

三套再分析降水资料在东北地区的适用性评价

刘鹏飞¹, 刘丹丹¹, 梁丰¹, 王婉昭², 于跃¹, 郭佰汇¹, 于芳健¹, 毕明林¹

(1. 辽宁省朝阳市气象局, 辽宁 朝阳 122000; 2. 辽宁省气象科学研究所, 沈阳 110166)

摘要:利用 1980—2010 年东北地区 84 个气象站月降水资料, 基于相关分析、偏差比较、气候倾向率等方法, 从不同时间尺度(年、季、月)对 CFSR, MERRA 和 NCEP 再分析降水资料在东北地区的适用性进行了比较, 结果表明: 三套再分析资料能够反映出东北地区年均降水东南多、西北少的分布特征, 其中 CFSR 和 MERRA 对东北地区年均降水分布的刻画能力要好于 NCEP。在年尺度上, CFSR 和 MERRA 与观测资料的变化幅度更接近, 其中, MERRA 年均降水量与观测资料的差值最小, 为 42.4 mm。三套再分析资料与观测资料在不同季节的相关性表现出一定的差异。首先, CFSR 与观测资料在春、夏、秋 3 季的相关性要好于冬季; 而 MERRA 与观测资料的相关性则是春、秋两季最优, 冬、夏两季次之; NCEP 在冬季与观测资料的相关性最好。其次, CFSR 和 MERRA 在春、夏、秋 3 季与观测资料的相关性要好于 NCEP; 而在冬季, MERRA 和 NCEP 与观测资料的相关性优于 CFSR。在月尺度上, MERRA 资料与观测降水的相关性优于 CFSR 和 NCEP, MERRA 与观测降水的平均绝对偏差在三套再分析资料中最小, 为 17.5 mm, CFSR 和 NCEP 的这一差值分别为 20.7 mm 和 22.6 mm。

关键词:再分析资料; CFSR; MERRA; NCEP; 东北地区; 降水

中图分类号: P468; P426.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)04-0215-07

Comparison the Adaptability of CFSR, MERRA, NCEP Reanalysis Precipitation Data and Observation in Northeast China

LIU Pengfei¹, LIU Dandan¹, LIANG Feng¹, WANG Wanzhao²,
YU Yue¹, GUO Baihui¹, YU Fangjian¹, BI Minglin¹

(1. Chaoyang Meteorological Administration, Chaoyang, Liaoning 122000, China;
2. Institute of Meteorological Sciences of Liaoning Province, Shenyang 110166, China)

Abstract: Based on monthly precipitation data of 84 weather stations in northeast China from 1980 to 2010, we compared the differences of precipitation between reanalysis data and observation by using correlation analysis, deviation comparison and climate tendency. The results show that the three analysis data-sets (CFSR, MERRA and NCEP) can reflect the distribution of precipitation in northeast China. But CFSR and MERRA are better than NCEP in describing the details of precipitation. At the annual scale, the variation ranges of CFSR and MERRA are closer to observation data than NCEP, while the difference between MERRA annual precipitation and observation is smallest, which is 42.4 mm. It is found that there are some differences in significant correlation between three reanalysis data-sets and observed data. Firstly, the correlation of CFSR and observed data in spring, summer and autumn is better than winter. However, the correlation of MERRA and observed data is better in spring and autumn. Secondly, the correlation between CFSR, MERRA and observed data is better than NCEP in spring, summer and autumn. But in winter, MEERA and NCEP are better than CFSR. At the monthly scale, the mean absolute deviation of MERRA and observed data is the smallest among three data-sets, which is 17.5 mm. And the mean absolute deviations between CFSR, NCEP and observed data are 20.7 mm and 22.6 mm.

Keywords: reanalysis data; CFSR; MERRA; NCEP; northeast China; precipitation

再分析资料自 20 世纪 90 年代中期研制至今已历经 3 代^[1-2]。第一代再分析产品包括美国国家环境预报中心(以下简称 NCEP)和大气研究中心(以下简称 NCAR)提供的 NCEP-R1, NCEP-R2 以及欧洲中期天气预报中心(以下简称 ECMWF)提供的 ERA-15 再分析资料;第二代再分析产品包括 ECMWF 的 ERA-40 和日本气象厅(JMA)提供的 JRA-25 再分析资料;第三代再分析产品以 NCEP 气候预报系统再分析资料——CFSR, ECMWF 过渡时期再分析资料——ERA-interim 和美国国家航空航天局(以下简称 NASA)现代回顾性分析研究和应用再分析资料——MERRA 为代表^[3-8]。研究显示,基于丰富的观测数据和更为优化的耦合模式及同化方案,第三代再分析资料较前两代数据有了明显的改善。尽管如此,作为数值产品与观测资料的融合产品,再分析资料必然包含数值模式、同化方案等引入误差。因此,开展第三代再分析资料的检验与评估工作,对于模式的改进和提高大有裨益^[9-12]。

关于第三代再分析资料在全球和中国区域的质量问题,目前已有不少相关的评估和检验研究。苏涛等^[13]认为 ERA-interim 与 MERRA 资料对不同气象因子的再现能力不同,二者对降水量的描述要优于蒸发量。范彬彬等^[14]对 CFSR, ERA-Interim 和 MERRA 降水数据在新疆地区的适用性进行了检验,发现三套再分析资料能够表征新疆大部分地区年内降水的时空分布特征,但未能体现夏季降水的长期变化趋势。王雨等^[15]还发现上述 3 种再分析水汽资料在描述全球水汽的主模态变化方面有很高的相似性,但在全球分布、时间序列变化趋势等方面仍存在一定的差异。韦芬芬等^[16]对多套再分析资料精度的检验表明,第三代再分析资料中 ERA-Interim 和 MERRA 对中国区域夏季高空变量的再现能力相较前两代数据 NCEP/NCAR 和 NCEP/DOE 有所提高,但 CFSR 的再现能力却不及第二代再分析资料 JRA-25。

东北地区地形多变,气象站点相对稀疏且分布不均,这就使得再分析资料在这一地区的应用十分必要。当前,再分析资料在东北地区的比较研究已不少见,但大多是对第一、二代再分析产品的探讨,对第三代再分析资料精度的研究还不多见^[9,17-21],尚缺乏对新、旧再分析资料的对比检验工作。鉴于此,本文选取 CFSR, MERRA 和 NCEP 再分析月降水数据,从不同时间尺度(年、季、月)对三套再分析降水产品在东北地区的精度进行比较,希望通过此类研究,能为今后东北地区

气候变化及模式检验等相关工作提供一定参考。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

本文所指东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江省和内蒙古东部的赤峰市、通辽市、兴安盟和呼伦贝尔市。

1.2 数据介绍

(1) CFSR: NCEP 气候预报系统再分析资料 CFSR, 与 NCEP 早期的全球再分析资料相比, CFSR 的时空分辨率更高, 在海气耦合模式中加入海冰模式^[22]。本文用到的 CFSR 再分析资料为月降水数据, 空间分辨率 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 时间为 1980—2010 年, 该资料由 NCAR/UCAR 研究数据信息中心(Research Data Archive)提供, 网址为 <http://rda.ucar.edu/>。

(2) MERRA: MERRA 是 NASA 对早期再分析资料的水循环过程进行改进后, 由戈达德地球观测系统模式(GEOS-5)和数据同化系统(DAS)生成^[23-24]。本文用到的 MERRA 再分析资料为月降水数据, 空间分辨率 $0.5^{\circ} \times 0.625^{\circ}$, 时间为 1980—2010 年, 该资料由戈达德地球科学数据和信息中心(GES-DISC)提供, 网址为 <https://disc.sci.gsfc.nasa.gov/>。

(3) NCEP: 本文使用 NCEP/DOE 再分析月降水数据集^[7], 空间分辨率 $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$, 时间为 1980—2010 年, 该资料由美国大气海洋局(NOAA)地球系统研究实验室(ESRL)提供, 网址为 <https://www.esrl.noaa.gov/>。

(4) 站点资料(OBS): 所用数据由中国气象局国家气象信息中心提供, 包含东北地区 84 个地面气象站 1980—2010 年逐月降水数据。数据经过了较为严格的检验, 并经过气候极值、内部一致性、空间一致性等质量控制, 确保了数据的均一性和完整性, 对个别缺测数据进行了均值替代处理。

1.3 研究方法

本文采用双线性插值方法(应用 MeteoInfo 软件)将再分析降水数据插值到东北地区 84 个气象站点, 采用相关分析、偏差比较、气候倾向率等方法研究再分析降水数据与观测数据的异同。偏差定义为内插格点数据与站点数据的差值, 绝对偏差即为偏差的绝对值。季节的划分标准为: 当年的 12 月和下一年的 1 月、2 月为冬季, 3—5 月为春季, 6—8 月为夏季, 9—11 月为秋季。

2 结果与分析

2.1 年降水量的比较

2.1.1 空间分布 图 1 给出了 1980—2010 年再分析

资料(图 1A—1C)与观测资料(图 1D)的年降水量分布。总的来看,三套再分析资料都能在一定程度上反映出东北地区降水东南多、西北少的分布特征。但 CFSR 和 MERRA 对东北地区年均降水分布的刻画能力要好于 NCEP,前两者描述的东北地区多、少雨区位置与观测

资料是基本一致的,只是多雨区范围和降水总量都要略大于观测值。NCEP 对东北少雨区的描述与观测资料的一致性较好,但对多雨中心位置的把握较观测资料明显偏东偏北,即明显高估了东北东部的降水,同时对东北东南部(多雨中心)的降水有所低估。

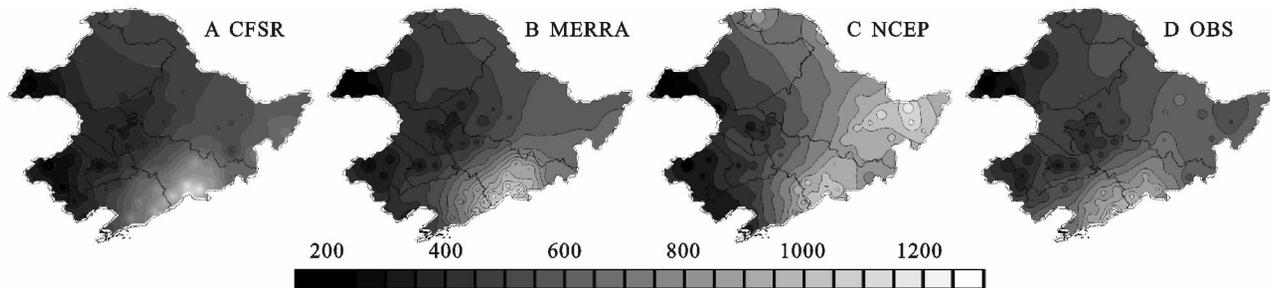


图 1 再分析资料与观测资料年降水量空间分布

2.1.2 时间变化 图 2 给出了东北地区年降水量及其距平的时间变化。由图 2A 可知,再分析资料与观测资料的演变趋势较为一致。可以看到,1980—1999 年三套再分析资料较观测资料普遍偏高,只有 1995 年 NCEP 降水低于观测值;2000 年以后 CFSR 与 NCEP 较观测资料偏高的年份均为 5 年,而 MERRA 在大多数年份仍较观测值偏高,只有 2008—2010 年

的 3 年里 MERRA 降水低于观测资料。从降水距平的多年变化(图 2B)来看,再分析资料与观测资料也有很好的一致性变化趋势,且再分析资料与观测资料的相关系数都通过了 0.001 水平的显著性检验。通过比较发现,CFSR 和 MERRA 与观测资料在变幅方面的一致性要优于 NCEP,前两者与观测资料的平均绝对偏差分别为 42.4 mm 和 37.4 mm,后者为 77.0 mm。

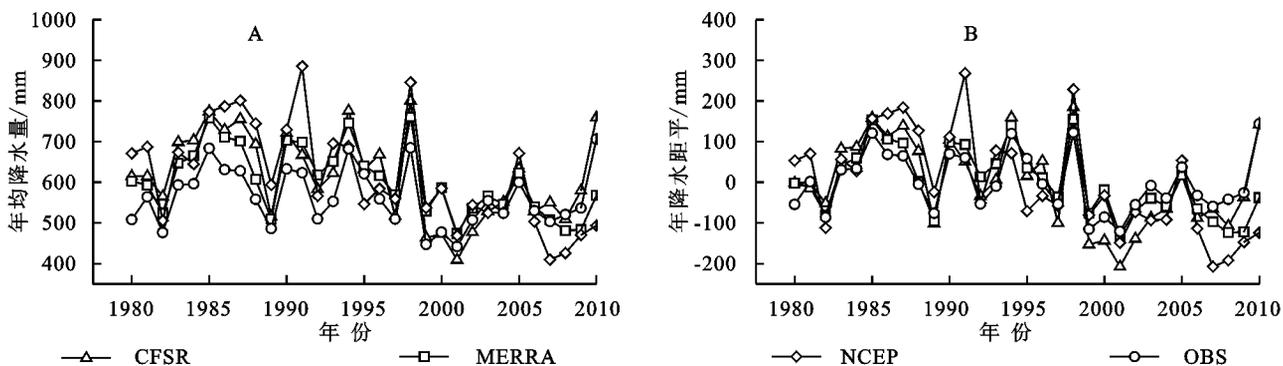


图 2 东北地区年降水量及其距平的时间变化

表 1 给出了再分析资料与观测资料在不同时期的平均降水量及气候倾向率。可以看出,CFSR 在各时期的平均降水量均高于观测值,MERRA 和 NCEP 在 2001—2010 年年均降水量较观测值偏低,其他时段较观测值偏高。1980—2010 年,MERRA 年均降水量与观测资料的差值最小,为 42.4 mm,CFSR 和 NCEP 与观测降水的差值接近,分别为 53.7 mm 和 54.6 mm。从不同时期降水倾向率来看,CFSR 与观测降水的变化能够保持一致,MERRA 和 NCEP 在 2001—2010 年的降水倾向率与观测资料相反,观测显示这一阶段降水是增加趋势(133.5 mm/10 a),而 MERRA(-9.3 mm/10 a)和 NCEP(-96.3 mm/10 a)显示降水是减少的。究其原因,是 MERRA 和 NCEP 对这一时期前半段(2001—2005)降水高估、而

对后半段(2006—2010)降水低估所致。相反,CFSR 对 2001—2003 年东北地区降水有所低估,而对 2004—2010 年降水又有所高估,导致该时段的降水倾向(222.0 mm/10 a)明显高于观测值。

2.2 季节尺度相关性比较

2.2.1 再分析资料与观测资料在不同季节的相关性比较 表 2 给出了再分析资料与观测资料距平相关系数所达到的显著性水平(显著性检验为 F 检验,置信度水平由 Origin 9.0 软件计算得出)。可以看出,春季 CFSR 与观测降水的距平相关系数在东北地区 84 个气象站都在 0.05 显著性水平以上,其中 79 个气象站的距平相关系数通过了 0.001 水平的显著性检验。同样的,MERRA 与观测降水也有很好的相关性,其与观测资料的距平相关系数在东北地区 84 个

气象站都超过了 0.01 的显著性水平,达到 0.001 显著性水平的站点有 83 个。NCEP 与观测资料的距平

相关系数在 0.05 显著性水平以上的测站有 80 个,略低于 CFSR 和 MERRA。

表 1 再分析资料与观测数据在不同时段的降水平均态及变率比较

时间段	项目	CFSR	MERRA	NCEP	OBS
1980—1990 年	平均降水量/mm	671.3	638.4	691.9	577.9
	降水倾向率/(mm/10 a)	59.8	52.1	93.8	59.9
1991—2000 年	平均降水量/mm	620.3	641.4	649.3	566.5
	降水倾向率(mm/10 a)	-147.2	-98.8	-152.1	-101.5
2001—2010 年	平均降水量/mm	552.6	532.4	503.6	542.4
	降水倾向率/(mm/10 a)	222.0	-9.3	-96.3	133.5
1980—2010 年	平均降水量/mm	616.5	605.2	617.4	562.8
	降水倾向率(mm/10 a)	-46.2	-46.1	-84.1	-11.4

夏季,CFSR,MERRA 和 NCEP 与观测资料的距平相关系数在 0.05 显著性水平以上的测站分别有 83,82,77 个,较春季达到相同显著性水平的测站略偏少。其中 MERRA 和 NCEP 与观测资料达到 0.001 显著性水平的测站较春季明显偏少,二者分别偏少了 11,16 个。秋季,CFSR 与观测资料在不同显著性水平的站点个数与春季是完全一致的。此外,MERRA 也显示,其与观测资料的距平相关系数在东部地区全部 84 个测站也都在 0.01 的显著性水平以上,这与春季的分布一致。NCEP 与观测资料在 0.05 显著性水平以上的测站有 78 个,略少于春季。

冬季,CFSR 与观测资料达到 0.001 显著性水平的测站有 48 个,明显少于春、夏、秋三季。MERRA 和 NCEP 与观测资料达到 0.001 显著性水平的测站分别为 70,67 个,明显高于 CFSR,说明冬季 MERRA 和 NCEP 与观测资料的相关性要优于 CFSR。

综上,三套再分析资料与观测资料在不同季节均有较好的相关性,但也表现出一定的差异。首先,CFSR 与观测资料在春、夏、秋三季的相关性要好于冬季;而 MERRA 与观测资料的相关性则是春、秋两季最优,冬、夏两季次之;NCEP 在冬季与观测资料的相关性最好。其次,CFSR 和 MERRA 在春、夏、秋三季与观测资料的相关性要好于 NCEP;而在冬季,MERRA 和 NCEP 与观测资料的相关性优于 CFSR。

2.2.2 再分析资料与观测资料在不同季节的偏差分布 图 3 给出了再分析资料与观测资料在不同季节的偏差分布。可以看到,春、秋、冬三季(图 3A,3C,3D)在东北大部地区 CFSR 较观测资料明显偏高,各季平均的差值分别为 35.5,20.4,31.3 mm。夏季(图 3B),CFSR 在东北东南部一带较观测值偏高,而在其他大部地区又较观测值偏低。其中偏低站点有 68 个,占测站总数的 81.0%,夏季 CFSR 与观测降水的平均偏差为 -33.8 mm。MERRA 与观测资料的

差值分布与 CFSR 类似,即春、秋、冬三季(图 3E,3G,3H)在东北大部地区 MERRA 也明显高于观测值,各季偏差分别为 21.8,11.7,14.4 mm,相较 CFSR 与观测资料的偏差略小。夏季(图 3F)MERRA 资料较观测值偏低的站点明显增多,达到 46 站,分布在东北南部和偏北的一些地区,而在中部偏南的一些地区 MERRA 较观测值偏高。夏季 MERRA 与观测资料的差值为 -5.5 mm,也要低于 CFSR 与观测资料的差值。相比 CFSR 和 MERRA,NCEP 与观测资料的偏差在四季(图 3I—3L)的分布是大体相同的,即在东北南部地区 NCEP 要偏低于观测资料,而在中北部的大部地区 NCEP 较观测资料偏高。春、夏、秋、冬四季 NCEP 较观测资料偏高的站点分别有 45,61,51,61 个。NCEP 与观测资料在四季的差值分别为 0.4,48.6,1.2,4.5 mm,除夏季外,NCEP 在春、秋、冬三季与观测资料的差值在三套再分析资料中最小。

表 2 再分析资料与观测资料在季节尺度的相关性

季节	距平相关系数	CFSR_OBS	MERRA_OBS	NCEP_OBS
	显著性水平	(站点个数)	(站点个数)	(站点个数)
春季	0.05	1	0	6
	0.01	4	1	17
	0.001	79	83	57
夏季	0.05	1	4	12
	0.01	4	6	24
	0.001	78	72	41
秋季	0.05	1	0	10
	0.01	4	7	16
	0.001	79	77	52
冬季	0.05	9	3	3
	0.01	24	10	13
	0.001	48	70	67

2.3 月尺度相关性比较

2.3.1 月降水散点图与平均偏差分布 从 1980—2010 年三套再分析资料与同期东北地区观测数据的散

点图(图4A—4C)可以看出,再分析资料中MERRA与观测降水在月尺度的相关性最好,二者的相关系数为0.87,达到了0.01水平的显著性检验。CFSR和NCEP与观测资料也有很好的相关关系,二者与观测降水的相关系数分别为0.86,0.81,都通过了0.01水平的显著性检验。从再分析资料与观测降水在月尺度的绝对偏差(图4D—4F)可以看出,MERRA与

观测资料相差在20 mm以下的月份占比最高,达到74.5%,CFSR和NCEP的这一比例分别为66.2%和69.2%。三套再分析资料与观测降水相差在50 mm以上的月份占比相对较低,分别9.0%,7.9%和13.6%。进一步发现,再分析资料与观测降水的平均绝对偏差中MERRA最小,为17.5 mm,CFSR和NCEP的这一差值分别为20.7 mm和22.6 mm。

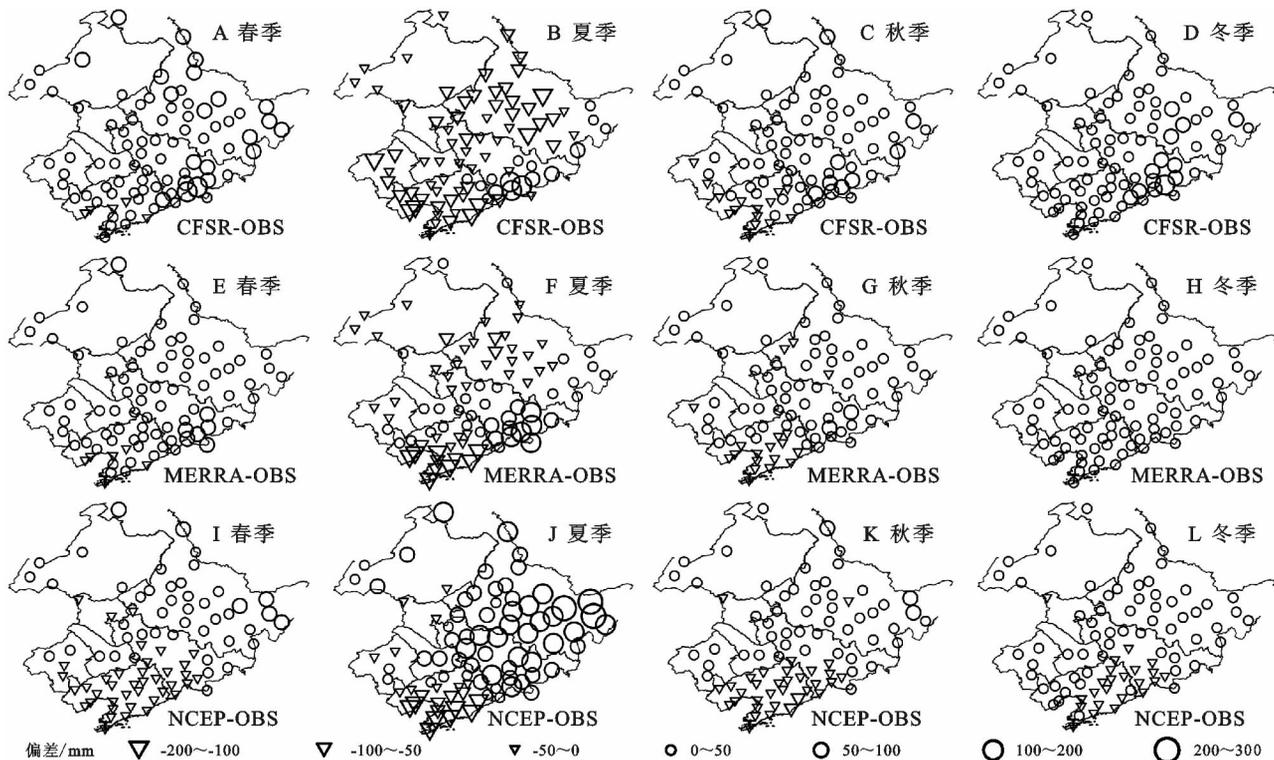


图3 再分析资料与观测资料不同季节偏差的空间分布

2.3.2 月降水变化及偏差 由图5可知,再分析资料与观测数据的年内变化(图5A)是一致的,即能够反映出东北地区降水的年内分布特征。但从各月再分析资料与观测资料的偏差(图5B)可以看出,1—5月NCEP资料与观测资料的偏差最小,5个月的平均偏差为0.6 mm;1—5月MERRA资料与观测降水的偏差要小于CFSR,MERRA资料在前5个月的平均偏差为6.1 mm,CFSR为11.3 mm。6—8月MERRA资料与观测降水最接近,平均偏差为-1.8 mm;CFSR在此期间的偏差要小于NCEP,且表现为CFSR较观测降水偏低,平均偏差为-11.2 mm,而NCEP较观测降水偏高,平均偏差为16.2 mm。9月再分析资料都明显高于观测降水,CFSR,MERRA和NCEP与观测降水的平均偏差分别为41.8,42.9,46.0 mm。10月MERRA资料与观测降水最接近,偏差为3.0 mm;NCEP较观测值略小,偏差为-3.8 mm;CFSR较观测值偏大,差值为8.3 mm。11—12月NCEP与观测资料的偏差仍为最小,其中11月

NCEP略小于观测值,偏差为-0.9 mm,12月较观测值略大,偏差为1.6 mm;在此期间,MERRA与CFSR都高于观测降水,二者与观测降水的平均偏差分别为5.5,10.4 mm。

3 结论

(1) 三套再分析资料能够反映出东北地区年均降水东南多、西北少的分布特征,其中CFSR和MERRA对东北地区年均降水分布的刻画能力要好于NCEP。从时间变化来看,再分析资料与观测资料的演变趋势是较为一致的。此外,CFSR和MERRA与观测资料在变幅方面的一致性要优于NCEP。1980—2010年,MERRA年均降水量与观测资料的差值最小,为42.4 mm,CFSR和NCEP与观测降水的差值接近,分别为53.7 mm和54.6 mm。从不同时期降水倾向率来看,CFSR与观测降水的变化能够保持一致,MERRA和NCEP在2001—2010年的降水倾向率与观测资料相反。

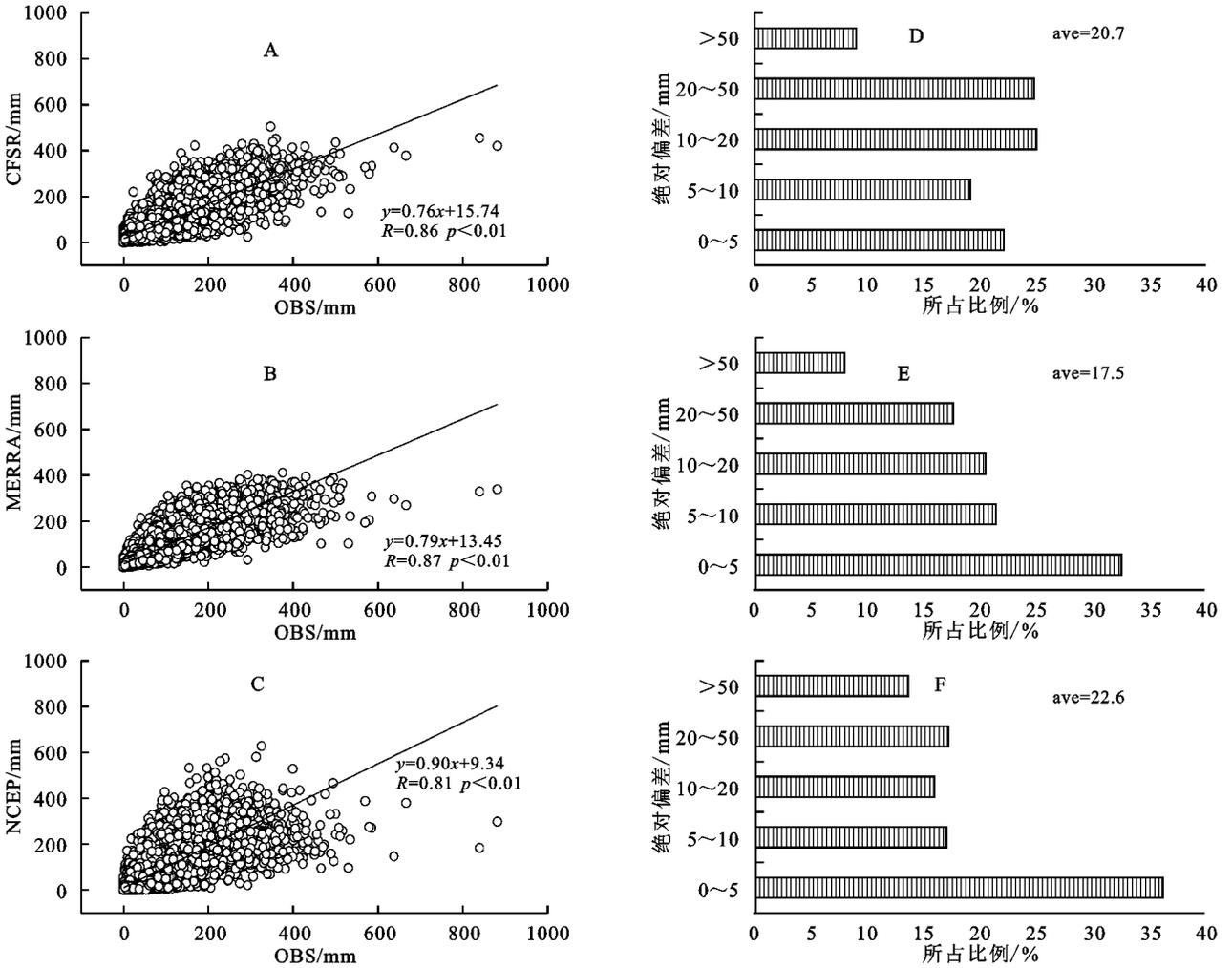


图 4 1980—2010 年再分析资料与同期东北地区观测降水的散点图及绝对偏差占比

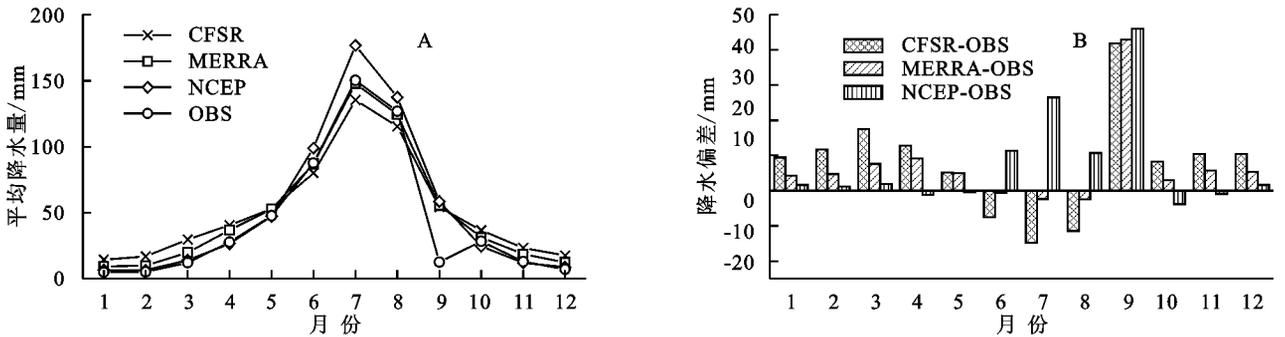


图 5 再分析资料与观测数据月平均降水的年内变化及偏差

(2) 三套再分析资料与观测资料在不同季节的相关性表现出一定的差异。首先,CFSR 与观测资料在春、夏、秋三季的相关性要好于冬季;而 MERRA 与观测资料的相关性则是春、秋两季最优,冬、夏两季次之;NCEP 在冬季与观测资料的相关性最好。其次,CFSR 和 MERRA 在春、夏、秋三季与观测资料的相关性要好于 NCEP;而在冬季,MERRA 和 NCEP 与观测资料的相关性优于 CFSR。

(3) MERRA 资料与观测降水在月尺度的相关性要优于 CFSR 和 NCEP。1980—2010 年,MERRA 与观

测资料相差在 20 mm 以下的月份占比最高,达到 74.5%,CFSR 和 NCEP 的这一比例分别为 66.2%和 69.2%。此外,MERRA 与观测降水的平均绝对偏差在三套再分析资料中最小,为 17.5 mm,CFSR 和 NCEP 的这一差值分别为 20.7 mm 和 22.6 mm。

致谢:感谢 NCAR/UCAR 研究数据信息中心 (Research Data Archive)、戈达德地球科学数据和信息中心 (GES-DISC)、美国大气海洋局 (NOAA) 地球系统研究实验室 (ESRL) 和中国气象局国家气象信息中心提供 CFSR,MERRA,NCEP 再分析资料及东北地区观测资料。

参考文献:

- [1] 吴国雄,林海,邹晓蕾,等. 全球气候变化研究与科学数据[J]. 地球科学进展,2014,29(1):15-22.
- [2] 赵天保,符淙斌,柯宗建,等. 全球大气再分析资料的研究现状与进展[J]. 地球科学进展,2010,25(3):241-254.
- [3] Blacutt L A, Herdies D L, de Goncalves L G G, et al. Precipitation comparison for the CFSR, MERRA, TRMM3B42 and combined scheme datasets in Bolivia [J]. Atmospheric Research, 2015,163:117-131.
- [4] Naud C M, Booth J F, Del Genio A D. Evaluation of ERA-Interim and MERRA cloudiness in the Southern Ocean[J]. Journal of Climate, 2014,27(5):2109-2124.
- [5] Saha S, Moorthi S, Wu X, et al. The NCEP climate forecast system version 2[J]. Journal of Climate, 2014, 27(6):2185-2208.
- [6] 赵天保,符淙斌. 应用探空观测资料评估几类再分析资料在中国区域的适用性[J]. 大气科学,2009,33(3):634-648.
- [7] 赵天保,符淙斌. 中国区域 ERA-40, NCEP-2 再分析资料与观测资料的初步比较与分析[J]. 气候与环境研究, 2006,11(1):14-32.
- [8] 赵天保,华丽娟. 几种再分析地表气压资料在中国区域的适用性评估[J]. 应用气象学报,2009,20(1):70-79.
- [9] 戴泽军,宇如聪,李建,等. 三套再分析资料的中国夏季降水日变化特征[J]. 气象,2011,37(1):21-30.
- [10] 除多,杨勇,罗布坚参,等. MERRA 再分析地面气温产品在青藏高原的适用性分析[J]. 高原气象,2016,35(2):337-350.
- [11] Lawrence Z D, Manney G L, Minschwaner K, et al. Comparisons of polar processing diagnostics from 34 years of the ERA-Interim and MERRA reanalyses [J]. Atmospheric Chemistry & Physics,2015,15(7):3873-3892.
- [12] Wang J, Wang W, Fu X, et al. Tropical intraseasonal rainfall variability in the CFSR[J]. Climate Dynamics, 2012,38(11/12):2191-2207.
- [13] 苏涛,封国林. 中国夏季大气水分循环特征及再分析资料对比分析[J]. 物理学报,2014,63(24):489-501.
- [14] 范彬彬,罗格平,张弛,等. 新疆夏季降水时空分布的适用性评估[J]. 地理研究,2013,32(9):1602-1612.
- [15] 王雨,张颖,傅云飞,等. 第三代再分析水汽资料的气候态比较[J]. 中国科学:地球科学,2015,45(12):1895-1906.
- [16] 韦芬芬,汤剑平,王淑瑜. 中国区域夏季再分析资料高空变量可信度的检验[J]. 地球物理学报,2015,58(2):383-397.
- [17] 支星,徐海明,米卫红,等. 中国东北和西北地区3种再分析资料与探空资料的温度对比[J]. 气象与环境学报,2014,30(6):147-157.
- [18] 李建,宇如聪,陈昊明,等. 对三套再分析资料中国大陆地区夏季降水量的评估分析[J]. 气象,2010,36(12):1-9.
- [19] 韩晋平,王会军. 东亚夏季风年代际变化的若干重要特征及两份大气再分析资料的异同[J]. 地球物理学报, 2007,50(6):48-58.
- [20] 高庆九,管兆勇,蔡佳熙,等. 两种再分析资料中夏季地表气温与中国测站资料的差异[J]. 大气科学,2010,34(3):471-482.
- [21] 吕少宁,文军,刘蓉. 中国大陆地区不同降水资料的适用性及其应用潜力[J]. 高原气象,2011,30(3):628-640.
- [22] Hodges K I, Lee R W, Bengtsson L. A comparison of extratropical cyclones in recent reanalyses ERA-Interim, NASA MERRA, NCEP CFSR, and JRA-25 [J]. Journal of Climate, 2011,24(18):4888-4906.
- [23] Wong S, Fetzer E J, Kahn B H, et al. Closing the global water vapor budget with AIRS water vapor, MERRA reanalysis, TRMM and GPCP precipitation, and GSSTF surface evaporation [J]. Journal of Climate, 2011,24(24):6307-6321.
- [24] Bosilovich M G, Robertson F R, Chen J. Global energy and water budgets in MERRA [J]. Journal of Climate, 2011,24(22):5721-5739.