

张风华, 任岗, 孙自武. 2011. 新疆玛纳斯河流域 50 年来气候变化及其对木本植物物候期的影响 [J]. 气候与环境研究, 16 (6): 767 - 773. Zhang Fenghua, Ren Gang, Sun Ziwu. 2011. Climate change during the past 50 years and its impact on phenophase of woody plants in Manas River valley, Xinjiang [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (6): 767 - 773.

新疆玛纳斯河流域 50 年来气候变化及其 对木本植物物候期的影响

张风华¹ 任岗² 孙自武¹

1 新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 石河子 832003

2 石河子气象局, 石河子 832000

摘要 以中亚典型冰川融化区新疆玛纳斯河流域为例, 分析了 50 年来气候变化趋势及周期性波动规律, 并阐明当地主要木本植物物候变化及对气候变化的响应。研究表明: 玛纳斯河流域气候总体趋向于暖湿方向的发展, 其中非作物生长季的增温幅度较大, 而作物生长季降水量的增加幅度较大。气温与降水的周期震荡存在较大差异, 但均在 10 年尺度下表现为频繁的偏高期和偏低期的循环交替, 反映出短期气候变化的复杂性和无常性。箭杆杨、柳树、新疆杨和榆树 4 种主要木本植物的落叶末期和生长季变化的倾向率均为正值, 说明物候现象均有不同程度提早发生的趋势。气温、降水和日照时数的变化趋势与 4 种木本植物的物候期的变化趋势在一定程度上存在着一致性, 同时建立了木本植物物候期和气候因子之间的最优回归方程。

关键词 气候变化 趋势分析 周期性波动 木本植物

文章编号 1006-9585 (2011) 06-0767-07 **中图分类号** S162.8 **文献标识码** A

Climate Change During the Past 50 Years and Its Impact on Phenophase of Woody Plants in Manas River Valley, Xinjiang

ZHANG Fenghua¹, REN Gang², and SUN Ziwu¹

1 Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Bingtuan, Shihezi University, Shihezi 832003

2 Shihezi Meteorological Bureau, Shihezi 832000

Abstract The Manas River valley, which is the typical inland river formed from glacier-melted water in the Central Asia, was chosen as the sample. The trend and periodic fluctuation of climate change during the past five decades was analyzed, and the phenophase change and the response to climate change of locally main woody plants was illustrated. The results showed that the climate in Manas River valley generally trended to be warm and humid in the recent five decades. The degree of temperature rise was larger in the non-crop growing season than that in crop growing season, while the increment of precipitation was larger in crop growing season. The annual temperature exhibited a circular alternation from higher period to lower period under the scale of ten years, and the number of points of abrupt climate change increased, which indicated the complexity and uncertainty in the short-period climate fluctuation existing in this region. The inclination rate between the deciduous end and growing season in the main

收稿日期 2010-04-27 收到, 2011-06-22 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金 30760105, 教育部优秀人才支持计划 NCET-09-0903, 人社部课题 200901

作者简介 张风华, 女, 1970 年出生, 博士, 主要从事绿洲农业生态与可持续发展方向研究。E-mail: fenghua-zhang@hotmail.com

woody plants, for example Lombardy poplar, willows, Xinjiang poplar, and elm, is positive, which indicated phenological phenomena of woody plant occurred early. The regression coefficients between woody plants and climate factors were established to indicate that woody plant kept the same change trend with the temperature, precipitation, and sunshine hours.

Key words climate change, trend analysis, periodic variability, woody plants

1 引言

全球气候变化是人类迄今面临的最大的环境问题,也是 21 世纪最复杂的挑战之一。自 20 世纪 80 年代以来,许多学者对全球气候变化作了不少研究 (Freebairn, 2007; Nordlund, 2008)。在过去 100 年里,全球平均温度上升了 $0.3\sim 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。目前人们已切身感受到冰川融化、干旱蔓延、作物生产力下降、动植物行为发生变异等气候变化带来的影响 (Kappelle et al., 1999; Mearns, 2003)。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 在综合大量研究结果的基础上认为全球气候变化首先对农业产生重大影响。主要表现在对农作物产量、生长发育、病虫害、粮食安全、农业水资源及农业生态系统结构和功能等方面 (Halsnæs and Verhagen, 2007; Nordt et al., 2008)。中国气候变化与全球变化一致,其中以干旱区最为明显 (李江风和蒋玉贤, 1991), 该区域对全球变化响应具有独特性,能及时、灵敏地反映气候变化,体现全球变化的早期信号。而新疆是最为突出的地区之一 (刘景时, 1994)。

物候是自然环境中动植物生命活动的季节性现象和在特定时间出现的某些气象、水文现象。国内外有关物候现象对气候变化响应的研究较多。早期竺可桢和宛敏渭 (1980) 指出现代研究物候的主要目的是认识自然季节现象的变化规律,物候季节指标能反映气候对作物的综合影响,能反映气候生长季的年际变化,还能较好地反映地区间的气候和农业气候的差异。陈效速和张福春 (2001) 分析了北京近 50 年春季物候的变化规律及其对气候变化的响应,表明各种春季物候现象出现的早晚与春季月份的气温波动有高度相关,与生长季的积温和年平均气温的相关系数较高;郑景云等 (2002) 分析了近 40 年我国木本植物物候变化及其对气候变化的响应关系,建立了不同

年代物候期与地理位置之间的关系模式。

Schwartz and Reed (1999) 研究报道了北美春季物候的提早; Beaubien and Freeland (2000) 研究了北美春季变化的空间分布; Fitter et al. (1995)、Spark and Carey (1995) 研究了英国的物候趋势,预测表明全球温度升高 $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 春季开花将提前 2 周左右; Forchhammer et al. (1998) 研究指出在过去 20~30 年里欧洲动植物和鸟类繁殖在提前。越来越多的科学研究显示 (Ellis et al., 1997; Snyder et al., 2001; Warren et al., 2001), 在过去 10 年中,大规模物候期的变化同气候变暖相一致,在植物各生长发育期的前期,各种物候期的开始日期与其前期气温之间有显著的相关性 (Ahas et al., 2000)。

综合研究表明,物候期主要是由气候决定的,所以可把物候期作为气候变化的间接指标。植物在当地的适应性或物候期的迟早,都不同程度地指示着当地的气候,是反应其生长过程中的温度、降水量、湿度及日照等气象要素综合作用的活仪器。本研究以中亚干旱区典型冰川融化型内陆河——玛纳斯河流域为例,分析其近 50 年来气候变化趋势及周期性波动,并阐明木本植物物候变化对其气候变化的响应,对研究干旱区未来气候变化以及农业可持续发展有重要的意义。

2 研究区概况及方法

2.1 研究区概况

研究区玛纳斯河流域位于新疆天山北坡中段,准噶尔盆地南缘 ($43^{\circ}21'\text{N}\sim 45^{\circ}20'\text{N}$, $84^{\circ}43'\text{E}\sim 86^{\circ}35'\text{E}$)。属典型大陆性干旱气候,年平均气温 $6\sim 6.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 无霜期 160~170 d, 年降水量 110~200 mm, 日照 2798~2839 h, 年蒸发量 1000~1500 mm。玛纳斯河流域地貌呈现典型的山地—绿洲—沙漠山盆系统结构。绿洲农田灌溉主要靠天山降雨及融水汇集的河流径流水。解放以来,

玛纳斯河流域已开垦 40 多万公顷耕地变荒漠为绿洲，成为新疆最大绿洲农耕区和全国第四大灌溉农业区。本文选择这种典型区域研究中短期的气候变化及对植物物候期的影响，可以为干旱区大尺度区域长期的气候变化提供借鉴。

2.2 数据收集

收集玛纳斯河流域绿洲平原区的上部、中部、下部的 3 个气象站点（见图 1）所提供的 1956~2006 年的气象观测资料，个别年限缺失的气象数据用插值法和比值法获取。计算出历年的气温、降水及径流量。在此基础上，通过平均和标准差进行距平标准化处理。

2.3 气候变化趋势分析

平均气温、降水量的变化趋势采用 Man-Kendall 法分析 (Da Silva, 2004)。Man-Kendall 法是一种非参数统计检验方法，其优点是不遵从一定的分布，也不受少数异常值的干扰，更适合于类型变量和顺序变量，计算方便，其统计量为：

$$U_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{V(S_k)}}, k = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

其中，秩序列 S_k 是 i 时刻大于 j 时刻个数的累积值； $U_1=0$ ； $E(S_k)$ 、 $V(S_k)$ 是累积数 S_k 的均值和方差； U_i 是标准正态分布，它是时间序列 $x(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 计算出来的统计量序列；给定显著性水平 α ，若 $|U_i| > U_\alpha$ ，则表明序列有明显的趋势变化。

2.4 气候变化周期性分析

气候变化周期性分析采用小波分析法。小波分析是在傅立叶 (Fourier) 变换的基础上引入了窗口函数。本文采用墨西哥帽小波 (Mexican hat) 函数对玛纳斯河流域的气候因子的时间序列进行连续小波变换，其小波变换函数形式如下：

$$\phi(t) = (1 - t^2)e^{-(t^2/2)}. \quad (2)$$

为了判断气候因子序列的主要周期，本文采用如下方程进行小波方差检验：

$$W(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |W_f(a, b)|^2 db, \quad (3)$$

其中， $W(a)$ 为小波方差， $W_f(a, b)$ 为小波系数。

3 结果与分析

3.1 气候变化趋势

3.1.1 气温变化趋势及周期分析

3.1.1.1 年气温变化趋势分析

玛纳斯河流域 50 年来年均气温变化整体上呈现上升趋势，但不同时期的变化又存在着差异 (见图 2a)。其中 20 世纪 50、60 年代气温变化的波动性比较大，1963 年平均气温统计量达到高值后又持续下降，并在 1970 年降至负值，说明此时期气温处于一个较低的时期；从 20 世纪 70 年代中后期到 80 年代，呈现升高趋势，尤其是进入 90 年代以来，气温持续上升，在 1989~2006 年的 18 年间气温的变化趋势达到了 0.05 显著水平 (见图 2b)。近 10 年气温已经达到历年之首，与 20 世纪 50 年代相比较，增加了 2.7 °C，比 60 年代增加 1.6 °C，比 70 年代、80 年代分别增加 1.4 °C、0.9 °C。

新疆气候变化与全球和全国气候变化趋势基本一致，但又具有明显的区域性特点，即气候变暖幅度明显。干旱区绿洲 50 年来大规模农田开垦，以及水利和防护林建设的发展使绿洲面积不断扩大，改变了地表状态，由此引起水热平衡的改变，影响到绿洲局部气候的变化。可以说，绿洲气候是全球气候变化背景下的人类活动影响效

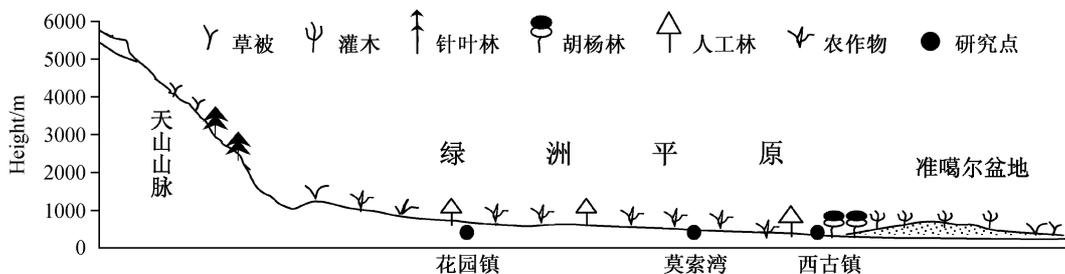


图 1 玛纳斯河流域山盆结构示意图及各研究点分布

Fig. 1 Mountain-basin structure and experiment sites in the Manas River valley

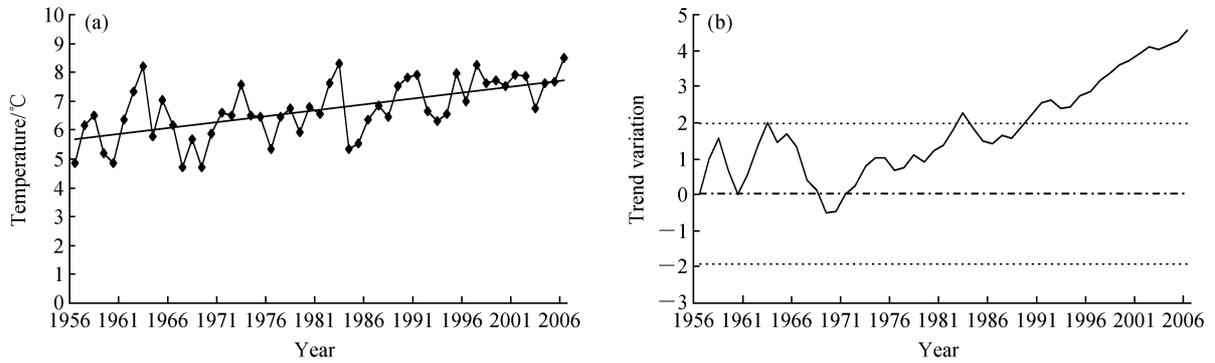


图2 历年 (a) 气温变化及 (b) 距趋势检验

Fig. 2 (a) Change and (b) trend test of the annual mean air temperature

果的叠加 (Shi et al., 2007)。

3.1.1.2 气温变化的周期分析

通过小波变换图, 分析玛纳斯河流域历年平均气温的周期变化范围。图 3a 表明, 年平均气温在 18~28 年较长时间尺度上, 经历了高→低→高→低 4 个循环交替, 其中 1956~1960 年、1967~1991 年气温较低, 而 1961~1966 年、1992~2006 年气温较高; 在 8~15 年的尺度上, 年平均气温经历了低—高一低等共计 11 个循环交替; 对于 7 年以下的时间尺度则有更多的偏高期和偏低期的循环交替, 气温突变点增多。通过小波方差图可以看出 (图 3b), 年平均气温方差图有 2 个峰值, 分别对应时间尺度 9 年和 30 年, 其中 9 年左右的周期震荡最强, 为年平均气温变化的第一主周期, 第 2 主周期为 30 年。

3.1.2 气候变化的总体趋势

为了更进一步揭示玛纳斯河流域近 50 年来的气候变化幅度, 分别建立了气温、降水、日照时

数与时间的一元线性回归 (表 1), 其中时间尺度分别为全年、作物生长季节 (4~9 月) 和非作物生长季节 (10~3 月)。结果表明: 作物生长季和非作物生长季的平均气温、降水量的回归系数均

表 1 气温、降水和日照时数的一元线性回归

Table 1 Linear trend and estimates of air temperature, rainfall, and sunshine hours

项目	时段	回归系数	相关系数
平均气温	全年	$0.40\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.591**
	作物生长季	$0.36\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.642**
	非作物生长季	$0.46\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.395**
降水量	全年	$9.87\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.312*
	作物生长季	$6.74\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.269*
	非作物生长季	$3.13\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.256
日照时数	全年	$-36.59\text{ h}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.348*
	作物生长季	$-23.05\text{ h}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.292*
	非作物生长季	$-20.49\text{ h}\cdot(10\text{ a})^{-1}$	0.353*

**、* 分别表示通过 0.01、0.05 显著性水平检验, 下同。

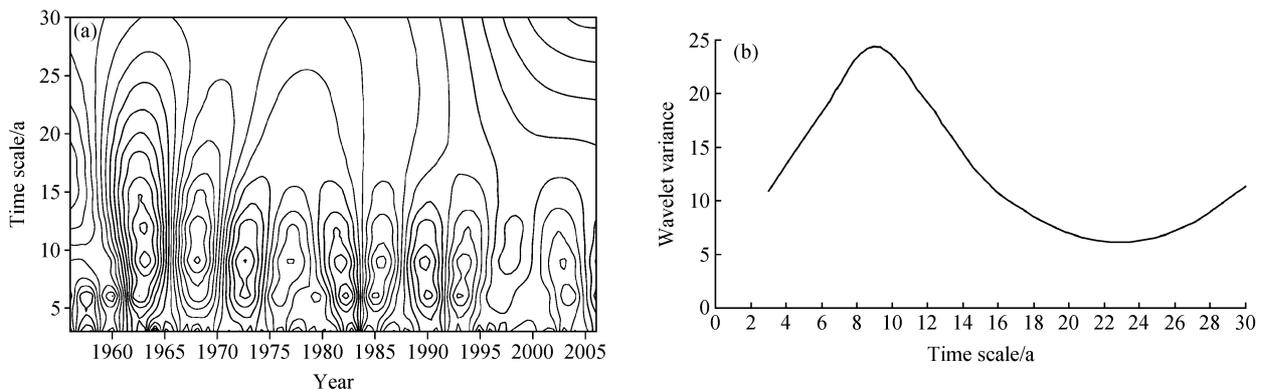


图3 历年平均气温 (a) 小波变换及 (b) 小波方差图

Fig. 3 (a) The wavelet transform and (b) wavelet variance of annual mean temperature

为正值, 说明这两个时段内均有温度升高和降水增多的变化趋势, 其中非作物生长季的增温幅度较大, 而作物生长季降水量的增加幅度较大; 从相关系数来看, 两个时间段的增温幅度均达到了 0.01 极显著性水平, 全年、作物生长季降水增加的幅度也达到了 0.05 显著性水平。这与胡汝骥等 (2002) 指出的新疆出现了气候由暖干向暖湿转变以及何清等研究的新疆气温呈上升趋势, 变暖主要集中在冬季的结论接近。作物生长季和非作物生长季日照时数的回归系数均为负值, 表明日照时数有减少的趋势, 且均已达到显著性水平。

3.2 木本植物物候变化对气候变化的响应

研究物候变化对气候变化的响应规律, 既能从客观上反映气候的变化规律, 又可以指导农业生产合理安排农时。由于物候观测的年代比较短, 资料较难搜集, 本研究利用玛纳斯河流域气象试验站 1980~2002 年的木本植物 (主要包括箭杆杨、新疆杨、柳树和榆树 4 种在当地具有代表性的木本植物) 的物候观测资料, 分析物候对气候变化的响应规律。

3.2.1 木本植物物候期的变化

大多数动植物的生命循环周期是与温度、降水和光照的季节性变化紧密相联的。气候变暖使植物开始和结束生长的日期发生相应的变化。尽管这种变化的时间长度在不同物种、不同地区间是不同的, 但变化的倾向是相同的。

如表 2 表示, 箭杆杨和榆树的芽开放期、柳树的展叶始期以及新疆杨的开花始期变化的倾向率均为负值, 说明这些物候现象均有不同程度的提早发生的趋势, 4 种植物的落叶末期和生长季变化的倾向率均为正值, 则表明了落叶时期推迟和生长季延长的总体趋势。

表 2 4 种常见的木本植物物候期变化的倾向率

Table 2 Inclination rate of the phenophase change in four kinds of woody plants $d \cdot (10 a)^{-1}$

树种	芽开放期	展叶始期	开花始期	落叶末期	生长季
箭杆杨	-0.54	/	/	2.12	3.05
柳树	/	-4.65	/	3.32	7.97
新疆杨	/	/	-2.8	6.47	9.28
榆树	-0.24	/	/	4.23	4.83

注: 部分数据由于观测年数少用/表示, 柳树的展叶始期和新疆杨的开花始期作为一年生长季的开始进行计算。

3.2.2 木本植物物候期对气候变化的响应

箭杆杨、柳树、新疆杨和榆树的生长季主要在 4~10 月, 为了揭示物候变化和气候因子的响应关系, 计算出了 1980~2002 年 4~10 月平均气温、降水和日照时数变化的倾向率, 如表 3 所示: 各气候因子的倾向率均为正值, 尤其是平均气温, 其增加的趋势达到了极显著水平, 降水和日照时数的增加趋势也达到了显著水平。气温、降水和日照时数的变化趋势与上述四种木本植物的物候期的变化趋势在一定程度上存在着一致性。

表 3 历年 4~9 月气温、日照时数和降水变化的倾向率

Table 3 Inclination rate of average temperature, rainfall, and sunshine hours during April to October

	倾向率	相关系数
平均气温	$0.35 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$	0.758**
降水量	$0.70 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$	0.324*
日照时数	$7.34 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$	0.315*

通过木本植物生长季的长度与气候因子之间的相关分析 (表 4), 4 种木本植物生长季的长度与 4~10 月降水量和平均相对湿度关系不大; 柳树、新疆杨的生长季长度与 4~10 月的平均气温达到了极显著正相关; 榆树、箭杆杨的生长季长度与 4~10 月平均气温也达到了显著的正相关水平; 新疆杨的生长季长度与日照时数呈通过 0.05 显著性水平的显著正相关。

表 4 木本植物年生长季长度与气候因子之间的相关系数

Table 4 The regression coefficients between annually growing season length of woody plants and climate factors

树种	4~10 月	4~10 月	4~10 月
	平均气温	平均日照时数	平均降水
箭杆杨	0.330*	0.301	0.120
新疆杨	0.694**	0.456*	-0.057
柳树	0.825**	0.176	-0.034
榆树	0.502*	0.215	0.180

为了进一步揭示物候变化和气候变化的响应关系, 通过逐步回归分析, 建立了物候期和气候因子之间的最优回归方程:

(1) 新疆杨开花始期与气象因子之间的回归方程:

$$Y_a = -1.48X_{a1} - 0.92X_{a2} - 0.091X_{a3} -$$

$$1.69X_{a4} + 36700.86, R^2 = 0.90, \quad (4)$$

其中, R 为复相关系数, Y_a 为新疆杨开花始期; X_{a1} 为 1~4 月平均气温, 它与新疆杨的开花始期呈负相关, 即 1~4 月份平均气温越高, 开花始期就越早; X_{a2} 为上年 10 月至当年 2 月相对湿度, 与新疆杨的开花始期呈负相关, 表示该时期相对湿度越高, 开花始期就越早; X_{a3} 为 3 月日照时数, 与新疆杨的开花始期呈负相关, 说明 3 月日照越丰富, 开花始期就越早; X_{a4} 为上年 11 月至当年 4 月平均气温, 它与新疆杨的开花始期呈负相关, 即该时期气温越高, 开花始期就越早, 因为花芽的分化和发育是从上一年的 11 月开始的, 所以开花始期与上年冬季的温度有明显的负相关。

(2) 箭杆杨落叶末期气象因子之间的回归方程:

$$Y_b = 4.92X_b + 36740.61, R^2 = 0.54, \quad (5)$$

其中, Y_b 为箭杆杨落叶末期; X_b 为 8~9 月平均气温, 与箭杆杨的落叶末期呈正相关, 即该时期气温越高, 落叶的时期越迟, 对秋季降温的快慢有很好的指示作用。

(3) 柳树芽开放期气象因子之间的回归方程:

$$Y_c = -0.49X_{c1} - 2.26X_{c2} + 36589.13, \\ R^2 = 0.79, \quad (6)$$

其中, Y_c 为柳树芽开放期; X_{c1} 为上年 1 月降水量, 与柳树芽开放期呈负相关, 表明该时期降水越多, 柳树芽开放的时期越早; X_{c2} 为当年 1 月平均气温, 与柳树芽开放期呈负相关, 即这段时间气温越高, 柳树芽开放期越早。

(4) 柳树落叶末期与气象因子之间的回归方程:

$$Y_d = 1.69X_{d1} + 4.95X_{d2} + 36701.52, \\ R^2 = 0.82, \quad (7)$$

其中, Y_d 为柳树落叶末期; X_{d1} 为上年 8 月平均气温, 与柳树落叶末期呈正相关, 即这段时期气温越高, 柳树生长季结束的就越迟; X_{d2} 为当年 8~9 月平均气温, 与柳树落叶末期呈正相关。

(5) 榆树芽开放期与气象因子之间的回归方程:

$$Y_e = -0.092X_{e1} - 2.22X_{e2} + 36652.78, \\ R^2 = 0.70, \quad (8)$$

其中, Y_e 为榆树芽开放期; X_{e1} 为当年 2~3 月份平均日照时数, 与榆树芽的开放期呈负相关, 该时期

日照越丰富, 榆树芽开放的就越早; X_{e2} 为当年 3~4 月平均气温, 与榆树芽的开放期呈负相关。

4 结语与讨论

我国的气候变化趋势与全球气候变化的总趋势基本一致。新疆处于欧亚大陆中心, 典型的干旱荒漠区, 受全球变暖影响更大。近 50 年来, 玛纳斯河流域气候总体趋向于暖湿方向的发展, 但不同时期的变化又存在着差异。其中在非作物生长季的增温幅度较大, 而作物生长季降水量的增加幅度较大。

气温与降水变化的周期震荡存在较大差异, 其中历年气温在 10 年左右变化的周期性震荡最强, 降水则存在 30 年左右的主周期。但是气温与降水均在 10 年尺度下表现为频繁的偏高期和偏低期的循环交替, 突变点增多。说明该区域存在短期内气候波动的复杂性和无常性。

箭杆杨、柳树、新疆杨和榆树 4 种植物的落叶末期和生长季变化的倾向率均为正值, 表明了落叶时期推迟和生长季延长的总体趋势。通过木本植物生长季的长度与气候因子之间的相关分析, 气温、降水和日照时数的变化趋势与 4 种木本植物的物候期的变化趋势在一定程度上存在着一致性。通过逐步回归分析, 建立了物候期和气候因子之间的最优回归方程。

在过去的 50~100 年, 全球气候经历了暖冬、高温、干旱等一系列变化, 但是新疆地区气候却趋向于暖湿方向发展。由于新疆荒漠地区高强度的开发为绿洲, 地表植被覆盖、湿度、温度、粗糙度等性质与周围荒漠在空间上有系统性的差异, 由此导致沙漠强烈的增温效应和绿洲的湿岛效应可能是新疆气候趋暖增湿的主要原因, 这也是下一步需要做的工作。尽管全球变暖是不争的事实, 但是在变化的幅度、原因或区域分布及对农业的影响等, 特别是未来气候变化预测方面, 还存在许多不确定性。

参考文献 (References)

- Ahas R, Jaagus J, Aasa A. 2000. The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature [J]. Inter-

- national Journal of Biometeorology, 44 (4): 159 - 166.
- Beaubien E G, Freeland H J. 2000. Spring phenology trends in Alberta, Canada; Links to ocean temperature [J]. International Journal of Biometeorology, 44: 53 - 59.
- 陈效逮, 张福春. 2001. 近 50 年北京春季物候的变化及其对气候变化的响应 [J]. 中国农业气象, 22 (1): 1 - 5. Chen Xiaoqiu, Zhang Fuchun. 2001. Spring phenological change in Beijing in the last 50 years and its response to the climatic changes [J]. Agricultural Meteorology (in Chinese), 22 (1): 1 - 5.
- Da Silva V P R. 2004. On climate variability in Northeast of Brazil [J]. Journal of Arid Environments, 58: 575 - 596.
- Ellis W N, Donner J H, Kuchlein J H. 1997. Recent shifts in phenology of microlepidoptera related to climatic change [J]. Entomologische Berichten, 57: 66 - 72.
- Forchhammer M C, Post E, Stenseth N C. 1998. Breeding phenology and climate [J]. Nature, 391: 29 - 30.
- Fitter A H, Fitter R S R, Harris I T B, et al. 1995. Relationships between first flowering date and temperature in the flora of a locality in central England [J]. Functional Ecology, 9: 55 - 60.
- Freebairn J. 2007. Climate change: Some economic policy issues. Economic issues with climate change [J]. The Australian Economic Review, 40 (4): 402 - 912.
- Halsnæs K, Verhagen J. 2007. Development based climate change adaptation and mitigation—Conceptual issues and lessons learned in studies in developing countries [J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 12: 665 - 684.
- 胡汝骥, 马虹, 樊自立. 2002. 新疆水资源对气候变化的响应 [J]. 自然资源学报, 17 (1): 22 - 27. Hu Ruji, Ma Hong, Fan Zili. 2002. Response of water resources to climate change in Xinjiang [J]. Journal of Natural Resources (in Chinese), 17 (1): 22 - 27.
- Kappelle M, Margret M I, Vuuren V, et al. 1999. Effects of climate change on biodiversity: A review and identification of key research issues [J]. Biodiversity and Conservation, 8: 1383 - 1397.
- 李江风, 蒋玉贤. 1991. 新疆近 40 年来的冬春气温变化和环流特征 [J]. 干旱区地理, (4): 36 - 41. Li Jiangfeng, Jiang Yuxian. 1991. Change of temperature and circulation characteristics in winter and spring for the recent 40-years in Xinjiang [J]. Arid Land Geography (in Chinese), 4: 36 - 41.
- 刘景时. 1994. 气候变化对冰川融水型河流水情的影响——以玛纳斯河为例 [J]. 干旱区资源与环境, 2: 40 - 46. Liu Jingshi. 1994. Study on influence of climate change on meltwater hydrology—Take Manas River basin as an example [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment (in Chinese), 2: 40 - 46.
- Mearns L O. 2003. Issues in the impacts of climate variability and change on agriculture [J]. Climatic Change, 60: 1 - 6.
- Nordlund G. 2008. Futures research and the IPCC assessment study on the effects of climate change [J]. Futures, 40: 873 - 876.
- Nordt N, Fischer J V, Tieszen L, et al. 2008. Coherent changes in relative C4 plant productivity and climate during the late quaternary in the North American Great Plains [J]. Quaternary Science Reviews, 27: 1600 - 1611.
- Snyder R L, Spano D, Duce P, et al. 2001. Temperature date for phenological model [J]. International Journal of Biometeorology, 45: 178 - 183.
- Shi Y F, Shen Y P, Kang E, et al. 2007. Recent and future climate change in Northwest China [J]. Climatic Change, 80: 379 - 393.
- Sparks H T, Carey P D. 1995. The responses of species to climate over two centuries: An analysis of the Mars ham phenological record 1736 - 1947 [J]. Journal of Ecology, 83: 321 - 329.
- Schwartz M D, Reed B C. 1999. Surface phenology and satellite sensor-derived onset of greenness: An initial comparison [J]. International Journal of Remote Sensing, 20 (17): 3451 - 3457.
- Warren M S, Hill J K, Thomas J A. 2001. Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change [J]. Nature, 414: 65 - 69.
- 竺可桢, 宛敏渭. 1980. 物候学 [M]. 北京: 科学出版社, 83 - 87. Zhu Kezhen, Wan Minwei. 1980. Phenology [J]. Beijing: Science Press, 83 - 87.
- 郑景云, 葛全胜, 郝志新. 2002. 气候增暖对我国近 40 年植物物候变化的影响 [J]. 科学通报, 47 (20): 1582 - 1587. Zhen Jingyun, Ge Quansheng, Hao Zhixin. 2002. Effects of climate warming on plant phenological changes for the recent 40-years in China [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 47 (20): 1582 - 1587.