

# 气候变化对陇东冬小麦生态影响特征研究

万 信<sup>1,2</sup>, 王润元<sup>1</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 中国气象局干旱气候变化与减灾开放实验室, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 兰州区域气候中心, 甘肃 兰州 730020)

**摘 要:** 对黄土高原比较有典型代表性的残塬“董志塬”的变暖及冬小麦生态响应特征进行研究, 发现“董志塬”近 35 a 来年平均增温线性趋势达 0.0505°C, 增温表现出平均气温、最高气温、最低气温同时上升, 且冬春季增温速度最快, 秋季次之, 夏季增温最平缓; 增温对冬小麦的生态影响主要体现在全生育期(线性趋势 0.91 d/a)、越冬期(线性趋势 0.85 d/a)显著缩短, 春季发育期普遍提前(返青期以 0.57 d/a 的线性趋势提前, 拔节期以 0.42 d/a 的线性趋势提前, 成熟期以 0.48 d/a 的线性趋势提前), 而春季各发育期间隔日数并未出现缩短的趋势。认为气候变暖对当地农业生产有利有弊, 气候变暖, 尤其冬春气温显著升高将导致越冬期土壤水分损耗增大, 春旱加剧, 不利于春季农业生产; 另一方面冬小麦全生育期缩短, 成熟期提前, 能有效提高复种指数和土地利用效率。

**关键词:** 气候变化; 冬小麦; 发育期

**中图分类号:** S512.1<sup>+</sup>1; S162.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)04-0080-05

政府间气候变化委员会(IPCC)第 3 次气候变化评估报告指出, 在过去的 100 多年里, 大气中 CO<sub>2</sub> 浓度的增长呈现指数上升趋势<sup>[1]</sup>, 由此导致的全球气候变化, 已成为当前国内外研究的热点问题<sup>[2]</sup>。它涉及了人类生存环境的各个方面, 包括气候、冰雪资源、海洋、生物、人类活动的变化及影响等<sup>[3]</sup>。其中, 全球气候变化及其对农业的影响是科学研究的热点之一<sup>[4]</sup>。农作物对全球气候变化响应的研究可以揭示全球变化的生物学响应机制<sup>[5]</sup>, 是全球变化的生态系统响应的研究基础, 成为植被—气候关系研究中不可缺少的环节。陇东黄土高原处于我国西北半湿润气候向半干旱气候的过渡地带, 是典型的旱作雨养农业区, 具有明显的生态过渡带环境特征, 是全球气候变化较为敏感的区域之一<sup>[6]</sup>, 以农业经济为主, 素有“陇东粮仓”之称。探讨该区域主要农作物冬小麦对全球气候变化的响应, 揭示农作物的物候变化态势及其对气候变化的响应程度, 是应对全球气候变化对农业生态的影响, 调整区域农业等人工管理生态系统管理方式的重要依据。关于全球变暖以及全国、西北区域<sup>[7]</sup>、陇东地区<sup>[8~10]</sup>对全球气候变暖的响应均有不同程度的研究, 本文对黄土高原比较有典型代表性的残塬“董志塬”的变暖及冬小麦生态响应特征进行了研究。

## 1 资料来源及分析方法

冬小麦品种为强冬性同品系换代品种西峰 16

号、西峰 20 号、西峰 24 号, 物候观测资料、土壤水分资料均来源于甘肃省西峰农业气象试验站常规观测资料, 物候期观测采用人工目测和百分比统计方法, 标准参照《农业气象观测规范》<sup>[11]</sup>执行, 资料序列为 1980~2004 年。气象资料来源于西峰国家基准气候站(35°44'N, 107°38'E, 海拔高度 1 421 m, 年平均气温 8.7°C, 年平均降水量 530 mm)。试验地毗邻气象观测场, 符合农业气象平行观测要求。

气温变化特征、生态影响特征等采用线性趋势分析方法, 生育期、生育期间隔等要素与生态因素的关系采用单相关分析方法。

## 2 “董志塬”气候变暖特征分析

王绍武等<sup>[12]</sup>和丁一汇等<sup>[13]</sup>的研究表明, 我国西北地区的气候变化与全球气候变化基本一致, 目前仍属于暖期。万信等<sup>[14]</sup>分析认为“董志塬”增温速度远大于全国同期增温速度, 且冬春季增温速度最快, 秋季次之, 夏季增温最平缓, 与任国玉等<sup>[15]</sup>关于全国四季气温变化的研究结论一致, 且“董志塬”气候变暖表现出平均气温、最高气温、最低气温同时上升, 最高气温在季节转换时上升比较显著, 最低气温多数时间在上升, 最低气温上升趋势比最高气温上升趋势显著。

1970~2004 年“董志塬”年平均气温 8.8°C, 其中最低 7.4°C, 出现在 1984 年, 最高 10.1°C, 出现在 1998 年和 2002 年。图 1 是“董志塬”近 35 年来年

收稿日期: 2005-12-27

基金项目: 科技部科研院所社会公益专项(2005DIB3J100); 中国气象局新技术推广项目(CMA7J2005M22); 国家重大基础研究发展规划项目(2002CB111507); 国家自然科学基金项目(40205005)

作者简介: 万 信(1963-), 男, 甘肃靖远人, 高级工程师, 主要从事农业气象业务和科研工作。E-mail: lanzhouwx@163.com。

平均气温变化趋势线 ( $P < 0.001$ ), 图 2 是年平均气温距平变化趋势线 ( $P < 0.001$ ), 表明“董志塬”气候变暖特征显著。

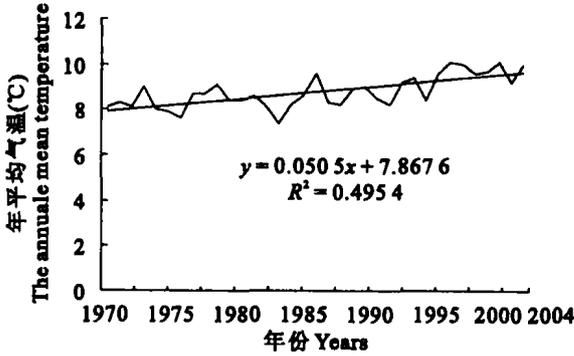


图 1 年平均气温变化曲线

Fig. 1 The annual average air temperature change curve

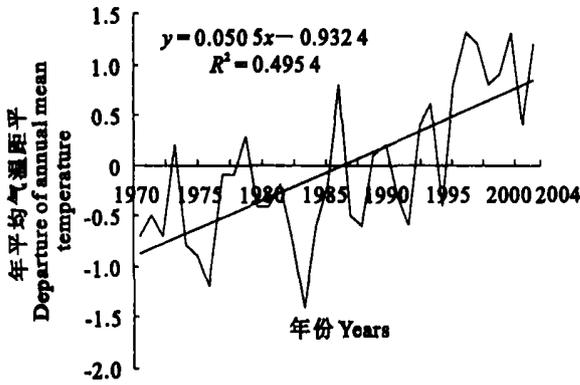


图 2 年平均气温距平变化曲线

Fig. 2 Departure of annual mean temperature change curve

从气温变化的季节特点分析, 冬季气温持续上升, 35 a 上升了  $1.8^{\circ}\text{C}$ , 其中 20 世纪 70 年代初到 90 年代初升温  $0.8^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 90 年代以来升幅达  $1.2^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ; 春季气温 80 年代以来上升比较快, 升幅达  $0.6^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ; 夏季气温变化和气候变暖趋势表现出一定程度的不一致, 20 世纪 70 年代到 80 年代呈下降趋势, 下降速度为  $0.5^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 80 年代到 90 年代呈快速上升趋势, 升温幅度达  $0.9^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 90 年代以来比较稳定; 秋季气温 70 年代到 90 年代呈持续上升趋势, 其中 70 年代到 80 年代上升  $0.2^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 80 年代到 90 年代上升  $0.7^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 90 年代以来比较稳定。

### 3 气候变暖对冬小麦生态特征的影响

#### 3.1 对冬小麦生育期内生态因子的影响

3.1.1 生育期内积温变化 虽然冬小麦全生育期  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  积温年际间变化不显著, 但不同发育期间积温变化显著, 越冬期负积温以每年  $6.26^{\circ}\text{C}$  的线性趋势

减少。表 1 列出了 1980~2004 冬小麦全生育期和主要发育期间  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  积温线性变化幅度及显著性。

表 1 冬小麦发育期间  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  积温变化趋势及显著性

Table 1 Changes trends and their significances of  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  accumulative temperature in growth dates of winter wheat

发育期 Growth period	线性趋势 Linear trend ( $^{\circ}\text{C}/\text{a}$ )	$R^2$	显著性 Significance
全生育期 Whole bearing period	-0.16	0.0002	NS
出苗~三叶 Seedling~three leaves	2.89	0.3534	***
分蘖~停长 Sprouting~stopping growth	-4.64	0.1849	*
越冬期 Winter time	1.54	0.2497	**
返青~起身 Returning green~rising	-3.51	0.5133	***
起身~拔节 Rising~jointing	5.20	0.5970	***
孕穗~抽穗 Pregnant fringe~tasselling	1.26	0.1326	NS
开花~乳熟 Abloom~milk ripe	8.88	0.5778	***
乳熟~成熟 Milk ripe~mature	-7.26	0.3739	**

注 Note: \*\*\*:  $P < 0.001$ ; \*\*:  $P < 0.01$ ; \*:  $P < 0.05$ ; NS:  $P > 0.05$ 。

3.1.2 生育期内光照时数变化 光照时数变化特征与  $\geq 0^{\circ}\text{C}$  积温变化特征基本一致, 全生育期光照时数年际变化不显著, 返青~起身光照时数以每年  $3.08\text{ h}$  的线性趋势减少 ( $R^2 = 0.4344$ ,  $P < 0.001$ ), 出苗~三叶 ( $2.13\text{ h/a}$ ,  $R^2 = 0.2006$ ,  $P < 0.05$ ), 起身~拔节 ( $5.18\text{ h/a}$ ,  $R^2 = 0.4528$ ,  $P < 0.001$ ), 开花~乳熟 ( $3.45\text{ h/a}$ ,  $R^2 = 0.3812$ ,  $P < 0.001$ ) 等发育期间光照时数增加的线性趋势明显。

3.1.3 生育期内降水量与麦田土壤含水量变化 分析表明, 分蘖~停长 ( $0.97\text{ mm/a}$ ,  $R^2 = 0.1645$ ,  $P < 0.05$ ), 返青~起身 ( $0.60\text{ mm/a}$ ,  $R^2 = 0.1662$ ,  $P < 0.05$ ), 乳熟~成熟 ( $2.16\text{ mm/a}$ ,  $R^2 = 0.2332$ ,  $P < 0.01$ ) 降水量呈逐年减少的趋势, 其中乳熟~成熟降水量减少的幅度最大, 趋势最显著。

通过对 1981~2004 年 3~11 月每旬麦田 0~100 cm 和 0~50 cm 土层土壤含水量分析显示, 春季的 3~4 月和夏末初秋土壤水分呈逐年下降趋势, 尤其 20 世纪 90 年代初期以来土壤上层 (0~50 cm) 含水量春季下降趋势比较明显, 这与前文分析的春季增温显著, 返青~起身降水减少明显结论互相印证。

#### 3.2 对冬小麦发育特征的影响

3.2.1 对冬小麦生育期的影响 冬小麦播种期呈现出逐年推迟的趋势, 冬、春季增温显著则导致冬小麦春季发育期普遍提前, 其中返青期以  $0.57\text{ d/a}$

( $R^2=0.3028$ ,  $P<0.01$ )的线性趋势提前(图 3), 拔节期以  $0.42 \text{ d/a}$  ( $R^2=0.3034$ ,  $P<0.01$ )的线性趋势提前, 成熟期以  $0.48 \text{ d/a}$  ( $R^2=0.2942$ ,  $P<0.01$ )的线性趋势提前。与春季各发育期形成鲜明对照的是, 由于冬小麦的冬性决定了分蘖后需要经过冬眠春化阶段, 要连续进入起身、拔节生长, 需要较高的温度环境, 而气候变暖的幅度不足以使分蘖后的冬小麦连续进入下一个生长发育阶段, 因此, 除了个别年份冬前气温特高, 导致个别播种明显偏早地块出现冬前旺长现象, 在气候变暖, 暖冬持续的大气候背景下, 冬小麦冬前停止生长期则没有明显变化。

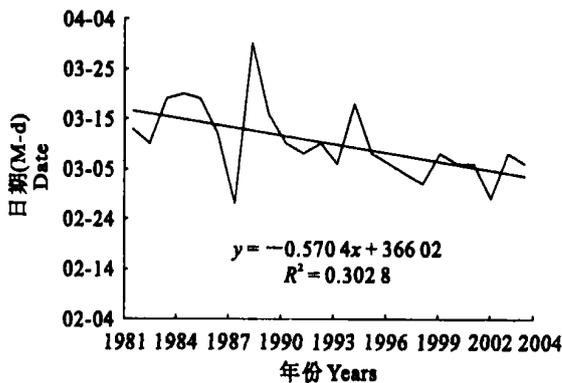


图 3 冬小麦返青期变化曲线

Fig. 3 The reviving date of winter wheat change

3.2.2 对冬小麦发育期间隔的影响 气候变暖导致冬小麦全生育期以每年  $0.91 \text{ d}$  的线性趋势缩短(图 4), 越冬期以每年  $0.85 \text{ d}$  ( $R^2=0.3028$ ,  $P<0.01$ )的线性趋势缩短。虽然冬、春季增温效应导致冬小麦返青后各发育期普遍提前, 但从图 5 可以看出, 1981~2004 年 24 个“生产年”<sup>[16]</sup>冬小麦返青~成熟期间隔日数并无明显变化。播种期推迟, 返青期、成熟期提前, 而停止生长期没有明显变化, 因此, 冬前生长期和越冬期缩短是冬小麦全生育期缩短的主要原因。

### 3.3 发育期间隔日数与气象要素相关分析

为了进一步揭示温度变化对冬小麦物候期等生态方面的影响, 本文选择冬小麦冬前生长期、越冬

期、返青~拔节、拔节~抽穗、抽穗~成熟等各发育期间隔日数、间隔期间降水量、平均气温、 $\geq 0^\circ\text{C}$  积温等要素进行相关分析(表 2)。结果显示, 除了抽穗~成熟期充足降水使冬小麦贪青徒长, 导致生育期延长, 其余时段热量条件对该地区冬小麦发育期间隔日数起主导作用, 印证了植物生长与温度的关系远比其与降水关系密切的论点<sup>[17]</sup>。气温高, 发育进程快, 间隔日数缩短。而发育期间积温大小不但取决于发育期温度, 更主要的是取决于发育期间隔日数, 间隔日数越长, 积温越高。

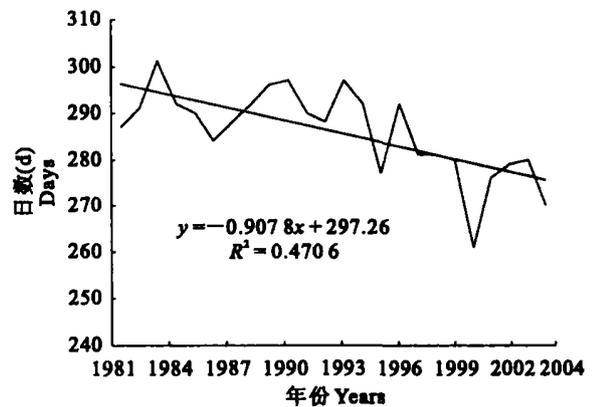


图 4 冬小麦全生育期日数变化曲线

Fig. 4 The change of the whole growth stage days of winter wheat

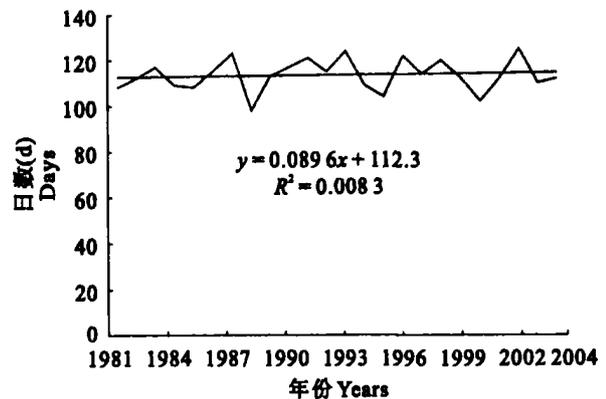


图 5 冬小麦返青~成熟期间隔日数变化曲线

Fig. 5 The alternate days change from elongation to tasselling of winter wheat

表 2 冬小麦各发育期间隔日数与各气象要素的相关关系

Table 2 Relationships between alternate days of growth course of winter wheat and climate factors

发育阶段 Growth phases	冬前生长期 Growth period before winter	越冬期 Winter time	返青~拔节 Greening~jointing	拔节~抽穗 Jointing~tasselling	抽穗~成熟 Tasselling~mature
降水量(mm) Precipitation	0.082	0.419*	-0.078	0.082	0.618**
平均气温( $^\circ\text{C}$ ) Air temperature	0.002	-0.422*	-0.808**	-0.627**	-0.700**
$\geq 0^\circ\text{C}$ 积温( $^\circ\text{C}$ ) Accumulative temperature	0.790**	-0.423*	-0.031	0.866**	0.889**

注 Note: \*\*  $P<0.001$ ; \*  $P<0.1$ .

## 4 结论与讨论

1) “董志塬”变暖趋势和全球气候变暖趋势一致,四季增温显著程度和全国特征基本一致,增温表现出平均气温、最高气温、最低气温同时上升,最高气温在季节转换时上升比较显著,最低气温多数时间在上升,且最低气温上升趋势比最高气温上升趋势显著。

2) 虽然增温显著,但增温导致全生育期缩短,因此,冬小麦全生育期 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温没有明显变化;返青期提前,光照时数缩短,返青~起身期光照时数减少;同样,由于春季发育期整体提前,原来处于少雨时段向多雨时段过渡时期的灌浆成熟期前移,产量形成期降水量减少明显,不利于产量提高<sup>[18]</sup>。

3) 陇东塬区冬小麦对气候变暖的生态响应主要表现为播种期推迟,越冬期缩短,春季各发育期普遍提前。而春季各发育期间隔日数没有明显缩短的趋势。这是由于在现有气候变化范围内,冬小麦对越冬期日数并无固定要求,冬季温度升高可显著缩短休眠期长度。但返青后各发育阶段却对积温有比较稳定的要求,由于冬春各月都变暖了,各发育期整体提前,因此只要冬小麦品种冬性不变,返青后各发育期间隔日数便不会有明显变化,气温升高在冬小麦春季生长期生态效应主要体现在各发育期普遍提前。

4) 越冬期气温持续上升将导致非生长季节(越冬期)土壤水分无效损耗增大<sup>[19]</sup>,早春土壤含水量下降,春旱发生频率增大,对冬小麦春季生长和春播工作十分不利。

5) 冬小麦全生育期缩短,成熟期提前,对麦茬地复种小秋作物和蔬菜等经济作物比较有利,有效提高了复种指数、土地利用率和气候资源利用率。

### 参考文献:

[1] IPCC Report. Climate Change 2001: The Scientific Basis [R].

- UK: Cambridge University Press, 2001. 140—165.
- [2] 张志强,孙成权.全球变化研究十年新进展[J].科学通报,1999,44(5):464—477.
- [3] 汤懋苍,柳艳香,冯松.一个新的千年暖期可能已经来临[J].高原气象,2002,21(2):128—131.
- [4] 徐斌,辛晓平,唐华俊,等.气候变化对我国农业地理分布的影响及对策[J].地理科学进展,1999,18(4):316—321.
- [5] 居辉,熊伟,许吟隆.气候变化对我国小麦产量的影响[J].作物学报,2005,31(10):1340—1343.
- [6] 谢金南.中国西北地区干旱气候变化与预测研究(第一卷)[M].北京:气象出版社,2000.1—8.
- [7] WANG Run Yuan, ZHANG Qiang, WANG Yao Lin, et al. Response of Corn to Climate Warming in Aird Areas in Northwest China[J]. Acta Botanica Sinica, 2004, 46(12): 1387—1392.
- [8] 姚玉璧,李耀帮,张谋草,等.陇东黄土高原气候对全球变暖的响应及其对林果的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2005,29(4):73—77.
- [9] 张谋草,赵满来,张红妮,等.气候变化对陇东塬区冬小麦生长发育及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(5):232—235.
- [10] 郭海英,赵建萍,索安宁,等.陇东黄土高原农业物候对全球气候变化的响应[J].自然资源学报,2006,21(4):608—614.
- [11] 国家气象局.农业气象观测规范[M].北京:气象出版社,1993.27—31.
- [12] 龚道溢,王绍武.全球气候变暖研究中的不确定性[J].地学前沿,2002,9(2):401—406.
- [13] 丁一汇,王守荣.中国西北地区气候与生态环境概论[M].北京:气象出版社,2001.77—154.
- [14] 万信,王润元,李宗葵.陇东黄土高原塬区农业气象要素的变化特征[J].生态学杂志,2007,26(3):344—347.
- [15] 任国玉,郭军,徐铭志,等.近50 a中国地面气候变化基本特征[J].气象学报,2005,63(6):942—956.
- [16] 郝明德,王旭刚,党廷辉,等.黄土高原旱地小麦多年定位施用化肥的产量效应分析[J].作物学报,2004,30(11):1108—1112.
- [17] 张学霞,葛全胜,郑景云.北京地区气候变化和植被的关系—基于遥感数据和物候资料的分析[J].植物生态学报,2004,28(4):499—506.
- [18] 郭海英.陇东黄土高原冬小麦生产农业气象要素分析[J].干旱地区农业研究,2004,22(2):123—126.
- [19] 郭海英,马鹏里,杨兴国,等.陇东黄土高原塬区冬小麦越冬期土壤水分损耗规律浅析[J].土壤通报,2005,36(2):165—168.

## Study on the influence of climate change to winter wheat ecological characteristic in the east of Gansu

WAN Xin<sup>1,2</sup>, WANG Run-yuan<sup>1</sup>

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Open Laboratory of Arid Climatic

Change and Reducing Disaster of CMA; Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, Lanzhou, Gansu 730020; 2. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou, Gansu 730020, China)

**Abstract:** This paper analyzed the warming of Dongzhi Yuan, an incomplete Yuan as a typical representative of loess plateau, and the ecological response characteristics of winter wheat to such a change. The results showed that Dongzhi Yuan's mean warming linear trend up to  $0.0507^{\circ}\text{C}$  during the past 35 years, with all the indexes increasing, such as the mean temperature, the maximum temperature and the minimum temperature. The most remarkable temperature increasing occurred in winter and spring, then in autumn, while that in summer was the least. The warming's influence to the ecological characteristics of winter wheat was mainly showed by the shortening of the whole growth period and the advancing of most of the growth stages, while the interval has not presented the trend of shortening during spring. It is concluded that the warming of Dongzhi Yuan can cause certain adverse effects, such as the increase of winter wheat freezing injury probability in spring and the fading of existing variety adaptability, the apt condition for diseases and insect pests to live through the winter, the increase of soil moisture loss in winter etc, while it also has some positive effects like the shortening of the whole growth period, the earlier mature and the increase of land use efficiency.

**Key words:** climate warming; winter wheat; growth period

(上接第 79 页)

[18] 屠国玺, 王文娟. 甘肃人工增雨缓解旱情[EB/OL]. <http://www.yellowriver.gov.cn/lib/2006-05-10/jj-074144133705.shtml>, 2006-5-10.

[19] 剡文鑫. 固原极端天气创历年之最[EB/OL]. <http://www.nxnet.net/newspaper/2006-09/04/content-828262.htm>, 2006-9-04.

<http://www.weather.org.cn/jx/include/detail.asp?fileclass=Z&ID=11892>, 2006-06-22.

[20] 卞 及. 各地气象部门积极做好近期高温预报预警服务[EB/OL]. <http://www.weather.org.cn/jx/include/detail.asp?fileclass=Z&ID=11892>, 2006-06-22.

## The climate change tendency of the contiguous areas of Shaanxi-Gansu-Ningxia and its effect on ecological environment

ZHANG Fang, DU Ji-wen, YAN Jun-ping

(College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** Under the background of the global warming, as one of the Chinese serious soil erosion and climate change sensitive regions, the contiguous areas of Shaanxi-Gansu-Ningxia have received universal attention. In order to reflect the major tendency of the climate change in those areas, specially the improvement of the climate status since 1999, analysis is made of the temperature and precipitation record between 1951 and 2004 in 39 observatory stations by utilizing the linear regression method and tendency analysis method. The results show that: the warming-drying trend is obvious, and the areas has been under the dry status for many years, and the temperature becomes higher in fluctuation gradually, while the precipitation becomes smaller. This bad climate condition has been seriously affected the ecological environment building of the contiguous areas of Shaanxi-Gansu-Ningxia. Only after 1999, under the background of warming-drying trend, the temperature becomes lower, while the precipitation becomes bigger, which is a good climate change tendency and has the vital significance regarding climate reforming and the rebuilding of ecological environment.

**Key words:** temperature; precipitation; warming-drying climate; the contiguous areas of Shaanxi-Gansu-Ningxia; ecological environment