

1961 - 2014 年华北平原二十四节气气温变化特征*

赵芮芮^{1,2}, 殷淑燕¹, 王水霞¹

(1. 陕西师范大学地理科学与旅游学院, 陕西 西安 710119;

2. 地理学国家级实验教学示范中心(陕西师范大学), 陕西 西安 710119)

摘要: 利用华北平原 53 个气象站点 1961 - 2014 年逐日气温资料, 采用趋势特征指数、M-K 突变检验、滑动 T 检验和空间插值等方法, 对华北平原二十四节气气温变化特征进行了分析。结果发现: ① 二十四节气气温呈现出准正态单峰型特点, 一年中平均气温最高的节气是大暑(30.4 °C), 最低的节气是大寒(-7.5 °C)。清明和立冬节气前后气温波动最大。二十四节气中所有节气平均气温都呈上升趋势, 其中春季型节气增温最为显著。② 春季型节气平均气温在 20 世纪 90 年代开始出现增温, 夏季型节气和秋季型节气多在 20 世纪 70 和 80 年代出现降温, 90 年代之后增温。冬季型节气在 20 世纪 90 年代之前降温明显, 90 年代之后气温明显升高。③ 惊蛰(0.459 °C/10 a) 和清明(0.43 °C/10 a) 气温呈显著升温趋势, 并在 1998 年发生转暖突变。小满(0.12 °C/10 a) 气温表现出微弱的上升趋势, 54 a 来未发生明显突变。芒种(0.16 °C/10 a) 平均气温也呈上升趋势, 并在 1998 年气温发生了转暖突变。④ 54 a 来, 华北平原惊蛰、清明年平均气温均呈现出南高北低的空间分布特征, 最高温和最低温均出现在信阳和张北。小满和芒种的平均气温均呈现出中部和南部高、东部和北部低的空间分布特征, 最高温和最低温均出现在济南和泰山。

关键词: 二十四节气; 气温变化; 突变检验; 空间差异; 华北平原

中图分类号: P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529 - 6579 (2017) 06 - 0038 - 10

Air temperature variation analysis of the twenty-four solar terms in the North China Plain from 1961 - 2014

ZHAO Ruirui^{1,2}, YIN Shuyan¹, WANG Shuixia¹

(1. School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;

2. National Demonstration Center for Experimental Geography Education (Shaanxi Normal University), Xi'an 710119, China)

Abstract: Based on the daily temperature data of 53 stations in the North China Plain from 1961 to 2014, the characteristics of temperature change of 24 solar terms are analyzed by using the trend feature index, Mann-Kendall mutation test, moving T-test and spatial interpolation. The results show that: ① The temperature of 24 solar terms presents a quasi-normal unimodal distribution, and the highest average temperature in a year occurred during Great Heat (30.4 °C), the minimum average temperature occurred during Greater Cold (7.5 °C). The temperature fluctuated largely during the days around Pure Brightness and Beginning of Winter. The average temperature showed an increasing trend during 24 solar terms, especially during the spring type solar terms. ② The spring type solar terms became warming in 1990s, and the summer and autumn type solar terms were cool in 1980s and 1970s and became warming after 1990s. The winter type solar terms were cool before 1990s, and the temperature increased obviously

* 收稿日期: 2016 - 09 - 18

基金项目: 国家自然科学基金(41601020, 41771110); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2017JM4026)

作者简介: 赵芮芮(1993年生), 女; 研究方向: 环境变化与自然灾害研究; E-mail: 1973342524@qq.com

通信作者: 殷淑燕(1970年生), 女; 研究方向: 环境变化与自然灾害研究; E-mail: yinshy@snnu.edu.cn

during 1990s and 2010s. ③ The average temperature of the Waking of Insects showed a significant warming trend, with a warming rate of $0.459\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, and a warm mutation occurred in 1998. The average temperature of the Pure Brightness increased, with a warming rate of $0.43\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, and the temperature mutation happened in 1998. The average temperature of the Lesser Fullness of Grain showed a weak trend, with a warming rate of $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$. There was no obvious mutation in the past 54 years. The annual average temperature of the Grain in Ear is on the rise, with a warming rate of $0.16\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, and the mutation happened in 1998. ④ In the past 54 years, the spatial characteristics of the average temperature of the Waking of Insects and Pure Brightness showed that the temperature in the north of the North China Plain was lower than that in the south of the Plain, and the highest temperature and the lowest temperature appear in Xinyang and Zhangbei, respectively. The spatial characteristics of the average temperature of the Lesser Fullness of Grain and Grain in Ear showed that the temperature in the north and east of the North China Plain was lower than that in the middle and south of the plain, and the highest temperature and the lowest temperature appear in Jinan and Taishan, respectively.

Key words: twenty-four solar terms; temperature variation; mutation detecting; spatial difference; the North China Plain

“二十四节气”作为古代物候学、气象学、农学等多学科的结合，反映了我国气候变化特征，对农业生产具有指导意义。它起源于中国古代的黄河流域，含有时令顺序、物候变化、农作物生长情况等标志性意义，特别是与农业生产活动紧密相连。我国幅员辽阔，各地气候状况不同，这些节气所体现的气候意义主要符合黄河中、下游或华北的情况^[1]，因此研究二十四节气气温变化特征对我国华北平原地区农业生产具有重要的意义。

IPCC 第5次评估报告指出，近100 a来全球平均气温总体上呈上升趋势^[2]。气候变暖必然使二十四节气内的气温时空分布发生变化。近年来，有关“二十四节气”气温变化的研究越来越多^[3-7]。在全球变暖的大背景下，全国平均气温的二十四节气都趋于显著增暖，尤以北方半干旱区最为显著^[8]。文献[9-10]认为春分和立冬前后气升温和降温幅度达到最大。以往研究大多是对单个城市或单一气候要素的变化特征分析，而缺少对华北平原地区二十四节气各节气的气温变化特征尤其是与农业生产活动密切相关的物候性节气气温变化研究，鉴于此，本文在前人研究的基础上，对华北平原二十四节气气温变化特征作更全面的分析，以期深入了解华北平原二十四节气气温变化规律、适应气候变化、指导相关人类活动提供科学依据。

1 研究区概况

本文所指的华北平原包括北京、天津、河北、山东和河南5个省(市)，华北平原地势地平，多在海拔50 m以下，是我国的第二大平原。气候上

属暖温带季风气候，四季变化明显，气温温差大，降水时空分布不均。主要气候特征表现为夏季高温多雨，冬季寒冷干燥，春季干旱少雨，蒸发强烈。年均温 $8\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，年降水量 $500\sim 900\text{ mm}$ ，光照资源充足，无霜期 $190\sim 220\text{ d}$ 。该区土地面积为 $54.0\times 10^4\text{ km}^2$ ，占全国总量的5.6%，总人口为2.87亿人，占全国总量的21.6%。农作物以冬小麦、玉米为主，大多为两年三熟，粮食产量约占全国产量的1/7，是我国的主要粮仓。

2 资料和方法

2.1 资料来源

气温资料来源于中国气象局国家气象信息中心，根据建站时间与数据完整性选取了华北平原(北京、河北、天津、河南、山东)1961-2014年53个气象站点(图1)的逐日气温数据。本文使用数据为均一化订正后的数据，均通过均一性检验和质量控制，具有很好的连续性。

2.2 研究方法及数据处理

2.2.1 二十四节气的划分 二十四节气是根据太阳在黄道上的位置划分的，反映了太阳的周年视运动，所以二十四节气在现行的公历中日期基本固定，随年份变化有前后 $2\sim 3\text{ d}$ 的变动，为了方便长期的统计研究，为每个节气取定了代表日期^[7]。如变动 3 d 的取中间日期为代表日期，变动日期为 2 d 的以最后一天为代表日期，得到二十四节气代表日期(表1)。同时将立春、立夏、立秋、立冬作为4个节气主要分界线，将立春至立夏期间节气统称为春季型节气，立夏至立秋期间节气统称为夏

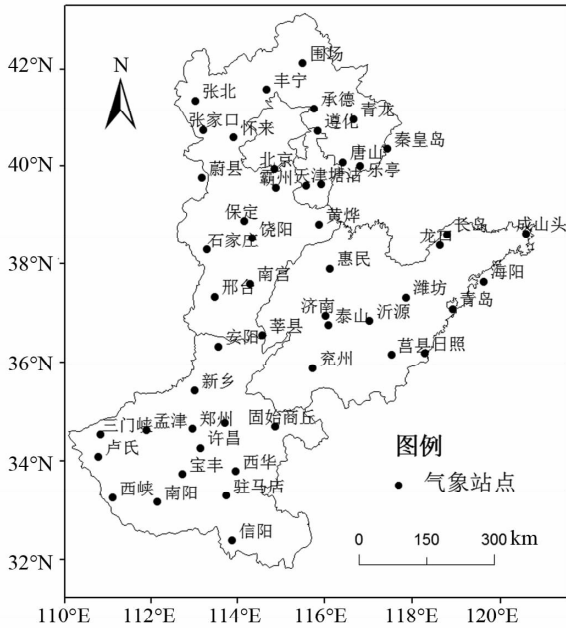


图 1 华北平原气象站点分布

Fig. 1 The distribution of the meteorological stations in the North China Plain

季型节气, 以此类推。

表 1 二十四节气及其代表日期

Table 1 Representative dates of 24 solar terms

季节	节气及对应日期		
春季	立春 2月4日	雨水 2月19日	惊蛰 3月6日
	春分 3月21日	清明 4月5日	谷雨 4月20日
夏季	立夏 5月6日	小满 5月21日	芒种 6月6日
	夏至 6月22日	小暑 7月7日	大暑 7月23日
秋季	立秋 8月8日	处暑 8月23日	白露 9月8日
	秋分 9月23日	寒露 10月9日	霜降 10月24日
冬季	立冬 11月8日	小雪 11月23日	大雪 12月7日
	冬至 12月22日	小寒 1月6日	大寒 1月21日

2.2.2 研究方法 每个节气的平均气象要素(平均气温、最高气温、最低气温)以节气间多日要素平均值表示,即某节气当日至相邻下一节气的前一日时间段气象要素的平均值,全区平均为研究区所有气象站点气象要素的多年平均值。

为了描述华北平原各节气气温特点,首先统计各节气最高、最低和平均气温的多年平均值。

$$X_i = N^{-1} \sum_{i=1}^N x_{in} \quad (1)$$

其中, X 为某节气某气象要素的平均值; i 为节气序列值, $i = 1, 2, 3, \dots, 24$; x 为某节气某日某气象要素值; n 为某节气的日期序列值, $n = 1, 2, 3, \dots, N$ (N

$= 14, 15, 16$ 或 17)。

同时, 计算了相邻节气各气象要素的变化值:

$$D_i = X_i - X_{(i-1)} \quad (2)$$

其中, D 即某节气相比前一节气的各气象要素变化。由一元线性回归方程计算 54 a 各气象要素的气候倾向系数:

$$y = b_0 + b_1 t \quad (3)$$

其中, y 为各气象要素逐年值; t 为时间(年数), $t = 1, 2, 3, \dots, 54$; b_0 是常数, 取要素的单位; b_1 即斜率, $10 \times b_1$ 常称为气候倾向系数, 单位为气象要素单位/10 a。气候倾向系数值的正负反映了某节气某气象要素的变化趋势(上升或下降), 值的大小代表某节气某气象要素的变化幅度。最后通过 t 分布计算倾向系数的显著性, 从而检验这种气候趋势是否有意义。另外, 采用非参数 Mann-Kendall 法^[11-12] 和滑动 T 检验法^[13-14] 对惊蛰、清明、小满、芒种 4 个物候性节气平均气温进行突变检验。利用 ARCGIS10.0 中地学统计模块中的空间插值方法^[15] 分析物候性节气气温空间分布特征。

3 结果与分析

3.1 二十四节气气温特征

按照二十四节气顺序, 把华北平原 1961 - 2014 年各节气最高、最低、平均气温绘成曲线图(图 2)。图 2 直观地反应了二十四节气的气温分布呈现准正态的单峰型特点: 最高气温、最低气温、平均气温曲线的走势一致; 大暑是一年中是最热的节气, 平均气温为 $30.4 \text{ }^\circ\text{C}$, 其次为小暑, 平均气温为 $30.2 \text{ }^\circ\text{C}$, 一年中最冷的节气为大寒, 平均气温为 $-7.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 其次为小寒, 平均气温为 $-7.3 \text{ }^\circ\text{C}$; 从大寒开始气温逐渐增高, 至大暑到达全年气温峰值, 大暑之后气温逐渐降低, 至大寒气温达到全年气温谷值。

为分析华北平原二十四节气气温日较差和相邻节气气温差的变化情况, 绘制气温日较差曲线和相邻节气气温差曲线(图 3), 结果发现, 气温日较差随季节变化大致呈双峰分布, 春季型和秋季型节气气温日较差较大。其中, 小满节气日气温差 ($12.0 \text{ }^\circ\text{C}$) 最大, 大暑节气 ($8.2 \text{ }^\circ\text{C}$) 最小。相邻节气气温差曲线呈单峰单谷型, 峰值出现在清明 ($4.1 \text{ }^\circ\text{C}$), 谷值出现在立冬 ($-4.6 \text{ }^\circ\text{C}$), 全年中气温波动最大出现在清明和立冬节气前后, 即在华北平原地区, 清明升温幅度最大, 立冬降温幅度最大。

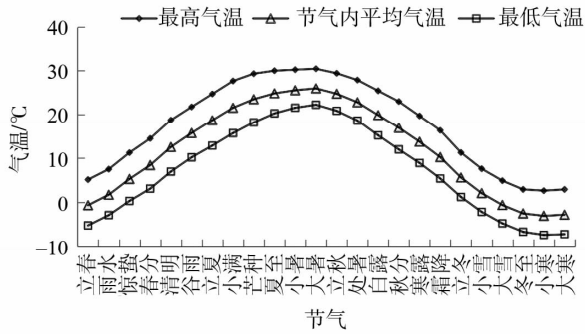


图 2 1961 - 2014 年华北平原二十四节气气温分布
Fig. 2 Distribution of solar term average, maximum, and temperature in the North China Plain from 1961 to 2014

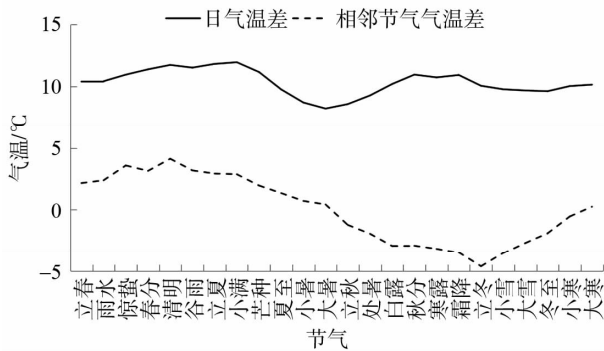


图 3 相邻节气气温差和节气气温日较差分布
Fig. 3 Distribution of temperature difference between two adjacent solar terms and daily temperature range

为分析华北平原地区 54 a 来的气温变化趋势，观察不同节气气温的响应情况，分别计算了各个节气的平均气温、最高气温、最低气温和气温日较差的线性趋势系数（表 2），结果发现，就平均气温而言，所有节气均呈升温趋势，且一半以上呈增温显著，其中春季型节气增温最为显著。最低气温中有 21 个节气呈现出显著升温趋势，且有一半以上呈现出极显著增温趋势。相较于平均气温和最高气温，最低气温的增温趋势显著，这与任国玉^[16]等人的研究结果一致。随着城市化进程的加快，城市热岛效应越来越突出，华北平原平均气温、最低气温变化趋势中城市热岛效应加强因素的影响明显，但城市化对最高气温趋势影响微弱^[17-19]。气温日较差有一半节气呈现显著减小趋势，其中以夏季型节气最为显著。在春季型节气中，除立春的最高气温外，其它节气的平均气温、最高气温、最低气温均呈显著升温趋势，其中雨水的升温速度最快，达到了 0.652 °C/10 a。夏季型节气的最低气温增温显著，气温日较差显著减小，平均气温和最高气温增温趋势不明显。秋季型和冬季型节气平均气温和

最低气温增温趋势明显，而最高气温增温趋势不明显，其中立冬、大雪、大寒呈现出微弱的降温趋势。4 个物候性节气中惊蛰和清明节气两个春季型节气增温趋势明显，这可能与晚冬 - 早春时期的东亚冬季风减弱有关^[20]。中国东、西部虽然都受全球变暖的影响，但是位于东部地区更直接地受东亚冬季风减弱的影响。

3.2 季节性节气平均气温年代变化特征

为研究二十四节气气温的年代变化特征，统计出了不同年代的气温距平值，绘制成表 3。从表 3 可以看出，20 世纪 60 年代有 14 个节气的距平值为负值，70 年代和 80 年代所有节气的气温都普遍偏低，90 年代和 21 世纪初气温距平值绝大多数为正值，说明 90 年代初二十四节气的气温有所升高。

表 2 1961 - 2010 年华北平原 24 节气气温的线性趋势系数¹⁾

Table 2 The linear trend coefficient of temperature for 24 solar terms during 1961 - 2014

节气	线性趋势系数			
	平均气温	最高气温	最低气温	气温日较差
立春	0.375**	0.223	0.527***	-0.304**
雨水	0.652***	0.590**	0.743***	-0.153
惊蛰	0.459***	0.439**	0.504***	-0.065
春分	0.427***	0.355*	0.559***	-0.204*
清明	0.432***	0.445**	0.496***	-0.051
谷雨	0.300***	0.260*	0.347***	-0.087
立夏	0.089	-0.037	0.314***	-0.351***
小满	0.105	-0.006	0.328***	-0.334***
芒种	0.128	0.007	0.325***	-0.318***
夏至	0.141*	0.074	0.288***	-0.214**
小暑	0.064	-0.005	0.182**	-0.187***
大暑	0.049	0.016	0.117	-0.101
立秋	0.088	0.074	0.157*	-0.083
处暑	0.082	0.063	0.174**	-0.111
白露	0.175*	0.111	0.337***	-0.226**
秋分	0.271**	0.18	0.409***	-0.229
寒露	0.316***	0.290*	0.418***	-0.128
霜降	0.152	0.134	0.227*	-0.092
立冬	0.046	-0.005	0.124	-0.129
小雪	0.280**	0.045	0.387***	-0.343**
大雪	0.131	-0.099	0.277*	-0.377**
冬至	0.344**	0.228	0.461	-0.233**
小寒	0.150	-0.185	0.387***	-0.573***
大寒	0.428**	0.296	0.527***	-0.231

1) 上标***, **和* 分别表示通过 99%, 95%, 90% 的置信度检验

表 3 不同年代二十四节气平均气温距平
Table 3 Departure of MAT of twenty-four solar terms by every 10 years from 1961 °C

项目	年代				2010 年代	
	1960	1970	1980	1990		
春季型节气	立春	-1.1	-0.6	-0.4	1.7	0.4
	雨水	-1.1	-0.6	-0.9	1.2	1.5
	惊蛰	-0.4	-0.7	-0.6	0.3	1.3
	春分	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	1.7
	清明	-1.1	-0.1	0.2	0.1	1.0
	谷雨	-0.7	-0.1	-0.1	0.3	0.6
夏季型节气	立夏	0.4	-0.6	-0.1	-0.1	0.4
	小满	0.3	-0.5	0.0	-0.4	0.6
	芒种	0.0	-0.2	-0.4	0.0	0.5
	夏至	0.3	-0.4	-0.5	0.1	0.5
	小暑	0.2	-0.3	-0.3	0.0	0.3
	大暑	0.2	-0.3	-0.3	0.3	0.0
秋季型节气	立秋	0.1	0.0	-0.5	0.1	0.3
	处暑	0.1	-0.6	-0.2	0.7	0.0
	白露	-0.1	-0.4	-0.1	0.1	0.5
	秋分	-0.7	-0.2	0.1	0.2	0.6
	寒露	-0.6	0.0	-0.6	0.6	0.6
	霜降	0.0	-0.2	-0.4	0.1	0.4
冬季型节气	立冬	0.0	-0.4	0.2	0.2	0.0
	小雪	-0.6	0.0	-0.3	0.2	0.8
	大雪	-0.3	-0.1	-0.3	0.7	0.1
	冬至	-0.9	-0.5	-0.3	1.5	0.2
	小寒	-0.5	0.0	0.0	0.2	0.3
	大寒	-0.8	-0.5	-0.2	0.9	0.6

春季型节气中的立春、雨水、惊蛰、谷雨气温在年代间波动上升, 20 世纪 60-80 年代气温距平值均为负值, 90 年代和 21 世纪初由之前的负距平转变为正距平, 增温幅度较大。相对于其它节气而言, 春分增温的时间出现略晚, 而清明则出现时间较早。夏季型节气 20 世纪 70 年代和 80 年代距平值多出现负值, 气温偏低, 60 和 90 年代和 21 世纪初多出现正值, 气温较高。芒种、夏至、小暑、大暑的气温变化情况大致相同, 80 年代达到最低值, 随后气温缓慢上升。处于春夏之交的立夏则在 70 年代达到了最低值 (18.0 °C), 在整个 70-90 年代温度偏低, 小满的气温在波动中上升。秋季型节气的气温随年代变化表现出升温趋势, 处暑的气温在 90 年代达到最高值 (23.5 °C), 其后温度有所下降, 秋分是秋季型节气中唯一一个稳步升温的节气。冬季型节气在 60-80 年代温度较低, 随后温度明显升高, 冬至最为明显, 距平值由 80 年代的 -0.3 °C 上升到 90 年代的 1.5 °C, 90 年代和 21

世纪初温度较高, 小寒和大寒的温度随年代的变化逐步升温。

3.3 物候性节气平均气温变化及突变特征

为了进一步研究物候性节气的气温变化趋势和突变情况, 明确气温突变开始的时间, 对惊蛰、清明、小满、芒种 4 个物候性节气的平均气温距平序列进行了线性趋势拟合和并对其平均气温进行了 Mann-Kendall 突变检验。在用 M-K 突变检测方法进行突变检测时, 若 UF 和 UB 曲线在显著置信曲线间出现唯一交点, 说明该交点为气温突变点; 若 UF 和 UB 出现非唯一交点, 再利用滑动 T 检验法进行检验, 能通过显著性检验的交点 (t) 对应的年份认定为气温序列发生突变的年份。

3.3.1 惊蛰 惊蛰节气是华北平原冬小麦开始返青生长的时期, 因此这一时期气温的变化对华北平原农作物生长状况有着重要影响。为研究华北平原这一时期的气温变化, 绘制了 1961-2014 年惊蛰节气平均气温距平变化图 (图 4)。从图可以看出, 近 54 a 来, 惊蛰的年平均气温呈上升趋势, 趋势增温率为 0.459 °C/10a (通过 0.01 水平的显著性检验)。1961-1974 年为负距平; 1971 年 (0.6 °C), 较多年均值低 4.7 °C, 最大值出现在 2002 年 (9.9 °C), 较多年均值高 4.6 °C。通过 5 年滑动分析结果也可以看出其变化的波动趋势, 气温在波动中上升。

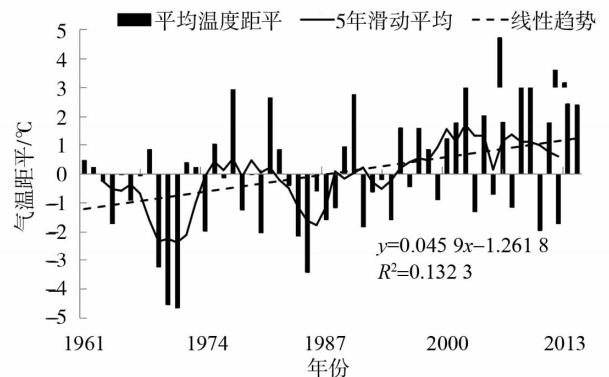


图 4 1961-2014 年华北平原惊蛰平均气温距平变化图
Fig. 4 The anomaly change of MAT of Waking of Insects in the North China Plain from 1961 to 2014

由图 5 可知, 惊蛰气温在 60 年代到 70 年代末气温呈下降趋势, 尤其是在 70 年代初表现最为显著, 超过了 0.05 临界线, 70 年代末 80 年代初气温在短暂的上升之后一直到 90 年代初都呈下降趋势, 其后气温表现出显著的上升趋势, 在 2008 年前后超过了 0.05 的临界线, 由 UF 曲线和 UB 曲线的交点可知, 惊蛰气温在 1998 年发生转暖突变。

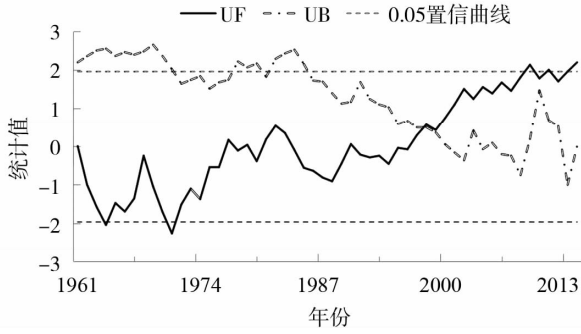


图 5 1961 - 2014 年华北平原惊蛰平均气温 Mann-Kendall 检测

Fig. 5 Mann-Kendall detecting of MAT of Waking of Insects in the North China Plain from 1961 to 2014

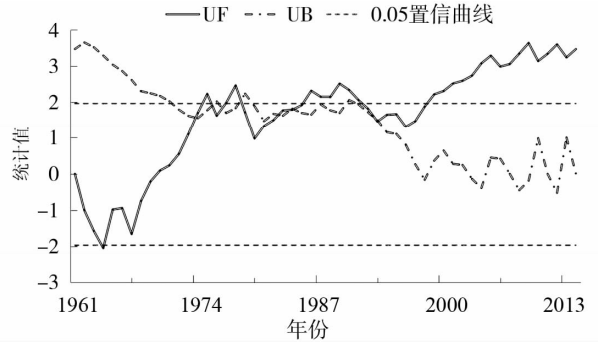


图 7 1961 - 2014 年华北平原清明平均气温 Mann-Kendall 检测

Fig. 7 Mann-Kendall detecting of MAT of Pure Brightness in the North China Plain from 1961 to 2014

3.3.2 清明 华北平原地区清明的年平均气温在波动中上升(图6), 增温率为 0.43 °C/10a, 最大值出现在 2004 年 (16.2 °C), 较多年平均值高 3.7 °C, 最小值出现在 1980 年 (9.6 °C), 较多年平均值高 2.9 °C。5 年滑动平均曲线大体呈现出三峰三谷的波动状态, 1961 - 1973 年是波谷, 1974 - 1979 年是一个小波峰, 1979 - 1983 年是一个小波谷, 1984 - 1990 年是波峰, 1991 - 1998 年是波谷, 1999 - 2013 年为波峰。

3.3.3 小满 54 a 来, 小满节气在华北平原地区气温呈上升趋势(图8), 但相较于惊蛰、清明、芒种, 其上升趋势微弱, 波动性也更强, 增温速率为 0.12 °C/10 a。最大值出现在 1961 年 (24.6 °C), 1991 年气温最低, 为 18.7 °C。1999 年之前距平值正负相间分布, 2000 年之后基本上是以正距平为主。由 5 年滑动平均曲线可以看出, 1961 - 2000 年小满的年平均气温波动性很大, 2000 年之后其波动性相对较小。

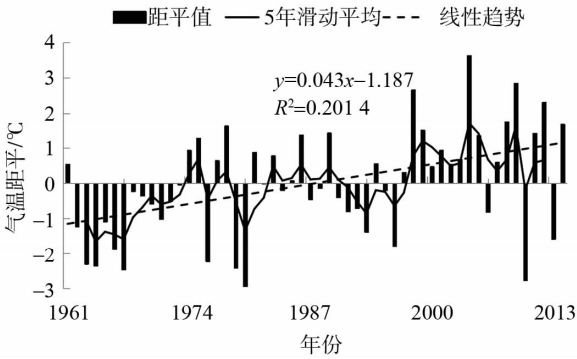


图 6 1961 - 2014 年华北平原清明平均气温距平变化图
Fig. 6 The anomaly change of MAT of Pure Brightness in the North China Plain from 1961 to 2014

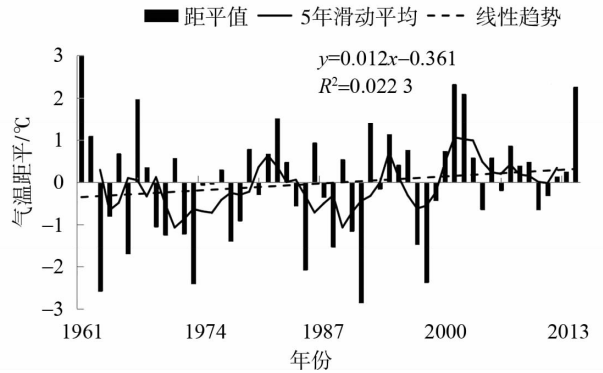


图 8 1961 - 2014 年华北平原小满平均气温距平变化图
Fig. 8 The anomaly change of MAT of Lesser Fullness of Grain in the North China Plain from 1961 to 2014

MK 检验表明(图7), 清明的平均气温在 60 年代呈现出下降趋势, 70 年代以后呈上升趋势, 在 1975 年, 1977 - 1979 年, 1985 - 1991 年和 1998 年后 UF 曲线均超过了 0.05 的置信曲线, 达到显著增温。在 0.05 显著置信曲线 ($U_{0.05} = \pm 1.96$) 之间, UF 和 UB 曲线出现多个交点, 利用滑动 T 检验法不断变动子序列长度对突变点进行检验(图略), 结果发现 1998 年为清明气温发生转暖突变的年份。

由 MK 检验可知(图9), 2000 年之前小满的平均气温基本是下降趋势, 但下降趋势并不显著, 2000 年之后气温开始上升。1990 年后, UF 和 UB 曲线在 0.05 显著置信曲线 ($U_{0.05} = \pm 1.96$) 之间出现多处交点, 对所有交点进行滑动 T 检验, 无一交点通过显著性检验。气温在 90 年代中期和 2008 年发生转折, 但未发生突变。

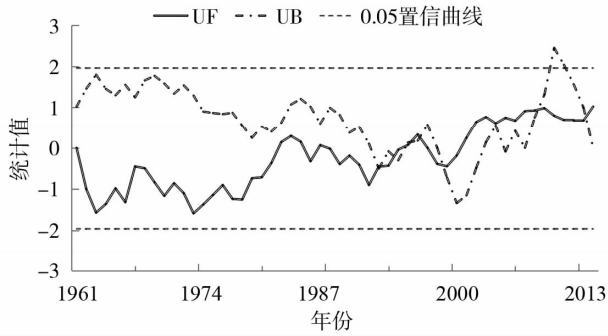


图9 1961 - 2014 年华北平原小满平均气温 Mann-Kendall 检测

Fig. 9 Mann-Kendall detecting of MAT of Lesser Fullness of Grain in the North China Plain from 1961 to 2014

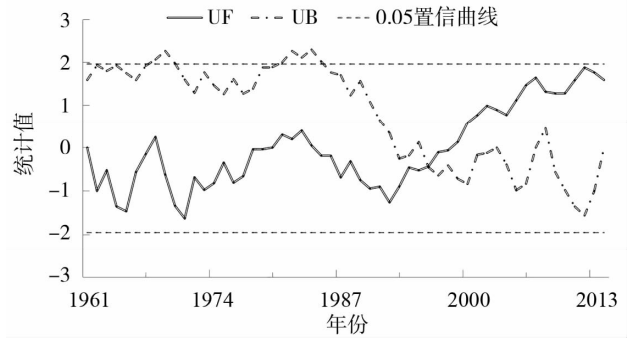


图11 1961 - 2014 年华北平原芒种平均气温 Mann-Kendall 检测

Fig. 11 Mann-Kendall detecting of MAT of Grain in Beard in the North China Plain 1961 to 2014

3.3.4 芒种 1961 - 2014 年, 华北平原地区芒种年平均气温也表现出上升趋势 (图 10), 增温速率为 $0.16\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 1972 年年平均气温最高 ($25.0\text{ }^{\circ}\text{C}$), 最小值出现在 1970 年 ($21.2\text{ }^{\circ}\text{C}$)。由 5 年滑动平均曲线可以看出, 1961 - 1973 年为波谷, 1974 - 1981 年为波峰, 1982 - 1995 年为波谷, 1996 年之后一直呈上升趋势。

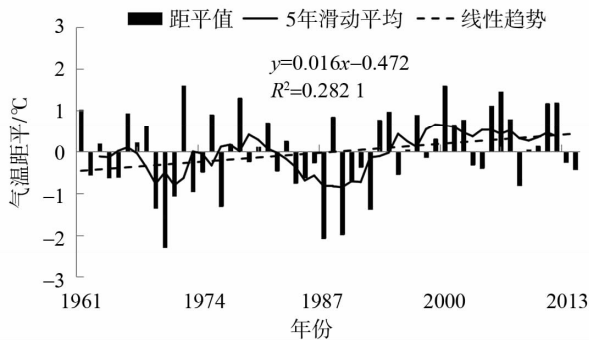


图10 1961 - 2014 年华北平原芒种平均气温距平变化图
Fig. 10 The anomaly change of MAT of Grain in Beard in the North China Plain from 1961 to 2014

1998 年以前 (除 1968 年和 1980 - 1984 年等个别年份外) 芒种的平均气温呈下降趋势 (图 11), 1998 年以后表现出上升趋势, 但均未超过显著性水平 0.05 临界线, 根据 UF 曲线和 UB 曲线的交点区域可以确定 1998 年芒种的平均气温发生了转暖突变。

3.4 物候性节气气温空间分布特征

图 (12 a) 为华北平原地区惊蛰气温空间分布图, 由图可知, 气温总体上表现为由南向北递减的纬向分布特征。其中, 河南省气温整体较高, 信阳气温最高, 达到了 $9.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 山东地区出现了以泰山

为中心的低值中心, 河北北部地区气温是全区的低温区域, 出现以张北、围场为中心的低值区域。最低地区张北温度为 $-4.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, 全区惊蛰年均温变化范围在 $-4.4\sim 9.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

由华北平原清明年平均气温空间分布图可知 (图 12 b), 气温大致呈南多北少的空间分布特征, 河南省位于全区的南方, 温度较高, 最高温出现在信阳地区 ($15.4\text{ }^{\circ}\text{C}$), 山东省出现以泰山为中心的低值区域, 山东省的东部沿海地区气温较低, 河北省的北部地区由于受地形因素的影响, 是全区的低温区域, 最低温为张北, 温度为 $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。全区温度在 $4.5\sim 15.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间变化。

1961 - 2014 年华北地区的小满年平均气温中部和南部气温较高, 北部和东部气温较低 (图 12 c), 河南温度表现出东高西低的分布特征, 西部出现以卢氏为中心的低值中心, 山东中部地区出现以泰山和成山头为中心的低值中心, 河北省温度呈现出由东南向西北递减的空间分布特征, 尤其是西北地区也是全区的低值中心。全区最高温度 $24.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 出现在济南地区, 最低温度 $14.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 出现在泰山地区, 年平均温度在 $14.3\sim 24.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间变动。

54 a 来, 华北地区的芒种平均气温基本呈现出中部和南部气温高、北部和东部气温低的空间分布特征 (图 12 d), 河南的气温整体偏高, 西部出现以卢氏为中心的低温中心, 山东省地区整体表现出由东向西递增的地域分布特征, 东部地区气温较低, 中部出现以泰山和成山头为中心的低值中心, 河北省北部出现低值区域, 围场、成山头气温最低。全区年平均气温在 $16.0\sim 26.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间变化, 最低温出现在泰山 ($16.0\text{ }^{\circ}\text{C}$), 最高温出现在济南 ($26.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

惊蛰、清明、小满、芒种节气气温大体呈现出北部和东部低，中部和南部高的空间分布特征，这可能与纬度变化及华北平原的地形分布有关，北部

纬度较高，且受燕山山脉的影响，东部为胶东丘陵区，且受海洋影响，气温都较低。泰山低值中心的出现与其地形有着密不可分的联系。

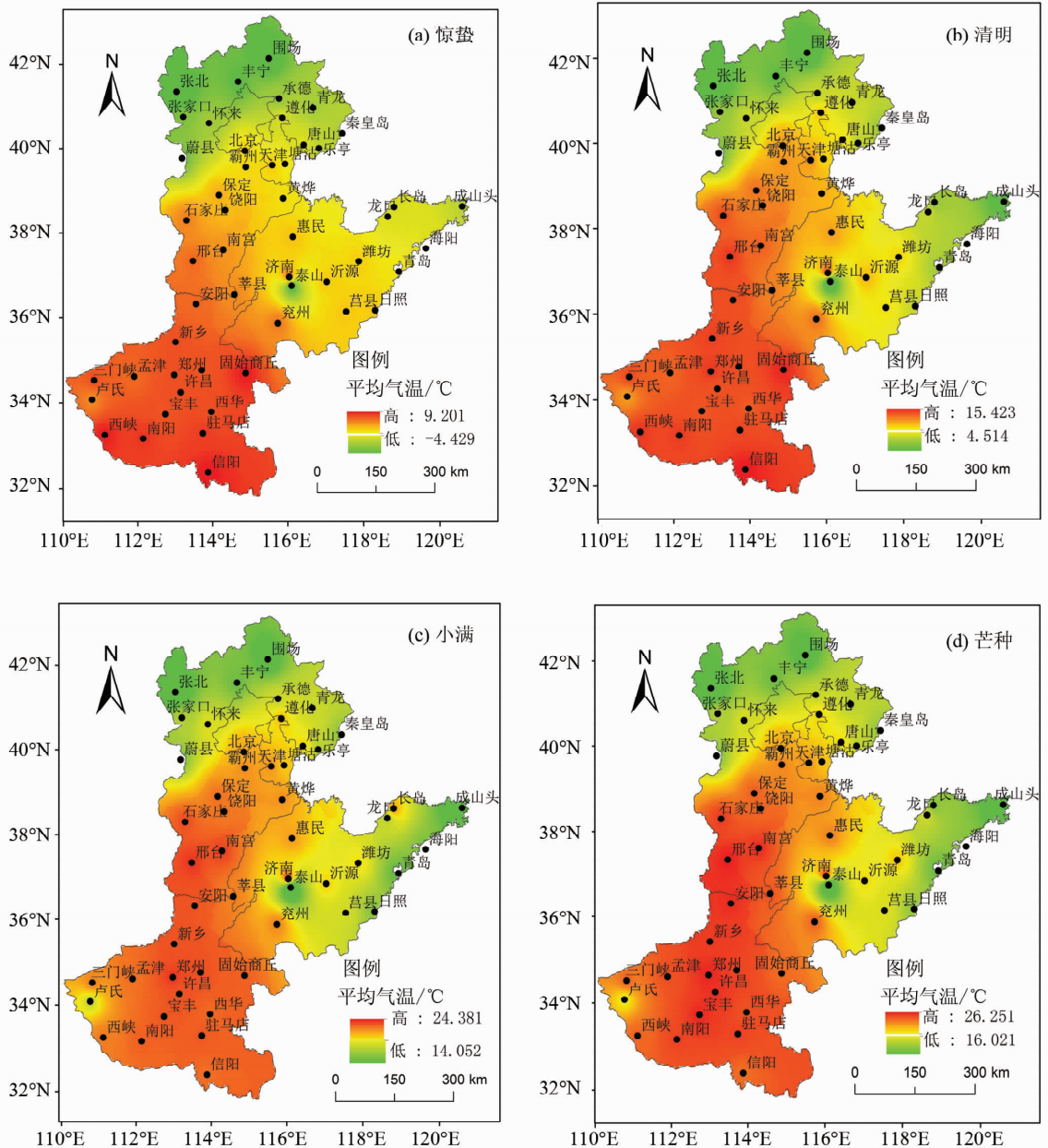


图 12 华北平原物候性节气平均气温空间分布图

Fig. 12 Geographical distribution of MAT of phenological solar terms in the North China Plain

5 结 论

借助线性趋势法、Mann-Kendall 突变检验法、滑动 T 检验法和空间插值法对 1961 - 2014 年华北平原二十四节气气温进行了分析，得到以下结论：

1) 大暑是全年最热的节气，平均温度

30.4 °C，大寒是全年中最冷的节气，平均温度 - 7.5 °C。二十四节气中小满节气日气温差最大，为 12 °C，大暑节气最小，为 8.2 °C。清明升温幅度最大，立冬降温幅度最大。

2) 就平均气温而言，二十四节气中所有节气气温都呈上升趋势，其中春季型节气增温最为显

著。除立春外,所有春季型节气的平均、最低气温均呈显著升高趋势,其中雨水节气升温最快为 $0.652\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。夏季型节气的最低气温增温显著。秋季型和冬季型节气平均气温和最低气温增温趋势明显,而最高气温增温趋势不明显,其中立冬、大雪、大寒呈现出微弱的降温趋势。春季型节气平均气温在 20 世纪 90 年代开始出现增温,夏季型节气和秋季型节气多在 20 世纪 70 和 80 年代出现降温,90 年代之后增温。冬季型节气在 20 世纪 90 年代之前降温明显,90 年代之后温度明显升高。

3) 惊蛰气温呈显著升温趋势,增温率为 $0.459\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,最高和最低气温分别出现在 2002 年 ($9.9\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和 1971 年 ($0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$),并在 1998 年发生转暖突变。清明年平均气温在波动中上升,增温速率为 $0.43\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,最大值和最小值分别出现在 2004 年 ($16.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和 1980 年 ($9.6\text{ }^{\circ}\text{C}$),并在 1998 年气温发生了转暖突变。小满气温表现出微弱的上升趋势,增温速率为 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,1961 年气温最高 ($24.6\text{ }^{\circ}\text{C}$),1991 年气温最低 ($18.7\text{ }^{\circ}\text{C}$),54 a 来未发生明显突变。芒种年平均气温也呈上升趋势,增温速率为 $0.16\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,1972 年气温最高 ($25.0\text{ }^{\circ}\text{C}$),1970 年气温最低 ($21.2\text{ }^{\circ}\text{C}$),并 1998 年气温发生了转暖突变。

4) 华北平原惊蛰年平均气温呈现出南高北低的空间分布特征,最高温最低温分别出现在信阳 ($9.2\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和张北 ($4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)。清明气温大致呈南高北低的空间分布特征,河南省温度较高,最高温出现在信阳地区 ($15.4\text{ }^{\circ}\text{C}$),河北省的北部地区是全区的低温区域,最低温为张北,温度为 $4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。小满年平均气温呈现出中部和南部高,北部和东部低的空间分布特征,最高温和最低温分别出现在济南 ($24.3\text{ }^{\circ}\text{C}$) 和泰山 ($14.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)。54 a 来,华北平原地区的芒种平均气温基本呈现出中部和南部高、东部和北部低的空间分布特征,最低温出现在泰山 ($16.0\text{ }^{\circ}\text{C}$),最高温出现在济南 ($26.3\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

参考文献:

[1] 王振鸿. 二十四节气的气候意义[J]. 南京师院学报, 1982(2):35-44.
WANG Z H. The climate significance of twenty-four solar terms[J]. Journal of Nanjing Normal University, 1982, (2):35-44.

[2] 秦大河, THOMASS S. IPCC 第 5 次评估报告第 1 工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1):1-6.
QIN D H, THOMASS S. Highlight of the IPCC working

group I fifth assessment report [J]. Progressus Inquisitiones De Mutatione Climatis, 2014, 10(1):1-6.

[3] 李耀宁, 陶立新, 张德山, 等. 北京市朝阳区“24 节气”气温的气候特征分析[J]. 环境科学, 2009(20):98-100.
LI Y N, TAO L X, ZHANG D S, et al. The climate characteristics analysis of temperature in “24 solar terms” in Chaoyang district of Beijing [J]. Environmental Science, 2009(20):98-100.

[4] 王艳丽, 李岚, 息涛, 等. 沈阳市“24 节气”气温和降水气候变化特征分析[C]//第 27 届中国气象学会年会论文集, 2010.

[5] 夏江江, 严中伟, 周家斌. “三伏”的气候学定义和区划[J]. 气候与环境科学, 2011, 16(1):31-38.
XIA J J, YAN Z W, ZHOU J B. Climatology of “Three Fu” in China [J]. Climatic and Environmental Research, 2011, 16(1):31-38.

[6] 冯斌, 张成军, 陆萍. 宁夏固原市 24 节气的气象要素统计特征[J]. 甘肃农业, 2010(8):9-11.
FENG B, ZHANG C J, LU P. Natural meteorological statistical characteristics of the 24 solar terms in Guyuan, Ningxia Province [J]. Journal of Gansu Agriculture, 2010(8):9-11.

[7] 冀翠华, 王式功, 尚可政. 2016-2010 年黄河中下游地区 24 节气气候变化特征分析[J]. 气候与环境科学, 2015, 20(2):220-228.
CUI J H, WANG S W, SHANG K Z. Climate changes of 24 solar terms in the middle and lower reaches of the Yellow River during 1961-2010 [J]. Climatic and Environmental Research, 2015, 20(2):646-654.

[8] 钱诚, 严中伟, 符淙斌. 1960-2008 年中国二十四节气气候变化[J]. 科学通报, 2011, 56(35):3011-3020.
QIAN C, YAN Z W, FU C B. Climatic changes in the twenty-four solar terms during 1960-2008 [J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(35):3011-3020.

[9] 沈娇娇, 徐鸿, 李建科, 等. 近 60 年西安市 24 节气气温变化特征及突变分析[J]. 资源科学, 2013, 35(3):646-654.
SHEN J J, XU H, LI J K, et al. Air temperature variation and mutation analysis of the twenty-four solar terms in Xi'an over 60 years [J]. Resources Science, 2013, 35(9):24-27.

[10] 杨玲珠, 王沛涛, 王艺璇, 等. 邯郸市 24 节气的气候特征分析[J]. 气候与环境科学, 2015, 35(9):24-27.
YANG L Z, WANG P T, WANG Y X, et al. The climate characteristics analysis of temperature in “24 solar terms” in Handan [J]. Climatic and Environmental Research, 2015, 35(9):24-27.

[11] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:

- 气象出版社,1999.
- WEI F Y. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology [M]. Beijing: China Meteorological Press,1999.
- [12] 符淙斌,王强. 气候突变的定义与检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-493.
- FU C B, WANG Q. The definition and detection of the abrupt climate change[J]. *Scientia Atmospherica Sinica*,1992,16(4):482-493.
- [13] 封国林,龚志强,支蓉. 气候变化检测与诊断技术的若干新进展[J]. 气象学报,2008,66(6):892-905.
- FENG G L, GONG Z Q, ZHI R. Latest advances of climate change detecting technologies [J]. *Acta Meteorologica Sinica*,2008,66(6):892-905.
- [14] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社,2002.
- XU J H. *Mathematical methods in modern geography* [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press,2002.
- [15] 曹文静,李强子,蒙继华,等. 基于GIS的气温插值方法比较[J]. 中国农业气象,2007,28(S):175-178.
- CAO W J, LI Q Z, MENG J H, et al. Comparison on air temperature interpolation methods based on GIS[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*,2007,28(S):175-178.
- [16] 任国玉,初子莹,周雅清,等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究,2003,10(4):701-716.
- REN G Y, CHU Z Y, ZHOU Y Q, et al. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China[J]. *Climatic and Environmental Research*,2005,10(4):701-716.
- [17] 周雅清,任国玉. 城市化对华北地区最高、最低气温和日较差变化趋势的影响[J]. 高原气象,2009,28(5):1158-1166.
- ZHOU Y Q, REN G Y. The effect of urbanization on maximum, minimum temperatures, and daily temperature range in North China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2009,28(5):1158-1166.
- [18] 唐红玉,翟盘茂,王振宇. 1951-2002年中国平均最高、最低气温及日较差变化[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):28-735.
- TANG H Y, ZHAI P M, WANG Z Y. On change in mean maximum temperature, minimum temperature and diurnal range in China during 1951-2002 [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2005,10(4):728-735.
- [19] 张爱英,任国玉,周江兴,等. 中国地面气温变化趋势中的城市化影响偏差[J]. 气象学报,2010,68(6):957-966.
- ZHANG A Y, REN G Y, ZHOU J X, et al. On the urbanization effect on surface air temperature trends over China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2010,68(6):957-966.
- [20] QIAN C, FU C B, WU Z, et al. The role of changes in the annual cycle in earlier onset of climatic spring in northern China [J]. *Adv Atmos Sci*, 2011, 28(2):284-296.