

气候变化对陇东塬区农作物生长发育的影响与对策研究

李宗葵^{1,2}, 段金省², 黄 斌², 邱宁刚²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省(中国气象局)干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 庆阳市气象局, 甘肃 西峰 745000)

摘 要: 根据农田试验观测和气象资料平行分析, 随着气候变暖, 陇东塬区冬小麦冬前各发育期推迟, 冬前旺长现象突出, 而春季各发育期显著提前, 干旱灾害频繁发生; 在大秋作物玉米生长过程中, 大部分发育期呈现提前趋势, 发育期间隔日数显著缩短, 春旱和初夏旱危害严重。通过综合分析, 在气候变暖情景下, 为了提高本区农作物产量, 避免不利气候因素的影响, 通过调整作物播种期和收获期等农业技术措施, 可以有效地提高本区的玉米播种质量, 预防冬小麦冬前旺长和减轻春季干旱的危害。同时加强对农业气象灾害的监测、预警和预报服务系统的建设, 为地方政府防灾减灾的正确决策提供科技支撑作用。

关键词: 气候变化; 冬小麦; 玉米; 气温; 降水; 播种期

中图分类号: S162.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)02-0219-06

随着人类活动不断对环境的影响, 大气中的 CO₂ 浓度也不断升高, 目前气候变暖问题已成为国内外研究的重点。特别是气候变暖对农业生产的影响方面, 中外学者在这一领域进行了大量的研究工作, 取得了不少的成果。尤其是气候变暖对西北区和陇东地区的农业生产影响方面研究成果较多^[1~4], 主要从气候变暖对本区农业种植结构的调整、作物布局和产量构成等方面进行了研究, 但是对于具体的应对措施方面研究不很细致。本文主要分析气候变化对农作物主要发育期的影响, 以及在现行气候背景下, 如何最大限度的利用本区气候条件, 趋利避害, 获得农业丰收, 所要采取的一些应对措施, 如, 适当调整作物播种期、收获期^[5~8]等农业技术措施可有效避免不利气候因素的影响, 提高农业产量的目的。

1 观测资料和研究方法

冬小麦、玉米的发育期资料均来源于甘肃省西峰农业气象试验站, 采用人工目测和统计方法, 标准参照《农业气象观测规范》, 作物观测地段长期固定不变, 品种、耕作措施基本稳定。冬小麦资料年代为 25 a(1981~2005 年), 玉米资料年代为 16 a(1990~2005 年), 气象资料来源于西峰国家基准气候观测站的人工实时观测资料, 资料年代为 35 a(1971~

2005 年), 对以上资料采用数理统计和对比分析方法进行分析。

2 气候变化特征

2.1 气温变化

通过对陇东塬区 1971~2005 年历年平均气温线性变化趋势分析(图 1), 35 年来年平均气温呈极显著上升趋势, 上升速度为 0.0528℃/a, 逐月平均气温也呈上升的趋势变化; 气温年代变化特点为, 从 20 世纪 80 年代开始, 年代间年平均气温持续上升, 80 年代到 90 年代上升了 0.8℃, 90 年代到本世纪前 5 年上升了 0.6℃。

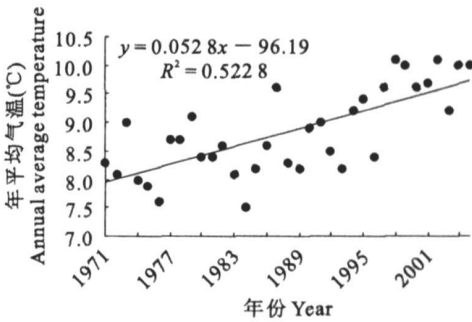


图 1 陇东塬区历年平均气温变化

Fig. 1 The mean temperature change in past years

从温度变化的季节特点分析看, 冬季温度持续

上升,各年代间升温达到 0.6℃~0.9℃;而春季气温在 20 世纪 70 年代到 80 年代变化比较平稳,80 年代以后春季气温上升较快,各阶段升温幅度达 0.9℃~1.0℃。夏季气温变化比较复杂,70 年代到 80 年代下降了 0.3℃,80 年代以后上升,至 90 年代升高 0.8℃,至本世纪头 5 年升高了 1.2℃。秋季气温亦逐年代升高,但变幅均低于冬季和春季。

2.2 降水变化

年际和月变化:近 35 年来陇东塬区年降水量呈减少趋势,如图 2 所示,年降水量减幅为 0.6417 mm/a,年际间差异较大,降雨量最多的 2003 年(年降雨量 820.8 mm)和最少年份的 1995 年(年降雨量 333.8 mm)相差达到 486.4 mm。逐月降水量变化不一致,有增有减,但总趋势和年降水量变化趋势相似,呈明显减少趋势。其中 6 月、10 月降水量呈显著增加,增幅分别为 0.4223、0.2204 mm/a,5 月、11 月份呈显著减少,减幅分别为 0.1779、0.4115 mm/a,3 月、4 月、9 月略有减少,其它各月正常。

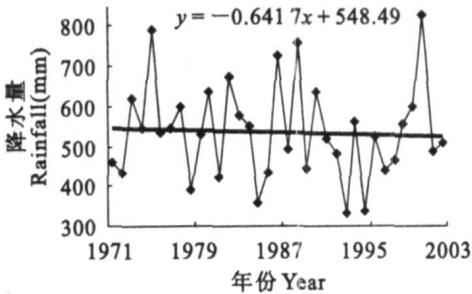


图 2 陇东塬区历年年降水量变化

Fig.2 The annual rainfall change in past years

年代、季变化为:从表 1 显示,70 年代到 80 年代平均年降水量增加了 18.1 mm,80 到 90 年代减少了 89.4 mm,90 年代到 2000 年又增加了 121.9 mm,降水量年代之间呈现“增加、减少、增加”变化趋势。年代之间以 9 月份降水量变幅最大,80 年代到 90 年代减少了 40.9 mm,而 90 年代到 2000 年又增加了 83.8 mm。

表 1 不同年代四季降水量(mm)

Table 1 The rainfall in different season of different decade

年代 Decade	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumnn	全年 Year
70 年代 1970s'	16.9	99.9	279.7	148.4	544.9
80 年代 1980s'	16.0	120.5	289.4	137.2	563.3
90 年代 1990s'	12.0	98.9	259.0	103.7	473.6
2000 年以来 Since 2000	21.1	95.2	296.7	182.6	595.7

春季降水量从 20 世纪 70 年代到 80 年代呈显著增多,80 年代到 2000 年以来呈显著减少,表明春旱明显;夏季降水变化和年代之间的年平均降水变化趋势一致,呈现“增加~减少~增加”;秋季降水量从 70 年代到 90 年呈现减少趋势,从 90 年代到 2000 年以来呈显著增多,增加了 81.9 mm;冬季降水量从 70 年代到 80 年代无明显变化,80 到 90 年代呈减少趋势,90 年代到 2000 年来呈现增多趋势。

3 气候变化对作物生长发育的影响

3.1 冬小麦

3.1.1 发育期和生长天数 通过分析 1981~2005 年陇东塬区冬小麦发育期资料,结果显示,冬小麦冬前各发育期除停止生长期随年代递增推迟幅度较小外,其它发育期呈显著推迟(如表 2),推迟幅度最大的为分蘖期,每 10 年推迟了 10.4 d,80 年代到 90 年代推迟了 8 d,90 年代到 2001 年来推迟了 10 d,80 年代到 2001 年来平均共推迟了 18 d。播种、出苗期推迟幅度比较接近,每 10 年约推迟 4~5 d,三

叶期推迟幅度较大,每 10 年推迟 8.9 d,而停止生长期每 10 年只推迟了 1.4 d,变幅最小。而春季各发育期整体提前(见表 3)。提前幅度最大的是起身期,提前 10.7 d/10a,成熟期提前速率也达到 5.6 d/10a,乳熟期提前幅度最小,提前速率为 1.2 d/10a,其它发育期提前速率为 4~6 d/10a。气候变暖使塬区冬小麦全生育期天数缩短,变化最显著的是越冬期缩短,其变化速率为 6.8 d/10a,冬小麦的实际生长天数变化并不大,其变化速率为 1.5 d/10a。

3.1.2 播期偏早,冬前旺长现象严重 前面分析了从 90 年代以来陇东塬区秋季降水呈明显增加趋势,气温偏高,热量增加,使冬小麦的冬前生长速度加快,旺长现象突出。

如表 4 所示,冬小麦在 9 月 20 日(传统适宜播种期)前播种时,冬前积温 630℃,平均密度为 1578.91 万茎/hm²,叶面积系数高达 2.4,平均高度在 14 cm,出现旺长;而在 9 月 28 日晚播的冬小麦冬前积温 430℃,叶面积系数 0.6,密度为 930.63 万茎/hm²,平均生长高度为 9 cm,群体密度和叶面积

系数适中,高度较低,无旺长现象发生,从麦田封冻前的土壤水分测定来看,播种早、长势过旺的麦田土壤水分明显低于播种较晚、长势正常的麦田,而且旺长年份的小麦苗情差于正常年份,死亡率也偏高 20%左右。

表 2 陇东塬区历年冬小麦冬前发育期变化

Table 2 The winter wheat growth date change before living through the winter past year

项目 Item	播种 Sowing	出苗 Seedling	三叶 Three leaves	分蘖 Tillering	停止生长 Growth stop
80 年代 1980s'	09—16	09—24	10—06 日	10—13	11—21
90 年代 1990s'	09—19	09—27	10—13	10—21	11—23
2000 年来 Since 2000	09—24	10—03	10—22	11—01	11—23
变幅 Range(d/a)	0.41	0.47	0.89	1.04	0.14
相关系数 Correlation coefficient	0.6249**	0.6043**	0.78**	0.7181**	0.1241

表 3 陇东塬区历年冬小麦春季发育期变化

Table 3 The winter wheat growth date change in spring past year

项 目 Item	返青 Reviving	起身 Rising	拔节 Jointing	孕穗 Spiking	抽穗 Heading	开花 Blooming	乳熟 Milk mature	成熟 Mature
80 年代 1980s'	03—14	04—04	04—27	05—10	05—19	05—27	06—14	07—04
90 年代 1990s'	03—07	03—21	04—25	05—05	05—14	05—22	06—13	06—29
2001 年来 Since 2001	03—05	03—16	04—18	05—02	05—12	05—19	06—13	06—25
变幅 Range(d/a)	—1.07	—1.07	—0.40	—0.52	—0.47	—0.52	—0.12	—0.56
相关系数 Correlation coefficient	0.7762**	0.7762**	0.5502**	0.7682**	0.6753**	0.6646**	0.1924	0.6063**

表 4 陇东塬区冬小麦冬前旺长和正常年份生长状况比较

Table 4 Comparison between the years of early sowing the years of late sowing of winter wheat

年份 Year	早播旺长年份 Year of early sowing					年份 Year	迟播正常年份 Year of late sowing				
	播种期 Sowing date	叶面积 Leaf area	密度 (万茎/hm ²) Density	高度(cm) Height	积温(℃) Accumulated temperature		播种期 Sowing date	叶面积 Leaf area	密度 (万茎/hm ²) Density	高度(cm) Height	积温(℃) Accumulated temperature
1996	09—18	2.6	1657.26	12	520.8	1999	09—29	0.5	860.93	8	436.6
1998	09—21	1.4	1771.39	11	651.2	2001	09—27	0.9	1291.95	10	458.6
2006	09—16	3.3	1308.07	19	716.2	2004	09—29	0.3	639.02	9	398.6
平均 Average	09—18	2.4	1578.91	14	629.4	平均 Average	09—28	0.6	930.63	9	431.3

3.1.3 产量影响 通过近 25 年来的干旱出现频次和气候产量对比分析,气候产量和干旱程度变化趋势基本一致,由于本区是雨养农业区,大气降水偏少,干旱严重,相应的作物产量也降低。从分析的结果看,1992 年虽没有干旱,但是 1991 年的秋旱及 12 月下旬一次强寒潮天气,干冻交加,冬小麦越冬死亡率高,单位面积有效茎数下降,从而导致气候产量较低。气候产量在 20 世纪 80 年代变化较平稳,平均为 55.7 kg/hm²,最大值出现在 1989 年,为 1271.1 kg/hm²,最小值出现在 1985 年,为 -913.4 kg/

hm²,最大与最小值之差是 2184.5 kg/hm²,是因 80 年代灾害性天气(特别是干旱)发生较少,且强度较轻;90 年代振幅变化剧烈,平均为 -216.7 kg/hm²,最大值出现在 1993 年为 1310.6 kg/hm²,最小值出现在 2000 年为 -2264.6 kg/hm²,最大与最小值之差是 3575.2 kg/hm²,是因 90 年代干旱多发,且强度较强,特别是 1995 年春旱加春末初夏旱、1999 年的秋旱和 2000 年的春旱加春末初夏旱,导致 1995 年和 2000 年冬小麦大减产;进入 2001 年以后,气候产量变化较为平稳。

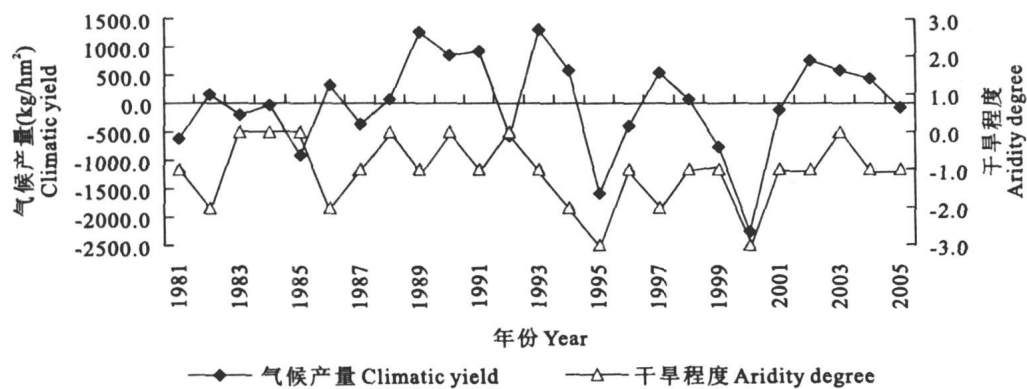


图 3 陇东塬区冬小麦气候产量及干旱程度变化曲线

Fig.3 The curve of climatic yield and arid degree change of winter wheat

3.2 玉米

3.2.1 发育期变化 从 1990~2005 年玉米资料(表 5)分析,每 10 a 播种期提前 0.5 d,出苗期提前 1 d,三叶期推后 0.8 d,拔节期提前 0.4 d,抽雄期推后 0.3 d,开花期提前 0.8 d,吐丝期推后 0.7 d,乳熟期提前 1.5 d,成熟期提前 7.8 d。很明显,玉米的大部分发育期出现日期是提前的。

3.2.2 发育期间隔日数变化 从表 6 可以看出,玉米各生育期之间的日数变化是明显的。播种到出苗

的间隔日数每 10 a 缩短 0.6 d,出苗至三叶每 10 a 延长 2 d,三叶至七叶每 10 a 缩短 0.2 d,七叶至拔节每 10 a 缩短 1 d,拔节至抽雄、开花至吐丝之间每 10 a 分别延长 0.6、1.5 d;抽雄至开花、吐丝至乳熟、乳熟至成熟各阶段每 10 a 分别缩短了 1、2、6 d,全生育期每 10 a 缩短了 7.3 d。由此可见玉米全生育期的天数是减少的,整个生育期缩短,回归模拟和实际观测的结果误差只有 1.5 d。

表 5 玉米各生育期日期随年代的变化速率(d/a)
Table 5 The rate of maize growth date in different years

发育期 Growth period	播种 Sowing	出苗 Seedling	三叶 Three leaves	拔节 Jointing	抽雄 Heading	开花 Blooming	吐丝 Spinning	乳熟 Milk mature	成熟 Mature
90 年代 1990s,	04—22	05—04	05—11	06—21	07—14	07—16	07—19	08—13	09—11
2000 年来 Since 2000	04—21	05—03	05—12	06—21	07—15	07—15	07—18	08—11	09—06
速率 Rate	—0.05	—0.11	0.08	—0.04	0.03	—0.08	0.07	—0.15	—7.8

表 6 玉米生育期间隔日数随年代变化的速率(d/a)
Table 6 The rate of maize growth date alternate days with years

项目 Item	播种~出苗 Sowing~ seedling	出苗~三叶 Seedling~ three leaves	三叶~七叶 Three leaves ~seven leaves	七叶~拔节 Seven leaves ~jointing	拔节~抽雄 Jointing~ heading	抽雄~开花 Heading~ blooming	开花~吐丝 Blooming~ spinning	吐丝~乳熟 Spinning~ milk mature	乳熟~成熟 Milk mature ~mature	全生育期 Whole growth period
速率 Rate	—0.06	0.19	—0.02	—0.1	0.06	—0.11	0.15	—0.22	—0.62	—0.73

3.2.3 生长发育的影响 玉米是喜温短日照作物,随着气候变暖,生育期内平均气温升高,积温增加,热量富裕,日照和降水相对减少,促使玉米生长加快,发育期提前,全生长期缩短。在幼苗生长期,是陇东塬区春旱多发时期,降水偏少,气温偏高,特别

是在播种至出苗期的 4 月中、下旬正是陇东塬区降水偏少时期,往往造成不能按时播种,使大田播种期推迟,播种后也不能正常出苗,即使出苗,由于气温偏高,使幼苗期生长速度加快,生育期缩短,不利于“蹲苗”生长。苗长势细弱,到灌浆成熟期易出现倒

伏现象,使产量降低。

在拔节抽雄期是玉米植株进入旺盛的营养生长和生殖生长并进阶段,是需水关键期,对水分要求较多。在这一时期,本区的热量正常略多,降水量呈逐年增加趋势,每10 a 降水量增加20 mm左右,总体来说水分满足了玉米生长需要,对玉米雌穗正常分化小穗和小花生长较为有利;但降水年际波动大,个别年份降水少,对玉米生长不利,如1997年出现初夏旱,拔节至抽雄期间降水量仅为19.1 mm,比多年平均值同期偏少77.7%,当年玉米产量只有2058.0 kg/hm²,而2003年拔节至抽雄期降水量高达137.3 mm,当年玉米产量为9334.5 kg/hm²,和1997年相比产量偏高了353.6%。

开花至成熟时期(6月中旬至7月上旬),是陇东塬雨热同季时期,但降水年际变率大。玉米在此期生长要求较高的温度,适宜的水分和充足的光照。随着气候变暖,热量和光照气象条件基本满足玉米生长需要,但影响产量的最关键因素是水分的供应,水分供应包括该发育期内大气降水和该发育期前期的土壤水分的剩余量。如果大气干旱和土壤干旱同时出现,易造成“卡脖子旱”,这对玉米籽粒形成影响较大。从近16年来的资料分析来看,出现伏旱的年份较多,但未形成“卡脖子旱”灾害。出现伏旱的年份为1994、1999、2002和2005年,这4年中的7月中旬至9月上旬大气降水量为70~96.8 mm,和正常年份的同期相比偏少45~120 mm,和最高的1993年相比偏少274 mm,降水少变幅大,对玉米正常灌浆造成一定的影响,但未出现“卡脖子旱”的危害。主要是这几年玉米开花成熟期的前一发育期的土壤剩余水分较多,0~100 cm土壤剩余水分高达50~100 mm,缓解了大气干旱对玉米生长的危害,因此对玉米产量影响不大。在这一时期影响玉米籽粒形成的主要因素是伏期的高温和大风天气,加快了玉米灌浆成熟生长进程,出现高温逼熟现象,缩短了玉米生育期天数,造成玉米果穗籽粒空比率增大,降低产量。

4 提高作物产量的对策分析

1) 适当提前玉米播种期,不但可以提高播种质量,而且使玉米需水关键期处于有利的气候条件下生长,有效地避免了干旱的危害。从以上分析得出,传统的玉米适宜播种期(4月中下旬)已经不适应当前气候环境下的种植模式,要做到充分利用气候资源,趋利避害,达到增产增收的目的,就应适当提前玉米播种日期,使玉米生长过程中的主要发育期处

于比较有利的气候条件下。

由前面分析结果看,春季气温逐年偏高,热量增加;降水逐年减少,大风、扬沙天气增多,早春土壤墒情蒸发量大,春旱加重。播种出苗期的4月上中旬平均气温每10 a 升高0.56~0.63℃,4月上旬降水量每10 a 增加3.3 mm,4月下旬降水量每10 a 减少3.6 mm(表略)。因此玉米适宜播种期从传统的4月中下旬提前到4月上中旬播种较为有利,这样可以充分利用早春较好的土壤墒情和4月上旬较多的降水保证春播,保证安全出苗,并有利于玉米出苗后遇到干旱环境锻炼,使幼苗根系深扎,进行“蹲苗”生长,可有效避免了4月中下旬播种时的干旱影响。同时使玉米需水关键期处于春季多雨时段生长,能避免或减轻初夏旱和伏旱对抽雄等关键期生育期的影响,也适当延长了后期灌浆成熟生长,避免了初秋连阴雨对春玉米成熟期生长的影响,有利于提高产量。

2) 适当推迟冬小麦播种期,可有效预防冬前旺长现象发生,减少土壤水分和养分的无效消耗,提高土壤水分利用率,提高小麦产量。陇东塬区传统的小麦播种期为9月15日左右,从西峰农试站25年来冬小麦观测试验结果分析(图4),25年平均播种期为9月20日。20世纪80年代平均播种期为9月16日,90年代为9月19日,2001年来为9月23日,从80年代到2001年来推迟了7 d。随着近年来秋季气温不断升高,降水逐年增加,光热水配合适宜,小麦冬前苗期生长速度加快,从2000年以来,冬前积温以每年29.5℃速率增加,2006年冬前积温达到716.2℃,比历年值518.6℃偏多197.6℃,冬小麦越冬前的叶面积指数高达3.3,比多年平均值偏高2.2,群体密度达到1800万茎/hm²,植株生长高度25 cm以上,小麦旺长现象严重。从封冻前的土壤墒情分析,麦田水分消耗过大,墒情较差,对小麦安全越冬不利。因此,从试验分析得出,冬小麦适宜播种期推迟到9月23~28日,可以使冬前积温减少130~190℃,生育期天数缩短8~12 d左右,使小麦冬前旺长现象得到有效控制。

3) 适当提前夏收日期,可有效地避免不利天气形势的影响,达到颗粒归仓,这是冬小麦生产过程中最关键的环节。收获过早或过晚都会影响产量,不利于丰产增收,如果遇到连阴雨或灾害性天气发生,将对夏收工作造成十分不利的影响。通过分析,陇东塬区的冬小麦成熟期在80年代为7月4日,90年代为6月29日,2000年以来为6月25日,成熟期提前幅度为5.6 d/10a,当夏收期提前到6月15

日~25 日期间,陇东塬区降水日数偏少,多晴好天气出现,对夏收工作较为有利。

供科学依据。

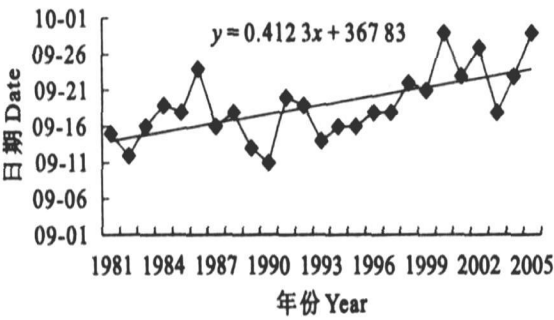


图 4 陇东塬区历年冬小麦播种期变化

Fig. 4 The sowing date change of winter wheat in past years

4) 建立健全农业气象服务系统,加强对农业气象灾害的监测、预警和预报服务工作,对当地的主要农业气象灾害发生发展进行适时诊断,进一步提高农业气象服务的时效性,为防灾抗灾的正确决策提

参考文献:

[1] 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.

[2] 韩永祥, 董安详, 王卫东. 气候变暖对中国西北主要农作物的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 179—185.

[3] 郭海英, 索安宁, 杨兴国, 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—613.

[4] 张谋草, 赵满来, 李锦萍, 等. 陇东塬区气象要素变化对冬小麦产量影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(4): 52—235.

[5] 张谋草, 段金省, 李宗葵, 等. 气候变暖对黄土高原区农作物生长和气候生产力的影响[J]. 资源科学, 2006, 28(6): 46—50.

[6] 段金省. 气候变暖对陇东塬区冬小麦成熟期的影响与适宜收获期预报[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 158—161.

[7] 段金省, 牛国强. 气候变化对陇东塬区玉米播种期的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 235—238.

[8] 苏占胜, 陈晓光, 黄 峰, 等. 宁夏山区小麦产量变化特征及其对气候变化的响应[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 218—225.

Study on impact of climatic change on crop growth and its countermeasures in the Yuan area of east Gansu Province

LI Zong'yan^{1,2}, DUAN Jin'sheng², HUANG Bin², QIU Ning-gang²

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

2. Qingyang Municipal Meteorological Bureau, Xifeng, Gansu 745000, China)

Abstract: According to the result of observation and parallel analysis of meteorological materials of the farmland test, with the climate warming, the over-growing phenomenon of wheat before winter is obvious and each growing stage in spring gets earlier notably, and arid calamity takes place frequently in the Yuan area of east Gansu Province. In the maize growth course, most puberty stages turn a trend of advancing and shortening notably during the development, and the spring drought and drought in early summer are of serious harm. Under the circumstances of climate warming, in order to avoid the influence of unfavorable climate factors and increase the yield of crops, it is necessary to readjust sowing and harvesting time of crops, which can improve the sowing quality and prevent effectively the winter wheat from over-growing before winter and relieve the influence of drought in spring.

Keywords: climate change; winter wheat; crop; temperature; precipitation; sowing date