

吴佳,高学杰.一套格点化的中国区域逐日观测资料及与其它资料的对比.地球物理学报,2013,56(4):1102-1111,doi:10.6038/cjg20130406.

Wu J, Gao X J. A gridded daily observation dataset over China region and comparison with the other datasets. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2013, 56(4):1102-1111,doi:10.6038/cjg20130406.

一套格点化的中国区域逐日观测资料及 与其它资料的对比

吴 佳,高学杰

中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

摘 要 为高分辨率气候模式检验等的需要,基于 2400 余个中国地面气象台站的观测资料,通过插值建立了一套 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 经纬度分辨率的格点化数据集(CN05.1)。CN05.1 包括日平均和最高、最低气温,以及降水 4 个变量。插值通过常用的“距平逼近”方法实现,首先将计算得到的气候平均场使用薄板样条方法进行插值,随后使用“角距权重法”对距平场进行插值,然后将两者叠加,得到最终的数据集。将 CN05.1 与 CN05、EA05 和 APHRO 三种日气温和降水资料(四种资料的分析时段统一为 1961—2005 年)进行对比,分析了它们对气候平均态和极端事件描述上的不同,结果表明几者总体来说在中国东部观测台站密集的地方差别较小,而在台站稀疏的西部差别较大,相差最大的是青藏高原北部至昆仑山西段等地地形起伏较大而很少或没有观测台站的地方,反映了格点化数据在这些地区的不确定性,在使用中应予以注意。

关键词 观测资料插值,日数据,气温,降水,中国

doi:10.6038/cjg20130406

中图分类号 P467

收稿日期 2011-11-18,2013-01-15 收修定稿

A gridded daily observation dataset over China region and comparison with the other datasets

WU Jia, GAO Xue-Jie

Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China

Abstract A new gridded daily dataset with the resolution of 0.25° latitude by 0.25° longitude, CN05.1, is constructed for the purpose of high resolution climate model validation over China region. The dataset is based on the interpolation from over 2400 observing stations in China, includes 4 variables: daily mean, minimum and maximum temperature, daily precipitation. The “anomaly approach” is applied in this interpolation. The climatology is first interpolated by thin-plate smoothing splines and then a gridded daily anomaly derived from angular distance weighting method is added to climatology to obtain the final dataset. Intercomparison of the dataset with other three daily datasets, CN05 for temperature, and EA05 and APHRO for precipitation is conducted. The analysis period is from 1961 to 2005. For multi-annual mean temperature variables, results show small differences over eastern China with dense observation stations, but

基金项目 国家重点基础研究发展规划项目(2010CB428401),科技部国际合作重点项目“粮食安全预警的关键空间信息技术合作研究”(2010DFB10030-3),中-英-瑞中国适应气候变化项目(ACCC)共同资助。

作者简介 吴佳,女,1984年生,博士,从事区域气候模拟及气候变化研究. E-mail:wujia@cma.gov.cn

* **通讯作者** 高学杰,男,1966年生,研究员,从事区域气候模拟及气候变化研究. E-mail:gaoxj@cma.gov.cn

larger differences (warmer) over western China with less stations between CN05.1 and CN05. The temperature extremes are measured by TX3D (mean of the 3 greatest maximum temperatures in a year) and TN3D (mean of the 3 lowest minimum temperatures). CN05.1 in general shows a warmer TX3D over China, while a lower TN3D in the east and greater TN3D in the west are found compared to CN05. A greater value of annual mean precipitation compared to EA05 and APHRO, especially to the latter, is found in CN05.1. For precipitation extreme of R3D (mean of the 3 largest precipitations in a year), CN05.1 presents lower value of it in western China compared to EA05.

Keywords Interpolation, Daily data, Temperature, Precipitation, China

1 引言

随着计算机技术的发展,气候模式的分辨率在逐渐提高,以更好地模拟和再现当代气候及预估未来气候的变化^[1],其中如区域气候模式在中国地区气候变化模拟中所使用的分辨率,已达到 20~25 km^[2-4].此外在气候变化问题上,大家对极端事件也越来越关注,使得发展高分辨率的格点化观测数据的必要性逐渐增加.

目前包括有中国地区的日时间尺度观测数据,有 Xie 等^[5]发展的 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ (经纬度,下同)的降水资料 EA05, Xu 等^[6]发展的 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 气温观测资料 CN05, Yatagai 等^[7]所发展的 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 降水资料 APHRO,以及沈艳等^[8]、Chen 等^[9]所发展的降水数据等.这些资料在高分辨模式的模拟检验中,得到了广泛的应用^[3-4,6,10-14].但它们普遍存在一些问题.一方面,大部分资料的分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$,较难检验更高分辨率模式模拟所得到的空间分布细节;另一方面,在中国范围内,数据基本都是使用中国气象局所属的 700 余个台站(国家基准气候站和基本气象站)观测资料进行的,观测站点相对较少(其中 EA05 额外使用了黄河流域约 1000 个水文站点的资料).

针对上述问题,本文基于中国气象局所属的 2400 余个台站的观测资料(包括上述基准站、基本站和国家一般气象站),使用与 CN05 同样的方法,制作了一套分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 的格点化观测数据集 CN05.1,以满足现阶段高分辨率气候模式检验的需要.数据集目前共包括日平均和最高、最低气温以及降水 4 个变量,时段为 1961—2007 年.本文中我们同时将此数据集与其它格点资料进行了气候平均态和极端事件方面的对比.

2 方法和数据介绍

气候要素由在空间上分布不规则的站点观测向规则的格点插值,可以使用多种方法,除对各个时次的要素场分别进行插值外,使用更多的是所谓的“距平逼近”方法(anomaly approach)^[15],即首先进行气候场的插值,随后进行距平场的插值,最后将两者叠加,得到所需结果.之所以首先进行气候场的插值,是因为一般气候要素,特别是降水等在空间分布上具有较大的不连续性,而气候场则相对连续性较好,对气候场首先进行插值,有利于在一定程度上减少由于这种不连续性带来的分析误差,从而提高插值的准确率.上文所述的 CN05、EA05 和 APHRO 均使用这种方法得到,但所使用的插值方法则有所不同.

具体 CN05 气温资料^[6]是参照 CRU 资料^[15-16]的插值方法制作的,对于气候场的插值,使用了薄板样条方法,通过 ANUSPLIN 软件实现^[17-18].ANUSPLIN 是澳大利亚国立大学基于平滑样条原理开发的一套 FORTRAN 插值程序包,通过拟合数据序列计算并优化薄盘平滑样条函数,最终利用样条函数进行空间插值,它可以引入协变量模型,如考虑气温随海拔高度的变化,其结果可以反映气温垂直递减率的变化、降水和海岸线之间的关系,以及水汽压随海拔高度的变化可以反映其垂直递减率的变化等. ANUSPLIN 软件在地理和生态学研究等中经常被用于产生非常高分辨率的气候要素场(如 1 km 等),以满足其特定需求^[19-21].因此本文采用 ANUSPLIN 软件,以经度和纬度作为薄盘样条函数自变量,以海拔高度作为协变量对气候场(站点数据 1971—2000 年 365 天的日平均)进行插值.对于距平场(站点数据 1961—2005 年相对 1971—2000 年的日距平),则采用的是“角距权重法”(ADW, Angular Distance Weighting)^[15,22],格点上的数值以站点数值在考虑

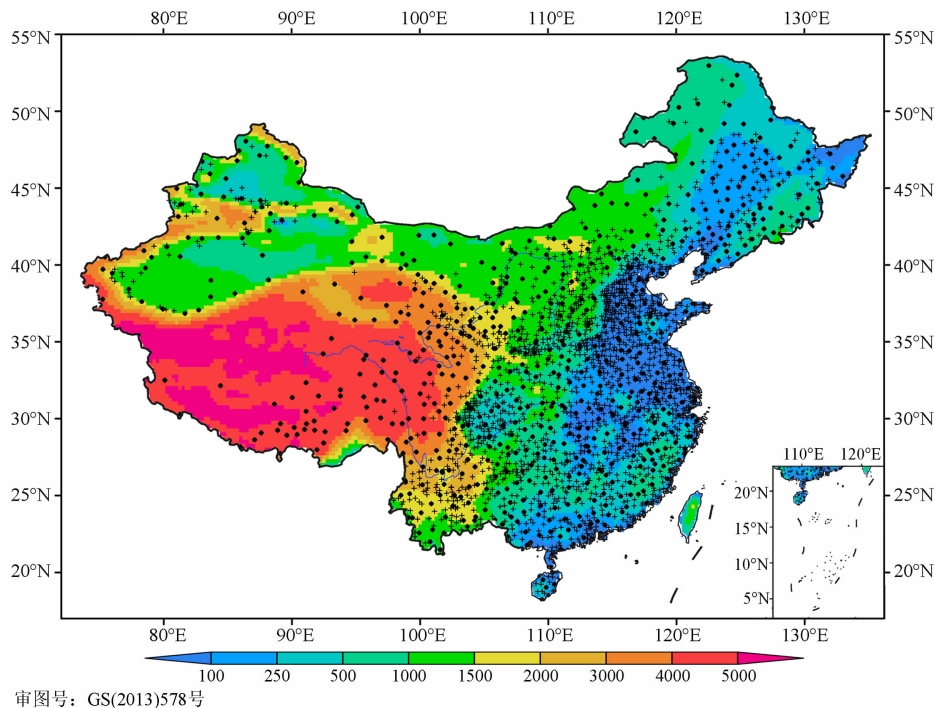


图 1 插值所用的 2416 站点分布和地形高度(单位:m)

图中的圆点标记为国家基准气候站和基本气象站,十字为国家一般站.

Fig. 1 Position of the 2416 stations and topography (units; m) used in the interpolation

The dot indicates the national reference climatological stations and basic meteorological observing stations, while the cross indicates the ordinary meteorological observing stations.

其距格点的角度和距离的权重后得到. New 等^[23]曾对比了各种插值方法的结果,表明这两种插值方法得到的最终格点场效果较好. CN05 和 CRU 产生气候场的时段有所不同,前者为 1971—2000 年,后者为 1961—1990 年.

EA05 的制作中^[5],降水的气候场(时段为 1978—1997 年)及其百分率距平场,均采用的是基于 Gandin^[24]的最优插值方法(OI, the optimal interpolation).在气候场的计算中,首先对各站点多年观测序列进行傅里叶展开,并选取其前 6 个截断的平均作为气候场,以减少高频噪音.在气候场的插值中应用了 PRISM 模型(Parameter-Elevation Regressions on Independent Slopes Model)^[25-26]进行地形订正,同时为更好地进行地形订正,气候场和距平场都是首先插值到 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 的格点上,然后使用面积平均的方法,得到最终所需的 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 资料.基于 EA05 的方法,沈艳等^[8]建立了“中国逐日格点降水量实时分析系统 v1.0”并在国家气象信息中心进行业务试运行.

APHRO 数据^[7]的制作方法和 EA05 基本类似,但没有使用黄河流域的水文站点观测资料,同时没有进行 PRISM 的地形订正,最终产生的资料分

辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.韩振宇和周天军^[27]曾对这一数据在中国的适用性进行了分析.

在 CN05.1 的制作中,我们沿用 CN05 的做法^[6],但引入了更多的观测台站资料,此外除日平均及最高最低气温外,增加了降水这一变量,得到的最终格点数据的分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.观测台站分布情况参见图 1,其中的填色部分为插值中所使用的地形高度分布,圆点为 CN05 所使用的 751 站观测资料(国家基准气候站和基本气象站),十字标记为新增加的站点(国家一般气象站),两者合计共为 2416 个.这套数据已经过基础的质量控制,包括删除与气候态或周边站点值差别过大的数据等.由图 1 可以看到,总体来说我国的气象观测站点偏于东部经济发达地区及平原地带,密度最大可以达几至十几公里一个站,而在西部相对则较少,其中在青藏高原北部至昆仑山北麓,及新疆的塔克拉玛干沙漠腹地等,则基本没有观测站点的分布,这也决定了这些地区插值所得数据具有相对较大的不确定性.

在下文中,为比较方便,将 CN05 和 EA05 分别使用双线性方法(使用被插值点周围 4 个邻近点值,通过两个方向上的线性加权平均计算),由原 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 插值到和 CN05.1 相同的 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 格点上,

另外 APHRO $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 数据的格点位置和 CN05.1 不同,同样对其进行了插值处理.选择几个数据集的共有的时段 1961—2005 年进行比较.

文中的极端事件,气温以多年平均的每年最高的 3 个日气温值的平均 TX3D 和最低的 3 个日气温值的平均 TN3D 表示,降水以多年平均的每年最大的 3 个日降水量的平均 R3D 表示.

3 气温数据的对比

图 2a 中首先给出基于 CN05.1 绘制的 1961—2005 年中国区域冬季(12—2 月)平均气温分布.其特点基本为东部地区明显受纬度影响,呈现北冷南暖的形势,华南和海南地区气温最高,在 12°C 以上,

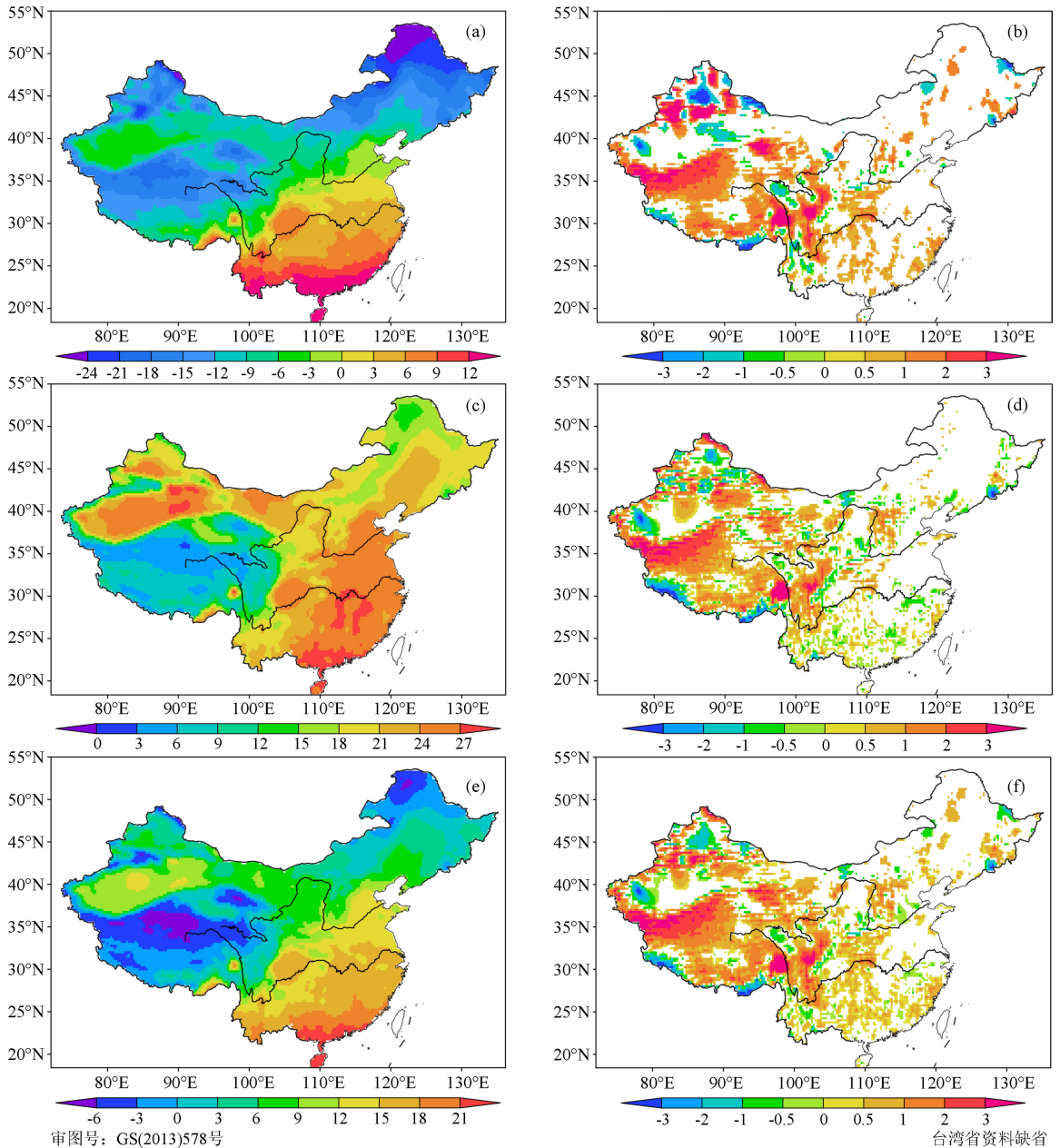


图 2 研究区 1961—2005 年 CN05.1 平均气温分布(左侧)及其与 CN05 的差(右侧):(a,b)冬季;(c,d)夏季;(e,f)年平均(单位: $^\circ\text{C}$)(b,d,f 的差值中仅给出达到 99% 统计显著检验的地方,余图同)

Fig. 2 Distribution of mean temperature during 1961—2005 from CN05.1 (left column) and the difference between it and CN05 in the study area: (a,b) December-January-February; (c, d) June-July-August; and (e, f) annual mean (units: $^\circ\text{C}$) (In b, d, f, only the differences significant at 99% statistical confidence level are shown. The same for the figures below)

东北的北部地区则达到 $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,为全国最冷.中国西部受地形影响显著,地形较低的塔克拉玛干盆地的气温在 $-6\sim-3\text{ }^{\circ}\text{C}$,而天山和阿尔泰山的部分地方则低于 $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$.为比较 CN05.1 与 CN05 的差别,图 2b 给出两个平均场的差值中,达到 99% 统计显著性检验部分的分布(下文中的其它差值图同).可以看到,在东部地形变化平缓的地区,两者的差别较小,数值基本在 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,差异显著的格点数也较少.两者在地形梯度大的西部地区有显著性差别,比如准噶尔盆地,CN05.1 比 CN05 低 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,而在天山、昆仑山以及青藏高原东麓这些复杂地形过渡地区,CN05.1 比 CN05 偏高 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上.这两个数据集区域平均的冬季气温差为 $0.48\text{ }^{\circ}\text{C}$.注意到上述差别较大的地方,一般都对应着观测站点稀少或没有的地区(图 1),所得格点化数据在这些地区存在较大的不确定性,在应用中应予以注意.

图 2c、2d 中分别给出夏季(6—8 月)CN05.1 的分布及其与 CN05 的差.夏季气温在东部地区的纬向分布特征较冬季要弱,中国东部自南方至华北,基本在 $24\sim 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间,而在西北如新疆等地随地形的变化更明显,夏季最低气温出现在青藏高原北部,但一般都在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上.CN05.1 与 CN05 的差值分布基本上与冬季类似,同样在东部较小,西部较大并在大部分地区的差异显著,但总体数值较冬季要小,两套数据中国区域平均的差值为 $0.30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

图 2e、2f 为年平均的情况,其基本特征同样以在东部呈纬向分布、西部受地形影响明显为主,年平均气温在中国南方沿海地区最高,低温中心位于青藏高原和东北北部等地.CN05.1 与 CN05 的差值分布及差异显著性情况总体上和冬、夏季保持一致,区域平均差值为 $0.44\text{ }^{\circ}\text{C}$.

由以上可以看出,整体上 CN05.1 较 CN05 偏暖,偏暖程度在西部较东部更大,此外冬季差别较夏季更大,年平均介于两者之间.偏差最大的地区位于青藏高原北部至昆仑山西段以南.但总体而言,CN05.1 冬、夏季及年平均气温与 CN05 的分布类似,两者间的空间相关系数均达到 0.99 以上.

图 3a 给出由 CN05.1 数据计算得到的 1961—2005 年平均 TX3D 分布,可以看到 TX3D 极大值中心主要出现在新疆的几个盆地中,数值大于 $39\text{ }^{\circ}\text{C}$,除沿海地区外的华北至江南及四川盆地的 TX3D 也较高,一般在 $36\sim 39\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间. TX3D 低值中心位于青藏高原部分地区,不到 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.总的来说 TX3D 的空间分布与夏季平均气温(图 2c)较为一致.

CN05.1 与 CN05 的差异(图 3b)在青藏高原与四川盆地、昆仑山与塔里木盆地之间的过渡地带最为明显,差值超过 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. CN05.1 的 TX3D 除在个别地区较 CN05 偏低外,在整个区域基本上表现为偏高,区域平均偏高值为 $0.62\text{ }^{\circ}\text{C}$.对比图 2d 和图 3b 可以看到,尽管 CN05.1 和 CN05 的夏季平均气温在东部差别较小,但由 TX3D 反映的极端暖事件两者则有所不同,CN05.1 中的暖事件偏强.

TN3D 的分布(图 3c)与冬季平均气温类似(图 2a),数值在华南和西南的南部及四川盆地最大,在 $0\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间或以上,东北大部分和西北部分地区的 TN3D 最小,在 $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下. CN05.1 与 CN05 的差异(图 3d)在西部与 TX3D(图 3b)较为一致,以偏暖为主,但数值更大一些;在 105°E 以东,与冬季平均气温以偏暖为主不同(图 2b),CN05.1 中的极端冷事件的数值较 CN05 更低.同样对比图 2b 和图 3d 可以看到,CN05.1 和 CN05 的冬季平均气温在东部差别较小,但在 CN05.1 中极端冷事件强度更大一些. CN05.1 和 CN05 中的 TX3D 和 TN3D 的相关系数均在 0.99 以上.

为更好地了解不同月份两个资料的差别,图 4 给出各月平均和最高、最低气温的区域平均数值.从图中可以明显看到,两组资料集的平均、最高和最低气温间的差异在各月接近.相比 CN05,CN05.1 的气温在 2—6 月均偏低,以 3 月份最大($-0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$);7—1 月偏高,其中以 9—11 月最明显,最大偏高值出现在 11 月,达到 $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$.总体来说,CN05.1 在春季偏低,其它季节偏高,并以秋季的偏高值最大,年平均表现为偏高.从空间分布上看,这种平均差值主要来自于东部地区(图略).

4 降水数据的对比

图 5a 中给出 CN05.1 数据中多年平均降水的分布.其分布特点基本为由东南沿海向西北内陆地区逐渐减少,东南沿海地区降水中心值在 1500 mm 以上,西北的塔里木盆地等的降水不足 50 mm .

图 5c、5e 分别给出 CN05.1 的年平均降水与 EA05 和 APHRO 的差值.在东部地区,CN05.1 的降水量较 EA05 和 APHRO 的差别均较小,尤其是相对于前者,差别基本在 $\pm 10\%$ 内,差异达到显著水平的格点数很少,相对于 APHRO 则偏大一些,部分地区偏大值可达 $10\%\sim 25\%$,差异显著.

在青藏高原的西北部至昆仑山西段地区,

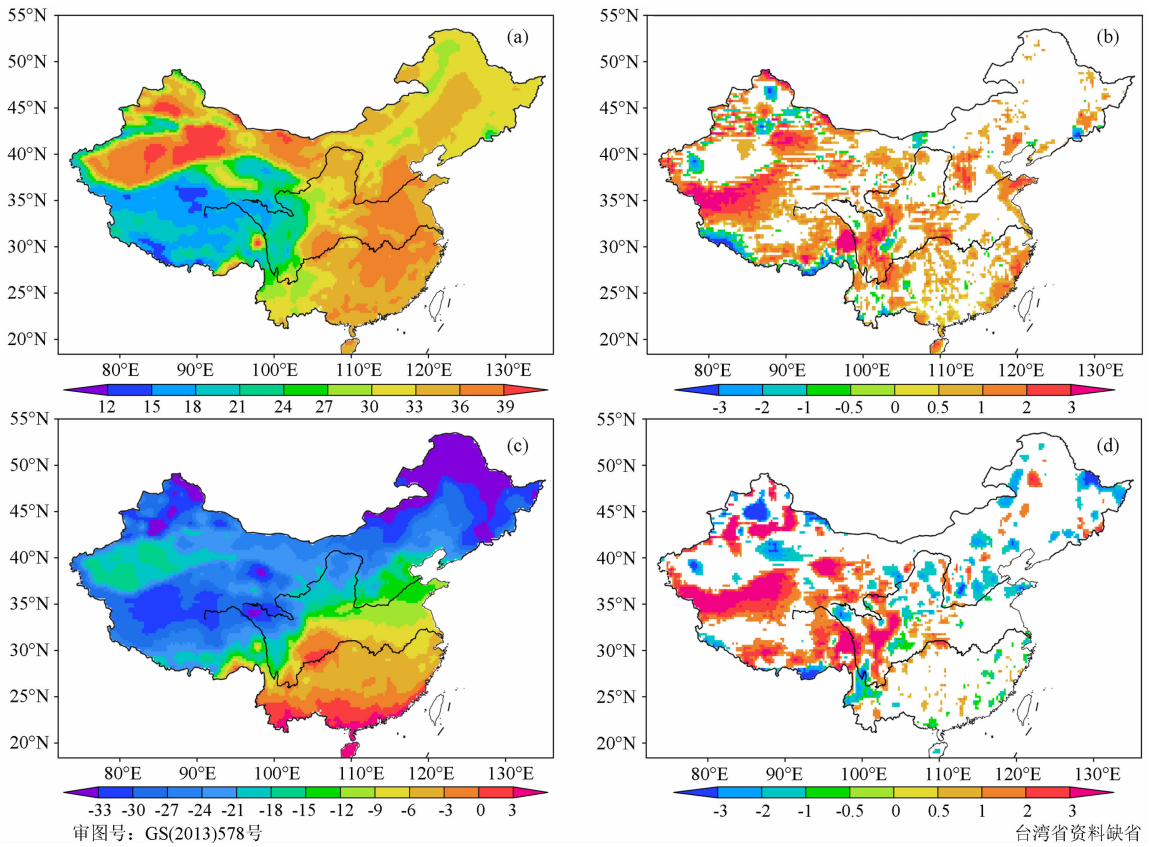


图3 研究区 CN05.1 的气温极端事件(左侧)及与 CN05 的差(右侧):(a,b)TX3D;(c,d)TN3D(单位:℃)

Fig. 3 Extreme temperature indices from CN05.1 (left column) and the difference between it and CN05 in the study area: (a, b) TX3D; (c, d) TN3D (units: °C)

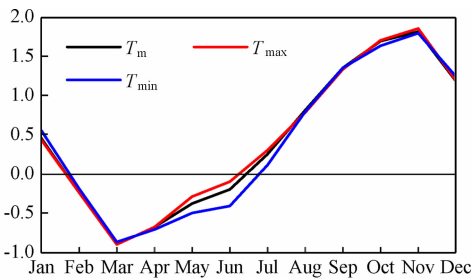


图4 中国区域平均的 CN05.1 与 CN05 的平均(黑色)、最高(红色)、最低(蓝色)气温在各月的差(单位:℃)

Fig. 4 Differences of the Regional averaged daily mean (T_m , black), maximum (T_{max} , red), and minimum (T_{min} , blue) temperature between CN05.1 and CN05 over China for each months of the year (units: °C)

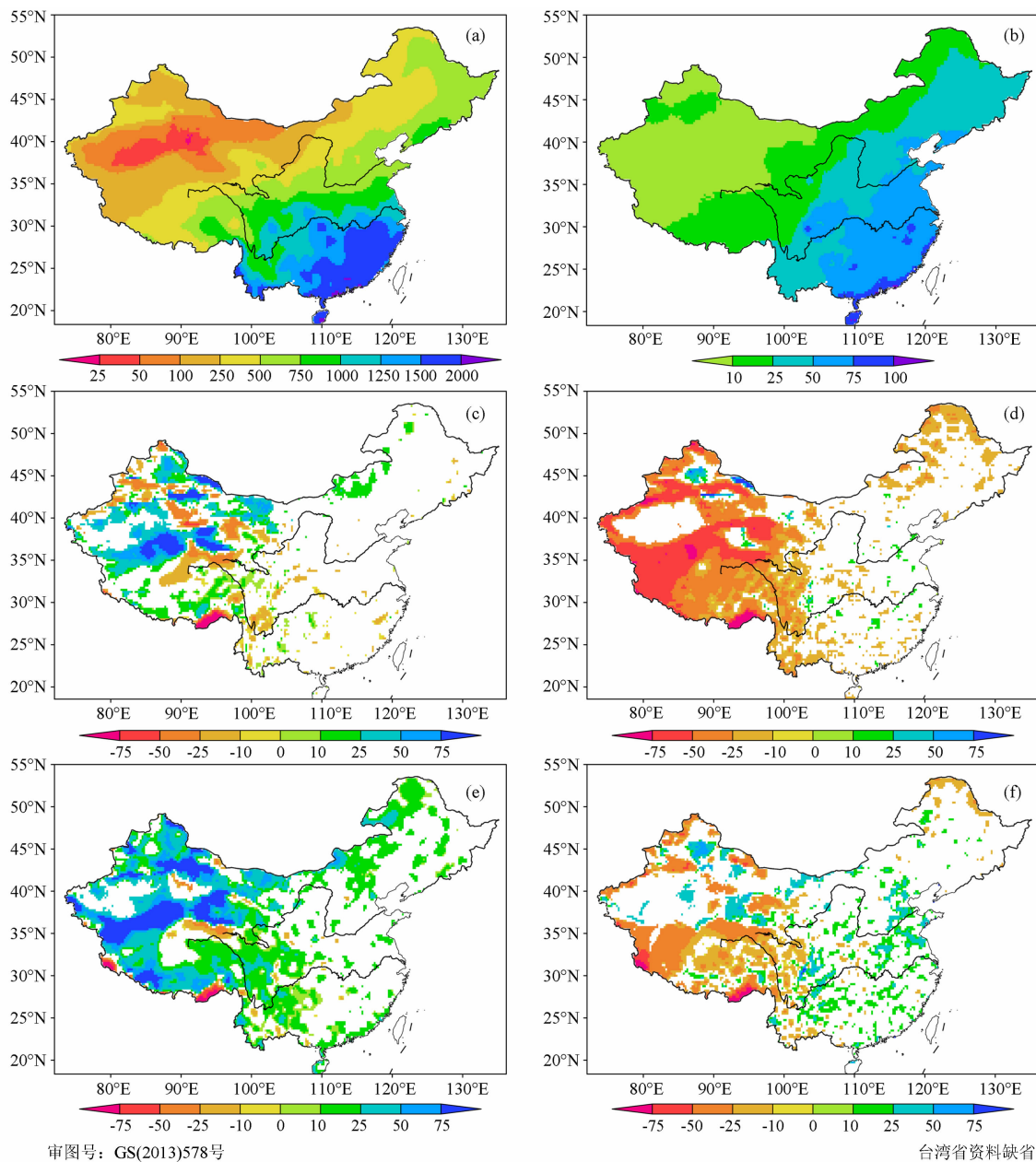
CN05.1 中的降水量较 EA05 和 APHRO 偏大,特别是后者,这可能和实际气候更符合. 这些地区存在的较大降水使得冰川能够在这里稳定存在,其融化并成为塔里木盆地南侧各河流水量的来源^[28]. 但在塔里木盆地中的降水则较其它两个资料略微偏大,一般在 25%~50%间. 实际上有研究表明这里的降水量一般小于 25 mm,可以达到 10 mm 以下^[29-30],

而这些地区没有观测台站(图 1),这里的降水量是由盆地周边降水量较大的台站的结果插值过来的,会导致 CN05.1 在这里的降水量和 EA05、APHRO 一样有所高估. 此外一些区域气候模式的结果,也报告了降水在昆仑山地区较多,而在盆地中较少的现象^[4]. 但总体来说,所得格点化数据在这些地区的应用中,需要注意其不确定性.

区域平均 CN05.1 的年平均降水与 EA05 和 APHRO 的差值分别为 6.5% 和 21.2%. APHRO 降水较 EA05 偏少的原因可能与其未像 EA05 一样经过 PRISM 的地形订正处理有关(参见前文). 计算得到的 CN05.1 与 EA05 和 APHRO 多年平均降水间的空间分布相关系数分别为 0.92 和 0.87.

CN05.1 给出的 R3D 的分布型(图 5b)与年平均降水(图 5a)类似,均为由东南向西北递减. R3D 的最大值出现在南方沿海,数值在 75 mm 以上,自华北南部至长江中下游和江南地区、四川盆地等的 R3D 均在 50 mm 以上,而西北地区则除天山等地外,普遍低于 10 mm.

图 5d、5f 分别给出 CN05.1 的 R3D 与 EA05 和



审图号: GS(2013)578号

台湾省资料缺失

图5 研究区 CN05.1 的年平均降水(左侧)和极端降水指数 R3D(右侧)(单位:mm)及其与 EA05 和 APHRO 数据的差值(单位:%);(a,b)年平均降水及 R3D;(c,d)与 EA05 的差;(e,f)与 APHRO 的差

Fig. 5 Annual mean precipitation (left column) and R3D (right column) (unit: mm) and their difference with EA05 and APHRO data (unit: %) in the study area; (a, b) annual mean precipitation and R3D; (c, d) differences with EA05; and (e, f) differences with APHRO

APHRO 的差。两者均在东部差别较小,西部较大。CN05.1 的 R3D 与 EA05 的相比,在东部除东北部分地区偏少较多并显著外,一般不超过 $\pm 10\%$,在西部山区的差别则显著,数值可以达到 25% 以上。CN05.1 与 APHRO 的差别在东部地区也较小,仅在华北及黄淮等地略偏大,在西部 CN05.1 与 APHRO 的差别分布在盆地类似,均为有所高估,在高山地区同样为偏少,但程度远小于与 EA05 的差别。注意到在中国西部,CN05.1 和 EA05 相比,前

者的平均降水偏多,而后者的极端降水强度更大;同时 APHRO 的平均降水偏少更多,但极端降水的强度则相对有所偏大。区域平均 CN05.1 的 R3D 与 EA05 和 APHRO 的差值分别为 -16.9% 和 -0.6% 。CN05.1 与 EA05 和 APHRO 的 R3D 间的相关系数分别为 0.71 和 0.90。

图6给出CN05.1中国区域逐月降水与EA05和APHRO的差。由图中可以看出,CN05.1的降水量在上半年的各月较EA05少,下半年各月较EA05

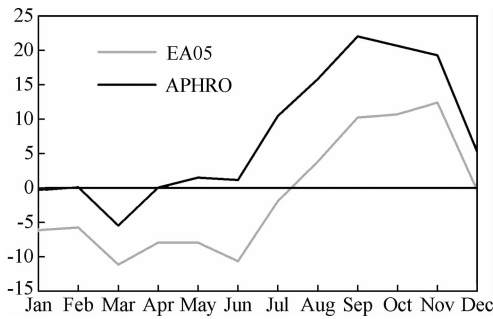


图 6 中国区域平均的 CN05.1 降水与 EA05(浅灰色)和 APHRO(黑色)在各月的差(单位:%)

Fig. 6 Differences between the regional averaged precipitation of CN05.1 with EA05 (light grey), and APHRO (black) over China for each month of the year (units: %)

多,幅度一般在 $\pm 10\%$ 间,年平均的差别因正负相抵,相对较小;而 CN05.1 与 APHRO 的降水量在上半年接近,下半年则明显多很多,最大出现在 9 月,达 22.0%,年平均差异较大.在空间分布上,这种逐月偏差主要发生在东部(图略),这是因为东部地区降水量更大的原因造成的.此外总体来说,EA05 与 APHRO 相比,各月均小 5%左右,其形成原因有待进一步的深入分析.

5 结论与讨论

本文使用中国 2416 个气象台站的气温和降水观测资料,建立了一套分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 的格点化数据集 CN05.1,并与其它资料进行了比较.结果表明,年平均的 CN05.1 中的平均、最高、最低气温与 CN05 相比,在东部地区差别较小,西部地区较大(以偏暖为主).区域平均的差别在各个季节中除春季偏低外均为偏高,以秋季最大.此外 CN05.1 的 TX3D 也比 CN05 要整体偏大, TN3D 则在东部地区有所偏小,但整体上仍表现为偏大.

CN05.1 的年平均降水量相对于 EA05 和 APHRO 均偏大,尤其是后者,偏大以在西部更明显.逐月平均结果则表明,这三种降水数据在冬春季偏差较小,秋季较大.对于 R3D 而言, CN05.1 较 EA05 在西部偏小明显,与 APHRO 整体上的差异相对较小.

本文工作的首要目的在于满足高分辨率气候模式检验的急需,除此之外,该数据集在气候变化的检测、监测,农业,水文,生态等领域的研究中也具有潜在应用价值.但需要指出的是,台站观测资料的格点化是一个非常复杂的工作,以本文为例,尚有不少有

待改进的地方,其中包括如:

(1)更多观测资料的搜集.除本文使用的中国气象局所属台站外,中国地区还有为数众多的水文、林业、民航及农垦等部门和系统管理的观测站点,尽量多地搜集这些站点的观测数据,将会在很大程度上提高最终格点化资料的准确性.此外,由本文中看到的不同数据集之间差别较大的地区,一般都是缺少台站观测的地方,是未来调整台站布局中需要注意到的问题^[31].

(2)原始资料的整理.包括资料的均一化处理^[32],热岛效应的扣除等^[33].同时研究表明固态降水观测经常因为风导致的偏小误差(可以达到 10%~20%^[34]),也需要在针对中国不同地区特点的基础上予以订正^[35].

(3)一般的观测台站,都位于平原或山区的河谷地带,使得周边高山格点上的插值,需要进行地形方面的订正.在本研究中,是通过 ANUSPLIN 软件实现的,所得到的订正系数在整个应用区域内是一个统一的值,这个值在所使用站点数目不同的情况下,会有一定差别,如 CN05.1 中实际使用的温度垂直递减率,较 CN05 低大约 $0.1^\circ\text{C}/100\text{m}$ (详细分析及图略).未来可以考虑按照气候特征进行适当的分区后,在不同地区分别进行插值.此外可以尝试使用再分析资料驱动高分辨率区域气候模式,在模拟结果中分析得到随空间和时间变化的地形订正参数,用于观测资料的插值.

参考文献(References)

- [1] Christensen J H, Hewitson B, Busuioc A, et al. Regional climate projections. // Solomon S, Qin D, Manning M eds. 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, New York: Cambridge University Press. 2007.
- [2] 石英,高学杰.温室效应对我国东部地区气候影响的高分辨率数值试验.大气科学,2008,32(5):1006-1018.
Shi Y, Gao X J. Influence of greenhouse effect on eastern China climate simulated by a high resolution regional climate model. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2008, 32(5): 1006-1018.
- [3] Gao X J, Shi Y, Song R Y, et al. Reduction of future monsoon precipitation over China: Comparison between a high resolution RCM simulation and the driving GCM. *Meteor. Atmos. Phys.*, 2008, 100(1-4): 73-86.
- [4] Gao X J, Shi Y, Zhang D F, et al. Uncertainties in monsoon precipitation projections over China: results from two high-resolution RCM simulations. *Climate Res.*, 2012, 52: 213-

- 226, doi: 10.3354/cr01084.
- [5] Xie P P, Chen M Y, Song Y, et al. A gauge-based analysis of daily precipitation over East Asia. *J. Hydrometeorol.*, 2007, 8(3): 607-626.
- [6] Xu Y, Gao X J, Shen Y, et al. A daily temperature dataset over China and its application in validating a RCM simulation. *Adv. Atmos. Sci.*, 2009, 26(4): 763-772.
- [7] Yatagai A, Arakawa O, Kamiguchi K, et al. A 44-year daily gridded precipitation dataset for Asia based on a dense network of rain gauges. *SOLA*, 2009, 5: 137-140.
- [8] 沈艳, 冯明农, 张洪政等. 我国逐日降水量格点化方法. *应用气象学报*, 2010, 21(3): 279-286.
- Shen Y, Feng M N, Zhang H Z, et al. Interpolation methods of China daily precipitation data. *J. Appl. Meteor. Sci.* (in Chinese), 2010, 21(3): 279-286.
- [9] Chen D L, Ou T H, Gong L B, et al. Spatial interpolation of daily precipitation in China: 1951-2005. *Adv. Atmos. Sci.*, 2010, 27(6): 1221-1232.
- [10] 高学杰, 石英, Giorgi F. 中国区域气候变化的一个高分辨率数值模拟. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 2010, 40(7): 911-922.
- Gao X J, Shi Y, Giorgi F. A high resolution simulation of climate change over China. *Science China Earth Sciences*, 2011, 54(3): 462-472.
- [11] Yu E T, Wang H J, Sun J Q. A quick report on a dynamical downscaling simulation over china using the nested model. *Atmos. Oceanic Sci. Lett.*, 2011, 3(6): 325-329.
- [12] Ju L X, Lang X M. Hindcast experiment of extraseasonal short-term summer climate prediction over China with RegCM3_IAP9L-AGCM. *Acta Meteor. Sin.*, 2011, 25(3): 376-385.
- [13] Wang A H, Zeng X B. Sensitivities of terrestrial water cycle simulations to the variations of precipitation and air temperature in China. *J. Geophys. Res.*, 2011, 116(D2): D02107.
- [14] Feng L, Zhou T J, Wu B, et al. Projection of future precipitation change over China with a high-resolution global atmospheric model. *Adv. Atmos. Sci.*, 2011, 28(2): 464-476.
- [15] New M, Hulme M, Jones P. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate. *J. Climate*, 2000, 13(13): 2217-2238.
- [16] New M, Hulme M, Jones P. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part 1: Development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*, 1999, 12(3): 829-856.
- [17] Hutchinson M F. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines. *Int. J. Geogr. Inf. Syst.*, 1995, 9(4): 385-403.
- [18] Hutchinson M F. ANUSPLIN Version 4.0 user guide. Centre for Resources and Environmental Studies. Canberra: Australian National University, 1999.
- [19] 王军邦, 刘纪远, 邵全琴等. 基于遥感-过程耦合模型的 1988—2004 年青海三江源区净初级生产力模拟. *植物生态学报*, 2009, 33(2): 254-269.
- Wang J B, Liu J Y, Shao Q Q, et al. Spatial-temporal patterns of net primary productivity for 1988—2004 based on GLOPEM-CEVSA Model in the “Three-River Headwaters” region of Qinghai province, China. *Chinese Journal of Plant Ecology* (in Chinese), 2009, 33(2): 254-269.
- [20] 於刚, 李克让, 陶波等. 植被地理分布对气候变化的适应性研究. *地理科学进展*, 2010, 29(11): 1326-1332.
- Yu L, Li K R, Tao B, et al. Simulating and assessing the adaptability of geographic distribution of vegetation to climate change in China. *Progress in Geography* (in Chinese), 2010, 29(11): 1326-1332.
- [21] 赵志平, 刘纪远, 邵全琴. 近 30 年来中国气候湿润程度变化的空间差异及其对生态系统脆弱性的影响. *自然资源学报*, 2010, 25(12): 2091-2100.
- Zhao Z P, Liu J Y, Shao Q Q. Spatial diversity of humidification and its impact on ecosystem vulnerability in China during the last 30 years. *Journal of Natural Resources* (in Chinese), 2010, 25(12): 2091-2100.
- [22] Shepard D S. Computer mapping: The SYMAP interpolation algorithm. // Gaile G L, Willmott C J eds. *Spatial Statistics and Models*. Dordrecht: D. Reidel Publishing, 1984: 133-145.
- [23] New M, Lister D, Hulme M, et al. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Res.*, 2002, 21(1): 1-25.
- [24] Gandin L S. *Objective Analysis of Meteorological Fields*. Israel Program for Scientific Translations, 1965.
- [25] Daly C, Gibson W P, Taylor G H, et al. A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. *Climate Res.*, 2002, 22(2): 99-113.
- [26] Daly C, Neilson R P, Phillips D L. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *J. Appl. Meteor.*, 1994, 33(2): 140-158.
- [27] 韩振宇, 周天军. APHRODITE 高分辨率逐日降水资料在中国大陆地区的适用性. *大气科学*, 2012, 36(2): 361-373.
- Han Z Y, Zhou T J. Assessing the quality of APHRODITE high-resolution daily precipitation dataset over contiguous China. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2012, 36(2): 361-373.
- [28] 沈永平, 梁红. 高山冰川区大降水带的成因探讨. *冰川冻土*, 2004, 26(6): 806-809.
- Shen Y P, Liang H. High precipitation in Glacial Region of high mountains in High Asia: possible cause. *Journal of Glaciology and Geocryology* (in Chinese), 2004, 26(6): 806-809.
- [29] 《中华人民共和国气候图集》编委会. 中华人民共和国气候图集. 北京: 气象出版社, 2002.
- Editorial Board of Climatological Atlas of the People's Republic of China. *Climatological Atlas of the People's Republic of China* (in Chinese). Beijing: Meteorological Press, 2002.

- [30] 李生字, 雷加强, 徐新文等. 塔克拉玛干沙漠腹地沙尘暴特征——以塔中地区为例. 自然灾害学报, 2006, 15(2): 14-19.
Li S Y, Lei J Q, Xu X W, et al. Features of sandstorms in hinterland of Taklimakan Desert: a case of Tazhong area. *Journal of Natural Disasters* (in Chinese), 2006, 15(2): 14-19.
- [31] 胡婷, 周江兴, 代刊. USCRN 气候基准站网布局理论在我国的应用. 应用气象学报, 2012, 23(1): 40-46.
Hu T, Zhou J X, Dai K. Application of USCRN station density strategy to China climate reference network. *J. Appl. Meteor. Sci.* (in Chinese), 2012, 23(1): 40-46.
- [32] Li Z, Yan Z W. Application of multiple analysis of series for homogenization to Beijing daily temperature series (1960—2006). *Adv. Atmos. Sci.*, 2010, 27(4): 777-787.
- [33] 龚道溢, 王绍武. 全球气候变暖研究中的不确定性. 地学前缘, 2002, 9(2): 371-376.
Gong D Y, Wang S W. Uncertainties in the global warming studies. *Earth Science Frontiers* (in Chinese), 2002, 9(2): 371-376.
- [34] Adam J C, Lettenmaier D P. Adjustment of global gridded precipitation for systematic bias. *J. Geophys. Res.*, 2003, 108(D9):4257, doi:10.1029/2002JD002499.
- [35] 叶柏生, 成鹏, 杨大庆等. 降水观测误差修正对降水变化趋势的影响. 冰川冻土, 2008, 30(5): 717-725.
Ye B S, Cheng P, Yang D Q, et al. Effects of the bias-correction on changing tendency of precipitation over China. *Journal of Glaciology and Geocryology* (in Chinese), 2008, 30(5): 717-725.

(本文编辑 何 燕)