

京津冀地区气候类型划分及其动态变化

郝 然^{1,2}, 王 卫^{1,2*}, 郝 静^{1,2}

(1.河北师范大学资源与环境科学学院, 石家庄 050024; 2.河北省环境演变与生态建设实验室, 石家庄 050024)

摘 要: 按照与现行全国气候分类或分区方案具有可比性和同时反映京津冀地区气候分类的特殊性原则, 以京津冀地区 56 个气象站点 1961—1990 年和 1981—2010 年 2 个时段的累年月值和日值观测数据为基础, 采用日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数指标划分温度带, 应用校正的 FAO56-Penman-Monteith 模型估算潜在蒸散量并计算年干燥度, 采用年干燥度指标并参照地带性植被土壤分布界线划分干湿型。结果表明, 研究区共划分 6 种气候类型。2 个时段的气候类型时空变化表明, 近 30 年来京津冀地区暖干化趋势明显, 突出表现在, 中温带南界明显北移, 中温带范围缩小, 而暖温带范围扩大。从局地尺度看, 区域西北部和南部的邢台、邯郸变暖趋势最为明显, 变暖趋势最小的是包括承德南部、唐山北部的燕山山地区; 东部沿海地区变干趋势最为明显, 其次是西北部地区, 变化较小的是区域东北部和西南部。

关键词: 京津冀; 气候类型; 动态变化

中图分类号: P462

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2017)04-0670-07

Classification of climate types and dynamic change in Beijing-Tianjin-Hebei region

HAO Ran^{1,2}, WANG Wei^{1,2}, HAO Jing^{1,2}

(1. School of Resource and Environmental Science, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024;

2. The Key Laboratory of Environmental Evolution and Ecology Construction of Hebei Province Shijiazhuang 050024)

Abstract: According to the national climate classification or partition scheme, and considering that the principle should reflect its specificity of the climate classification in Beijing-Tianjin-Hebei region, we calculated the yearly evapotranspiration and aridity index by FAO56-Penman-Monteith model based on the monthly observation data from 56 meteorological stations in the region of Beijing-Tianjin-Hebei during the period 1961-1991 and 1981-2010, using the days with the daily average temperature keeping steady at 10°C or higher as an indicator to divide the temperature zone. The annual aridity index was used to divide the dry and wet type according to the zonal soil distribution. The results showed that the Beijing-Tianjin-Hebei region could be divided into six climate types. It obviously showed a decreasing trend of dry and warmth in the Beijing-Tianjin-Hebei region during the past 30 years after comparing the temporal and spatial variations in the two periods of climate classification. The southern borderline of the middle temperate zone moved northward obviously, the middle temperate zone climate diminished, and the warm temperate zone expanded. From the local scale, three areas, including the area in northwest and south of Xingtai, Handan, was getting warmer distinctly, while the smallest warming trend included Chengde, Yanshan mountain of northern Tangshan; the eastern coastal areas had an obvious dry trend, followed by the northwest area, and the smallest climate change were the northeast and the southwest areas.

Key words: Beijing-Tianjin-Hebei region; climate regionalization; dynamic change

在全球气候变暖的背景下, 中国气候也呈现变暖趋势, 但由于幅员辽阔, 地理环境差异较大, 造成区域尺度上变暖程度不尽相同, 因此研究区域尺

度的气候变化有十分重要意义。气候类型是与自然景观(植被与土壤)类型相一致的气候单元^[1-2], 从气候类型时空变化入手研究气候变化, 有利于认识

收稿日期: 2016-12-12

基金项目: 国家自然科学基金(41471091)和河北省自然地理学重点学科项目共同资助。

作者简介: 郝 然, 硕士研究生。E-mail: hraoan@163.com

* 通信作者: 王 卫, 教授, 博士生导师。E-mail: wangwei@hebtu.edu.cn

气候变化对自然景观的影响, 是气候变化研究的重要视角。

近百年来, 国内外学者对气候分类进行了大量研究, 现行的全球尺度的气候分类体系主要有 2 种, 一是柯本气候分类法, 以气温、降水及其季节变化作为分类依据, 并参照自然植被的分布进行气候分类^[3]; 二是 A.N.斯特拉勒的气候分类法, 其分类依据是不同源地、不同性质气团的动态和锋面的位置及其季节性位移, 气候类型界线的确定按照 C.W.桑斯维特提出的水热平衡指标与计算方法, 同时参照自然景观类型的分布^[4]。可见, 世界上最著名的气候分类法在确定气候类型界线时都参照了自然景观类型界线的分布。

中国学者对中国气候分类或分区进行了大量研究, 从 20 世纪 50 年代的中国科学院自然区划委员会第一次较系统地编制完成全国气候区划方案^[5], 到 20 世纪 70 年代末, 中央气象局将全国划分为 10 个气候带、22 个气候大区、45 个气候区^[6], 再到郑景云等的中国气候区划新方案^[7], 全国尺度的气候分类或分区研究逐渐完善。在温度带(气候带)划分指标上形成了年内日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数为主、积温总量为辅的基本指标; 在干湿型(气候型)划分指标上以年干燥度为基本指标; 在年干燥度的计算方法上从早期的经张宝堃修正的谢良尼诺夫经验公式^[5], 转换到现行的经校正的 FAO56-Penman-Monteith 模型^[8]; 在气候类型或气候区划的界线指标值确定上均遵循了参照自然景观类型分布的原则。到目前为止, 在全国尺度的气候分类或区划方法中还存在一些不完善的问题, 例如, 以年干燥度 1.5 作为划分半干旱气候和半湿润气候的界线指标, 虽然适用于全国绝大部分区域, 但在少数区域并不适用, 尤以暖温带半湿润/半干旱气候的界线划分最为突出。如果参照森林草原与干草原的景观界线, 则年干燥度界线应大体为 1.80 以上^[9], 因此不得不引入年降水量作为辅助指标^[7], 影响了划分指标的简洁性。

中国区域尺度的气候分类或分区研究的特点表现为在全国尺度基础上的进一步细化, 一方面表现为气候类型的进一步细分, 如苏剑勤等编制的河北省气候区划^[10]方案中将全国方案的半干旱气候(年干燥度 1.5~4.0)细分为亚干旱气候(年干燥度 1.5~2.0)和较干旱气候(年干燥度 2.1~4.0), 以适应区域尺度的气候分类或分区应用的需要; 另一方面表现为气候界线的精细化, 即通过加密气象站点以实现与全国尺度相比气候界线的进一步精细化。与全

国尺度相比, 目前区域尺度的气候分类或分区在划分指标和划分方法等方面尚不统一, 以河北省的 2 个气候类型或区划研究^[10-11]为例, 在年干燥度计算方法上, 早期的研究方案使用修正的谢良尼诺夫公式, 目前的研究方案使用 FAO56-Penman-Monteith 模型, 导致划分指标和划分结果均缺乏可比性。

针对区域尺度气候分类或分区划分方法缺乏一致性的问题和京津冀地区气候型(干湿型)划分指标与全国大多数区域不一致的问题, 本研究采用经校正的 FAO56-Penman-Monteith 模型进行潜在蒸散量计算继而计算年干燥度, 增强与全国尺度气候分类或分区方案的可比性; 同时按照气候类型界线与自然景观类型界线相一致的原则, 突出本研究区某些干湿类型划分的特殊性, 对京津冀地区进行气候类型的划分。并将 1961—1990 年和 1981—2010 年 2 个时期的气候类型划分结果进行对比分析, 研究其动态变化特征。

1 研究方法

1.1 数据来源

采用 1961—1990 年和 1981—2010 年 2 个时段的累年月值观测数据和累年日值观测数据, 包括月

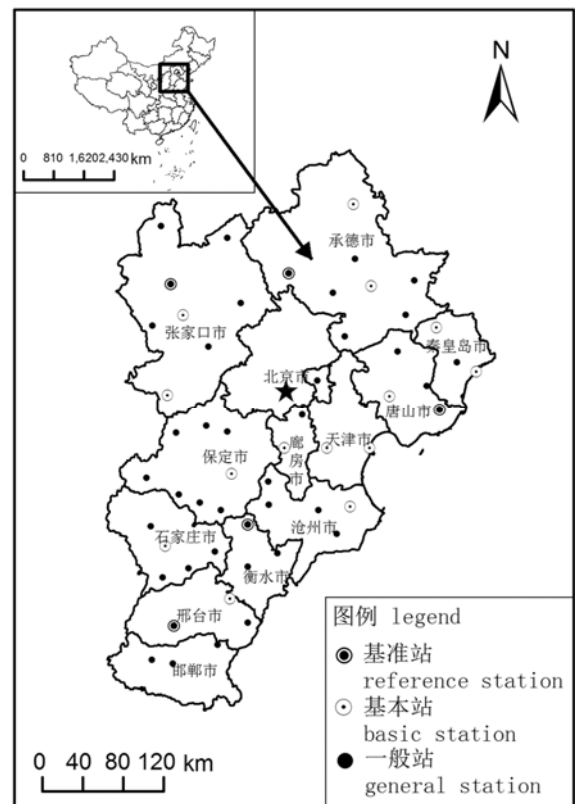


图 1 研究区地理位置与气象站点

Figure 1 The distribution of meteorological stations by selected in study area

平均最高、最低和平均气温、月平均日照时数、月平均风速、月平均相对湿度、月平均降水量和日平均气温等。根据空间分布的均衡性和特殊性,选取了京津冀地区的56个气象站点(图1),气象资料来源于河北省气象局和中国气象数据共享网。

1.2 分类体系与指标

遵循与现行全国气候分类或分区方案具有可比性和同时反映京津冀地区气候分类的特殊性原则,制定京津冀地区气候类型划分指标体系(表1)。

1.2.1 温度带划分指标 温度带划分指标大致分为两类,一类是以日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的积温作为温度带划分指标,二是以日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数为温度带划分指标。由于后一指标能更为准确地表达中国全国尺度上温度条件的地域分异,所以这一指标已被中国科学院^[12]、中央气象局^[13]等多个部门用来划分全国尺度的温度带(气候带)。针对京津冀地区,本研究也采用日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数作为温度带划分指标,具体分类指标见表1。

1.2.2 干湿型划分指标 经过多年探索,中国在全国尺度上已经形成以年干燥度为基本指标和以经校正的FAO56-Penman-Monteith模型为基本方法的干湿型划分指标与方法体系。为了增加与全国尺度划分结果的可比性,京津冀地区干湿型划分也采用年干燥度指标(表1)。

1959年黄秉维等在中国综合自然区划中,把年干燥度值1.5作为划分半干旱和半湿润区的界线,1985年席承藩等在进行中国自然区划中,同样也把年干燥度值1.5作为划分半干旱和半湿润区的界线^[14],

但是前者干燥度的计算是采用的张宝堃修正的谢良尼诺夫经验公式^[5],后者则采用Penman公式进行计算^[15]。郑景云等的中国气候区划新方案中也把1.5作为划分半干旱半湿润区界线,同时选取了年降水量作为辅助指标。本研究对京津冀地区干湿型划分首先采用在全国尺度使用最为广泛的年干燥度1.5作为半湿润类型和半干旱类型的界线。同时,考虑到区域的特殊性,根据本区域水平地带性土壤褐土分布的西界和北界^[16](见图2)所对应的年干燥度值1.87(按照1961—1990年整编数据计算),在半干旱类型中又划分出一个半干旱偏湿类型,该类型对应的自然景观为森林草原,年干燥度为1.50~1.87(表1),之所以采用水平地带性土壤褐土分布界线作为确定半干旱偏湿型和半干旱型气候的分界依据,原因在于较植被而言,本地区土壤更具原生性和稳定性,植被分布由于人类活动原因,大多已为次生或人工植被。上述特殊性也为国内一些学者所认识,张新时研究发现暖温带落叶阔叶林地帯(本研究区典型植被)干燥度偏高,一般在1.0~1.80,极大值可达2.03,表明该地带强度旱化或草原化^[9]。吴绍洪的研究认为全国大多数站点用干湿指数划分的干湿类型与用年降水量和植被状况表征的干湿类型较为一致,湿润和干旱类型的一致性比半湿润和半干旱类型高,即处于过渡地带的干湿状况更为复杂^[17]。因此认为,仅仅将干燥度大于1.5的地区都划分为半干旱类型对于本研究区气候类型划分太显粗糙,所以需要根据年干燥度指标与自然景观分布的一致性来增加新的气候干湿型,以便加深对研究区气候类型及其时空变化的认识。

表1 京津冀地区气候分类指标体系

Table 1 Criteria of climate regionalization of Beijing-Tianjin-Hebei region

分类体系 Classification system	符号 Symbol	名称 Name	指标 Index
一级: 温度带 Level 1: temperature zone	I	中温带 The mid-temperate zone	年日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数 100~170 d The average daily temperature stability of more than 10°C for days from 100 to 170
		暖温带 The warm temperate zone	年日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数 170~220 d The average daily temperature stability of more than 10°C for days from 170 to 220
二级: 干湿型 Level 2: dry-wet type	A B C	半干旱型 Semi-arid type	年干燥度 ≥ 1.87 Aridity ≥ 1.87
		半干旱偏湿型 Semi-arid and humid type	年干燥度 1.50~1.87 Aridity from 1.50 to 1.87
		半湿润型 Semi humid type	年干燥度 1.00~1.50 Aridity from 1.00 to 1.50

1.3 分类方法

1.3.1 日均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数的计算方法 年日平均气

温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数的计算较为简单,利用EXCEL来计算所选站点一年中的日数。

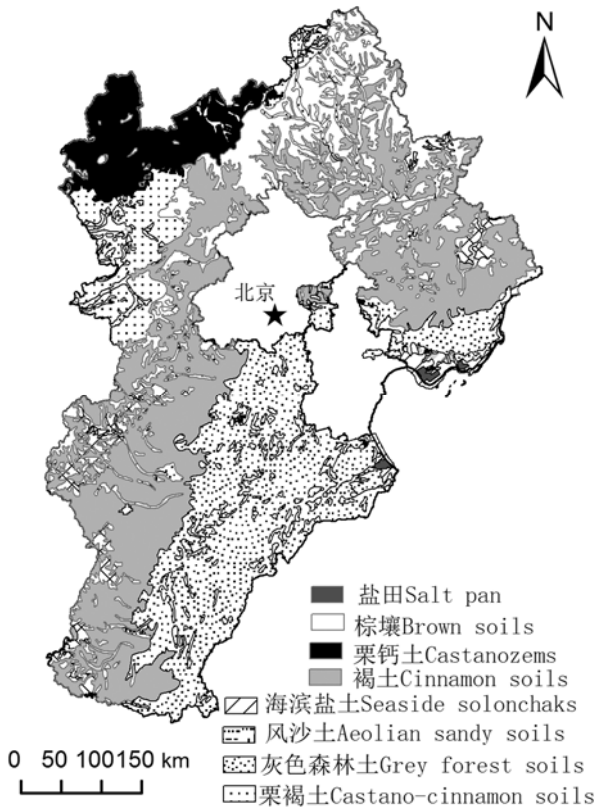


图 2 河北省主要土壤类型分布

Figure 2 Distribution of soil type in Hebei Province

1.3.2 干燥度的计算方法 干湿型的划分需要依据潜在蒸散量和干燥度。潜在蒸散的长期观测资料很难获得, 通常采用模型模拟。1998 年联合国粮农组织 (FAO) 根据假想的参考作物面改进了 Penman-Monteith 模型^[18], 参考作物类似于同一高度, 生长旺盛、完全覆盖地面、水分充足的广阔绿色植被 (高 0.12 m, 表面阻力为 $70 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$, 反射率为 0.23)。该模型综合了空气动力学的湍流传输与能量平衡, 考虑了植被的生理特征, 在干旱和湿润条件下准确性都相对较高。该模型已在世界范围内得到广泛应用, 其计算公式是

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

式中, R_n 为净辐射 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$), G 为土壤热通量 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$), γ 为干湿常数 ($\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$), Δ 为饱和水汽压曲线斜率 ($\text{kPa} \cdot \text{C}^{-1}$), T 为平均温度 ($^{\circ}\text{C}$), U_2 为 2m 高处的风速 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), e_a 为实际水汽压 (kPa), e_s 为饱和水汽压 (kPa)。

在净辐射的计算中, 经验系数的选值对其准确性产生很大影响, 经验系数具有局限性, 只适用于具体地区, 不具有普遍性。为此, 本研究根据国内

学者提出的适合在中国使用的净辐射计算方法^[8], 计算公式如下:

$$R_n = 0.77 \times \left(0.20 + 0.79 \frac{n}{N} \right) R_{so} - \sigma \left[\frac{T_{x,k}^4 + T_{n,k}^4}{2} \right] \times (0.56 - 0.25 \sqrt{e_a}) \left(0.1 + 0.9 \frac{n}{N} \right)$$

干燥度是从大气水分平衡角度出发, 用以反映某一地区的全年气候干湿状况, 干燥度计算公式为:

$$I = \frac{ET_0}{P}$$

式中, I 为干燥度指数; ET_0 为潜在蒸散量 (mm), P 为降水量 (mm)。干燥度的值越大, 表明该区气候越干燥; 反之, 干燥度的值越小, 则气候越湿润。

1.3.3 插值方法 根据上面的公式和计算方法得到 56 个站点的年日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数和年干燥度, 再利用 ARCGIS 软件中的 Universal Kriging 插值进行由点到面的插值, 然后将两者做叠加分析, 制作研究区 2 个时段的气候类型图。

2 结果与分析

2.1 研究区概况

京津冀地区包括北京市、天津市和河北省, 位于 $36^{\circ}03' \sim 42^{\circ}40' \text{ N}$, $113^{\circ}27' \sim 119^{\circ}50' \text{ E}$, 处于中纬度亚欧大陆的东岸。全区地势西北高、东南低, 从西北向东南呈半环状逐级下降。从西北向东南依次为坝上高原、燕山和太行山地以及河北平原。京津冀地区的气候属于温带半湿润半干旱大陆性季风气候, 四季分明。夏季炎热潮湿、雨量集中; 冬季寒冷干燥、雨雪稀少。河流较多, 外流河为主。土壤类型较多, 褐土分布最广, 潮土次之, 棕壤第 3, 主要地带性土壤也呈现自东南向西北方向演替, 即呈现褐土 (棕壤) — 栗钙土 (栗褐土) 的依次更替。该地区最主要的自然植被类型是落叶阔叶林, 草原植被主要分布在坝上高原, 由于开发历史悠久, 该地区存在众多人工植被类型, 以草本农作物类型为主^[19]。

2.2 气候类型划分结果与动态变化

根据前述划分指标与研究方法, 本研究分别计算了 56 个气象站点的年日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数和年干燥度, 日均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数值为 114~228 d, 年干燥度值为 1.0~2.4。应用 ARCGIS 差值方法分别绘制 1961—1990 年 (图 3) 和 1981—2010 年 (图 4) 京津冀气候类型图, 以 20 年为时间尺度, 研究该时间尺度内的气候类型动态变化情况。研究

区划分为2个温度带,3个干湿型,共6种气候类型,分别是中温带半干旱气候、中温带半干旱偏湿气候、中温带半湿润气候、暖温带半干旱气候、暖温带半干旱偏湿气候和暖温带半湿润气候。

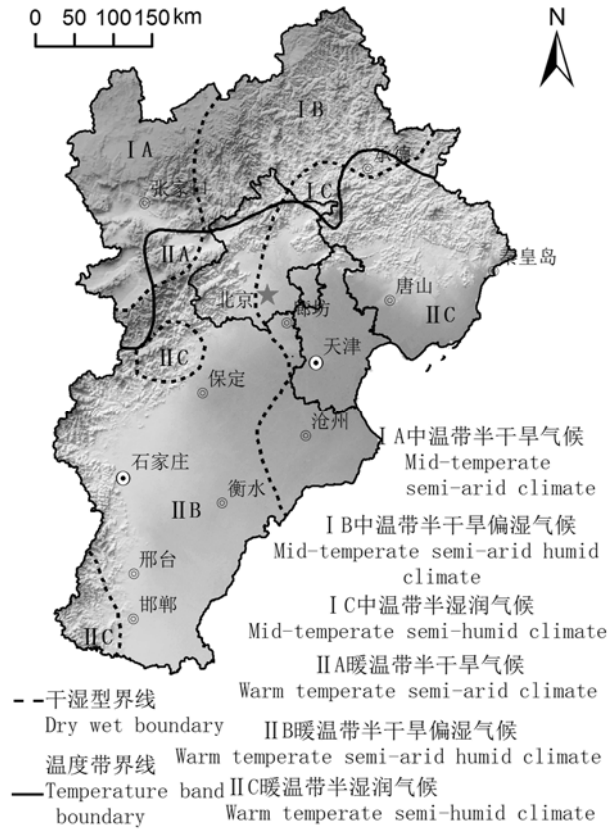


图3 1961—1990年京津冀地区气候类型

Figure 3 Climate types of Beijing-Tianjin-Hebeiregion from 1961 to 1990

从温度带划分结果看,1961—1990年时段中温带与暖温带的界线与1985年中国科学院区划结果和苏剑勤等河北气候区划结果较为一致。1981—2010年时段中温带与暖温带的界线与郑景云等完成的中国气候区划新方案的结果较为相近。比较2个时段的温度带界线划分结果可以发现,中温带与暖温带界线整体明显北移,其中,区域西部北移距离明显大于东部。说明近30年来京津冀地区呈现明显的气温升高态势。

从干湿型划分结果看,1961—1990年的半干旱型气候分布在张北高原、桑干河间山盆地、洋河丘陵盆地,干燥度在1.87~2.3,到1981—2010时期,该类型的分布范围变化不明显,略有一定程度的东扩。1961—1990年时段的半湿润气候类型分布在3个独立的区域,分别是由承德南部、唐山、秦皇岛、天津、北京东部、沧州和衡水东部组成的东部区域,

邯郸西部山区,涞源-易县一带的太行山北段。与之相比,1981—2010年时段的半湿润类型范围明显缩小,尤其是东部区域的西部界线明显东缩,同时涞源-易县一带的太行山北段的半湿润气候型则完全消失。半干旱偏湿气候型是面积所占比例最高的类型,1981—2010年时段相比于1961—1990年时段,该类型分布范围扩大明显。综上所述,京津冀地区整体变干趋势较为明显,这一结果与已有研究提出的观点基本一致^[20-22]。全区半干旱偏湿气候型的分布范围明显扩大,而作为森林草原景观的临界气候型会对气候暖干化变化非常敏感,这一点应当引起高度重视。

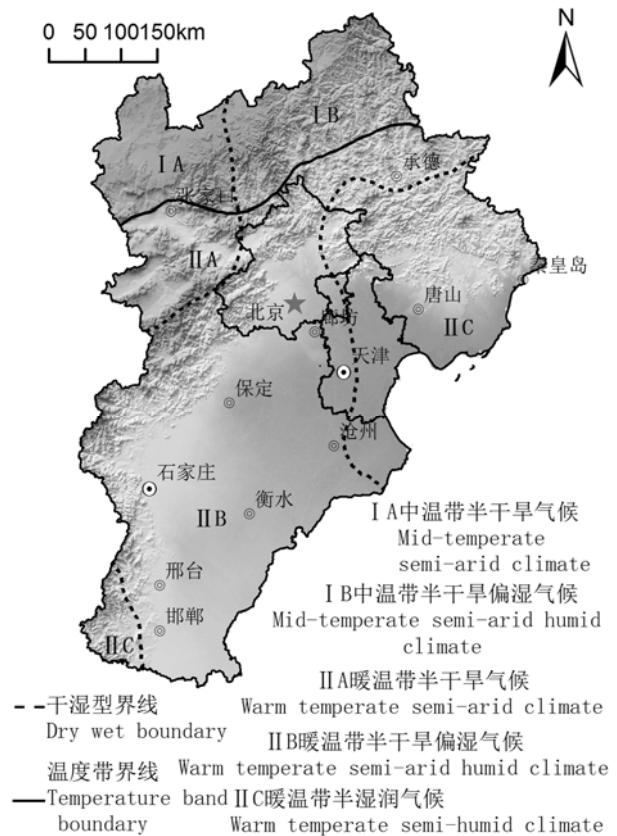


图4 1981—2010年京津冀地区气候类型

Figure 4 Climate types of Beijing-Tianjin-Hebeiregion from 1981 to 2010

从气候类型划分的结果看,气候类型种类由1961—1990年时段的6种减少至1981—2010年时段的5种,中温带半湿润气候在后一时段出现了缺失,早期的中温带半湿润气候转为暖温带半湿润气候。中温带半干旱气候的东界略有东移,南界北移明显,该气候类型范围缩小,而暖温带半干旱气候范围增大,即早期属于中温带半干旱气候的范围转变为暖温带半干旱气候。河北平原中南部大体属于

暖温带半干旱偏湿气候, 1981—2010 年时段和 1961—1990 年时段相比, 该气候类型明显向北、东、西 3 个方向扩展, 原本属于暖温带半湿润气候的沧州西部、天津西部和北京东南部等地转为暖温带半干旱偏湿气候; 由于同样原因, 易县—涞源一带的太行山北段由原来的暖温带半湿润气候转变为暖温带半干旱偏湿气候。此外, 邯郸西部太行山山区属于暖温带半湿润气候, 在 2 个研究时段内气候类型分布范围没有明显变化。

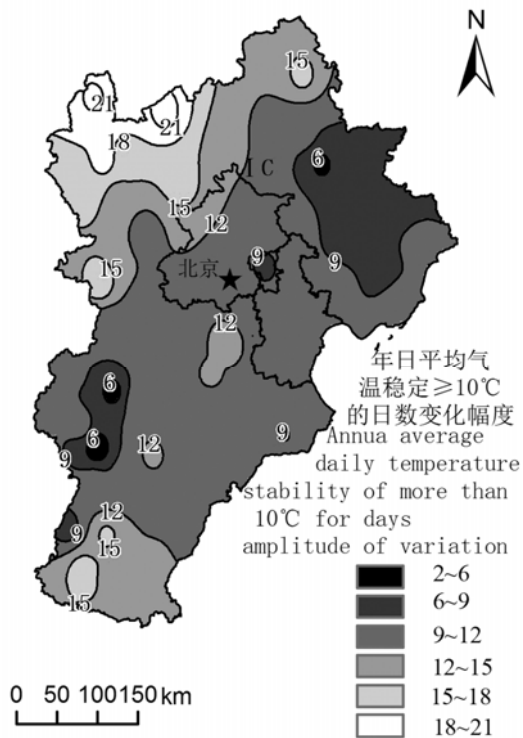


图 5 2 个时段累年日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数变化等值线
Figure 5 Contours of change of the average daily temperature stability of more than 10°C for days in two periods

2.3 局地尺度的动态变化

上述研究发现, 在区域尺度上, 京津冀地区的气候类型在 2 个研究时段发生较明显变化, 变干变暖趋势明显, 但其内部局地尺度的温度变化和干湿状况的变化却不尽相同。分析两个研究时段的累年日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数可见, 1981—2010 年时段相比于 1961—1990 年时段, 所有地区的日数都有不同程度的增加 (图 5), 其中, 冀西北地区日数增加幅度最大, 其中涿源达到 22 d, 由原来的 114 d 增加到 136 d; 其次是冀南地区, 邢台、邯郸等地的累年日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数增加 15 d 左右; 而冀东和冀中地区累年日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数增加最少, 其中石家庄增加程度最小, 增加 2 d。

虽然局地温度变化程度有所差异, 但整体变暖的趋势确定无疑。相比而言, 研究区的干湿状况变化则相对复杂 (图 6), 整体呈现变干趋势, 但也有少量干燥度下降的地区, 最明显的是石家庄, 1981—2010 年时段相比于 1961—1990 年时段年干燥度降低 0.09。变干趋势最明显的地区是包括天津在内的东部沿海一带, 其中河间、乐亭干燥度增加 0.2 以上。

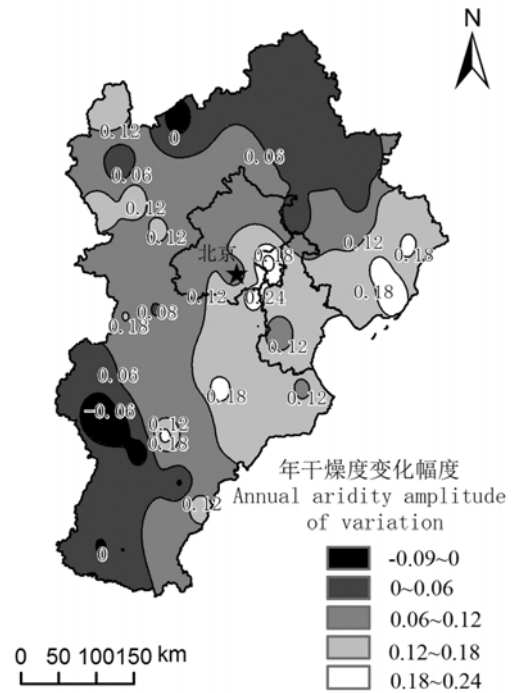


图 6 2 个时段干燥度变化等值线图
Figure 6 Contours of the change of aridity index in two periods

3 讨论与结论

本研究以京津冀地区 56 个气象站点 1961—1990 年时段和 1981—2010 年时段的累年月值和日值观测数据为基础, 采用国内较成熟的经校正的 FAO56-Penman-Monteith 模型估算潜在蒸散量并计算年干燥度, 提出了以干草原和森林草原分界线/褐土棕壤分布北界为确定干燥度指标的重要依据, 从而划分气候的干湿型, 进而开展京津冀气候类型划分, 主要结论如下。

(1) 根据京津冀地区年干燥度与自然景观类型匹配的特殊性, 提出了以水平地带性土壤褐土分布的西界和北界 (即干草原与森林草原的分界线) 为确定干燥度指标的重要依据, 把年干燥度 1.87 作为划分京津冀地区半干旱气候型和半干旱偏湿气候型的界限值。既充分考虑了与全国尺度气候分类或分区方案的可比性, 又反映了区域尺度的特殊性, 细化了研究区的气候类型划分, 使之准确地反映真实

气候状况。

(2) 京津冀地区共划分为6种气候类型,分别是中温带半干旱气候、中温带半干旱偏湿气候、中温带半湿润气候、暖温带半干旱气候、暖温带半干旱偏湿气候和暖温带半湿润气候。通过对比1961—1990年时段和1981—2010年时段的气候类型发现,20年间,京津冀地区气候暖干化趋势明显。具体表现在:中温带南界北移,中温带范围缩小,而暖温带范围扩大。东部沿海地区的半湿润型范围明显缩小,太行山北段半湿润型消失,半干旱偏湿型范围明显扩大;半干旱型范围没有明显变化。从局地尺度看,区域西北部和南部的邢台、邯郸变暖趋势最为明显,变暖趋势最小的是包括承德南部、唐山北部的燕山山地区;东部沿海地区变干趋势最为明显,其次是西北部地区,变化较小的是区域东北部和西南部,也存在个别转湿的小区域。

本研究存在一些需要进一步讨论的问题:一是插值方法的应用,本研究只选取了Universal Kriging插值方法,按照经验参数进行设定,选取了数理统计上的最佳数值,但并不一定是实际上最佳数值,也就可能导致插值结果与真实气候状况有所差异。今后还需要在插值方法的选取上进行更多的试验,以便进一步优化插值方法。二是进行干湿型划分时以参考地带性植被和土壤界线作为确定干燥度指标的重要依据,本研究只是针对京津冀地区气候类型划分提出把干燥度1.87作为划分半干旱偏湿气候型和半干旱气候型的界限值,这一指标是否适用于其他区域,还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘多森. 中国土壤分布与气候条件的联系[J]. 土壤学报, 1983, 20(1): 60-68.
- [2] 陈育峰. 自然植被对气候变化响应的研究-综述[J]. 地理科学进展, 2011, 16(2): 70-77.
- [3] KOTTEK M, GRIESER J, BECK C, et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated[J]. Meteorol Z, 2006, 15(3): 259-263.
- [4] STRAHLER A N, STRAHLER A H. Modern Physical Geography[M]. 3 rd. New Jersey: Wiley & Sons, Incorporated, John, 1987.
- [5] 张宝堃, 朱岗昆. 中国气候区划(初稿)[M]. 北京: 科学出版社, 1959.
- [6] 中央气象局. 中华人民共和国气候图集[M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [7] 郑景云, 尹云鹤, 李炳元. 中国气候区划新方案[J]. 地理学报, 2010, 65(1): 3-12.
- [8] YIN Y H, WU S H, ZHENG D, et al. Radiation calibration of FAO56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China[J]. Agr Water Manage, 2008, 95(1): 77-84.
- [9] 张新时. 植被的 PE (可能蒸散) 指标与植被-气候分类(一)-几种主要方法与 PEP 程序介绍[J]. 植物生态学报, 1989, 13(1): 1-9.
- [10] 苏剑勤, 程树林, 郭迎春. 河北气候[M]. 北京: 气象出版社, 1996.
- [11] 杨彬云, 吴荣军, 关福来. 基于潜在蒸散和干燥度指数的河北农业气候区划[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 214-246.
- [12] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理: 气候[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [13] 中央气象局. 中华人民共和国气候图集[M]. 北京: 地图出版社, 1979.
- [14] 席承藩. 中国自然区划概要[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [15] PENMAN H L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass[C]//Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. London: The Royal Society, 1948, 193(1032): 120-145.
- [16] 任美镔, 包浩生. 中国自然区域及开发整治[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [17] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 近 30 年中国陆地表层干湿状况研究[J]. 中国科学(D 辑), 2005, 35(3): 276-283.
- [18] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998, 300(9): D05109.
- [19] 王卫, 冯忠江, 陈辉. 河北地理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2012.
- [20] YANG J P, DING Y J, CHEN R S. The fluctuations of dry and wet climate boundary and its causal analyses in China[J]. Acta Meteorol Sin, 2004, 18(2): 211-226.
- [21] 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[J]. 科学通报, 2005, 50(15): 1636-1642.
- [22] QIAN W H, QIN A. Precipitation division and climate shift in China from 1960 to 2000[J]. Theor Appl Climatol, 2008, 93(1): 1-17.