1959—2009 年秦岭山地气候变化趋势研究

高 翔[1,2], 白红英[1], 张善红[1], 贺映娜[1]

(1. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 2. 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

摘 要: 以秦岭山地 39 个气象站点 1959—2009 年近 50 a 来的气温、降水资料为基础,分析研究了秦岭南北坡半个世纪气温与降水的变化趋势及特征。结果表明:(1) 近 50 a 来研究区气温总体上呈增加趋势,北坡气温倾向率为 0.24 ℃/10 a,南坡为 0.15 ℃/10 a;20 世纪 80 年代中期以后,年均温呈极显著的增加趋势,特别是北坡地区气温倾向率高达 0.74 ℃/10 a,1993 年后秦岭地区气候暖化趋势显著。(2) 近 50 a 来除夏季季均气温呈微弱的减少趋势外,研究区春、秋、冬 3 季均温均呈极显著的上升趋势($p<0.01$),尤以冬、春两季平均气温上升更为显著;但 1983—2009 年 27 a 间秦岭夏季气温呈上升趋势。(3) 在 50 a 尺度内秦岭北坡年均降水量在增加,而南坡年均降水量在减少,导致南北降水量差值减少;但近 15 a 来秦岭南北坡年均降水量均有所增加,且北坡降水量增加速度更快(230.4 mm/10 a),说明秦岭北坡地区气候有暖湿化趋势。

关键词: 秦岭; 气候变化; 气温; 降水

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2012)01-0207-05 **中图分类号**: K903

Climatic Change Tendency in Qinling Mountains from 1959 to 2009

GAO Xiang[1,2], BAI Hong-ying[1], ZHANG Shan-hong[1], HE Ying-na[1]

(1. *College of Urban and Environment Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi* 710127, *China*;
2. *Public Weather Service Center of China Meteorological Administration, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: The trends and characteristics of temperature and precipitation on north and south slopes of Qinling Mountains were analyzed based on temperature and rainfall data from 1959 to 2009 collected from 39 meteorological sites in Qinling Mountains. Results showed as follows: (1) Temperature presented an increasing trend over the last 50 years. The temperature tendency rate was 0.24 ℃/10 a for the north slope and 0.15 ℃/10 a for the south slope. After the middle of 1980s, the annually averaged temperature appeared an obvious climbing trend and the temperature tendency rate for the north slope, in particular, reached up to 0.74 ℃/10 a. After 1993, Qingling region witnessed an apparent climate warming trend. (2) Over the 50 years, the average temperature in the study area presented a very remarkable rising trend in spring, autumn, and winter, with a slight downward trend in summer ($p<0.01$). Particularly, the rising trend of the average temperature was more notable in winter and spring. Temperature in summer showed an increasing trend in the 27 years from 1983 to 2009. (3) In the past 50 years, the annually averaged precipitation on the north slope increased, while it decreased on the south slope, which led to the reduction in the precipitation difference between the north slope and the south slope. However, in the last 15 years, both of the average precipitations on the north and south slopes increased slightly, with a faster pace on north slope of Qinling Mountains(230.4 mm/10 a). This indicated that the climate over the north slope of Qinling Mountains possessed a warming and wetting trend.

Keywords: Qinling Mountains; climate change; temperature; precipitation

气候变化是近年来人们十分关注的话题,也是国际外交的一个热点问题。作为人类赖以生存的自然环境和自然资源的一个重要组成部分,气候的任何变化都会对生态系统、社会经济以及人们的日常生活产生重大的影响,而其负面影响越来越受到社会的关注[1]。全球变化是由千差万别的区域变化构成的,在

收稿日期:2011-03-22 **修回日期**:2011-04-19
资助项目:国家科技基础性专项重点项目"秦巴山区生态群落与生物种质资源调查"(2007FY110800)
作者简介:高翔(1986—),男(汉族),陕西省西安市人,硕士研究生,主要从事气候变化研究。E-mail:138_pengpeng@163.com。
通信作者:白红英(1962—),女(汉族),陕西省凤翔县人,博士,教授,主要从事气候变化对区域环境的响应。E-mail:hongyingbai@163.com。

全球气候变化研究中，脆弱生态区和自然地理区域过渡地带的区域响应是研究重点之一。就区域性分析来讲，重点地区将集中在脆弱生态区和自然地理的过渡地带，如海岸带、水分条件的大梯度过渡带及山地[2]，这些地区由于抵抗外部干扰的能力差，对环境的改变更为敏感。气候变化是全球变化的重要组成部分，与人类的生存环境密切相关，人类只有了解气候变化的历史，了解其变化的幅度、机制，才能预测将来的变化趋势以及对人类社会的影响[3]。

秦岭山地北仰南俯，地处暖温带和亚热带的生态过渡带，是中国南北地理环境的重要分界线，其南北气候差异大，北坡属于暖温带半湿润气候带。南坡大部分地区则属于亚热带湿润气候带。秦岭山地还是重要的生物地理分界线，秦岭以北广泛分布暖温带落叶阔叶林，而秦岭以南分布的则是北亚热带落叶阔叶—常绿阔叶混交林。如位于秦岭南部的安康与位于北部地区的西安，两地纬度距离仅为 1°40′，直线距离不足 200 km，但当代气候变化的南北差异却比较显著。研究表明[4-5] 1959—2007 年秦岭以北变暖程度超过秦岭以南，而秦岭以南年降水量减少的绝对值超过秦岭以北，两地区的气候存在趋同性。在全球变暖大背景下，研究秦岭地区气候变化趋势对本地生态环境保护具有重要的意义。

1 研究区概况

秦岭腹地位于陕西省南部，东连豫鄂，西接甘陇，南望巴蜀，北瞰关中，大致位于东经 105°30′—110°05′，北纬 32°40′—34°35′。总面积约 10 km^2，包括秦岭以北关中地区的西安、宝鸡、渭南市的 15 个县(区)和秦岭以南的汉中、安康与商洛市的 24 个县(区)。

(1) 秦岭南坡地区。1 凤县，2 佛坪，3 勉县，4 汉阴，5 安康，6 岚皋，7 商县，8 山阳，9 洋县，10 城固，11 西乡，12 宁陕，13 旬阳，14 紫阳，15 丹凤，16 商南，17 太白，18 留坝，19 洋县，20 宁强，21 石泉，22 柞水，23 镇安，24 汉中。

(2) 秦岭北坡地区。25 扶风，26 渭南，27 户县，28 西安，29 华阴，30 华县，31 蓝田，32 岐山，33 眉县，34 周至，35 长安，36 潼关，37 洛南，38 宝鸡，39 咸阳。

2 资料来源与研究方法

2.1 气象资料

气象资料来源于陕西省气象局，主要包括秦岭山地 39 个气象站点 1959—2009 年各月平均气温和各月降水量。

2.2 研究方法

2.2.1 气候倾向率 通常气温、降水量等气候要素的趋势拟合可以用二次方程[6]表示，即：

$$X=a_0+a_1t+a_2t^2 \quad (t=1,2,3,\cdots,n) \tag{1}$$

式中：X——气候要素；a_0——截距；a_1，a_2——回归系数；t——时间。下同。

而其趋势变化只需选用一次方程，即：

$$X=a_0+a_1t \quad (t=1,2,3,\cdots,n) \tag{2}$$

那么一次方程回归系数 $a_1=d_x/d_1$，a_1 为正(负)值表示要素在计算时段内线形增加(减弱)。将 $a_1\times 10$ 记为 b 称为气候倾向率，其单位为某要素单位/(10a)，$b<0$ 表示在计算时段内呈下降趋势，$b>0$ 表示在计算时段内呈上升趋势。b 的绝对值大小可以度量其演变趋势上升下降的程度[7]。

2.2.2 气候趋势系数 气温和降水序列是符合正态分布的随机变量，其中，逐年时间是递增序列，即 1，2，3，…，n。如果 n 个时刻所对应的要素序列与自然数列相关显著，则表示该要素气候趋势明显，存在增加(减少)的趋势。要素自然序列的相关系数 r 可以表示为：

$$r=\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(i-t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2\sum_{i=1}^{n}(i-\bar{t})^2}} \tag{3}$$

式中：r——气候趋势系数；x_i—— 标志值；$\bar{x}$——平均值；i——自然数序列；t——因变量；$\bar{t}$——因变量平均值。

r 称作气候趋势系数。根据回归理论，气候趋势系数 r 与回归系数 a_1 有如下关系：

$$r=a_1(\sigma_t/\sigma_x) \tag{4}$$

式中：σ_x，σ_t——要素序列与自然数序列的均方差。

可使用通常的相关系数统计检验方法，检验气候趋势 r 是否显著。由于 r 无量纲，故其大小可以比较不同气象要素的长期变化趋势大小，特别是适合大范围的气象要素长期趋势的空间分布特征进行研究[8]。

3 结果与分析

3.1 1959－2009 年来秦岭气温变化趋势研究

3.1.1 近 50 a 来秦岭年均气温变化特征 图 1 为 1959—2009 年来秦岭年均气温变化趋势，由图 1 可以看出，近 50 a 来秦岭地区气温总体上呈增加趋势。秦岭北坡增温较南坡地区更为显著，秦岭北坡的气温倾向率为 0.24 ℃/10 a，秦岭南坡为 0.15 ℃/10 a。由南北坡年平均气温变化曲线可以看出：两地区年平均气温的波动频率、周期极为相似，几乎是同步波动，只是波动的幅度有所差别。秦岭南坡地区年均气温最高值

和最低值分别出现在 2006 年和 1976 年，其值分别为 14.5 ℃，12.7 ℃；秦岭北坡地区年均温最高值 14.5 ℃，最低值 12.1 ℃，分别出现在 2007 年和 1984 年。

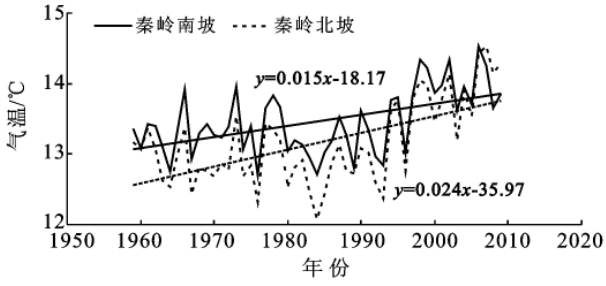


图 1　1959－2009 年秦岭南北坡地区年平均气温变化曲线

由图 1 可知，不论是北坡还是南坡在 1984 年左右气温达到最低，之后气温呈极显著的增加趋势，北坡气温倾向率高达 0.74 ℃/10 a，南坡为 0.48 ℃/10 a，即 20 世纪 80 年代中期以后，秦岭地区年平均气温急剧上升；北坡气温变化速率高于南坡，导致 1993 年以后，南北坡地区年均温差值明显减小，2007—2009 年 3 a 间秦岭北坡地区年均气温(14.3 ℃)高于南坡地区的年均温(13.9 ℃)。可见，20 世纪 90 年代后，年平均气温增加趋势更为明显，这与施雅凤等[9]对西北气候转型的研究及刘德祥等[10]对西北 5 省气候变化的分析结论较一致，即秦岭地区气侯呈暖化趋势，这种气候转型的趋势在秦岭北坡地区更加明显。以上结果说明秦岭南北坡地区气候变化趋势有所差异，秦岭具有气候响应分界的意义。

Matlab 小波分析工具对两地区年平均年均温进行分解，小波(wavelet)分析是采用正交、复正交变换，并应用滤波器对时间序列进行分析的一种新兴技术。本文利用 haar 小波对时间序列进行分析，Haar 函数是一组互相正交归一的函数集，其具有小支承的正交小波，Haar 小波分解计算简单运行效率高。由 Haar 小波分解构造误差驱动的数据压缩算法，可在指定的误差范围内得到较高的数据压缩比。对压缩数据采用通用参数化方法构造 3 次 B 样条曲线，可在算法高效实现的同时得到保形、仿射不变的插值曲线。本文使用指定的小波基函数对信号进行分解，分为近似分量和细节分量。图 2 即为 Haar 函数小波分析得到的近 50 a 来秦岭南、北坡年平均温度细节分量图。

由小波分析图 2 可以看出，秦岭南北坡地区的年平均气温波动变化频率较大，在 1993 年均出现了明显的低谷，即 1993 年为秦岭地区年均气温上升突变点。

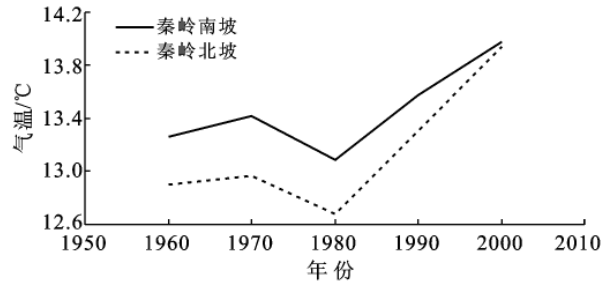


图 2　秦岭南北坡地区年平均气温小波分析

3.1.2　近 50 a 来秦岭山地四季气温变化　图 3a 为 1959—2009 年来秦岭山地春季季均气温变化趋势。由图 3 可知近 50 a 来秦岭春季季均气温呈上升趋势，但南北地区上升趋势不一致，南坡气温倾向率为 0.24 ℃/10 a，北坡为 0.38 ℃/10 a，南北季均气温趋势线于 1997 年左右相交，此后北坡季均气温高于南坡。

图 3b 为近 50 a 来秦岭南北坡地区夏季均温变化及其趋势。近 50 a 来两地区夏季均气温呈下降趋势，北坡地区的气温倾向率为－0.11 ℃/10 a，南坡地区的气温倾向率为－0.04 ℃/10 a。1983 年南北地区均达到 50 a 来最低值，1959—1983 年，北坡的气候倾向率－0.67 ℃/10 a，南坡为－0.47 ℃/10 a，即北坡气温下降速度高于南坡；但 1983—2009 年，秦岭南北坡夏季季均温均上升，北坡的气候倾向率 0.29 ℃/10 a 低于南坡 0.34 ℃/10 a，即近 27 a 来秦岭夏季季均温已呈升高趋势。

图 3c 为近 50 a 来秦岭南北坡地区秋季气温趋势图。近 50 a 来秋季气温呈上升趋势，北坡地区的升温速率高于南坡地区，南北坡地区的气温倾向率分别为 0.16 ℃/10 a，0.24 ℃/10 a。但 1981 年北坡秋季均温发生了转折，由 1981 年之前的下降趋势(－0.03 ℃/10 a)转变为上升趋势(0.52 ℃/10 a)；南坡的增温趋势亦增大，由 1981 前的 0.09 ℃/10 a 增至 0.34 ℃/10 a。

图 3d 为 50 a 来冬季均温变化及其趋势，近 50 a 来秦岭地区冬季季均温呈上升趋势，但 20 世纪 80 年代中期以前冬季季均温呈下降趋势，北坡气候倾向率为－0.59 ℃/10 a，南坡为－2.08 ℃/10 a；大幅度的气温增长表现在 80 年代中期以后，北坡气候倾向率为 0.78 ℃/10 a，南坡为 0.29 ℃/10 a。

从以上季均温分析可知，秦岭地区近 50 a 季均温变化趋势和近 25 a 季均温变化趋势有所不同，近 25 a 来各季季均温都表现出上升趋势。表 1 为秦岭南北坡地区四季平均气温倾向率 b 和相关系数 r，从 b 和 r 值可以看出，近 50 a 来秦岭南北坡地区春、秋、

冬三季气温呈极显著增长趋势；近 50 a 来夏季南北坡地区季气温呈不显著下降趋势，但 1983—2009 年夏季季均温呈明显的增长趋势（北坡 0.29 ℃/10 a；南坡 0.34 ℃/10 a）。

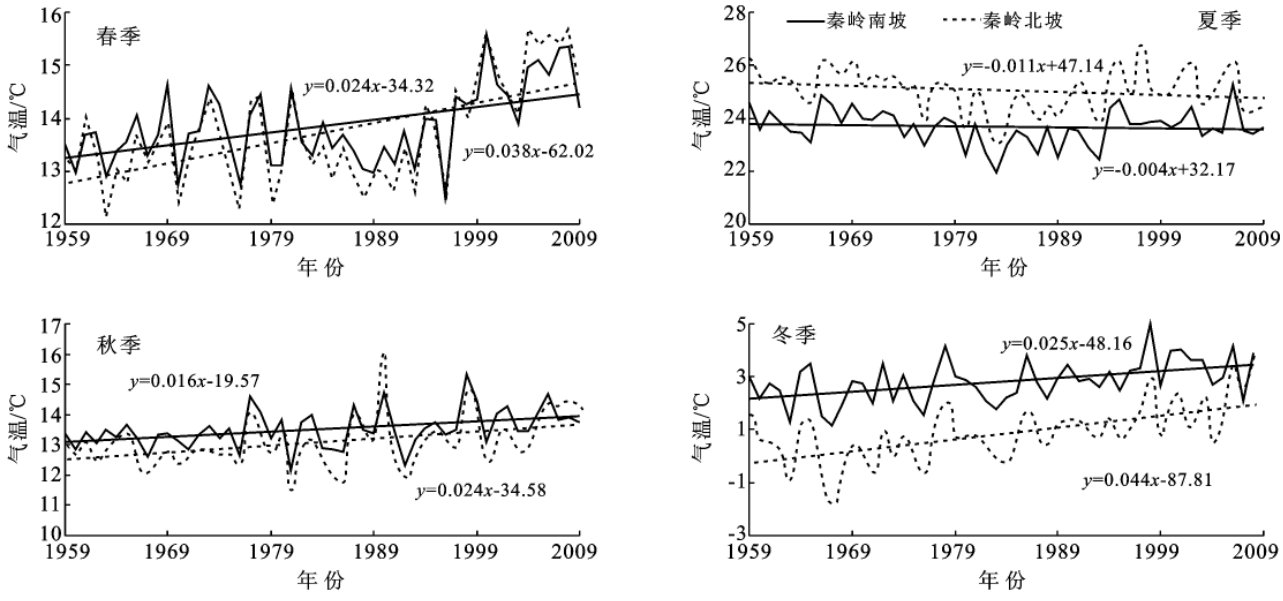


图 3 1959－2009 年秦岭南北坡地区四季平均气温变化曲线

表 1 秦岭南北坡地区的四季平均气温倾向率 b 和相关系数 r

项目	春季		夏季		秋季		冬季气温	
	南坡	北坡	南坡	北坡	南坡	北坡	南坡	北坡
b	0.24	0.38	－0.04	－0.11	0.16	0.24	0.25	0.44
r	0.49**	0.58**	－0.10	－0.20	0.40**	0.41**	0.47**	0.60**

注：**为通过信度为 0.01 的检验，即 $p<0.01$。

3.2 50 a 余来秦岭地区年均降水变化特征

图 4 为近 50 a 来秦岭南坡地区的年降水量呈减少趋势，年降水量变化的倾向率是 14.7 mm/10 a，但未通过信度为 0.05 的检验；近 50 a 来秦岭北坡地区的年降水量呈微弱的增加趋势，年降水量变化的倾向率为－3.2 mm/10 a，但未通过显著性水平检验。南坡地区年降水量最大值出现在 1983 年（1 248.1 mm），最小值出现在 1997 年（564.0 mm）；北坡地区年降水量最大值 947.3 mm，最小值 338.6 mm，分别出现在 1964 年和 1995 年。

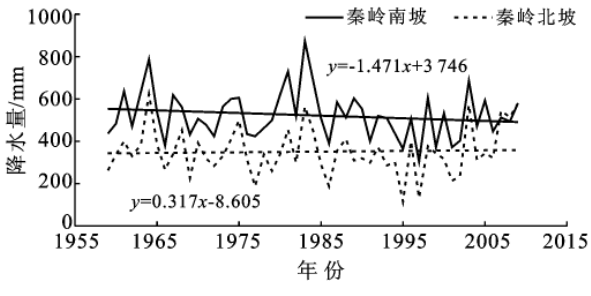


图 4 1959－2009 年秦岭南北坡地区年降水量变化曲线

由图 4 可知，1959—1995 年秦岭南北坡地区的年降水量的变化趋势基本相同，均呈下降趋势，北坡年均降水量趋势率为－25.3 mm/10 a，南坡为－11.5 mm/10 a；但 1995 年以后，南北坡年均降水量均呈上升趋势，北坡年均降水量趋势率为 262.3 mm/10 a，南坡为 115.4 mm/10 a，北坡降水量增加趋势率是南坡的 2 倍。

以上分析表明，在 50 a 尺度内秦岭北坡年均降水量在增加，而南坡年均降水量在减少；但近 15 a 来，秦岭南北坡年均降水量均有所增加，北坡降水增加速度更快，导致南北降水量差值减少。有资料显示，在全球变暖的背景下，20 世纪 80 年代以来，秦岭南北坡地区的温度和降水变化显著，且具有同步变化的趋势，气温普遍上升，降水逐渐减少，气候暖干化特征明显[11]。但本研究表明，近 15 a 来秦岭地区气候具有暖湿化趋势，且北坡地区暖湿化趋势更加明显。

4 结 论

（1）近 50 a 来秦岭南北坡地区的气温和降水基

本上同步波动，周期具有一致性，但变化趋势和速率有所差异。气温总体上呈增加趋势，北坡气温倾向率为 0.24 ℃/10 a，南坡为 0.15 ℃/10 a；20 世纪 80 年代中期以后，年均温呈极显著的增加趋势，特别是北坡地区气温倾向率高达 0.74 ℃/10 a，从 1993 年开始，秦岭北坡地区的升温幅度大于南坡地区，2007—2009 年 3 a 间北坡年均温已高于南坡。

(2) 秦岭南北坡地区的春、秋、冬三季的气温呈显著的增加趋势，尤其在 20 世纪 90 年代后增暖趋势明显。冬季增暖最为迅速，尤其体现在北坡地区，其气温倾向率为 0.44 ℃/10 a；春季增暖速度仅次于冬季；夏季气温则呈不显著的微弱减少趋势，但 1983—2009 年近 27 a 间秦岭夏季气温呈上升趋势。整体上看在春、秋、冬三季的气温均为南坡高于北坡，两地区四季气温差值逐渐减小；在 50 a 尺度和 25 a 尺度上季均温变化趋势有所不同，近 25 a 来各季季均温都表现出上升趋势。

(3) 近 50 a 来秦岭南坡地区的年降水量呈不明显的减少趋势，年降水量变化的倾向率是 −14.7 mm/10 a，秦岭北坡地区的年降水量呈微弱的增加趋势，导致南北降水量差值减少，两地区气温趋同化；1995 年以前，两地区年均降水量均呈下降趋势，但 1995 年以后秦岭南北坡年均降水量均有所增加，且北坡降水量增加速度更快，其降水量变化趋向率高达 262.3 mm/10 a，说明近 15 a 来秦岭北坡地区气候具有暖湿化趋势。

[参 考 文 献]

[1] 韩淑云. 气候变化对人类现实生活的影响[J]. 城市减灾，2005(1)：25-27.

[2] Hougton J T，Ding Y，Griggs D J，et al. IPCC，2001：Climate change 2001 [C]// Houghton J T，Ding Y，Griggs D J，et al(Eds). The Climate Change Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom and New York，NY，USA：Cambridge University Press，2001：156-159.

[3] Houghton J T，Callander B A，Varney S K. IPCC. Climate change，the science of climate change [M]. Cambridge：Cambridge University Press，1992，1995：223-224.

[4] 延军平，郑宇. 秦岭南北地区环境变化响应比较研究[J]. 地理研究，2001，20(5)：576-582.

[5] 孙华，白红英. 基于 SPOT VEGETATION 的秦岭南坡近 10 年来植被覆盖变化及其对温度的响应[J]. 环境科学学报，2010，30(3)：649-654.

[6] 严中伟，杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. 气候与环境研究，2002，2(3)：267-272.

[7] 张超，杨秉赓. 计量地理学基础[M]. 北京：高等教育出版社，1989：86-100.

[8] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京：气象出版社，2007：37-39.

[9] 施雅凤，沈永平，胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土，2002，24(3)：219-226.

[10] 刘德祥，董安祥，陆登荣. 中国西北地区近 43 年气候变化及其对农业生产的影响[J]. 干旱地区农业研究，2005，23(2)：195-201.

[11] 严中伟，杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. 气候与环境研究，2002，2(3)：267-272.

(上接 143 页)

[5] 黄晚华，杨晓光，李茂松，等. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58 a 演变特征[J]. 农业工程学报，2010，26(7)：50-59.

[6] 崔林丽，史军，肖风劲，等. 中国东部 NDVI 的变化趋势及其与气候因子的相关分析[J]. 资源科学，2010，32(1)：124-131.

[7] 陈维英，乾广，永伟. 距平植被指数在 1992 年特大干旱监测中的应用[J]. 遥感，1994，9(2)：106-112.

[8] 张芳. 基于 MODIS 的陕西省干旱遥感监测研究[D]. 西安：陕西师范大学，2008.

[9] 李星敏，郑有飞，刘安麟. 我国用 NOAA/AVHRR 资料进行干旱遥感监测的方法综述[J]. 中国农业气象，2003，24(3)：38-41.

[10] 齐述华. 干旱监测遥感模型和中国干旱时空分析[D]. 北京：中国科学院研究生院，2004.

[11] 王鹏新，龚健雅，李小文，等. 基于植被指数和土地表面温度的干旱监测模型[J]. 地球科学进展，2003，18(4)：527-533.