

# 全球气候变化对我国西北地区农业的影响

张 强<sup>1</sup>, 邓振镛<sup>1</sup>, 赵映东<sup>2,1</sup>, 乔 娟<sup>1</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. 甘肃省水文水资源勘测局, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 在比较系统总结全球气候变化对我国西北地区农业影响的主要研究成果的基础上, 揭示了我国西北地区现代气候变化对全球气候变暖响应的基本特征, 阐述了现代气候变化对土壤水分、地表蒸发和作物气候生产力的影响规律; 并且比较全面地概括了西北地区冬、春小麦、玉米、马铃薯、冬油菜、棉花、胡麻、牧草、葡萄等 9 种主要农作物的生长发育、病虫害、种植面积、气候产量以及畜牧业活动等对气候变化的响应特征, 发现气候变化对农业生产过程的影响利弊皆存, 而且不同农作物对气候变化的响应特征差异较大。研究对西北地区农业生产具有比较重要的科学指导意见。

**关键词:** 西北地区; 农业; 气候变化; 土壤水分; 气候产量

文章编号: 1000-0933(2008)03-1210-09 中图分类号: Q143 文献标识码: A

## The impacts of global climatic change on the agriculture in northwest China

ZHANG Qiang<sup>1</sup>, DENG Zheng-Yong<sup>1</sup>, ZHAO Ying-Dong<sup>2,1</sup>, QIAO Juan<sup>1</sup>

1 Gansu Province Key Laboratory of Arid Climatic Changes and Disaster Reduction, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China

2 Gansu Province Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Lanzhou 730000, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1210 ~ 1218.

**Abstract:** In the paper, Based on systematically concluding the main research achievements on impacts of global climatic change on the agriculture in Northwest China. The main characteristics of modern climatic change in Northwest China are presented. Regularity of impacts of modern climatic change on soil moisture, surface evaporation and crop climatic productivity are expounded. Responses of the agricultural activities such as procreation, growth, insect pest, planting acreage and climatic yield etc. of nine sorts of crops include winter wheat, spring wheat, corn, potato, winter rapeseed, cotton, flax, forage, grape in Northwest China to global climatic change is generalized. It is found that impact of climatic change on the crops is not only of advantageous aspects but also of disadvantageous. And characteristics of the response to climatic change are very different with different crops. The research work is of scientific meaning for agricultural activities in Northwest China.

**基金项目:** 甘肃省科技攻关计划资助项目(2GS042-A44-017); 国家科技攻关计划“西部开发科技行动”重大资助项目(2004BA901A16); 国家自然科学基金资助项目(40575006)

**收稿日期:** 2007-05-09; **修订日期:** 2007-11-23

**作者简介:** 张强(1965~), 男, 甘肃靖远人, 研究员, 从事大气边界层、陆面过程、绿洲气象学、干旱区气候研究。E-mail: zhangqiang@cma.gov.cn; qzhang@ns.lzb.ac.cn, zhangq@gama.gov.cn

**Foundation item:** This work was financially supported by Gansu Provincial Scientific and Technological Project (No. 2GS042-A44-017), Key Project (No. 2004BA901A16) of the “West China Science and Technology Development Action” by MOST, China and the National Natural Science Foundation of China (No. 40575006)

**Received date:** 2007-05-09; **Accepted date:** 2007-11-23

**Biography:** ZHANG Qiang, Professor, Mainly engaged in Atmospheric boundary layer, Land surface processes, Oasis Meteorology and Arid Climate, etc. E-mail: zhangqiang@cma.gov.cn; qzhang@ns.lzb.ac.cn, zhangq@gama.gov.cn

**Key Words:** in northwest China; agriculture; climate change; soil moisture; climate yield of crop

气候变暖已经成为全球变化的主要特征,有关气候变暖影响的研究已成为目前国内外关注的热点科学问题<sup>[1]</sup>。以干旱为主要气候背景我国西北地区,对气候变暖的响应更敏感,对气候变化的适应能力更脆弱,受气候变暖的影响程度会更加严重,所造成的各方面损失也会更加巨大<sup>[2]</sup>。

很多研究表明<sup>[3]</sup>:气候变暖已造成西北地区生态环境不断恶化以及自然灾害频繁发生,对西北地区农业、水资源、生态环境和人民生活等许多方面都产生了深刻而广泛的影响,已成为制约西北社会经济全面协调发展的主要因素之一。尤其,对于农业而言,由于其强烈依赖于气候条件,受气候变化的影响更加显著。气候变暖通过对农业气候条件的改变能够影响到包括农作物生长、病虫害、种植面积、气候生产力、产量和品质以及畜牧业等在内的各个方面,是目前西北地区发展现代农业所需要考虑的重要科学问题之一。

为了积极应对和主动适应气候变化对西北地区农业生产活动的影响,目前迫切需要准确认识西北地区气候尤其是农业气候变化的基本特征,进一步弄清农业气候变化对西北地区农业生产活动的影响规律,并在此基础上寻求趋利避害甚至变害为利的科学对策。这对促进西北地区农业生产活动具有十分明显的现实意义。

关于气候变暖对西北地区农业生产的影响研究以往已经做过不少工作,而且也取得了一些新的认识。但以往研究工作大多侧重于单个作物或农业生产的某个环节,并且受地域或时间局限也比较明显。目前,针对西北地区农业对气候变化响应问题的综合性研究工作并不多见,对这一问题实际上还并没有形成比较系统而完整的科学认识,更缺乏对气候变化影响规律的深入揭示。本文在综合以往研究成果的基础上,系统地概括和集成气候变化对西北地区农业的基本影响特征和规律。

## 1 西北地区农业气候对全球气候变暖的响应特征

### 1.1 基本气候的响应特征

近 40 多年来西北地区气温总体呈上升趋势,1986 年后 16a 的平均气温比其前 26a 的升高了 0.7℃,其增温幅度明显高于 0.35℃ 的全国年平均增温幅度。并且,大约在 1986 年左右增温趋势出现比较明显的突变,其前的 1961~1986 年期间增温较缓,其后的 1987~2003 年期间增温很快。气温升高最明显的地区是北疆西北部、准噶尔盆地、吐鲁番盆地、柴达木盆地东部等,这些地区 1986 年后的 16a 平均气温比其前 26a 平均值升高了 1.0~1.3℃。全年以冬季气温升高幅度最大,平均升温幅度达 1.4℃,是全年平均值的 2 倍左右<sup>[4]</sup>。

1987~2003 年与 1961~1986 年相比,西北地区年降水量变化的区域差异十分明显。总体而言,西部呈增多趋势,东部呈减少趋势,增多区与减少区的分界线恰巧与黄河走向基本平行。西北地区年中雨及更大级别降水次数可分为 6 种主要类型区,新疆西部和青海西北部两个区域与其它几个区域相比呈相反变化趋势。从长时间来看,西北地区年中雨及更大级别降水次数总体存在着 2~4 a 的最显著周期;分区来看,北疆表现为明显上升趋势,西北地区东部表现为明显下降趋势,其它各区域趋势变化不明显。西北地区春季、秋季中雨及更大级别降水次数下降趋势十分明显,而夏、冬两季变化趋势则比较平稳<sup>[5,6]</sup>。

### 1.2 农业气候的响应特征

积温、温度日较差、生长季降水以及极端气候状态是最主要的农业气候指标。温度突变后的 1987~2003 年与突变前的 1961~1986 相比,西北地区日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的年平均积温值增加了 112℃,日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的平均积温值增加了 107℃,大部分地方作物生长期的热量资源显著增加<sup>[4]</sup>。对于河东地区而言,平均气温每增加 1℃, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温等值线将向北推移 50km。

西北地区日平均气温 $< 0^{\circ}\text{C}$ 的全年负积温绝对值呈持续减少趋势,1987~2003 年的年平均负积温绝对值比 1961~1986 年的减少了 137℃,平均每 10a 减少 50℃,20 世纪 90 年代比 20 世纪 60 年代减少了 151℃<sup>[4]</sup>。

西北地区年极端低温事件显著减少,并且年极端低温事件发生频次与增暖呈显著的负相关,但相关程度从西北向东南逐渐变弱。年极端高温事件表现为增加趋势,年极端高温事件发生频次同增暖呈显著正相关。虽然气温明显升高,但由于极端低温天气减少,所以年平均日较差变化却并不如温度变化明显<sup>[7~9]</sup>。

在西北地区,1987~2003年与1961~1986年相比,越冬作物全生育期降水量只在甘肃的陇东和宁夏南部增加了10 mm左右,其余大多数地方则减少了5~50 mm,其中关中东部和陕南减少更为明显,多达30~50 mm;春小麦全生育期降水量除新疆和青海东南部及甘肃的甘南和陇中减少了5~30 mm外,其余大部分地方反而增加了5~60 mm;秋作物全生育期降水量西部增多了5~70 mm,东部则反而减少了5~160 mm<sup>[7~9]</sup>。

## 2 气候变化对土壤水分和气候生产力的影响

### 2.1 对雨养旱作农业区土壤水分的影响特征

黄土高原是西北地区最主要的雨养旱作农业区,其土壤水分在空间上从西南向东北减少,但中部有一条从北向南的干舌,干旱中心在陇中北部。黄土高原100 cm厚度土壤水分容量大约为270~340 mm,200 cm厚度土壤的大约为590~640 mm,具有较好的“土壤水库”作用。黄土高原作物生长季节的土壤水分均未达最适宜状态,夏季相差50~100 mm,秋季相差20~40 mm<sup>[10,11]</sup>。

20世纪50年代以来,气候变化使黄土高原0~200 cm土壤总贮水量呈减少趋势,土壤干旱趋于加重。而且,0~100 cm土壤贮水量减少更加明显,占0~200 cm的水分含量比例减少了6~8个百分点。土壤水分以春、秋季节减少最多,夏、冬季节减少较少。1991~2003年与20世纪80年代相比,秋季土壤总贮水量减少了40~90 mm,而夏季只减少了8~36 mm。80年代以来,0~200 cm土壤贮水量适宜农作物生长的时段减少了2~3个月,水分匮乏不断从浅层向深层扩展,时段上也有所延长。土壤干旱存在2~4a和7~9a的年际振荡,干旱程度在7~9月份最重<sup>[12~14]</sup>。

### 2.2 对绿洲灌溉农业区土壤水分的影响特征

与雨养旱作农业区不同,绿洲灌溉农业区除20 cm以上浅层土壤水分呈较明显的下降趋势外,其余各层变化趋势均不明显。而且,20 cm以上浅层土壤水分在持续降低趋势的基础上叠加着准周期振荡,可见其表层土壤水分对降水和温度均具有非常明显的依赖关系。气候变暖对土壤干旱化的影响也主要在浅层比较突出,而深层土壤干旱化并不明显<sup>[15]</sup>。这种特征与绿洲农业区灌溉机制有效维持了深层土壤水分状态有关,这也正是灌溉农业区土壤水分受气候变化影响特征与雨养旱作农业区的主要区异之一。

### 2.3 对土壤水分蒸发的影响特征

用Peman-Monteith公式计算的西北地区土壤水分蒸散量变化特征表明<sup>[16,17]</sup>,蒸散受气温和降水的支配比较大。理论蒸散量与蒸发器观测值的变化趋势基本一致。潜在蒸散量年代变化为20世纪90年代最大,70、60年代次之,80年代最小。四季变化以夏季最高,春、秋季其次,冬季最小。20世纪90年代以来,由于气温升高,降水偏少,地表蒸散能力有所加强,黄土高原地区各地土壤水分亏缺值普遍趋于增加。并且,由于地表蒸发能力的季节差异,使夏季土壤失墒较多,水分亏缺值最大。

### 2.4 对气候生产力的影响特征

黄土高原气候生产力1961~2000年平均为7762.1 kg/(hm<sup>2</sup>·a)。但由于气候变暖使西北地区土壤干旱普遍有加重趋势,气候生产力总体呈下降趋势,下降率为10.45 kg/(hm<sup>2</sup>·a)。其中,20世纪60年代气候生产力最高,90年代最低,70年代和80年代介于两者之间<sup>[18]</sup>。与土壤干旱演化的2~4a周期相对应,气候生产力年际变化也具有3a左右的振荡。黄土高原气候生产力在空间上由东南向西北减少,其中北部是气候生产力变化的敏感区,气候生产力变化往往首先从这里开始向周边传播<sup>[18~21]</sup>。与黄土高原雨养旱作农业区不同,在绿洲灌溉农业区,由于灌溉对土壤水分的保障作用,气温升高引起热量资源增加,气候生产力反而会随之有所增加<sup>[22]</sup>。

总体上讲,在西北地区,“暖湿型”气候对生产活动比较有利,平均气候生产力增幅为5.9%,而“冷湿型”气候对作物生产不太有利,平均气候生产力减少幅度为6.3%。对于黄土高原雨养旱作农业区来说,对气候变化更敏感,“暖湿型”气候对生产活动更为有利,年气候生产力可增加13.7%~31.2%,而“冷干型”气候对生产活动更为不利,年气候生产力能减少5.1%~27.1%<sup>[18~21]</sup>。

## 3 气候变化对农作物的影响

气候变化对西北地区冬、春小麦、玉米、马铃薯、冬油菜、棉花、胡麻、牧草、葡萄等主要农作物的生长发育、

病虫害、种植面积、产量和品质以及畜牧业等均有比较明显的影响。而且,不同农作物及不同区域对气候变化的响应特征也表现得很相同。

### 3.1 对农作物生长发育的影响特征

对冬小麦而言,由于秋季增温,其播种期 20 世纪 90 年代比 20 世纪 80 年代推迟了 4~8d,冬前生长发育速度推迟。并且,由于受春温升高作用,冬小麦春初提前返青,生殖生长阶段提早,全生育期缩短了 6~9d。这种影响特征还具有明显的地域性,西峰等有些地区全生育期可缩短大约 15d,而天水等地只缩短了 1d 左右。对于春小麦而言,由于春季气温升高,90 年代春小麦播种期比 80 年代平均提早了 2d 左右,提早最多的临夏等地可达 7d;而全生育期只略有缩短,大约为 1~2d。春小麦全生育期的变化也同样具有明显地域性,民乐等地缩短可达 13d 左右,而陇中等地缩短大约只有 1d。相比较而言,气温变暖对春小麦生长发育的影响不如冬小麦明显<sup>[23~25]</sup>,这主要与冬季气温升高得更加显著有关。

玉米和棉花等属于喜温、喜热作物,气温升高总体对其生长发育比较有利。20 世纪 90 年代与 80 年代相比,由于温度升高,玉米播种期提早了 1~2d;但生殖生长阶段有所延长,其中乳熟期延长最多;全生育期总共延长了 6d。雨养旱作区玉米生育期受热量和降水共同作用,各生育阶段均提早结束,全生育期反而缩短了 6~8d。就棉花而言,播种期提早了 7d 左右;吐絮期也明显提前,最多可达 13d;停止生长期提前了 3d;不过全生育期延长了 4d 左右。可见,气候变暖使棉花和玉米的全生育期总体上都明显延长,为生长发育赢得了更加充足的热量资源,对生长和发育均比较有利。几种喜温、喜热作物相较而言,气候变暖对棉花生长发育的影响要比玉米的更明显一些<sup>[23~27]</sup>。

对胡麻和油菜等喜凉作物而言<sup>[26,27]</sup>,气候变暖使胡麻播种期提早了 20d 左右,全生育期却延长了 30d,是农作物中全生育期延长比较明显的。冬油菜播种期推迟了 7~13d,停止生长期也较以前有所推迟,返青后的生育期提前了 8~12d,与胡麻相比其全生育期反而缩短了 17~32d,是农作物中全生育期缩短比较明显的。对于马铃薯而言,如果地温提高 2.2~2.5℃,出苗期将提前 13d,全生长期也会有所延长。

西北地区中早熟酿酒葡萄生长期一般为 170~180d,需要日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温值达 3100~3400℃以上,幼果出现到成熟时段需 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温达 2150~2230℃。生长季平均耗水约 423.2mm,其中盛花至成熟期耗水最多,为 260mm。枝条生长的关键时段出现在 5 月份,果实生长的关键时段为 7 月上旬初至 8 月上旬初,含糖量增长的关键时段出现在 8 月份。在枝条生长和果实生长期间, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、地温和相对湿度是主要影响因素,但在含糖量累积阶段 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温和累积日较差是主要影响因素<sup>[28,29]</sup>。随着气候变暖,西北地区葡萄种植区的热量资源更加丰富,气候资源优势会更加突出。

总之,气候变暖对农作物生长发育利弊皆有。它使春小麦、玉米、马铃薯、棉花、胡麻等春播作物播种期提早;使棉花、玉米苗期等喜热、喜温作物的生长发育速度加快,营养生长阶段提前,生殖生长阶段和全生育期延长;使冬小麦和冬油菜等越冬作物播种期推迟,冬前生长发育速度减缓,春初提前返青,生殖生长阶段提早,全生育期缩短。相对而言,对春小麦等灌区喜凉作物生长发育的影响相对较小。综合来看,目前气候变暖的程度对越冬作物的冬前生长发育及喜温作物和喜热作物的全生育期生长发育均比较有利。但由于气候变暖引起土壤干旱化和农作物某些病虫害增加,对大多数农作物生长发育却并不太有利。

### 3.2 对农作物种植面积的影响特征

气候变暖已经使西北地区农作物种植面积和种植格局发生了较大改变<sup>[29~32]</sup>。尤其,20 世纪 90 年代与 80 年代相比,由于温度升高,冬小麦种植北界向北扩展了 50~100km,西伸也比较明显,且从海拔高度 1800~1900m 向 2000~2100m 扩展,种植面积扩大了 10%~20% 左右。马铃薯适宜种植区上限海拔高度也平均提高了 100~200 m,马铃薯的适宜种植范围也有所扩大,尤其是甘肃陇中地区的种植面积扩大迅速。棉花适宜种植区海拔高度升高了 100m 左右,仅甘肃种植面积就扩大了近 10 倍。冬油菜种植带向北扩展了约 100 km,种植区海拔高度提高了约 100~200 m,种植面积扩大了大约 1 倍。胡麻的适宜种植上限高度提高了 100~200m,种植面积也明显扩大。只有春小麦种植面积明显减少,大约缩减了 10%~20%,尤其是甘肃的定西和

临夏一带减少最为明显,这与气候变干有直接关系。另外,由于气候变暖,多熟制种植带向北推移种植高度增加了 200 ~ 300m;复种指数也明显提高,复种面积扩大了 4 ~ 5 倍。西北地区农作物品种熟性总体上正在由早熟型向偏晚熟型发展。

### 3.3 对农作物气候产量的影响特征

气候变化对作物产量和品质均有一定影响。气温升高会使西北地区小麦和棉花等农作物增产。譬如,冬季气温升高,使冬小麦越冬死亡率大大降低,并且各地也会选用抗寒性或冬性稍弱但丰产性较好的品种,产量有所提高。春小麦的苗期和籽粒形成期发育速度受温度影响最大。1996 ~ 2000 年与 1986 ~ 1990 年相比,甘肃河西各地春小麦的气候产量(气候产量即实际产量减去社会因素产量,下同)增加了 10% 以上。棉花气候产量与  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温关系密切,积温越高产量越高,90 年代棉花气候产量比 80 年代增加了  $81. \text{kg}/\text{hm}^2$ ,增长了 54.3% 左右<sup>[33~35]</sup>。冬油菜产量与冬季平均气温密切相关。每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ,气候产量增加  $172\text{kg}/\text{hm}^2$ <sup>[36]</sup>。

气温升高也会使马铃薯和胡麻等一些农作物减产<sup>[37~39]</sup>。马铃薯产量与块茎膨大期(7 月份)的平均气温和分枝~开花期(6~7 月份)的降水量相关密切。一般,如果降水不变时,产量会随温度升高而降低;但如果气温升高,降水量也变化时,产量随降水波动,陇东南波动最大,陇东次之,陇中较小。胡麻产量则与籽粒期(6~7 月份)的平均气温呈显著负相关,随着气温升高,产量会降低;同时,也与关键生长期(4~6 月份)降水呈明显正相关,随降水增加,产量会增高。如果气温升高,并且降水量也变化时,产量随降水波动较大,陇中波动最大,陇东次之,河西最小。

总之,20 世纪 90 年代与 80 年代相比,气候变化使绿洲灌溉区农作物的气候产量提高了 10% ~ 20%,特别是棉花的气候产量提高了 50% 左右;使雨养旱作区农作物气候产量反而减少了 10% ~ 20%。不过,在整个西北地区,气候变暖会使冬小麦、冬油菜、胡麻、马铃薯、棉花等作物的种植面积扩大,使其气候总产量可增加 30% 左右<sup>[37~39]</sup>。

气候变暖为棉花、葡萄、玉米等喜温和喜热作物生长发育赢得了更充足和更有利的热量资源,会使这些作物的品质有所提高。另外,冬暖使冬小麦和冬油菜等越冬农作物死亡率降低,会有利于品质优良的弱冬性品种生长。当然,农作物病虫害的增加和生长期不足也会对冬春小麦等作物的品质有一些不利影响。

### 3.4 对农作物病虫害的影响特征

气候变化对条锈病、白粉病、蚜虫、红蜘蛛等农作物病虫害的发生和流行均有比较明显的影响。由于气温升高特别是冬季温度增加使目前大多数农作物的病虫害有发展趋势。陇南山区是我国小麦条锈病的主要发源地,传播范围也比较广泛。近几十年来冬季显著增温趋势与该地区小麦条锈病逐年加重趋势十分一致。与 20 世纪 90 年代以前相比,目前小麦条锈病发生的海拔高度大约升高了 100 ~ 300m,危害范围明显扩大;发生时间也由 3 月份提早到了 2 月份。同时,由于气候变暖和小麦种植密度增加,使陇南地区小麦白粉病由 20 世纪 80 年代不足  $2 \text{万 hm}^2$  扩大到了目前的  $6.7 \text{万 hm}^2$  以上,发展也十分迅速<sup>[40]</sup>。

但也有一些作物病虫害随气候变化表现比较复杂,甚至还有减弱趋势<sup>[40]</sup>。麦蚜虫的发生流行一般主要在  $5 \sim 23^{\circ}\text{C}$  的温度条件下,大于  $24^{\circ}\text{C}$  或小于  $4^{\circ}\text{C}$  时,麦蚜虫数都会显著减少,所以在陇南等麦蚜虫多发地区,麦蚜虫的发生并不是一个单调变化趋势,而是在 1992 ~ 2000 年间麦蚜虫比较重,此前和此后的麦蚜虫反而比较轻。小麦红蜘蛛病的适宜温度要明显比麦蚜虫的还低,大约在  $8 \sim 15^{\circ}\text{C}$ ,在  $20^{\circ}\text{C}$  以上就会引起死亡。所以,随着气温增高,气候状态逐渐向不适宜小麦红蜘蛛发生的条件演变,小麦红蜘蛛病明显减少,陇南地区小麦红蜘蛛的成灾面积已经从 20 世纪 90 年代的  $6.7 \text{万 hm}^2$  左右缩减到目前的  $4 \text{万 hm}^2$  左右。

### 3.5 对畜牧业的影响特征

冬、春季气温升高,降雪减少,使草地气候趋于暖干化,牧区雪灾趋于减少,对牲畜越冬度春比较有利,但对牧草生长不利。就西北比较典型的甘南玛曲牧区而言,牲畜死损率从 20 世纪 70 年代的 15% 下降到了 21 世纪初的 5% 左右,幼畜成活率从 20 世纪 70 年代的 70% 上升到了 21 世纪初的 90% 左右。同时,气温增高,也有利于牲畜抓膘育肥。但由于降水减少和蒸发加剧,牧草产量及品质下降,又成为牲畜抓膘育肥的限制因

素。总之,气候变化对畜牧业的影响利弊皆有。

西北地区限制牧草产量的主要因子是降水量。20 世纪 90 年代与 80 年代比较,牧草热量气候生产力有所增加,而降水气候生产力却反而减少了  $841\text{kg}/\text{hm}^2$ 。由于水热条件匹配不佳,实际生产力明显下降。1980 年代末与 2004 年相比,劣牧草、杂草和毒草的比例也越来越高,草场生产力进一步下降,牧区草场产草量和草的品质出现明显降低趋势<sup>[41]</sup>。

#### 4 结论和讨论

西北地区区域气候对全球气候变暖的响应特征十分明显。1986 年是西北地区现代气候变化的一个转折点,1987~2003 年与 1961~1986 年相比,西北地区气温升高了  $0.7^\circ\text{C}$ ,其增温速度比全国平均快 1 倍左右。近 20 多年来西北地区年降水量西部呈上升趋势,东部呈下降趋势,基本以黄河为分界。暖干化是西北地区现代气候变化的总体特征。

全球气候变暖对西北地区农业气候特征影响较大。平均积温明显升高,1987~2003 年与 1961~1986 年期间相比, $\geq 0^\circ\text{C}$  的年积温值平均增加了  $112^\circ\text{C}$ 。对于河东地区而言,平均气温每增加  $1^\circ\text{C}$ , $\geq 0^\circ\text{C}$  的积温等值线将向北推移 50km。1987~2003 年与 1961~1986 年相比,西北地区大多数地方越冬作物全生育期降水量减少;大部分地方春小麦全生育期降水量增加;秋作物生育期降水量变化呈现跷跷板格局,西部增多,东部则减少。

气候变化也正在改变着西北地区土壤水分和气候生产力的时、空格局。由于温度增高和降水变化的空间差异使土壤水分发生了很大改变,黄土高原 0~200cm 土壤总贮水量呈减少趋势,0~100cm 土壤水分减少更加显著。与黄土高原不同,绿洲灌溉区只有 20cm 以上浅层土壤水分有波动减少的趋势,而深层土壤水分变化不大。

气候变化对西北地区农作物的影响特征表现得比较复杂,并且利弊共存。气候变暖使春播作物播种期提早;使喜热、喜温作物的生长发育速度加快,营养生长阶段提前,全生育期延长;使越冬作物播种期推迟,春初提前返青,全生育期缩短。气候变暖一般还会使大多数农作物的适宜种植面积有所扩大,但农作物病虫害会有发展的趋势。气候变暖的综合效应也会使作物品种的熟性由早熟向中晚熟发展、多熟制向北推移和复种指数提高。然而,在旱作农业区,气候变暖所带来的种植制度和格局调整有利机遇在很大程度上受到了水分条件的制约和限制。由此,近 50a 的气候变暖虽然使绿洲灌溉区农作物的气候产量提高了大约 10%~20%,但却使雨养旱作农业区作物气候产量反而减少了 10%~20% 左右。

所以,对于雨养旱作农业区来说,气候变暖很可能对农业生产更多带来一系列不利影响,这需要通过调整种植结构和选育新优抗旱农作物品种来适应气候变化。而对于绿洲灌溉区而言,气温升高,光照充足,又有比较充足的灌溉条件,极有利于发展喜热、喜温的优质特色农业。应该充分利用气候变化带来的发展机遇,积极探索干旱区现代农业发展的新模式。

当然,影响农业生产活动的因素是多方面的,除了气候变化因素而外,还受农业技术、投入、市场和政策等许多方面的影响。以现有的观测资料水平,还很难在西北区域尺度上将这些不同影响因素分离出来,目前还无法十分清楚地描述气候要素变化的单纯影响。所以,只能够初步分析气候变化对西北地区气候产量的影响,而并不容易科学分析其对农业实际产量的客观影响规律。同时,由于目前还比较缺乏专门针对气候变化对西北区域尺度上农业影响的综合性科学观测试验研究,本研究结果只是仅仅利用现有的常规气象观测资料和农业管理部门提供的部分农业生产信息资料得出的初步分析结果,虽然其对全球气候变暖对农业生产影响的部分特征取得了一些新认识,但仍然缺乏对各种气候要素变化对不同种类农作物影响机制和影响规律的深入分析和科学揭示。

#### References:

- [ 1 ] Chen B Z, Qin D H. Climatic change and ecological environment symposium corpus. Beijing: Meteorological Press, 2004. 13—20.
- [ 2 ] Lin Erda, Yangxiu. Impact assessment and adaptation strategy of climatic change on agriculture. Climatic change and ecological environment

- symposium corpus. Beijing: Meteorological Press, 2003. 72—77.
- [ 3 ] Wang F T, Zhao Z C, Wang S L, *et al.* Effects of Climatic Change on Agricultural Ecology. Beijing: Meteorological Press, 2003.
- [ 4 ] Liu D X, Dong A X, Deng Z Y. Impact of climate warming on agriculture in Northwest China. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(1): 119—125.
- [ 5 ] Liu D X, Dong A X, Deng Z Y. Impact of precipitation vacillation on agriculture for the past 43 years in Northwest China. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2005, 23(4): 179—201.
- [ 6 ] Liu D X, Dong A X, Lu D R. Climatic change of northwest China and its influence on agricultural production in recent 43 years. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2005, 23(2): 195—201.
- [ 7 ] Yang J H, Yao Y B, Wu S G. Characteristics of precipitation anomaly during whole growth period of spring wheat in the east of Yellow River in Gansu. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2006, 24(1): 174—178.
- [ 8 ] Yang J H, Shen Y P, Jiang Z H. Variability of extreme low temperature and its response to regional warming in northwest China in recent 45 years. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(4): 512—516.
- [ 9 ] Wang Y R, Z Q, Li Y H. The evolvement of spring cold weather intensity in Chinese Loess Plateau. *Journal of Arid Meteorology*, 2005, 23(3): 17—21.
- [ 10 ] Sun B Q, Zhang Q, Dong A X, *et al.* Evolution feature on the moisture of soil for Loess Highland in Gansu. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(9): 1041—1046.
- [ 11 ] Pu J Y, Yao X Y, *et al.* Variation and effective utilization of soil water in Longxi Loessial Tableland Gansu Province. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(4): 483—486.
- [ 12 ] Pu J Y, Yao X Y, Deng Z Y, *et al.* The response of underground soil moisture to climatic change in east of the Yellow River in Gansu Province. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(special): 51—56.
- [ 13 ] Pu J Y, Yao X Y, Deng Z Y, *et al.* Impact of climatic change on soil water content in Loess Plateau, Gansu. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(6): 1086—1090.
- [ 14 ] Pu J Y, Yao X H, Hu L P, *et al.* A study on estimation of water utilization in field of alfalfa in southeast Gansu. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2006, 24(2): 100—104.
- [ 15 ] Cao L, Song L C, Dong A X, *et al.* Preliminary research on oasis spring soil moisture and climatic change in Hexi Corridor. *Advances in Earth Science*, 2005, 20, (special): 6—10.
- [ 16 ] Yao X Y, Pu J Y, Wang C H, *et al.* Variations in evapotranspiration of soil moisture in Gansu Loess Plateau. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(1): 126—130.
- [ 17 ] Ma X X, Wei Y G, Jiang J F. A study on soil moisture change and crop water consumption characteristics in the grape new planting district at desert edge. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2006, 24(4): 58—61.
- [ 18 ] Yao Y B, Li Y H, Wang Y R, *et al.* Effects of the climate and climatic productivity in the Loess Plateau of China on global climate change. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2005, 23(2): 46—50.
- [ 19 ] Zhang M C, Deng Z Y, *et al.* Impact of climate warming on crop growth and climate productivity in plain area of the Loess Plateau. *Resources Science*, 2006, (6): 46—50.
- [ 20 ] Wang Y R, Wang R Y, Deng Z Y. Evolvement of climate-productivity over Chinese Loess Plateau. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2006, 27(2): 66—70.
- [ 21 ] Wang Y R, Yao Y B, Zhang X Y. Soil arid and climate productivity over Gansu Loess Plateau during crop growth period. *Journal of Chengdu University of Information Technology*, 2004, 19(4): 558—563.
- [ 22 ] Liu M C, Zhang F, Jiang J F, *et al.* Influence of climate resources on brewing grape along desert area in Hexi Corridor. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2006, 24(1): 143—148.
- [ 23 ] Li Y, Wang S G, Shang K Z, *et al.* Impact of climate warming on wheat in Gansu Province. *Journal of Lanzhou University(Natural Science)*, 2007, 43(special issue): 28—32.
- [ 24 ] Pu J Y, Yao Y B, Ma P L, *et al.* Responses of winter wheat growth to winter warming in Gansu Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1237—1241.
- [ 25 ] Zhang M C, Zhao M L, Zhang H N, *et al.* Influence of climate change to growth and output of winter wheat in loess plateau region of east Gansu. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2005, 23(5): 233—235.
- [ 26 ] Wang N Z, Deng Z Y, Zhang M C. Effects of climate change on leaf area of maize on Loess Plateau in east Gansu. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2006, 24(2): 189—194.
- [ 27 ] Deng Z Y, Z Q, Liu D X, *et al.* Effects of climate warming on cropping structure and crop growth in Gansu Province. *Journal of Desert Research*,

2007,27(4):627—632.

- [28] Liu M C, Z Q, Deng Z Y, *et al.* Meteorological conditions for wine grape growth in Hexi Arid Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2007,27(4):1656—1663.
- [29] Liu M C, Zhang F, Jiang J F, *et al.* Analysis on characteristics of Eco-climate for wine grape growth in the Hexi Corridor along desert region. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2006,24(1):143—148.
- [30] Liu D X, Zhao H Y, Dong A X, *et al.* Impact of climate warming on summer-autumn crop planting structure in Gansu Province. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005,27(6):806—811.
- [31] Deng Z Y, Zhang Q, Han Y X, *et al.* A discussion on the main principles and impact factors in planting structure adjustment in Gansu. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2006,24(3):126—129.
- [32] Deng Z Y, Zhang Q, Wan X, *et al.* Developing strategy and optimization of agricultural planting structural adjustment in Gansu Province. *Advances in Earth Science*, 2005,20(special):108—112.
- [33] Pu J Y, Zhang C J, Yao X Y, *et al.* Assessment on the influence of drought climate on main crop yield in Southeast of Gansu. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2007,25(1):167—171.
- [34] Liu D X, Guo J Q, Dong A X, *et al.* Impact of climate warming on yield of summer and autumn crops in Gansu Province. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2006,24(4):123—128.
- [35] Wang N Z, Deng Z Y, Huang B, *et al.* Impact of climatic change on corn dry-matter weight in Longdong Loess Plateau. *Advances in Earth Science*, 2007,22(special):68—72.
- [36] Pu J Y, Yao X Y, Deng Z Y, *et al.* Impact of climate warming on winter Rape planting in Gansu Province. *Acta Agronomica Sinica*, 2006,32(9):1397—1401.
- [37] Yao Y B, Deng Z Y, Wang R Y, *et al.* The influence of climate changes on potato growth in Gansu Province. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2006,24(3):16—20.
- [38] Yao Y B, Deng Z Y, Wang R Y, *et al.* Effects of climate change on flax productivity in Gansu. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2006,28(1):49—54.
- [39] Liu M C, Li S H. Quantitative analysis and evaluation on eco-climatic resources of winemaking grapes in Hexi Corridor. *Journal of Desert Research*, 2006,26(6):976—981.
- [40] Xiao Z Q, Li Z M, Fan M, *et al.* The forecasting model for the occurrence degree of wheat stripe rust in Gansu Longnan mountain regions. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2007,28(3):350—353.
- [41] Yao Y B, Wang R Y, Deng Z Y, *et al.* Climatic changes over the grassland around the first meander of Yellow River and its influence on animal subsistence. *Journal of China Agricultural University*, 2007,12(1):27—32.

#### 参考文献:

- [1] 陈邦柱, 秦大河主编. 气候变化与生态环境研讨会文集. 北京: 气象出版社, 2004. 13~20.
- [2] 林而达, 杨修. 气候变化对农业的影响评价及适应对策. 见: 陈邦柱, 秦大河主编. 气候变化与生态环境研讨会文集. 北京: 气象出版社, 2003. 72~77.
- [3] 王馥棠, 赵宗慈, 王石立, 等. 气候变化对农业生态的影响. 北京: 气象出版社, 2003.
- [4] 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. *自然资源学报*, 2005,20(1):119~125.
- [5] 刘德祥, 董安祥, 邓振镛. 中国西北地区近43年降水资源变化对农业的影响. *干旱地区农业研究*, 2005,23(4):179~201.
- [6] 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. *干旱地区农业研究*, 2005,23(2):195~201.
- [7] 杨金虎, 姚玉璧, 吴胜安. 甘肃省河东春小麦全生育期降水异常的特征分析. *干旱地区农业研究*, 2006,24(1):174~178.
- [8] 杨金虎, 沈永平, 江志红. 中国西北近45a来极端低温事件及其对区域性增暖的响应. *冰川冻土*, 2007,29(4):512~516.
- [9] 王毅荣, 张强, 李耀辉. 中国黄土高原地区春寒时空演变. *干旱气象*, 2005,23(3):17~21.
- [10] 孙秉强, 张强, 董安祥, 等. 甘肃黄土高原土壤水分气候特征. *地球科学进展*, 2005,20(9):1041~1046.
- [11] 蒲金涌, 姚小英, 等. 甘肃陇西黄土高原旱作区土壤水分变化规律及有效利用程度研究. *土壤通报*, 2005,36(4):483~486.
- [12] 蒲金涌, 姚小英, 邓振镛, 等. 甘肃省河东地区深层土壤含水量对气候变化的响应. *地球科学进展*, 2005,20(特刊):51~56.
- [13] 蒲金涌, 姚小英, 邓振镛, 等. 气候变化对甘肃黄土高原土壤水量的影响. *土壤通报*, 2006,37(6):1086~1090.
- [14] 蒲金涌, 姚晓红, 胡利平, 等. 甘肃陇东南紫花苜蓿土壤水分利用程度的评估研究. *干旱地区农业研究*, 2006,24(2):100~104.
- [15] 曹玲, 宋连春, 董安祥, 等. 河西走廊绿洲春季土壤湿度与气候变化的初步研究. *地球科学进展*, 2005,20(特刊):6~10.
- [16] 姚小英, 蒲金涌, 王澄海, 等. 甘肃黄土高原40a来土壤水分蒸散量变化特征. *冰川冻土*, 2007,29(1):126~130.
- [17] 马兴祥, 魏育国, 蒋菊芳. 沙漠边缘新垦酿造葡萄园土壤水分及作物耗水特性研究. *干旱地区农业研究*, 2006,24(4):58~61.



- [18] 姚玉璧, 李耀辉, 王毅荣, 等. 黄土高原气候与气候生产力对全球气候变化的响应. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 46 ~ 50.
- [19] 张谋草, 段金省, 邓振镛, 等. 气候变暖对黄土高原源区农作物生长和气候生产力的影响. 资源科学, 2006, (6): 46 ~ 50.
- [20] 王毅荣, 王润元, 邓振镛. 黄土高原气候生产力演变特征. 中国农业气象, 2006, 27(2): 66 ~ 70.
- [21] 王毅荣, 姚玉璧, 张秀云. 甘肃黄土高原作物生长期土壤干旱及气候生产力特征分析. 成都信息工程学院学报, 2004, 19(4): 558 ~ 563.
- [22] 李艳, 王式功, 尚可政, 等. 甘肃气候变暖对小麦的影响. 兰州大学学报(自然科学版), 2007, 43(专辑): 28 ~ 32.
- [23] 蒲金涌, 姚玉璧, 马鹏里, 等. 甘肃省冬小麦生长发育对暖冬现象的响应. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1237 ~ 1241.
- [24] 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. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 233 ~ 235.
- [25] 王宁珍, 邓振镛, 张谋草, 等. 陇东黄土高原气候变化对玉米叶面积生长的影响研究. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 189 ~ 194.
- [26] 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. 中国沙漠, 2007, 27(4): 627 ~ 632.
- [27] 刘明春, 张强, 邓振镛, 等. 河西干旱区酿酒葡萄生长的气候条件. 生态学报, 2007, 27(4): 1656 ~ 1663.
- [28] 刘明春, 张峰, 蒋菊芳, 等. 河西走廊沿沙漠地区酿酒葡萄生态气候特征分析. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 143 ~ 148.
- [29] 刘德祥, 赵红岩, 董安祥, 等. 气候变暖对甘肃夏秋季作物种植结构的影响. 冰川冻土, 2005, 27(6): 806 ~ 811.
- [30] 邓振镛, 张强, 韩永翔, 等. 甘肃省农业种植结构影响因素及调整原则探讨. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 126 ~ 129.
- [31] 邓振镛, 张强, 万信, 等. 甘肃省农业种植结构性调整的发展战略与优化方案. 地球科学进展, 2005, 20(特刊): 108 ~ 112.
- [32] 蒲金涌, 张存杰, 姚小英, 等. 干旱气候对陇东南主要农作物产量影响的评估. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 167 ~ 171.
- [33] 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. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 123 ~ 128.
- [34] 王宁珍, 邓振镛, 黄斌, 等. 气候变化对陇东黄土高原玉米干物重的影响. 地球科学进展, 2007, 22(特刊): 68 ~ 72.
- [35] 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. 作物学报, 2006, 32(9): 1397 ~ 1401.
- [36] 姚玉璧, 邓振镛, 王润元, 等. 气候暖干化对甘肃马铃薯生产的影响. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 16 ~ 20.
- [37] 姚玉璧, 邓振镛, 王润元, 等. 气候变化对甘肃胡麻生产的影响. 中国油料作物学报, 2006, 28(1): 49 ~ 54.
- [38] 刘明春, 吕世华. 河西走廊酿酒葡萄生态气候资源定量分析及评价. 中国沙漠, 2006, 26(6): 976 ~ 981.
- [39] 肖志强, 李宗明, 樊明, 等. 陇南山区小麦条锈病流行程度预测模型. 中国农业气象, 2007, 28(3): 350 ~ 353.
- [40] 姚玉璧, 王润元, 邓振镛, 等. 黄河首曲草原牧区气候变化及其对牲畜的影响. 中国农业大学学报, 2007, 12(1): 27 ~ 32.