



1981~2010 年中国气候区划

郑景云^①, 卞娟娟^①, 葛全胜^{①*}, 郝志新^①, 尹云鹤^①, 廖要明^②

① 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

② 国家气候中心, 北京 100081

* 联系人, E-mail: geqs@igsrr.ac.cn

2012-12-27 收稿, 2013-04-26 接受, 2013-08-21 网络版发表

公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106018)、全球变化研究国家重大科学研究计划(2010CB950103)和科技基础性工作专项(2011FY120300)资助

摘要 根据我国 658 个站 1981~2010 年日气象观测数据, 以日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数、年干燥度、7 月平均气温为划分温度带、干湿区、气候区的主要指标, 以 1 月平均气温、年降水量为温度带、干湿区划分的辅助指标, 并参考日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温及极端最低气温的多年平均值等指标, 对我国 1981~2010 年气候状况进行了区划, 将我国分为 12 个温度带、24 个干湿区、56 个气候区. 与 1951~1980 年相比, 受气候增暖影响, 1981~2010 年间我国东部多个温度带界线出现了北移, 其中暖温带北界东段最大北移超过 1 个纬度, 北亚热带北界东段平均北移 1 个纬度, 中亚热带北界中段最大北移 2 个纬度, 南亚热带北界西段北移 0.5~2.0 个纬度; 西部因受地形影响, 温度带水平移动不显著, 但在青藏高原有亚寒带范围缩小、温带范围扩大趋势. 同时, 因华北、东北东南部、西北东部降水减少, 北方半干旱与半湿润分界线东移与南进, 其中 $36^{\circ}\sim 41^{\circ}\text{N}$ 间的移动幅度达 0.5~2.5 经度; 但西北的河西走廊、新疆及青藏高原的干旱区、半干旱区总体转湿.

关键词

中国

1981~2010 年

气候区划

区划界线变化

气候区划的目的是从综合角度揭示气候状况的区域分异规律, 以便系统了解各地的气候特征, 对各地、各行业有针对性地利用气候资源、趋利避害及人类响应与适应未来气候变化等都具有重要意义. 全球变化背景下气候区域分异格局如何变化是当前国际学术界关注的一个重要科学问题, 已有许多学者通过资料更新重新进行气候区划、探讨 20 世纪气候变化(特别是全球增暖)导致的气候区划变动特征^[1~4]. 如 Kalvova 等人^[2]根据 1961~1990 年的全球气候资料, 采用柯本气候分类方法重新对世界气候进行 2 级区划, 并比较其与 20 世纪初期世界气候区划的异同, 结果发现: 1961~1990 年较 20 世纪初期, 热带、温带和寒带等气候带范围分别扩大了 1.86%, 0.45% 和 1.31%, 干燥和极地气候带范围则分别缩小了 1.89%

和 1.72%. Kottek 等人^[3]和 Peel 等人^[4]最近又分别将资料更新至 2000 年, 采用柯本-盖革气候分类方法重新编制了世界气候 3 级区划图.

气候区划工作已在我国开展近百年, 大致经历 3 个阶段: 一是 20 世纪 30~40 年代, 方法多借鉴当时欧美的气候分类分区法, 如采用年或月平均气温、年降水量等指标, 并结合自然状况划分气候的区域类型^[5~8]. 因当时我国气象测站点有限、观测时断时续, 气象资料不完整, 故这些区划虽指出中国气候地带性的宏观特征, 但区划界线具体位置划分存在较大主观性.

二是 20 世纪 50~80 年代中期, 我国已有了一定的气象观测资料积累, 又恰逢当时国家需要气候区划作为农业生产和经济建设布局的参考依据, 因而在借鉴欧美气候分类方法基础上, 发展形成了适合

引用格式: 郑景云, 卞娟娟, 葛全胜, 等. 1981~2010 年中国气候区划. 科学通报, 2013, 58: 3088~3099

Zheng J Y, Bian J J, Ge Q S, et al. The climate regionalization in China for 1981~2010 (in Chinese). Chin Sci Bull (Chin Ver), 2013, 58: 3088~3099, doi: 10.1360/972012-1491

我国自然环境与气候特征的区划原则、指标和方法;提出了以日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温及最冷候气温、或最冷月气温、或极端最低气温与干燥度指标划分全国热量资源与干湿状况的区划方案和方法,形成了以热量指标为一级、干湿指标为二级,同时在二级基础上进行三级气候区划分的区划等级理论体系,并在利用谢梁尼诺夫的水热系数计算干燥度时,根据中国季风气候特点对其中的相关经验系数进行了修订^[9].根据这一区划方法,再结合中国地形特点和行政区划状况,中国科学院自然区划工作委员会第一次较系统地编制了我国气候区划方案^[9].此后,中央气象局又在这一气候区划方案基础上,采用1951~1960年全国各地气象观测资料,重新根据彭曼公式计算了可能蒸散量和干燥度^[10],对区划方案进行了充实和修订,同时采用各季干燥度或日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温(东北地区)、最热月平均气温(青藏高原地区)等指标划分三级气候区界线,弥补了早期气候区划在划分三级气候区时没有定量标准的缺憾^[11],并于1979年采用1951~1970年的资料对区划界线进行了修订,最终将全国划分为10个气候带(其中青藏高原称“高原气候区域”)、22个气候大区、45个气候区^[12].

三是20世纪80年代初以来.这一阶段,气候系统概念正式确立,气候区划的主要目的也不再限于为农业生产服务,因而在进行气候区划时也更强调突出气候区作为一个区域气候系统的相对独立性,更注重气候要素应与自然景观及其他自然地理特征的相互吻合.在这些思想的影响下,我国学者发现了以往在区划指标选取上的一些明显不足.以热量指标为例,由于我国地形地势及下垫面对气候形成影响显著,且季风气候突出,因而以往区划采用日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的积温作为主要热量指标划分气候带对指导农业生产布局作用突出^[13,14],但在许多地区却无法与自然地带性吻合.如云贵高原腾冲至昆明一线的积温与黄淮地区基本相当(均约 4500°C),但两地气候却大相径庭,植被等自然景观也截然不同,前者属亚热带景观,后者却属暖温带,说明若以积温为主要热量指标划分气候带存在缺陷.而通过对日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的积温与日数的大量相关分析、以及气候与自然景观之间的对应关系分析则

发现:若采用积温日数作为气候带的划分指标,不但能表现出气候的水平地带性,也能很好地表现出气候的垂直地带性^[15].此后,又通过对各种指标的不断尝试,最终形成了以日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数等热量指标划分温度带,以干燥度等干湿指标划分干湿区,再根据最热月平均气温指标划分三级气候区的方法体系^[16].中央气象局采用这一方法分别编制了1951~1980年和1961~1990年的全国气候区划图^[17,18],并将其确定为国家标准^[19];我们也采用该方法编制了1971~2000年的中国气候区划^[20].

然而在全球变化背景下,我国气候在过去60年中已发生了许多显著变化^[21,22],如气温在波动中上升,且北方大于南方、冬季大于夏季;降水虽无显著增减趋势,但年代际振荡及区域性的趋势变化明显,华北、东北东南部、西北东部自20世纪70年代以后呈减少趋势,西部及东南地区则呈增加趋势;同时日照时数、平均风速、水面蒸发等也呈不同程度下降趋势^[23,24];导致了我国许多区域的气候特征出现改变.虽然已有研究^[25-31]分析了过去数十年我国气候带或干湿状况变化,特别是单个气候分区指标或气候带、区划分界线的局部变化,但这些研究并未关注我国气候区划的整体变化,且多数研究的资料均截止到2000年.因而更新资料进行全国气候区划不论是对科学研究,还是在应用上,都很有必要^[32];成为我国近期气象行业专项等研究计划的一个重要研究内容¹⁾.为此,本文将资料更新至1981~2010年,再次对我国气候状况进行区划;同时通过其与1951~1980年等早期的区划结果的对比,分析我国1981~2010年气候区划的变动特征与原因机理.

1 资料和方法

1.1 资料处理

本文所用的基本资料来自中国756个站气象观测日值数据集(1951~2010年),包括日平均气温、最高气温、最低气温、降水量、平均相对湿度、平均风速、平均气压及日照时数8个要素.该数据集由各省上报的全国地面月报信息化文件根据《全国地面气候资料统计方法》及《地面气象观测规范》有关规定整

1) 2010~2011年公益性行业(气象)科研专项项目指南, http://www.cma.gov.cn/gg/201003/P02010031553_7572983297.pdf

编统计而得, 并经严格的数据质量控制、均一性检查及记录订正与复核; 于 2008 年 4 月 1 日由中国气象局国家气象信息中心首次发布, 然后逐季更新(中国气象科学数据共享服务网, <http://cdc.cma.gov.cn/home.do>). 然而, 部分台站因受迁址及测站类型变更等因素影响, 使得资料不连续. 为避免其对气候区划结果的影响, 我们采用文献[33]提出的资料整合与均一性订正方案和方法, 对上述数据集中因迁址及测站类型变更而致的日气温资料不连续与不均一问题进行了订正和整合. 而对降水量、最大可能蒸散等表征干湿状况的资料整合与均一性订正, 我们虽采用了与日气温资料订正完全一样的订正方案和步骤, 但采用比值法进行订正^[34]. 即先分别检测因测站类型变更而致的相邻测站年降水量和年最大可能蒸散量的年际变化一致性及其比值年际变化的稳定性, 然后再分别利用这两个比值, 进行年降水量和年最大可能蒸散量的整合和均一性订正. 其中年降水量直接通过统计逐日降水而得. 而对年最大可能蒸散量, 则是根据各站的日资料, 按文献[35]修正的最大

可能蒸散估算模型, 先计算出逐日最大可能蒸散, 然后再将其统计为年最大可能蒸散量.

而为保证资料的完整性, 我们又对经过上述资料整合和订正后的数据缺失 10 年及 10 年以上的站点进行了剔除, 最终得到了 658 个站点(包括 582 个数据完整的站和 76 个原数据不足 30 年但根据上述方法订正后的站)的资料(图 1). 由于目前没有台湾的日气象观测数据, 因而用台湾 25 个站的月气候数据作为辅助资料.

1.2 区划方法和指标体系

本文参照国家标准采用的气候区划方法^[19,20]进行我国 1981~2010 年的三级气候区划分. 即在遵循“地带性与非地带性相结合、发生同一性与区域气候特征相对一致性相结合、综合性和主导因素相结合、自上而下和自下而上相结合及空间分布连续性与取大去小”等 5 个原则的基础上, 先根据青藏高原和我国其他区域的自然地域分异特征, 将青藏高原划分为一个独立的自然单元, 然后结合两大区域(即青藏

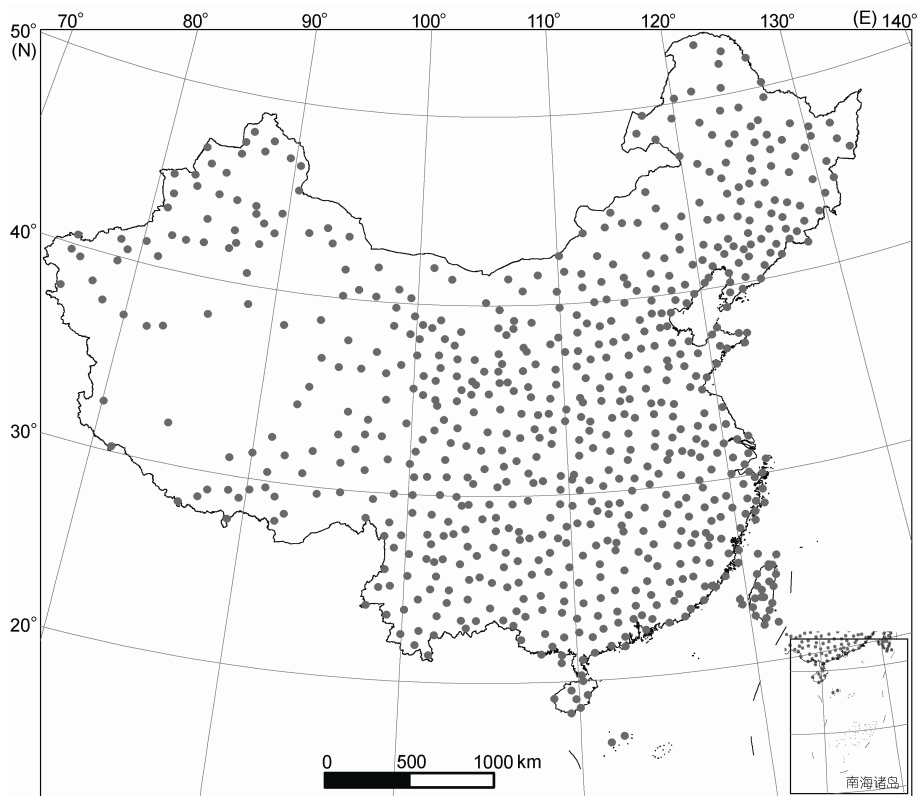


图 1 用于进行中国 1981~2010 年气候区划的气象站点分布

高原和其他区域)的气候特征,划分温度带、干湿区和气候区.其中青藏高原由于站点地理分布不均匀,且相对稀少,故不进行第三级气候区的划分.具体指标与划分标注如下:

(1) 温度带. 以日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数作为划分温度带的主要指标,以日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温为参考指标.同时以1月平均气温作为划分温度带的辅助指标,以极端最低气温的多年平均值为其参考指标.由于青藏高原地势差异大,气候垂直差异悬殊,植物能否良好生长,不仅取决于其能否越冬,还取决于生长期间的热量强度,因此对青藏高原,我们还同时将7月平均气温作为辅助指标.各温度带的具体划分标准见表1.其中,在同一水平地带中,云贵地区(特别是云贵高原)因受地形影响,因此其温度

带的划分标准较东部低海拔地区低.

(2) 干湿区划分指标. 以年干燥度(最大可能蒸散多年平均与年降水量多年平均的比值)作为干湿区划分的主要指标,以年降水量作为辅助指标.具体划分标准见表2.其中在计算最大可能蒸散时,先根据各站的日资料,按文献[35]修正的最大可能蒸散估算模型计算出逐日最大可能蒸散,然后再将其统计为年最大可能蒸散量.

(3) 气候区划分指标. 温度带和干湿区划分主要体现了气候的地带性差异,然而气候还受非地带性因素影响.在我国,7月平均气温的地理分布能较为综合地表现出非地带性因素对气候的影响作用^[15,16],因而本区划采用7月平均气温作为气候区的划分指标.划分标准见表3.

表1 划分温度带的指标体系及划分各温度带的标准

温度带	主要指标	辅助指标		参考指标	
	日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数(d)	1月平均气温($^{\circ}\text{C}$)	7月平均气温($^{\circ}\text{C}$)	日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的积温($^{\circ}\text{C}$)	年极端最低气温多年平均值($^{\circ}\text{C}$)
寒温带	<100	<-30		<1600	<-44
中温带	100~170	-30至-12~-6		1600至3200~3400	-44~-25
暖温带	170~220	-12~-6至0		3200~3400至4500~4800	-25~-10
北亚热带	220~240	0~4		4500~4800至5100~5300	-14~-10至-6~-4
	210~225(云贵高原) ^{a)}			3500~4500(云贵高原)	
中亚热带	240~285	4~10		5100~5300至6400~6500	-6~-4至0
	225~285(云贵高原)			4000至5000(云贵高原)	-4至0(云贵高原)
南亚热带	285~365	10~15		6400~6500至8000	0~5
		9~10至13~15(云南高原)		5000至7500(云南高原)	0~2(云南高原)
边缘热带	365	15~18		8000~9000	5~8
		>13~15(云南高原)		7500~8000(云南高原)	>2(云南高原)
中热带	365	18至24		9000~10000	8~20
赤道热带	365	>24		>10000	>20
高原 ^{b)} 亚寒带	<50	-18至-10~-12	<11		
高原温带	50~180	-10~-12至0	11~18		
高原亚热带山地	180~350	>0	18~24		

a) 指在云贵高原用该标准划分中亚热带,其他括号含义同;b) 高原范围根据文献[36]界定的范围划定

表2 划分干湿区的指标体系及其标准

干湿状况	主要指标	辅助指标
	年干燥指数	降水量(mm)
湿润	≥ 1.00	>800~900或>600~650(东北、川西山地)
半湿润	1.00~1.50	400~500至800~900或400~600(东北)
半干旱	1.50~4.00或1.50~5.00(青藏高原)	200~250至400~500
干旱	≥ 4.00 或 ≥ 5.00 (青藏高原)	<200~250

表3 划分气候区的指标(7月平均气温)及其标准

气候区	Ta	Tb	Tc	Td	Te	Tf	Tg
7月平均气温($^{\circ}\text{C}$)	≤ 18	18~20	20~22	22~24	24~26	26~28	≥ 28

2 结果

2.1 区划指标的地理分布

图 2 给出全国 658 个站 1981~2010 年各个区划指标的地理分布. 该图根据三角形线性插值法(Triangle-based linear interpolation)绘制, 空间分辨率为 0.25 经纬度; 由于地形是影响气候的重要因素之一, 也是进行气候区划的重要参考依据, 且在我国地形(如秦岭, 第二、三级地形阶梯等)本身就是重要的气候分界线, 因而插值过程未进行地形订正. 这一方法充分尊重原始观测数据, 与人工绘制等值线方法一致, 从而保证了其与以往区划结果的可比性.

图 2 显示, 除青藏高原外, 我国其他地区日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数(下简称“ $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数”)与积温(图 2(a), (b))基本呈纬向分布, 自南向北逐渐减小. 其中, 最南的南海岛屿、海南、雷州半岛及云南南部边缘的瑞丽江、怒江、澜沧江、元江河谷等地的日平均气温全年稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$, 积温超过 8000°C . 南岭以南至云南南部及金沙江河谷 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数及积温大多超过 285 d, 积温超过 6000°C . 江南丘陵山地、江汉平原、四川盆地 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数大多超过 240 d, 积温超过 5000°C ; 贵州、滇东、中高原及横断山南段山地虽因地形影响, 气候垂直差异大, 但其中大多数地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数达 225 d 以上, 积温超过 4000°C . 江淮平原、河南南部及秦巴山地 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数大多超过 220 d, 积温达 4500°C 以上; 黔西北、川西南、滇北高原虽然海拔较高, 但这些地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数及积温大多仍达 210 d 和 3500°C 以上. 辽东半岛、燕山低山丘陵与华北平原、太行山地、山西高原和黄土高原东部及其以南山地、吐鲁番盆地及南疆等地的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数及积温分别超过 170 d 和 3200°C . 东北、内蒙大部、宁夏北部、河西走廊及北疆地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数及积温分别超过 100 d 和 1600°C . 而我国最北的大兴安岭北部虽然海拔 500 m 以下谷地的全年日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数及积温可分别达 100 d 与 1600°C 以上, 但因这里海拔大多在 500 m 以上, 因而大多数地区全年日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数低于 100 d, 积温低于 1600°C .

受地形影响, 青藏高原 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数及积温主要随地势而变化. 其中昆仑山、唐古拉山、冈底斯山、念青唐古拉山西段及若尔盖高原地区的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数多在 50 d 以下; 环绕这些高山的外围亚高海拔山地 $\geq 10^{\circ}\text{C}$

日数一般均在 50 d 以上, 其中大部分谷地(如藏南、藏东南谷地)可超过 130 d, 有些海拔相对较低的河谷甚至可接近 180 d. 而喜马拉雅山南翼至横断山的西南缘山地, 虽然垂直高差大, 但这里峡谷深切, 因而谷地的海拔多在 2500 m 以下, 故这些地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数一般达 180 d 以上.

我国 1 月平均气温(图 2(c))与年极端最低气温多年平均值(图 2(d))的地理分布特征与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数的空间格局及走势基本一致, 即除青藏高原外的其他地区基本呈自南向北逐渐减小的纬向分布, 青藏高原则随地势呈环岛状分布. 其中南端的雷州半岛及其以南地区和台湾南部及云南南部边缘河谷地区的 1 月平均气温与年极端最低气温多年平均值分别达 15 和 5°C 以上; 而北端的图里河、漠河等地则分别接近 -30°C 和 -45°C . 青藏高原大部分地区 1 月平均气温与年极端最低气温多年平均值分别在 0°C 和 -10°C 以下(其中大多数高海拔山地更是分别达 -10°C 和 -20°C 以下), 仅喜马拉雅山南翼至横断山的西南缘河谷地区的 1 月平均气温可达 0°C 以上.

我国年干燥度(图 2(e))总体上自东南向西北增加, 年降水量(图 2(f))则自东南向西北逐渐减小. 其中, 东北的大兴安北部、小兴安岭与长白山的干燥度小于 1.0, 除此之外其他地区的干燥度则多为 1.0~1.5. 黄淮海地区、山西南部、陕西中部、甘肃南部及青藏高原东南部的干燥度多为 1.0~1.5, 其中京津及河北平原中北部的干燥度虽然大于 1.5, 但多低于 1.7, 且多数地区的降水量达 550~650 mm; 而这一地带的以东、以南地区的干燥度则通常在 1.0 以下. 内蒙东部、河北西北部、陕西北部、山西北部、宁夏中南部、甘肃中部至青藏高原中部一带的干燥度一般为 1.5~4.0; 而其以西、以北地区干燥度大多为 4.0 以上, 仅新疆的天山山地、伊犁河谷、阿尔泰山地及塔城盆地干燥度在 4.0 以下.

我国 7 月平均气温虽总体也呈南高北低、东高西低分布, 但地带性特征不显著、南北差异不大(图 2(g)). 其中在东部, 东北地区的大、小兴安岭北部为 20°C 以下, 其他地区多为 $20\sim 24^{\circ}\text{C}$; 内部东部、太行山地及黄土高原地区也多为 $20\sim 24^{\circ}\text{C}$; 东北南部、山东半岛及秦岭山地多为 $24\sim 26^{\circ}\text{C}$; 黄淮海、汾渭平原、四川盆地、湘鄂西山地为 $26\sim 28^{\circ}\text{C}$; 长江以南一般在 28°C 以上. 在西部, 7 月平均气温主要受地势高低影响, 其中海拔较低的准噶尔盆地、塔里木盆地和吐鲁

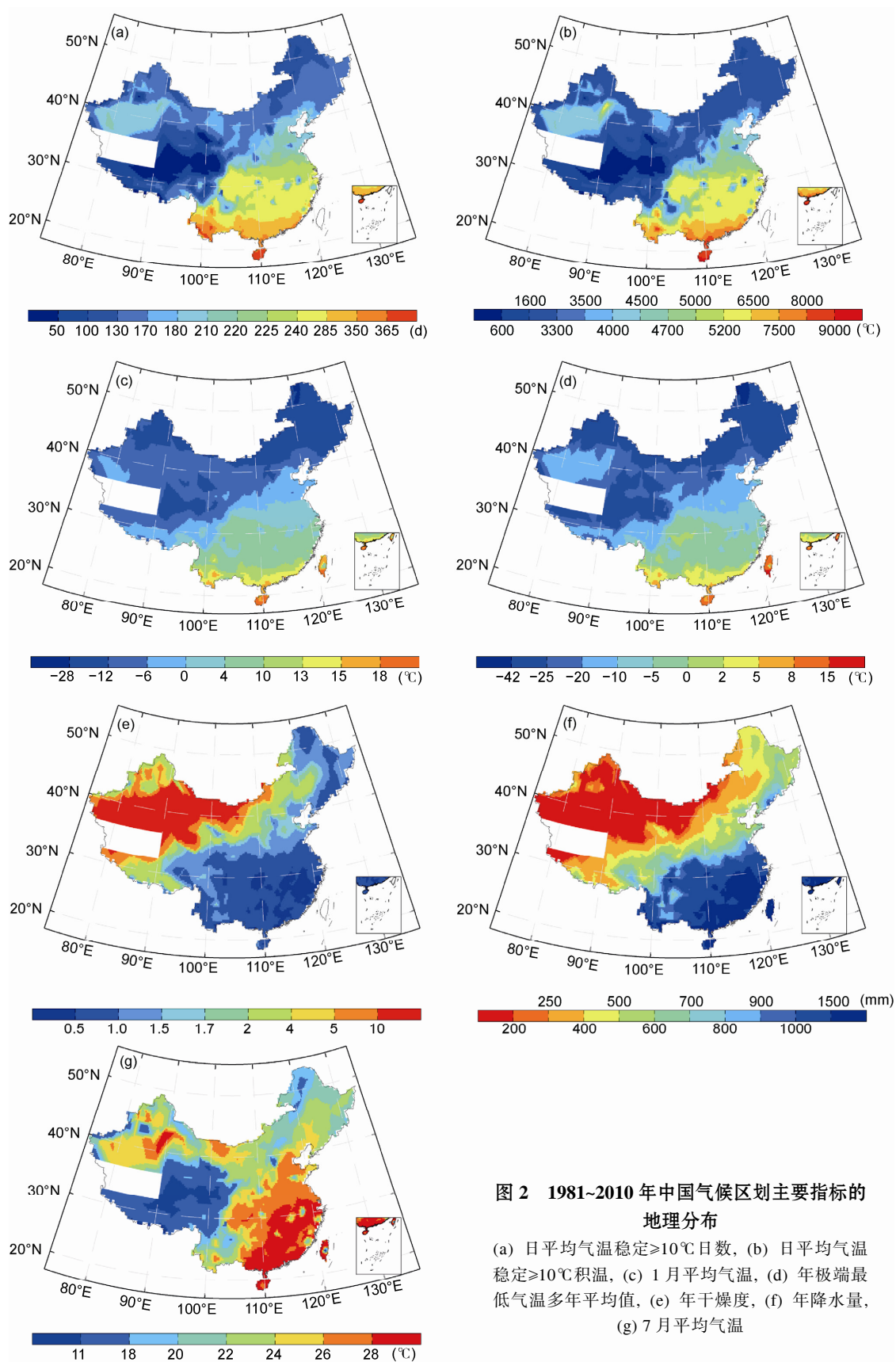


图2 1981~2010年中国气候区划主要指标的地理分布

(a) 日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数, (b) 日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温, (c) 1月平均气温, (d) 年极端最低气温多年平均值, (e) 年干燥度, (f) 年降水量, (g) 7月平均气温

番盆地均超过 24°C , 较东部同纬度地区高, 吐鲁番盆地更高达到 32°C 以上; 而除此之外的高原和山区一般在 20°C 以下, 仅云贵高原可达 $20\sim 24^{\circ}\text{C}$. 青藏高原大部分地区为 16°C 以下, 部分高海拔地区甚至在 10°C 以下.

2.2 区划结果

根据上述区划原则、方法和 1981~2010 年各站的气候指标值及各指标的地理分布特征, 将我国划分为 12 个温度带、24 个干湿区、56 个气候区(图 3); 各区的位置及代表站的气候指标值见表 4. 其中在利用各指标体系划分温度带和干湿区时, 均分别先以各站的主要指标值为依据进行划分. 当因主要指标值差异较小而不能明确指示该站所属区域, 或因一些

站点受地形及非地带性因素影响而致该地带内少数站点的主要指标值与多数站点差异较大时, 则以辅助指标进行区域划分. 当主要及辅助指标统计结果空缺或据主要及辅助指标仍无法进行区域界线划分时, 则以参考指标作为依据确定界线. 而在划定区划界线时, 则主要依据指标的等值线确定界线走向; 并根据空间分布连续性与取大去小原则, 在保证区域气候特征相对一致性基础上, 参照地形(如山麓、分水岭等)划定界线的具体位置.

2.3 本区划较 1971~2000 年区划的改进

与笔者先前编制的 1971~2000 年气候区划^[20]相比, 本区划共使用了 658 个站的资料, 较当时 609 个增加了 49 个, 因这些增加的站点主要分布在我国西

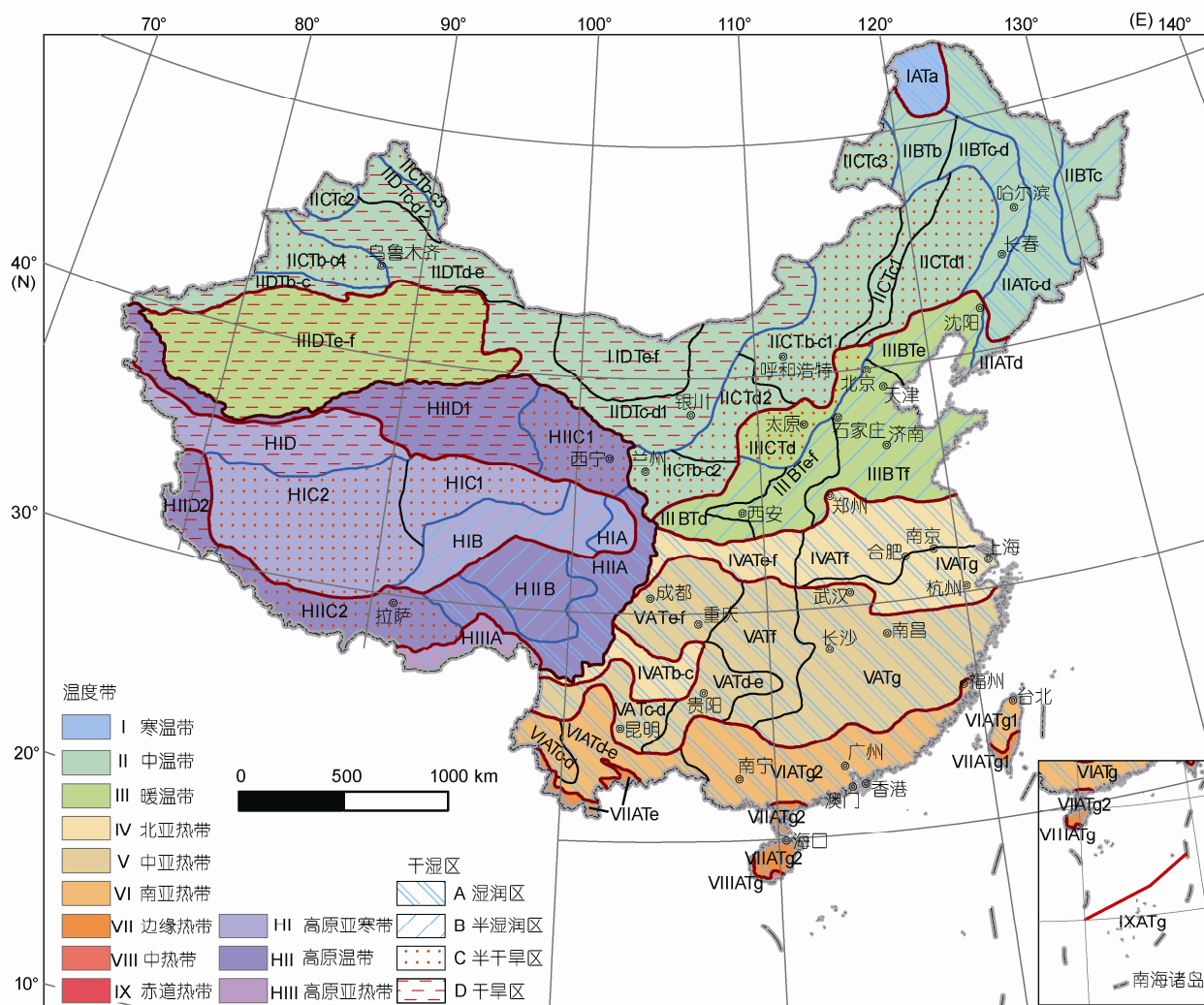


图 3 1981~2010 年中国气候区划简图

表 4 中国 1981~2010 年的气候区划结果

温度带	干湿区	气候区 代码	所在位置	代表站点及其海拔高度与主要、辅助气候指标值							
				站点名称	编号	海拔 (m)	≥10℃ 日数(d)	1月气 温(℃)	7月气 温(℃)	年干 燥度	年降水 量(mm)
寒温带	湿润区	IATa	大兴安岭北部	图里河	50434	732.6	93	-28.4	16.8	1.0	440
	湿润区	IIATc-d	小兴安岭与长白山	伊春	50774	240.9	126	-21.3	20.9	0.8	626
		IIBTc	三江平原及其以南山地	宝清	50888	83.0	147	-16.8	22.2	1.4	491
	半湿润区	IIBTc-d	松辽平原	长春	54161	236.8	158	-14.7	23.2	1.3	577
		IIBTb	大兴安岭中部	额尔古纳 右旗	50425	581.4	113	-27.8	19.6	1.4	361
		IICTd1	西辽河平原	赤峰	54218	568.0	164	-10.4	23.7	2.2	370
		IICTc1	大兴安岭南部	林西	54115	799.5	144	-13.5	21.6	2.0	369
		IICTb-c1	呼伦贝尔平原	海拉尔	50527	610.2	119	-24.8	20.4	1.7	352
		IICTb-c2	内蒙古高原东部	锡林浩特	54102	1003	131	-18.8	21.6	3.1	264
	半干旱区	IICTd2	鄂尔多斯高原与东河套	呼和浩特	53463	1063.0	160	-11.0	23.3	1.8	396
		IICTb-c3	黄土高原西部	海源	53806	1854	148	-6.2	20.3	2.4	359
		IICTb-c	阿尔泰山地	青河	51186	1218	124	-21.5	19.6	3.1	189
		IICTc2	塔城盆地	塔城	51133	534.9	158	-9.7	23.1	2.7	291
		IICTb-c4	天山天地与伊犁谷地	乌鲁木齐	51463	935	157	-12.1	23.8	2.8	299
				伊宁	51431	662.5	180	-7.8	23.3	2.4	299
		IIDTc-d1	内蒙古高原西部、西河套 与河西走廊	银川	53614	1111.4	178	-7.2	23.9	4.6	183
				张掖	52652	1482.7	163	-9.1	22.3	6.1	133
	干旱区	IIDTe-f	巴丹吉林与腾格里沙漠	额济纳旗	52267	940.5	176	-10.6	27.5	34.2	33
		IIDTd-e	准噶尔盆地	奇台	51379	793.5	152	-17.0	22.7	4.2	201
		IIDTc-d2	萨吾尔山、额尔齐斯谷地	福海	51068	501	154	-18.6	23.4	5.6	131
		IIDTb-c	天山南麓	阿克苏	51628	1103.8	196	-7.2	24.1	9.8	80
暖温带	湿润区	IIATd	辽东低山丘陵	庄河	54584	34.8	181	-7.3	23.2	0.9	736
		IIIBTe	燕山低山丘陵与辽东半岛	锦州	54337	65.9	188	-7.6	24.6	1.4	568
	半湿润区	IIIBTf	华北平原与山东半岛	济南	54823	170.3	222	-0.3	27.5	1.5	693
		IIIBTe-f	汾渭平原山地	西安	57036	397.5	219	0.3	27.1	1.3	561
		IIIBTd	黄土高原南部	铜川	53947	978.9	181	-2.8	23.3	1.4	568
	半干旱区	IIICTd	黄土高原东部与太行山地	太原	53772	778.3	186	-5.0	24.0	1.8	423
	干旱区	IIIDTe-f	塔里木与东疆盆地	敦煌	52418	1139	179	-7.9	25.2	22.5	40
北亚热带		IVATf	大别山与苏北平原	信阳	57297	114.5	227	2.4	27.3	0.7	1106
		IVATg	长江下游平原	芜湖	58334	14.8	238	3.4	28.7	0.7	1225
	湿润区	IVATe-f	秦巴山地	安康	57245	290.8	236	3.7	27.0	0.9	824
				黔西	57803	1231.4	223	3.8	23.1	0.6	944
		IVATb-c	黔西北、川西南、滇北高原	越西	56475	1659.5	212	4.0	21.1	0.6	1115
				丽江	56651	2392.4	223	6.4	18.2	1.0	980
		VATg	江汉平原及江南丘陵	南昌	58606	46.9	250	5.5	29.5	0.5	1613
		VATf	湘鄂西山地	沅陵	57655	151.6	243	5.1	27.6	0.5	1385
中亚热带	湿润区	VATd-e	贵州高原山地	兴义	57902	1378.5	245	6.5	22.2	0.6	1322
		VATe-f	四川盆地及其东南山地	成都	56294	506.1	256	5.9	25.6	0.7	834
				会理	56671	1787.3	265	7.3	20.9	0.7	1162
		VATc-d	滇东、中山地及横断山南段山地	华坪	56664	1244.8	345	11.8	24.3	1.0	1088
南亚热带		VIATg1	台湾北部山地平原	台北				16.1	29.6		
	湿润区	VIATg2	闽粤桂低山平原	广州	59287	41.0	330	13.9	28.9	0.5	1801
		VIATd-e	滇中南山地及金沙江谷地	景东	56856	1162	348	11.6	23.6	0.7	1154
		VIATc-d	滇西南山地	临沧	56951	1502.4	349	11.7	21.7	0.7	1149

(续表 4)

温度带	干湿区	气候区 代码	所在位置	代表站点及其海拔高度与主要、辅助气候指标值							
				站点名称	编号	海拔 (m)	≥10℃ 日数(d)	1月气 温(℃)	7月气 温(℃)	年干 燥度	年降水 量(mm)
边缘热带	湿润区	VIIATg1	台湾南部山地平原	恒春				20.7	28.4		2022
		VIIATg2	琼雷低山丘陵	海口	59758	63.5	363	18.0	28.8	0.6	1697
		VIIATe	滇南山地	勐腊	56969	631.9	365	16.5	25.0	0.6	1513
中热带	湿润区	VIIIATg	琼南低地与东、中、西沙诸岛	三亚	59948	6.0	365	21.7	28.6	0.8	1453
赤道热带	湿润区	IXATg	南沙群岛	缺资料							
高原亚寒带	湿润区	HIA	若尔盖高原	若尔盖	56079	3439.6	26	-9.6	11.2	0.9	643
	半湿润区	HIB	果洛那曲高山谷地	达日	56046	3967.0	14	-12.0	9.8	1.1	558
	半干旱区	HIC1	青南高原	五道梁	52908	4612.0	1	-16.2	6.0	2.0	302
		HIC2	羌塘高原	申扎	55472	4672.0	15	-9.4	10.0	2.6	325
	干旱区	HID	昆仑山高原	缺资料							
高原温带	湿润区	HIIA	横断山脉东、南部	康定	56374	2615.7	115	-1.9	15.7	0.7	858
	半湿润区	HIIB	横断山脉中、北部	昌都	56137	3306.0	135	-1.6	16.3	1.4	489
	半干旱区	HIIC1	祁连青东高山盆地	西宁	52866	2295.2	140	-7.3	17.4	1.6	398
		HIIC2	藏南高山谷地	拉萨	55591	3648.9	158	-0.6	16.2	2.0	439
	干旱区	HIID1	柴达木盆地与昆仑山北翼	大柴旦	52713	3173.2	95	-12.6	16.2	8.2	93
		HIID2	阿里山地高原	狮泉河	55228	4278.6	85	-12.0	14.4	13.4	66
高原亚热带	湿润区	HIHIA	东喜马拉雅山南翼至 横断山西南缘山地	察隅	56434	2327.6	193	4.7	19.0	0.9	792

北和西南地区,提高了本次区划在西部的测站密度,因而本区划在划分气候区时进行了3处改进:一是位于内蒙古中西部、宁夏北部及甘肃北部的中温带干旱区.1971~2000年的方案将其划为西河套与内蒙古高原西部(IIDTd-e)和阿拉善与河西走廊(IIDTc-d)2个气候区,但本文根据更多站点的资料将其划分内蒙古高原西部、西河套与河西走廊(IIDTc-d)和巴丹吉林与腾格里沙漠(IIDTd-e)2个气候区.

二是新疆的天山山地.1971~2000年的方案将其划为中温带干旱区(IIDTb-c),但这一地区的大多数站点的年降水均超过200 mm,特别是天山北坡的多数站点更是达到400 mm以上,且大多数站的干燥度低于4.0.所以本文将其与伊犁谷地合并划为中温带半干旱区(IICTb-c).

三是云贵高原.由于这一区域山谷相间,地形复杂,海拔高差大,气候垂直地带性明显,素有“一山分四季、十里不同天”之说,因此对这一地区的历次气候区划均有争议.我们在1971~2000年的气候区划方案中,剔除了部分与该区域平均海拔相差较大高山和河谷气象站,据此将黔西北、川西南高原和滇北高原东段划为中亚热带湿润区(VATb-c),将滇北高

原西段与滇中高原合划为另一个中亚热带湿润区(VATc-d).而本文的新增站点资料表明:黔西北、川西南高原和整个滇北高原的气候垂直地带性均极显著,其中部分亚高海拔(2000~4000 m)地区具有温带气候特征.但从总体看,这里主要为中海拔(1000~2000 m)山地,区内≥10℃日数为210~225 d,积温为3600~4300℃.由于地形独特,冬季对冷空气具有显著阻挡作用,因而这一地带具有冬暖(其中1月气温达4.0℃左右,较同纬度地区高)春早、夏温不高(其中7月气温多为20℃上下,较同纬度地区低)的特点,多数亚热带作物和果蔬均能安全越冬且能良好生长,故本文将其划为北亚热带湿润区(IVATb-c).滇东、川南及横断山南段山地的气候虽与滇北高原一样具有显著的垂直地带性,但大多数站点≥10℃日数达250 d以上、河谷地区为280 d左右,且夏季气温较滇北高原明显要高,故本文将其划为中亚热带湿润区(IVATc-d).而滇中山地≥10℃日数多为285 d以上,特别是金沙江河谷地区(如元谋、华坪、仁和等站)≥10℃日数更是高达340 d以上,因而将其划分为南亚热带(VIATd-e).

3 简要讨论

3.1 与先前区划结果的对比及区划变化的原因与机理

在先前研究中,我们曾简要对比了我国 1971~2000 年气候区划与 1980 年之前气候区划结果的异同,发现 1971~2000 年我国的亚热带北界与暖温带北界东段虽出现了一定程度北移,北方地区的半湿润与半干旱分界线也出现了不同程度的东移与南扩,但当时温度带与干湿区的总体格局较先前并未发生明显变化^[20].然而对比本区划与 1951~1980 年的区划^[17]可以看出:1981~2010 年我国东部的温度带已出现了整体性北移.其中暖温带北界东段最大北移幅度已超过 1 个纬度;北亚热带北界东段平均北移 1 个纬度以上,并明显越过淮河一线,这较 1971~2000 年时^[20]又北移了约 0.5 个纬度,也较早先研究给出的 0.5~1 个纬度北移幅度^[25,26]更为显著.特别是中亚热带北界中段从洞庭湖平原移至汉江平原地区南部,最大移动幅度达 2 个纬度;南亚热带北界西段也北移 0.5~2.0 个纬度,均是 1971~2000 年区划^[20]所没有的.而在西部,虽因受地形影响,温度带水平移动不显著,但也可看出:在青藏高原,出现了亚寒带范围缩小、温带范围扩大趋势.

由于本区划的温度带划分方法和指标与先前区划一致,因此说明:1981~2010 年我国东部温度带的整体性北移和西部高海拔地区温度带的趋势性上升主要是因我国在 20 世纪 80 年代之后气候变化(特别是温度显著升温)而致.进一步对比中国气候变化已有研究结果的评估可知:1951~2009 年,我国平均气温上升了 1.38℃,平均速率为 0.23℃/10 a;其中 1951~1984 年升温趋势弱,快速增暖阶段主要出现在 1985 年以后,而 2001~2010 年则是自 1951 年以来最暖的 10 年.然而其间的增暖却存在较显著的季节与区域差异.其中从季节变化看,冬季最为显著,春季次之,秋季较春季略小,夏季最小.从区域差异看,则是北方增暖大于南方,特别是最显著的升温区域主要在 34°N 以北,且这些地区的增暖速率自 1977 年起就开始加快^[22];因此在 1971~2000 年的区划中即可见暖温带和北亚热带北界出现了北移.但 1985 年以后,在我国北方地区继续增暖的同时,其他地区(特别是南方)也出现了快速增暖趋势,特别是冬、春、秋 3 季的增暖幅度更为明显^[23],这导致了我国 1981~

2010 年的中亚热带和南亚热带北界也出现了较大幅度北移.

其机理是气候变暖,特别是冬、春、秋季节的大幅度增暖导致春、秋季日平均气温稳定达到 10℃ 的日期提前与推迟,使日平均气温稳定≥10℃ 的日数延长、积温增加;且冬季气温升高也同时使 1 月平均气温及年极端最低气温上升,使寒冷、霜冻灾害发生几率减少.我国气候增暖虽存在区域差异,但 1985 年以后冬、春、秋 3 季的增暖则遍及全国,从而使得我国 1981~2010 年我国东部温度带出现了整体性北移和高海拔地区温度带的趋势性上升,仅由于各地增暖幅度不同,因而不同气候带的北移或上升幅度也存在差别.

在干湿区及其界线变化方面,我国北方半干旱区及半湿润区总体转干,且其分界线也明显出现东移与南进,其中 36°~41°N 间的半干旱区及半湿润分界线移动幅度达 0.5~2.5 个经度,使得整个黄土高原基本转变为半干旱区.但西北的河西走廊、新疆及青藏高原的干旱区、半干旱区则总体转湿.其他地区的干湿状况虽也有一定程度波动,但干湿分界线并未出现明显移动.这些变化与已有研究^[20,27~30]所得到的认识基本一致.其原因主要是因为自 20 世纪 70 年代后期以来,东亚夏季风减弱,从而导致我国华北、东北东南部、西北东部的降水出现显著减少^[22,23];同时受日照时数、风速趋势性下降减缓和增暖及相对湿度减少等因素的综合影响,这些地区的最大可能蒸散在 1993 年后又出现了增加趋势^[31];从而导致 20 世纪 90 年代以后这些地区气候转干.而在西部及长江以南的大部分地区,降水则均有所增加^[31];特别是西北西部和青藏高原中北部自 20 世纪 80 年代中期以后增加趋势更为显著^[30],且同期这些地区的最大可能蒸散也出现减少趋势^[31],因而导致河西走廊、新疆及青藏高原的干旱区、半干旱区总体转湿.

3.2 资料均一化订正对区划结果的影响

需要指出的是,本文所使用的日气象观测数据虽在发布时就已经严格的数据质量控制、均一性检查及记录订正与复核,但同 Li 和 Yan^[37]采用序列均一性多重分析(MASH)订正的“1960~2008 年中国 549 站均一化逐日平均/最高/最低气温数据集”有一定差异.为分析这一差异,我们以各区代表站(表 4)为例,将本文的日平均气温稳定≥10℃ 日数、积温、1 月平均

气温、7 月平均气温 4 个指标的计算结果与利用该均一化数据集计算得到的结果进行了对比. 在这些代表站中, 两套资料共有的站有 48 个, 共有时段为 1981~2008 年共 28 年, 其中二者资料完全一致的站有 6 个.

2 套资料数据有差异的 42 个站各指标比较结果如下: (1) 日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数: 二者相差 0~1 d 的站有 26 个, 差 1~3 d 的有 12 个, 差 3~5 d 的有 3 个; 仅有 1 站(西宁, 52866)相差超过 5 d, 达 10.7 d. (2) 日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温: 二者相差 0~50 $^{\circ}\text{C}$ 的站有 31 个, 差 50~100 $^{\circ}\text{C}$ 的有 8 个; 差 100 $^{\circ}\text{C}$ 以上的仅 3 个, 分别为银川(53614), 100 $^{\circ}\text{C}$; 阿克苏(51628), 153 $^{\circ}\text{C}$; 西宁, 195 $^{\circ}\text{C}$. (3) 1 月平均气温: 二者相差

0~0.2 $^{\circ}\text{C}$ 的站有 32 个, 差 0.2~0.5 $^{\circ}\text{C}$ 的有 7 个, 超过 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 的有 3 个, 分别为青河(51186), 0.52 $^{\circ}\text{C}$; 阿克苏, 0.72 $^{\circ}\text{C}$; 西宁, 0.87 $^{\circ}\text{C}$. (4) 7 月平均气温: 二者相差 0~0.2 $^{\circ}\text{C}$ 的站有 30 个, 差 0.2~0.5 $^{\circ}\text{C}$ 的站有 8 个; 超过 0.5 $^{\circ}\text{C}$ 的有 4 个, 分别为西宁, 0.53 $^{\circ}\text{C}$; 济南(54823), 0.55 $^{\circ}\text{C}$; 太原(53772), 0.66 $^{\circ}\text{C}$; 海口(59758), 0.66 $^{\circ}\text{C}$. 这些差异均明显小于各气候区划分指标的本身差异幅度范围, 说明未经 MASH 订正的不均一资料虽会对气候区划指标的计算结果造成影响, 但由于任一气候区划分指标本身就有一定的幅度范围, 因此这一影响并不足以改变这些站点所属的气候区, 即不会对气候区划分和气候区界线的划定造成显著影响.

致谢 中国科学院大气物理研究所的李珍博士提供了 1960~2008 年中国 549 站均一化逐日平均气温数据集; 在此表示衷心感谢.

参考文献

- 1 Fraedrich K, Gerstengarbe F W, Werner P C. Climate shifts during the last century. *Clim Change*, 2001, 50: 405–417
- 2 Kalvova J, Halenka T, Bezpalcova K, et al. Koppen climate types in observed and simulated climates. *Stud Geophys Geodaet*, 2003, 47: 185–202
- 3 Kottek M, Grieser J, Beck C, et al. World map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Zeitschr*, 2006, 15: 259–263
- 4 Peel M C, Finlayson B L, McMahon T A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci*, 2007, 11: 1633–1644
- 5 竺可桢. 中国气候区域论. 见: 《竺可桢文集》编辑小组, 编. 竺可桢文集. 北京: 科学出版社, 1979. 124–132
- 6 涂长望, 郭晓岚. Koppen 范式的中国气候区域. *气象学报*, 1938, 14: 51–67
- 7 卢鋈. 中国气候区域新论. *地理学报*, 1946, 1–10
- 8 陶诗言. 中国各地水分需要量之分析与气候区域之新分类. *气象学报*, 1949, 20: 43–50
- 9 张宝堃, 朱岗昆. 中国气候区划(初稿). 北京: 科学出版社, 1959. 1–297
- 10 钱纪良, 林之光. 关于中国干湿气候区划的初步研究. *地理学报*, 1965, 31: 12–14
- 11 中央气象局. 中国气候图集. 北京: 地图出版社, 1966. 162
- 12 中央气象局. 中华人民共和国气候图集. 北京: 地图出版社, 1979. 222–223
- 13 丘宝剑, 卢其尧. 中国农业气候区划试论. *地理学报*, 1980, 35: 116–125
- 14 李世奎, 侯光良, 欧阳海, 等. 中国农业气候资源和农业气候区划. 北京: 科学出版社, 1988. 191–330
- 15 陈咸吉. 中国气候区划新探. *气象学报*, 1982, 40: 35–47
- 16 中国科学院《中国自然地理编辑委员会》. 中国自然地理—气候. 北京: 科学出版社, 1985. 151–161
- 17 中央气象局. 中国气候资源地图集. 北京: 中国地图出版社, 1994. 277–278
- 18 中央气象局. 中华人民共和国气候图集. 北京: 气象出版社, 2002. 6–7
- 19 中国标准化与信息分类编码研究所, 国家气象中心. 中华人民共和国国家标准: 中国气候区划名称与代码——气候带和气候大区 (GB/T17297-1998). 北京: 中国标准出版社, 2004. 1–8
- 20 郑景云, 尹云鹤, 李炳元. 中国气候区划新方案. *地理学报*, 2010, 65: 3–13
- 21 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2007. 23–40
- 22 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2011. 23–38
- 23 Ren G Y, Ding Y H, Zhao Z C, et al. Recent progress in studies of climate change in China. *Adv Atmos Sci*, 2012, 29: 958–977
- 24 黄荣辉, 陈际龙, 刘永. 我国东部夏季降水异常主模态的年代际变化及其与东亚水汽输送的关系. *大气科学*, 2011, 35: 560–589

- 25 沙万英, 邵雪梅, 黄玫. 20 世纪 80 年代以来中国的气候变暖及其对自然区域界线的影响. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2002, 32: 317–326
- 26 Ye D Z, Jiang Y, Dong W J. The northward shift of climatic belts in China during the last 50 years and the corresponding seasonal responses. *Adv Atmos Sci*, 2003, 20: 959–967
- 27 Yang J P, Ding Y J, Chen R S. The fluctuations of dry and wet climate boundary and its causal analyses in China. *Acta Meteorol Sin*, 2004, 18: 211–226
- 28 Qian W H, Qin A. Precipitation division and climate shift in China from 1960 to 2000. *Theor Appl Climatol*, 2008, 93: 1–17
- 29 尹云鹤, 吴绍洪, 郑度, 等. 近 30 年我国干湿状况变化的区域差异. 科学通报, 2005, 50: 1636–1642
- 30 张永, 陈发虎, 勾晓华, 等. 中国西北地区季节间干湿变化的时空分布——基于 PDSI 数据. 地理学报, 2007, 62: 1142–1152
- 31 尹云鹤, 吴绍洪, 戴尔阜. 1971–2008 年我国潜在蒸散时空演变的归因. 科学通报, 2010, 55: 2226–2234
- 32 刘燕华, 郑度, 葛全胜, 等. 关于开展中国综合区划研究若干问题的认识. 地理研究, 2005, 24: 321–329
- 33 郑景云, 卞娟娟. 类型变更的相邻气象观测站的日气温资料整合. 地理研究, 2012, 31: 579–588
- 34 马开玉, 丁裕国, 屠其璞, 等. 气候统计原理与方法. 北京: 气象出版社, 1993. 449–494
- 35 Yin Y H, Wu S H, Zheng D, et al. Radiation calibration of FAO56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China. *Agric Water Manage*, 2008, 95: 77–84
- 36 张德铨, 李炳元, 郑度. 论青藏高原范围与面积. 地理研究, 2002, 21: 1–8
- 37 Li Z, Yan Z W. Homogenized daily mean/maximum/minimum temperature series for China from 1960–2008. *Atmos Oceanic Sci Lett*, 2009, 2: 237–243

The climate regionalization in China for 1981–2010

ZHENG JingYun¹, BIAN JuanJuan¹, GE QuanSheng¹, HAO ZhiXin¹, YIN YunHe¹ & LIAO YaoMing²

¹ *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

² *National Climate Center, Beijing 100081, China*

The scheme of climate regionalization in China was conducted by the classification criteria of temperature zone, arid/humid region and climatic sub-region, and the variables used in the criteria were calculated as mean values of the 30 years by using the daily meteorological data of 658 stations from 1981 to 2010. In the classification criteria, the temperature zones were classified by the general guideline of the days with daily temperature steady above 10°C, and the secondary guideline of January mean temperature, or by their referenced variables including the accumulated temperature with daily temperature steady above 10°C and annual minimum temperature, respectively. The arid/humid regions were classified by the annual aridity index and annual precipitation amount in turn. The climatic sub-regions were classified by the July mean temperature. The result shows that China can be divided into 12 temperature zones, 24 arid/humid regions and 56 climatic sub-regions. Compared with the climate regionalization scheme for the period of 1951–1980, several boundaries of temperature zones in eastern China shifted northward in 1981–2010 due to the climate warming. The east part of the northern boundary of warm temperate zone shifted more than 1.0° at a maximum. On average, the east part of the northern boundary of north subtropical zone shifted 1.0°. The middle part of the northern boundary of mid-subtropical zone shifted 2.0° at a maximum. The west part of the northern boundary of south subtropical zone shifted 0.5°–2.0°. In West China, the shift of temperature zone was not significant in horizontal due to the vertical landform. However, the plateau sub-cold zone was shrunk while the plateau temperate zone was enlarged in the Tibetan Plateau. Because precipitation decreased in North China, southeastern part of Northeast China and eastern part of Northwest China, the boundary of the semi-arid and sub-humid region in Northern China shifted eastward and southward, and in which, the boundary between 36°–41°N shifted 0.5°–2.5° at longitude. Moreover, the climate in the most of arid regions and semi-arid regions in Hexi Corridor, Xinjiang and the Tibetan Plateau changed to be more humid.

China, 1981–2010, climate regionalization, shift of boundaries of regionalization

doi: 10.1360/972012-1491