

夏江江, 严中伟, 周家斌. 2011. “三伏”的气候学定义和区划 [J]. 气候与环境研究, 16 (1): 31–38. Xia Jiangjiang, Yan Zhongwei, Zhou Jiabin. 2011. Climatology of “Three Fu” in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (1): 31–38.

“三伏”的气候学定义和区划

夏江江^{1,2} 严中伟¹ 周家斌¹

1 中国科学院大气物理研究所东亚气候—环境重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘 要 三伏由秦汉时盛行的五行学说延伸而来, 主要指中原地区气候上一年中最闷热的一段时期。利用1960~2004年我国范围内432站观测的逐日最低(Tmin)、最高气温(Tmax)和湿度值构建人体舒适度指数(THI), 并分三伏区、准三伏区、潜在三伏区和非三伏区辨识了我国的气候三伏特征及其在时间上的跃变, 得到华北、江淮和江南3个地区三伏入伏日期在7月4日~7月25日之间波动, 多年平均的入伏时间(及伏期长度)分别为: 华北7月16日(26天), 江淮7月16日(29天), 江南7月13日(34天); 就多年平均而言, 三伏强度在江淮区域最强, 江南稍弱, 华北最弱。各地以Tmin为指数计算的THI(Tmin)大致都呈现上升趋势, 而以Tmax为指数计算的THI(Tmax)则表现出更多的年代际波动。

关键词 三伏 气候 季节循环 极端闷热阶段 人体舒适度指数

文章编号 1006-9585 (2011) 01-0031-08 **中图分类号** P467 **文献标识码** A

Climatology of “Three Fu” in China

XIA Jiangjiang^{1,2}, YAN Zhongwei¹, and ZHOU Jiabin¹

1 *Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

Abstract “Three Fu” (TF) is a typical regional climate phenomenon in association with the hottest period in summer in part of China. The traditional concept of the TF has been described as an uncomfortably hottest period in summer, lasting for 30 or 40 days, without a quantified meteorological definition. In order to study this typical monthly-scale extreme climate event, the authors present a quantified definition of the TF characteristics in using the Temperature-Humidity Index (THI) based on the daily minimum/maximum temperatures (Tmin/Tmax) and the relative moisture observations during 1960–2004. Four divisions are categorized in China: TF, quasi-TF, potential-TF, and none-TF areas. The TF area covers most of southeastern China, where Asian summer monsoon prevails. To compare the TF characteristics in different climatological zones, the TF area is further divided into three subregions: the North China Plain (NC), the Yangtze-Huaihe River basins (YH), and the areas south of the Yangtze River (SY). The beginning dates of the TF are mainly between 4 and 25 July, but on average, around 16 July in NC (lasting for 26 days), 16 July in YH (lasting for 29 days), and 13 July in SY (lasting for 34 days). The intensity (in terms of THI) of the TF is the strongest in YH, slightly weaker in SY, and the weakest in NC. The new TF index based on Tmin exhibits an enhancing trend during 1960–2004, but that based on Tmax is of strong interdecadal variations.

Key words Three Fu, extreme climate, seasonal cycle, extreme hot days, temperature-humidity index

收稿日期 2009-12-13 收到, 2010-11-10 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展计划 2009CB421401、2006CB400503

作者简介 夏江江, 男, 硕士研究生, 主要从事气候变化研究。E-mail: xiajj@tea.ac.cn

1 引言

三伏是二十四节气以外的杂节气,是我国劳动人民认识自然变化规律的又一总结。三伏期正是各种大秋作物的生长和耗水峰期,也是病虫害发生和蔓延期,需要对有关农事活动提前做好准备。三伏期间的酷暑天气严重影响人类健康,其间易于发生“中暑”等急性热病,酷暑也是一些致死疾病的影响因子,如高温与呼吸系统疾病死亡的联系等(任传成等,1999;朱霞等,2006;王玲等,2007)。三伏天气对现代城市生活和能源调度等的影响毋庸置疑。随着近百年全球增暖,区域性极端气候变化正日益受到各界关注(IPCC,2007)。然而,各地极端天气波动和季节循环在近百年变暖过程中的变化不尽相同(严中伟和杨赤,2000;Yan et al.,2001;Zhai et al.,2008)。三伏作为我国地区季节循环中的一个特殊阶段,研究其时空演变规律对于全面理解我国区域极端天气和极端气候事件的出现是有益的。

传统三伏的说法与秦汉时盛行的“五行相克”说有关。当时的人认为一年中最热的时段是夏季,夏属火,庚属金,金最怕火将它烧融,所以一到“庚日”,金必藏伏,于是火就能大肆热毒,使天气变得特别热了。既然金为藏伏,所以称为“伏”日。具体定义以每年“夏至”、“立秋”二节气为准,按干支纪日,推算出三伏。根据《阴阳书侯》,夏至后第三个庚日为初伏,四庚为中伏,立秋后初庚为末伏。由于每年夏至的日期不同(6月21日或6月22日),在天干(10个)地支(12个)纪日系统中每年夏至日的干支也不同,因而由传统三伏定义出发,可得两个有意义的推论。其一,每年入伏时间有早有晚。入伏日期最早为7月11日,最晚为7月21日,可相差10天。其二,末伏在立秋后的初庚开始,这导致中伏天数有的年份是10天,有的是20天,故整个三伏也就有30天或40天之长。

传统三伏入伏时间定在7月中旬前后,与现代气候观测到的我国季风(也即具有明显季节循环)区域最热阶段非常接近,这体现了三伏概念试图描述季节循环中最热阶段的基本意图。所推算得的三伏期每年不尽相同,一定程度上反映了

古代人民对于气候变化的认知。然而,由天干地支机械排列而推算的三伏起始日期和持续时间(30或40天)相对较为固定,难以反映实际最热时段的气候变化;而且传统三伏概念没有考虑各地因纬度、地形、大气环流等影响所造成的气候差异,所有地区具有相同的三伏起始日期和伏期长度。因而,有必要基于现代气象观测给出三伏的一个气候学定义,用以准确描述我国各地季节循环中的这一特殊阶段,为进一步研究有关气候变化、指导日常生产和生活,提供一个量化的基础。

2 资料 and 定义

2.1 逐日最高和最低气温及相对湿度资料

本文基础资料来自中国气象局国家气象信息中心整编的1951~2004年全国753个站点逐日气象观测资料。为保障各站计算结果高度可比,我们从中选取1960年以来具有持续记录(连续缺测不超过3天)的432个站。个别缺测值用前后两天的平均值代替。额外选取的6个西藏站点,资料年限为1970~2004年。

考虑到三伏天气以闷热为主,我们用日最高、最低气温和相对湿度来计算有关指数。在一些特殊情况下,如我国西北沙漠区,白天干热但夜间凉爽,这和传统意义上的闷热的三伏天气并不一致。因此,利用日最高和最低温度,有助于更确切地定义三伏。

2.2 人体舒适度指数(THI)

研究表明,当温度在体感较舒适的范围内,湿度的变化对人体舒适感影响不大;但当温度很高或很低时,湿度偏大就会对人体产生较大影响,使人们感到闷热或阴冷(罗晓铃等,2004)。三伏对应盛夏期间人体舒适度最差的一段时期。因此,本文引入人体舒适度作为定义新三伏的辅助条件。关于人体舒适度的表述公式有很多,其中应用最多的为Thom(1959)提出的不舒适度指数(Discomfort Index,简称为DI),即后来美国国家气象局用于夏季舒适度及工作时数预报的温湿指数(Temperature-Humidity Index, THI)(王远飞和沈愈,1998),这一指数用来表征基于人类生物学方法的环境舒适度,提供了一个利用温度和湿度就可以有效地评估度量人体“不舒适”程度的

简单方法 (Deosthali, 1999)。公式如下:

$$\text{THI} = T - 0.55(1 - R_H)(T - 14.5), (1)$$

式中, T 为温度 (单位: $^{\circ}\text{C}$), R_H 是相对湿度。THI 的定义源自美国, 可以认为对于和美国处于同纬度的地区来说同样适用 (Giles et al., 1990), 在我国已经得到广泛的认可与应用 (李秋和仲桂清, 2005; 吴菲等, 2007; 郭洁等, 2008)。对于我国大部分地区而言, 有关划分标准如表 1 所示 (王远飞和沈愈, 1998)。用不同温湿指数所得结果或有所不同, 但借助 THI 定义三伏不失其一般意义, 即结合温、湿度来量化三伏气候状态。

表 1 THI 与人体舒适度
Table 1 THI and the comfort degree

温湿指数 THI	舒适度	评价
≥ 29.5	酷热	不降温难以工作
26.7~29.4	很热	很不舒适
23.9~26.6	热	不舒适
21.1~23.8	较热	较不舒适
< 21.1	凉爽	舒适

2.3 新三伏定义

本文从 3 个方面考虑该定义。其一, 考虑到传统三伏是指一年中最热的一段时期, 需参考某种绝对指标 (如温度 T), 而 THI 结合了温度与湿度两个气象要素, 较之温度更为准确地反映出人体舒适的程度, 因而本文选用 THI 作为绝对指标反映新三伏的“闷热”程度。其二, 考虑各地季节循环特征不同, 对于“极闷热”的那个阶段的感受也就具有相对性。其三, 三伏既不是一个短期天气过程 (如个别高温天气), 也不是整个夏季尺度的现象, 而是一个接近月尺度 (注意不一定正好是一个月) 的极端时期。具体说来, 本文采用以下两套量化办法:

(1) 绝对标准: 首先排除季节变化不明显的热带、南亚热带 (全年特别是夏半年温度普遍较高从而失去了辨别极端阶段的意义)。新三伏的定义仅考虑北回归线以北的季风地区。同时要求某地某年存在一个连续 L 天的时期, 期间平均 THI 达到某一下限标准以上。这一条件排除了一些没有“三伏”现象的山地和高原地区。

白天和晚上分别满足某绝对标准。这样可以排除个别地区 (如我国西北干旱区) 夏季白天很

热而夜间凉爽的特殊情况。具体要求基于日最高气温 ($T_{\max}$) 计算的 L 天平均 THI 高于 26.7 (很热的底限, 见表 1), 以日最低气温 ($T_{\min}$) 计算的 L 天平均 THI 高于 21.1 (较热的底限)。

在下面的区划分析中取 $L=30$ 天, 意在反映季节波动中最热的一个阶段而非个别天气现象。由于我国区域天气波动周期主要在 10 天左右或更短 (Yan et al., 2001), 一个 30 天的时期大致可以包含若干天气波动, 同时其平均结果又不至于受到个别天气波动的左右; 又知传统三伏的伏期长度为 30 或者 40 天, 因而取 30 天作为判断是否有三伏的下限天数的标准, 从一定程度上可以反映出三伏概念的气候学本质。如果一年中至少有一个连续 30 天平均 THI 高于上述底限, 即表示该地该年可能出现三伏现象。如果该地有 90% 或更多年份满足此条件, 则定义该地区为永久性三伏区, 简称三伏区; 如果仅有 10% 或更少的年份满足上述条件, 则定义为非三伏区; 在 11%~50% 和 51%~90% 之间则分别定义为潜在三伏区和准三伏区。上述分区将在研究区域气候变化时体现其优越性。本文侧重于对三伏区的三伏期作出进一步的明确定义和分析。

(2) 相对标准: 上述绝对标准是定义三伏的必要条件。作为一个对于当地人和生态系统具有“极端”感受的特殊时期, 新三伏定义必须将某种相对“极端”特征体现出来。本文采用 m 天滑动 t 检验方法, 找出任一站点季节循环中最闷热阶段之前、后的两个显著跃变点, 并以此作为该地三伏期的起始时间。计算中 $m=10$ 天。这样既可以避免个别天气波动造成的误判, 又不易于混淆更长尺度的季节转换现象。

3 结果

3.1 传统三伏日期及其年际变化

按传统三伏定义推算的每年三伏入伏日期如图 1 所示。从 1951~2050 年三伏入伏日期最早为 7 月 11 日, 最晚为 7 月 21 日, 入伏日期最早与最晚之间最多可差 10 天。传统三伏入伏日期的平均值为 7 月 16 日。

传统三伏定义中入伏日期的变化, 说明古人认识到气候是变化的, 并试图预测这种变化。但

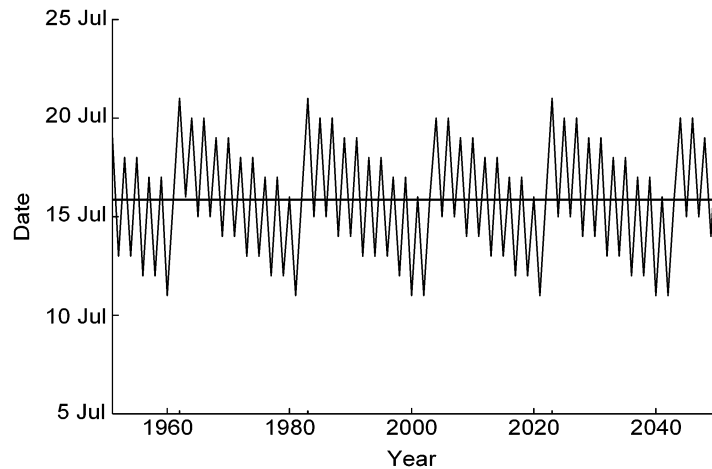


图1 1951~2050年传统三伏入伏日期

Fig. 1 The beginning date of “Three Fu” (TF) following the traditional definition from 1951 to 2050

根据天干地支机械排列而获得的图1所示变化,显然不能恰当反映真实气候变化。

另一方面,传统三伏期为30天或40天。从1951~2050年100年间共有71年三伏期为40天(中伏为20天),29年三伏期为30天(中伏为10天)。在时间序列上也呈现出机械式的周期性(图略)。从伏期长度判断,传统三伏概念也是为了描述某种月尺度的现象,即非短期天气或季节尺度的现象。

3.2 新三伏区划

按照新三伏划分的绝对标准,可以将我国划分为三伏区(1960~2004年期间有40~45年满足标准)、准三伏区(22~39年)、潜在三伏区(6~22年)和非三伏区(0~5年),如图2所示。三伏区和准三伏区主要分布在我国40°N以南的东南部平原地区,位于我国地势3级阶梯第三级,也是受夏季风影响的主要区域;我国西北地区多属于非三伏区;二者之间则零星分布着准三伏区和潜在三伏区,气候变暖有可能导致这些地区也成为三伏区。新疆和北方部分干旱区夏季白天可以很热,但夜间降温很快,THI达不到绝对标准,不属于三伏区。

需要指出的是,处于热带的华南沿海地区整个夏半年都可能满足前述绝对标准。但本文定义的新三伏强调针对具有鲜明季节循环的季风地区。图中最南边的一条虚线以南部分,处于北回归线附近及以南,季节变化不明显,THI虽然能达到绝对标准,故不视为三伏区。

为了解不同气候带三伏差异,按照中国气象局1994年出版的中国气候区划(其区划主要考虑温度、湿度因子),将我国东部三伏区进一步划分为华北、江淮和江南三个地带(如图2中4条虚线之间的3个区域),分别处于我国暖温带、北亚热带、中亚热带。

3.3 新三伏期平均入伏、出伏日期和强度指标

不失一般性,用滑动 t 检验找出上述3个三伏区多年平均季节循环内最接近(10天平均)THI最大值两侧的两个显著跃变点(显著水平 $\alpha=0.01$)。基于 $T_{\max}$ 和 $T_{\min}$ 计算的THI,为表述方便,分别以 $THI(T_{\max})$ 、 $THI(T_{\min})$ 代替。季节循环中各有两个这样的跃变点,我们取其中最接近THI最大值的一对显著跃变点作为三伏期的入伏、出伏日期。同时对逐日温度($T_{\max}$ 和 $T_{\min}$)也作同样的处理,以作比较。结果如图3所示。

通过计算可以发现,基于温度和THI计算所得的1960~2004年这45年三伏平均入伏、出伏日期是一致的(图3),说明了温湿指数THI中温度起主导作用。

表2列出3个三伏区1960~2004年平均入伏、出伏日期及对应的THI值,其中伏期极端THI值定义为各地区伏期内最大3个THI值的平均。因3个地区伏期长度不一致,在气候变化分析中伏期极端THI更具有区域之间的可比性。这样可用伏期平均THI和伏期极端THI综合表示

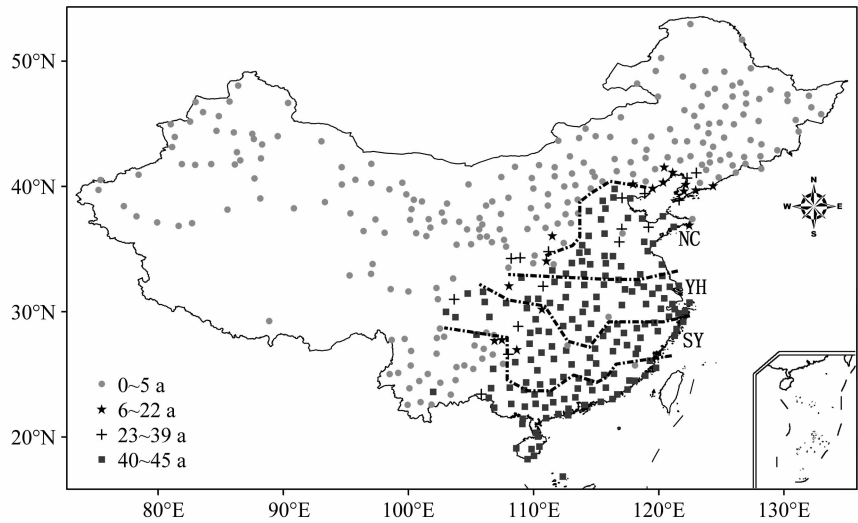


图 2 1960~2004 年各站点满足绝对三伏标准的总年数（东南部个别的非三伏站点是高山站点）。东部虚线划分出 3 个三伏子区：华北（NC）、江淮（YH）、江南（SY）

Fig. 2 The number of TF-years at each station during 1960 – 2004 (some non-TF stations in the southeast of China are high-altitude stations). Dashed lines are marked for the three sub-zones of TF in eastern China: North China (NC), the Yangtze-Huaihe River basins (YH), and the areas south of the Yangtze River (SY)

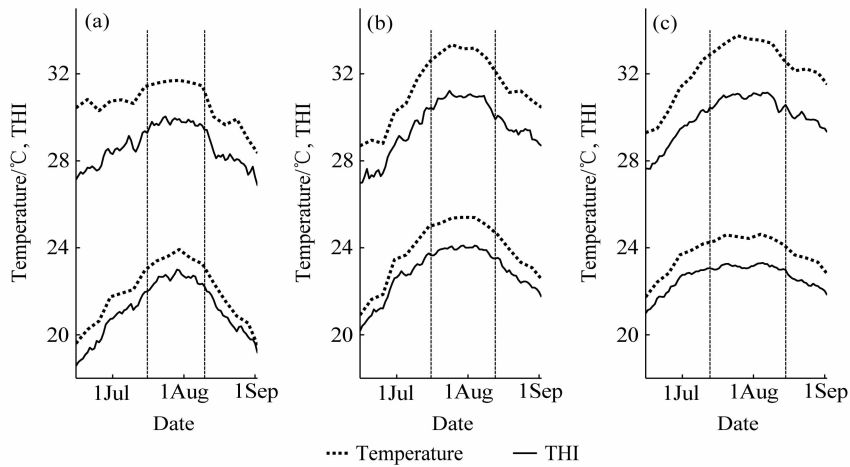


图 3 （a）华北、（b）江淮和（c）江南三伏区 1960~2004 年多年平均的 6~9 月逐日 Tmax（上虚线）、Tmin（下虚线）、THI（Tmax）（上实线）、THI（Tmin）（下实线）。竖虚线标示出多年平均的三伏期入伏、出伏日期

Fig. 3 The mean daily maximum/minimum temperature and THI in NC, YH, and SY for the period of 1960 – 2004. Upper dot curves indicate Tmax, and lower dot curves indicate Tmin, upper solid curves indicate THI (Tmax), and lower solid curves indicate THI (Tmin). The dashed vertical lines indicate the climatological mean beginning and ending dates of TF

表 2 各区 1960~2004 年平均的新三伏入伏、出伏日期及其对应 THI 值

Table 2 The mean beginning and ending dates of TF and the corresponding THI of the three sub-zones for 1960 – 2004

区域	新三伏入伏日期及对应 THI			新三伏出伏日期及对应 THI			伏期 长度	伏期平均		伏期极端	
	日期	THI(Tmax)	THI(Tmin)	日期	THI(Tmax)	THI(Tmin)		THI(Tmax)	THI(Tmin)	THI(Tmax)	THI(Tmin)
华北	7 月 16 日	29.28	22.00	8 月 10 日	29.42	22.22	26 天	29.74	22.56	29.99	22.92
江淮	7 月 16 日	30.44	23.65	8 月 13 日	29.91	23.51	29 天	30.81	23.90	31.12	24.10
江南	7 月 13 日	30.45	23.05	8 月 15 日	30.57	22.98	34 天	30.85	23.14	31.13	23.29

三伏期闷热程度（伏期强度或三伏强度）。

多年平均而言，华北、江淮、江南三伏入伏日期大致在 7 月中期（7 月 13~16 日），持续时间都为 30 天左右（26~34 天），北方稍短而南方稍长。用 THI (T_{max}) 和 THI (T_{min}) 表示的伏期平均强度分别为华北 29.74 和 22.56，江淮 30.81 和 23.90，江南 30.85 和 23.14，伏期极端强度为华北 29.99 和 22.92，江淮 31.12 和 24.10，江南 31.13 和 23.29。这表明 3 个地区中，华北地区伏期闷热程度最弱，对于 THI (T_{min})，江淮略强于江南，而对于 THI (T_{max})，江淮和江南的伏期闷热程度基本一致。对应的伏期平均日最高、最低温和相对湿度分别为华北 31.59 °C、23.49 °C 和 81.34%；江淮 32.97 °C、25.13 °C 和 79.70%；江南 33.35 °C、24.43 °C 和 77.03%。由此可见，江淮三伏强度要略大于江南，而远大于华北，这可能与西太平洋副热带高压 7 月底至 8 月初所处的位置（30°N 附近）有关，在副高控制下将产生干旱、炎热、无风的天气。

3.4 三伏状态的气候变化趋势

考虑到近几十年来大尺度变暖，三伏这一区域性极端闷热的气候状态是否也发生显著变化呢？本文仅从上述 3 个区域平均的三伏指标出发作一初步考察。为了解长期气候变化趋势，对各个区域求 5 年平均 THI 以消除年际变化的影响，并通

过上述方法求得 1960 年以来每 5 年平均的三伏入伏、出伏日期及强度指标，结果如图 4 和 5。

由图 4a 可知，区域平均而言，在同一时期各地三伏起始日期相差不大，约 2~3 天左右。3 个地区伏期长度也大致相同，各年之间在 20 多天到 40 天的范围内波动。3 个地区新三伏入伏日期变化趋势大致相同，可分为 3 个阶段，1970 年代末期以前有延后的趋势，之后有提前的趋势，1980 年代后期又开始有延后的趋势，反映出一定的年代际波动。入伏日期与传统三伏推算的范围 7 月 11 日~7 月 21 日大致相仿（图 4b），但波动程度更大些。重要的是，新三伏是基于定量观测计算的，在各地入、出伏日期可以不一样，伏期长度也不尽相同，比之起止日期机械变化的传统三伏，可以定量地反映出各地气候状况差异及其变化。

由图 5 可知，各地区温度曲线和对应 THI 曲线变化趋势大致相同，但就江淮和江南地区来说，江淮地区温度 (T_{max}) 曲线要低于江南地区，而从考虑了湿度以后的 THI (T_{max}) 曲线来看，两个地区的差距则相对较小，甚至某些时间段江淮地区 THI (T_{max}) 高于江南地区；而对于其他两个地区或者是 T_{min} 计算出的 THI 则与原结果没有太大的区别。总的来说，华北伏期平均和极端 THI 都相对较小；江淮和江南伏期平均 THI (T_{max}) 相差不大；但江淮伏期平均 THI (T_{min})、伏期

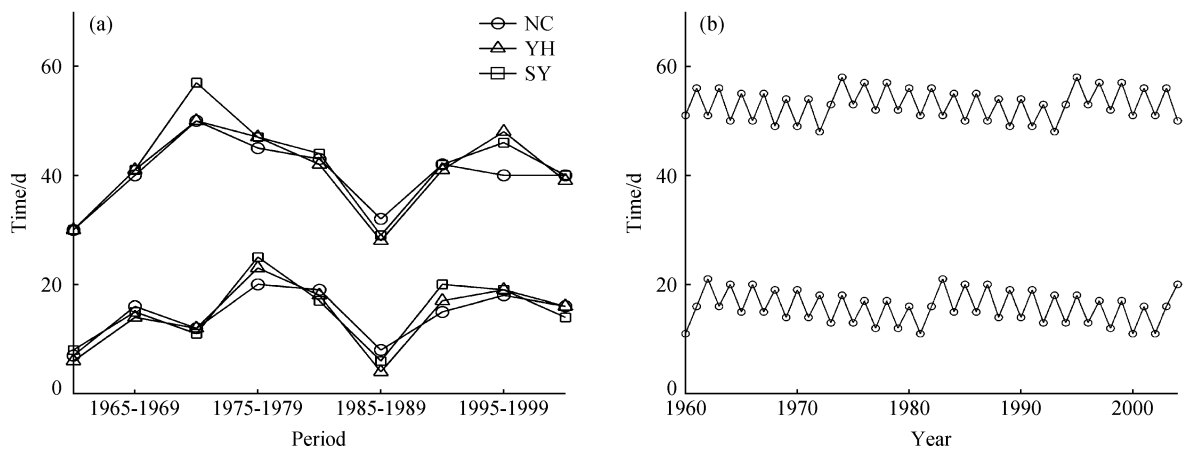


图 4 各区 (a) 新三伏、(b) 传统三伏起止日期长期变化趋势。纵坐标 1 代表 7 月 1 日，2 代表 7 月 2 日，……，32 代表 8 月 1 日，……，依次类推；同符号曲线中，下线为新三伏入伏日期，上线为出伏日期

Fig. 4 Trends of the beginning and ending dates of (a) the new TF in the three sub-zones, (b) the traditional TF. Time: 1 indicates 1 July, 2 indicates 2 July, ..., 32 indicates 1 August, ..., 62 indicates 31 August. The lower curves indicate the beginning dates, while the upper curves indicate the ending dates

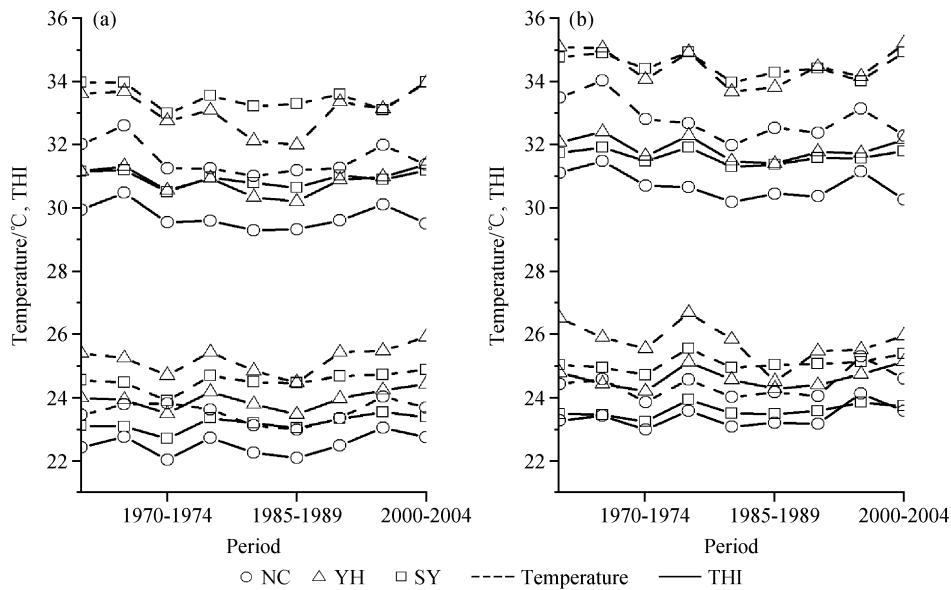


图5 各地区各年份伏期温度和 THI: (a) 伏期平均; (b) 伏期极端。同符号曲线中, 下线为 Tmin 及 THI (Tmin), 上线为 Tmax 及 THI (Tmax)

Fig. 5 Trend of the temperature and THI: (a) Mean; (b) extreme. The lower curves indicate Tmin and THI (Tmin), while the upper curves indicate Tmax and THI (Tmax)

极端 THI (Tmax) 和 THI (Tmin) 普遍稍大于江南情形。这表明, 在三伏期内, 白天江淮和江南地区的闷热程度相差不大, 但都明显更甚于华北, 晚上闷热程度则是江淮>江南>华北。

华北、江淮、江南伏期强度变化大致可分为 4 个阶段, 1960 年代至 1970 年代初伏期强度变弱, 1970 年代末变强, 1980 年代初变弱, 1980 年代后期开始总体有增强的趋势。华北伏期强度 1990 年代后期有一个下降阶段。各地 THI (Tmin) 大致都呈现上升趋势, 而 THI (Tmax) 则表现出更多的年代际波动。这和人分析日最高/低温度气候变化所得的有关结论是相对应的 (Qian and Lin, 2004)。但本文研究的三伏指标还包含了湿度信息, 对其进一步的分析研究将有助于更深入地认识我国区域气候变化。

4 小结和讨论

(1) 传统三伏各年份入伏日期呈机械式变化, 最早为 7 月 11 日, 最晚为 7 月 21 日, 最多相差可达 10 天, 平均入伏时间为 7 月 16 日, 伏期为 30 天或者 40 天。由此可推断, 传统三伏旨在描述季节循环中一个最热的月尺度阶段。入伏时间和

伏期长短变化, 说明古人对于年际气候变化的认知。但由于天干地支机械排列推算的这种变化难以反映气候真实的变化。

(2) 本文引入一个人体舒适度指数, 从绝对指标和相对指标两个方面出发, 给出了一套新三伏气候的定义标准。以此为基础, 划分出我国东部季风区的三伏区 (主要位于 40°N 以南的我国东南部平原地区) 和非三伏区 (主要位于我国西北部的高原和干旱区) 以及两者间零星分布的准三伏区和潜在三伏区。三伏气候区划将有助于开展有关的极端气候变化分析。

(3) 结合滑动 t 检验的跃变点分析, 对华北、江淮和江南一带的三伏期作了示范性的定义。1960~2004 年平均的三伏入伏时间和伏期长度分别为: 华北 7 月 16 日、26 天, 江淮 7 月 16 日、29 天, 江南 7 月 13 日、34 天。伏期平均强度 (用 Tmax 和 Tmin 计算的 THI 伏期平均值) 分别为华北 29.74、22.56, 江淮 30.81、23.90, 江南 30.85、23.14, 伏期极端强度为华北 29.99、22.92, 江淮 31.12、24.10, 江南 31.13、23.29。新三伏的入伏时间/伏期长度和传统三伏概念大致可比, 说明本文的定义抓住了传统三伏概念的某些气候学本质。但与传统三伏基于天干地支机械

排列推演的学说不同,新三伏定义是建立在一些定量的气候观测基础上的,这对于气候变化及其成因的研究是必要的。

(4) 初步分析了上述 3 个地区三伏状态的长期气候变化。新三伏入伏日期在 7 月 4 日~7 月 25 日之间波动,3 个地区同期的入伏日期相差不大,伏期长度大都在 25 天左右(例外如 1970~1974 年期间三伏伏期长度达 40 天左右)。江淮、江南的多年平均伏期强度大致相同,江淮稍强;华北最弱。从以 $T_{\max}$ 为指数计算的三伏强度来看,江淮地区三伏要弱于江南,但使用考虑了湿度的 THI 指数以后,这种差别变小,甚至于某些年份江淮 THI 可以略高于江南;而对于其他地区或者是 $T_{\min}$ 计算出的 THI 则与原结果没有太大的区别。3 个地区 THI ($T_{\min}$) 大致都呈现上升趋势,而 THI ($T_{\max}$) 则表现出更多的年代际波动。

致谢 叶笃正院士在研究过程中给予指导并参与讨论。

参考文献 (References)

- Deosthali V. 1999. Assessment of impact of urbanization on climate: An application of bio-climatic index [J]. *Atmos. Environ.*, 33: 4125-4133.
- Giles B D, Balafoutis C, Maheras P. 1990. Too hot for comfort: The heatwaves in Greece in 1987 and 1988 [J]. *International Journal of Bio-meteorology*, 34: 98-104.
- 郭洁, 孙明, 李国平. 2008. 四川盆地夏季高温闷热特征及舒适度评价 [J]. *环境与健康杂志*, 25 (1): 45-48.
- Guo Jie, Sun Ming, Li Guoping. 2008. Climatic characteristics of high temperature and muggy and comfort degree assessment in summer in Sichuan Basin [J]. *Journal of Environment and Health (in Chinese)*, 25 (1): 45-48.
- 李秋, 仲桂清. 2005. 环渤海地区旅游气候资源评价 [J]. *干旱区资源与环境*, 19 (2): 149-153.
- Li Qiu, Zhong Guiqing. 2005. Evaluation on climate resource for tourism in the region around Bohai [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment (in Chinese)*, 19 (2): 149-153.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* [M]. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996pp.
- 罗晓玲, 兰晓波, 李岩璞, 等. 2004. 人体舒适度指数预报体系研究 [J]. *干旱区资源与环境*, 18 (8): 59-62.
- Luo Xiaoling, Lan Xiaobo, Li Yanying, et al. 2004. Forecast system of the comfortable degree index of human body [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment (in Chinese)*, 18 (8): 59-62.
- 任传成, 刘久波, 叶天雄, 等. 1999. 气象因素对微循环的影响 [J]. *微循环学*, 9 (3): 12-13.
- Ren Chuancheng, Liu Jiubo, Ye Tianxiong, et al. 1999. Changes of microcirculation affected by meteorological factors [J]. *Chinese Journal of Microcirculation (in Chinese)*, 9 (3): 12-13.
- Qian W, Lin X. 2004. Regional trends in recent temperature indices in China [J]. *Climate Res.*, 27: 119-134.
- Thom E C. 1959. The discomfort index [J]. *Weatherwise*, 12: 59-60.
- 王玲, 白原, 刘小云, 等. 2007. 冠心病与气象因素的关系 [J]. *临床荟萃*, 22 (3): 178-179.
- Wang Ling, Bai Yuan, Liu Xiaoyun, et al. 2007. The relationship between coronary heart disease and meteorological factors [J]. *Clinical Focus (in Chinese)*, 22 (3): 178-179.
- 王远飞, 沈愈. 1998. 上海市夏季温湿效应与人体舒适度 [J]. *华东师范大学学报 (自然科学版)*, 10 (3): 60-66.
- Wang Yuanfei, Shen Yu. 1998. The temperature-humidity effect and human comfort in Shanghai summer [J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science) (in Chinese)*, 10 (3): 60-66.
- 吴菲, 李树华, 刘娇妹. 2007. 林下广场、无林广场和草坪的温湿度及人体舒适度 [J]. *生态学报*, 27 (7): 2964-2971.
- Wu Fei, Li Shuhua, Liu Jiaomei. 2007. The effects of greening, none-greening square, and lawn on temperature, humidity and human comfort [J]. *Acta Ecologica Sinica (in Chinese)*, 27 (7): 2964-2971.
- 严中伟, 杨赤. 2000. 近几十年中国极端气候变化格局 [J]. *气候与环境研究*, 5 (3): 267-272.
- Yan Zhongwei, Yang Chi. 2000. Geographic patterns of extreme climate changes in China during 1951-1997 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 5 (3): 267-272.
- Yan Z, Jones P D, Moberg A, et al. 2001. Recent trends in weather and seasonal cycles, an analysis of daily data from Europe and China [J]. *J. Geophys. Res.*, 106 (D6): 5123-5138.
- Zhai P, Yan Z, Zou X. 2008. *Climate Extremes and Climate-Related Disasters in China*. Chapter 8// Fu C et al. *Regional Climate Studies of China* [M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 313-339.
- 朱霞, 成兆金, 杨佃志. 2006. 天气、气候因素与人体健康的关系初探 [J]. *现代农业科技*, 18 (07S): 155-156.
- Zhu Xia, Cheng Zhaojin, Yang Dianzhi. 2006. Studies on the relationship between the meteorological factors and human health [J]. *Anhui Agriculture (in Chinese)*, 18 (07S): 155-156.