

# 中国西北冬小麦和棉花生长对气候变暖的响应

王鹤龄<sup>1</sup>, 王润元<sup>1</sup>, 赵 鸿<sup>1</sup>, 甘延太<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重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. Agriculture and Agri-Food Canada, Semiarid Prairie Agricultural Research Centre, Swift Current, SK S9H 3X2 Canada)

**摘要:** 利用甘肃省西峰市和敦煌市农业气象观测站 1981~2004 年的观测资料, 初步探讨了气候变暖对冬小麦和棉花生长的影响。结果表明: 春季极端低温的升高使冬小麦返青期和棉花的播种期明显提前, 后期极端高温的升高使冬小麦成熟提前, 而极端低温的变暖使棉花停止生长延迟。冬小麦越冬期~返青期的缩短与期间极端低温显著相关, 而乳熟~成熟期的缩短与期间极端高温显著相关, 返青期~拔节期和开花~乳熟期呈现延长的趋势且均与期间极端低温呈显著相关。棉花播种期~五叶期随期间极端低温的升高而缩短; 五叶~现蕾、吐絮~停止生长期和全生育期呈现延长的趋势, 且分别与期间极端低温显著相关。冬小麦产量与越冬期间的最低气温呈显著正相关, 但返青~孕穗和乳熟~成熟期间的最高气温与产量呈显著负相关。棉花产量与开花以前的平均最低气温呈显著正相关; 霜前花产量随十月最低气温的升高而显著增加。生育期间的增温特别是十月最低气温的变暖对本地区棉花生产产生了积极的作用, 而生育后期的高温对冬小麦的高产则极为不利。

**关键词:** 冬小麦; 棉花; 气候变暖; 响应

**中图分类号:** S512.1<sup>+</sup>1; S562.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0258-07

全球气候变暖是近百年来地球系统气候变化最凸现的问题。气候变暖对农作物的生长、熟制、布局 and 种植结构产生较大影响, 对农业生产的可持续发展的负面影响逐渐显露<sup>[1,2]</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, 是全球变化生态系统响应的基础研究<sup>[3~5]</sup>。IPCC 第三次评估报告中指出<sup>[6]</sup>, 全球气温上升了 0.4~0.8℃左右。西北地区是中国气候变暖最敏感的地区之一, 从 1986 年以后, 我国已连续出现了 17 个大范围的暖冬。据统计, 西北地区年平均气温 1987~2003 年比 1961~1986 年升高了 0.7℃, 冬季气温升高幅度最大, 为 1.37℃, 春、夏、秋季分别升高 0.33℃、0.40℃及 0.73℃,  $\geq 0^\circ\text{C}$  积温平均增加了 112℃,  $\geq 10^\circ\text{C}$  积温平均增加了 107℃,  $< 0^\circ\text{C}$  负积温的绝对值平均减少 137℃。从季节分配上看, 冬季的增温强度大于其它季节<sup>[7,8]</sup>。

如此强烈的气候变化, 尤其是冬季气温的异常增温, 不但影响了作物的生长发育进程<sup>[9~11]</sup>, 而且在宏观上影响了局域农业结构的调整<sup>[11,12]</sup>。例如变暖将导致宁夏冬春小麦生长期缩短, 干物质和籽

粒产量下降<sup>[13]</sup>; 春季增温使我国北方河西走廊的玉米、小麦和棉花物候期提前, 使玉米和小麦的生育期缩短, 棉花的生育期延长<sup>[4,14~18]</sup>。总之, 不同地区不同作物对气候变暖的响应敏感性有差异, 且响应的生物学机制也不尽相同。

近年来, 我国北方存在明显的变暖趋势, 这将对该地区主要作物冬小麦和棉花生长产生什么样的影响, 同时又是如何影响的, 这些研究目前报道较少。为此, 以典型的黄土高原农业区西峰和绿洲农业区敦煌为例, 研究气候变暖特别是极端气温的变暖对冬小麦和棉花生长及产量的影响, 为该地区适应未来气候变暖提供科学依据。

## 1 资料来源与研究方法

### 1.1 资料来源

选取甘肃省西峰市农业气象试验站和敦煌市农业气象试验站 1981(1983)~2004 年的气温资料 and 主要作物冬小麦和棉花各个发育期的观测资料以及观测地段的单产资料。所有资料都是依据中国气象局《农业气象观测规范》要求和注意事项进行观测而

收稿日期: 2007-11-08

基金项目: 国家科技部公益(气象)行业专项“西北地区旱作农业对气候变暖的响应特征及其预警和应对技术研究”(GY-HY200806021); 甘肃省自然科学基金(3ZS061-A25-010; 0710RJZA087); 科技部科研院所社会公益研究专项(2005DIB3J100); 中国气象局兰州干旱气象研究所干旱基金; 甘肃省气象局面上项目(2006-2)

作者简介: 王鹤龄(1978-), 男, 甘肃会宁人, 硕士, 助理研究员, 主要从事农业生态、气候变化研究。E-mail: Wangheling1978@126.com.cn.

得到的,并保持观测方法的一致性。西峰市气象观测站位于  $35^{\circ}44'N, 107^{\circ}38'E$ , 海拔  $1\,421.9\text{ m}$ , 观测站地处的欧亚大陆腹地,是我国半干旱向半湿润气候区的过渡地带,对黄土高原残塬沟壑区的塬地具有较好的代表性,冬小麦的观测地段位于气象站约  $100\text{ m}$ , 并自 1981 年以来一直保持不变。敦煌市气象观测站位于  $40^{\circ}9'N, 94^{\circ}41'E$ , 海拔  $1\,139\text{ m}$ , 属于极端干旱的绿洲灌溉农业区,棉花的观测地段位于气象站  $50\text{ m}$ , 并于 1983 年以来一直保持不变。

## 1.2 研究方法

通过分析 1981 年以来观测区冬小麦和棉花播种日期、生长天数、各个发育阶段、产量与极端气温的相关关系以及年际变化趋势,建立回归方程,揭示极端气温变暖对冬小麦和棉花生长的影响。在软件 SPSS 10.0 下对数据进行统计分析。

表 1 研究区气温变化趋势分析(1981~2005)

Table 1 Trends of average seasonal air temperatures during the period of 1981 to 2005 at two agricultural meteorological stations in Northwest China

研究区 Station	气温 Air temperature	气温变化 Changes of air temperature( $^{\circ}C/10a$ )			
		春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
敦煌 Dunhuang	最高 Highest	0.54 *	0.55 **	0.46	0.34
	最低 Lowest	0.95 **	0.88 **	0.57 *	0.72 *
西峰 Xifeng	最高 Highest	0.92 **	0.70 *	0.79 *	0.83 *
	最低 Lowest	0.85 **	0.68 **	0.46	0.87 *

注 Note: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ 。

## 2.2 冬小麦和棉花生长对气候变暖的响应

分析 1981~2004 年间西峰市观测区冬小麦各物候的年际变化及其与相应阶段极端温度的关系。如图 1(A)所示,冬小麦返青期、拔节期、开花期和成熟期随时间的推移均呈现提前的变化趋势。返青期提前  $5.5\text{ d}/10a$ ,与三月最低气温相关达极显著水平( $R=0.659, P=0.001$ ),三月最低气温每升高  $1^{\circ}C$ ,返青期将提前  $3.4\text{ d}$ ;可见春季平均最低气温的变暖使黄土高原冬小麦的返青期提前;拔节期提前  $4.1\text{ d}/10a$ ,拔节期与四月平均最高( $R=0.476, P=0.022$ )和最低气温( $R=0.563, P=0.005$ )相关均达到显著水平以上;开花期提前  $3.0\text{ d}/10a$ ,开花期与五月下旬的平均最高( $R=0.544, P=0.007$ )和最低气温( $R=0.618, P=0.002$ )呈显著正相关;六月末冬小麦逐渐成熟,成熟期对气候变暖的响应是全生育期对气候变暖响应的关键环节,其提前与推迟不但直接影响全生育期,而且对冬小麦收获后的小秋复种、充分利用热量气候资源和提高粮食总产具有着重要意义。成熟期提前了  $4.6\text{ d}/10a$ ,成熟期

## 2 结果与分析

### 2.1 研究区 1981~2005 年气候变暖特征分析

分析表明,敦煌和西峰地区在 1981~2004 年这一阶段气温均呈现变暖的趋势(表 1),但不同地区和不同季节的增温却不完全一致。在敦煌地区,春季、夏季、秋季和冬季的平均最低气温分别升高  $0.95, 0.88, 0.57$  和  $0.72^{\circ}C/10a$ ,且均达到显著水平以上,最低气温的增温率最高出现在春季,其次是夏季。最高气温的增温率在春季和夏季达到显著水平。在西峰地区,除秋季的最低气温外,四季的平均最高和最低气温的升高均达显著水平以上,增加幅度最大的是春季的平均最高气温,可达  $0.92^{\circ}C/10a$ ,其次是冬季的平均最低气温。

与六月最高气温极显著相关( $R=0.653, P=0.001$ ),六月最高气温升高  $1^{\circ}C$ ,成熟期将提前  $5.2\text{ d}$  左右。

如图 1(B)所示,棉花播种期提前  $7.2\text{ d}/10a$ ,播种期与四月平均最低气温呈显著负相关( $R=-0.498, P=0.018$ ),可以判断四月平均最低气温每升高  $1^{\circ}C$  棉花播种期将提前  $2.6\text{ d}$ ;现蕾期提前  $5.3\text{ d}/10a$ ,且与六月最低( $R=-0.546, P=0.009$ )和最高( $R=-0.690, P=0.000$ )气温呈显著相关;开花期提前  $7.6\text{ d}/10a$ ,开花期与七月平均最低气温显著相关( $R=-0.468, P=0.028$ ),七月最低气温每升高  $1^{\circ}C$  开花期提前  $3.0\text{ d}$ ;吐絮期提前  $8.8\text{ d}/10a$ ,但与最低、最高气温均未达到显著相关水平。但棉花停止生长期推迟了  $5.0\text{ d}/10a$ ,与十月最低气温相关达极显著水平( $R=0.709, P=0.000$ ),十月最低气温每升高  $1^{\circ}C$  停止生长期将推迟  $8.6\text{ d}$ 。

同时,气温的变暖对各个发育阶段也产生了不同的影响。在研究阶段,冬小麦越冬期~返青期缩短  $6.7\text{ d}/10a$ ,越冬期间的生长天数与冬季最低气温

呈显著负相关 ( $R = -0.640, P = 0.001$ ), 冬季最低气温每升高  $1^{\circ}\text{C}$  将缩短 4.3 d (图 2(A)); 返青期~拔节期延长了 6.3 d/10a, 与这一期间最低气温显著相关 ( $R = 0.639, P = 0.004$ ), 返青~拔节期间的最低气温升高  $1^{\circ}\text{C}$ , 返青期~拔节期将延长 3.3 d, 显然, 气温的变暖导致返青期~拔节期的生长延长 (图 2(B)); 开花~乳熟期间延长 3.4 d/10a, 期间最低

气温与开花~乳熟期的生长天数极显著相关 ( $R = 0.753, P = 0.000$ ), 期间最低气温每升高  $1^{\circ}\text{C}$  将延长 3.6 d; 而乳熟~成熟期的生长天数缩短 3.8 d/10a, 与期间最高气温呈显著负相关 ( $R = -0.709, P = 0.000$ ), 六月最高气温每升高  $1^{\circ}\text{C}$  将缩短 3.6 d (图 2(C)).

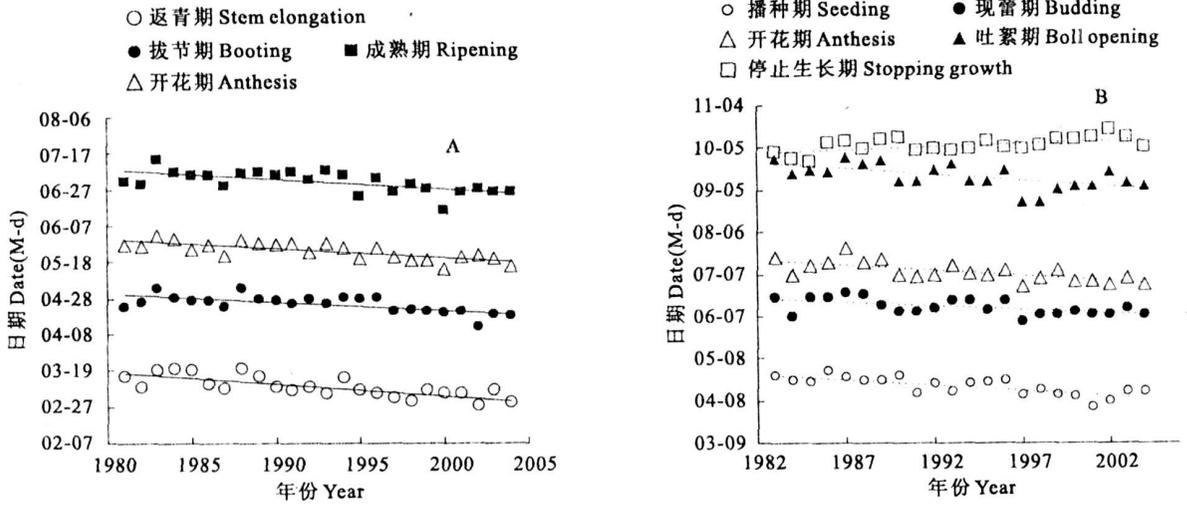


图 1 冬小麦(A)和棉花(B)物候变化趋势(1981~2004)

Fig. 1 Changes of the growing date of winter wheat (A) and cotton (B) from 1981 to 2004

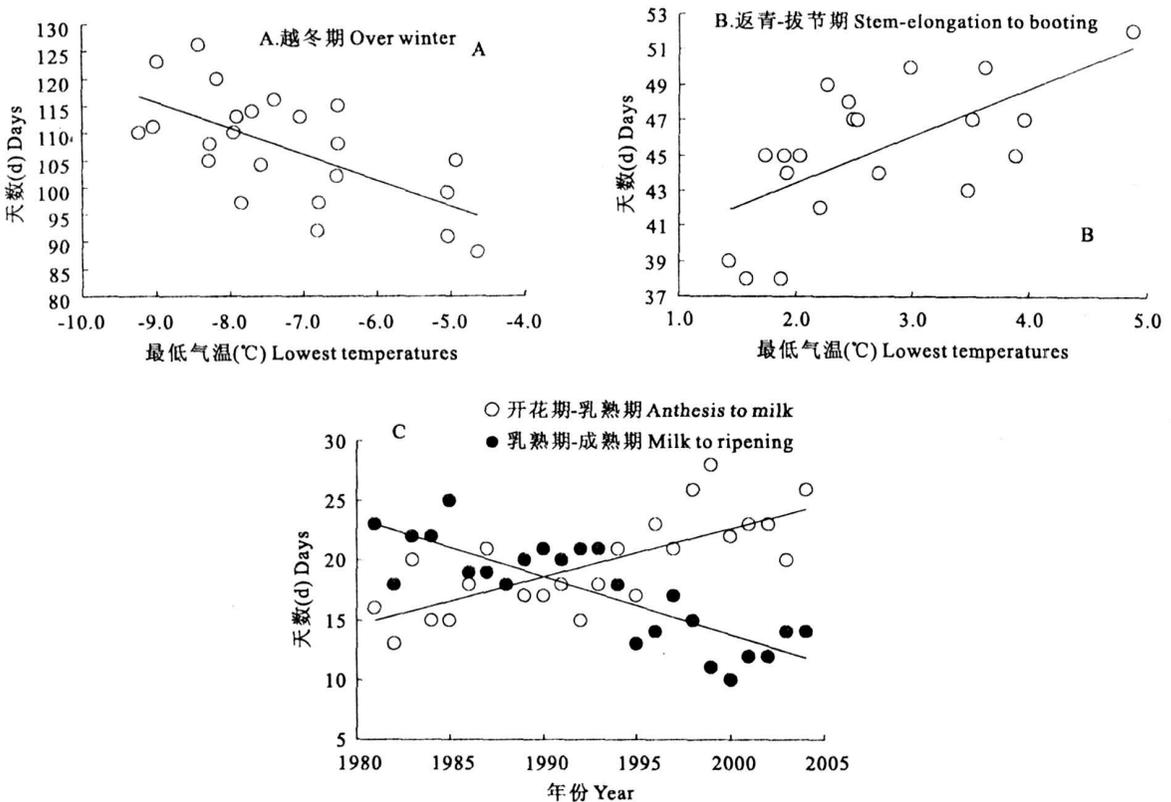


图 2 冬小麦各个发育阶段的变化趋势(1981~2004)

Fig. 2 Changes of every stage of winter wheat from 1981 to 2004

对棉花各个发育阶段对气温变暖的响应研究表明,播种期~五叶期缩短 2.5 d/10a,与期间最低气温显著相关;而五叶~现蕾期延长 4.4 d/10a,与期间最低气温极显著相关( $R=0.538$ ,  $P=0.010$ ),期间最低气温每升高  $1^{\circ}\text{C}$  将延长 2.4 d;开花~吐絮期间日数基本没有变化;吐絮~停止生长期随十月最

低气温的变暖而延长( $R=0.474$ ,  $P=0.026$ ),十月最低气温每升高  $1^{\circ}\text{C}$  将延长 12 d,这主要是因为停止生长期随十月最低气温的升高而推迟的缘故(图 3(A));棉花整个生育期呈现延长的趋势,且与生育期间的平均最低气温显著相关( $R=0.61$ ,  $P=0.000$ ),最低气温每升高  $1^{\circ}\text{C}$  将延长 9 d(图 3(B))。

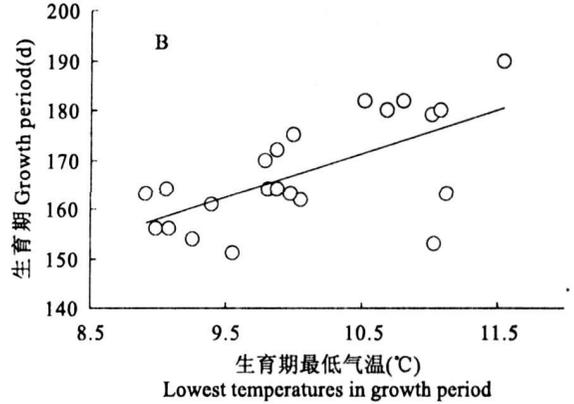
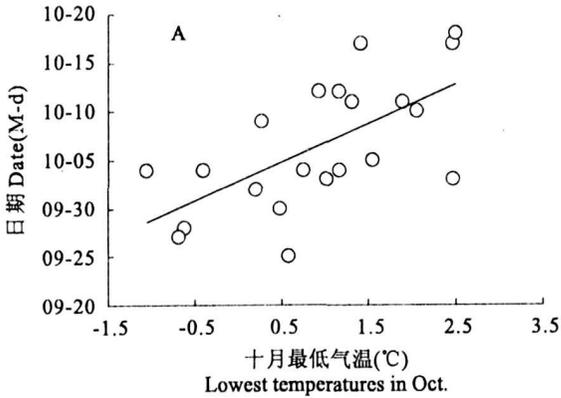


图 3 棉花各个发育阶段的变化趋势(1981~2004)

Fig. 3 Changes of every stage of cotton from 1981~2004

### 2.3 冬小麦和棉花产量对气候变暖的响应

冬小麦产量和各个生长发育阶段最低和最高气温的相关分析表明(表 2),产量与越冬期间的最低气温呈显著正相关( $R=0.67$ ,  $P=0.023$ ),可见冬季最低气温的升高将减小冬小麦的越冬死亡率,所以冬季气温升高对冬小麦生产是有利的。但是,返青~孕穗和乳熟~成熟期间的最高气温与产量呈显著负相关,分析认为,这一阶段的最高气温升高加速了冬小麦小穗和小花的分化,灌浆期间适宜的温度是  $20^{\circ}\text{C}$  左右,高温缩短了灌浆时间,在研究期间,极端高温可达  $33.5^{\circ}\text{C}$ ,回归分析表明,冬小麦千粒重与六月最高气温符合方程  $y = -0.336 X^2 + 15.848 X - 152.66$  ( $P^2=0.4015$ ),当六月平均最高气温超过  $24^{\circ}\text{C}$  时,小麦千粒重开始下降(图 4(A))。所以乳熟~成熟期间的极端高温是影响冬小麦产量的重要限制因子。对棉花产量和不同生育阶段极端气温的相关分析表明(表 2),棉花产量与开花以前的平均最低气温呈显著正相关,分析认为,春季最低气温的升高减少了迟霜冻对棉花的危害,有助于棉花的高产;十月最低气温与产量呈显著正相关,在十月份棉花随第一次霜冻的出现而逐渐停止生长,而霜前花是棉花产量的主要组成部分,霜前花产量与十月最低气温显著相关。十月最低气温的变暖使棉花停止生长期推迟,有效增加了棉花干物质积累,从而提高了霜前花的产量(图 4(B))。可见,在极端干旱的绿洲农业区,生育期间的增温特别是十月最低气温

的变暖对本地区棉花的生产产生了积极的作用。

### 3 结论与讨论

中国西北的敦煌和西峰地区在 1981~2004 年气温均呈现变暖的趋势,但不同地区和不同季节的增温却不完全一致。在敦煌地区,春季、夏季和冬季的平均最低气温升高均达到显著水平以上,但最高气温的增温率在四季均未达到显著水平。在西峰地区,除秋季的最低气温外,四季的平均最高和最低气温的升高均达显著水平以上。

冬小麦返青期、拔节期、开花期和成熟期随时间的推移均呈现提前的变化趋势。棉花除停止生长期推迟以外其它生育时期均呈现提前的变化趋势。春季极端低温的升高使冬小麦返青期和棉花的播种期明显提前,后期极端高温的升高使冬小麦成熟期提前,而后期极端低温的变暖使棉花停止生长期推迟。同时,气温的变暖对各个发育阶段也产生了不同的影响。冬小麦越冬期~返青期、乳熟~成熟期和全生育期明显缩短,越冬期~返青期的缩短与期间极端低温显著相关,而乳熟~成熟期的缩短与期间极端高温显著相关,返青期~拔节期和开花~乳熟期呈现延长的趋势,且均与期间极端低温呈显著关系。棉花播种期~五叶期随期间极端低温的升高而缩短,开花~吐絮期间日数基本没有变化;五叶~现蕾、吐絮~停止生长期和全生育期呈现延长的趋势,且分别与期间极端低温显著相关。

表 2 冬小麦和棉花主要生育阶段极端温度与产量的相关系数

Table 2 Pearson correlation coefficients between grain yield and air temperatures at the major periods of plant developmental stages of winter wheat and cotton

冬小麦生育期 Winter wheat growth period	相关系数 Correlation coefficient		棉花生育期 Cotton growth period	与产量的相关系数 Correlation coefficient	
	最高气温 Highest temperature	最低气温 Lowest temperature		最高气温 Highest temperature	最低气温 Lowest temperature
播种期—越冬期 Seeding to over winter	0.15	0.01	播种期—五叶期 Seeding to five-leaf	0.36	0.52*
越冬期—返青 Over winter to stem elongation	0.23	0.67*	五叶期—现蕾期 Five-leaf to budding	0.54*	0.48*
返青期—拔节期 Stem elongation to booting	-0.52*	0.13	现蕾期—开花期 Budding to anthesis	0.46	0.60**
拔节期—抽穗期 Booting to heading	-0.62*	-0.001	开花期—吐絮期 Anthesis to boll opening	0.19	0.41
抽穗期—开花期 Heading to anthesis	0.13	0.18	吐絮期—停止生长期 Boll opening to maturity	0.11	0.49*
开花期—乳熟期 Anthesis to milk	0.04	0.39	播种期—停止生长期 Seeding to maturity	0.45	0.54*
乳熟期—成熟期 Milk to ripening	-0.57*	0.20	—	—	—
播种期—成熟期 Seeding to ripening	-0.31	0.01	—	—	—

注 Note: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ .

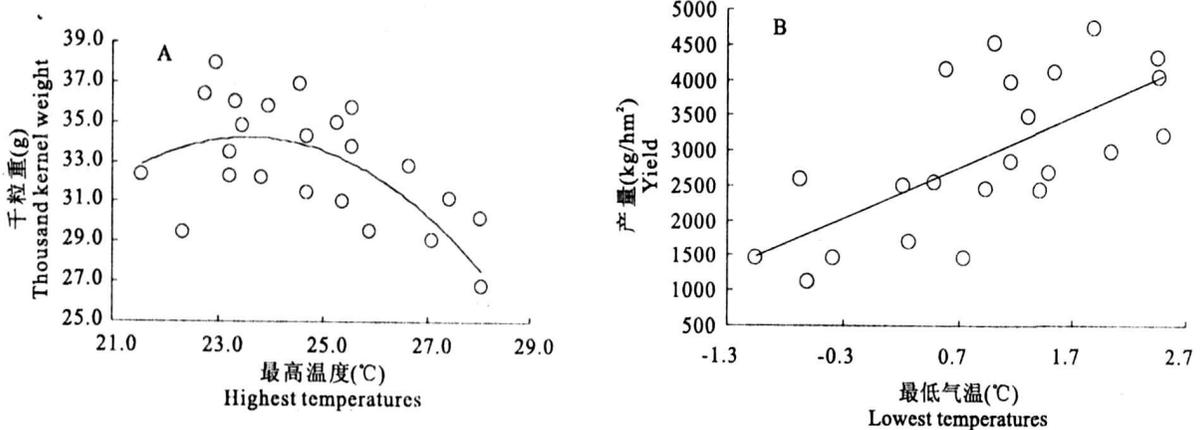


图 4 冬小麦和棉花产量构成与极端气温的关系

Fig. 4 Relationship between yield of wheat and cotton and minimum temperature during the period 1983~2004

冬小麦产量与越冬期间的最低气温呈显著正相关 ( $R=0.67$ ,  $P=0.023$ )。但是,返青~孕穗和乳熟~成熟期间的最高气温与产量呈显著负相关,分析认为,这一阶段的最高气温的升高加速了冬小麦小穗和小花的分化,灌浆期间适宜的温度是  $20^{\circ}\text{C}$  左右,高温缩短了灌浆的时间,在研究期间,极端高温可达  $33.5^{\circ}\text{C}$ ,回归分析表明,冬小麦千粒重 ( $Y$ ) 与六月最高气温 ( $X$ ) 符合方程  $Y = -0.336X^2 + 15.848X - 152.66$  ( $P^2=0.4015$ ),当六月平均最高气温超过  $24^{\circ}\text{C}$  时,小麦千粒重开始下降。所以乳熟

~成熟期间的极端高温是影响冬小麦产量的重要因子。棉花产量与开花以前的平均最低气温呈显著正相关,分析认为,春季最低气温的升高减少了迟霜冻对棉花的危害,有助于棉花的高产;十月最低气温与产量呈显著正相关,在十月份棉花随第一次霜冻的出现而逐渐停止生长,而霜前花是棉花产量的主要组成部分,霜前花产量与十月最低气温呈显著相关。十月最低气温的变暖使棉花停止生长期推迟,有效增加了棉花的干物质积累,从而提高了霜前花的产量。可见,在极端干旱的绿洲农业区,生育期间的增

温特别是十月最低气温的变暖对本地区棉花的生产产生了积极的作用。

可见,作物对气候变暖的响应不仅仅体现在对大气平均气温变暖的动态响应,而且更重要的是要考虑极端气温升高对作物的影响,因为农作物的生长对气温的适应有上限和下限,极端气温的变化总是接近作物生长的上下限气温,往往越是接近上下限,作物的响应越发敏感。近年来,基于模型的气候变暖对作物影响的研究越来越多,所以在建立模型时要尽量考虑到极端气温变暖对作物生长的影响,从而预测响应的方向、程度和强度,这有待于进一步的资料积累和研究。

### 参考文献:

- [1] 秦大河,丁一汇,王绍武,等.中国西部环境演变及其影响研究[J].地学前缘,2002,9(2):321-328.
- [2] 张厚焯.中国种植制度对全球气候变化响应的有关问题Ⅱ.我国种植制度对气候变化响应的主要问题[J].中国农业气象,2000,21(2):10-13.
- [3] 张新时,周广胜,高琼,等.中国全球变化与陆地生态系统关系研究[J].地学前缘,1997,4(1~2):137-144.
- [4] Wang Runyuan, Zhang Qiang, Wang Yaolin. Response of Corn to Climate Warming in Arid Areas in Northwest China[J]. Acta Botanica Sinica, 2004, 46(12): 1387-1392.
- [5] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981~1991[J]. Nature, 1997, 386: 698-702.
- [6] Houghton J T, Ding Y H, Griggs D G. Climate Change 2001;

- Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. UK: Cambridge University Press, 2001: 583-638.
- [7] 徐国昌.中国干旱半干旱地区气候变化[M].北京:中国气象出版社,1997:101.
  - [8] 谢金南.中国西北地区干旱气候变化与预测研究(第1卷)[M].北京:中国气象出版社,2000:43-49.
  - [9] 邓振镛,仇化民,李怀德.陇东气候与农业开发[M].北京:中国气象出版社,2000:56-69.
  - [10] 高素华,郭建平.提高中国三北地区气候资源利用率的对策研究[J].资源科学,1999,21(4):51-54.
  - [11] 刘德祥,董安祥,邓振镛.中国西北地区气候变暖对农业的影响[J].自然资源学报,2005,20(1):119-125.
  - [12] 蒲金涌,邓振镛,姚晓英,等.甘肃省冬小麦生态气候分析及适生种植区划[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):179-186.
  - [13] 高素华,郭建平,王春乙.气候变化对旱地作物生产的影响[J].应用气象学报,1995,6(增刊):16-22.
  - [14] 王润元,张强,杨兴国,等.西北干旱区春小麦对气候变暖的响应[J].地球科学进展,2005,20(特刊):197-201.
  - [15] 王润元,张强,刘宏宜,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.
  - [16] 赵鸿,肖国举,王润元,等.气候变化对半干旱雨养农业区春小麦生长的影响[J].地球科学进展,2007,22(3):322-327.
  - [17] 赵鸿,王润元,王鹤龄,等.西北干旱半干旱区春小麦生长对气候变暖响应的区域差异[J].地球科学进展,2007,22(6):636-641.
  - [18] 王鹤龄,王润元,孙万仓,等.甘肃省气候变暖特征及冬油菜北移种植适应性探讨[J].地球科学进展,2007,22(特刊):6-12.

## Response of winter wheat and cotton to climate warming in Northwest China

WANG He-ling<sup>1</sup>, WANG Run-yuan<sup>1</sup>, ZHAO Hong<sup>1</sup>, GAN Yan-tai<sup>2</sup>

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, Key Laboratory of Arid Climate Change, CMA, Lanzhou, Gansu 730020, China;

2. Agriculture and Agri-Food Canada, Semiarid Prairie Agricultural Research Centre, Swift Current, SK S9H 3X2 Canada)

**Abstract:** Using surface observation data of Xifeng and Dunhuang agricultural meteorological stations from 1981~2004, the impact of climate warming on winter wheat and cotton growth were investigated. The results showed that minimum temperature increase in spring made the turning green date of wheat and sowing date of cotton advanced significantly. The late maximum temperature increase made maturing date of winter wheat advanced and minimum temperature warming made the growth stopping date of cotton delayed. The shortening of the period over wintering to turning green and milky to maturity was significantly correlated with the minimum temperature and maximum temperature of corresponding stage respectively, but the prolonging of the period of turning green to jointing and blossom to milky was correlated with the minimum temperature of corresponding stage. For cotton, sowing to five-leaf stage was shortened with the increase of minimum temperature, and the days of flowering to boll-opening had no changes. The prolonging of the period five-leaf to budding, boll-opening to growth stopping and the whole growth stages was correlated with the minimum temperature of corresponding

stage. Evidently, the warming during the growth periods especially in October had a positive effect on cotton production, but had a negative effect on winter wheat production. The minimum temperature during overwintering stages had correlation with the yield of winter wheat significantly, but the maximum temperature of return green to heading and milky to mature were significantly of negative correlation with yield of winter wheat. 1000-grain weight of winter wheat started to drop when the average maximum temperature of June reached over 24°C. Cotton yield was significantly correlated with the average minimum temperature before flowering, and the yield before frost was significantly correlated with the lowest temperature of October.

**Key words:** winter wheat; cotton; climate warming; response

(上接第 253 页)

## Comparison research on characteristics of regional drought in summer over China

YAO Yu-bi<sup>1,2</sup>, DONG An-xiang<sup>1</sup>, ZHANG Xiu-yun<sup>2</sup>, WANG Yi-rong<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province and China Meteorological Administration, Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou, Gansu 730020, China;

2. Dingxi Meteorological Bureau, Dingxi, Gansu 743000, China)

**Abstract:** By modifying Palmer drought severity index based on meteorological data of 515 stations from 1957 to 2000 over China, characteristics of regional drought evolution were analyzed in spring. The results show that the summer drought index takes on descendant trend in the Inner Mongolian plateau area, the north part of North China and Changbaishan Mountain area, the Loess Plateau area, the Yunnan-Guizhou Plateau area and the plain of Northeast China, but it takes on ascendant trend in the Nanling Mountain areas, the Yangtze River area, the Yellow River and Huaihe River area, the Hexi Corridor area, the north of Tianshan Mountain area, the Talimu Basin area and the Qinghai-Tibet Plateau area. It is proved that the drought index exists 5~8 a period in the most areas, it exists 12~13 a and 15~16 a period in some areas, it also exists 20~25 a period in specific area. The east Asia summer monsoon is contrary bound up with the summer drought severity index of Northwest China and Qinghai-Tibet Plateau, but it is identical bound up with with the summer drought severity index of the Middle and East China.

**Key words:** palmer drought severity index; summer drought; regional characteristic; China