

# 极干旱区气候变暖与种植业结构变化趋势分析

——以敦煌市为例

高振荣<sup>1,2</sup>, 刘晓云<sup>2</sup>, 杨庆华<sup>2</sup>, 王秀芬<sup>2</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省酒泉市气象局, 甘肃 酒泉 735000)

**摘 要:** 利用敦煌国家基准气候站 1971~2008 年地面气象观测资料, 采用温度距平时间序列及线性趋势拟合等方法, 对敦煌年平均气温、平均最高气温、平均最低气温和  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温的变化趋势进行了分析。结果表明, 年平均气温, 平均最高气温, 平均最低气温均呈波动上升趋势, 递增率分别为  $0.46$ 、 $0.38$   $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  和  $0.60$   $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温呈明显的增加趋势。同时利用敦煌市统计局提供的农作物种植面积资料, 对其时间演变序列进行分析, 得出自 1998 年以来, 由于受社会需求增加和气候变暖等因素的影响, 粮、棉、蔬菜等农作物的种植结构发生了根本性变化。20 世纪 90 年代以前, 敦煌农作物种植面积的布局顺序为粮、棉、蔬菜; 进入 21 世纪以后, 农作物种植面积的布局顺序改变为棉、蔬菜、粮。由此可见: 社会需求增加和气候变暖对极干旱区农作物种植结构的变化有重大影响。

**关键词:** 极干旱区; 变暖; 种植结构; 变化趋势

**中图分类号:** S162.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)02-0007-05

敦煌市位于甘肃省河西走廊最西端, 地处甘肃、青海及新疆三省(区)交汇处, 南有祁连山, 北有马鬃山, 东、西两面为戈壁沙漠, 平均海拔 1 138 m, 形成了南北高, 中间低, 自西南向东北倾斜的盆地平原地势, 故有“敦煌盆地”之称。全市总面积 31 200  $\text{km}^2$ , 其中绿洲面积 1 400  $\text{km}^2$ , 仅占总面积的 4.5%。全市总耕地面积 1.7747 万  $\text{hm}^2$ , 占绿洲总面积的 12.68%。区内年平均气温  $9.5^{\circ}\text{C}$ , 年均  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温 3 605.9  $^{\circ}\text{C}$ , 年平均降水量 42.2 mm, 蒸发量达 2 505.1 mm, 年蒸发量是年降水量的 59.4 倍。我国气候干湿指标的计算方法为修正的谢良尼诺夫公式<sup>[1]</sup>:  $k_{10} = 0.16 \times (\text{全年} \geq 10^{\circ}\text{C} \text{ 积温} / \text{全年} \geq 10^{\circ}\text{C} \text{ 期间的降水量})$ 。通过计算, 1971~2008 年敦煌年干燥指数为 21.67, 该区属温暖极干旱气候区。气候变化及其影响是当今社会广泛关注的热点。邓振镛<sup>[2]</sup>等人针对气候变暖对甘肃种植业结构和农作物生长的影响作了研究, 结果表明, 气候变暖对甘肃的种植业结构发生了显著变化, 农作物生长期延长。刘德祥<sup>[3]</sup>等人对中国西北地区气候变暖对农业生产的影响进行了分析, 得出西北区气候变暖对农业生产影响明显, 对种植业结构的调整是利大于弊。王润元<sup>[4]</sup>等人对气候变暖对河西走廊棉花生长的影响做了研究, 结果表明, 由于气候变暖, 积温增加, 作物生长期延长, 是棉花增产的主要气候因素。近年来,

有许多学者<sup>[5~20]</sup>对气候变化对区域性农业生产及种植业结构的影响做了分析和研究, 但对极干旱区气候变暖与农作物种植结构的变化趋势分析相对较少。为充分发挥当地气候资源优势, 合理调整种植业结构, 保护和改善生态环境。本文在借鉴前人研究的方法上, 利用温度距平、线性趋势拟合分析了敦煌市气候变暖的事实, 并根据敦煌市粮、棉、蔬菜等主栽农作物种植面积时间序列, 分析其变化趋势, 提出对策, 期望对促进敦煌市等极干旱气候区社会经济的可持续发展具有一定的参考意义。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

敦煌国家基准气候站 1971~2008 年地面气象观测资料。资料完整, 不需要订正。平均值统计年代为 1971~2000 年。资料由甘肃省气象信息中心提供。

文内农作物种植面积资料由甘肃省敦煌市统计局提供。

### 1.2 方法<sup>[21]</sup>

以年为自变量序列, 要素为因变量序列, 建立线性回归方程, 即  $y = a_0 + a_1 t$ , 其中的系数由最小二乘法求得, 其趋势变化率为  $a_1$ ,  $a_1 \times 10$  为变化倾向率( $^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ )。当  $a_1 > 0$  表示计算时段内平均值呈上

收稿日期: 2009-10-15

基金项目: 干旱气象科学基金项目(IMA 2008-02)

作者简介: 高振荣(1957—), 男, 甘肃酒泉人, 工程师, 主要从事天气预报及气候分析。E-mail: gaozrong@163.com。

升趋势,  $a_1 < 0$  表示计算时段内平均值呈下降趋势,  $a_1 = 0$  表示计算时段内平均值没有变化。 $a_1$  的绝对值可以反映上升或下降的快慢程度。

2 结果分析

2.1 气候变暖趋势

2.1.1 年平均气温 由图 1 可以看出,敦煌市 1971~2008 年年平均气温呈现出波动上升趋势。从年平均气温各年代际变化(见表 1)分析得知,敦煌市 1970 年代平均气温处在低温时段,负距平 0.3℃, 1980 年代略有上升,1990 年代正距平 0.4℃,2001~2008 年平均气温正距平达 1.1℃。1971~2008 年气温递增率为 0.46℃/10a,相关系数 0.752,  $F = 46.736(F_{0.01} = 7.31)$ ,即  $F > F_\alpha$ ,正相关极显著。

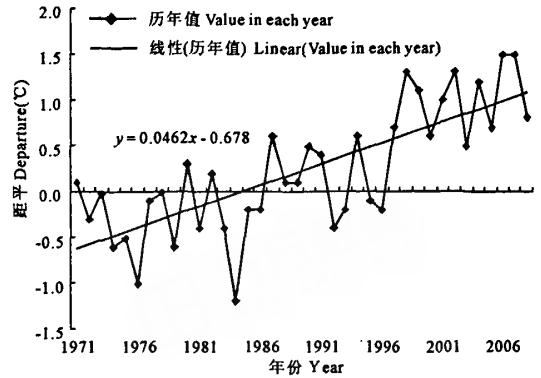


图 1 敦煌市年平均气温变化趋势

Fig.1 The variation trend of annual mean temperature in Dunhuang

表 1 敦煌年气温和  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温距平年代际变化

Table 1 The interdecadal variations of annual temperature and  $\geq 10^\circ\text{C}$  cumulative temperate departure in Dunhuang

| 项目<br>Item                                                                                  | 1970 年代<br>1970s | 1980 年代<br>1980s | 1990 年代<br>1990s | 2001~2008 年<br>2001~2008 | 变化倾向率(℃/10a)<br>Variation trend rate |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温距平(℃)<br>$\geq 10^\circ\text{C}$ Cumulative temperature departure | -27.4            | -19.9            | 47.3             | 236.2                    | 92.30*                               |
| 年平均气温距平(℃)<br>Mean annual temperature departure                                             | -0.3             | -0.1             | 0.4              | 1.1                      | 0.46*                                |
| 年平均最高气温距平(℃)<br>Annual mean maximum temperature departure                                   | -0.3             | -0.1             | 0.3              | 0.8                      | 0.38*                                |
| 年最低气温距平(℃)<br>Annual mean minimum temperature departure                                     | -0.3             | 0.0              | 0.6              | 1.4                      | 0.60*                                |

注 Note: \*:  $\alpha = 0.01$ .

2.1.2 年平均最高气温 敦煌市年平均最高气温的变化趋势如图 2,亦表现出波动上升趋势。同时从表 1 可以看出:年平均最高气温的低温时段出现在 20 世纪 70 年代,负距平 0.3℃,1980 年代略有上升,1990 年代为正距平 0.3℃,21 世纪以来平均最高气温正距平为 0.8℃,是 1971 年以来的最暖时段,21 世纪以来的最高气温比 1970 年代升高了 1.1℃,升温幅度小于年平均气温的升温幅度。1971~2008 年平均最高气温的增温率为 0.38℃/10a,相关系数为 0.6812,正相关极显著。

2.1.3 年平均最低气温 敦煌市年平均最低气温与年平均气温、平均最高气温的变化趋势相同,亦表现为波动上升趋势。从图 3 可以看出,最低气温的上升幅度明显大于平均气温、最高气温的上升幅度。同时从表 1 可知,20 世纪 70 年代,最低气温负距平 0.3℃,与平均气温、最高气温的距平值相同,1980 年代无明显变化,但从 1990 年代开始最低气温大幅度上升,进入 21 世纪以来,最低气温正距平达 1.4℃,比 1970 年代上升 1.7℃。这就说明最低气温

的增幅在气候变暖的事实中贡献最大。1971~2008 年平均最低气温的增温速率达 0.6℃/10a,相关系数为 0.8205,正相关极显著。

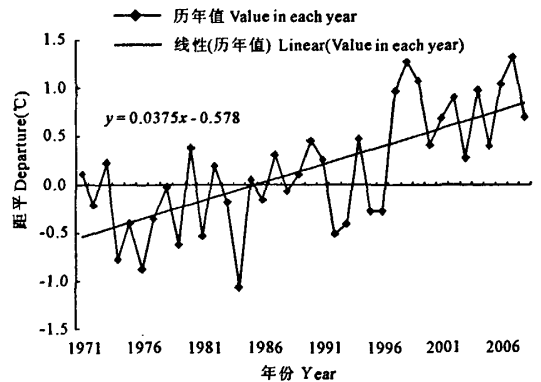


图 2 敦煌市年平均最高气温的变化趋势

Fig.2 The variation trend of annual mean maximum temperature in Dunhuang city

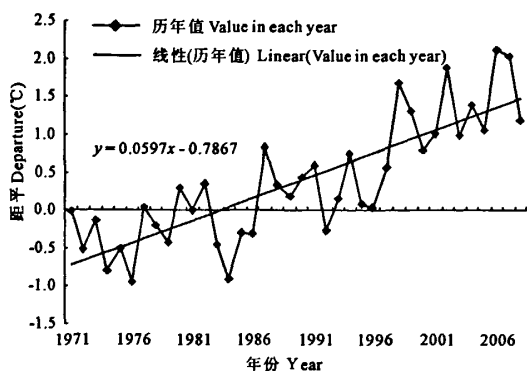
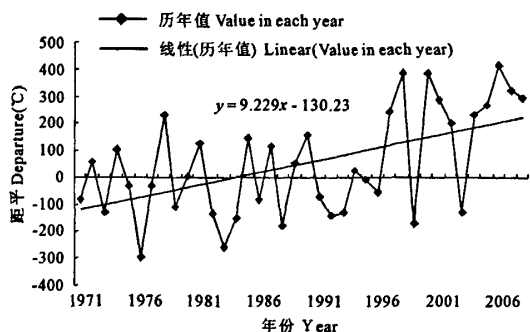


图3 敦煌市年平均最低气温变化趋势

Fig.3 The variation trend of annual mean minimum temperature in Dunhuang city

**2.1.4  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温**  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温是农作物生育期的重要的热量指标。积温的丰欠波动对作物产量及产品质量影响甚大,同时对一地农作物种植结构的调整有重要影响<sup>[22]</sup>。近 38 a 来,敦煌市的积温呈明显的增加趋势,如图 4。1971~2008 年  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温递增率为  $92.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,相关系数为 0.5301,正相关极显著。同时从表 1 分析得知, $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温在各年代际变化明显,20 世纪 70、80 年代为负距平,90 年代为正距平,进入 21 世纪以来正距平达  $236.2^{\circ}\text{C}$ 。在 1997~2008 年的 12 a 中,只有 1999、2003 年 2 a 积温为负距平,其余 10 a 积温全部为正距平。同时  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温的初、终日期及持续日数也有明显变化。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$  开始日期进入 21 世纪以来比 1970 年代提前 4 d,结束日期推迟 3 d,持续日数增加 7 d, $\geq 80\%$  保证率积温增加  $97.5^{\circ}\text{C}$ 。

图4 敦煌市  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温变化趋势Fig.4 The variation trend of annual cumulative temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  in Dunhuang

## 2.2 种植业结构变化趋势

地处极干旱区的敦煌市,历史上主栽农作物主要以粮、棉、蔬菜为主,其中粮食种植面积占农作物

种植面积的 65.8%;棉花种植面积占 31.3%;蔬菜种植面积占 2.9%。但随着社会需求的发展和气候变化,近年来农作物种植结构发生了极其明显的变化。

**2.2.1 粮食种植面积的演变** 由图 5 可以看出:20 世纪 70 年代粮食种植面积没有明显波动,但从 1980 年实行土地承包制开始,粮食种植面积迅速增加。1980 年代至 1997 年是粮食作物种植面积的高峰期,年均种植面积达  $1.072 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。但 1998 年粮食种植面积锐减至  $5.32 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,比 1997 年减少 98.7%,到 2008 年,粮食种植面积仅为  $57 \text{ hm}^2$ 。同时从表 2 可以看出,各年代际粮食种植面积存在明显的波动,1970 年代平均种植面积为  $8.0 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ;1980 年代达到  $1.094 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,增加 36.8%;1990 年代为  $8.79 \times 10^3 \text{ hm}^2$ ,比 1980 年代减少  $2.15 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。进入 21 世纪以来,种植面积减少到  $5.7 \times 10^2 \text{ hm}^2$ ,比种植高峰期的 1980 年代减少  $1.037 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,种植面积仅占农作物面积的 3.3%。造成粮食种植面积减少的主要原因是受市场经济的影响,种植粮食作物经济效益低,农民靠种粮不能致富,感受到“种粮吃不如买粮吃”。其次是气候变暖趋势加剧,特别是从 1997 年以来,年均气温大幅上升(气温正距平达  $1.0^{\circ}\text{C}$ ),不利于春小麦等喜凉作物高产的形成,亦使粮食种植受到一定影响。

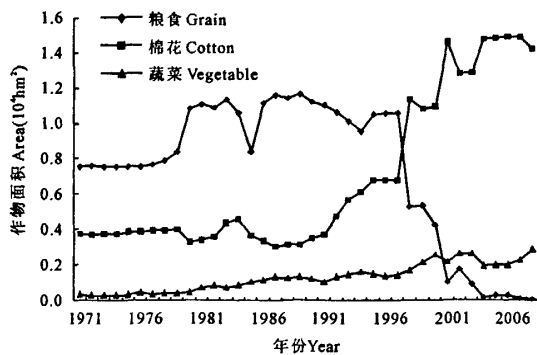


图5 敦煌市农作物种植面积变化趋势

Fig.5 The variation trend of crop planting area in Dunhuang

**2.2.2 棉花种植面积的演变** 敦煌自然降水稀少,热量资源丰富,植棉历史悠久,是甘肃重点产棉区。由图 5 得知,1970 年代棉花种植面积没有明显波动,从 1980 年开始,棉花种植面积明显减少,1983、1984 年种植面积有所增加;1985~1991 年棉花面积处在低谷时段。从 1992 年开始棉花种植面积逐年扩大,到 1998 年棉花面积达  $1.135 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,比 1997 年增加 66.7%。粮、棉种植结构出现“倒置”现象。

同时从表 2 可以看出,敦煌市 1970 年代棉花年均种植面积  $3.8 \times 10^3 \text{ hm}^2$ , 占农作物种植面积的 31.3%; 1980 年代年均种植面积  $3.57 \times 10^3 \text{ hm}^2$ , 占农作物种植面积的 22.9%; 1990 年代年均种植面积  $7.038 \times 10^3 \text{ hm}^2$ , 占农作物种植面积的 41.5%。进入 21 世纪以来,棉花年均种植面积达  $1.426 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , 占农作物种植面积的 83.2%。造成棉花种植面积急剧增加的原因有两方面,一是社会需求增加,其经济效益比种植粮食作物高 3~4 倍。其次是气候变暖所致。由于气温升高,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温及持续日数增加显著,霜冻机率减小,对喜温作物棉花的生长及产量形成有利。敦煌棉花实际产量变化主要受  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温的影响,积温每增加  $100^\circ\text{C}$ , 实际产量增加  $330 \sim 400 \text{ kg/hm}^2$  [23]。因此,增加棉花种植面积就成为当地农民的首选。

表 2 敦煌市农作物种植面积年代际变化 ( $10^4 \text{ hm}^2$ )

Table 2 The interdecadal variations of crops planting area in Dunhuang city

| 作物<br>Crops  | 1970 年代<br>1970s | 1980 年代<br>1980s | 1990 年代<br>1990s | 2001~2008 年<br>2001~2008 |
|--------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------|
| 粮食 Grain     | 0.800            | 1.094            | 0.879            | 0.057                    |
| 棉花 Cotton    | 0.380            | 0.357            | 0.738            | 1.426                    |
| 蔬菜 Vegetable | 0.036            | 0.105            | 0.162            | 0.231                    |

2.2.3 蔬菜种植面积的演变 蔬菜是敦煌市除棉花之外的主要经济作物。由图 5 和表 2 可以看出,1970 年代蔬菜种植面积呈现为缓慢增加趋势。从 1981 年开始蔬菜种植面积大幅度增加,1980 年代比 1970 年代增加 19.7%; 1990 年代比 1980 年代增加 54.3%; 21 世纪以来比 1990 年代增加 42.6%。呈现出明显的线性增加趋势(图略),线性相关系数 0.9524,正相关极为显著。蔬菜播种面积的增加,主要是受气候变暖所致。由于蔬菜生长发育及产量的形成与  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温的多寡及持续日数的长短关系密切,随着年平均气温的升高,积温增加,作物播种期提前,生长期延长,作物产量增加,经济效益提高。其次是由于城市人口增加,社会需求量增大。因此,蔬菜播种面积逐年扩大。2001 年蔬菜种植面积达  $2.19 \times 10^3 \text{ hm}^2$ , 而粮食种植面积已减至  $1.01 \times 10^3 \text{ hm}^2$ , 蔬菜面积比粮食面积多一倍以上。到 2008 年,蔬菜面积达到  $2.85 \times 10^3 \text{ hm}^2$ , 而粮食面积仅有  $57 \text{ hm}^2$ , 蔬菜面积是粮食面积的 50 倍。

### 3 对 策

1) 气候变暖是极干旱地区现代气候变化的基

本特征。年平均气温,最高气温,最低气温都呈现增加趋势,特别是年平均最低气温增加尤为显著。 $\geq 10^\circ\text{C}$  积温增加速率达  $92.3^\circ\text{C}/10\text{a}$ , 且无霜期延长。由于积温增加,农作物生育期积温保证率有了大幅提高,使喜温作物(如棉花等)在生长期所需热量条件得到更充分的满足,有利于作物形成稳产、高产。根据气候变暖趋势,适时扩大棉花、蔬菜种植面积,并发展为敦煌地区支柱经济产业,这是一项正确决策。但是,目前本区种植业结构并不是十分合理,粮食作物种植面积过少。如果只种棉花、蔬菜等作物,土地就无法倒茬,重茬时间延长,对作物产量及产品质量有一定影响,并可导致植物病虫害加重、蔓延。因此,建议政府部门引进耐旱、抗高温的粮食作物优良品种,鼓励农户适当扩大粮食种植面积,并提高粮农补贴,做到“粮、经”作物兼顾。这不但会有效改善目前的种植业结构,同时,当地粮食安全也能得到保证。

2) 气温升高,加速了极干旱区浅层土壤水分的失散,干旱状况有进一步加重的趋势,对本区农业生产发展和生态环境保护十分不利。因此,合理调整种植业结构,提高水的利用率就显得非常重要。要重点推广“多采光、少用水、新技术、高效益”的设施产业,特别要重视棉花膜下滴灌技术的推广,合理调配水资源,保证粮食作物灌溉用水,并对绿洲区自然植被适时进行人工灌溉,促进生态环境良性循环,只有这样,当地社会经济才能得到可持续发展。

### 参 考 文 献:

- [1] 何炎纪,田有亮,郭连生. 乌兰布和沙漠可能蒸散的研究[J]. 干旱气象, 2007, 25(2): 61—66.
- [2] 邓振镛,张 强,刘德祥,等. 气候变暖对甘肃种植业结构和农作物生长的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 1—6.
- [3] 刘德祥,董安祥,邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业生产的影响[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 119—125.
- [4] 王润元,张 强,刘宏谊,等. 气候变暖对河西走廊棉花生长的影响[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 40—42.
- [5] 姚玉莹,邓振镛,王润元,等. 气候暖干化对甘肃马铃薯生产的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 16—20.
- [6] 王毅荣. 甘肃省粮油产量对气候变暖的敏感性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 202—207.
- [7] 刘德祥,董安祥,梁东升,等. 气候变暖对西北干旱区农作物种植结构的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 831—836.
- [8] 邓振镛,张 强,蒲金涌,等. 气候变暖对中国西北地方农作物种植的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3760—3768.
- [9] 蒲金涌,姚小英,邓振镛,等. 气候变暖对甘肃冬油菜种植的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(9): 1397—1401.
- [10] 邓振镛,杨兴国,韩永翔,等. 甘肃省农业种植影响因素及调整原则探讨[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 126—129.

- [11] 邓振镛,张宇飞,刘德祥,等.干旱气候变化对甘肃省干旱灾害的影响及防旱减灾技术的研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(4):100—105.
- [12] 邓振镛,王鹤龄,李国昌,等.气候变暖对河西走廊棉花生产影响的成因与对策研究[J].地球科学进展,2008,23(2):160—166.
- [13] 李迎春,谢国辉,傅玮东.塔城地区气候变化对作物生育期的影响[J].地球科学进展,2007,22(特刊):36—40.
- [14] 邓振镛,王鹤龄,王润元,等.气候变化对祁连山北坡农村牧业结构的影响与对策研究[J].中国沙漠,2008,28(2):381—387.
- [15] 赵 鸿,王润元,王鹤龄,等.西北干旱区棉花对气候变化响应的评价指标体系[J].干旱气象,2008,26(4):29—34.
- [16] 王毅荣,张旭东.甘肃油菜产量时空特征及其对气候变暖的响应[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):220—225.
- [17] 万 信,王润元.气候变化对陇东冬小麦生态影响特征研究[J].干旱地区农业研究,2007,25(4):80—84.
- [18] 姚晓红,许彦平,秘晓东.气候变暖对陇东南地区苹果坐果率的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):142—146.
- [19] 刘德祥,郭俊琴,董安祥,等.气候变暖对甘肃夏秋作物产量的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(4):123—128.
- [20] 殷雪莲,郝志毅,魏 峰,等.气候变暖对河西中部农业的影响[J].干旱气象,2008,26(2):90—94.
- [21] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2004:28—88,193—214.
- [22] 邓振镛,林日暖.河西气候与农业开发[M].北京:气象出版社,1993.
- [23] 宋艳玲,张 强,董文杰.气候变化对新疆地区棉花生产的影响[J].中国农业气象,2004,25(3),15—20.

## Analysis on climate warming in extreme arid area and the variation trend of crop planting structure

—Taking Dunhuang in Gansu Province as an example

GAO Zhen-rong<sup>1,2</sup>, LIU Xiao-yun<sup>2</sup>, YANG Qing-hua<sup>2</sup>, WANG Xiu-fen<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of CMA, Institute of Arid Meteorology, China Meteorology Administration, Lanzhou, Gansu 730020, China;  
2. Jiuquan Meteorological Bureau, Jiuquan, Gansu 735000, China)

**Abstract:** Based on the surface observation data of Dunhuang which is national basic station from 1971 to 2008, using temperature anomaly time series and linear trend fitting, the variation trend of the annual mean temperature, the annual mean maximum temperature, the annual mean minimum temperature, and the accumulated temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  is analyzed. The results show that the three former present a wavelike rising trends, their increasing rates are  $0.46^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,  $0.38^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  and  $0.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$  respectively, while the accumulated temperature  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  shows a significant rising trend. Using crop acreage data from Dunhuang Municipal Statistical Bureau, the temporal evolution sequence is analyzed. Influenced by social demand increase and climate warming, the grain, cotton and vegetable planting structures take basic changes, and a inflection point about grain, cotton planting area happened since 1998. The sequential placement of the crop planting structure is grain, cotton and vegetable before 1990s, while it becomes cotton, vegetable and grain since 21st century. So, social demand increase and climate warming change to the crop planting structure in the extreme arid regions obviously.

**Keywords:** extreme arid area; warming; planting structure; variation trend