DOI：10.14042/j.cnki.32.1309.2015.03.001

中国大陆降水时空变异规律
——I. 气候学特征

任国玉[1,2]，战云健[3]，任玉玉[1,2]，陈　峪[1,2]，王　涛[2,4]，柳艳菊[1,2]，孙秀宝[2,4]

（1. 国家气候中心，北京　100081；2. 中国气象局气候研究开放实验室，北京　100081；
3. 中国气象局国家气象信息中心，北京　100081；4. 南京信息工程大学大气科学学院，江苏 南京　210044）

摘要：为系统了解大尺度降水气候特征，利用 2 300 多个国家级气象站逐日观测资料，分析了中国大陆 1956—2013 年多年平均降水的空间分布和季节性变化规律。主要新认识有：① 暴雨量、暴雨日数和暴雨强度最高的站点在华南沿海，而小雨量、小雨日数最多的站点主要在江南内陆山区、丘陵；东部季风区山地、丘陵多出现低强度降水，平原和沿海易出现高强度降水；② 四季降水量均由西北内陆向东南沿海递增，南方秋季降水量明显小于春季，但华西和江南沿海秋季降水量较多，冬季降水在东南丘陵出现高值中心；③ 珠江和东南诸河流域降水量年内存在 2 个峰值，其中珠江流域有 6 月主峰值和 8 月次峰值，东南诸河流域主峰在 6 月中下旬，次峰在 8 月末，长江流域总体表现为单峰型，出现在 6 月下旬和 7 月初，西南诸河流域和北方所有流域降水均表现为夏季单峰型；④ 南方各大河流域从 2 月末到 6 月中下旬陆续进入雨季，北方各大河流域进入雨季时间集中在 6 月末、7 月初；南、北方雨季结束时间比雨季开始时间集中，从南到北进入雨季时间持续 120 d 以上，而从北到南退出雨季时间则仅持续不到 45 d；⑤ 丰雨期的持续时间，珠江流域从 5 月初到 9 月上旬后期，东南诸河从 5 月上旬到 7 月上旬，8 月末到 9 月初再度短暂出现，长江流域从 6 月中下旬到 7 月中旬，西南诸河从 7 月中旬到 8 月下旬，淮河流域从 7 月上旬至 7 月底、8 月初，辽河流域在 8 月初出现极短丰雨期；⑥ 降水年际变异性最高的站点在青藏高原西南、塔里木盆地、阿拉善高原、华北平原北部和汾河谷地，海河流域年降水具有最大的变异系数。

关键词：降水量；降水日数；降水强度；雨季；丰雨期；中国

中图分类号：P339　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1001-6791(2015)03-0299-12

大气降水是表征陆地气候干湿程度的重要变量，也是地表和地下水资源量时空变异性的主要控制因子，在陆地水循环、生态系统和自然环境的形成、演化中起到至关重要的作用[1-3]。在中国大陆区域水循环、水资源、水灾害以及气候变化的影响研究中，大气降水的时空变异性也得到了充分关注[1,4-6]。

关于中国大尺度降水气候学特征已经开展了许多研究。高由禧[7]探讨了东部雨季起讫和季风进退规律；Chen 等[8]、Tao 和 Chen[9]、Ding[10]系统总结了东亚夏季风及其对降水和雨带进退的影响；张家诚等[11-12]、盛承禹[13]阐述了中国降水气候学基本特征；刘国纬[1]分析了大气水汽通量和大气降水气候学特征；Qian 和 Yang[14]探讨了雨季起讫时间、雨季长度及其与夏季风进退关系；王家祁[15]系统论述了中国暴雨时空分布规律；还有学者[16-18]近些年对降水日内变化特征进行了研究，揭示出中国大陆地区降水日内变化规律的地区差异性。然而，先前的研究多利用有限数量气象台站观测资料，对于降水的季节性和空间变异性的细微特征了解不够；由于观测时间序列较短，已有研究对由于气候长期变异性造成的降水气候学特征稳定性认识还不充分；另外，过去有关大尺度降水气候学的研究多限于气象学领域，主要为天气预报和气候预测服务，将降水同主要流域水循环过程和水资源规划利用联系起来的研究还较欠缺。随着高质量、长序列观测资料的积累，以及对于系统了解中国区域大尺度降水气候学特征的迫切需要，现在有必要、也有条件开展新的研究。

收稿日期：2014-11-18；**网络出版时间：**2015-04-21

网络出版地址：http：//www.cnki.net/kcms/detail/32.1309.P.20150421.1448.001.html

基金项目：公益性行业科研专项经费资助项目(GYHY201206012)

作者简介：任国玉(1958—)，男，辽宁康平人，研究员，博士，主要从事气候变化和古气候研究。
E-mail：guoyoo@cma.gov.cn

本文采用高密度站网日降水长期观测资料，对全国和主要流域现代降水气候学特征进行综合分析和探讨。

1 资料、分区和方法

1.1 资料和分区

采用全国 2 400 个站高密度、长序列日记录和月统计资料。资料来自中国气象局国家气象信息中心，经过多重质量控制和初步均一化处理。资料没有进行雨量计“低捕获”影响误差订正，其可能影响将在下文讨论。降水的空间变异性很高，采用高密度历史观测资料，可以获得更接近真实的空间特征分析结果[19]。分析时期定为 1956—2013 年，主要考虑 1956 年后站点数量快速增加并在 1960 年后基本达到稳定，也为了与第二次全国水资源综合规划确定的分析起始时间保持一致。站点选取的标准是：研究时段的资料长度≥30 年，且气候参考期（1981—2010 年）内至少有 25 年记录；日值资料每个月缺测不超过 1 d，缺测作为零值处理。最终选用 2 325 个站相对完整的观测资料序列用于统计分析，其空间分布情况如图 1 所示。在位于内蒙古西部、新疆全部和青藏高原西北部的西北诸河流域，站点分布比较稀少，而且分布也不均匀，对于分析结果的可靠性有一定影响。其他大河流域站点分布相当密集且比较均匀，同过去绝大多数大尺度降水气候特征分析所用资料比较有实质性改善。

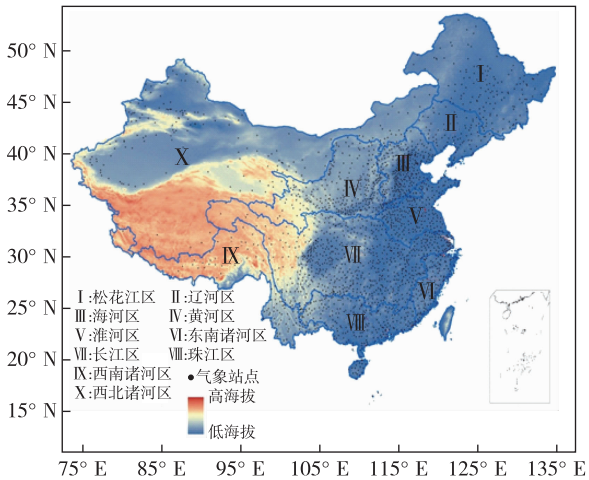

图 1 中国大陆 2 325 个站地面观测空间分布和十大江河流域界线

Fig. 1 Distribution of observational stations in mainland China and the boundaries of the ten large river basins

全国十大流域的划分采用水利部第二次全国水资源综合规划推荐的方案[20]，其界线和名称表示在图 1 中。各个流域内气象观测站数量，除辽河和西南诸河流域(分别为 88 个和 96 个)外，均在 100 个以上，长江流域最多，达到 687 个。同时，各大外流河流域内，观测站点分布一般均较均匀，但西北诸河流域和松花江流域不仅站点稀少，空间分布也不很均匀。

1.2 方法

日降水量是指一天 24 h 降水的累计量；候、月、季、年降水量是指相应时间日降水量的累计量；降水日数是指 24 h 内降水量达到或超过 0.1 mm 的天数；小雨日数是指 24 h 内降水量为 0.1～10.0 mm 的天数；暴雨日数是指 24 h 内降水量达到或超过 50.0 mm 的天数；小雨和暴雨量分别指小雨和暴雨日中降水量的累计值；降水强度为降水量与降水日数的比值。降水变异系数是任意分析时段内台站或流域平均降水量(日数、强度)序列标准差与均值的比值，用以表示降水年际到年代际尺度上的波动性强弱。

本文计算了全国十大流域平均的多年候平均日降水量，探讨各大流域降水年内变化特征和雨季起讫时间差异。为此，参考前人使用的方法[14]，将流域候平均日降水量达到 4.0 mm 作为雨季开始和结束时间。此外，由于流域候平均日降水量达到 6.0 mm 时间基本上同汛期起讫日期一致，因而本文将其作为丰雨期的开始和结束时间，并将流域候平均日降水量达到 8.0 mm 作为特丰雨期的开始和结束时间。丰雨期大体对应全流域范围内的汛期，而特丰雨期大致对应主汛期。

全国降水指标平均值的计算均采用面积加权平均方法[21]，即取 2°×2°的经纬度网格，计算单站和网格平均值，然后计算所有网格的面积加权平均值，权重系数为网格中点的纬度余弦值。无资料网格不参与计算。由于流域的形状不规则，流域边界的网格难以界定归属，且最终选用的站点在大部分流域内部分布较为均匀，流域平均的计算直接对所有站点进行算术平均。这种方法计算的结果，在站点空间分布稀疏且不很均匀的西北诸河

流域会有较大误差，需要慎重对待，但在其他各大流域误差应该很小，不会影响分析结果的准确性。

年内季节采用气象季节划分方法，即 12 月—翌年 2 月为冬季，3—5 月为春季，6—8 月为夏季，9—11 月为秋季。

2　结果分析

2.1　降水空间分布

1956—2013 年期间的平均年降水量、降水日数和降水强度都从西北内陆向东南沿海方向逐渐递增(图 2)。青藏高原西北部、新疆南部、甘肃西北部和内蒙古西部，年降水量在 100 mm 以下，每年降水日数不到 50 d，日降水强度在 3 mm/d 以下，均为全国最低。日降水强度的一个次低值中心出现在北疆地区。400 mm 降水量等值线呈西南—东北分布，从青藏高原南部向东北延伸到大兴安岭一带，此线西北基本上对应中国的干燥、半干燥地带，东南为湿润和半湿润区。全国年降水量大值区位于秦岭—淮河一线以南以及辽宁东南部，降水量在 800 mm 以上，最多的地区位于东南沿海地区，达 1 600 mm 以上。东北平原以外的东北地区、秦岭—淮河以南广大地区和天山西部，年降水日数超过 100 d，降水日数最多的地区位于江南，中心出现在云贵高原东北部，超过 160 d，青藏高原东缘和云贵高原西侧出现次高值，东北平原和华北平原则出现较大范围降水日数次低值，不足 90 d。4 mm/d 的日降水强度等值线和 400 mm 降水量等值线接近，东部沿海地带的日降水强度明显高于中西部内陆地区，最大值在华南沿海。

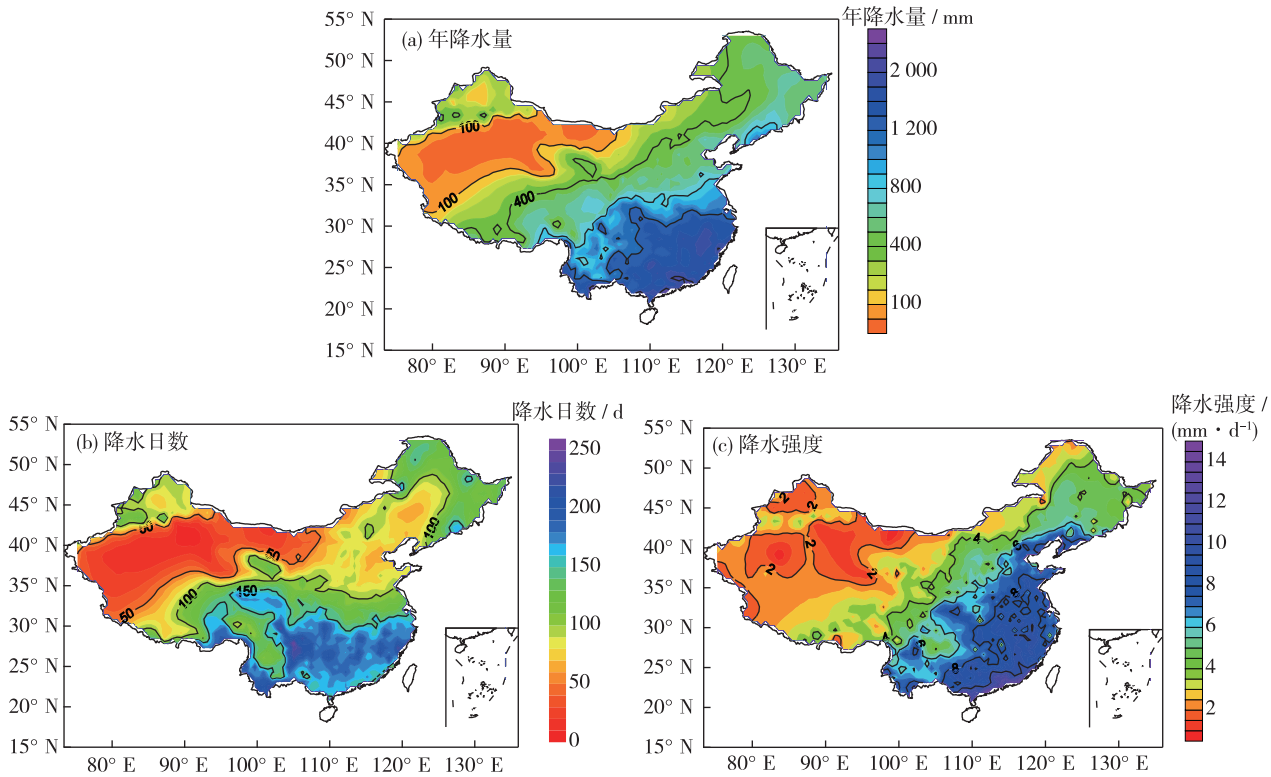

图 2　中国大陆 1956—2013 年多年平均年降水量、降水日数和降水强度空间分布

Fig. 2　Spatial distributions of annual precipitation amount, days and intensity for period 1956—2013

值得注意的是，年平均日降水强度分布的特殊性及其原因。最大降水强度中心出现在广东沿海，高强度区域更倾向于分布在近岸或接近沿海的丘陵、低地，在环渤海的降水日数相对低值地带，降水强度和南方沿海地带相近。造成这一现象的原因需要进一步研究，但可能主要和水汽输送及其中尺度海陆气相互作用有关。

表 1 列出 1956—2013 年全国十大流域年平均降水量、降水日数和降水强度。东南诸河和珠江流域的降

水量、日数和强度都排名前两位，长江和西南诸河流域分列第 3 和第 4 位，但降水强度以珠江流域为最大，其次是东南诸河流和淮河流域。北方的 4 个外流流域(松花江、辽河、海河和黄河)平均降水量相差不大，辽河流域降水量最大，松花江流域降水日数最多，海河流域降水强度最高。海河流域具有北方四大外流河流域最少的降水日数和最高的降水强度。从海河流域向南，经淮河、长江到东南诸河流域，降水量和降水日数不断增加，但降水强度变化不大。西南诸河流域的降水量和降水日数介于淮河流域和长江流域之间，但平均降水强度则明显偏小。西北诸河流域平均降水量、降水日数和降水强度均为十大流域中最小值。

表 1 1956—2013 年十大流域平均年降水量、降水日数和日降水强度

Table 1 Annual precipitation amount, days and intensity for the ten large river basins of China for period 1956—2013

流域	降水量/mm	降水量排序	降水日数/d	降水日数/排序	降水强度/(mm·d^{-1})	降水强度排序
松花江	526.2	8	112.3	5	4.7	8
辽河	605.7	6	88.7	8	6.9	6
海河	533.2	7	75.4	9	7.2	5
黄河	480.9	9	90.0	7	5.4	9
淮河	835.9	5	99.1	6	8.5	3
长江	1 193.7	3	160.4	3	7.5	4
东南诸河	1 619.6	1	172.8	1	9.5	2
珠江	1 582.4	2	165.1	2	9.7	1
西南诸河	990.5	4	156.7	4	6.1	7
西北诸河	188.4	10	66.4	10	2.6	10
全国平均	726.4		112.8		5.7	

春、夏、秋、冬各季节的多年平均降水量都从西北内陆向东南沿海方向逐渐递增(图 3)。新疆南部、甘肃北部和内蒙古西部所有季节的降水量都在50 mm以下，在各季节中都是全国最干的区域。春季江南和华南

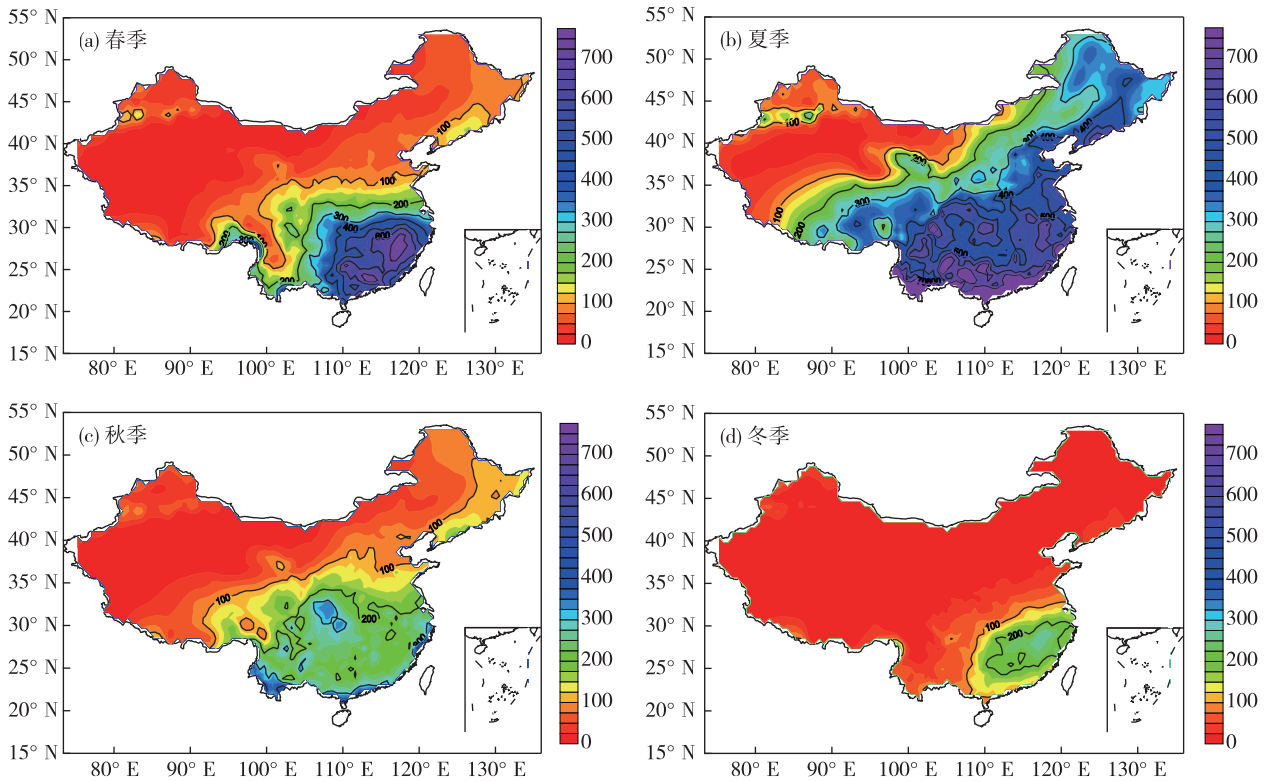

图 3 中国大陆 1956—2013 年多年平均年降水量分布(单位：mm)

Fig. 3 Distributions of seasonal precipitation in mainland China for period 1956—2013

地区降水量最多，在400 mm以上，其中南岭、武夷山脉可达700 mm或更多。此外，青藏高原东南部的春季降水量也在300 mm以上，为次高中心。夏季，北方地区降水量显著高于春季，除内蒙古之外的东北和华北地区夏季降水量都达到300 mm以上；夏季降水量最多的地区位于华南沿海，在 700 mm 以上。秋季 100 mm 和 200 mm 降水量等值线位置和春季相差不大，但南方地区量值上明显小于春季，只有华西部分地区和长江口以南的东南部沿海狭窄条带区域降水量达到300 mm以上。冬季，南方除了江南和华南地区之外的地区降水量都不足100 mm，长江以南的东南丘陵地区是冬季降水量的高值中心，在200 mm以上；北方除了北疆部分地区、东北东南部和山东半岛，冬季降水量不足25 mm。

2.2　降水年内变化

图 4 为 1956—2013 年全国十大流域候平均日降水量的年内变化情况。所有流域的降水量都表现为夏季高、冬季低的季节特征。南方各大流域降水量多(图 4(a))、北方各大流域降水量少(图 4(b))的特点也非常突出。

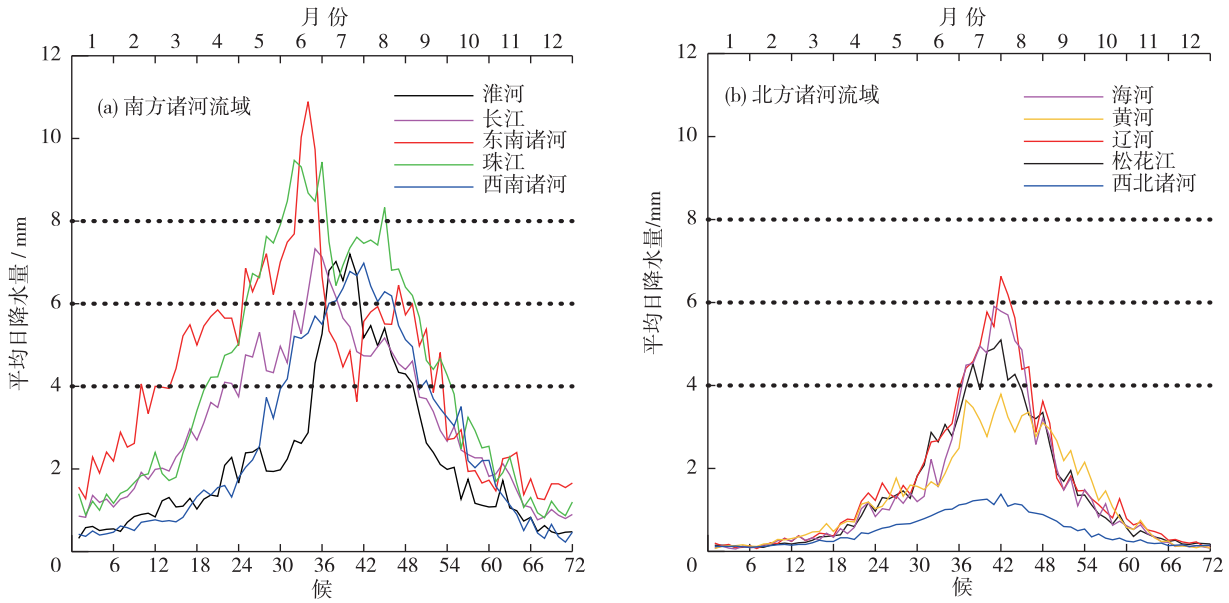

图 4　十大流域 1956—2013 年多年候平均日降水量年内变化

Fig. 4　Pentad mean daily precipitation of the ten large river basins for period 1956—2013

珠江、东南诸河和长江流域具有相近的降水年内分布特征，一年出现 2~3 个峰值期。东南诸河降水量的最大峰值出现在 6 月中下旬，7 月下旬到 8 月中旬降水出现明显的次低谷，8 月下旬到 9 月初出现次峰值，冬季降水全年最少，但仍为所有流域中最高；珠江流域存在 6 月全月和 8 月中 2 个峰值，8 月的峰值略低，两个峰值之间出现相对低谷；长江流域的降水量峰值出现在 6 月下旬和 7 月上旬，对应中下游地区的梅雨季节，5 月上中旬和 8 月下旬存在不明显的弱峰值，因此总体表现为单峰型；淮河流域最大降水出现在 7 月上中旬，6 月末到 7 月初降水陡升；除了淮河、长江、东南诸河和珠江流域外，其他流域都在 7 月末的第 42 候前后降水量达到一年最大值。西北诸河流域全年每个候的降水量都是所有流域中最小的。

如果将流域候平均日降水量达到 4.0 mm 以上作为一年雨季开始和结束，则中国南方各河流域从 2 月末到 6 月中下旬陆续进入雨季(图 4)。雨季开始时间依次是：东南诸河流域 2 月末、3 月初，珠江流域 4 月初，长江流域 4 月下旬，西南诸河流域 5 月末、6 月初，淮河流域 6 月下旬；北方各河流域进入雨季时间集中于 6 月末、7 月初，海河流域和辽河流域比松花江流域早不到 1 候，黄河流域候平均日降水量达不到 4.0 mm，没有严格意义上的雨季，西北诸河流域候平均日降水量更低，全年没有雨季。雨季结束时间在北方河流也非常集中，发生在 8 月下旬，松花江流域则在 8 月中旬；南方各大河流域雨季结束时间也比开始时间集中，其中淮河流域、西南诸河流域和长江流域都在 9 月初，东南诸河流域在 9 月中下旬，珠江流域最晚，在 10 月初。因此，中国各大

流域从南到北进入雨季时间前后持续 120 d 以上，而从北到南退出雨季时间则仅持续不到 45 d。

由于雨季起讫时间特别是开始时间存在明显差别，各大河流域雨季长短差异较大。东南诸河流域雨季最长，达到 200 d 左右，其次是珠江流域为 180 d 左右，长江流域为 140 d 左右，西南诸河流域为 110 d 左右，淮河流域为 80 d 左右，海河流域和辽河流域为 50 d 左右，松花江流域仅有 40 d 左右。黄河流域作为一个整体，以及西北诸河流域，不存在严格意义上的雨季。

若将流域候平均日降水量达到 6.0 mm 以上作为丰雨期的开始和结束，珠江流域在 5 月初进入丰雨期，9 月上旬后期结束，丰雨期持续近 125 d；东南诸河和珠江流域 5 月上旬同时进入丰雨期，但 7 月上旬结束，至 8 月末再度出现短暂多水期，9 月初几乎与珠江同时退出丰雨期；长江流域在 6 月中下旬入丰雨期，7 月中旬结束，持续近 1 个月时间；西南诸河丰雨期始于 7 月中旬，结束在 8 月下旬，持续 45 d 左右；淮河流域在 7 月上旬入丰雨期，7 月底、8 月初退出，持续 35 d 左右；北方各河流域只有辽河在第 42 候附近即 7 月底、8 月初出现不到 10 d 的短暂丰雨期，其他河流多雨期均未达到丰雨期标准。

图 4 还表明，中国所有大河流域仅有珠江和东南诸河流域一年内会出现候平均日降水量 8 mm 以上的特丰雨期，其中珠江流域分别出现在 6 月上旬到 7 月上旬之间的 30 d 内和 8 月中旬极为短暂的几天，东南诸河流域则出现在 6 月中到 6 月底的近半个月时期内。

2.3 极端降水分布

年暴雨降水指标空间分布特征与年降水量存在一定相似性(图 5)。频繁发生暴雨的地区主要集中在东南部季风区，西北仅天山山脉和祁连山脉等局部山地偶尔出现暴雨。暴雨日数和暴雨量在广东省沿海为最大值，鄱阳湖流域出现次高中心。年平均 70 mm/d 以上的暴雨强度主要发生在南方的珠江、长江中下游和淮河流域，但海河、辽河和黄河各流域的下游是北方暴雨强度较高的一个区域。四川盆地也是南方暴雨强度的高值中心之一。同纬度地区相比，沿海和平原地区的暴雨量、日数和强度要高于内陆地区和山区。

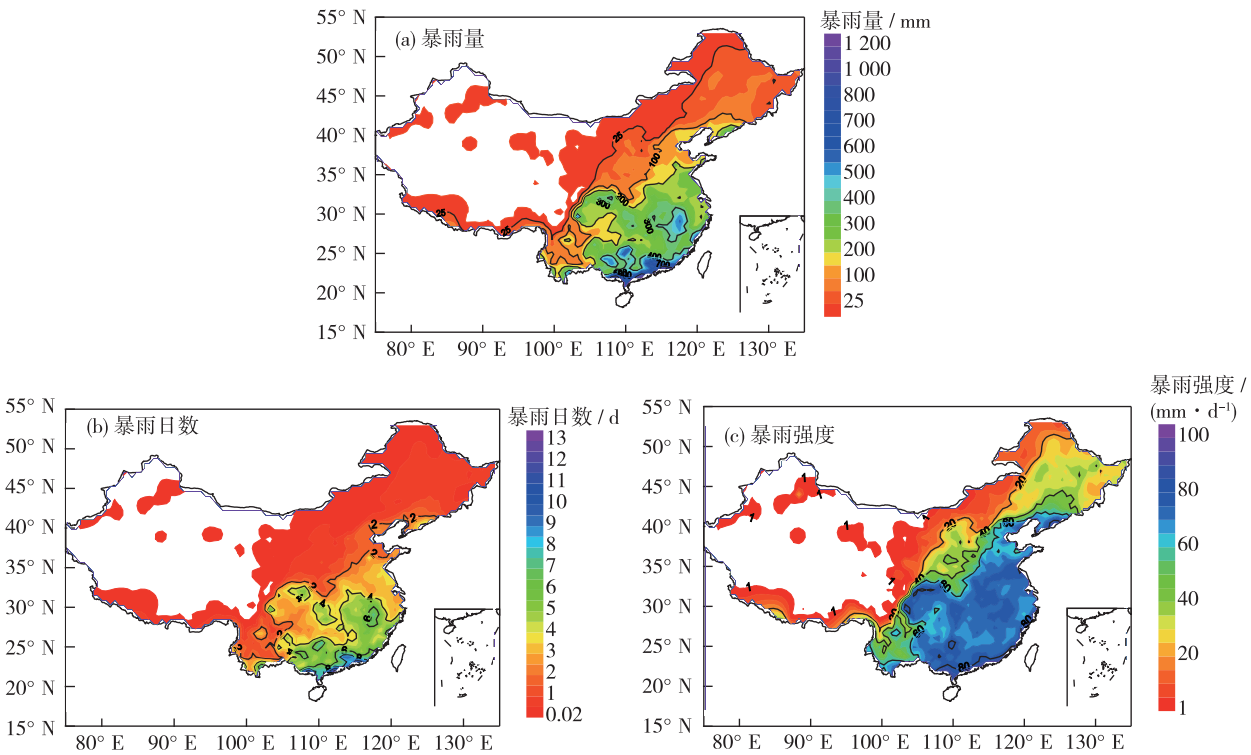

图 5 中国大陆 1956—2013 年多年平均年暴雨量、暴雨日数和暴雨强度分布

Fig. 5 Distributions of annual rainstorm amount, days and intensity in mainland China for period 1956—2013

年暴雨量、日数和强度最高的流域均为珠江流域，分别达到 468.8 mm、5.8d 和 75.5 mm/d；其次是东

南诸河流域，分别为 360.6 mm、4.7 d 和 74.2 mm/d；长江流域和淮河流域位列其后，前者暴雨量和日数第 3，后者暴雨强度第 3；海河流域和辽河流域相近，排列第 5 和第 6；西南诸河流域排列第 7；黄河流和松花江流域相近，分列第 8 和第 9；西北诸河流域所有暴雨指标均最低，排列末位(表 2)。

表 2　1956—2013 年十大流域平均年暴雨量、暴雨日数和暴雨强度

Table 2　Annual rainstorm amount, days and intensity for the ten large river basins of mainland China for period 1956—2013

流域	暴雨量/mm	暴雨量排序	暴雨日数/d	暴雨日数/排序	暴雨强度/(mm·d^{-1})	暴雨强度排序
松花江	42.2	9	0.6	9	29.9	8
辽河	114.6	5	1.5	6	51.0	6
海河	111.5	6	1.5	7	53.3	5
黄河	43.5	8	0.6	8	27.7	9
淮河	221.6	4	2.8	4	71.9	3
长江	237.2	3	3.2	3	63.8	4
东南诸河	360.6	2	4.7	2	74.2	2
珠江	468.8	1	5.8	1	75.5	1
西南诸河	103.7	7	1.5	5	34.7	7
西北诸河	2.5	10	0.1	10	2.2	10

小雨代表一种弱降水现象。年小雨量、日数和强度均由西北内陆向东南沿海方向递增(图 6)。新疆南部、甘肃北部和内蒙古西部的年小雨量在 50 mm 以下，小雨日数不到 30 d，小雨强度小于 1.5 mm/d，是小雨各指标全国最小的地区。年小雨量最多的地区位于青藏高原东部和江南地区，在 300 mm 以上，其中云贵高原北部金沙江附近可达 400 mm 以上。东北平原以外的东北地区为次高值区，年小雨量也在 200 mm 以上，其中长白山附近达到 300 mm。年小雨日数和小雨量的分布基本一致，最多的地区也在云贵高原北部，可达 200 d 以上。2 mm/d的年小雨强度等值线和 400 mm 的年降水量等值线接近，东南部小雨强度明显高于西北内陆；但北纬35°以南、东经105°附近的小雨强度明显低于同纬度其他地区，形成东西高、中部低的分布格局。

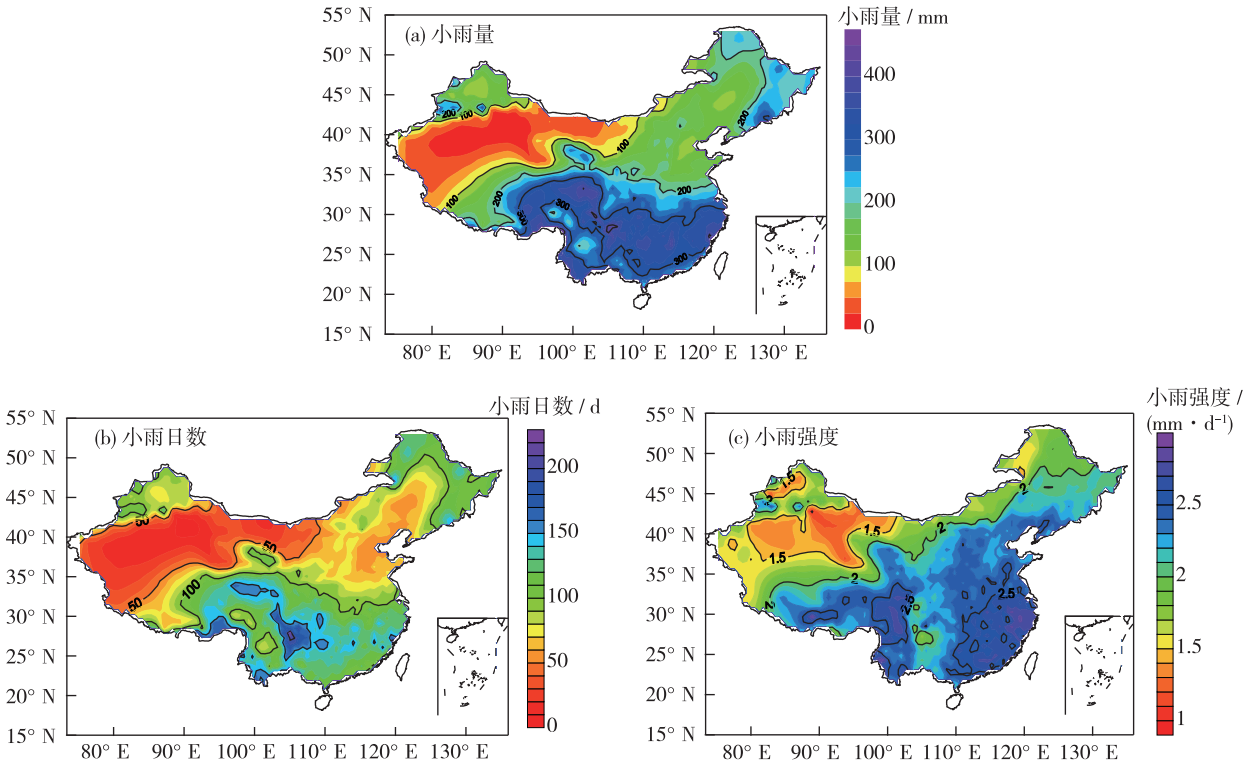

图 6　中国大陆 1956—2013 年多年平均年小雨量、小雨日数和小雨强度分布

Fig. 6　Distributions of annual light rain amount, days and intensity in mainland China for period 1956—2013

在东部季风区，沿海和平原、盆地小雨量、小雨日数一般明显低于内陆山地和丘陵，这与暴雨雨量和日数的分布特征刚好相反。例如，在南岭至武夷山存在一个小雨量和日数的大值区，而华南南部和江南平原地区相比则较低，与江南暴雨量和日数分布特征恰好相反；华北平原的暴雨量、日数和强度明显高于同纬度的黄土高原，而小雨量和日数则低于后者。

全国平均年小雨量、日数和强度分别为 204.1 mm、92.4 d 和 2.1 mm/d。东南诸河流域、长江流域和西南诸河流域小雨量和小雨日数列前三位，西北诸河流域和海河流域位居最后。

2.4 降水变异系数

全国年降水量变异系数最大值分布在青藏高原西南和南部，喜马拉雅山北侧，达到 0.70 以上，次大值出现在青藏高原西部、塔里木盆地、内蒙古西部阿拉善高原、京津冀和汾河谷地(图 7)。降水量变异系数小于 0.30 的地区主要出现在青藏高原东部、云贵高原、秦岭—淮河以南、内蒙古东部、东北中东部和天山西部。和过去认识不同的是，降水年际变异性最高的区域不在降水量最小的极端干燥带，而是在夏季印度西南季风气流的背风位置；华北平原北部和汾河谷地的相对高值中心，在东部季风区域内亦颇引人瞩目。

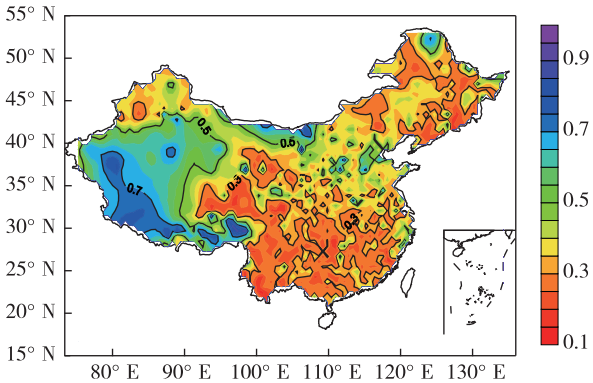

图 7 中国大陆年降水量变异系数空间分布(1956—2013 年)

Fig. 7 Spatial distribution of annual precipitation variability coefficients (1956—2013)

各季节降水量变异系数最大值都出现在青藏高原西、北、南边缘以及南疆盆地、甘肃北部、内蒙古西部，其中春、秋、冬季降水量的变异系数均达到 0.90 以上，夏季则在 0.50 以上(图 8)。华北平原和东北平原的春、秋季降水量变异系数也在 0.50 以上，冬季在 0.70 以上，其中华北平原北部的相对高值中心在夏季也达 0.50 以上，春、秋季高于 0.70，冬季则超过 0.90。北疆地区各

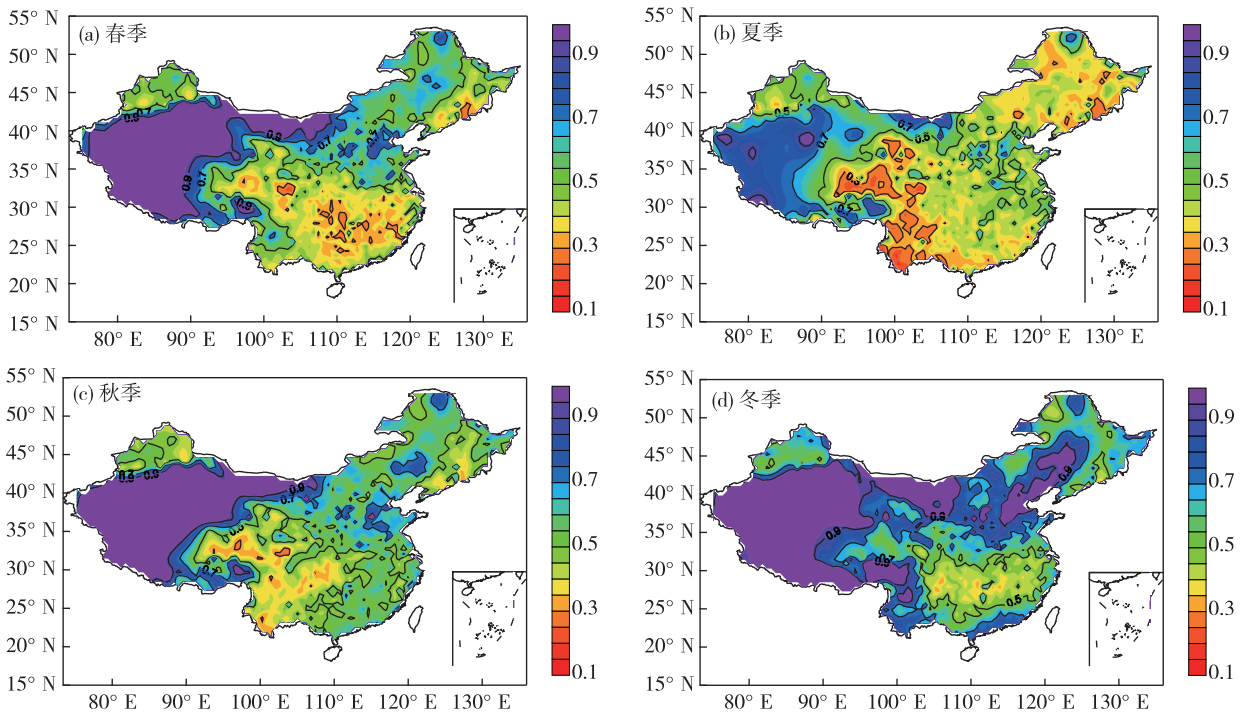

图 8 中国大陆多年(1956—2013 年)季节降水量变异系数空间分布

Fig. 8 Distributions of variability coefficients of seasonal precipitation in mainland China (1956—2013)

季节降水量变异系数为 0.30~0.60，华西地区各季节为 0.3~0.5；江南地区只有秋季降水量变异系数超过 0.50，其他季节为 0.30~0.50；西南地区夏季降水量变异系数为 0.20~0.30，春季为 0.40~0.60，秋季在 0.40 左右，冬季为 0.50~1.00，各季差异很大。华南沿海地区春、夏季降水量变异系数在 0.40 左右，秋季则为 0.50~0.60，冬季可达 0.70~0.80。

从各大流域平均看，除了黄河流域和东南诸河流域外，流域平均年降水量和强度的变异系数排序基本一致。海河流域平均年降水量和强度均具有最大的变异系数，分别达到 0.18 和 0.12，其次是辽河流域和淮河流域，年降水量和强度变异系数分别为 0.16 和 0.11。长江流域年降水量、降水日数和强度的变异系数均为十大流域中最小。西南诸河的降水日数变异系数最大，可能与早期观测数据缺失较多有一定关系。松花江流域的平均年降水日数变异系数较小，但降水量和强度中等(表 3)。

表 3　中国十大流域平均年降水量、降水日数和降水强度变异系数及排序

Table 3　Variability coefficients of annual precipitation amount, days and intensity for the ten large river basins of China (1956—2013)

流域	降水量		降水日数		降水强度	
	变异系数	排序	变异系数	排序	变异系数	排序
松花江	0.13	5	0.08	9	0.09	5
辽河	0.16	2	0.10	5	0.11	2
海河	0.18	1	0.13	3	0.12	1
黄河	0.14	4	0.11	4	0.09	7
淮河	0.16	3	0.13	2	0.11	3
长江	0.07	10	0.08	10	0.08	10
东南诸河	0.13	7	0.10	6	0.11	4
珠江	0.11	8	0.09	7	0.09	9
西南诸河	0.10	9	0.14	1	0.09	8
西北诸河	0.13	6	0.08	8	0.09	6

3　讨　　论

同前人研究相比，本文使用了密度更高的台站资料和更新的时段，得到了中国平均以及流域平均的现代降水气候学分布特征，结果有与前人类似之处，但也发现了一些新的现象和特点，包括秋季沿海地带降水量普遍偏多、暴雨量和强度空间分布与暴雨频数显著不一致性、小雨量和频数在山地、丘陵地区偏多的分布特征、各大河流域雨季和丰雨期起讫时间和长度的显著差异、青藏高原西南部和海河流域年降水量变异系数的异常高值等特点。了解这些对于深入理解中国降水时空变异规律及其原因，因地制宜开展水资源管理和防灾减灾工作，具有理论和实际意义。

本文分析结果与前人认识存在若干不一致，主要原因可能和现在的研究采用了比过去密度高的观测站点资料有关，同时也与现在研究采用了更新到 2013 年的更长观测资料序列有关。由于采用了高密度站点资料，可以揭示更为细致的降水空间变异规律；由于将资料序列更新到现在，就更可能将长期气候变异导致的降水波动和趋势分量包含进来，丰富对降水气候学特点的认识。

本文分析的主要不足是，降水指标值的空间内插没考虑地形因素影响。由于气象站多位于居民点附近，而居民点常常建立在平原和盆地、谷地中，因此气象站网观测获得的降水量和降水日数一般要偏低，降水强度则偏高；本文也没考虑台站附近风速对雨量计降水捕获率的影响，这将进一步低估部分站点降水量和频数[22-23]。

这里未对降水日内变化气候学特点进行分析。已有研究指出，中国东部夏季降水日变化具有明显的区域性特征，华南和东北地区降水日峰值出现在午后，青藏高原及其东部地区出现在午夜前后，长江中游地区出现在

每日清晨，而江淮和黄淮地区则具有清晨和午后双峰并存现象[17,24]。利用小时降水资料分析夏半年小时雨量和雨强时空分布特点的工作也有报道[25-26]。这些近几年揭示出的降水日内变化特征对于中国东部季风区大尺度水文循环的影响还有待深入探索。最后，全国固体降水的时空变异规律不在本文研究范畴之内[27-28]。

4 结 论

（1）东部沿海日降水强度明显高于中西部内陆，最大值出现在华南沿海；暴雨量、日数和强度最高站点分布在华南沿海，而小雨量、日数最多出现在江南内陆山地、丘陵；东部季风区山地、丘陵更易出现低强度降水，而平原和沿海更易发生高强度降水；西北诸河的年降水量、日数和强度，以及年暴雨量、日数和强度，年小雨量和强度，均为各大流域中最低；多数降水指标在珠江流域和东南诸河流域最高，但小雨日数在长江流域最多，海河流域最少。

（2）各季节降水量都从西北内陆向东南沿海方向逐渐递增；春季江南和华南降水量最高，青藏高原东南部次高；夏季降水量在全国各大流域均显著高于其他季节，表明所有大河流域都是典型的夏季降水类型区；南方秋季雨量明显小于春季，但华西和江南沿海条带区域秋雨相对较多；冬季降水主要出现在江南地区，东南丘陵是高值中心。

（3）各大流域平均降水量年内分布具有明显不同的特征。珠江、东南诸河和长江流域一年出现 2~3 个峰值；东南诸河最大峰值出现在 6 月中下旬，次峰值在 8 月末，冬季降水全年最少，但仍为所有流域中最高；珠江流域存在 6 月和 8 月中双峰值，后者略低；长江流域总体表现为单峰型，峰值出现在 6 月下旬和 7 月初，对应梅雨季节；淮河流域最大降水出现在 7 月上中旬；其他流域在 7 月末降水量达到最大值。

（4）南方各大河流域从 2 月末到 6 月中下旬陆续进入雨季，北方各大河流域进入雨季时间集中于 6 月末、7 月初，黄河流域作为整体没有严格意义上的雨季，西北诸河流域全年没有雨季。北方河流雨季结束时间集中于 8 月中下旬，南方各大河流域雨季结束时间分布在 9 月初到 10 月初，均比雨季开始时间集中得多。中国各大河流域从南到北进入雨季时间前后持续120 d以上，而从北到南退出雨季时间则持续不足 45 d。

（5）珠江流域在 5 月初进入丰雨期，9 月上旬后期结束，丰雨期最长；东南诸河 5 月上旬进入丰雨期，7 月上旬结束，8 月末再度短暂出现，9 月初最终退出；长江流域 6 月中下旬入丰雨期，7 月中旬结束；西南诸河丰雨期始于 7 月中旬，结束在 8 月下旬；淮河流域在 7 月上旬入丰雨期，7 月底、8 月初退出；北方各河流域只有辽河在 8 月初出现极短暂丰雨期。珠江和东南诸河流域还分别出现 1 个月（6 月上旬到 7 月上旬、8 月中旬）和半个月（6 月中到 6 月末）的特丰雨期。

（6）降水年际变异性最高的区域出现在青藏高原西南部、塔里木盆地、阿拉善高原，华北平原北部和汾河谷地，江南地区降水年际变异性较小。在十大流域里，海河流域平均年降水量和降水强度均具有最大的变异系数，长江流域年降水量、日数和强度变异系数最小。

参考文献：

[1] 刘国纬. 水文循环的大气过程[M]. 北京：科学出版社，1997:245.（LIU Guowei. Atmospheric processes in hydro-cycle[M]. Beijing: Science Press, 1997: 245.（in Chinese））

[2] 丁一汇，王绍武，郑景云，等. 中国气候[M]. 北京:科学出版社，2013: 327-391.（DING Yihui, WANG Shaowu, ZHENG Jingyun, et al. Climate of China[M]. Beijing: Science Press, 2013:327-391.（in Chinese））

[3] 夏军，刘春蓁，任国玉. 气候变化对我国水资源影响研究面临的机遇与挑战[J]. 地球科学进展，2011，26(1)：1-12.（XIA Jun, LIU Chunzhen, REN Guoyu. Opportunity and challenge of the climate change impact on the water resource of China[J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(1): 1-12.（in Chinese））

[4] 王浩，陈敏建，秦大庸，等. 西北地区水资源合理配置和承载能力研究[M]. 郑州：黄河水利出版社,2003: 242.（WANG Hao, CHEN Minjian, QIN Dayong, et al. Study of allocation and potential of water resources in Northwest China[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Resources Press, 2003: 242.（in Chinese））

[5] 刘昌明，陈志恺. 中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[M]. 北京：中国水利水电出版社，2005：209.（LIU Changming, CHEN Zhikai. Analysis of water resources assessment and the supplies and demands in China[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2005: 209.（in Chinese））

[6] 任国玉. 气候变化与中国水资源[M]. 北京：气象出版社，2007：314.（REN Guoyu. Climate change and China water resources [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 314.（in Chinese））

[7] 高由禧. 东亚季风的若干问题[M]. 北京：科学出版社，1962：103.（GAO Youxi. Some issues of East Asian Monsoon[M]. Beijing: Science Press, 1962: 103.（in Chinese））

[8] CHEN L X, LUO S H, SHEN R Z. The Asian summer monsoon and its relations to the rainfall in China[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 1984, 1(2): 263-276.

[9] TAO S, CHEN L. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China[M]// CHANG C P, KRISHNAMURTI T N. Monsoon Meteorology. Oxford: Oxford University Press, 1987: 60-92.

[10] DING Y. Summer monsoon rainfalls in China[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 1992, 70(1B): 373-396.

[11] 张家诚，林之光. 中国气候[M]. 上海：上海科学技术出版社，1985：603.（ZHANG Jiacheng, LIN Zhiguang. Climate of China [M]. Shanghai: Shanghai Sciences and Technological Press, 1985: 603.（in Chinese））

[12] 张家诚. 中国气候总论[M]. 北京：气象出版社，1991：603.（ZHANG Jiacheng. Introduction to climate of China[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1991: 603.（in Chinese））

[13] 盛承禹. 中国气候总论[M]. 北京：科学出版社，1986：538.（SHENG Chengyu. Introduction to climate of China[M]. Beijing: Science Press, 1986: 538.（in Chinese））

[14] QIAN W H, YANG S. Onset of the regional monsoon over Southeast Asia[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2000, 74 (5): 335-344.

[15] 王家祁. 中国暴雨[M]. 北京：中国水利水电出版社，2003：449.（WANG Jiaqi. Rainstorms in China[M]. Beijing: China Water Power Press, 2003: 449.（in Chinese））

[16] YU R C, ZHOU T J, XIONG A Y, et al. Diurnal variations of summer precipitation over contiguous China[J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34: L01704.

[17] ZHOU T, YU R, CHEN H, et al. Summer precipitation frequency, intensity, and diurnal cycle over China: A comparison of satellite data with rain gauge observations[J]. J Clim, 2008, 21: 3997-4010.

[18] YIN S Q, CHEN D L, XIE Y. Diurnal variations of precipitation during the warm season over China[J]. Int J Climatol, 2009, 29: 1154-1170.

[19] REN Y Y, REN G Y. Representativeness of four precipitation observational networks of China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2012, 26(4): 454-466.

[20] 任国玉，姜彤，李维京，等. 气候变化对中国水资源情势影响综合分析[J]. 水科学进展，2008，19（6）：772-779.（REN Guoyu, JIANG Tong, LI Weijing, et al. An integrated assessment of climate change impacts on China's water resources[J]. Advances in Water Science, 2008, 19(6): 772-779.（in Chinese））

[21] JONES P D, HORTON E B, FOLLAND C K, et al. The use of indices to identify changes in climatic extremes[J]. Climatic Change, 1999, 42: 131-149.

[22] 任芝花，王改利，邹风玲，等. 中国降水测量误差的研究[J]. 气象学报，2003，61（5）：621-627.（REN Zhihua, WANG Gaili, ZOU Fengling, et al. The research of precipitation measurement errors in China[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2003, 61(5): 621-627.（in Chinese））

[23] YE B, YANG D, DING Y, et al. A bias-corrected precipitation climatology for China[J]. Journal of Hydrometeorology, 2004, 5 (6): 1147-1160.

[24] YU R C, CHEN L J. Progress in studies of precipitation diurnal variation over contiguous China[J]. Journal of Meteorological Research, 2014, 28(5): 877-902.

[25] 姚莉，李小泉，张立梅. 我国 1 小时雨强的时空分布特征[J]. 气象，2009，35(2)：80-87.（YAO Li, LI Xiaoquan, ZHANG Limei. Spatial-temporal distribution characteristics of hourly rain intensity in China[J]. Meteorological Monthly, 2009, 35(2): 80-87.（in Chinese））

[26] YANG P, REN G Y, HOU W, et al. Spatial and diurnal characteristics of summer rainfall over Beijing Municipality based on a high-density AWS dataset[J]. Int J Climatol, 2013, 33(13): 2769-2780.

[27] 刘玉莲，任国玉，于宏敏. 中国降雪气候学特征[J]. 地理科学,2012,32(10):1176-1185. (LIU Yulian, REN Guoyu, YU Hongmin. Climatology of snow in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012,32(10):1176-1185. (in Chinese))

[28] 刘玉莲，任国玉，于宏敏，等. 我国强降雪气候特征及其变化[J]. 应用气象学报,2013,24(3):304-313. (LIU Yulian, REN Guoyu, YU Hongmin, et al. Climatic characteristics of intense snowfall in China with its variation[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2013,24(3):304-313. (in Chinese))

Spatial and temporal patterns of precipitation variability over mainland China: I: Climatology*

REN Guoyu[1,2], ZHAN Yunjian[3], REN Yuyu[1,2], CHEN Yu[1,2], WANG Tao[2,4], LIU Yanju[1,2], SUN Xiubao[2,4]

(1. *National Climate Center*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *Laboratory for Climate Studies*, *CMA*, *Beijing* 100081, *China*; 3. *National Meteorological Information Center*, *China Meteorological Administration*, *Beijing* 100081, *China*; 4. *College of Atmospheric Science*, *Nanjing University of Information Science & Technology*, *Nanjing* 210044, *China*)

Abstract: Climatological characteristics of precipitation in mainland China are analysed by using an updated daily precipitation dataset from 2 300 stations for period 1956—2013. The new findings are as follows: ① The largest precipitation amount, days and intensity of rainstorms concentrate in the coastal zone of southern China, while the largest precipitation amount and days of light rain are mainly seen in inland mountains and hills south of the Yangtze River; in the eastern summer monsoon region, the highly intensive rain generally occurs in the low-laying plains and coastal zones, and the light rain mostly in the mountains and hills. ② Precipitation of all the seasons decreases from southeast to northwest; precipitation of autumn is much less than that of spring in southern China, but the autumn precipitation is more abundant in the Qinling Mountains, the Daba Mountains and the Sichuan Basin, and along the narrow coastal zone; the largest winter precipitation occurs in the hills region of south-eastern China. ③ Double to triple peaks of precipitation in a year appear in the Pear River basin, the south-eastern rivers and the mid-to lower Yangtze River basin, with the main peak in mid-to late June and secondary one in late August for the south-eastern rivers, for example, and main peak in June and secondary one in mid-August for the Pear River basin; all the northern rivers witness a single peak in late July. ④ The southern large rivers enter into rainy season gradually from late February to mid-to late June, and the northern large rivers enter into rainy season almost simultaneously in late June and early July; the close dates of rainy season are much concentrated across the eastern China, with the beginning time lasting for more than 120 d from the south to the north, and the closing time from the north to the south only lasting for less than 45 d. ⑤ The beginning and closing dates of potential flood season occur in the early May and the early September in the Pear River basin, the early May and the early July and then the late August and the beginning of September for second time in the south-eastern large river basins, the mid-to late June and the mid-July in the Yangtze River basin, the mid-July and the late August in the south-western large river basins, and the early July and the beginning of August in the Huaihe River basin; a very short potential flood season appears between the end of July and the beginning August in the Liaohe River basin, and no such a period can be found for the other northern large rivers. ⑥ The largest variability coefficients of annual and seasonal precipitation are found in the southwestern Tibetan Plateau, the Talimu Basin, the Alashan Plateau, northern part of the North China Plain and the Fenhe River basin of eastern Loess Plateau; the vast region south of the Yangtze River witnesses smaller inter-annual variability; the Haihe River basin registers the largest basin-averaged variability coefficients of annual precipitation in all of the ten large river basins of mainland China.

Key words: precipitation; rainstorm; light rain; rainy season; flood season; mainland China

* The study is financially supported by the National Non-Profit Research Program of China (No. GYHY201206012).