

范思睿, 范广洲, 赖欣, 等. 2013. 1961~2007 年青藏高原四季开始日期的变化趋势分析 [J]. 气候与环境研究, 18 (1): 71~79, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11058. Fan Sirui, Fan Guangzhou, Lai Xin, et al. 2013. Analysis on variation trend of season start dates over the Tibetan Plateau during 1961~2007 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (1): 71~79.

1961~2007年青藏高原四季开始日期的变化趋势分析

范思睿^{1,2} 范广洲¹ 赖欣¹ 朱丽华¹

1 成都信息工程学院大气科学学院、高原大气与环境四川省重点实验室, 成都 610225

2 四川省人工影响天气办公室, 成都 610000

摘要 利用中国气象局国家气象信息中心提供的青藏高原 60 个测站 1961~2007 年逐日气温度资料, 分析了青藏高原近 47 年来四季开始日期的时空变化特征和年代际变化趋势。结果表明, 青藏高原的四季开始日期变化主要表现为春季和夏季的提前趋势, 秋季和冬季的推后趋势, 其中春季、冬季的变化显著, 夏季、秋季的变化相对春季、冬季变化较小, 四季开始日期的这种变化在增温明显的 1990 年代和 21 世纪初最为明显, 并且春季和冬季开始日期的年代变化较大, 而夏季和秋季开始日期的年际变化较大。这种变化趋势在空间分布上有所差异, 春季和冬季开始日期变化的空间分布相似, 春季和冬季开始日期的变化在空间上有相当的同步性而且都属于“中间高两边低”的分布状态, 夏季和秋季开始日期变化的空间分布相似。此外, 春季开始日期在 1990 年代之前整体相对平稳并没有表现出明显的提早趋势, 从 1990 年代开始变得较明显; 夏季开始日期的提早变化相对平稳但年际变化较大; 秋季开始日期的推迟相对平稳但是年际变化较大, 1990 年代有较明显的推迟趋势; 冬季在 1990 年代表现出推迟趋势但是并不明显, 但是到 21 世纪初表现出强烈的推迟。

关键词 四季开始日期 季节变化趋势 分布特征

文章编号 1006-9585 (2013) 01-0071-09

中图分类号 P461

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11058

Analysis on Variation Trend of Season Start Dates over the Tibetan Plateau during 1961~2007

FAN Sirui^{1,2}, FAN Guangzhou¹, LAI Xin¹, and ZHU Lihua¹

1 Chengdu University of Information Technology, Plateau Atmospheric and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225

2 Weather Modification Office of Sichuan Province, Chengdu 610000

Abstract The variations in the trends for the start dates of the seasons in the Tibetan Plateau over 47 years (1961~2007) were analyzed using the daily temperature data of 1961~2007 provided by the National Meteorological Information Center, China Meteorological Administration. The results show that spring and summer are starting earlier while autumn and winter are starting later; the changes in autumn and summer were not as significant as those of spring and winter. This trend is most obvious in the 1990s and the beginning of the 21st century as the effect of global warming increases. This trend has different seasonal spatial distributions in the Tibetan Plateau; spring and winter have the same spatial distribution—larger changes in the central region than in the surrounding area summer and autumn are similar but different than spring and winter. Before the 1990s, the start date of spring showed little change, but the trend of earlier start date became obvious from the 1990s onward; the trend of earlier start date of summer is more stable than that of

收稿日期 2011-04-14 收到, 2012-09-28 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金项目 40875053, 国家科技支撑计划项目 2009BAC51B03, 公益性行业(气象)科研专项 GYHY201006023

作者简介 范思睿, 女, 1986 年出生, 硕士, 主要从事气候变化与数值模拟研究。E-mail: fansr110@163.com。

通信作者 范广洲, E-mail: fgz@cuit.edu.cn。

spring but the interannual variability is greater. The trend of the earlier start date of autumn is also more stable than that of spring with greater interannual variability; from the 1990s, the start date of autumn shows a more obvious delay trend than that of winter, while in the early phase of 21st century the delay trend is strong in winter.

Keywords Season start date, The variation trend of season, Distribution characteristic

1 引言

在全球气候变暖的背景下, 我国四季已经发生了显著变化, 郁珍艳等(2010a)指出在1961~2007年之间四季开始日期发生显著变化, 春、夏季提早, 秋、冬季推迟, 其中以夏季的变化最为明显, 且在21世纪初非常明显。还有大量学者对我国局部地区的四季进行研究(张美玲, 2004; 顾品强, 2008; 马志红等, 2008; 张静等, 2008; 陈正洪等, 2009; 张凌云, 2009; Qian et al., 2011), 但是研究区域主要集中在我国东部的局部地区, 大部分研究认为春、夏季开始日期提前, 秋、冬季开始日期推后, 开始日期的这种变化在1990年代就较为明显, 21世纪初是最为显著的。但是这些研究成果在对哪个季节变化最明显上却不统一, 张美玲(2004)、顾品强(2008)、马志红等(2008)和张凌云等(2009)认为春、夏、秋季变化都较为显著, 而冬季变化不明显; 张静等(2008)和陈正洪等(2009)认为冬季变化最为显著。研究结论产生如此大的差异在于学者研究的地区不同, 当地气候也不同, 同时不同地区受到的城市热岛效应也不同(杨琳和钟保麟, 2007)。由此得知, 我国四季变化并不完全统一, 各地气候不同从而影响当地四季变化, 即在一个地区也会有不同的变化趋势。

青藏高原在我国气候变化中有着关键作用(冯松等, 1998), 而很少有学者对青藏高原的四季进行研究。因为气温变化对四季的开始和持续有着直接影响, 分析气温的变化趋势对本文分析探讨四季开始日期的变化趋势有重要作用。20世纪60年代以来, 国内学者对我国特别是青藏高原的气候变化进行了大量研究, 其中高原气温的年代际变化的研究较多, 唐红玉和李锡福(1999)、马晓波(1999)、杜军(2001)、马晓波和李栋梁(2003)、韦志刚等(2003)和丁一汇等(2006)指出青藏高原从1960年代以后持续增暖到21世纪初。气温除了有年代际的变化外, 也受到地区气候和海拔等多种因素影响(林振耀和赵昕奕, 1996; 刘晓东和侯萍1998;

刘晓东等, 1998, 2008; 牛涛等, 2002), 气温增温率随海拔高度升高而升高。不同季节的气温变化率也有所不同, 任国玉(2005a, 2005b)认为气候变暖最明显的地区之一为青藏高原, 其中春季和冬季变化最为明显, 冬季增温率为 $0.39\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$, 春季为 $0.28\text{ }^{\circ}\text{C} (10\text{ a})^{-1}$ 。陈隆勋等(1998)指出, 冬季的变化振幅最大, 其次是秋季和夏季, 春季变化最小, 是冬季和秋季的在1980年代中期之后的变化趋势明显。气温变化的年代际、地域性和季节性会直接影响季节的变化, 受到气温此种特性的启发, 本文主要分析和探讨四季变化的空间分布特征和年代际变化。

以往的研究很少关注青藏高原的四季变化特征, 特别是在全球变暖背景下四季的空间分布和变化趋势。本文运用一种新的高原四季划分方法划分高原的四季, 传统的四季划分方法在青藏高原具有局限和不足, 而综合考虑青藏高原四季持续时间的合理性、物候特征、海拔高度、气候(温度)分布特征等因素提出的“青藏高原普适性季节划分方法”更为适合青藏高原地区(范思睿等, 2011)。本文首先分析了青藏高原四季的空间分布特征, 然后分析讨论在全球变暖背景下青藏高原近47年来四季开始日期的年代际变化。

2 资料及方法

2.1 资料

本文气温资料来源于中国气象局国家气象信息中心资料室提供的青藏高原60个台站1961~2007年逐日平均气温资料(图1)。这些站绝大部分属于国家基准站和基本气象站, 都为常规资料。

2.2 分析方法

考虑到高原气温的特殊情况, 为了使高原整体的四季划分更为接近实际情况, 本文选用一种新的高原四季划分方法作为划分高原四季的标准。此四季划分是在综合各种四季划分方法的优缺点之后初步定义“ $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为划分冬、夏季节阈值”为高原大部分地区四季的划分方法, 平均气温稳定在

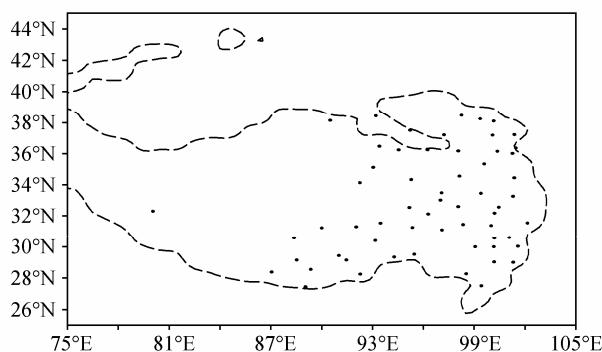


图1 青藏高原 60个气象台站分布

Fig.1 Distribution of the 60 meteorological stations in the Tibetan Plateau

5℃以下时期的划为冬季，平均气温稳定在15℃以上的时期划为夏季，平均气温在5~15℃之间的季节就是春季与秋季。本文以5 d为滑动步长，选取该日及前2 d和后2 d的日平均气温值计算滑动平均，当连续10个滑动平均值均大于或等于四季的温度阈值时，以第一组滑动平均中的第一个大于或等于四季温度阈值的日期作为季节的开始的日期。比如冬季开始是有连续10 d滑动平均小于5℃，把这10 d中的首日期定为冬季开始日期，夏季将连续10 d滑动平均气温出现15℃以上的首日期定为夏季开始日期，而将连续10 d平均气温出现5~15℃之间的首日期定为春季和秋季开始日期。为了使四季开始日期更加接近实际，避免人为割裂天气过程的现象，对60个站的逐日气温进行5 d滑动处理（唐薇，2000）。

本文采用EOF（经验正交分解函数）分解方法对青藏高原四季开始日期的空间分布特征作初步分析，然后计算每个年代四季开始日期与47年平均四季开始日期的距平，并作t检验以检验所得距平是否具有显著的统计学意义，并用小波分析来研究四季开始日期的振荡周期。

3 青藏高原四季开始日期的空间分布特征

为分析青藏高原地区四季年际变化的时空异常特征，对青藏高原四季开始日期进行了EOF分解。表1列出了青藏高原四季开始日期的前5个载荷向量的方差贡献和累计方差贡献。春季、夏季、秋季、冬季第一载荷向量的方差贡献分别为63.71%、43.04%、33.86%、64.21%，前5个载荷向量的累积方差贡献分别88.88%、70.03%、68.99%、

87.58%，认为第一个特征向量场能将最主要的特征表现出来，由于我们只关心与研究范围尺度相当的时空特征。因此，我们在之后的讨论中只分析第一特征向量场来反映青藏高原四季开始日期变化的主要特征。

表1 青藏高原四季开始日期前5个载荷向量的方差贡献和累积方差贡献

Table 1 Contribution and accumulated contribution of the first five EOF eigenvectors of season start dates

特征向量	开始日期方差贡献率				开始日期方差累积贡献率			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
1	63.71%	43.04%	33.86%	64.21%	63.71%	43.04%	33.86%	64.21%
2	17.60%	10.49%	13.28%	15.68%	81.32%	53.54%	47.153%	79.89%
3	3.79%	6.24%	7.79%	4.45%	85.11%	59.78%	54.94%	84.35%
4	2.23%	5.34%	7.38%	1.84%	87.35%	65.12%	62.33%	86.19%
5	1.52%	4.91%	6.65%	1.38%	88.88%	70.03%	68.99%	87.58%

从图2a春季开始日期EOF分解的第一载荷量显示均为正值，数值从高原中部逐渐向高原周边减小，这表明高原春季开始日期变化的主体一致性，同时在空间分布上存在差异。载荷向量的分布具体表现为“中间高两边低”，即高原中部的载荷量要高于高原南北方向的地区。高值区在高原中部、东部和南部部分地区，其中心最大值达0.139位于玉树、杂多一带；其余地方为相对低值区，低值中心有两处，一处位于柴达木盆地的若木洪、都兰一带最小值达0.117，另外一处低值中心位于察隅，最小值达0.121。尤其值得注意的是高值区主要是位于海拔4000 m以上的地区，这也说明海拔影响春季开始日期。与春季开始日期EOF分解的第一载荷向量对应的时间系数图2b，春季开始日期在年际波动呈现出下降趋势，第一载荷向量的时间系数在1990年代以前基本为正值，只是在1960年代末和1970年代末出现短暂的负值，从1990年代起是持续的负值而且这种趋势随着时间逐渐增大，在21世纪初达到最大。从时间系数的11 a滑动平均线可以看出高原春季开始日期有明显的年代际变化。

夏季开始日期EOF分解的第一载荷向量（图略）为大部分正值区（高原只有22个站点可以达到有夏季的标准），少部分负值区，正负中心分布不均匀，表明高原夏季开始日期空间变化大体一致。载荷向量的分布具体表现为：负值区位于昆仑山口（-0.4）、拉萨附近（-0.2）和西宁附近（-0.3）；其他地方为正值区，其中高值区主要分布在高原东

北部的柴达木盆地附近，其中心最大值位于德令哈（0.4），四川西北部，高值中心位于马尔康（0.3），雅鲁藏布大峡谷附近（0.2）。夏季开始日期 EOF 分解的第一特征量对应的时间系数图（图略），第一载荷向量的时间系数在 47 年里都比较平稳，只是在个别年份出现异常的绝对高值，在 1980 年代以前基本为正值，只是在 1970 年代初期出现短暂的负值，从 1980 年代起基本为负值并且数值偏小，在 1980 年代末和 21 世纪初出现有短暂的正值并且数值不大。从时间系数的 11 a 滑动平均线可以看出高原夏季开始日期有明显的年代际变化。

秋季开始日期 EOF 分解的第一载荷向量（图略）大部分显示均为正值（因为高原只有 22 个站点可以达到有夏季的标准，故也只有 22 个站点才有秋季开始日期），有部分地区负值但是数值不高，和夏季一样，正负值中心分布不均匀。载荷向量的分布具体表现为：负值区位于在西藏和四川交界处的贡觉附近（-0.3）、德令哈附近（-0.2）和拉萨附近（-0.1）。与第一载荷量对应的时间系数图（图略），1960 年代到 1970 年代末主要是正值，1980

年代是负值，1990 年代又上升为正值，1990 年代末下降为负值。秋季开始日期在 1997 年和 1998 年出现异常的偏高（异常推迟）正好对应 1998 年左右的暖突变。

冬季开始日期 EOF 分解的第一特征量均为负值(图 3a), 分布特征和春季基本一致, 属于“中间高两边低”, 即高原中部的载荷量要高于高原南北方向的地区, 表明冬季开始日期在空间上有相当的同步性, 同时也在空间分布上存在明显差异。载荷向量的分布具体表现为: “中间高两边低”, 即高原中部的载荷量要高于高原南北方向的地区, 绝对值较大区位于高原中部、东部和南部部分地区, 高值中心位于青海、西藏、四川交界处最大值达-0.138, 另一处高值中心位于纳木错附近(-0.138); 绝对值较小中心主要有两处, 一处位于新疆南部边缘的阿牙克库木湖(-0.116), 另外一处低值中心位于柴达木盆地的若木洪、都兰一带(-0.117)。说明川西高原、西藏东南部、柴达木盆地、青海以 36°N 为界的北部地 方冬季来临相对更晚, 高原中部、南部、东部部分地区冬季来临相对更早。与第一特

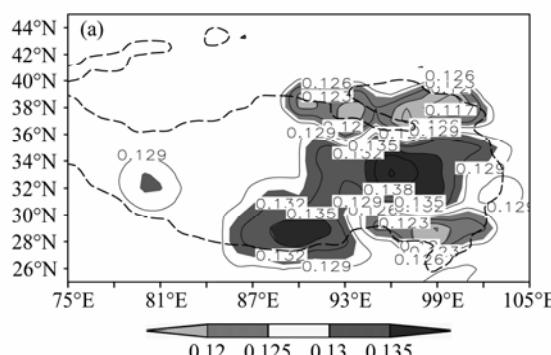


图2 春季开始日期EOF分解的第一模态(a)空间型和(b)时间系数序列(粗实线为趋势线,虚线为11年滑动平均)

Fig. 2 (a) The spatial eigenvector and (b) time coefficients (the thick solid line stands for the trend, and the dotted line stand for 11 year moving average) of the first mode of the EOF analysis of spring season

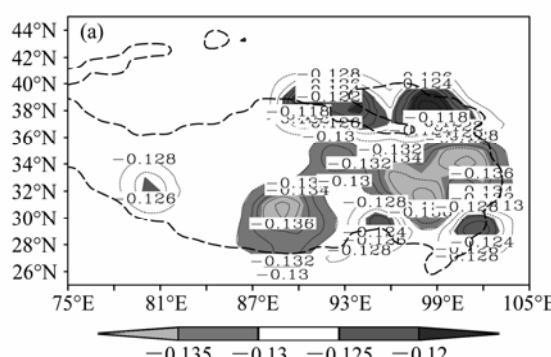
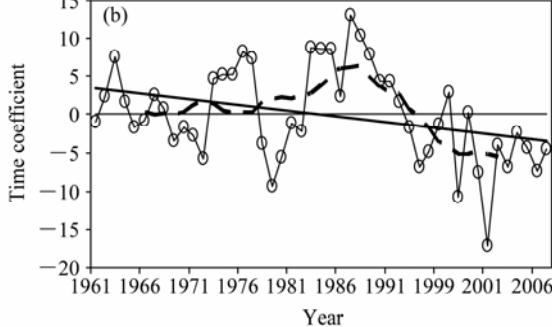


图 3 同图 2, 但为冬季

Fig. 3 Same as Fig. 2, but for winter

征量对应的时间系数图(图3b)看出,第一特征向量的时间系数在47年里都比较平稳,在1990年代以前基本为正值只是在个别年份有负值,1990年代以后基本负值。从时间系数的11a滑动平均线可以看出高原春季开始日期有明显的年代际变化。

4 青藏高原四季开始时间的年代际变化特征

4.1 四季开始日期的年代际变化特征

通过上面对四季开始时间的空间分布的分析,四季开始时间的EOF时间系数显示四季开始时间都有明显的年代际变化特征。下面对四季开始时间的年代际变化做具体分析和讨论。

由春季开始日期的年代距平图(图4)可以看出,1960年代春季开始日期高原南部相对来临更晚,东部和北部相对更早,并且春季来临的迟和早

都较为明显,有部分地区通过0.05显著性水平的统计检验;1970年代相对47平均的差异并不显著;1980年代高原大部分地区是来临相对更晚,特别是在柴达木盆地和青海东部这种推迟更明显;1990年代相对47年平均,春季来临更早但不是很显著;21世纪初相对47年平均,高原整体是春季来临更早,并且在大部分地区很显著,川西高原、唐古拉山、西藏东部和西部都通过0.05显著性水平的统计检验。

夏季开始日期的年代距平图(图略)可以看出(只有22个站点达到夏季的标准),1960年代、1970年代、1980年代的夏季开始日期没有明显的变化;1990年代,高原大部分区域有提前趋势但不显著,只是在柴达木盆地和青海东北部较为显著;21世纪初大部分地区显示有提前趋势,但是趋势不明显。夏季开始日期年代距平差异都不明显,每个年代都只有小部分地区通过显著性水平

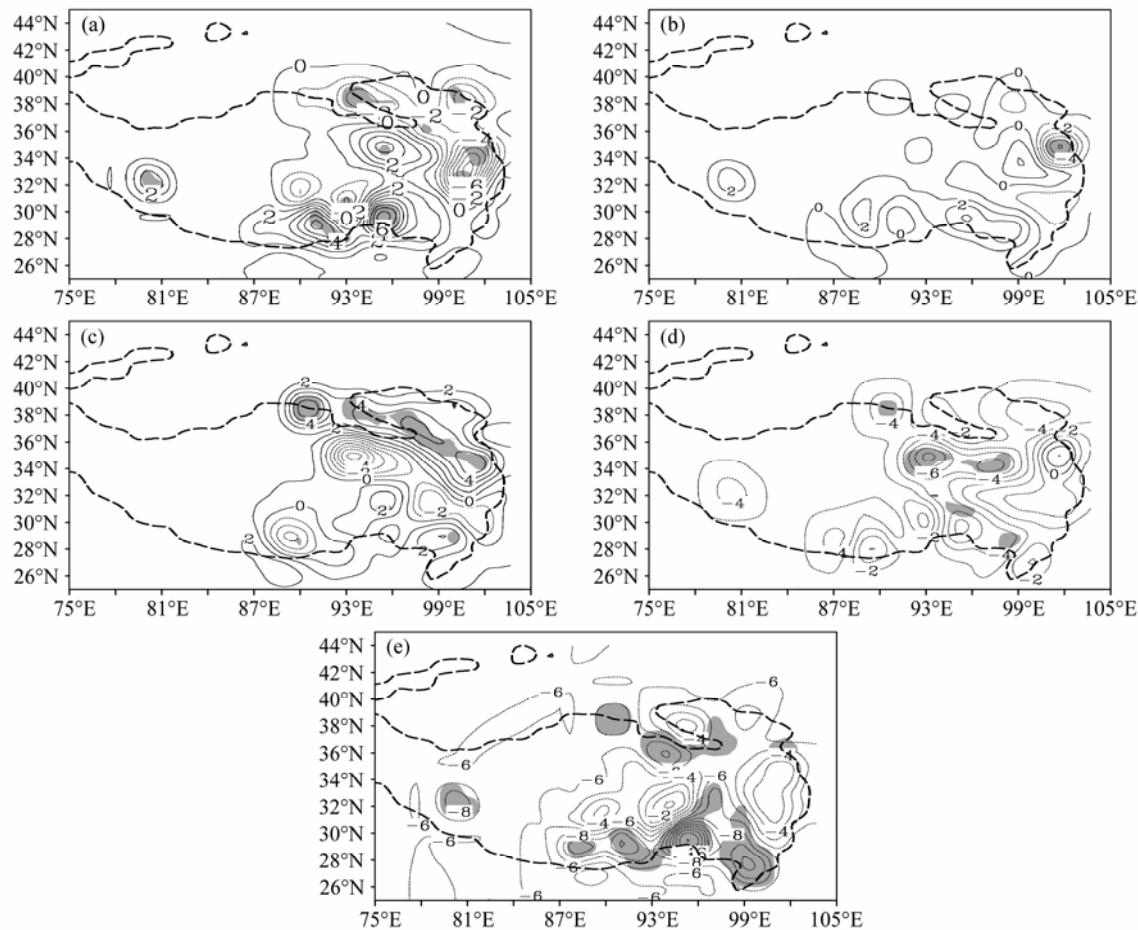


图4 春季开始日期距平(等值线, 数值表示提前或推迟的天数)的年代距平图, 阴影为通过0.05显著性水平的统计检验: (a) 1960年代; (b) 1970年代; (c) 1980年代; (d) 1990年代; (e) 21世纪初

Fig. 4 Anomalies of spring start dates (contour), shaded areas pass the 0.05 significance level: (a) The 1960s; (b) the 1970s; (c) the 1980s; (d) the 1990s; (e) early 21st century

0.05 的统计检验，所以认为夏季开始日期年代变化不明显。

秋季开始日期的年代距平图（图略）可以看出（因为只有 22 个站点达到夏季的标准，所以也只有 22 个站点有秋季开始日期），1960 年代、1970 年代和 1980 年代的秋季开始日期相对 47 年平均秋季开始日期差异都不明显，只有极少部分地区通过 0.05 显著性水平的统计检验；1990 年代，有较为明显的推迟趋势，在川西高原，西藏东南部和南部提前相对显著；21 世纪初，推迟趋势大大减弱，大部分地区没有明显推迟趋势。

冬季开始日期的年代距平图（图略）可以看出，1960 年代、1970 年代和 1980 年代推迟趋势并不明显；1990 年代，高原出现较明显的推迟趋势，在川西高原、高原南部、柴达木北部出现推迟；21 世纪初，高原总体是冬季开始日期推迟，并且大部分地区变化显著通过显著性水平为 0.05 的统计检验。

表 2 为四季开始日期年代际变化 *t* 检验表。春季开始日期整体趋势是提前，特别是在 1990 年代这种提前特别明显通过显著性水平为 0.05 的统计检验；夏季整体成提前趋势，但是提前不明显；秋季整体呈推迟趋势，在 1970 年代和 1990 年代由此较明显的推迟；冬季整体呈推迟趋势，21 世纪初最明显，通过 0.05 显著性水平的统计检验。

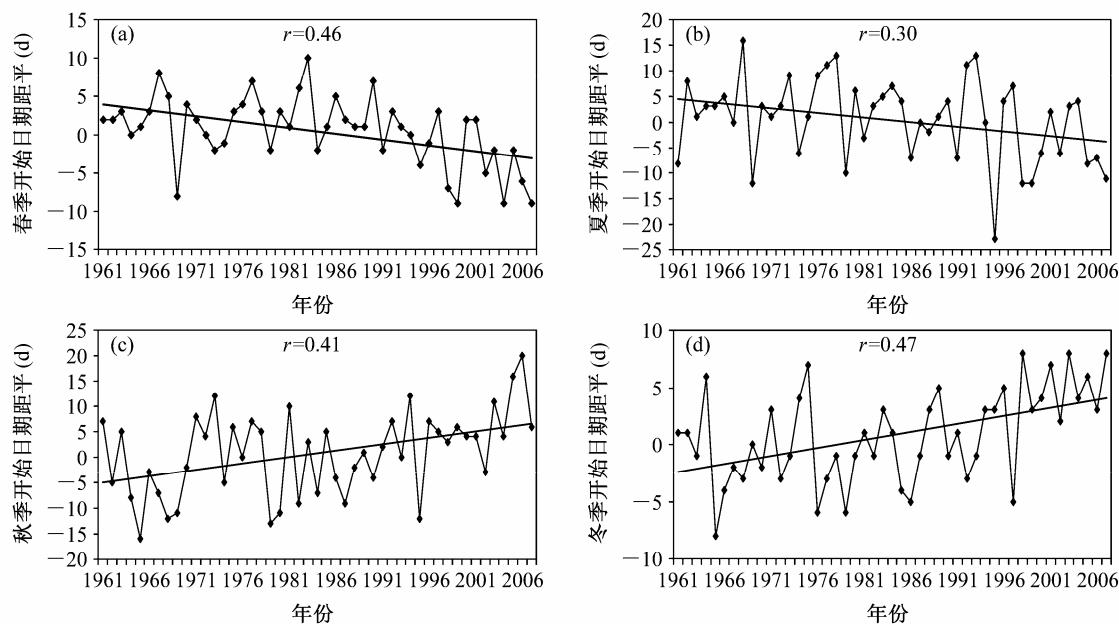


图 5 四季开始日期距平年际变化（直线为趋势线）：(a) 春季；(b) 夏季；(c) 秋季；(d) 冬季

Fig. 5 The internannual variation of anomalies of season start dates (the beeline stands for the trend): (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

表 2 四季开始日期年代际变化 *t* 检验值

Table 2 The *t* test of the decadal change for season start dates

	差值			
	1970 年代与 1960 年代	1980 年代与 1970 年代	1990 年代与 1980 年代	21 世纪初与 90 年代
春季	-0.187	1.017	-2.636*	-1.499
夏季	0.529	-0.922	-0.952	-0.164
秋季	1.853	-0.875	1.772	1.370
冬季	0.234	0.491	1.002	2.180*

*表示通过 0.05 显著性水平检验

4.2 四季开始日期年际变化特征

由图 5 青藏高原四季开始日期距平年际变化趋势图，春、夏季开始日期总体上呈提早趋势，春季趋势系数为 -0.46，夏季趋势系数为 -0.30；秋、冬季开始日期总体呈推后趋势，秋季趋势系数为 0.41，冬季趋势系数为 0.47；春季开始日期的提早和冬季开始日期的推迟变化最为显著，秋天开始日期的推迟变化次之，夏天开始日期的提早变化最小。春季开始日期的提早变化在 1990 年代以后表现明显，1990 年代以前虽然有年际变化但是总体相对平稳并没有表现出明显的提早趋势，1980 年代末期就开始出现明显的提早趋势；夏季开始日期的提早变化相对春季更为平稳和缓慢，但是年际变化较大；秋季开始日期的推迟变化也是年际变化较大，1990 年代以后推迟变化较明显；冬季开始日期的推迟变化在 1990 年代以后较明显。春季提前和秋、冬季的推

后都通过了显著性水平 0.05 的统计检验, 虽然夏季提早最不明显但也通过显著性水平 0.05 的统计检验。和张静等 (2008)、陈正洪等 (2009) 的研究成果一致, 认为冬季变化最为显著, 春季次之。季节的变化趋势和气温的变化趋势大体一致 (唐红玉等, 1999; 马晓波, 1999; 马晓波和李栋梁, 2003; 杜军, 2001; 韦志刚等, 2003), 但是季节开始日期变化显著的时期比气温升温剧烈的时期要晚一些, 说明气温是影响四季开始日期的重要原因, 同时季节开始日期对气温变化具有延迟响应。

4.3 四季开始日期的小波变化

从图 6 谱值的极值中心和正负相间演变来看, 高原春四季开始日期主要存在年际变化、准 4 a、6~7 a、准 10 a 的周期, 其中 6~7 a 周期在四季中都基本存在, 只是在四个季节中的不同年代出现; 春季开始日期主要在 1970 年代中期以前主要表现为年际变化和准 4 a 周期振荡, 在 1970 年代中期到 1980 年代中期主要表现为年际变化和 6~7 a 的周期振荡, 1990 年代到 21 世纪初又主要表现为准 10 a 和 4 a 周期振荡; 夏季开始日期 1960 年代到 1980 年代末主要表现为 4~7 a 周期振荡和 12~14 a 周期振荡, 1990 年代表现为准 4 a 周期振荡, 1990 年代到 21 世纪初表现出准 10 a 周期振荡; 秋季开始日期 1980 年代之前有 5 a 周期振荡, 1990 年代有 7 a 周期振荡, 进入 21 世纪后年际变化明显, 1960

年代到 21 世纪初有 14~16 a 的周期振荡; 冬季开始日期 1960 年代到 1980 年代中期主要表现为 12~14 a 周期振荡和 6 a 周期振荡, 1980 年代到 1990 年代末主要表现为 5~7 a 周期振荡, 21 世纪初年际变化明显。在全球变暖的背景下, 周期也发生了相应的变化。

5 讨论和结论

本文利用青藏高原 60 个台站 1961~2007 年逐日气温资料, 分析了青藏高原近 47 年来四季开始日期的时空变化特征和年代际变化趋势。

(1) 近 47 年来, 青藏高原的四季开始日期都发生一定的变化。青藏高原春季和冬季开始日期变化的空间分布类似, 春季、冬季开始日期在空间上有相当的同步性, 而且都属于“中间高两边低”的分布状态, 即高原中部的载荷量要高于高原南北方向的地区, 即高原中部、南部和东部部分地区的第一载荷量要高于川西高原、西藏东南部和柴达木盆地; 青藏高原夏季和秋季开始日期的空间分布类似, 夏季、秋季的高低载荷中心分布都基本一致, 夏季主要为正值, 其中高值中心主要分布在高原东北部的柴达木盆地, 四川西北部, 雅鲁藏布大峡谷附近, 负值区仅位于昆仑山口、拉萨附近和西宁附近, 秋季则与夏季刚刚相反, 主要为负值

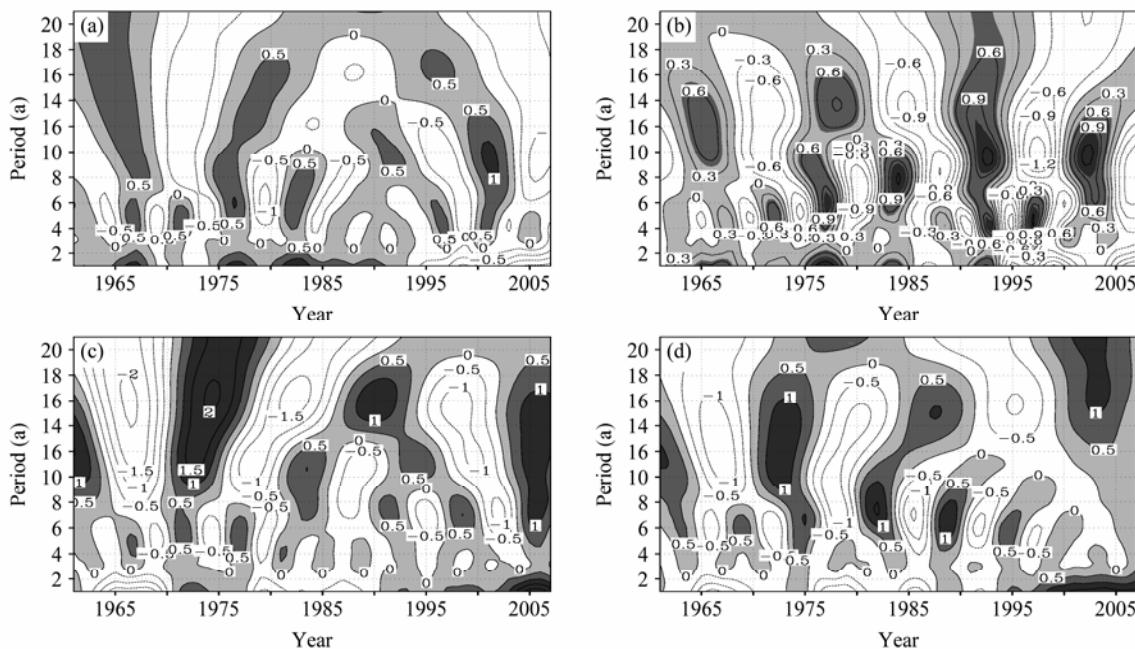


图 6 高原四季开始日期的小波变换: (a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

Fig. 6 The wavelet analysis of season start dates: (a) Spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

区，正值区仅在拉萨附近、西藏和四川交界处的贡觉附近、德令哈。

(2) 四季开始日期在年代际的表现上，春季在 1990 年代之前表现为不同的地区对全球变暖有不同的反应，整体上相对平稳并没有表现出明显的提早趋势，春季开始日期的提早从 1990 年代开始变得比较明显；夏季开始日期的提早变化相对春季更为平稳，从 1970 年代起有提早趋势，但是在 1980 年代提早趋势减弱，从 1990 年代有较明显的提早趋势；秋季开始日期的推迟变化相对平稳，秋季只是在 1960 年代和 1990 年代表现出较明显的推迟，其他年代没有明显的变化趋势；冬季在 1990 年代表现出推迟趋势但是并不明显，但是到 21 世纪初表现出较大幅度的推迟。

(3) 青藏高原四季开始日期主要存在年际、准 4 a、6~7 a、准 10 a 的周期变化，其中年际变化和 6~7 a 周期变化在四季中都较为明显，只是在四个季节中的不同年代出现。

在全球变暖的背景下，青藏高原四季开始日期已经发生了变化，春季和夏季提前，秋季和冬季推迟，这种变化趋势和我国大部分地区的四季变化趋势一致，但是对于四季变化最为显著的年代和哪个季节变化最为显著的问题，本文研究分析的结果和其他研究结果有一定差别，主要原因在于青藏高原气候的特殊性影响了当地的四季变化，这也更加说明青藏高原四季的独特性。四季除了受到气候变暖的影响外，还受到年际变化和准 4 a、6~7 a、准 10 a 的周期影响，Qian et al. (2011) 也曾用 EEMD (Ensemble Empirical Mode Decomposition) 的方法研究表明北京地区以及中国北部地区的春季提前与调制后的年循环、气候变暖有关，并且认为调制后的年循环对中国北部地区的春季提前影响尤为明显，本文认为四季变化确实受到年际变化的影响，但是我们认为青藏高原的四季变化受到多种因素影响，年际变化只是影响因子之一，这样的分歧主要原因在与所用的研究方法不同。除此之外，海拔也是影响四季变化的因子之一，但在本文我们没有多做讨论，我们主要讨论的是高原整体变化的分布状况，同时海拔 4500 m 以上的大部分地区常年积雪，多为人烟稀少区，本文讨论四季变化主要着眼与人们的实际生活生产、农牧业、旅游服务，所以对于人烟稀少去没有太多考虑，对于此不足，我们会在下一步的研究中详细讨论。

参考文献 (References)

- 陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等. 1998. 中国近 45 年来气候变化的研究 [J]. 气象学报, 56 (3): 257–271. Chen Longxun, Zhu Wenqin, Wang Wen, et al. 1998. Studies on climate change in China in recent 45 year [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 56 (3): 257–271.
- 陈正洪, 史瑞琴, 陈波. 2009. 季节变化对全球气候变化的响应——以湖北省为例 [J]. 地理科学, 29 (6): 911–916. Chen Zhenghong, Shi Ruiqin, Chen Bo. 2009. Responses of changing of climatic seasons to global warming: A case of Hubei province in central China [J]. Scientia Geographica Sinica (in Chinese), 29 (6): 911–916.
- 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 2006. 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 [J]. 气候变化研究进展, 2 (1): 3–8. Ding Yihui, Ren Guoyu, Shi Guangyu. 2006. National assessment report of climate change (I): Climate change in China and its future trend [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese), 2 (1): 3–8.
- 杜军. 2001. 西藏高原近 40 年的气温变化 [J]. 地理学报, 56 (6): 682–690. Du Jun. 2001. Change of temperature in Tibetan Plateau from 1961 to 2000[J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 56 (6): 682–690.
- 范思睿, 范广洲, 董一平, 等. 2011. 青藏高原四季划分方法探讨 [J]. 高原山地气象研究, 31 (2): 1–11. Fan Sirui, Fan Guangzhou, Dong Yiping, et al. 2011. Research of the seasonal division method on Tibetan Plateau [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research (in Chinese), 31 (2): 1–11.
- 冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 1998. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据 [J]. 科学通报, 43 (6): 633–636. Feng Song, Tang Maocang, Wang Dongmei. 1998. Qinghai-Tibet plateau is China's climate change trigger zone [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 43 (6): 633–636.
- 顾品强. 2008. 上海市奉贤区近 50 年四季初终期变化特征分析 [J]. 大气科学研究与应用, 2: 106–112. Gu Pinqiang. 2008. Variation characteristic analysis of the first and last day of the four seasons in Fengxian district of shanghai for recent 50 years [J]. Atmospheric Science Research and Application (in Chinese), 2: 106–112.
- 林振耀, 赵听奕. 1996. 青藏高原降水气温变化的空间特征 [J]. 中国科学 (D 辑), 26 (4): 354–358. Lin Zhenyao, Zhao Xinyi. 1996. Space characteristic of air temperature and Precipitation [J]. Science in China (Series D) (in Chinese), 26 (4): 354–358.
- 刘晓东, 侯萍. 1998. 青藏高原及其邻近地区近 30 年气候变暖与海拔高度的关系 [J]. 高原气象, 17 (3): 245–249. Liu Xiaodong, Hou Ping. 1998. Relationship between the climatic warming over the Qinghai-Xizang Plateau and its surrounding areas in recent 30 years and the elevation [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 17 (3): 245–249.
- 刘晓东, 张敏锋, 惠晓英, 等. 1998. 青藏高原当代气候变化特征及其对温室效应的响应 [J]. 地理科学, 18 (2): 113–121. Liu Xiaodong, Zhang Minfeng, Hui Xiaoying, et al. 1998. Contemporary climatic change of the Qinghai-Xizang Plateau and its response to greenhouse effect [J]. Scientia Geographica Sinica (in Chinese), 18 (2): 113–121.
- 刘晓东, 晏利斌, 程志刚, 等. 2008. 中低纬度高原山地气候变暖对海拔高度的依赖性 [J]. 高原山地气象研究, 28 (1): 19–23. Liu Xiaodong,

- Yan Linbin, Cheng Zhigang, et al. 2008. Elevation dependency of climatic warming over major plateaus and mountains in mid-low latitudes [J]. *Plateau and Mountain Meteorology Research* (in Chinese), 28 (1): 19–23.
- 马晓波. 1999. 中国西北地区最高、最低气温的非对称变化 [J]. *气象学报*, 57 (5): 613–620. Ma Xiaobo. 1999. The asymmetric change of maximum and minimum temperature in the northwest China [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 57 (5): 613–620.
- 马晓波, 李栋梁. 2003. 青藏高原近代气温变化趋势及突变分析 [J]. *高原气象*, 22 (5): 507–512. Ma Xiaobo, Li Dongliang. 2003. Analyses on air temperature and its abrupt change over Qinghai-Xizang Plateau in modern age [J]. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 22 (5): 507–512.
- 马志红, 李树岩, 许蓬蓬. 2008. 郑州市近 37 年季节长短及极端气温变化分析 [J]. *气象与环境科学*, 31 (Suppl): 7–10. Ma Zhihong, Li Shuyan, Xu Pengpeng. 2008. Analysis of season length and extreme temperature variation of Zhengzhou in recent 37 years [J]. *Meteorological and Environmental Sciences* (in Chinese), 31(Suppl): 7–10.
- 牛涛, 陈隆勋, 王文. 2002. 青藏高原冬季平均温度、湿度气候特征的 REOF 分析 [J]. *应用气象学报*, 13 (5): 671–681. Niu Tao, Chen Longxun, Wang Wen. 2002. REOF analysis of climatic characteristics of winter temperature and humidity on Xizang-Qinghai Plateau [J]. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 13 (5): 671–681.
- Qian C, Fu C B, Wu Z H, et al. 2011. The role of changes in the annual cycle in earlier onset of climatic spring in northern China [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 28 (2): 284–296.
- 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 2005a. 中国气温变化研究最新进展 [J]. *气候与环境研究*, 10 (4): 701–716. Ren Guoyu, Chu Ziying, Zhou Yaqing, et al. 2005a. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 10 (4): 701–716.
- 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 2005b. 近 54 年中国地面气温变化 [J]. *气候与环境研究*, 10 (4): 718–727. Ren Guoyu, Xu Mingzhi, Chu Ziying, et al. 2005b. Changes of surface air temperature in China during 1951–2004 [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 10 (4): 718–727.
- 唐红玉, 李锡福. 1999. 青海高原近 40 年来最高和最低温度变化趋势的初步分析 [J]. *高原气象*, 18 (2): 230–235. Tang Hongyu, Li Xifu. 1999. Preliminary analysis on maximum and minimum temperature change in Qinghai plateau during recent 40 years [J]. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 18 (2): 230–235.
- 唐薇. 2000. 用 5 日滑动平均气温作四季划分 [J]. *绵阳经济技术高等专科学校学报*, 17 (4): 19–21. Tang Wei. 2000. Delimiting four seasons through sliding mean temperature of five days [J]. *Journal of Mianyang College of Economy and Technology* (in Chinese), 17 (4): 19–21.
- 韦志刚, 黄荣辉, 董文杰. 2003. 青藏高原气温和降水的年际和年代际变化 [J]. *大气科学*, 27 (2): 157–170. Wei Zhigang, Huang Ronghui, Dong Wenjie. 2003. Interannual and interdecadal variations of air temperature and precipitation over the Tibetan Plateau [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 27 (2): 157–170.
- 杨琳, 钟保麟. 2007. 热岛效应对四季变化的影响 [J]. *气象研究与应用*, 28 (3): 18–19, 32. Yang Lin, Zhong Baolin. 2007. Urban heat island effect on the four seasons [J]. *Journal of Meteorological Research and Application* (in Chinese), 28 (3): 18–19, 32.
- 郁珍艳, 范广洲, 华维, 等. 2010a. 气候变暖背景下我国四季开始时间的变化特征 [J]. *气候与环境研究*, 15 (1): 73–82. Yu Zhenyan, Fan Guangzhou, Hua Wei, et al. 2010a. Variation characteristics of season start dates over China under the global warming [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 15 (1): 73–82.
- 郁珍艳, 范广洲, 华维, 等. 2010b. 气温突变对我国四季开始日期的影响 [J]. *气象*, 36 (11): 32–37. Yu Zhenyan, Fan Guangzhou, Hua Wei, et al. 2010b. The impact of temperature mutation on the seasonal start date over China [J]. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 36 (11): 32–37.
- 张静, 吕军, 项瑛, 等. 2008. 江苏省四季变化的分析 [J]. *气象科学*, 28 (5): 568–572. Zhang Jing, Lü Jun, Xiang Ying, et al. 2008. The analysis of Jiangsu province's four seasons [J]. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 28 (5): 568–572.
- 张美玲. 2004. 滕州市近 40 年的四季变化 [J]. *山东气象*, 24 (2): 14–15. Zhang Meiling. 2004. The trend of Tengzhou four seasons [J]. *Journal of Shandong Meteorology* (in Chinese), 24 (2): 14–15.
- 张凌云. 2009. 近 48 年柳州市候温度及季节变化分析 [J]. *气象研究与应用*, 30 (2): 39–42. Zhang Lingyun. 2009. Seasonal changes characteristic of pentad average temperature in Liuzhou city in recent 48 years [J]. *Meteorological research and Application* (in Chinese), 30 (2): 39–42.