

全球气候变化背景下华北平原气候资源变化趋势

马洁华^{1,2}, 刘 园¹, 杨晓光^{1,*}, 王文峰¹, 薛昌颖³, 张晓煜¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029;

3. 河南省气象科学研究所, 郑州 450003)

摘要: 在全球气候变化的大背景下, 过去几十年, 华北平原气候资源也发生了相应的变化, 这一变化对该区域的粮食生产将产生深刻的影响。利用华北平原 1961—2007 年逐日气候资料, 探讨了不同年代际间该区域气候资源的空间分布特征。研究结果表明: 气候变暖使华北平原热量资源更加丰富, 全区 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温呈整体增加趋势, 空间分布呈北移东扩的变化特征; 且气候带移动特征明显, 向北移动了 3 个纬度, 约 300 多 km。过去 47a, 华北区域年降水量呈下降趋势, 平均下降速率为 18mm/10a。夏、秋两季降水量呈减少趋势, 速率在 25—40mm/10a 之间; 春、冬两季降水量呈微弱增加趋势, 但增加幅度小于夏、秋两季的减少幅度。年平均参考作物蒸散量呈整体下降趋势, 减幅小于降水量的变化趋势。全区日照时数显著减少, 纬向分布特征明显, 以大中城市附近减少最为突出。

关键词: 华北平原; 气候资源; 气候变化

Characteristics of climate resources under global climate change in the North China Plain

MA Jiehua^{1,2}, LIU Yuan¹, YANG Xiaoguang^{1,*}, WANG Wenfeng¹, XUE Changying³, ZHANG Xiaoyu¹

1 College of Resources and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

3 Henan Institute of Meteorological Sciences, Zhengzhou 450003, China

Abstract: In the past few decades, significant changes of climate resources had taken place across the North China Plain (NCP), corresponding to global climate changes. Climate change has caused far-reaching impacts to agricultural production in the North China Plain, where is one of the most important food production regions in China. In this study, characteristics of regional distribution of climate resources during the five different decades from 1961 to 2007 were analyzed by using daily weather data from 59 typical agro-meteorological stations located the North China Plain. The major results showed: (1) heat resources in the North China Plain were significantly enriched during the study period due to global climatic warming, such as $\geq 0^{\circ}\text{C}$ and $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulative air temperature markedly increased, specially, in north and east. (2) Annual precipitation decreased about 20 mm per decade from 1961 to 2007. Seasonal precipitation in summer and autumn also decreased with rate ranging from 25 mm/10a to 40 mm/10a, however, slightly increased in spring and winter. In addition, yearly mean of reference crop evapotranspiration (ET_0) was declined in the North China Plain. The decreasing rate of rainfall was a little more than that of ET_0 . (3) Sunshine hours in the North China Plain showed a significant declination, especially in large and middle size urban area.

Key Words: the North China Plain; climatic resources; climatic change

基金项目: 国家科技基础性工作专项(2007FY120100); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)课题(2009CB118608); 公益性行业(农业)科研专项(GYHY200803028)资助

收稿日期: 2009-04-14; 修订日期: 2010-03-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangxg@cau.edu.cn

IPCC 第四次评估报告提出,过去 100a,全球平均气温升高约 0.74°C ^[1]。过去几十年,中国增暖趋势尤为显著,预计 2050 年中国平均气温升高约 $2.3\text{—}3.3^{\circ}\text{C}$ ^[2-3]。许多专家学者在研究我国气候资源的变化特征时发现,自 1980 年代,平均温度从南到北递增趋势显著,且幅度略高于全球平均变化水平^[4-7]。

华北平原是我国气候变化敏感区之一,也是重要的粮食生产基地之一^[8]。该区属于温带大陆性季风气候,雨热同季,光资源丰富,主体种植制度为冬小麦-夏玉米一年两熟。基于全球气候变化的背景,华北平原气候资源必然随之发生改变,也将对区域内农业生产造成很大影响^[9-10]。鉴于此,本文旨在前人工作的基础上,重点分析不同年代间华北地区气候资源平均状况的时间变化和空间分布特征,为该区域气候变化对农业生产的影响领域研究提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域和数据来源

华北平原地处我国中纬度地带,属温带大陆性季风区,光热资源丰富,雨热同季,降水量年际变化大且多集中在夏季。根据气候要素的分布特征,参考行政区划,本文选取北京市、天津市、河北省、河南省、山东省共 59 个气象站点。所选站点均为中国气象局基准气象观测站,数据记录较完整、时间序列较长,且均匀分布于研究区域。研究区域及典型站点分布见图 1。

本文所用资料取自国家气象信息中心。由于所选站点的建站时间不统一,鉴于此,本文研究时段均从 1961 年至 2007 年 47a,逐日气象数据包含:平均温度、最高温度、最低温度、日照时数及降水量资料。

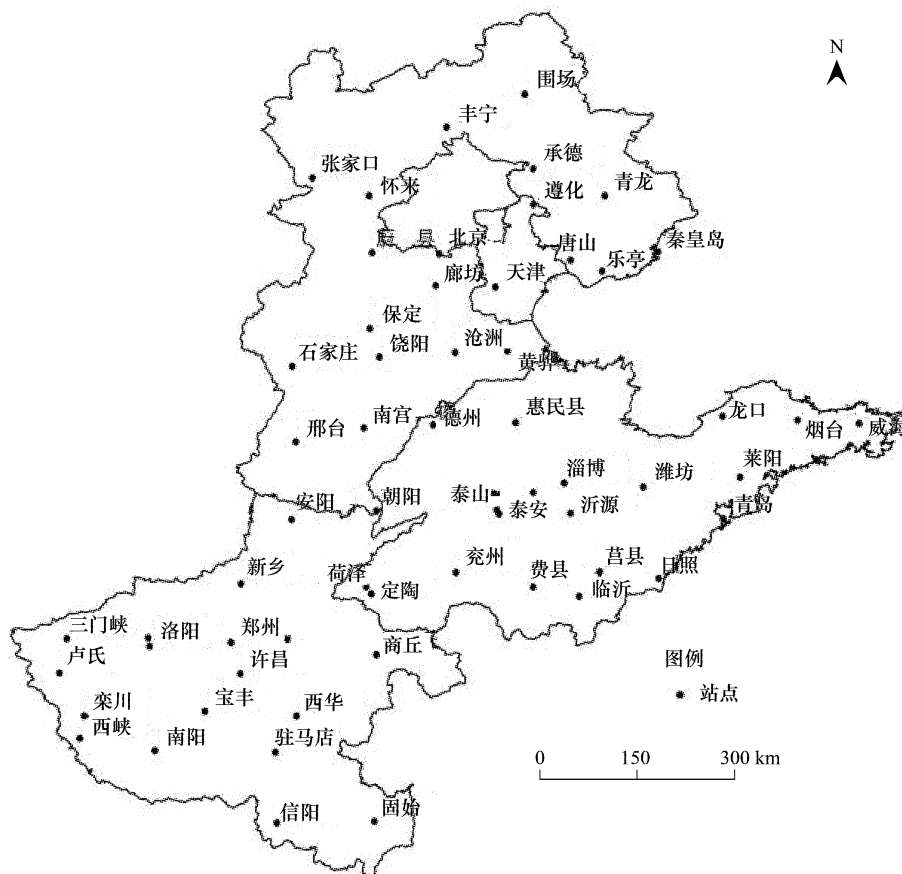


图 1 华北平原基本气象站分布图

Fig. 1 Locations of the meteorological stations across the North China Plain

1.2 参考作物蒸散量的计算

参考作物蒸散量是作物实际蒸散量的理论上限,也是计算蒸散量和评价作物需水耗水的重要参数。本文

采用 FAO 于 1998 年推荐的 Penman-Monteith 方法^[11],公式如下所示:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \tag{1}$$

式中, R_n 是到达作物表面的净辐射($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), G 是土壤热通量密度($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), T 是作物冠层空气温度($^{\circ}\text{C}$), U_2 是作物冠层 2m 高处的风速(m s^{-1}), e_d 和 e_a 分别是饱和水汽压和实际水汽压(kPa), Δ 是水汽压对温度的斜率($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), γ 是干湿球常数。

1.3 气候带区划

本文所采用的气候带区划指标来自《中华人民共和国国家自然地图集》^[12],该指标反映某区喜温作物气候生长期的长短,是决定喜温作物生长和分布的重要指标之一。划分依据采用国家地图集编委员会于 1999 年公布的一级区划指标中每年日平均温度 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的持续日数(表 1)。

表 1 气候带划分指标
Table 1 Indices of climatic zone

气候带 Climatic zone	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 持续日数/d The number of the duration days for $\geq 10^{\circ}\text{C}/\text{d}$
中温带 Moderate temperate zone	100—171
暖温带 Warm temperate zone	> 171—218
北亚热带 North subtropical zone	> 218 —239

1.4 空间表达方法

采用 ArcGIS 软件的 IDW(Inverse Distance Weighted Interpolation)模块对研究区域各要素进行插值,生成空间栅格数据,得到相应的空间分布图。

2 结果与分析

2.1 热量资源变化特征

2.1.1 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温变化特征

图 2 为华北平原不同年代间 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温带的空间分布,呈明显的纬向带状分布特征,由南向北逐渐降低。由图可知,不同年代际间因温度升高,带来 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温带的北移东扩,空间变化特征非常明显。1961—1970 年, $\geq 5000^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 积温带的北界在山东济南(36.6°N);而到 20 世纪 70 年代, $\geq 5000^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 积温带略有南退;自 1981—2000 年,随着全球气候变暖, $\geq 5000^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 积温带呈明显北移趋势。从 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温的气候倾向率可知,全区 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温呈明显增加,升温高值出现在河北石家庄地区以及北京地区,升温相对低值出现该区北部围场地区。

2.1.2 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温变化特征

与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温的空间分布变化相比, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的空间分布变化同样呈北移变化趋势。图 3 为该区稳定通过 10°C 起止日期期间, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在不同年代间的空间分布变化。20 世纪 60 年代,全区 $\geq 4800^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 积温带中有 14 个典型站点,最北到河南安阳(36.0°N);全区 $\leq 4000^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 积温带中有 13 个典型站点,最南在河北乐亭(39.4°N)以及山东胶东半岛地区;到本世纪初,全区 $\geq 4800^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 积温带中典型站点数明显增加到 35 个,最北端到达北京; $\leq 4000^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 积温带中典型站点只有 8 个。研究时段内,除河北承德外,华北地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温气候倾向率均为正值,说明研究区域年均积温呈总体升高趋势,这为在该区域种植对积温要求较高的作物品种提供了可能性。

2.1.3 气候带变化特征

图 4 依次给出华北地区不同年代气候带的空间分布特征,由此可知,基于全球变暖的背景,该区域北亚热带和暖温带同样呈向北移动,大约移动了 3 个纬度,约 300 多 km。自 20 世纪 60 年代,北亚热带的北线在河南省南端(33°N 附近);至 70 年代,其北扩趋势明显,最北端推进到河南新乡附近,约 35°N ;至 21 世纪初,北

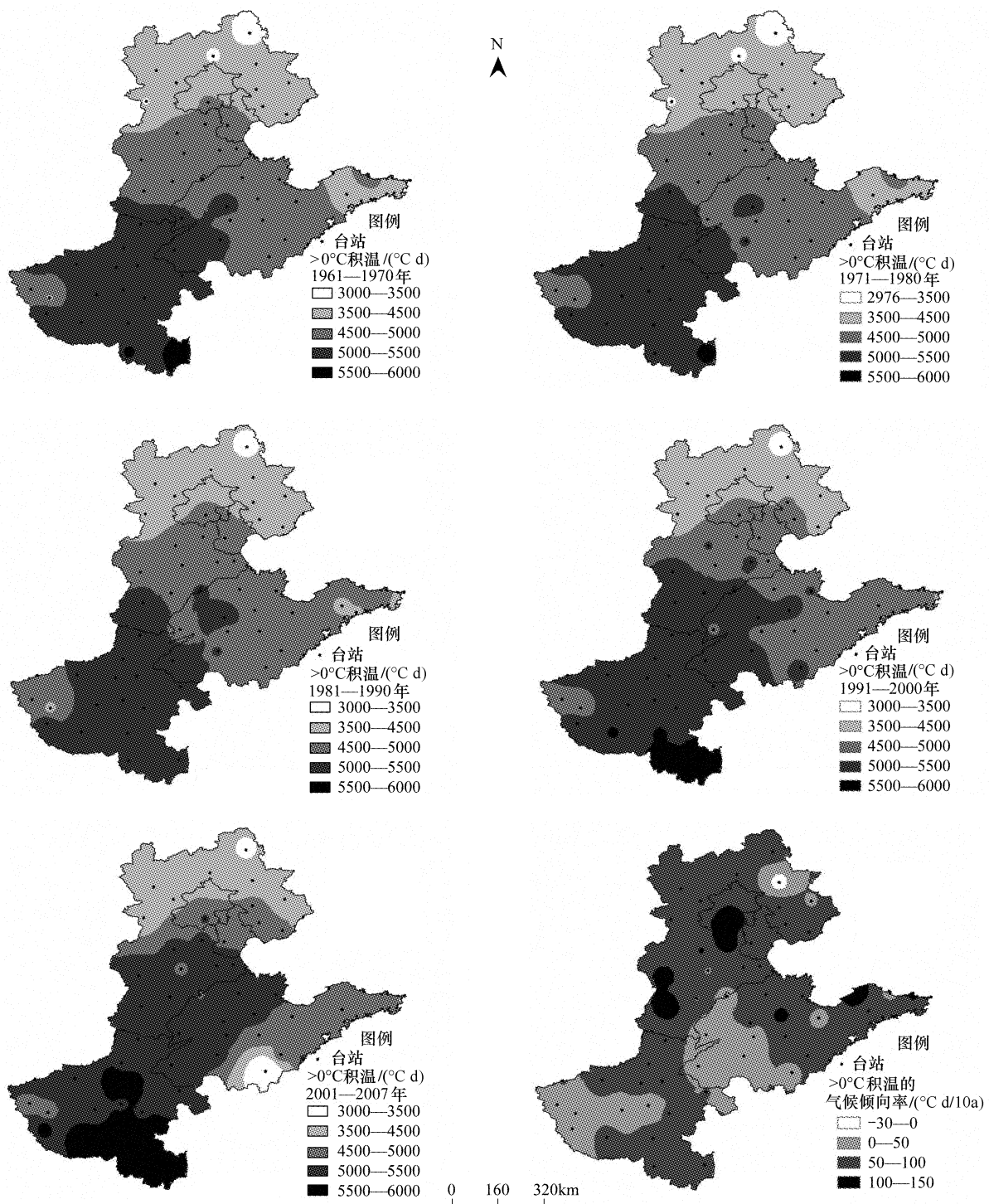


图2 华北地区不同年代 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温空间分布的变化趋势及气候倾向率,1961—2006

Fig.2 Distribution of average and climatic tendency of $\geq 0^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature in the different decades across the NCP, 1961—2006

亚热带北界已达河北邢台与石家庄之间, 36°N 以南附近。这与沙万英等人^[13] 得到结果一致。

2.2 华北平原水资源分析

2.2.1 降水量变化特征

华北地区年降水量平均状况及气候倾向率的空间分布特征,如图5所示。全区年降水量呈西北走向的递

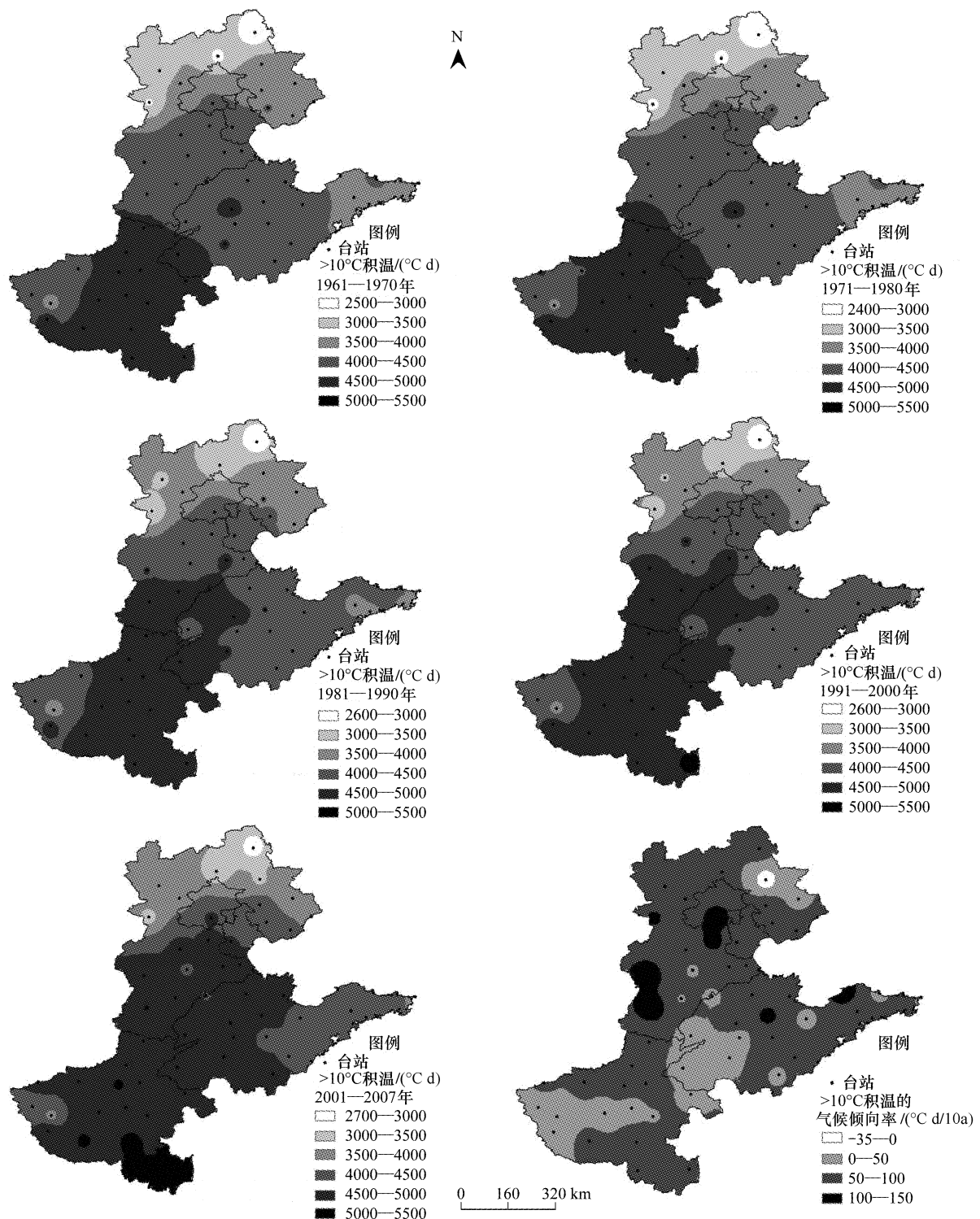


图3 华北地区不同年代 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温空间分布的变化趋势及气候倾向率, 1961—2006

Fig. 3 Distribution of average and climatic tendency of $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature in the different decades across the NCP, 1961–2006

减分布特征, 高值分布在河南固始、信阳一带, 低值分布河北西北部地区(图 5a)。从图 5b 来看, 过去 47a, 华北地区年降水量呈下降趋势, 平均下降速率为 $18\text{mm}/10\text{a}$, 大部分地区的下降趋势未达显著性检验标准。下降幅度最大在山东省东部和河北的东部, 每 10a 减少 $30\text{—}50\text{mm}$; 但该区河南省东南部年降水量呈微弱增加趋势, 增加幅度在 $0\text{—}30\text{ mm}/10\text{a}$ 之间。

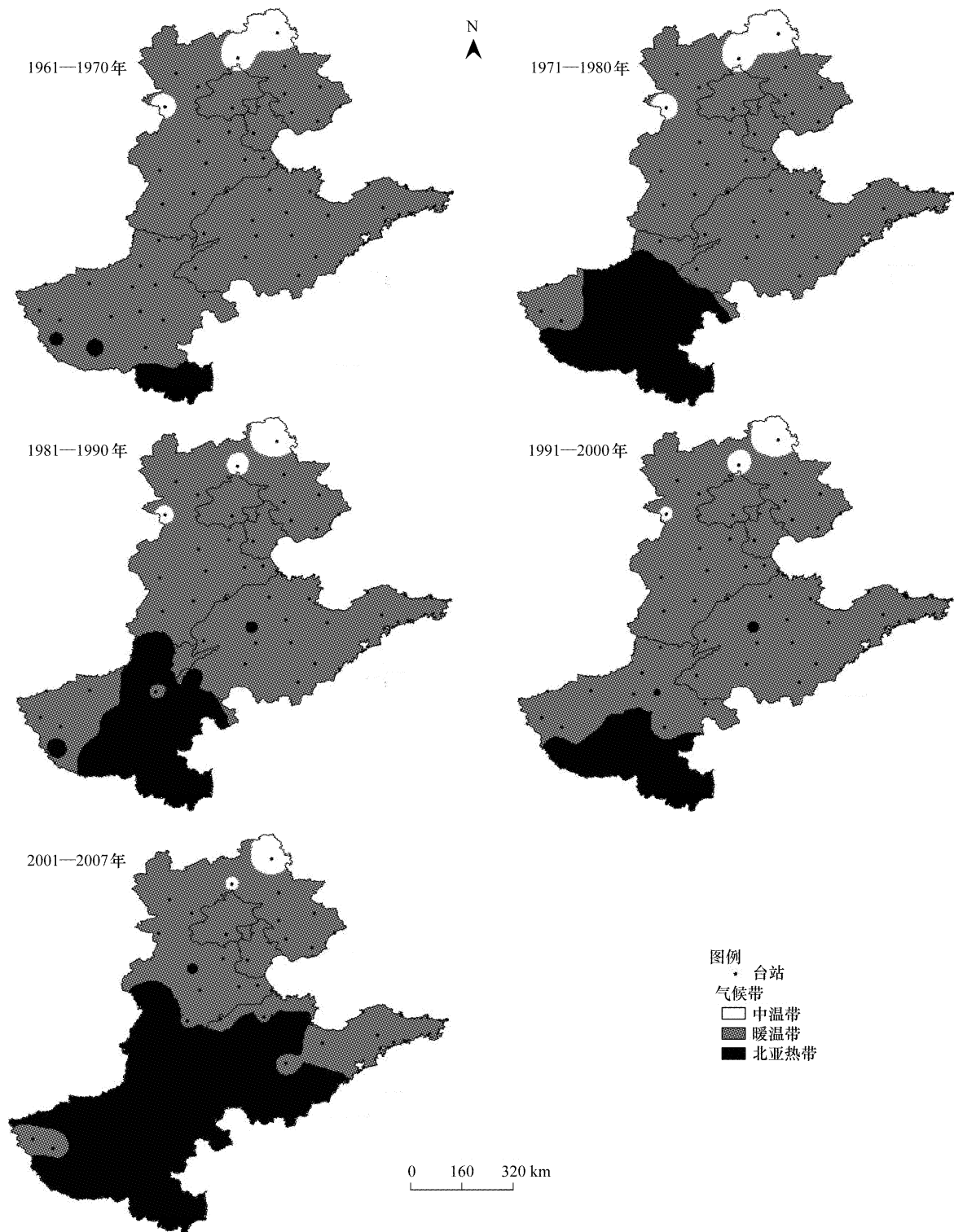


图4 1961—2006 年华北地区气候带空间分布的变化特征

Fig.4 Distribution of climatic zone across the NCP from 1961 to 2006

2.2.2 降水量季节变化特征

依据华北地区的气候特点,将3—5月份划分为春季,6—8月份为夏季,9—11月份为秋季,12—翌年2月份为冬季^[14]。本文在分析全区年降水量空间分布变化趋势的基础上,进而分析其降水量变化的季节空间分布,为计算该区农作物需水量的变化趋势提供依据。

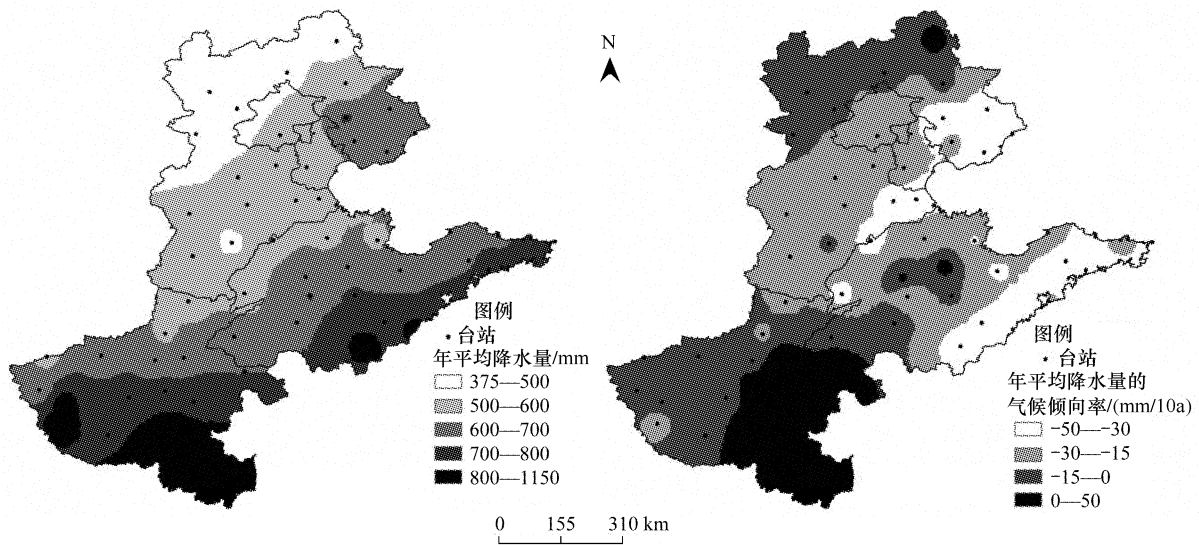


图5 华北平原年降水量的平均状况及气候倾向率,1961—2006

Fig.5 Distribution of average and climatic tendency of annual precipitation across the NCP, 1961—2006

从年降水量季节变化的空间分布特征可以看出(图6):春季,河北省和山东省北部地区春季降水量呈增加趋势,增幅为1—10mm/10a;河南省和山东省南部地区春季降水量平均状况较高,但过去47a呈下降趋势,下降幅度约为0—30mm/10a。春季为该区冬小麦返青后的生长季,降水量的增加在一定程度上缓解春旱的影响。

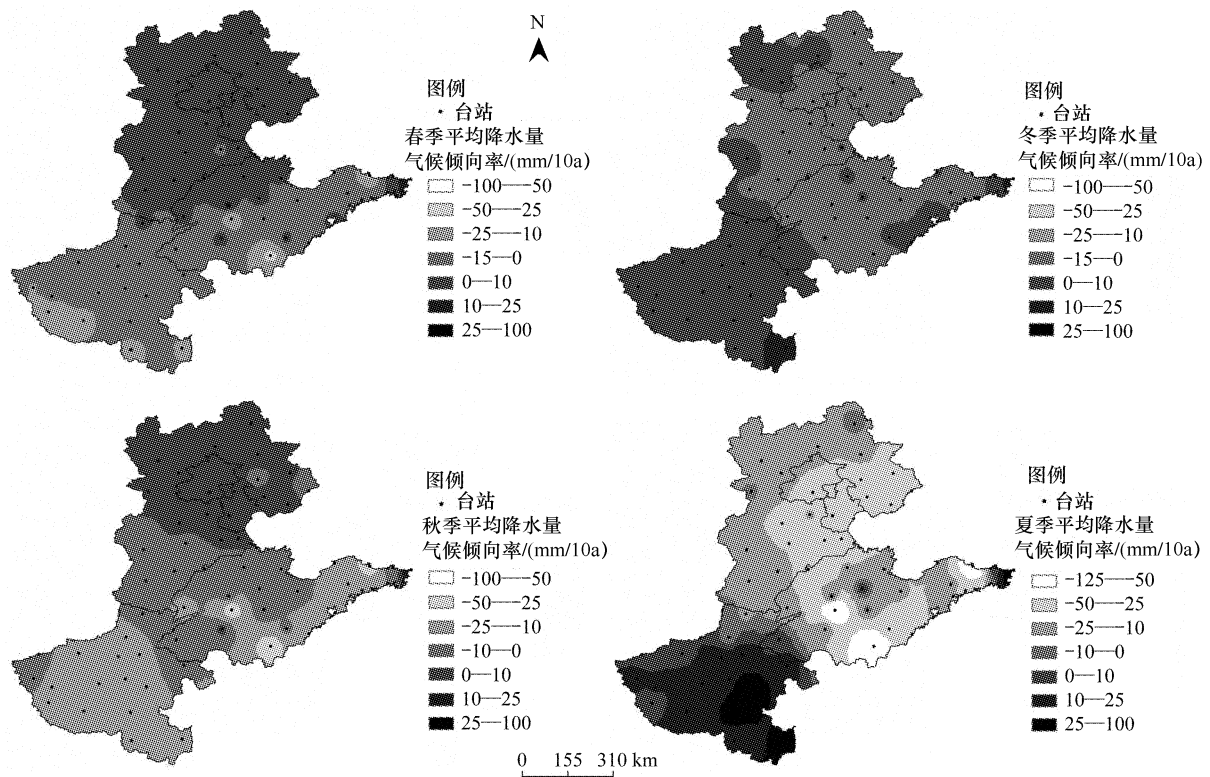


图6 华北平原季节降水量的气候倾向率分布

Fig.6 Climatic tendency distribution of seasonal precipitation across the NCP

夏季,全区降水量空间分布特征表现为:该区中北部呈下降趋势,以河北和山东两省为主,下降速率约在 25—40mm/10a 之间。河南夏季降水量的空间变异较大,北部呈下降趋势,中部和东南部呈上升趋势,尤以尚丘、西华和固始最明显,每 10a 增加 20mm 以上。夏季为华北地区夏玉米生长季,夏季降水量的增加有利于夏玉米生长和发育。

秋季降水量呈河北省北部呈微弱的上升趋势,上升幅度在 0—10mm/10a 左右;该区中部和南部呈下降趋势。冬季降水量的空间分布特征为河北省和山东省东部呈下降趋势,河南及山东西部呈上升趋势,升幅在 2—5 mm/10a。

2.2.3 参考作物蒸散量变化特征

过去 47a,华北平原的气候发生显著变化,必然会影响到基于气象资料计算得到的参考作物蒸散量的变化。华北地区年平均参考作物蒸散量的变化趋势如图 7 所示,呈明显降低趋势,降幅约为 13 mm/10a。下降最明显的在该区域南部,约在 -40 mm/10a 以上;山东东部沿海地区年平均参考作物蒸散量呈增加趋势,增幅最大为 40mm/10a 以上。对于华北地区来讲,参考作物蒸散量的降低在一定程度上反映了该区作物的需水量的变化^[8]。

2.3 光照资源变化特征

该区日照时数的空间分布特征如图 8 所示,全区从北到南日照时数呈明显减少趋势,纬向分布特征非常明显,平均值约为 2400 h/a。过去 47a,华北地区日照时数呈显著下降,每 10a 平均降低 115h/a,山东泰安下降幅度最大(图 8a);如图 8b 所示,全区大中城市附近日照时数下降趋势明显,沿海附近地区的日照时数变化趋势并不明显。

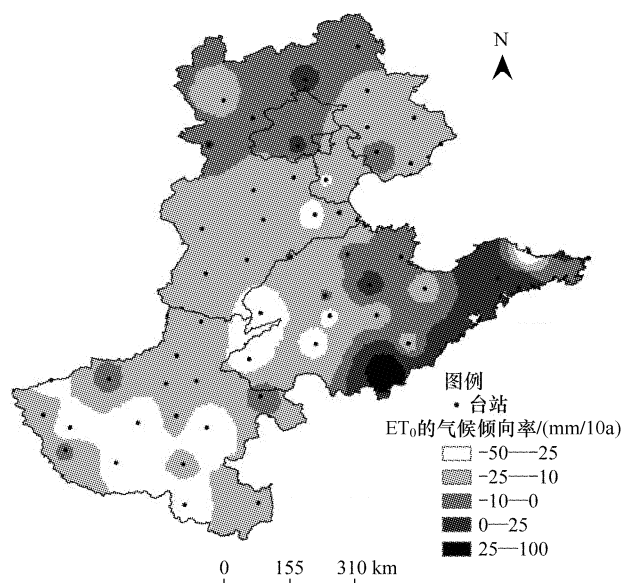


图 7 华北平原年平均参考作物蒸散量气候倾向率分布

Fig. 7 Climatic tendency distribution of annual potential crop evapotranspiration in the NCP

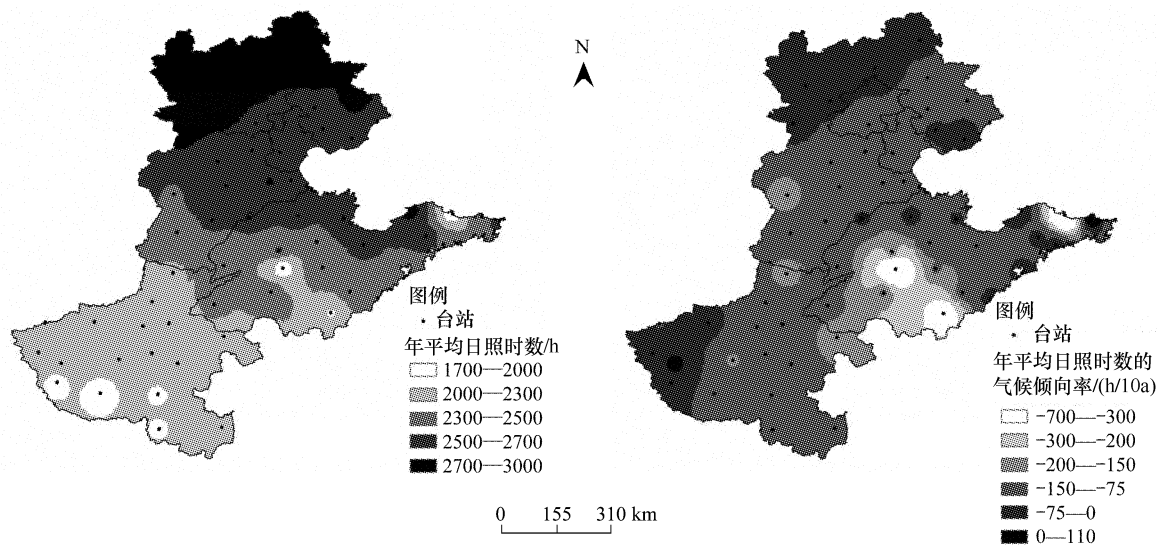


图 8 华北平原年日照时数和气候倾向率分布图

Fig. 8 Climatic tendency distribution of annual sunshine hours in the NCP

3 结论

本文通过对 1961—2007 年,华北平原 59 个典型气象站点的热量、降水和光照等气候资源分析,得到以下结论:

在全球变暖背景下,华北平原热量资源更加丰富。自 20 世纪 80 年代以来,全区 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温呈整体增加趋势,空间分布呈北移东扩的变化特征;且气候带向北移动特征明显,向北移动了 3 个纬度,约 300 多 km。过去 47a,华北地区年降水量呈下降趋势,平均下降速率为 20mm/10a,以秦皇岛、唐山、天津、胶东半岛的减少最为突出。大部分地区的下降趋势未达显著性检验标准。从四季来看,夏、秋两季降水量呈减少趋势,尤以夏季为主,下降速率在 25—40mm/10a 之间;春、冬两季降水量呈微弱增加,但增加幅度小于夏、秋两季的减少幅度。参考作物蒸散量呈整体下降趋势,但减幅小于降水量的变化趋势。过去 47a,全区从北到南日照时数呈明显减少趋势,纬向分布特征明显,每 10a 平均降低 115h/a。全区大中城市附近日照时数下降趋势明显,沿海城市附近日照时数变化趋势并不明显。

4 讨论

热量资源直接决定作物的分布特征和生育期日数,通常用积温作为衡量标准。 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温分别为华北地区作物生长所需积温的最低温度界限^[15]。从图 2 和图 3 可知,研究区域内积温增加、气候带界限向北移动,这一变化有利于气候带变化敏感区域的农业生产和种植制度的变化,但作物所面临的农业气象灾害也将更加复杂,使农业生产的不稳定性增加,如造成作物生育期的缩短,减少作物干物重从源到库转移的时间,影响产量积累。温度的升高,降水量的减少这种暖干趋势,使得华北平原灌溉用水增加,而水资源供需矛盾,将成为该区农业生产面临的主要问题。

References:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Oslo: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
- [2] Ding Y H, Ren G Y, Shi G Y, Guan P, Zheng X H, Zhai P M, Zhang D E, Zhao Z C, Wang S W, Wang H J, Luo Y, Chen D L, Gao X J, Dai X S. National assessment report of climate change (I): climate change in China and its future trend. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(1): 3-8.
- [3] Qin D H, Chen Z L, Luo Y, Ding Y H, Dai X S, Ren J W, Zhai P M, Zhang X Y, Zhao Z C, Zhang D E, Gao X J, Shen Y P. Updated understanding of climate change sciences. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(2): 63-73.
- [4] Miao Q L, Ding Y Y, Wang Y, Duan C F. Impact of climate warming on the distribution of China's thermal resource. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(5): 934-944.
- [5] Wang Z Y, Ding Y H, He J H, Yu J. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years. *Acta Meteorologica Sinica*, 2004, 62(2): 228-236.
- [6] Qin D H, Ding Y H, Su J L, Ren J W, Wang S W, Wu R S, Yang X Q, Wang S M, Liu S Y, Dong G R, Lu Q, Huang Z G, Du B L, Luo Y. Assessment of climate and environment changes in China (I): climate and environment changes in China and their projection. *Advances in Climate Change Research*, 2005, 1(1): 4-9.
- [7] Zuo H C, Lu S H, Hu Y Q. Variations trend of yearly mean air temperature and precipitation in China in the last 50 years. *Plateau Meteorology*, 2004, 23(2): 238-244.
- [8] Liu X Y, Li Y Z, Hao W P. Trend and causes of water requirement of main crops in North China in recent 50 years. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(10): 155-159.
- [9] Lin Y M, Ren H Z, Yu J J, Yao Z J. Balance between land use and water resources in the north China Plain. *Journal of Natural Resources*, 2000, 15(3): 252-258.
- [10] Jiang Y F. Analysis on water scarcity in the North China Plain. *Journal of China Water Resources*, 2000, (1): 23-25.
- [11] Allen R G, Pereira L S, Raes D, Smith M. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998: 37-58.
- [12] National Atlas Editorial Board of the Office. Quaternary Geology and Environment in China. Beijing: SinoMaps Press, 1999.
- [13] Sha W Y, Shao X M, Huang M. Science in China (Series D), 2002, 32(4): 317-326.
- [14] Miao Q L, Wang Y. Dividing the Chinese season and trend characteristic. *Proceedings of Chinese Meteorological Society*, 2007, 693-701.

- [15] Hao Z X, Zheng J Y, Tao X X. Study on northern boundary of winter wheat in Liaoning Province. Chinese Journal of Agrometeorology, 2002, 23 (4): 5-8.

参考文献:

- [2] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 官鹏, 郑循华, 翟盘茂, 张德二, 赵宗慈, 王绍武, 王会军, 罗勇, 陈德亮, 高学杰, 戴晓苏. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.
- [3] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 丁一汇, 戴晓苏, 任贾文, 翟盘茂, 张小曳, 赵宗慈, 张德二, 高学杰, 沈永平. 气候变化科学的最新认知. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 63-73.
- [4] 缪启龙, 丁园圆, 王勇, 段春峰. 气候变暖对中国热量资源分布的影响分析. 自然资源学报, 2009, 24(5): 934-944.
- [5] 王遵亲, 丁一汇, 何金海, 虞俊. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.
- [6] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 任贾文, 王绍武, 伍荣生, 杨修群, 王苏民, 刘时银, 董光荣, 卢琦, 黄镇国, 杜碧兰, 罗勇. 中国气候与环境演变评估(I): 中国气候与环境变化及未来趋势. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 4-9.
- [7] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析. 高原气象, 2004, 23(2): 238-244.
- [8] 刘晓英, 李玉中, 郝卫平. 华北主要作物需水量近 50 年变化趋势及原因. 农业工程学报, 2005, 21(10): 155-159.
- [9] 林耀明, 任鸿遵, 于静洁, 姚治君. 华北平原的水土资源平衡研究. 自然资源学报, 2000, 15(3): 252-258.
- [10] 蒋业放. 华北地区缺水分析. 中国水利, 2000, (1): 23-25.
- [12] 国家地图集编纂委员会. 中华人民共和国国家自然地图集, 北京: 中国地图出版社, 1999.
- [13] 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限的影响. 中国科学(D), 2002, 32(4): 317-326.
- [14] 缪启龙, 王勇. 中国四季的划分及变化特征分析. 中国气象学会年会论文集, 2007, 693-701.
- [15] 郝志新, 郑景云, 陶向新. 辽宁省冬小麦种植北界研究. 中国农业气象, 2002, 23(4): 5-8.