引言

降水是全球能量和水循环过程的重要组成部分,降水特性的变化是气候变化和变率研究重点关注的问题。受台站时空分布不均匀等因素的影响,高精度的降水观测资料极为欠缺(Xie et al., 2007)。亚洲季风区降水受季风和复杂地形的综合影响,呈现出明显的季节和区域特性,开展季风变化和变率研究需要高分辨率的观测资料。由于卫星遥感资料时间较短,对亚洲季风区降水变化的研究,当前主要依靠台站观测资料。因此,如何把不均匀分布的台站降水资料处理成均一化的网格资料,以用于气候模式检验和诊断分析,对于气候变化和变率研究至关重要。

气候变暖背景下极端降水事件的变化是气候变化研究重点关注的问题。近年来,针对降水频率、降水强度以及不同等级降水变化特征的研究逐渐增多,这些工作的基础是逐日分辨率以上的降水资料(Zhai et al., 2005; 王大钧等, 2006; 王颖等, 2006; Qian et al., 2007; 李红梅等, 2008; 林云萍和赵春生, 2009)。与此同时,近年来气候模式的水平分辨率提高很快,一些模式的分辨率已经接近乃至高于 20 km,检验和改进模式需要高分辨率的观测资料作为基础。因此,无论是气候变化研究还是高分辨率气候模式的发展,都需要高时空分辨率的网格化降水资料。

目前,已经有诸多基于台站资料和卫星产品的高分辨率网格化降水资料,例如全球逐日的 $1^\circ \times 1^\circ$

降水数据集 GPCP-1DD (Huffman et al., 2001)、美国气候预测中心发布的全球逐日 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 陆地降水数据集 CPC_UNI_PRCP (Chen et al., 2008) 等。在我国, Feng et al. (2004) 利用全国 726 个站点资料,建立了 $1^\circ \times 1^\circ$ 的格点化逐日降水资料; Xie et al. (2007) 建立了分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的东亚日降水数据集; 胡江林等 (2008) 建立了针对长江流域的分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 的逐日降水资料集。上述资料或是分辨率虽高但范围小,或是范围虽大但分辨率低,或是资料涵盖的时间段太短,因此难以满足当前的研究需求。

近年来,日本综合地球环境研究所 (RIHN) 和日本气象厅气象研究所 (MRI/JMA) 联合实施了 APHRODITE (Asian Precipitation-Highly Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of Water Resources) 计划。该计划整编了亚洲各国和地区的雨量站观测资料,在此基础上,建立了一套逐日的、高分辨率的网格化降水数据集 (Yatagai et al., 2009)。这套数据集也是目前唯一覆盖整个亚洲地区的高分辨率长时间 (1951 年开始) 的陆地降水网格化资料。目前,该数据集已经开始被应用于气候变化和水循环研究、高分辨率模式结果的检验等领域。例如, Kitoh and Kusunoki (2008) 用该资料检验了 20 km 高分辨率全球大气环流模式的性能; Yang et al. (2010) 基于该资料分析了长江下游夏季降水的季节内变率等。不过,该数据集在中国地区的质量如何、能否合理描述中国地区的降水变化特征等,此前缺乏类似的

分析。本文从降水气候态、不同等级降水量分布和长期变化特征三个方面,对该资料进行了系统检验,指出了该资料存在的问题,结果可为我国气候研究领域使用该资料提供基础参考。

2 资料与方法简介

2.1 资料简介

APHRODITE 计划制作的降水数据集包括四个子数据集,分别描述季风区(MA)、中亚(ME)、俄罗斯(RU)和日本(JP)的降水特征,范围覆盖了整个亚洲区域。本文分析的是 APHRO_MA V1003R1 数据集,空间范围是(15°S~55°N, 60°E~150°E),主要包括中国、日本、蒙古、印度,东南亚的所有国家,以及中亚的部分国家。该数据集的分辨率是 0.25°×0.25°,时间从 1951 年到 2007 年。APHRO_MA V1003R1 在中国地区主要采用了中国气象局提供的台站资料,以及世界气象组织整编的 GTS 数据(Yatagai et al., 2009)。本文把该资料简称为 APHRO 资料,选取 1956~2005 年进行分析。

本文使用的台站观测资料由中国气象局气象信息中心资料室整编,是全国从建站开始到 2005 年的地面气候资料日值数据集,共包括全国 753 个站点的观测资料,经过较严格的质量控制。检查发现,原始资料存在部分测站资料序列不完整、各站

的序列长度不统一等问题。为了保持资料的准确性和完整性,本文对缺测记录做如下处理(翟盘茂等, 1999):当一年内缺测日数超过 20 天(约大于一年内实际观测日数的 5%)时,该年的统计量被设为缺测;当 50 年序列中缺测年数超过 5 年时,该测站被排除使用。经过上述处理以后,最终有 559 站的 1956~2005 年逐日降水资料,以下简称 STN 资料。图 1 中用黑点标示出 559 个台站的站点位置,用叉点标示剔除台站的位置。站点除了在青藏高原西部和新疆沙漠地区分布较稀疏外,在其他地区分布较为密集,因此 559 站降水资料能较好描述我国降水的特征。

本文分析的统计量包括降水强度和降水频率,这两个量的计算受到网格分辨率的影响,因此,本文把 559 站的逐日降水资料插值到与 APHRO 相同的均匀网格。考虑到降水变化局地性强,同时部分地区的站点较少,本文采用逐步订正的客观分析方法进行空间插值,影响半径选用 3°、2°、1°、0.5°。

2.2 分析方法

本文所用的主要统计指标包括降水频率、降水强度和降水等级。降水频率是有效降水日数占总日数的比例,本文定义日降水量大于 0.1 mm 是有效降水,发生有效降水的日子称为有效降水日。降水强度是有效降水日的平均降水率,有效降水日的定义阈值与前面相同。同时,本文参考气象预报业务

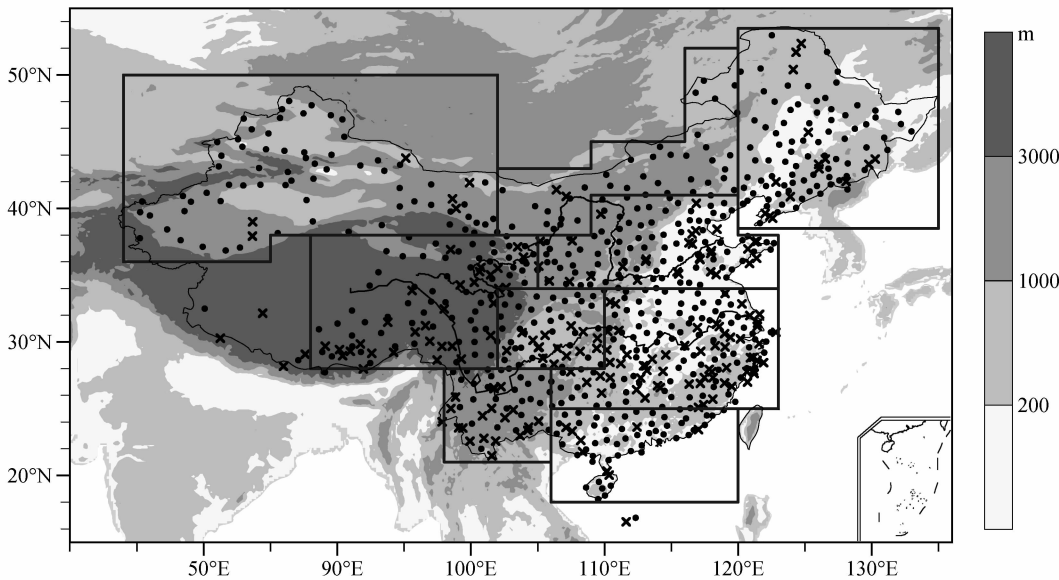


图1 台站位置和区划分布示意图。黑点:本文选用的 559 站位置;叉点:剔除台站的位置;阴影:地形分布(单位:m)
Fig.1 Topographic distribution (shaded) over China, together with locations of rain gauge stations used (559 stations, closed circle) and rejected (cross mark) in this paper. Nine sub-regions are outlined for regional averaging

上的分级规范, 按日降水量大小依次分成小雨 (0.1~9.9 mm/d)、中雨 (10~24.9 mm/d)、大雨 (25~49.9 mm/d) 和暴雨 (≥ 50 mm/d) 4 个不同强度的降水等级。

我国夏季降水量的地域性差异较大, 降水量的空间分布不能直接反映雨带的移动规律, 逐月降水相对系数可以较好地反映各月主要雨带的位置 (陈烈庭和吴仁广, 1994)。所谓降水相对系数, 就是气候态逐月降水量与年总降水量之比, 其空间分布可用来表征雨带的季节移动。

此外, 本文用线性拟合的分析方法进行趋势分析。某降水统计量 X 可以表示为以时间 t 为自变

量的一元线性回归方程 $X = a + bt$, t 为年份序号 (以顺序编号 1, 2, 3, ... 表示), a 和 b 为拟合参数。利用最小二乘法可以求出趋势系数 b , 该降水统计量 X 的变化趋势便可用趋势系数 b 来表示。

3 气候态特点

3.1 降水量

图 2 是 APHRO 及 STN 资料的降水量空间型态分布。我国年平均降水量存在很强的空间不均匀性, APHRO 与 STN 资料对此空间分布特征的描述一致, 都体现出了从西北向东南增多的空间分布; 二者的空间相关系数达到 0.95, 均方根误差为

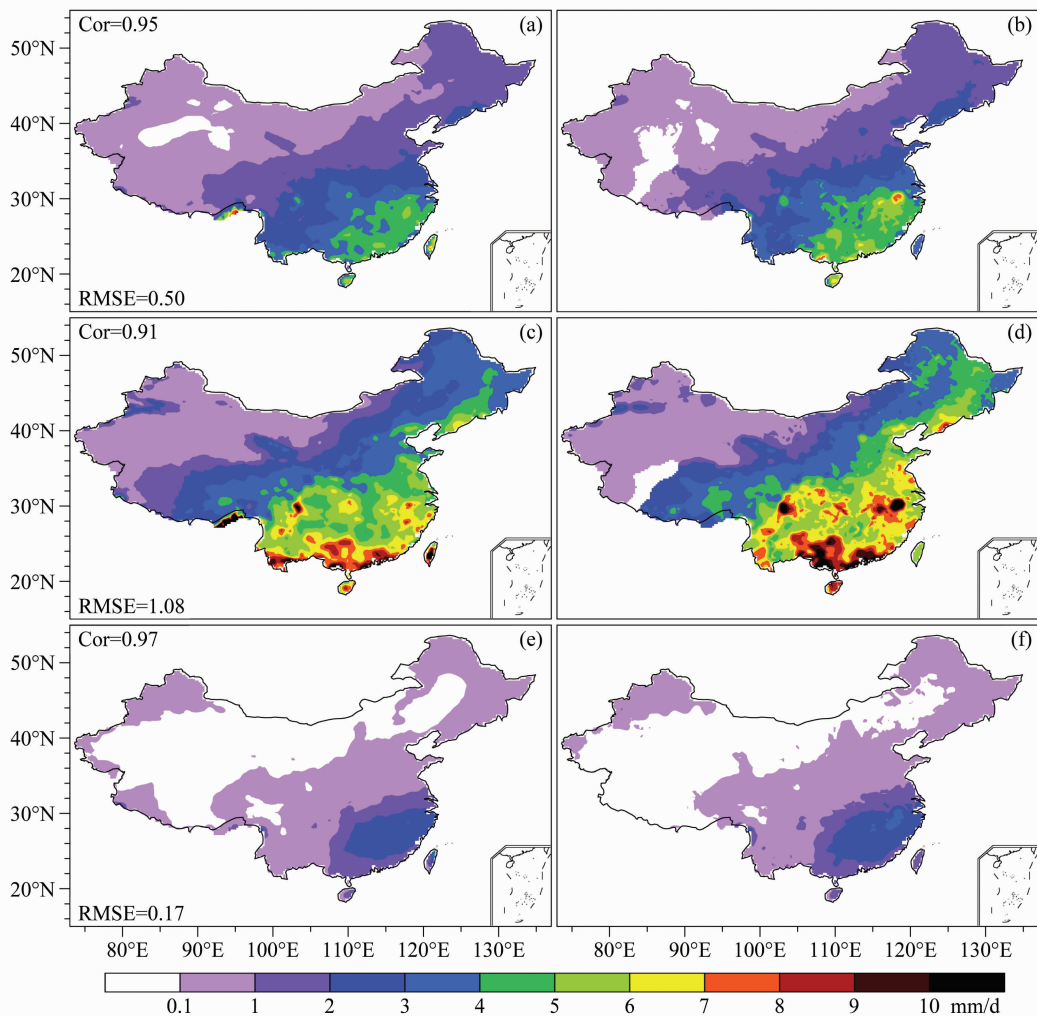


图 2 (a, b) 年平均和 (c, d) 夏季和 (e, f) 冬季平均降水的空间分布 (单位: mm/d): (a, c, e) APHRO 资料 (左上角数值表示两套降水资料的空间相关系数, 左下角数值表示二者的均方根误差); (b, d, f) STN 资料

Fig. 2 Spatial distributions of the average (a, b) annual, (c, d) summer, and (e, f) winter precipitation amount during 1956–2005 from (a, c, e) APHRO data and (b, d, f) STN data. The numbers shown in the upper corners in (a, c, e) indicate pattern correlation coefficients with STN data; the numbers shown in the lower corners in (a, c, e) indicate root mean square error with STN data

0.50 mm/d (远远小于平均降水量), 表明两套资料年平均降水量的空间分布型态差异很小。

受到季风的影响, 我国降水量的季节差异明显。在冬季 (DJF), 各地平均降水均小于 3 mm/d, 只有华南沿海地区在 2~3 mm/d 之间, 其它地区基本小于 1 mm/d; 到夏季 (JJA) 期间, 雨带明显北进, 大于 3 mm/d 的区域扩大到东北地区 and 青藏高原东部。降水的上述分布和季节变化在两套资料中也有一致的表现。分季节统计两套资料降水量的相似度 (表 1), 两者相关系数都在 0.91 以上, 均方根误差在 0.45~1.08 mm/d 之间, 夏季两套资料的差异最大。

表 1 APHRO 与 STN 资料气候态降水分布的空间相关系数与均方根误差 (单位: mm/d)

Table 1 Pattern correlation coefficients and root mean square errors (units: mm/d) of the average annual and seasonal precipitation amount during 1956 - 2005 between APHRO and STN data

	春	夏	秋	冬	年平均
相关系数	0.98	0.91	0.93	0.97	0.95
均方根误差	0.46	1.08	0.45	0.17	0.50

3.2 降水频率和降水强度

总降水量等于降水强度、降水频率和总天数的乘积 (Zhou et al. 2008)。中国年平均降水频率有明显的区域特征 (图 3a), 但并无与降水量类似的自西北向东南增多的梯度分布。年平均降水频率最小的地区位于西北干旱地区, 大于 60% 的大值中心包括四川盆地、藏南地区、江浙沿海以及 25°N 以南的大部分区域。图 3b-e 给出了 APHRO 资料各季节平均降水频率的空间分布。冬季, 除天山以北和长江以南地区, 全国降水频率普遍低于 40%。春秋两季的空间分布非常相似, 低于 40% 的范围相比冬季小很多, 只包括西北干旱区和华北地区; 同时, 华南春雨和华西秋雨等特征在季平均降水频率的空间分布中表现明显。大部分地区的降水集中在夏季, 夏季平均降水频率多超过 40%, 云南地区和青藏高原的大部分地区甚至超过 90%。根据两套资料年、季平均降水频率的差值 (图 3f-j), 发现无论是年平均还是各季节平均, APHRO 资料的降水频率都普遍大于 STN 资料。

年平均降水强度 (图 4a) 的分布表现出东南部

偏强, 西北部偏弱的特征, 与年平均降水量的分布特点相一致。年平均降水强度在长江中下游和华南沿海的部分地区超过 10 mm/d; 西北部普遍低于 3 mm/d, 低值中心不足 1 mm/d。各季的平均降水强度都从东南向西北减小, 冬、春以及夏、秋的分布都非常相似 (图 4b-e)。大于 10 mm/d 的季平均降水强度中心出现在春夏两季, 分布在长江中下游与华南沿海, 与年平均的高值中心对应; 秋季在南部沿海也有大于 6 mm/d 的降水强度高值分布, 可能与台风降水相关; 四季的低值中心都位于新疆中部地区。图 4f-j 给出两套资料年、季平均降水强度的差值。无论是年平均还是各季节平均, APHRO 资料的降水强度都普遍小于 STN 资料, 这与 APHRO 的降水频率偏大相一致。江淮地区 APHRO 降水强度的偏小非常明显, 年平均偏小 3 mm/d 以上, 并且主要由夏季的偏差贡献。

3.3 雨带的季节移动

我国东部降水具有鲜明的季风气候特点, 能否准确表征雨带的季节性移动是检验 APHRO 资料质量的重要标准。图 5 (见文后彩图) 给出 APHRO 资料的主要降水期 (4~9 月) 降水相对系数图, 相对系数最大的地区对应主要雨带的位置。大致以 110°E 为界, 东西部地区的雨带移动特征差异明显。西部地区雨带的移动规律复杂: 4~6 月疆北的雨带持续南移, 6 月云贵的雨带同时向西、向北移动, 7 月主要雨带分布在新疆和西藏的大部分区域, 8 月开始南撤, 9 月仍然有雨带停留在四川到秦岭一带。东部季风区雨带的进退特征非常清晰, 4、5 月位于华南地区, 6 月移至长江中下游, 7、8 月北进至华北和东北, 9 月迅速南撤。这些移动特征与前人工作相符 (陈烈庭和吴仁广, 1994), 并且与 STN 资料的观测结果也十分一致 (图略), 说明 APHRO 资料能够正确地表征中国地区雨带的季节移动。

4 不同等级降水量的分布特征

总降水量是由不同等级降水累加而成, 分析不同等级降水量的分布特征, 可以更加细致地考察 APHRO 降水资料在中国地区的质量。根据地形和区域气候特点, 综合考虑站点的分布情况, 将我国划分为 9 个区域: 东北区 (NEC)、东部干旱区 (EA)、西部干旱区 (WA)、青藏高原东区 (ET)、

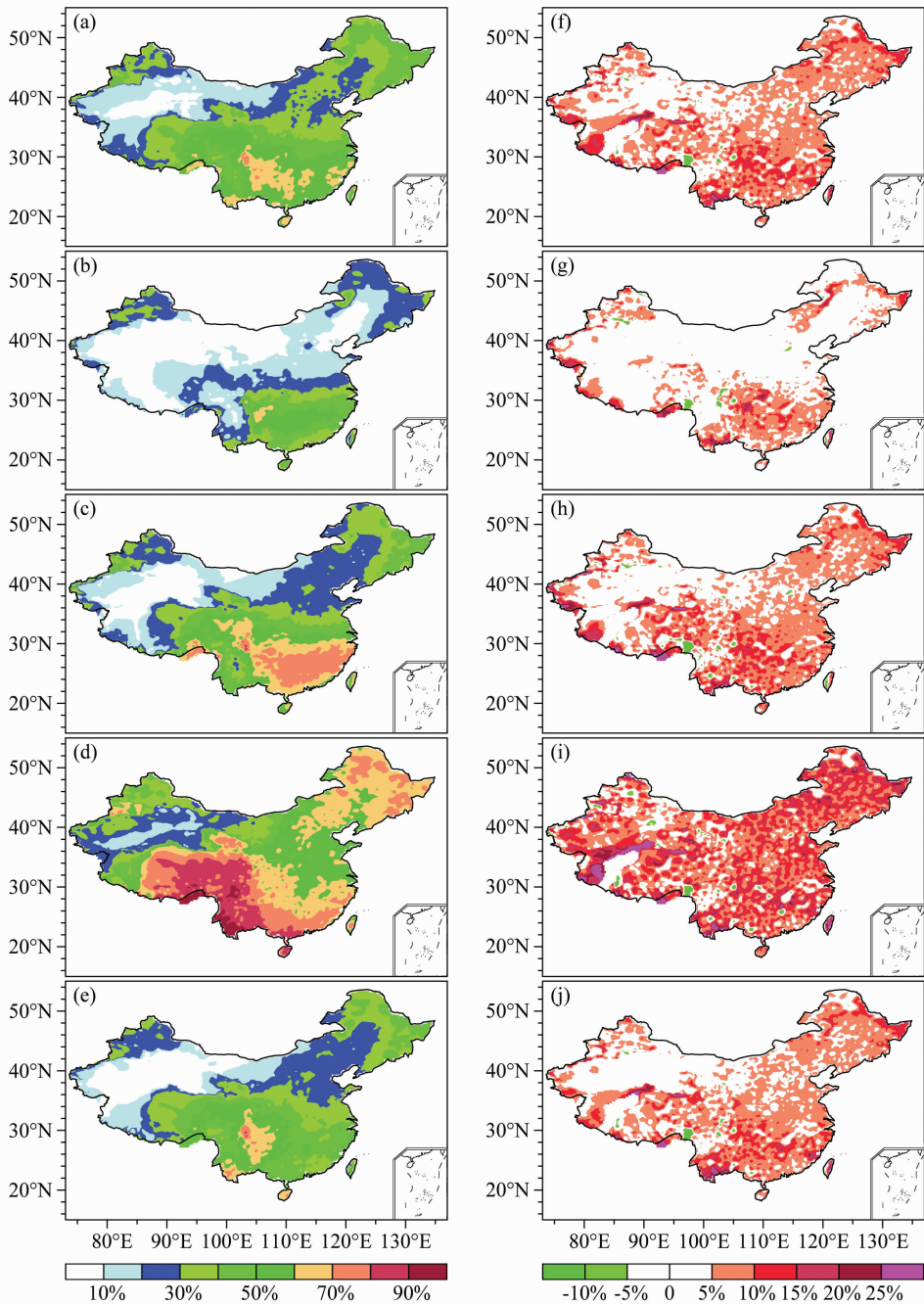


图 3 (a-e) APHRO 资料以及 (f-j) APHRO 资料和 STN 资料的偏差的年平均以及各季节平均降水频率的空间分布: (a、f) 年平均; (b、g) 冬季; (c、h) 春季; (d、i) 夏季; (e、j) 秋季
Fig. 3 The average (a, f) annual, (b, g) winter, (c, h) spring, (d, i) summer, (e, j) autumn precipitation frequency during 1956-2005: (a-e) APHRO data; (f-j) APHRO minus STN data

云南区 (YN)、四川区 (SCH)、华北区 (NC)、华中区 (CC) 和华南区 (SC), 分别计算各区域不同等级降水日的年总降水量。区域划分以及区域内的站点分布如图 1 所示, 图中阴影表示地形。

不同等级降水量的分布特征有明显的区域差

异, 图 6 直观地给出了我国 9 个区域各等级年降水量的分布, 以及 APHRO 与 STN 资料的比较。EA、WA、ET、NEC 和 NC 这五个区域的年降水总量都没有超过 1000 mm。受干旱半干旱气候影响, EA 和 WA 两个区域的降水量明显小于其它地

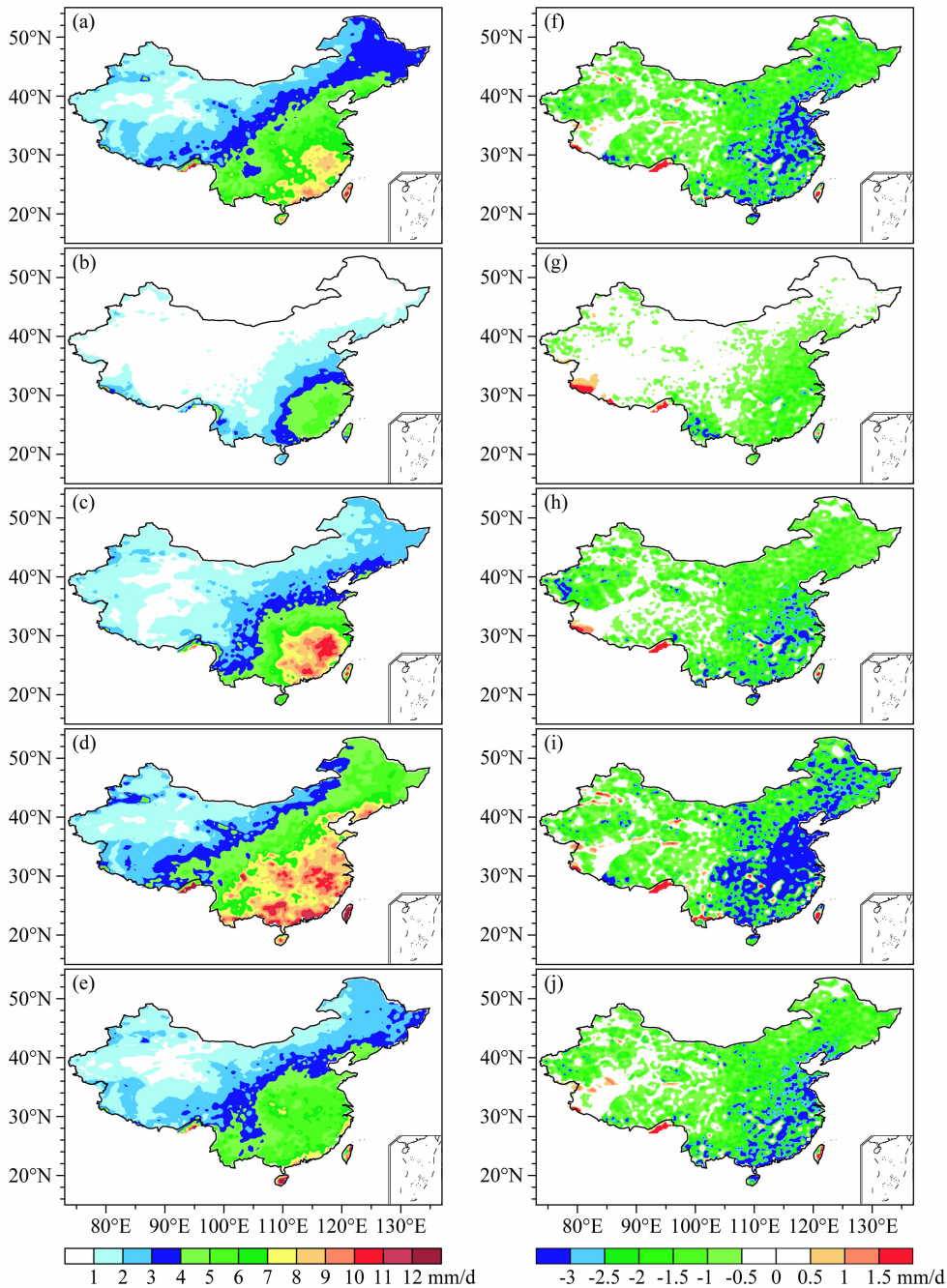


图 4 同图 3，但为降水强度（单位：mm/d）

Fig. 4 Same as Fig. 3, but for precipitation intensity (units: mm/d)

区，年降水量只有约 240 mm 和 100 mm。从等级分布来看，对于这两个干旱区，小雨降水量占年降水总量的绝大多数，超过总量的 60%；而暴雨降水量不到总量的 10%。ET 区位于青藏高原的东部，高原地形阻挡使该地区的年降水总量也较少，大约 400 mm；等级分布与两个干旱区类似，小雨降水量所占比重较大。夏季风系统到达的北缘是 NEC 和

NC 两个区，年降水量都在 500~550 mm；等级分布特点也与前面三个区不同，中雨和大雨的比例有所增加，但是暴雨的比例仍然很小。

年降水总量超过 1000 mm 的区域是中国南部的四个区域，包括 YN、SCH、CC 和 SC。YN 和 SCH 的等级分布特点较为类似，中雨和小雨的比例持平，它们的降水量总和占到总降水量的 70%以

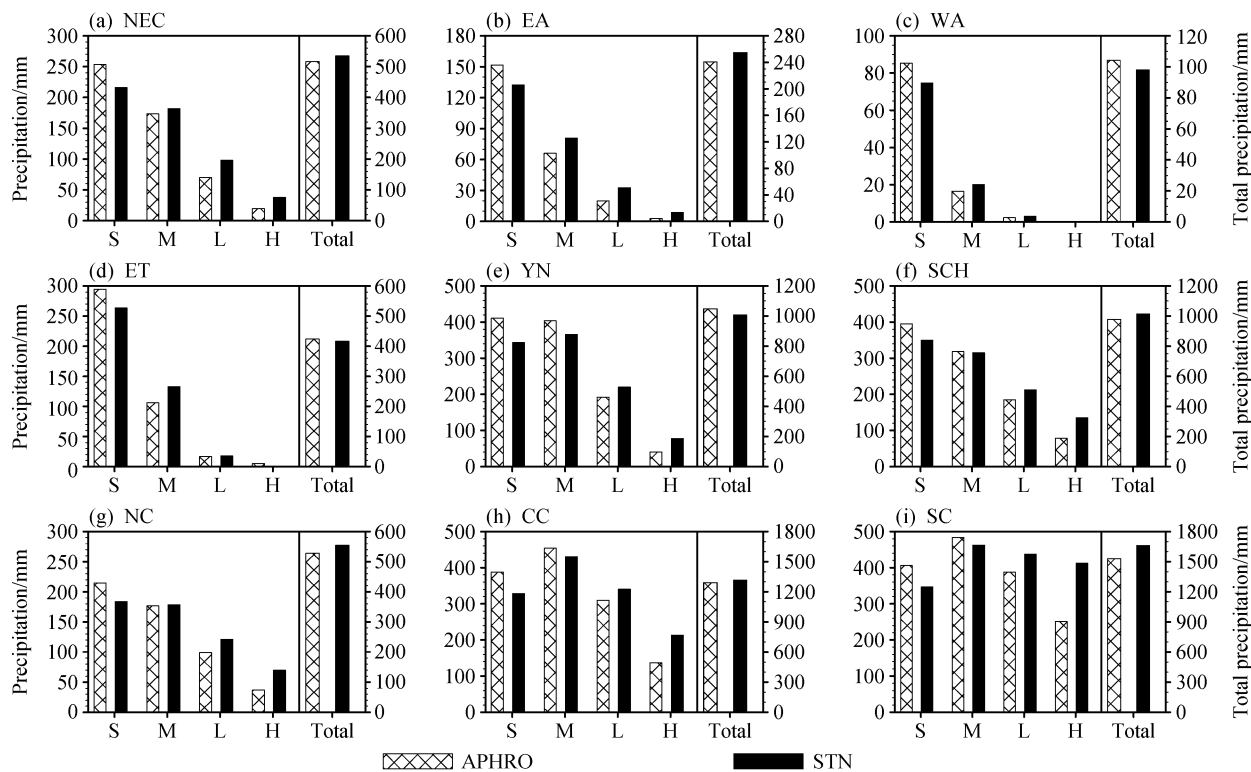


图6 中国各区域多年平均的各等级年降水量分布图(单位: mm)。横坐标: S: 小雨, M: 中雨, L: 大雨, H: 暴雨, Total: 总降水量; 左纵坐标: 各等级年降水量, 右纵坐标: 年总降水量

Fig. 6 The average annual precipitation amount (units: mm) during 1956–2005 in the nine sub-regions from STN data and APHRO data. Daily precipitation is classed as small, moderate, large, heavy (left ordinate), and total (right ordinate), which are labeled with “S”, “M”, “L”, “H”, and “Total” on the abscissa

上, 大雨和暴雨的比例较低。CC 和 SC 两个区域暴雨的比例明显高于其他 7 个区域, 并且各等级降水量的分布也较为均匀。APHRO 和 STN 两套资料年总降水量的差异在 9 个区域各不相同, 但是小雨、大雨和暴雨的差异表现一致。与 STN 资料相比, APHRO 的小雨降水量偏大, 而大雨和暴雨降水量偏小。进一步对不同等级降水频率做类似的分析, APHRO 的小雨降水频率偏大, 而大雨和暴雨降水频率偏小, 同时总降水频率也是明显偏大的(图未给出), 这与前面分析得到的“降水频率偏大、强度偏小”的结论是一致的。

5 长期变化特点

5.1 年降水的变化趋势

年平均降水量、降水频率和降水强度的变化趋势, 可以用来表征降水的长期变化特点。对年平均降水量逐点计算趋势系数, 给出两套资料的变化趋势空间分布[图 7a、d (见文后彩图)], 代表 1956~2005 年中国区域年平均降水量长期变化趋势的空

间分布。两套资料的结果相似, 在西部和东南部的大部分区域年平均降水都趋于增加; 而华北、四川和东北的大部分区域都表现出显著的下降趋势。不过只有西部的变化趋势通过了 10% 的显著性检验。

降水量的变化可以归因于降水频率的变化, 也可以取决于降水强度的改变, 或者由两者的共同作用所导致。两套资料的年平均降水频率(这里用年降水日数表示)和降水强度的变化趋势如图 7b、c、e、f (见文后彩图) 所示。对比两套资料, 西部大部分区域的年平均降水频率均显著增加; 而东北、内蒙和长江中下游一些区域的变化趋势则相反。两套资料年平均降水频率均呈“东减西增”的变化趋势, 但 APHRO 资料变化趋势的局地特征更明显。两套资料的年平均降水强度变化趋势相差较大。STN 资料近 50 年降水强度大体呈增加趋势, APHRO 对于东南沿海和西北部的描述与 STN 较为一致, 但华北、东北和江淮区域的变化趋势与 STN 不同。以江淮地区为例, STN 资料表现为一致的增加趋势, 而 APHRO 资料表现为正负相间的

趋势分布。

此前基于台站观测资料的研究表明, 20 世纪后半期中国年总降水量在西北地区和南方地区增多 (Zhai et al., 2005; 王大钧等, 2006; 林云萍和赵春生, 2009)。对于中国各区域年平均降水频率的变化趋势, 不同观测资料得到的结论有差异。中国 160 站中仅有 17 站的年平均降水频率变化趋势是正的, 并且集中在长江中下游地区 (王颖等, 2006)。然而, 基于更多台站资料的研究显示, 增加趋势主要分布在中国西部地区, 其它大部分地区年平均降水频率呈减小趋势 (Zhai et al., 2005; 王大钧等, 2006)。可见, 对降水变化趋势的分析, 特别是对区域特征的分析, 显著地受到降水资料样本数目的影响。因此, 利用 APHRO 资料进行长期降水变化趋势研究需要慎重。

5.2 东部降水的年代际变化

前期研究表明, 我国东部降水在夏季表现出明显的“南涝北旱”特征, 多雨带在 20 世纪 80 年代及以后由华北南移到长江中下游 (Xu, 2001; Menon et al., 2002; Yu et al., 2004; Yu and Zhou, 2007; 宇如聪等, 2008; 李红梅等, 2008)。参照夏季降水的趋势分布 (Zhou et al., 2009), 本文以 NC 和 CC 分别代表华北的“旱区”和长江流域的“涝区”, 给出两地区夏季降水统计量在 1956~2005 年期间的变化情况 (图 8)。两套资料揭示的夏季降水量的变化趋势 (图 8a), 与前人的结果相同, NC 区显著减少, 而 CC 区显著增加。具体说来, 1956~2005 年 STN 资料夏季降水在 NC (CC) 区显著减少 69.2 mm (增加 116.3 mm), 都通过了 5% 的显著性检验。不过, APHRO 资料的变化趋势偏弱, 变化幅度偏小约 10 mm。

如图 8b 所示, STN 资料得到的降水强度在 CC 区增大 (增加 1.8 mm/d), 而在 NC 区变化很小 (减小 0.1 mm/d)。降水频率也表现出很强的“南多北少”特征 (图 8b): CC 区降水频率随时间增加, NC 区降水频率随时间减少, 前者变化趋势的绝对值小于后者。并且, 降水强度和频率两个统计量的序列都呈现反位相变化关系。APHRO 资料计算的降水频率和强度也呈现“南多北少”的特征, 但变化趋势的强度与 STN 资料不同。降水强度在 CC 区的变化趋势绝对值与 NC 区相当, 而降水频率在 CC 区的趋势变化值超过 NC 区的 3 倍。

中国东部降水年代际变化的另外一个特征出现在春季, 江南地区的晚春 (指 4 月 21 日到 5 月 20 日) 降水显著减少, 减少幅度约为 30% (Xin et al., 2006)。我们采用 Xin et al. (2006) 的定义方法, 分别用两套资料给出晚春降水年代际变化 (1981~2000 平均减去 1958~1977 平均) 的空间分布 (图 9), 江南地区有明显的负值中心, 降水增加的区域分布在东北和南部沿海, 这与前人的研究结果一致。对比两套资料中“春旱”的范围和强度可见, APHRO 资料负值中心范围偏小, 强度偏弱。

各等级降水变化在“江南春旱”中的贡献如何, 前人的研究工作并没有详细给出, 表 2 给出两套资料的江南地区 (26°N~31°N, 110°E~122°E) 区域平均各等级降水的年代际变化, 以进一步揭示 APHRO 资料对“江南春旱”现象的描述能力。两套资料都显示, 江南地区晚春降水量减少主要由中、大雨的变化决定, 小雨和暴雨的减小幅度较弱。对江南地区各等级降水分布的分析也发现, 中雨和大雨对总雨量的贡献超过 65%, 因此“江南春旱”可能与影响当地降水的主要系统减弱有关 (Xin et al., 2006)。与图 9 空间分布一致, APHRO 资料降水量减少的绝对值偏小; 其中小雨、大雨和暴雨都偏小, 大约偏小 2 mm。因此, APHRO 资料对“江南春旱”强度的描述并不理想。

表 2 江南地区 (26°N~31°N, 110°E~122°E) 晚春各等级降水的年代际变化 (1981~2000 减去 1958~1977) (单位: mm)

Table 2 Inter-decadal changes (1981 - 2000 mean minus 1958 - 1977 mean) of the late spring (21 Apr - 20 May) rainfall over Jiangnan region (26°N - 31°N, 110°E - 122°E) from APHRO and STN data. Daily precipitation is classed as small, moderate, large, heavy, and total

	小雨	中雨	大雨	暴雨	总雨量
STN	-5.1	-18.1	-22.5	-9.3	-55.0
APHRO	-3.5	-19.2	-20.0	-7.6	-50.3

6 结论

通过与台站资料的比较, 本文对 APHRO 降水资料在中国地区的质量进行了系统分析。从降水量、降水强度、降水频率和各等级降水量等角度分析了该资料的优缺点。总体来看, APHRO 资料的降水量

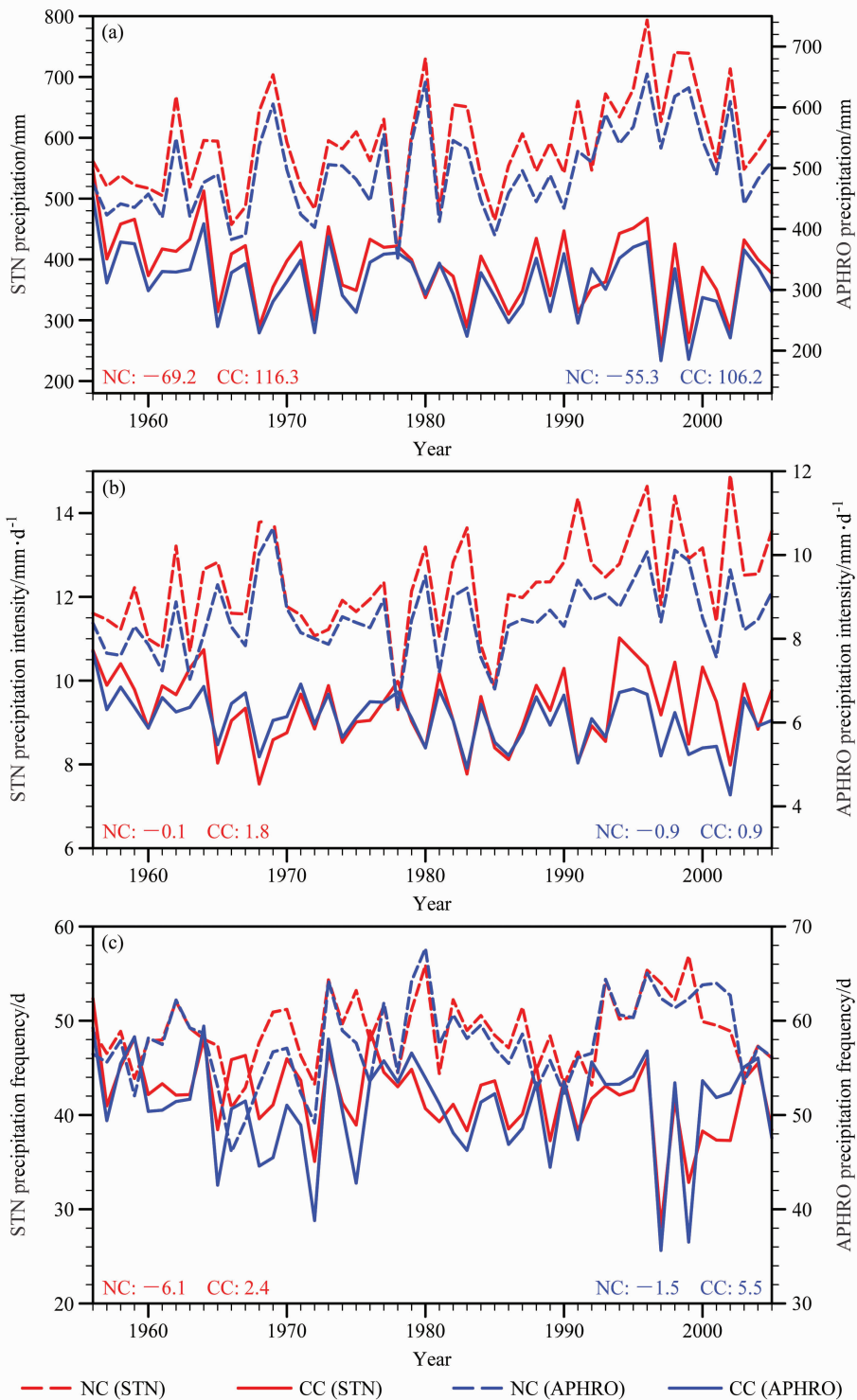


图 8 1956~2005 年 NC 区 (虚线) 和 CC 区 (实线) 区域平均的夏季降水量 (a, 单位: mm)、降水强度 (b, 单位: mm/d) 和降水频率 (c, 单位: d) 的时间序列。红色: STN 资料, 蓝色: APHRO 资料; 左 (右) 下角数字: STN (APHRO) 资料降水统计量 50 年的变化趋势
Fig. 8 Time series of (a) precipitation amount (units: mm), (b) precipitation intensity (units: mm/d), and (c) precipitation frequency (units: d) averaged over NC region (dashed line) and CC region (solid line) in summer. The red lines represent STN (left ordinate) results, and the blue lines represent APHRO (right ordinate) results; the numbers shown in the left (right) bottom of each panel indicate trends during 1956–2005 from STN (APHRO) data

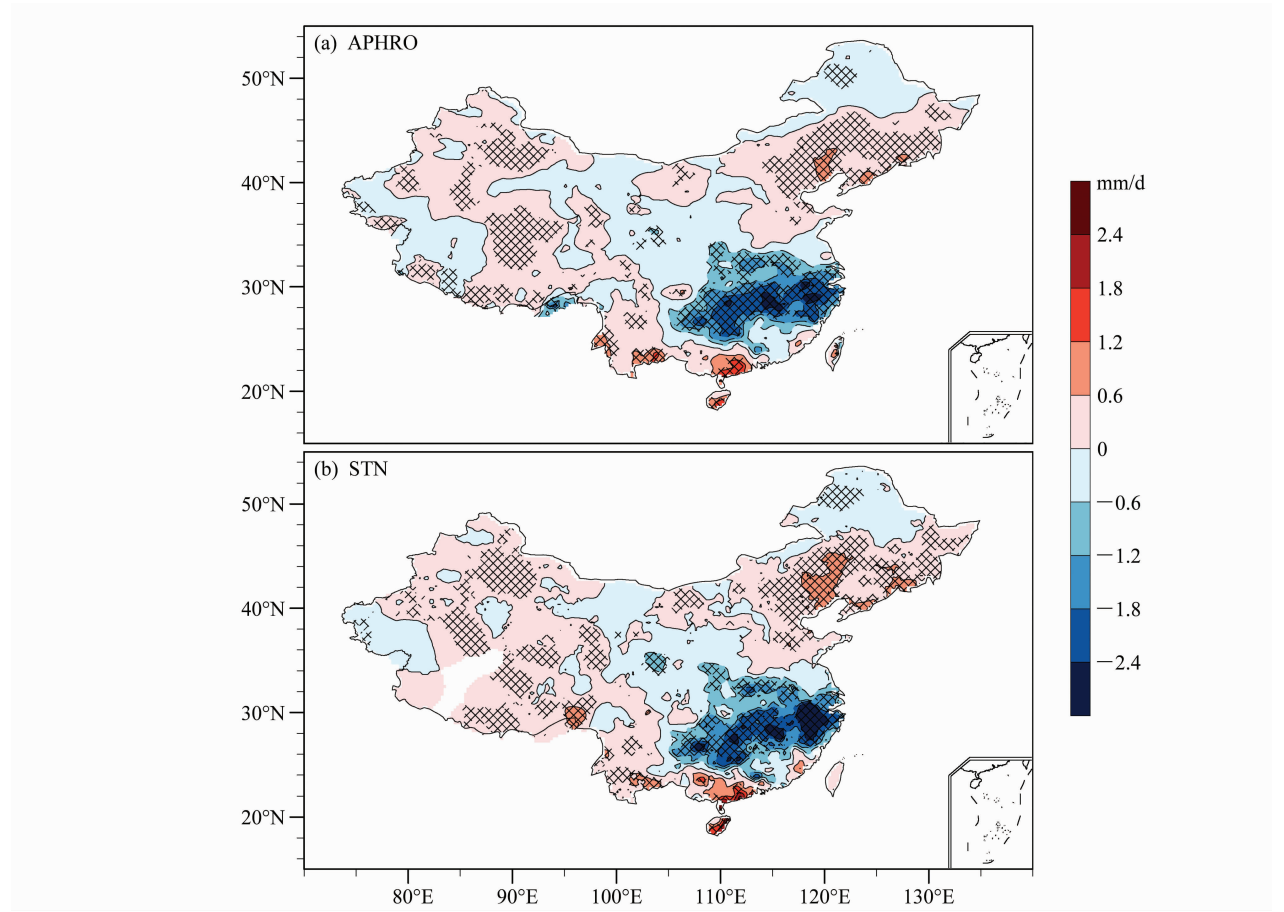


图 9 (a) APHRO 资料和 (b) STN 资料计算得到晚春 (4 月 21 日到 5 月 20 日) 降水的年代际变化 (1981~2000 平均减去 1958~1977 平均) (单位: mm/d)。网格: 通过 10% 显著性水平检验的区域

Fig. 9 Inter-decadal changes (1981–2000 mean minus 1958–1977 mean) of the late spring (21 Apr–20 May) rainfall from (a) APHRO and (b) STN data. The grid zone is statistically significant at the 10% significance level

特征与台站资料一致,但是其它统计量都与台站资料描述的降水特点有所差异。主要结论如下:

(1) APHRO 与 STN 资料描述的年、季平均降水量分布非常一致,但夏季差异最大。在降水相对系数分布上,APHRO 资料正确地表征了中国地区雨带的季节移动。两套降水资料气候态特征的差异,主要表现在降水频率和降水强度。无论是年平均还是各季节平均,APHRO 资料的降水频率都普遍大于 STN 资料,而降水强度则偏小。

(2) 对降水量随降水强度的分布进行分析表明,在两个干旱区和青藏东区,小雨降水量所占比重大。东北和华北区的年总降水量大于前面三个地区,主要是由于中雨和大雨的比例相对较大。中国南部四个区域的年总降水量是其他区域的两倍以上,四川、云南的中雨和小雨降水量贡献最高,它们的总和占到总量的 70% 以上;而华中和华南两个

区域暴雨的比例明显高于其他区域。APHRO 和 STN 两套资料的不同等级降水分布在全国 9 个区域有相同的偏差,相比 STN 资料,APHRO 的小雨降水量偏大,而大雨和暴雨降水量偏小。

(3) APHRO 资料揭示的年总降水量近 50 年的变化趋势与台站资料一致,西部和东南部的大部分区域都趋于增加。但是两套资料揭示的年平均降水强度和降水频率的长期变化趋势不同。同时,APHRO 资料能够描述中国东部降水夏季“南涝北旱”和“江南春旱”的年代际变化特征,但是变化强度与 STN 资料有所不同。

最后,APHRO 资料作为目前唯一覆盖整个亚洲地区的时间跨度长、分辨率高的逐日降水资料,预期将在亚洲和中国的气候、水文等研究领域得到广泛地应用。本文的分析表明,该资料在描述降水频率、强度以及不同等级降水量的气候态和长期变

化等方面,较之台站资料存在明显偏差。因此,在相关应用研究领域,有必要进行多资料的比较,不能单纯依赖 APHRO 资料。

参考文献 (References)

- 陈烈庭, 吴仁广. 1994. 中国东部的降水区划及各区旱涝变化的特征 [J]. 大气科学, 18 (5): 586–595. Chen L T, Wu R G. 1994. Climate division of precipitation in eastern China and drought-flood variation in various regions [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 18 (5): 586–595.
- Chen M Y, Shi W, Xie P P, et al. 2008. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation [J]. J. Geophys. Res., 113, D04110, doi: 10.1029/2007JD009132.
- Feng S, Hu Q, Qian W H. 2004. Quality control of daily meteorological data in China, 1951–2000: A new dataset [J]. International Journal of Climatology, 24 (7): 853–870.
- 胡江林, 张人禾, 牛涛. 2008. 长江流域 0.1° 网格逐日降水数据集及其精度 [J]. 自然资源学报, 23 (1): 136–149. Hu J L, Zhang R H, Niu T. 2008. A daily precipitation grid dataset with 0.1° resolution in Changjiang River valley and its precision [J]. Journal of Natural Resources (in Chinese), 23 (1): 136–149.
- Huffman G J, Adler R F, Morrissey M M, et al. 2001. Global precipitation at one-degree daily resolution from multisatellite observations [J]. J. Hydrometeor., 2 (1): 36–50.
- Kitoh A, Kusunoki S. 2008. East Asian summer monsoon simulation by a 20-km mesh AGCM [J]. Climate Dynamics, 31 (4): 389–401.
- 李红梅, 周天军, 宇如聪. 2008. 近四十年我国东部盛夏日降水特性变化分析 [J]. 大气科学, 32 (2): 358–370. Li H M, Zhou T J, Yu R C. 2008. Analysis of July–August daily precipitation characteristics variation in eastern China during 1958–2000 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (2): 358–370.
- 林云萍, 赵春生. 2009. 中国地区不同强度降水的变化趋势 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 45 (6): 995–1002. Lin Y P, Zhao C S. 2009. Trends of precipitation of different intensity in China [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis (in Chinese), 45 (6): 995–1002.
- Menon S, Hansen J, Nazarenko L, et al. 2002. Climate effects of black carbon aerosols in China and India [J]. Science, 297 (5590): 2250–2253.
- Qian W H, Fu J L, Yan Z W. 2007. Decrease of light rain events in summer associated with a warming environment in China during 1961–2005 [J]. Geophys. Res. Lett., 34 (11): L11705.
- 王大钧, 陈列, 丁裕国. 2006. 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 [J]. 热带气象学报, 22 (3): 283–289. Wang D J, Chen L, Ding Y G. 2006. The change trend in rainfall, wet days of China in recent 40 years and the correlation between the change trend and the change of globe temperature [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 22 (3): 283–289.
- 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. Wang Y, Shi N, Gu J Q, et al. 2006. Climatic variations of wet days in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (1): 162–170.
- Xie P P, Chen M Y, Yang S, et al. 2007. A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia [J]. J. Hydrometeor., 8 (3): 607–626.
- Xin X G, Yu R C, Zhou T J, et al. 2006. Drought in late spring of South China in recent decades [J]. J. Climate, 19 (13): 3197–3206.
- Xu Q. 2001. Abrupt change of the mid-summer climate in central east China by the influence of atmospheric pollution [J]. Atmospheric Environment, 35 (30): 5029–5040.
- Yang J, Wang B, Wang B, et al. 2010. Biweekly and 21–30-day variations of the subtropical summer monsoon rainfall over the lower reach of the Yangtze River basin [J]. J. Climate, 23 (5): 1146–1159.
- Yatagai A, Arakawa O, Kamiguchi K, et al. 2009. A 44–year daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges [J]. Science Online Letters on the Atmosphere, 5: 137–140.
- Yu R C, Wang B, Zhou T J. 2004. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia [J]. Geophys. Res. Lett., 31, L22212, doi: 10.1029/2004GL021270.
- Yu R C, Zhou T J. 2007. Seasonality and three-dimensional structure of interdecadal change in the East Asian monsoon [J]. J. Climate, 20 (21): 5344–5355.
- 宇如聪, 周天军, 李建, 等. 2008. 中国东部气候年代际变化三维特征的研究进展 [J]. 大气科学, 32 (4): 893–905. Yu R C, Zhou T J, Li J, et al. 2008. Progress in the studies of three-dimensional structure of interdecadal climate change over eastern China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (4): 893–905.
- 翟盘茂, 任福民, 张强. 1999. 中国降水极值变化趋势检测 [J]. 气象学报, 57 (2): 208–216. Zhai P M, Ren F M, Zhang Q. 1999. Detection of trends in China's precipitation extremes [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 57 (2): 208–216.
- Zhai P M, Zhang X B, Wan H, et al. 2005. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China [J]. J. Climate, 18 (7): 1096–1108.
- Zhou T J, Yu R C, Chen H M, et al. 2008. Summer precipitation frequency, intensity, and diurnal cycle over China: A comparison of satellite data with rain gauge observations [J]. J. Climate, 21 (16): 3997–4010.
- Zhou T J, Gong D Y, Li J, et al. 2009. Detecting and understanding the multi-decadal variability of the East Asian summer monsoon—Recent progress and state of affairs [J]. Meteorologische Zeitschrift, 18 (4): 455–467.

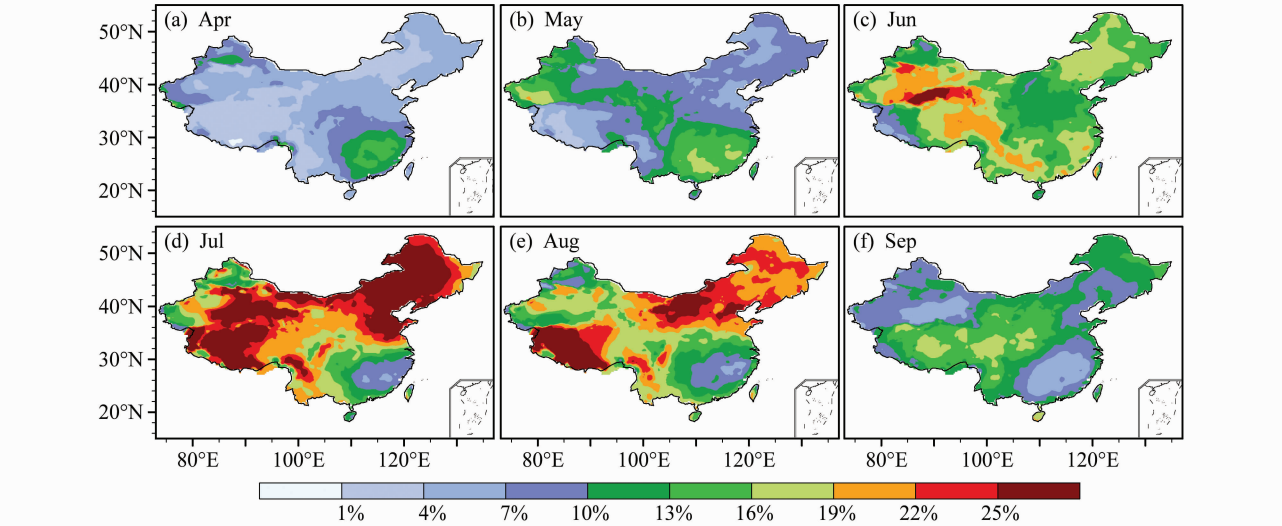


图 5 多年平均 4~9 月 APHRO 资料的降水相对系数分布图

Fig. 5 Climatological monthly mean precipitation relative coefficient from Apr to Sep from APHRO data

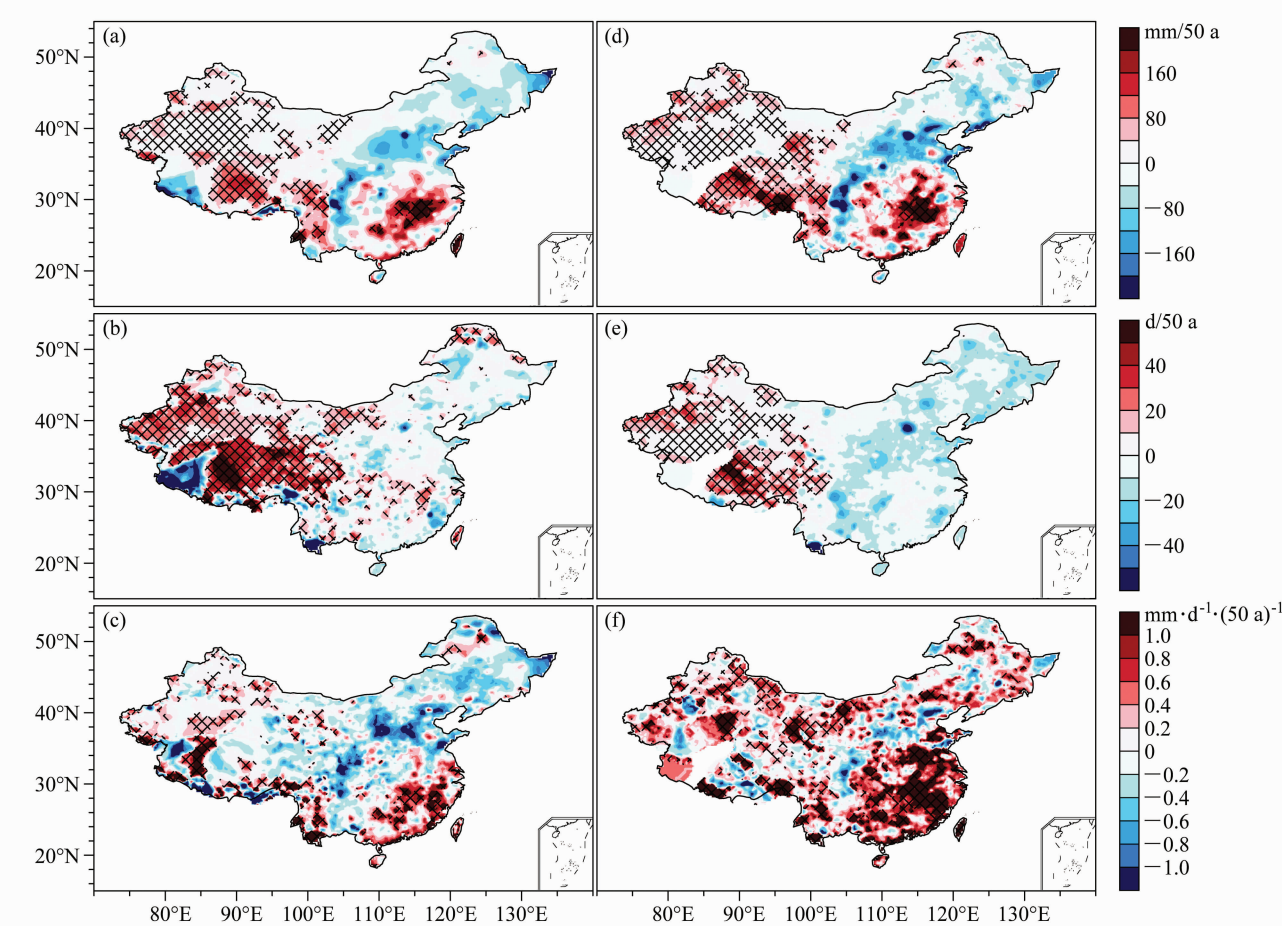


图 7 年平均 (a、d) 总降水量、(b、e) 降水频率 (用年降水日数表示) 和 (c、f) 降水强度在 1956~2005 年的变化趋势: (a-c) APHRO 资料; (d-f) STN 资料。网格标记通过 10% 显著性水平检验的区域

Fig. 7 Trends in annual mean (a, d) precipitation amount, (b, e) precipitation frequency, and (c, f) precipitation intensity during 1956 - 2005: (a - c) APHRO data; (d - f) STN data. The grid zone is statistically significant at the 10% significance level