

近51年松花江流域温度变化趋势分析

俞方圆¹, 郑粉莉^{1,2}, 李志¹, 申健¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 利用1958~2008年松花江流域34个气象站的日温度数据, 采用滑动平均法、Mann-Kendall非参数检验、突变法和森斜率估计法, 定量地分析了松花江流域年平均温度和季节温度的年际变化、变化趋势及变化幅度。研究结果表明, 1958~2008年间松花江流域年平均温度表现为显著的上升趋势, 51年来共上升了2℃, 上升趋势在1990年发生了显著的突变。在季节变化方面, 1958~2008年间松花江流域冬季平均温度上升幅度最大, 达到0.06℃/a, 夏季平均温度上升的幅度最小, 仅为0.03℃/a。松花江流域的年 and 四季的增温幅度远远高于全国和全球水平。因此, 应采取积极措施应对气候变化带来的不利影响。

关键词: 松花江流域; 平均温度; 变化趋势

中图分类号: S161.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)05-0242-05

全球气候变化已经并将继续影响自然生态系统^[1,2]、国民经济、人类生活^[3]和国家安全等方面, 影响是多尺度、全方位、多层次的, 正面和负面影响并存的^[4]。由于区域条件的差异, 气候变化情况具有不确定性^[5], 因此从区域角度进行气候变化的评估十分必要。

东北黑土区生态环境脆弱, 是我国气候变化敏感区^[6,7], 总面积为101.85万km², 主要分布在松花江和辽河两个流域中上游地区。松花江流域位于我国东北地区的北部, 介于北纬41°42′~51°38′、东经119°52′~132°31′之间, 全长2309 km, 流域面积56.12万km²。因地处东亚季风的北部边缘, 受季风强弱的年际变化的影响, 松花江流域各年气候状况有较大差别^[8]。近年来, 松花江流域干旱洪涝频发, 水土流失严重。目前, 气候变化的相关研究几乎都集中在整个东北地区或东北三省的温度和降水变化^[9], 对于松花江流域的研究较少, 少数已有的研究也仅对松花江流域年平均降水量的变化进行了分析^[10], 而对该流域年和四季平均温度的研究缺乏。因此, 分析松花江流域近51年来温度变化趋势, 将为区域农业防灾减灾和农业生产持续发展提供重要的科学依据。

1 资料与方法

1.1 基础资料的收集和质量控制

日平均温度系列数据来源于中国气象局, 由于

气象站点建立时间和数据缺测情况有所不同, 本文选择了松花江流域分布均匀、数据长度大于40年、总体缺失数据小于10%的34个气象站点作为研究对象进行平均温度的变化研究。各站的平均温度数据起始年份统一为1958~2008年, 站点分布如图1所示。通过对34个站点的气象资料进行处理, 建立起以12月及次年的1月和2月为冬季, 3~5月为春季, 6~8月为夏季, 9~11月为秋季的气候序列。

1.2 研究方法

采用滑动平均法分析松花江流域平均温度的年际变化, 结合非参数Mann-Kendall(MK)检验、突变法^[11]和森斜率估计法^[12]定性和定量地研究平均温度和季节温度的变化趋势和变化幅度。

2 结果分析与讨论

2.1 年平均温度的年际变化特征和趋势

由松花江流域34个气象站点的日平均温度计算得到1958~2008年间平均温度为3.21℃, 变异系数为0.26。由图2可以看出, 年平均温度51年表现为波动上升趋势。2007年达到51年最高值, 为5.12℃, 高出多年平均温度1.92℃, 与唐国利得出的2007年为1906年以来中国最暖的一年的结论相同^[13]。而1969年的年平均温度为1.16℃, 低于多年平均温度2.05℃, 为研究期内历史最低值。1958~2008年间平均温度的变化过程总体可以分为三个阶段, 1958~1969年为第一阶段, 此阶段平均温度

收稿日期: 2011-02-10

基金项目: 农业部948项目(2010-S16)

作者简介: 俞方圆(1985—), 女, 新疆和田人, 硕士研究生, 主要从事气候变化研究。E-mail: fyyu1018@gmail.com。

通讯作者: 郑粉莉(1960—), 女, 陕西蓝田人, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀过程机理、预报模型和环境效应评价研究。E-mail: flzh@ms.iswc.ac.cn。

表现为缓慢的降低趋势,1970~1987 年为小幅度波动上升的第二阶段,而 1988 年以后的年均温度的变化进入了快速上升阶段,表明自 1970 年以来,尤其是 1988 年以来,松花江流域增温趋势更加明显。

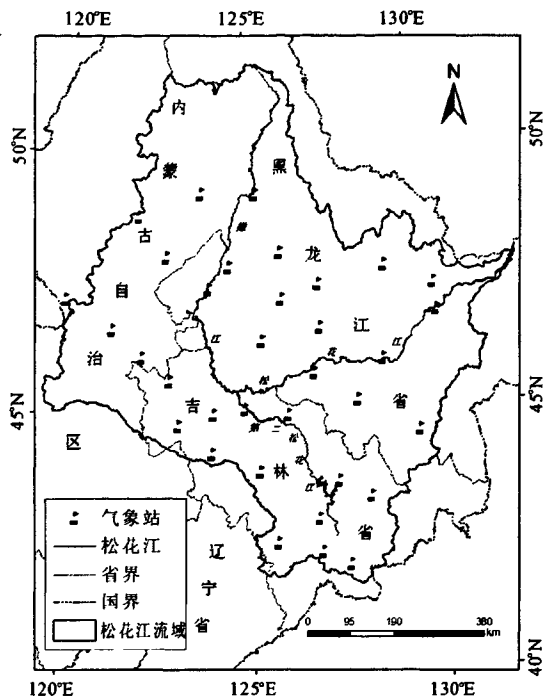


图 1 松花江流域气象站点分布图

Fig.1 Location of meteorological stations in the Songhua River Basin

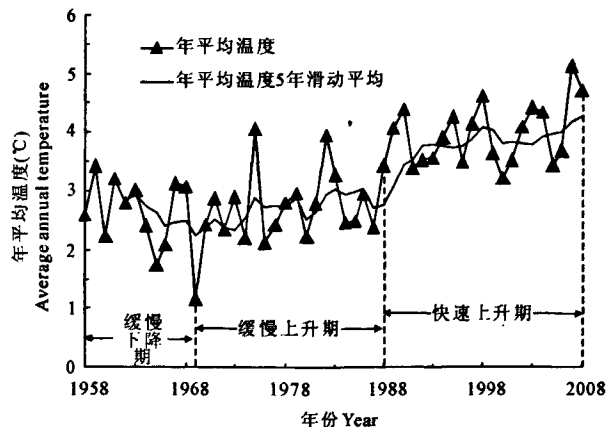


图 2 1958~2008 年松花江流域年平均温度的年际变化和 5 年滑动平均趋势

Fig.2 Interannual variation and 5 per. moving average of annual temperature in the Songhua River Basin during 1958~2008

利用 MK 检验得出年平均温度的统计量 Z_{mk} 为 5.17,通过置信水平 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,即松花江流域年平均温度表现为显著的上升趋势。大量研究表明^[14],全球气候自 1990 年开始发生明显变化,故而已有大多研究将 1960~1990 年间的平均温度值作为基准值对比分析温度变化趋势。本文也将

1960~1990 年间的平均温度值作为基准值,分析松花江流域的温度变化趋势。从图 3 可以看出,松花江流域 1988 年后平均温度均高于基准期平均值,平均温度以 $0.04^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 的速率上升,51 年来温度上升了 2°C ,远大于同期全国升温幅度($0.005\sim0.008^{\circ}\text{C}/\text{a}$)和全球的升温幅度($0.006^{\circ}\text{C}\pm0.002^{\circ}\text{C}/\text{a}$)^[15]。

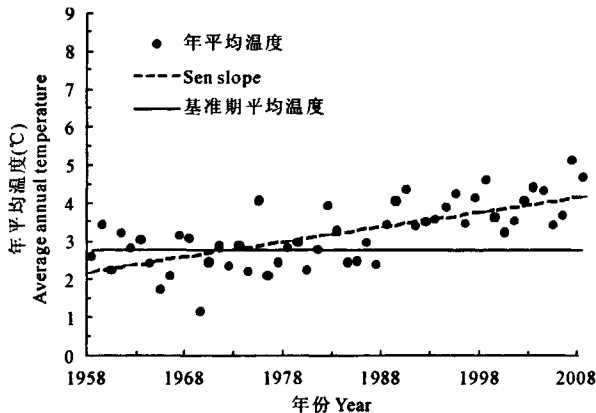


图 3 1958~2008 年松花江流域年平均温度的趋势变化

Fig.3 Variation of average annual temperature in the Songhua River Basin during 1958~2008

2.2 年平均温度的突变分析

图 4 为基于 Mann-Kendall 突变分析得到的松花江流域 1958~2008 年平均温度的突变结果。分析结果表明,松花江流域于 1990 温度发生了突变,与全球气候变化研究得出的 1990 年为气候突变点的结果一致^[14],且 1988 年以后温度持续升高。孙凤华等^[16]利用 Yamamoto 法得出东北地区的平均气温在 20 世纪发生了 4 次突变,80 年代后期为最强突变,与本文的结果基本一致,也表明松花江流域的温度变化和整个东北地区相比,既有一致性,又具有独特的地域特征。

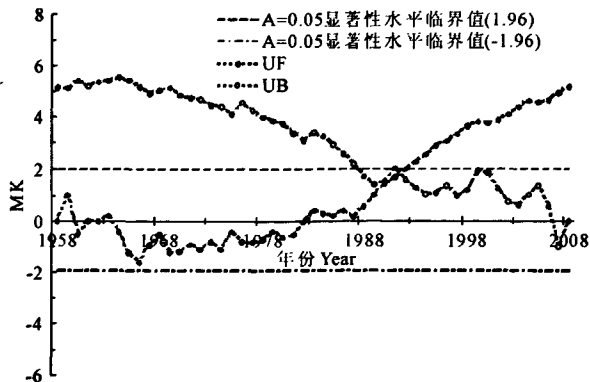


图 4 年平均温度的 Mann-Kendall 突变分析

Fig.4 The Mann-Kendall abrupt change of average annual temperature

2.3 平均温度的四季变化

2.3.1 四季平均温度的年际变化特征 图 5 为松花江流域 1958 ~ 2008 年间四季平均温度的年际变化和由 5 年滑动平均法得到的变化趋势。

冬季(图 5a) 1958 ~ 2008 年的平均温度为 -16.41°C , 变异系数为 0.11, 说明 51 年来冬季平均温度的年际变化相对较小。冬季平均温度的最高值出现在 2007 年, 与年平均温度最高值出现的年份一致, 达到 -11.75°C , 仅高出多年冬季平均值 4.66°C 。冬季平均温度最低值出现在 1969 年, 其值为 -20.33°C , 比多年冬季平均值低了 3.92°C 。总体也可将冬季平均温度分为三个阶段: 1958 ~ 1998 年期间温度总体上呈上升趋势, 期间仅有 1979、1981 ~ 1983 年的温度略高于平均值, 其他年份的温度仍然低于平均值。1999 ~ 2005 年温度出现较小的下降趋势, 而 2005 年后冬季温度开始出现持续上升趋势。

春季(图 5b) 51 年平均温度为 4.80°C , 变异系数为 0.27, 年际变化范围最大, 升高降低趋势交替出

现, 没有明显的阶段变化。1998 年的春季平均温度最高, 达到 8.01°C , 高出多年春季平均温度的 3.21°C 。而最小值出现在 1958 年, 仅为 2.60°C , 比多年春季平均值低了 2.20°C 。1958 ~ 1995 年间出现了四次较小的波峰, 平均 7 年出现一次波峰, 分别是 1967 年, 1975 年, 1983 年和 1990 年。1996 年后温度变化幅度变小, 整体以上升趋势为主。

夏季(图 5c) 多年平均温度为 20.28°C , 变异系数为 0.04, 是四个季节中年际变化变化最为微小的季节, 其变化范围仅为 $-6.40\% \sim 9.60\%$ 。2000 年是松花江流域夏季平均温度最高的一年, 其值为 22.23°C , 高出夏季多年平均温度的 1.95°C 。1983 年出现夏季平均气温最小值, 温度为 18.98°C , 低出夏季多年平均温度的 1.30°C 。1958 ~ 1992 年 5 年滑动平均曲线呈微小波动, 尤其是 1958 ~ 1981 阶段曲线几乎维持不变; 而 1993 年以后夏季平均温度总体呈较小的波动上升趋势。

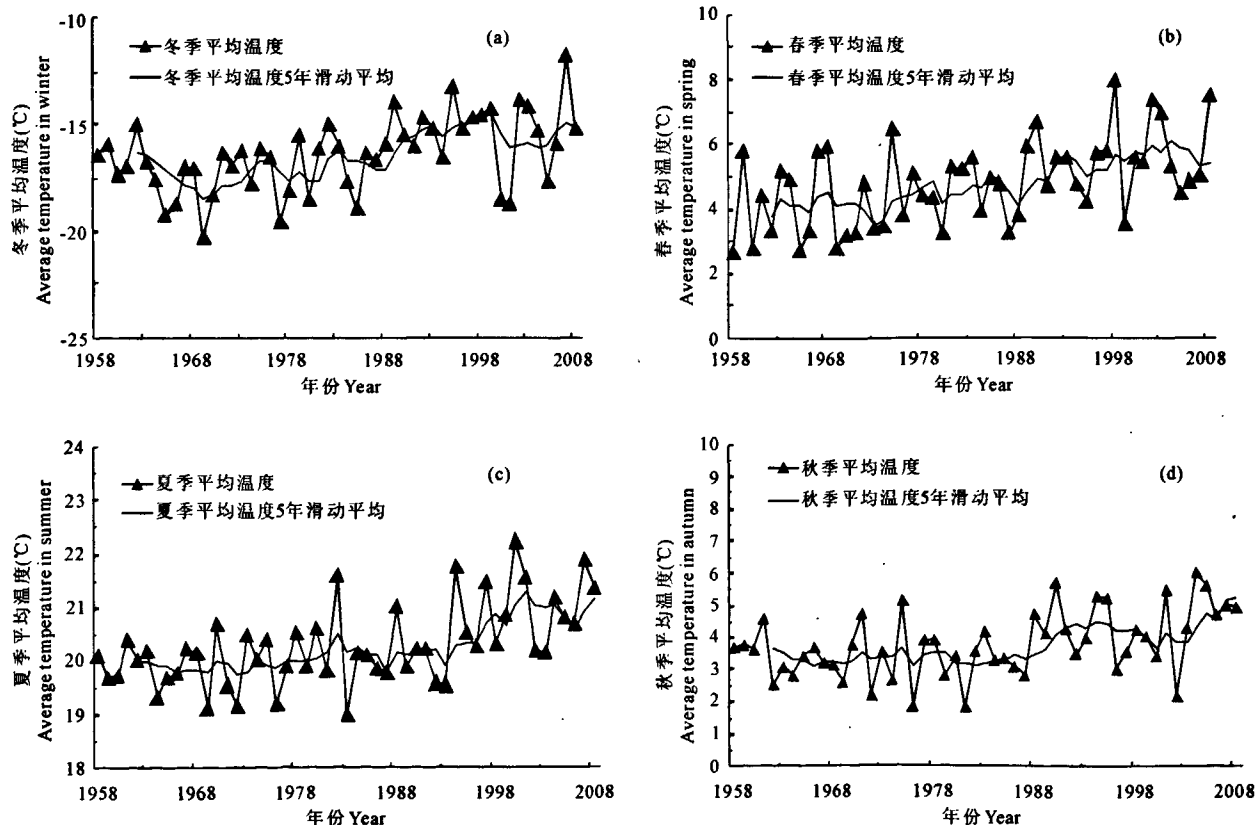


图 5 1958 ~ 2008 年松花江流域冬(a)、春(b)、夏(c)、秋(d)季平均温度的年际变化和 5 年滑动趋势

Fig.5 Interannual variation and 5 per. moving average of temperature of the Songhua River Basin in winter (a) spring (b) summer (c) and autumn (d) during 1958 ~ 2008

秋季(图 5d) 51 年平均温度为 3.78°C , 变异系数为 0.24; 与夏季和冬季相比, 其变化范围相对较大。秋季平均温度最高值出现在 2004 年, 高于多年秋季

平均温度 2.26°C 。而 1982 年的秋季平均温度为历史最低值, 仅为 1.82°C , 低于平均值的 1.96°C 。秋季平均温度的整体变化趋势可以分为 4 个阶段:

1958 ~ 1986 年间秋季平均温度的上升或下降趋势均不明显,1987 ~ 1993 年其呈现上升趋势,而 1994 ~ 2000 其呈现下降趋势,自 2001 年开始,秋季平均温度开始出现较大幅度的上升趋势。

2.3.2 四季平均温度的变化趋势 将 MK 趋势检验和趋势变化幅度结果列于表 1。可以看出,四个季节的统计量 Z_{mk} 全部大于 1.96,即通过置信水平 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验,皆表现为显著的上升趋势。图 6 表示了四个季节平均温度的变化幅度,其中冬季(图 6a)上升幅度最大,达到 $0.06^{\circ}\text{C}/\text{a}$,51 年来上升了 2.91°C 。1960 ~ 1990 年冬季平均温度为

-17.06°C ,1986 年后冬季的平均温度均高于基准期平均值。冬季气温偏高,易造成病虫害大面积发生,农业生产成本不断提高。

其次为春季(图 6b)的平均温度上升速率最快,51 年春季平均温度共上升了 2.35°C ,平均每年上升 0.05°C 。1989 年后春季平均值普遍高于基值期的春季平均温度(4.38°C),但其中 1995 年和 1999 年的春季平均温度分别是 4.23°C 和 3.54°C ,皆低于基值期的对应值。春季平均温度的升高会使得播种期提前,为作物种植结构和种植品种的调整提供了可能,在一定程度上促进农业增产。

表 1 1958 ~ 2008 年松花江流域四季平均温度趋势变化结果

Table 1 Variation trends of seasonal average temperature in the Songhua River Basin during 1958 ~ 2008

季节 Season	基准期均值 Mean($^{\circ}\text{C}$)	Z_{mk}	显著性 Significance	变化趋势 Change trend	变化幅度($^{\circ}\text{C}/\text{a}$) Change magnitude
冬季平均温度 Average precipitation in winter	-17.06	3.65	显著 Significant	上升 Rise	0.06
春季平均温度 Average precipitation in spring	4.38	3.49	显著 Significant	上升 Rise	0.05
夏季平均温度 Average precipitation in summer	20.01	3.69	显著 Significant	上升 Rise	0.03
秋季平均温度 Average precipitation in autumn	3.45	3.09	显著 Significant	上升 Rise	0.04

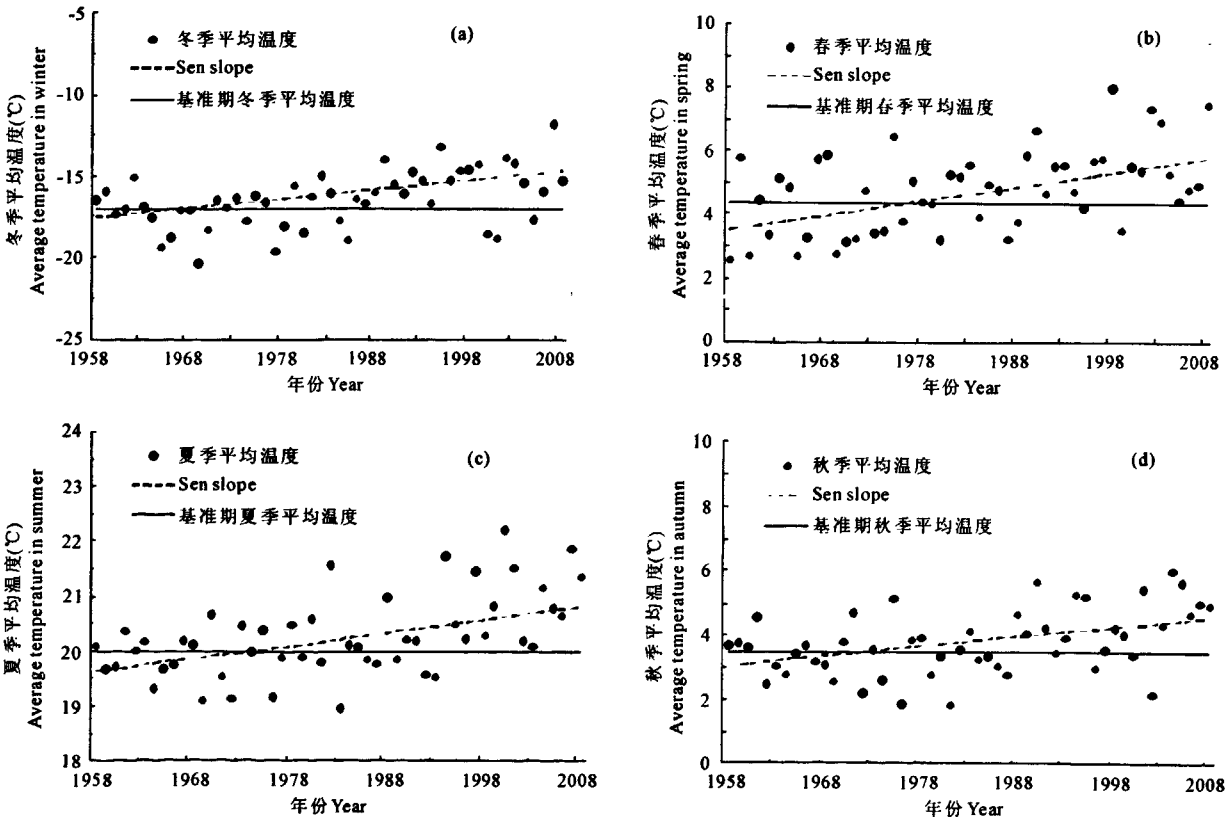


图 6 1958 ~ 2008 年松花江流域四季平均温度的趋势变化

Fig.6 Variation of seasonal temperature in the Songhua River Basin during 1958 ~ 2008

秋季(图 6d)的平均温度上升速率 $0.04^{\circ}\text{C}/\text{a}$,位居第三,51 年共上升了 2.04°C 。1988 年开始明显高于基准期的秋季平均温度(3.45°C);但 1995 年,2000 年,2002 和 2005 年出现异常,温度较低,尤其以 2002 年最低,仅有 2.18°C 。

夏季(图 6c)的平均温度上升幅度最小,约为 $0.03^{\circ}\text{C}/\text{a}$,1958~2008 年共上升了 1.53°C 。在 1994 年后夏季平均温度才开始高于基准期的夏季平均温度(20.01°C),比其他三个季节高于基准期平均值的起始年份大约滞后了 6 年。孙风华等^[16]的研究也表明东北地区冬季增温较为明显,夏季温度基本持平。夏季平均温度的上升使得低温冷害灾害减少,同时也增加了旱灾发生的风险。

在“十五”攻关课题关于中国温度变化的研究进展的总结中指出^[17],中国在 1951~2004 年冬季的增温速率最大,为 $0.04^{\circ}\text{C}/\text{a}$;夏季增温速率为 $0.02^{\circ}\text{C}/\text{a}$,而松花江流域冬季和夏季增温速率分别为 $0.06^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 和 $0.03^{\circ}\text{C}/\text{a}$,皆高于全国冬季和夏季增温水平,表明松花江流域的气候变化更加敏感。因此,应采取积极的应对措施,减缓气候变化带来的不利影响。

3 结 论

利用松花江流域分布均匀,资料完整的 34 个气象站点 1958~2008 年的日温度数据,综合滑动平均法、非参数 Mann-Kendall 检验、突变法和森斜率估计法等,分析了松花江流域年平均温度和四季平均温度变化趋势。

1) 1958~2008 年松花江流域年均平均温度具有明显的阶段性变化,1958~1969 为年平均温度的缓慢下降阶段,1970~1987 年为缓慢上升阶段,1988 年开始进入迅速上升的阶段。51 年间年平均温度呈显著的上升趋势,温度上升了 2°C ,远大于同期全国和全球的升温幅度。

2) 基于 Mann-Kendall 突变分析,松花江流域年平均温度于 1990 年发生显著突变,与全球气候突变点一致。

3) 松花江流域冬季和夏季的平均温度年际变化较小,而春季和秋季的年际变化较大。四季平均温度也均呈显著的上升趋势,其中以冬季的上升幅度最大,达到 $0.06^{\circ}\text{C}/\text{a}$,夏季上升的幅度最小,仅为 $0.03^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。松花江流域的年和四季的增温幅度均高

于全国和全球的平均水平。

4) 松花江流域年和四季的平均温度的显著增高会对水循环和农业生产等带来一定的影响;因此,如何采取合理的措施应对气候变化带来的不利影响是当前迫切需要研究的重要议题。

参 考 文 献:

- [1] Parmesan C, Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems[J]. *Nature*, 2003, 421: 37—42.
- [2] Harte J, Ostling A, Green J, et al. Biodiversity conservation: climate change and extinction risk[J]. *Nature*, 2004, 430: 145—148.
- [3] Love G, Soares A, Pütempel H. Climate change, climate variability and transportation[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 1 (World Climate Conference - 3): 130—145.
- [4] 秦大河. 进入 21 世纪的气候变化科学——气候变化的事实、影响与对策[J]. *科技导报*, 2004, (7): 4—7.
- [5] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [6] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等. 近百年中国年气温序列的建立[J]. *应用气象学报*, 1998, 9(4): 392—401.
- [7] 孙风华, 任国玉, 赵春雨, 等. 中国东北地区及不同典型下垫面的气温异常变化分析[J]. *地理科学*, 2005, 25(2): 167—171.
- [8] 孙永罡, 白人海. 松花江、嫩江流域主要气象灾害研究[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 1—3.
- [9] 赵春雨, 任国玉, 张运福, 等. 近 50 年东北地区的气候变化事实检测分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2009, (7): 25—30.
- [10] 李 想, 李维京, 赵振国. 我国松花江流域和辽河流域降水的长期变化规律和未来趋势分析[J]. *应用气象学报*, 2005, 16(5): 593—599.
- [11] Mann H B. Non-parametric tests against trend[J]. *Econometrica*, 1945, 13: 245—259.
- [12] Kahya E, Kalayci S. Trend analysis of streamflow in Turkey[J]. *Journal of Hydrology*, 2004, 289(1~4): 128—144.
- [13] 唐国利, 丁一汇, 王绍武, 等. 中国近百年温度曲线的对比分析[J]. *气候变化研究进展*, 2009, 5(2): 71—78.
- [14] Frich P, Alexander L V., Della-Marta P, et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century[J]. *Climate Research*, 2002, 19: 193—212.
- [15] 林而达, 许吟隆, 蒋金荷, 等. 气候变化国家评估报告(II): 气候变化的影响与适应[J]. *气候变化研究进展*, 2006, 2(2): 51—56.
- [16] 孙风华, 袁 健, 路 爽. 东北地区近百年气候变化及突变检测[J]. *气候与环境研究*, 2006, 11(1): 101—108.
- [17] 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*, 2005, 10(4): 701—716.

(英文摘要下转第 252 页)

Climate Evolution and Its Impact to Water Resource Changer in Source of Weihe River Basin

YAO Yu-bi^{1,2}, ZHANG Xiu-yun², DUAN Zhi-yong³, SONG Yong-jie⁴,
YANG Jian-jun², WANG Dian-jun²

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province and China Meteorological Administration, Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China;

2. Meteorological Bureau of Dingxi of Gansu Province, Dingxi 743000, China;

3. Hydrological And Water Resource Reconnaissance Bureau of Dingxi of Gansu Province, Dingxi 743000, China;

4. Meteorological Bureau of Baiying of Gansu Province, Baiying 730900, China)

Abstract: Based on the surface meteorology and water resource observation data in source of Weihe river, the characters of climate evolution and water resource change, and their relationship are analyzed, in addition the water resources climate model is also established. The result show that the inter-annual change of precipitation display descending trend, the tendency rate is $-10.442 \sim -10.417$ mm/10a, this reduction mainly happened in autumn and summer. The results also show that the inter-annual change of temperature display marked ascending trend, the tendency rate is $0.169 \sim 0.201$ °C/10a, this accessional appeared most in winter, this ascending trend appeared from 1970s and it's sharp point was at 1970's, the aridity index also display prominent ascending trend, the tendency rate is $0.058 \sim 0.113$ /10a, in recent 50 years the climate of the Weihe source show warming and drying trend, It is also found that the water resources display remarkable descending trend, the tendency rate is -0.044×10^8 m³/10a, it exist 2 ~ 3 a, 5 a period, water resource show marked positive correlation with precipitation, while it show marked negative correlation with temperature and aridity index, the water source will decrease if precipitation decrease and temperature ascend and dry index ascend.

Keywords: Climatic changing; Water resource; aridity index; Weihe source

(上接第 246 页)

Change trend of temperature in the Songhua River Basin during the past 51 years

YU Fang-yuan¹, ZHENG Fen-li^{1,2}, LI Zhi¹, SHEN Jian¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on the daily series temperature observations from 34 meteorological stations over the period of 1958 ~ 2008, the interannual variation, change trend, and change magnitude of the average annual temperature in the Songhua River Basin were analyzed with multi-method of moving average method, non-parametric Mann - Kendall test and the estimated sen slope method. The result showed that the average annual temperature of the Songhua River Basin tended to increase significantly during 1958 ~ 2008. The average annual temperature which underwent abrupt change in 1990 had risen about 2.0°C during the past 51 years. In four seasons, the average temperature of winter increased at a faster rate (0.06°C/a), whilst the average temperature of summer had the smallest increment -0.03 °C/a. The increasing magnitude of average annual temperature in the Songhua River Basin was much greater than the national and global level. Therefore, effective measures should be considered to mitigate negative effects of climatic change.

Keywords: the Songhua River Basin; average temperature; change trend