

基于非线性相似度量方法研究中国季节划分*

孙树鹏¹⁾ 张璐¹⁾ 侯威^{2)†} 封国林²⁾³⁾

1)(兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

2)(国家气候中心, 北京 100081)

3)(北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院, 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

(2010年3月9日收到; 2010年5月24日收到修改稿)

利用中国气象局1961—2008年752个站点的候平均气温、气压、相对湿度和降水量资料, 运用候平均气温划分方法、非线性相似度量方法和季节内离差最优分割方法, 对中国的四季进行了划分, 并研究了中国四季起始时间的空间分布. 用多要素构造了描述气候状态的变量, 以气候状态在不同季节间的转折变化为切入点, 并与传统季节划分方法进行了对比研究, 验证了非线性相似度量方法的可行性, 得到了以下研究结果: 一是多要素比单一的温度要素更全面贴切地描述气候状态的变化, 划分结果更体现出大气环流形势和大气活动中心等的季节变化; 二是从气候状态转折角度考虑季节划分是可行的, 揭示了季节转换时大气系统的调整和转折变化, 体现了大气系统在季节内保持相对平稳的特征, 在季节间发生较大的调整的观测事实.

关键词: 季节划分, 非线性相似度量方法, 季节内离差最优分割法

PACS: 92.05.Fg, 92.60.Ry

1. 引言

早在1934年, 张宝堃^[1]提出采用当地候平均气温来划分四季; 张家诚和林之光^[2]、缪启龙和王勇^[3]先后利用该方法研究了中国的四季分布情况; 1956年刘匡南和钨鸿勋^[4]从周期降水总量、气温的演变、活动中心的变化等角度探讨了中国的季节划分问题; 曾庆存等^[5-7]提出利用两个场的相关系数作为其相似性度量指标, 并由此定义大气环流的季节划分标准; 董文杰等^[8]根据各测站多年平均温度序列定义了适合其自身季节变化的温度判据, 并考察了季节变化对全球增暖的响应.

季节变化可以看做是当地的天气气候系统在太阳辐射和下垫面性质等外强迫影响下, 受大尺度甚至全球天气气候状态影响而发生的自身性质的演变. 季节变化除了受太阳直射角变化影响外, 更主要是受大气环流和天气系统变化的影响, 所以季节变化体现在天气气候系统的各个方面, 包括温

度、气压、相对湿度、风和降水量等各气象要素. 本文选取候平均气温、气压、相对湿度和降水量等四个要素, 然后以其经验正交函数(EOF)分解第一特征向量所占总解释方差的百分比为权重系数, 构造气候状态变量 F 来考察天气气候系统的季节变化. 气候状态的演变在季节内相对平稳, 在季节间有较大的转折变化, 因此本文以气候状态在不同季节间的转折变化为切入点, 考虑气候状态与四季典型状态之间相似性度量的变化情况进行季节划分的研究, 且与“候平均气温划分方法”和“季节内离差最优分割法”进行了对比分析.

2. 资料和方法

2.1. 资料

资料来源于国家气象信息中心提供的中国752个地面气象观测站气候资料数据集. 资料预处理如下: 1) 选择满足1961—2008年连续观测要求的站

* 国家自然科学基金(批准号:40875040, 40930952)、公益性行业(气象)科研专项基金(批准号:GYHY200806005)和国家重点基础研究发展计划(批准号:2006CB400503)资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: houwei@cma.gov.cn

点,经检验有 388 个站点的日平均气压、平均气温、平均相对湿度和日降水量四个要素满足要求,个别缺测用插值方法补齐;2)按照每旬两候、每年 72 候划分,计算候平均值;3)将上述候平均资料插值到范围为 15°N — 55°N , 70°E — 140°E 分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的网格.需要说明的是,388 个站点的分布是东部密集西部稀疏,青藏高原西部区域几乎没有站点,因此本文主要研究区域是青藏高原中部以东的中国大部分地区.

2.2. 方法

2.2.1. 非线性相似度量方法

非线性相似度量方法是基于非线性转折检测的相似性度量季节划分方法,利用多气象要素构造气候状态变量 $\mathbf{F}$,并提取其在四个季节的典型状态,然后分别计算各时段 $\mathbf{F}$ 与四季典型状态之间的相关系数作为其相似性度量,并利用非线性转折检测方法把该序列的转折点作为季节交替的界限.具体步骤如下.

1)构造气候状态变量 $\mathbf{F}$.为全面体现气候状态的季节变化,采用候平均的气温、气压、相对湿度和降水量等四个要素从多要素角度进行季节划分.由于各要素对季节变化的贡献和响应程度不同,故对以上四个要素分别进行 EOF 分解,以其第一特征向量所占总解释方差的百分比为权重系数,构造气候状态变量 $\mathbf{F} = (\alpha_1 P, \alpha_2 T, \alpha_3 H_R, \alpha_4 R)$,其中 P, T, H_R, R 分别为气压、气温、相对湿度和降水量,在本文中相对应的权重系数分别为: $\alpha_1 = 0.805, \alpha_2 = 0.976, \alpha_3 = 0.451, \alpha_4 = 0.776$.

2)提取气候状态变量 $\mathbf{F}$ 在四个季节的典型状态.对于单站点或某区域可以从经验角度来计算提取,但因全国范围气压、降水等的时空分布差异很大,无法直接确定,所以先利用相似性度量方法初步划分四季,然后对各地分别选取其最合适的四季典型时段及其对应的 $\mathbf{F}$ 典型状态.

取 1 月份和 7 月份多年平均值 $\mathbf{F}_w$ 和 $\mathbf{F}_s$,分别作为冬季和夏季的典型气候状态.首先计算并消去其公共部分 $\mathbf{F}^* = \frac{1}{2}(\mathbf{F}_w + \mathbf{F}_s)$ 得到偏差量 $\mathbf{F}'_w$ 和

$\mathbf{F}'_s$,并计算气候状态变量的偏差量 $\mathbf{F}'$,其中 $\mathbf{F}' = \mathbf{F} - \mathbf{F}^*$.利用曾庆存和张邦林^[5]提出的两个场相似性度量指标的计算方法,得到 $\mathbf{F}'$ 与 $\mathbf{F}'_w$ 的相关系数 r

$$r = (\mathbf{F}', \mathbf{F}'_w) / [\|\mathbf{F}'\| \cdot \|\mathbf{F}'_w\|]. \quad (1)$$

(1)式右端各变量均为矢量,则内积 $(\mathbf{F}', \mathbf{F}'_w)$ 即为

矢量的标量积,范数可通过内积得到 $\|\mathbf{F}'\|^2 = (\mathbf{F}', \mathbf{F}')$.参照文献[5]的划分标准,当 $0.5 < r \leq 1$ 时,为冬季;当 $-0.5 \leq r \leq 0.5$ 时,为春季或秋季过渡季节;当 $-1 \leq r < -0.5$ 时,为夏季.

在上述初步划分的基础上,对每个站点取各季节中间的 4—6 候,计算得到四季的典型状态 $\mathbf{F}_{\text{spr}}$ (春季), $\mathbf{F}_{\text{sum}}$ (夏季), $\mathbf{F}_{\text{fal}}$ (秋季)和 $\mathbf{F}_{\text{win}}$ (冬季).

3)在每两个相邻季节间利用相似性度量方法,计算并得到各时段 $\mathbf{F}$ 与上述四季典型状态间的相似性度量序列.如在确定春夏季交替日期时,利用 $\mathbf{F}_{\text{spr}}$ 和 $\mathbf{F}_{\text{sum}}$,计算并消去其公共部分 $\mathbf{F}_{\text{ss}}^* = \frac{1}{2}(\mathbf{F}_{\text{spr}} + \mathbf{F}_{\text{sum}})$,得到 $\mathbf{F}'_{\text{spr}}$ 和 $\mathbf{F}'_{\text{sum}}$.按照(1)式计算 $\mathbf{F}'$ 与 $\mathbf{F}'_{\text{sum}}$ (或 $\mathbf{F}'_{\text{spr}}$)之间的相关系数,得到春夏季的相似性度量序列.

4)检测转折点,确定季节交替时间.由于季节内气候状态变化相对平稳,季节间存在一定程度的转折,故对上述四条序列的相应时间段进行转折检测,即可得到相应季节的起始时间.检测转折有多种方法^[9-26],本文采用变点检测方法^[10-13],这是一种对时间序列检测转折点简单却行之有效的方法.步骤如下:

i)将序列 $\{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ 从小到大按顺序排列,由此得到每个元素的顺序位置(秩序,rank),记为序列 $\{r_i | i = 1, 2, \dots, N\}$;

ii)对秩序序列 $\{r_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ 计算每个元素的前 n 项和,有

$$W_j = \sum_{i=1}^j r_i \quad (j = 1, 2, \dots, N-1); \quad (2)$$

iii)对序列 $\{x_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ 中的每个元素位置,计算

$$2W_j - j(N+1) \quad (j = 1, 2, \dots, N-1); \quad (3)$$

iv)设

$$K_{m,n} = \max |2W_j - j(N+1)| \quad (j = 1, 2, \dots, N-1), \quad (4)$$

其中,最大值 $K_{m,n}$ 所在的位置 j 即为该序列转折变点所在的位置.

2.2.2. 季节内离差最优分割方法

由于季节发生改变时,地面形势和各要素时空分布发生显著改变,而在季节内则保持相对的稳定.因此可以利用气候状态变量 $\mathbf{F}$ 在季节内的离差变化进行季节划分,即最优分割法,它是针对有序样本序列利用各时段内数据的方差来表征数据的变化幅度进行分类的一种统计方法^[27].

3. 中国四季的划分结果和比较

3.1. 候平均气温划分方法

对中国多年平均(1961—2008年)的候平均气温,按照张宝堃^[1]提出的方法和标准进行划分,即候平均气温小于10℃为冬季,10—22℃为春季或秋季,大于22℃为夏季,由此得到四季起始候数的分布(图略,记为方法一).其主要分布规律:1)中国的春、夏两季是从南方先开始,然后逐步向北

推进;秋、冬两季则先从北方开始,然后逐步向南推进;2)中国四季的起始时间纬向带状分布特征比较明显,南方和北方四季起始时间差异较大;3)在一定程度上体现了海陆位置和海拔等的影响,如夏季从长江中游地区向北推进到华北时,在沿海地区稍有滞后;4)一般来讲,春、秋两季是过渡季节,夏、冬两季是比较典型的季节,而该方法对冬和夏两季划分时,在华南、东北和高原地区等不能给出较恰当的划分结果,说明该方法存在一定的局限性.

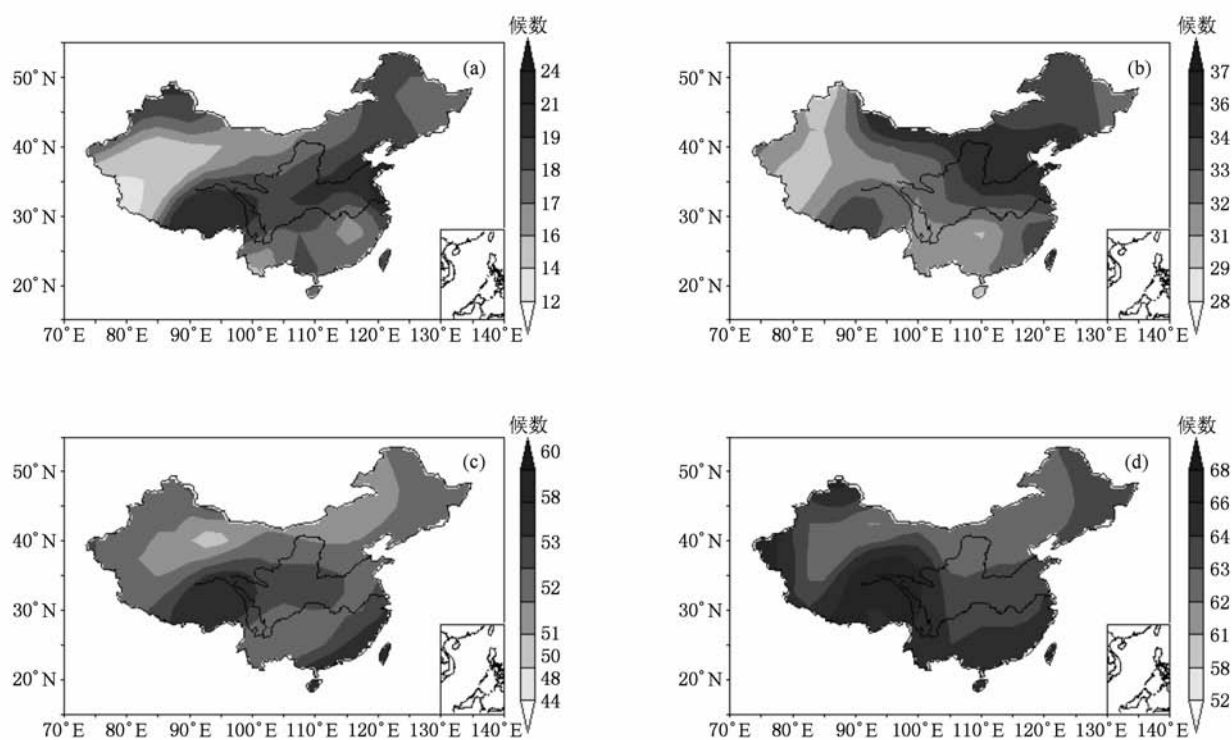


图1 由方法二得到的中国多年平均四季起始候数分布图 (a)春季,(b)夏季,(c)秋季,(d)冬季

3.2. 非线性相似度量方法

利用中国多年(1961—2008年)的候平均气温、气压、相对湿度和降水量,按照非线性相似度量方法得到四季起始候数的分布(图1,记为方法二).由图1可见,1)春、夏两季起始时间分布较为类似,秋、冬两季分布相似.中国地处东亚季风区,在夏半年盛行夏季风,冬半年盛行冬季风,分别对应一种相对稳定的环流形势.而春和秋两季是过渡季节,是地面环流调整并趋于稳定的时期.由图1(a),(b)可见,春、夏两季首先从华南地区开始,然后向

北推进,华北地区北部及其周边地区开始最晚,这与夏季环流形势的建立和向北推进相一致.而东北东部和北部地区略早于华北北部地区,可能是因为季风性夏季环流向北推进影响该地之前,东北地区的东部和北部的局地环流形势和天气气候特征已经基本趋于稳定.秋、冬两季的分布图则反映了冬季环流形势建立和逐步向南推进的过程.2)方法二的划分结果区域特征更加明显,受太阳直射角影响的纬向带状分布特征被弱化.由于是从多要素角度考虑气候状态的季节变化,比方法一更凸显了天气气候系统在季节转换时的影响,体现了各地气候状

态的季节变化特征. 3) 方法二从各区域的局地气候特征出发, 确定出符合当地四季典型特征的气候状态变量 F , 从而进行四季划分. 充分反映了山脉、海陆位置等对局地气候状态变化的影响.

3.3. 方法二与方法一的比较

方法一采用单要素固定阈值进行季节划分, 方法二利用多要素从局地气候特征转折角度确定季节起始时间, 为进一步比较两种方法, 给出其差值的空间分布(图2). 由图2(a)可见春季在长江中下游和黄河两侧及中间地带, 两种方法的结果比较接近, 相差在 ± 2 候以内. 但在中国北方和西北大部分地区, 方法一比方法二春季起始晚, 在华南地区则较早, 相差在 6 候以上. 图2(b)为夏季分布图, 方法一比方法二提前 2 候以上, 南岭地区甚至提前 6 候以上. 且方法一对于青藏高原和东北北部的部分地

区不能很好地划分出夏季; 而对于华北平原南部到华南大部分地区而言, 两种方法差别较小. 这是因为如果单纯从温度的角度分析, 海南和华南部分地区很早(最早 2, 3 月份)就达到夏季的标准, 然而这时控制该地的夏季环流形势还没有真正建立起来. 由图2(c), (d)可见, 在中国北方和西北地区秋、冬两季方法一比方法二早 2 候以上, 而在华南地区则晚 2 候以上, 在华南沿海、东北北部和高原地区甚至相差 6 候以上, 这主要是由方法一的单一划分标准所致.

方法二较方法一更突出地考虑了季节间气候状态的转折变化. 因为季节交替过程中有一些天气过程反复发生, 气候状态多变, 可能导致单要素序列出现一些振荡变化, 这时利用阈值便不易确定出季节分界, 而方法二可以通过非线性转折检测方法更准确地确定季节交替时间.

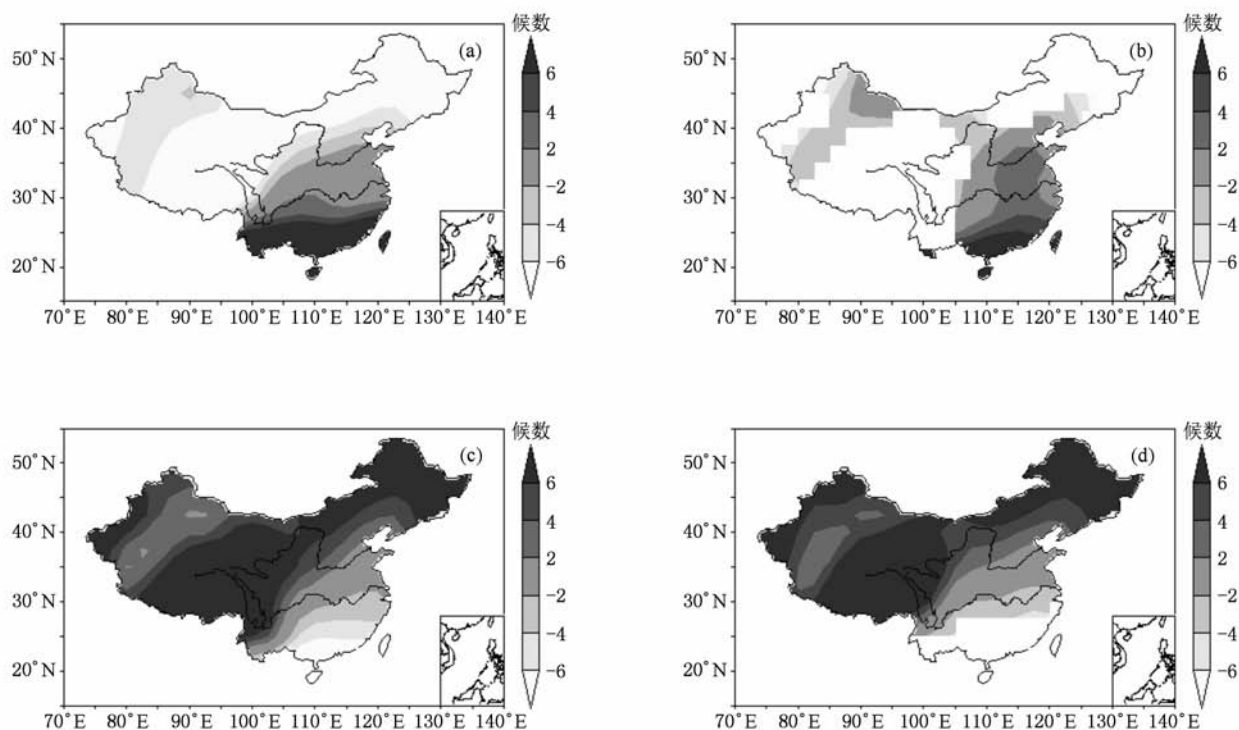


图2 由方法二减方法一得到的中国多年平均四季起始候数差值分布图 (a)春季, (b)夏季, (c)秋季, (d)冬季

3.4. 季节内离差最优分割法

利用中国多年(1961—2008年)的候平均气温、气压、相对湿度和降水量, 采用多要素的最优分割法, 从一年中气候状态的总体变化角度进行季节划分, 得到春夏秋冬四季起始候数的分布图(图3, 记

为方法三). 由图3可见, 1) 方法三与方法二结果大致相似, 四季的起始候数分布都反映了较明显的区域特征, 体现了气候状态变化对季节变化的影响, 验证了利用多要素并从季节间气候状态转折的角度进行季节划分的可行性. 2) 反映了中国春、夏两季先从南方开始然后向北推进, 但北方和华北地区

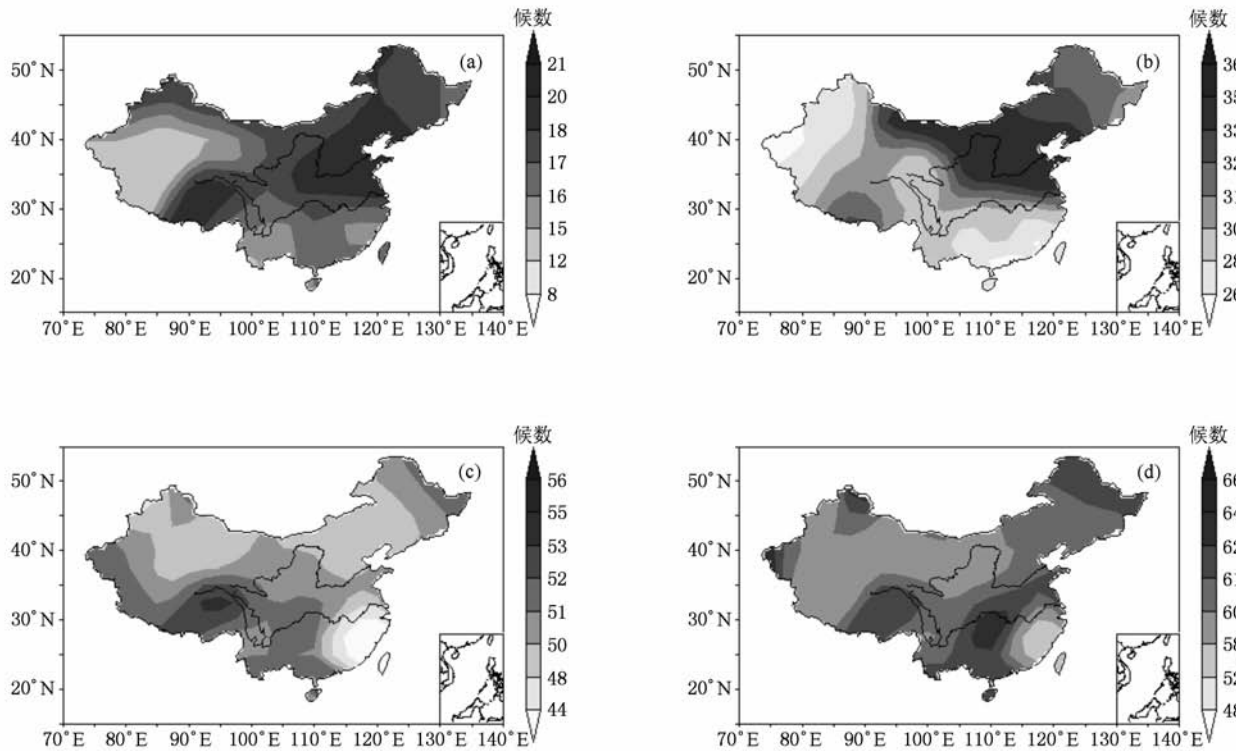


图3 由方法三得到的中国多年平均四季起始候数分布图 (a)春季,(b)夏季,(c)秋季,(d)冬季

要稍迟于东北地区,反映了不同地域局地典型季节气候状态的差异. 3)该方法在对我国东南部地区进行季节划分未能通过显著性水平 0.05 的统计检验,不能得到恰当的划分结果,显示了该方法的局限性. 这可能是因为该地区受北方冬季环流形势影响较弱,而受海洋的外强迫影响相对较强,尤其进行多年平均处理后秋、冬两季的气候状态变化幅度相对较小,从离差角度难以区分明显的季节变化.

3.5. 三种方法的比较

方法一采用气温单要素来描述气候状态的季节变化,其划分结果纬向带状分布特征比较明显,方法二和方法三则采用气温、气压、相对湿度和降水量等多要素,构建了气候状态变量 F 来描述天气气候系统的季节变化,多要素比单一温度要素更全面准确地刻画局地气候状态的变化特征,因此方法二和方法三的结果更体现出大气系统的影响范围和变化特征,强化了区域特征的局地影响.

方法一对全国采用同一个阈值标准 ($10^{\circ}\text{C}/22^{\circ}\text{C}$) 进行划分,而我国幅员辽阔,南北各地气温变化差异较大,所以划分结果南方与北方季节起始时

间差异较大、梯度较为明显,且在华南、东北和青藏高原地区不能很好地区分出冬季或夏季. 方法二则针对各地的局域气候变化特征,从其多年平均的气候状态中确定各个季节典型的气候状态和划分标准,方法三从各地年尺度气候状态变化角度进行划分. 这样使得它们对各地的适用性更好,在东北和青藏高原等地区也有较好的适用性. 受相同属性天气气候系统控制的区域,其四季典型气候状态较为接近,所以在方法二和方法三的结果中区域性特征比较明显,南北变化梯度相对较小,更多地反映了大尺度天气气候系统对季节变化的影响. 相对于方法一,方法二和方法三之间的差异较小. 方法二与方法三划分结果中国大部分地区都在 3 候以内,但方法三在对有些地区(中国东南沿海部分地区)进行划分时不能很好地通过统计检验,这是该方法的一个缺陷.

综上所述,本文认为方法二即非线性相似度量方法是一个更为客观的季节划分方法,该方法利用多要素并从季节间气候状态转折的角度进行季节划分,得到的中国四季起始时间分布,比较符合各地天气气候系统的季节变化特征,对全国各地不同气候区适用性都比较好.

4. 结论和讨论

分别利用候平均气温划分方法、非线性相似度量方法和季节内离差最优分割方法对中国进行四季划分. 方法一得到的结果纬向带状分布特征比较明显, 南方与北方差异较大; 方法二和方法三利用多要素构建气候状态变量, 更全面准确地描述气候状态的季节变化特征, 划分结果强化了区域特征的

局地影响, 南方与北方差异相对较小, 更贴近季节环流形势的变化. 相比于方法一, 方法二和方法三的突出之处在于可以从季节间气候状态转折角度考虑季节划分, 更好地反映大气系统在季节内保持相对平稳, 在季节间发生较大的调整的观测事实. 但因方法三对于有些地区还存在适用的局限性, 所以本文认为方法二即非线性相似度量方法, 是一个较为客观可行的季节划分方法.

- [1] Zhang B K 1934 *Acta Geog. Sin.* **1** 1 (in Chinese) [张宝堃 1934 地理学报 **1** 1]
- [2] Zhang J C, Lin Z G 1985 *Climate of China* (Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers) p55 (in Chinese) [张家诚、林之光 1985 中国气候 (上海: 上海科学技术出版社) 第 55 页]
- [3] Miu Q L, Wang Y 2007 *Annual Conference of China Meteorological Society* Guangzhou, November 23—25, 2007 p693 (in Chinese) [缪启龙、王 勇 2007 中国气象学会 2007 年年会 第 693 页]
- [4] Liu K N, Wu H X 1956 *Acta Meteorol. Sin.* **27** 219 (in Chinese) [刘匡南、邬鸿勋 1956 气象学报 **27** 219]
- [5] Zeng Q C, Zhang B L 1992 *Chin. J. Atmos. Sci.* **16** 641 (in Chinese) [曾庆存、张邦林 1992 大气科学 **16** 641]
- [6] Zhang B L, Zeng Q C 1998 *Chin. J. Atmos. Sci.* **22** 129 (in Chinese) [张邦林、曾庆存 1998 大气科学 **22** 129]
- [7] Xue F, Lin Y H, Zeng Q C 2002 *Chin. J. Atmos. Sci.* **26** 307 (in Chinese) [薛 峰、林一骅、曾庆存 2002 大气科学 **26** 307]
- [8] Dong W J, Jiang Y D, Yang S 2010 *Clim. Change* **99** 81
- [9] Feng G L, Dong W J, Gong Z Q, Hou W, Wan S Q, Zhi R 2006 *Nonlinear Theories and Methods on Spatial-Temporal Distribution of the Observational Data* (Beijing: Metrological Press) p7 (in Chinese) [封国林、董文杰、龚志强、侯 威、万仕全、支 蓉 2006 观测数据非线性时空分布理论和方法 (北京: 气象出版社) 第 7 页]
- [10] Pettitt A N 1979 *Appl. Statist.* **28** 126
- [11] Pettitt A N 1980 *Biometrika* **67** 79
- [12] Pettitt A N 1980 *J. Statist. Comput. Simul.* **11** 261
- [13] Wei F Y 1999 *Modern Technology of Statistical Climate Detection and Prediction* (Beijing: China Meteorological Press) p72 (in Chinese) [魏凤英 1999 现代气候统计诊断与预测技术 (北京: 气象出版社) 第 72 页]
- [14] Feng G L, Gong Z Q, Dong W J, Li J P 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 5494 (in Chinese) [封国林、龚志强、董文杰、李建平 2005 物理学报 **54** 5494]
- [15] Feng G L, Gong Z Q, Zhi R 2008 *Acta Meteorol. Sin.* **66** 892 (in Chinese) [封国林、龚志强、支 蓉 2008 气象学报 **66** 892]
- [16] Hou W, Feng G L, Dong W J, Li J P 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 2663 (in Chinese) [侯 威、封国林、董文杰、李建平 2006 物理学报 **55** 2663]
- [17] Gong Z Q, Feng G L, Dong W J, Li J P 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 3181 (in Chinese) [龚志强、封国林、董文杰、李建平 2006 物理学报 **55** 3181]
- [18] Wang Q G, Zhang Z P 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 1976 (in Chinese) [王启光、张增平 2008 物理学报 **57** 1976]
- [19] Feng G L, Dong W J, Jia X J, Cao H X 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 1181 (in Chinese) [封国林、董文杰、贾晓静、曹鸿兴 2002 物理学报 **51** 1181]
- [20] Feng G L, Dai X G, Wang A H, Chou J F 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 606 (in Chinese) [封国林、戴新刚、王爱慧、丑纪范 2001 物理学报 **50** 606]
- [21] He W P, Feng G L, Wu Q, Wan S Q, Chou J F 2008 *Nonlin. Processes Geophys.* **15** 601
- [22] Zhi R, Lian Y, Feng G L 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 1837 (in Chinese) [支 蓉、廉 毅、封国林 2007 物理学报 **56** 1837]
- [23] Xiong K G, Yang J, Wan S Q, Feng G L, Hu J G 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 2843 (in Chinese) [熊开国、杨 杰、万仕全、封国林、胡经国 2009 物理学报 **58** 2843]
- [24] He W P, Feng G L, Dong W J, Li J P 2005 *Chin. Phys.* **14** 21
- [25] Zhi R, Gong Z Q 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 4629 (in Chinese) [支 蓉、龚志强 2008 物理学报 **57** 4629]
- [26] Hou W, Feng G L, Gao X Q, Chou J F 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2441 (in Chinese) [侯威、封国林、高新全、丑纪范 2005 物理学报 **54** 2441]
- [27] Huang J Y 1990 *Meteorological Statistical Analysis and Prediction* (Beijing: China Meteorological Press) p265 (in Chinese) [黄嘉佑 1990 气象统计分析与预报方法 (北京: 气象出版社) 第 265 页]

A non-linear similarity method for season division in China^{*}

Sun Shu-Peng¹⁾ Zhang Lu¹⁾ Hou Wei^{2)†} Feng Guo-Lin²⁾³⁾

1) (*College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*)

2) (*National Climate Center, Beijing 100081, China*)

3) (*State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

(Received 9 March 2010; revised manuscript received 24 May 2010)

Abstract

Using the daily observational data of temperature, pressure, relative humidity and precipitation in 752 stations of China from 1961 to 2008, three methods of division of season, i. e. Zhang's method, non-linear similarity method and Fisher optimal dissection method are applied to different meteorological elements fields of China. Results indicate that division of season through multi-variables methods is more reasonable than single variable ones, especially in non-linear similarity method and Fisher optimal dissection method. When considering the seasonal climate transition between successive seasons, the results are in good accordance with actual observations. As a result we recommend the non-linear similarity method as a better way of season division.

Keywords: season division, non-linear similarity method, Fisher optimal dissection method

PACS: 92.05.Fg, 92.60.Ry

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 40875040, 40930592), the Special Scientific Research Fund of Meteorological Public Welfare Profession of China (Grant No. GYHY200806005) and the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. 2006CB400503).

[†] Corresponding author. E-mail: houwei@cma.gov.cn