

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

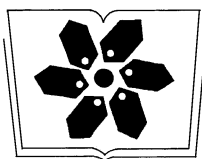
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 22 期
Vol.30 No.22
2010



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 30 卷 第 22 期

2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响·····	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响·····	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡·····	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征·····	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价 ·····	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性·····	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响 ·····	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析·····	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响 ·····	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响·····	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应·····	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例·····	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略·····	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征·····	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征·····	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响·····	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响·····	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响·····	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响·····	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征·····	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例·····	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例·····	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素 ·····	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征 ·····	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估·····	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比 ·····	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题·····	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展·····	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施·····	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建·····	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征 ·····	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2010-11

中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施

邓振镛^{1,*}, 王强², 张强², 倾继祖¹, 杨启国¹, 袁志鹏², 刘文婧², 徐金芳³

(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(开放)实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃省气象局, 甘肃 兰州 730020; 3. 甘肃省气象信息中心, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 东北、华北和西北 50a 来的平均气温增幅高于全国平均水平, 气候变暖明显, 尤其冬季增温最显著。区域增暖的极端最低气温远比极端最高气温的贡献大。东北、华北大部、西北东部降水量明显减少, 平均每 10a 减少 20—40mm, 尤其春夏季减少最明显。这种趋势一直延续到 20 世纪 90 年代以后, 干旱化趋势非常突出。在综述我国北方现代气候变化基本特征是暖干化的基础上, 重点阐述了喜凉作物冬小麦、春小麦、马铃薯和喜温作物水稻、玉米、谷子、糜子等 7 种主要粮食作物的生长发育、品种熟性、种植区域与面积、产量与品质等对气候暖干化的响应特征。揭示了气候暖干化使春播作物播期提早, 苗期生长发育速度加快, 营养生长期提前, 生殖生长期和全生育期延长; 秋作物发育期推迟, 生殖生长期和全生长期延长; 越冬作物播期推迟, 越冬死亡率降低, 种植风险减少, 春初提前返青, 生殖生长期提早, 全生育期缩短。使作物适宜种植区域向高纬度高海拔扩展; 品种熟性向偏中晚熟高产品种发展; 喜温作物和越冬作物以及冷凉气候区的作物种植面积迅速扩大; 在旱作区种植不较耐旱的玉米、春小麦等作物种植面积受到制约。对雨养农业区的作物气候产量影响严重, 尤其对不够耐旱的小麦和玉米的气候产量受影响最大; 对较耐旱的谷子、糜子、马铃薯等影响较轻。从作物属性而言, 对喜温作物水稻、玉米和越冬作物冬小麦有利于气候产量提高; 对喜凉作物春小麦和马铃薯的气候产量将产生不利影响。同时, 提出了从 5 个方面应对气候暖干化的技术措施, 调整作物种植结构, 确保粮食生产安全; 根据不同气候年型调整各种作物种植比例; 针对不同气候区域发展优势作物和配置作物种植格局; 采取不同栽培技术和管理模式应对气候变化; 采取综合配套技术提高抵御灾害能力。为粮食作物安全生产和种植结构调整与布局提供科学依据。

关键词: 中国北方; 气候暖干化; 粮食作物; 气候生态适应性; 应对措施; 影响

Impact of climate warming and drying on food crops in northern China and the countermeasures

DENG Zhenyong^{1,*}, WANG Qiang², ZHANG Qiang², QING Jizu¹, YANG Qiguo¹, YUAN Zhipeng², LIU Wenjing², XU Jinfang³

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

2 Gansu Meteorological Bureau, Lanzhou 730020, China

3 Gansu Province Meteorological Information Center, Lanzhou 730020, China

Abstract: Global warming and drying are the most prominent changes among all climate changes. It is reported that the range of rising temperature in northern China is above the average in the whole country and the climate warming in these areas are dramatic. The contribution of minimum temperature to region warming is greater than that of maximum temperature. The precipitation in the northeast, north and east part of northwest of China decreased significantly at a rate of 20 to 40 mm per ten years, especially in spring and summer. The drying and warming are prominent trends that lasted to the later 1990s. Global climate warming puts a constant pressure on crop growth and production. In northern China, climate warming is compounded with climate drying, resulting in a condition that dramatically affects crop growth. To delineate the

基金项目: 国家科技部公益行业科研专项 (GYHY200806021); 国家自然科学基金重点项目 (40830957); 中国气象局气候变化专项 (CCSF-09-14); 干旱气象科学研究基金项目 (IAM200811); 甘肃省科技支撑计划 (090NKCA118) 共同资助

收稿日期: 2010-06-23; 修订日期: 2010-09-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dengzhy23@sohu.com

impact and the response of crops to such changes, we analyzed the growth/development, planting region and area, cereal production and quality of seven major cereal crops that include both thermo-philic (rice, maize, millet and prosomillet) and cool-philic (winter wheat, spring wheat and potato) crops. The results showed that climate warming and drying caused early sowing of spring crops, accelerated seedling growth and development, early arrival of the vegetative growth phase, extended reproductive growth phase, and hence extended whole growth periods. To fall crops, climate warming and drying caused delayed growth and development, extended reproductive growth phase, and extended whole growth periods. To winter crops, it caused delayed sowing, reduced winter mortality, early greening, and shortened entire growth periods. As a consequence, this change led to an expansion of crop suitable growth regions towards north and high altitude, a gradual adaptation of high yield crops with mid- to late maturation, a quick increase in planting areas for thermo-philic crops and winter crops in low temperature areas, a restrained planting areas for drought sensitive crops such as maize and spring wheat in dry areas. It also indicated that climatic yields of crops were seriously affected by warming and drying in rain-dependent areas. The climatic yields of drought sensitive crops such as wheat and maize were influenced seriously by warming and drying, but the climatic yields of drought-tolerant crops such as millet, prosomillet and potato were influenced slightly. The trend of warming and drying appeared to be advantageous to climatic yield of rice, maize and winter and disadvantageous to spring wheat and potato. We provided the technical measures in dealing with the climate drying and warming in adjusting structure of planting to ensure grain production safety, adjusting the percentage of different type of annual climate accordingly, breeding for more suitable crop varieties and measuring optimum crop planting pattern, adopting different planting techniques and management model and different climatic condition,s and taking integrated technology to improve the ability to fend off disasters. Countermeasures in dealing with climate warming and drying were also provided and discussed in this context.

Key Words: Northern China; climate warming and drying; grain crops; climate adaptation; countermeasure strategy; influence

气候变暖已经成为全球变化的必然趋势。由他引发极端气候事件趋强趋多、农业生产不稳定性增加、水资源短缺、重大工程安全运行风险加大,在全球变暖的环境下,我国经济面临四大严峻挑战^[1]。我国北方气候暖干化明显,降水减少和温度升高是形成当前我国北方大部分地区显著干旱化的主要原因^[2]。

对于农业生产而言,由于强烈依赖于气候生态条件,其受气候变化的影响更加显著^[3-4],气候暖干化对粮食安全生产已构成了重大影响。为应对气候变化及其影响,应对极端气候事件趋强趋多,本文较系统地综述了这方面的研究成果,对农作物安全生产、结构调整、趋利避害、减轻不利影响,促进农业生产活动具有现实意义。

1 北方现代气候变化的基本特征

1.1 气温变化

研究表明,近 50a 来,东北、华北、西北东部和西部平均气温增幅分别为 1.55、1.44、0.98、0.91℃,均高于全国增幅水平的 0.87℃。东北和华北的增温幅度最大,其次是西北地区;区域增暖的极端最低气温远比极端最高气温的贡献大,相关系数比最高气温的大;20 世纪 90 年代初东北地区最高气温的天数有明显增多趋势,华北和西北地区基本上都在 90 年代中后期。我国北方白天温度极端偏高的日平均以每 10a 增多 0.8d 的趋势增加^[5-9]。

我国北方全年增温明显,尤其冬季增温最显著,从 1986—2006 年,已连续出现了 21 个暖冬, $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温都增加了 100—200℃, $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 负积温减少 150℃左右^[10-11]。

1.2 降水变化

近 50a 来,东北、华北大部、西北东部降水量呈明显减少趋势,约减少 20—40 mm,其中华北地区最为明

显。这些地区干旱面积迅速扩大^[6]。

当全球平均温度上升 1℃ 时,东北 25 个站的春季、夏季和秋季大气干旱指数分别上升 0.08—0.40、0.00—0.40 和 0.15—0.55,上升幅度分别达到 4%—16%、0—17% 和 7%—22%^[12-13]。

华北降水在 1965 年前后发生一次气候跃变,1965 年以后华北地区降水量明显减少,20 世纪 80 年代比 50 年代降水约减少 20% 左右,平均年降水量比 50 年代约减少了 1/3 左右,出现了干旱化趋势,这种趋势一直延续到 90 年代^[13-14]。

1986 年是西北气候变化明显转折的年份,西北年降水量 1987—2003 年与 1961—1986 年相比,西部呈略增多趋势,东部呈明显减少趋势,增多区与减少区的分界线(差值的 0mm 等值线)与黄河走向基本平行。年降水量增多区包括新疆、青海北部和甘肃河西的中东部。年降水量减少区包括青海南部、甘肃的河东、宁夏和陕西。其中青海南部减少 5—38mm;甘肃的河东、宁夏和陕西分别减少 10—82mm、10—50mm 和 50—177mm,其中陕南减少 70—177mm,是降水量减少最多的地方^[11,15-16]。

2 对喜凉作物的影响

2.1 冬小麦

(1)对生长发育和越冬期生长的影响 秋冬变暖,北方冬小麦播种期普遍推迟 4—8d,越冬期推迟,生长期提前 4—7d,全生育期缩短 4—9d^[17-19]。西北冬小麦越冬死亡率与 $\leq 0^\circ\text{C}$ 负积温呈显著负相关, $\leq 0^\circ\text{C}$ 负积温逐渐减少,冬小麦越冬死亡率大大降低,种植风险减少,产量大幅提高。甘肃陇东冬小麦越冬死亡率每 10a 降低 2.4%,从 1994 年以后基本上没有发生越冬死亡^[20-23]。华北秋冬气候变暖,冬小麦冬前旺长年份增多,程度加重,越冬期生长量过大,使幼穗分化进程处在不利的气候生态环境,最终影响产量^[24]。

(2)对种植区域和面积的影响 气候变暖,东北冬小麦可种植区域由 40°N 左右向北推移至 42.5°N ,到辽宁的中北部^[25]。西北东部冬小麦种植适宜区域向北扩展 50—120km;甘肃冬小麦西伸明显,从 1900m 提高到 2100m,种植面积扩大 20%—30%^[21-22];宁夏冬小麦海拔高度上升 600—800m,种植面积迅速扩大^[26];从 1985 年开始,陕西冬小麦种植界限呈向北移趋势,现在全省基本均能种冬小麦^[27]。

(3)对产量的影响 甘肃旱作区冬小麦气候产量与土壤贮水量的相关系数达到显著性水平。20 世纪 90 年代土壤贮水量明显下降,90 年代比 80 年代气候产量下降了 125.7%^[28-30]。河北冬小麦大多有灌溉条件,气候产量主要受气温的影响。气候变暖,气候产量呈下降趋势,平均每 10a 减少 52.7 kg/hm^2 ,气温造成每年小麦气候产量波动幅度达到 $\pm 300\text{ kg/hm}^2$ ^[31]。

2.2 春小麦

(1)对生长发育的影响 由于春季回暖早,西北东部春小麦播种期提早 5—10d。生长期提前 3—5d,全生育期缩短 1—2d,籽粒形成期缩短较明显约 3d^[32-35]。内蒙古灌区春小麦播种期和出苗期略有提前,全生育期缩短 3—5d,尤其灌浆期和成熟期最多可提前 9d 左右;旱作区春小麦因干旱使播种期明显推后近 17d,成熟期提前,致使全生期缩短 24d^[36]。经研究,春小麦生育速度对气候变暖响应较其它作物最不敏感。旱作区春小麦生长期与温度呈负相关,但与降水量呈极显著正相关,降水量每减少 10mm,生长期缩短约 0.8d,降水是主要影响因素,苗期和籽粒形成期的发育速度主要受温度影响最大,而营养生长期则主要受水分的影响^[32-34]。

(2)对种植区域和面积的影响 气候变暖变干,西北春小麦适宜区域和面积减少。宁夏适宜种植区主要在引黄灌区银川以南等地,占全区总面积的 24.95%;次适宜种植区主要分布在引黄灌区银川以北地区,占全区总面积的 23.23%;宁夏北部非灌溉区域及中部干旱带为不适宜种植区,占全区总面积的 51.82%,该区域面积进一步扩大^[35]。气候变暖使甘肃省春小麦适宜种植区高度提高 100—200m,种植上限高度达 2800m,但气候暖干化,全省春小麦种植面积减少 20%—30%,尤其中部旱作区减少较多^[32-34]。内蒙古的喜温作物种植面积逐渐扩大,降水量减少使春小麦产量下降,种植面积近 5a 平均(2002—2006 年)与 80 年代相比减少了近二分之一^[36]。

(3)对产量的影响 甘肃河西灌区春小麦产量与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温呈显著正相关,变暖后的1991—2000年气候产量比变暖前的1986—1990年增加10%—79%^[37]。旱作区春小麦产量与土壤贮水量正相关密切,对产量贡献具有重要作用;但拔节抽穗期增温对产量有极显著的负影响。因此,气候暖干化使气候产量下降明显,为 $5.5\text{g}/\text{m}^2$ ^[38]。宁夏引黄灌区气温突变前1961—1988年和突变后1989—2004年气温影响系数分别为0.0269和0.0081,相应两个时段的气候产量分别为 $84.8\text{kg}/\text{hm}^2$ 和 $39.8\text{kg}/\text{hm}^2$,气候变暖对春小麦单产的贡献率为-2.6%,气候变暖使春小麦气候产量下降^[35]。

2.3 马铃薯

(1)对生长发育和面积的影响 冬季降雪减少春季干旱,内蒙古马铃薯主要产区播种期并未因春季增温而提前,相反比80年代推迟12d左右,出苗期推迟10d左右。秋季因增温较多,可收期普遍推迟8d左右,整个生育期缩短3—5d。马铃薯是一种比较耐旱作物,气候变干对马铃薯生产尚未构成威胁。内蒙古90年代以来,种植面积逐年扩大,近5a平均(2002—2006年)与80年代相比种植面积扩大了1.3倍^[36]。春季气候变暖,使甘肃马铃薯播种期提前5—10d,生长季延长半月^[39]。马铃薯适宜种植区高度提高100—200m,种植高度上限可达海拔3000m左右,从80年代初 $24.58\text{万}\text{hm}^2$,至今已经翻番。尤其陇中半干旱半湿润区面积迅速扩大^[40]。宁夏中部旱作区的南部和固原中南部以及彭阳大部属马铃薯适宜区和较适宜区,种植面积不断扩大^[41]。

(2)对产量的影响 对甘肃旱作区马铃薯产量气候变化敏感程度分析看出,马铃薯产量年际波动有随温度愈高的地域波动愈大的趋势。产量年际变幅小,对气候变化的适应性较好;产量年际变幅大,对气候变化敏感。马铃薯气候产量与块茎膨大期气温呈显著负相关,温度愈高,减产幅度愈大。当降水量变化在适宜范围内,平均温度升高 1°C ,产量下降0.011%—0.12%,有温度愈高的地域气候产量下降愈大的趋势。现蕾至开花是马铃薯的营养和生殖生长关键期,这时期降水量与气候产量呈显著性正相关,对产量影响至关重要。当温度变化在适宜范围内,产量随降水量增加而增加,当降水量增加10%时,产量增加0.22%—0.28%。块茎膨大后期水分与产量达显著负相关,水分过多反而引起湿腐病,造成块茎腐烂而减产。90年代气候暖干化,使旱作区马铃薯气候产量呈下降趋势;河西灌区,降水量对产量影响很小。气候变暖,夏季气温偏高对气候产量非常不利。因此西北冷凉半干旱半湿润气候区是马铃薯种植优势地带^[30,39-40]。

3 对喜温作物的影响

3.1 水稻

(1)对生长发育和品种熟性的影响 气候变暖,黑龙江水稻营养生长期普遍提早5—10d,最长10—25d;生殖生长阶段推迟3—7d。水稻种植界限北移,种植区域发生较大变化,为种植产量较高的中、晚熟品种提供了有利条件。据研究,生长期较长的175d越光品种在辽宁北部和吉林南部、辽宁南部的普兰店、庄河、东港等地均可种植^[25,42]。宁夏灌区水稻育秧插秧期提早,为栽培晚熟品种争取了时间,为高产品种的引进创造了条件。插秧稻已由70年代的中晚熟品种置换成以晚熟品种为主。旱直播稻也逐渐增多^[43]。

(2)对种植区域和面积的影响 气候变暖,水稻种植区域和面积进一步扩大。宁夏灌区各地均可种植水稻。卫宁平原西部由于紧临沙漠,昼夜温差大,水稻幼穗分化期受低温冷害危害机率较大,属次适宜种植区,占灌区总面积23.5%,其它地区均为水稻适宜种植区,产量高、品质优^[43]。以 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 持续日数作为水稻生育期指标,则陕南 32°N — 38°N 是水稻适宜种植区域。陕西 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 的持续日数平均增加4d左右,尤其陕南增加天数较多,对水稻生长发育有利^[20]。内蒙古水稻种植面积逐渐扩大,近5a平均(2002—2006年)与80年代相比扩大了2.6倍左右^[36]。

(3)对产量的影响 黑龙江水稻产量丰歉与气温呈极显著正相关关系,在一定范围内,气温愈高产量愈高。90年代水稻单产较80年代增产42.7%,气候变暖的贡献率为23.2%—28.8%,相当于在80年代的单产水平上增加9.9%—12.3%^[44-45]。黑龙江水稻生长季降水量与产量丰歉呈负相关,尤其东部呈显著负相关,气候变干,降水量减少,对水稻增产有利^[25,45]。宁夏引黄灌区水稻生长期气候明显变暖,5—9月份日平均气

温突变发生在 1993 年,突变后气温比突变前升高 0.8°C ,气温与气候产量正相关密切,贡献率为 2.51% ,气候变暖水稻气候产量有明显提高趋势^[43]。

3.2 玉米

(1)对生长发育的影响 经统计,播种前温度上升 1°C ,灌区玉米播种时间提前 2.1d 。春暖使西北灌区玉米适播期提早 $5\text{—}10\text{d}$,对营养生长期速度改变不大,但生殖生长期延长,乳熟期最长达 6d ,全生育期延长 6d 左右。旱作区玉米生育期受热量和降水共同作用,播期提早 $1\text{—}2\text{d}$,营养生长期提早 $4\text{—}5\text{d}$,生殖生长期提早 $6\text{—}7\text{d}$,愈往后期生长速率加快,全生育期缩短 6d 左右^[18,21,46]。内蒙古玉米播种期提前 $4\text{—}13\text{d}$,出苗期提前 $2\text{—}9\text{d}$,成熟期推迟 $3\text{—}9\text{d}$,全生育期延长 $10\text{—}22\text{d}$ ^[36]。气候变干,河南 $6\text{—}9$ 月总降水量每 10a 减少 33mm , $6\text{—}9$ 月总降水量与玉米乳熟、成熟期呈显著负相关,干旱使生长减缓,发育期推迟,尤其生殖生长期延长趋势明显,每 10a 延长 $1\text{—}2\text{d}$,全生育期每 10a 延长 2.1d ^[47]。

(2)对种植区域、面积与品种的影响 气候变暖,玉米适宜种植区向北扩展,向海拔增高,向偏中晚熟高产品种发展。甘肃玉米适宜种植区高度提升 150m 左右,种植上限高度达 1900m ,最适高度为 $1200\text{—}1400\text{m}$ 。河西灌区玉米面积迅速扩大,达 2.5 倍,旱作区玉米面积扩大 50% 至 1 倍^[18,21]。陕西玉米全生育期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加 110°C ,生育期平均减少 4d 。延安、关中西部、商洛西部种植面积明显扩大^[20]。宁夏玉米播种期提早,生长季延长,南部山区在 80 年代玉米难以正常成熟,种植面积很少,随着气候变暖和地膜覆盖,全生育期热量已基本满足需求,种植面积进一步扩大;引黄灌区及彭阳东南部玉米高产区域明显扩大^[48]。东北不同熟性玉米品种可种植北界明显北移东延,早熟种逐渐被中、晚熟种取代,面积不断扩大。晚熟种北界从 60 年代的吉林省镇赉县($122^{\circ}47'\text{N}$, $45^{\circ}28'\text{E}$),扩展到 21 世纪初黑龙江的甘南县($123^{\circ}29'\text{N}$, $47^{\circ}54'\text{E}$);中熟种北界从 60 年代的黑龙江嘉荫县($130^{\circ}00'\text{N}$, $48^{\circ}56'\text{E}$)向北延伸到呼玛县($126^{\circ}36'\text{N}$, $51^{\circ}43'\text{E}$)^[49]。华北夏玉米灌浆期增加 5d 左右,生长期延长,品种由原来的早熟种改为以中早熟和中熟种为主^[50]。1995 年前内蒙古阴山北部丘陵区基本无玉米种植,现在种植北界扩展了 $100\text{—}150\text{km}$,近 5a 平均(2002—2006 年)与 80 年代相比面积扩大了 1.9 倍左右^[36]。

(3)对产量的影响 甘肃河西灌区玉米气候产量主要受 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温影响,两者相关显著水平超过 0.01 ,气象因素对产量的贡献率达 $52\%\text{—}60\%$,超过社会因素对产量的贡献率。1992—2005 年气候突变后的气候产量比 1981—1991 年突变前增加了 $124\%\text{—}301\%$ ^[51]。旱作区玉米气候产量与全生育期和拔节至乳熟期土壤贮水量正相关显著水平达到 0.001 。气候变干,土壤贮水量减少,玉米气候产量下降^[52-53]。宁夏灌区玉米产量与各生育期平均最高气温密切正相关,该区 1994—2004 年平均最高气温与 1981—1993 年相比,各发育期升高 $0.5\text{—}0.6^{\circ}\text{C}$,气温升高对玉米增产起正效应。1981—1993 年和 1994—2004 年的气温影响系数分别为 0.0329 和 0.0382 ,两个相应时段的气候产量分别为 141.02 kg/hm^2 和 260.94 kg/hm^2 ,气候变暖对玉米单产的贡献率为 4.47% ^[48]。

3.3 谷子

(1)对生长发育和面积的影响 春暖使西北谷子适播期提前一星期,适生高度提高 150m 左右。种植上限达 2100 ,最适高度 $< 1500\text{m}$ 。在半干旱和半湿润旱作区种植面积扩大 $10\%\text{—}20\%$ ^[54]。

(2)对产量的影响 甘肃谷子产量与气象因素相关性非常显著,旱作区谷子产量随着关键期内气温增高、降水增多而提高;河西灌区谷子产量与灌浆期平均气温相关达极显著水平,产量随气温增高而提高。气候变暖干化对谷子产量影响非常突出,谷子产量年际气象波动指数占实际产量变异系数的 $54\%\text{—}73\%$,变暖突变前气象波动指数占当地同期实际产量变异系数的 $43\%\text{—}78\%$;变暖突变后气象波动指数占当地同期 $68\%\text{—}89\%$,变暖后较变暖前所占百分比明显增大。变暖后较变暖前谷子气候产量增加 $30.6\text{—}121.1\text{ kg/hm}^2$ 。旱作区变暖的正效应大于变干的负效应。谷子气候产量丰产年型在增暖以后出现的频率为 $77.8\%\text{—}100\%$ 。谷子是比较耐旱的作物,气候变暖干化对旱作地谷子的生产比其它作物影响来得少^[30,53-55]。

3.4 糜子

(1)对生长发育和面积的影响 气候变暖,西北糜子适播期提早,生育期延长,适生高度提高 150m 左右,

种植上限达 2200, 最适高度 <1600m。在半干旱和半湿润旱作区种植面积扩大 10%—20%^[56]。气候变暖, 各地 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增加 100—200 $^{\circ}\text{C}$, 复种糜子适生高度达海拔 1700m, 复种指数增加, 适生区域扩展, 种植面积扩大, 产量提高^[57]。

(2) 对产量的影响 糜子是喜温作物, 随着生育进程推进, 气温对气候产量的正效应愈来愈明显, 抽穗至开花期达到最大。甘肃半干旱旱作区为 10.5 kg/($\text{hm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$); 半湿润旱作区为 5.6—8.0 kg/($\text{hm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$); 河西灌区为 9.0 kg/($\text{hm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)。有热量条件愈好影响愈小的趋势。气候变暖对提高糜子气候产量极有利。糜子拔节以后, 降水量对糜子气候产量为正效应, 到抽穗期达到最大, 为 3.0—8.0 kg/($\text{hm}^2 \cdot \text{mm}$)。半干旱旱作区影响最大, 其次是半湿润旱作区, 灌溉区影响最小, 有随干旱程度愈大影响增大的趋势^[57]。气候暖干化, 对较耐旱的糜子气候产量影响并不大^[30]。

4 应对措施

4.1 调整作物种植结构, 确保粮食生产安全

我国气象专家预测, 21 世纪我国气候将明显继续变暖, 与 1961—1990 年的 30a 平均气温相比, 到 2020 年我国平均气温将可能变暖 1.3—2.1 $^{\circ}\text{C}$, 尤以北方最为明显, 2020 年最大增温区域在华北、西北和东北的北部, 增温幅度为 0.6—2.1 $^{\circ}\text{C}$; 我国北方降水量可能增多, 相应降水日数也有显著增加, 其中以新疆和内蒙古中部增加最为集中^[58]。

气候变暖, 对越冬作物冬小麦和喜温作物生长发育和产量比较有利, 可以北移西扩, 向高纬度高海拔扩展, 适当扩大种植面积; 对喜凉作物春小麦适当减少面积。作物种植结构调整应趋向农业净收益最大化, 玉米、水稻、棉花、特色农作物的净收益明显大于小麦, 这直接导致这些作物种植面积比例提高, 实现区域农业经济快速发展。气候变化对粮食安全生产具有潜在威胁, 在考虑净收益最大化的同时, 在决策层面上, 应根据国家和区域(或省)对粮食需求, 确保必需的粮食种植面积, 实行不同作物差别农业补贴政策, 提高粮食作物补贴标准, 实现农业经济和粮食安全协调发展^[45, 59]。

4.2 根据不同气候年型调整作物种植比例

虽然未来气候将呈持续变暖趋势, 但在增暖的大背景下必然会出现低温年份。不同气候年型对不同属性的作物产量和品质影响较大, 应根据不同气候年型适当调整作物种植结构和种植比例。在低温气候年型应适当降低冬小麦和喜温作物种植比例, 但喜凉作物可根据降温幅度和降温时段来调整不同适宜种植区域的不同作物的种植比例; 增暖气候年型正好相反。在干旱气候年型应适当控制喜水的水稻、玉米等作物种植比例; 适当扩大谷子、糜子、马铃薯等耐旱作物种植。这样, 有针对性地可以减少不利气候年型对作物的影响, 确保各种作物平衡发展、高产稳产。

4.3 针对不同气候区域发展优势作物和配置作物种植格局

在分析气候变化对粮食作物影响以及气象条件与作物生长发育和产量之间关系的基础上, 提出不同气候区域适宜发展的作物。谷子和糜子适宜在温和半干旱半湿润气候区旱作地发展; 玉米适宜在温暖半湿润或湿润气候区旱作地和温暖干旱或半干旱气候区灌溉地发展; 水稻是温暖或温热半湿润气候区和温和半干旱气候区灌溉地的优势作物; 马铃薯是冷凉半干旱半湿润气候区旱作地的优势作物; 冬小麦是温和半湿润或湿润气候区旱作地的优势作物; 春小麦是温凉半湿润或湿润气候区旱作地和温凉干旱或半干旱气候区灌溉地的优势作物。

由于气候变化引起各地作物种植格局发生了较大变化。如西北地区干旱灌溉区作物种植格局从以春小麦为主转变为以玉米和棉花为主, 其次是春小麦; 半干旱旱作区以春小麦为主转变为以冬小麦、春小麦、马铃薯为主, 其次是玉米, 搭配谷子和糜子种植; 半湿润旱作区作物种植比例由冬小麦占 6 成和玉米占 4 成转变为冬小麦、玉米、马铃薯各占 3 成, 搭配谷子和糜子种植。

4.4 采取不同栽培技术和管理模式应对气候变化

气象和农业部门应加强作物适宜播种期预测预报服务。气候变暖, 春季气温回升较快, 春播作物应适时

提前播种,充分利用早春热量资源,弥补生育后期热量不足,躲避早晚霜冻、盛夏高温影响和生殖生长后期的低温危害。秋冬偏暖,越冬作物应适时推迟播种,防止冬前生长过旺。作物生长季积温提高,生长季延长,有利于种植熟性偏中晚的高产品种;增大复种指数^[60]。

气候变干,半干旱和半湿润旱作区作物生长季降水量对产量至关重要,应引进、培育抗逆性、抗热性、耐旱性较强的新品种、杂交种植,同时品种要多样化^[59]。遇到干旱年份,有条件可进行集雨补灌和适时节水灌;干旱和半干旱灌溉区应适时灌溉,避免缺水作物受旱而减产;湿润区和高寒阴湿区应防止生殖生长后期水分过多,热量不足而造成减产。

4.5 采取综合配套技术提高抵御灾害能力

受气候变暖影响,我国日最高和日最低气温都将上升,冬季极冷期可能缩短,夏季炎热期可能延长,高温热害、干旱等愈发频繁^[58]。因此,要重视和加强气象灾害的监测、预测和评估;建立气象灾害监测预警基地,研究防御对策;建立具有较好的物理基础、较强的监测和预测能力、有效的服务功能的气象灾害综合业务服务体系,为决策部门和社会用户提供优质服务。

加强农业基础设施建设,提高抗御气象灾害能力。加强农作物气候生态研究,准确掌握各种农作物对气候变化响应特征和对气象条件的需求,加强气候变化及气象灾害变化趋势研究,提前预知未来气候变化趋势及其可能对农业生产带来的影响,为从容应气候变化提供有利条件。改善农村环境来减缓或适应气候变化,发展农业循环经济,提高农业生产技术水平;科学合理施用化肥、农药,促进农业可持续发展;实施农田保护性耕作措施;大力推广节水灌溉模式,科学决策水资源分配和合理利用^[61]。

北方旱作农作物种植面积占 70% 以上,农业干旱造成的损失非常严重,因此要创建干旱区现代农业发展模式,建立一整套旱作农业生产机制来适应气候变化。对低海拔地区和平川区,应加强防范高温对马铃薯薯块膨大期的危害。通过调整播种期和适时灌溉等措施,减轻干热风对小麦开花灌浆期的危害。对高纬度和高海拔地区应加强防范喜温作物水稻、玉米生殖后期的低温冷害^[62]。加强越冬作物病虫害和稻田新发生的细菌褐斑、胡麻斑病和二化螟等病虫害的防治^[25]。

5 结论与讨论

(1)气候暖干化是我国北方现代气候变化的基本特征。东北、华北和西北 50a 来的平均气温增幅高于全国平均水平,气候变暖明显,尤其冬季增温最显著。区域增暖的极端最低气温远比极端最高气温的贡献大。东北、华北大部、西北东部降水量明显减少,平均每 10a 减少 20—40mm,尤其春夏季减少最明显。这种趋势一直延续到 90 年代以后,干旱化趋势非常突出。

(2)气候暖干化使作物生长发育速度发生明显的变化。春播作物提早播种,苗期生长发育速度加快,营养生长期提前,生殖生长期和全生育期延长。秋作物发育期推迟,尤其生殖生长期和全生长期延长。越冬作物推迟播种,冬前生长发育速度推迟;越冬死亡率降低,种植风险减少;春初提前返青,生殖生长期提早,全生育期缩短。

(3)气候暖干化使作物适生区域和种植面积发生重大改变。喜温作物(玉米、谷子、糜子)越冬作物(冬小麦)和喜凉作物(春小麦、马铃薯)种植高度分别提高 100—150m、150—200m 和 100—200m。水稻、玉米、冬小麦向更高纬度扩展。品种熟性向偏中晚熟高产品种发展。以受热量条件影响较大的喜温作物和越冬作物以及高原地区的冷凉气候区的作物种植面积迅速扩大;在旱作区,对不耐旱的玉米、春小麦等作物种植面积受到制约。

(4)气候暖干化对作物气候产量产生重大影响。从种植方式而言,对旱作区作物气候产量影响最严重,其次是半旱作半灌溉区,对灌溉区作物影响较少。从作物属性而言,对喜温作物水稻、玉米和越冬作物冬小麦有利于气候产量提高;对喜凉作物春小麦和马铃薯气候产量产生不利影响。从作物耐旱能力而言,对较耐旱作物谷子、糜子、马铃薯等影响较轻;但对不耐旱作物玉米、小麦等受到较大影响。

(5)采取切合实际的适应政策与适应行动应对气候暖干化。从 5 个方面考虑应对,调整作物种植结构,

确保粮食生产安全;根据不同气候年型调整各种作物种植比例;针对不同气候区域发展优势作物和配置作物种植格局;采取不同栽培技术和管理模式应对气候变化;采取综合配套技术提高抵御灾害能力。

(6)气候变化对作物的影响研究时间并不长,影响的复杂程度也非常多,尤其对作物影响机理有待探明;应对气候暖干化的技术和措施有待加强和应用;未来气候变化的预测水平和准确率有待提高。

References:

- [1] Qin D H. Climate warming China economy faced with serious challenge. China Meteorological News, 2007-03-18(1).
- [2] Fu C B. Unscrambling the regional drying under the condition of global warming. China Meteorological News, 2009.3.27(1).
- [3] Lin E D, Yang X. Impact assessment and adaptation strategy of climatic change on agriculture // Chen B Z, Qin D H, eds. Climatic Change and Ecological Environment Symposium Corpus. Beijing: Meteorological Press, 2003:72-77.
- [4] Wang F T, Zhao Z C, Wang S L. Effects of Climatic Change on Agricultural Ecology. Beijing: Meteorological Press, 2003:96-126.
- [5] Ma Z G, Fu C B, Ren X B. Trend of annual extreme temperature and its relationship to regional warming in Northern China. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(S): 12-20.
- [6] Zhai P M, Pan X H. Change in extreme temperature and precipitation over Northern China during the second half of the 20th century. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(S): 2-10.
- [7] Wang P X, Yang J H. The impacts of region climate warming to the event of extreme high temperature in recent 45 years in Northwest China. Journal of Desert Research, 2007, 27(4): 649-655.
- [8] Lin X, Qian W H. Trends on the daily mean air temperature and its anomalous strength in China for the warm season in the last 40 years. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(S): 22-30.
- [9] Deng Z Y, Zhang Q, Xu J F. Comparative Studies on the Harm Characteristics of Hot-dry Wind and High Temperature Heat Waves. Advances in Earth Science, 2009, 24(8): 865-873.
- [10] Tu Q P, Deng Z W, Zhou X L. Studies on the regional characteristics of air temperature abnormal in China. Acta Meteorologica Sinica, 2000, 58(3): 289-296.
- [11] Liu D X, Dong A X, Lu D R. The climate change in recent 43 years and its impact to agriculture in Northwest China. Agriculture Research in Arid Area, 2005, 23(2): 195-201.
- [12] Xie A, Song Y G, Bai R H. Arid climate trend over Northeastern China and its response to global warming. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(S): 75-82.
- [13] Yan Z W, Ji J J, Ye D Z. The climatic change over north hemisphere in 1960s. I. Variation of temperature and precipitation. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(S): 75-81.
- [14] Huang G. The phenomenon of global climate change associated with droughts in North China. Research of Climate and Environment, 2006, 11(3): 270-279.
- [15] Deng Z Y, Zhang Q, Li D L. Influence of climate change on runoff and sediment discharge in upper area of Weihe River. Journal of Desert Research, 2006, 26(6): 982-985.
- [16] Deng Z Y, Wang H L, Wang R Y. Effect of climate warming on structure of agriculture-forestry-stockbreeding and countermeasures in Qilian Mountain. Journal of Desert Research, 2008, 28(2): 381-387.
- [17] Li T X, Zhao G Q, Li Y. Climate change and its impacts on duration of winter wheat overwintering stage in Henan Province. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(2): 143-146.
- [18] Deng Z Y, Zhang Q, Liu D X. Effects of climate warming on cropping structure and crop growth in Gansu Province. Journal of Desert Research, 2007, 27(4): 627-632.
- [19] Zhang Q, Deng Z Y, Zhao Y D. The influence of globe climate changing to agriculture over Northwest China. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 1210-1218.
- [20] Qu Z J. The impact of climate changing to the heat resource during the crop growth period in Shanxi province. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(1): 75-79.
- [21] Deng Z Y, Zhang Q, Pu J Y. The impact of climate warming on crop planting and production in northwestern China. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3760-3768.
- [22] Deng Z Y, Zhang Q, Xu J F. Progresses of study on impact of global climate warming on crops in Gansu Province. Advances in Earth Science, 2008, 23(10): 1070-1078.
- [23] Pu J Y, Yao Y B, Ma P L. Responses of winter wheat growth to winter warming in Gansu Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18

- (6):1237-1241.
- [24] Tan F Y, Wang J L, Song Y B. Analysis of changing characteristics of agricultural climate resources over last 45 Years in North China Plain. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30(1): 19-24.
- [25] Xie L Y. Under climatic change Northeast agriculture "happy" and "superior". *China Meteorological News*, 2009, 7.2(3).
- [26] Zhang Z, Lin L, Liang P. Climate change and its impacts on agricultural production in Ningxia. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2008, 29(4): 402-405.
- [27] Zeng Y, Huang Z Y, Zhang H J. Impact of climate change on planting area of winter wheat in Shanxi Province. *Bulletin of Soil and Water Conversation*, 2007, 27(5): 137-140.
- [28] Ma P L, Yang X G, Chen D S. Responses of crop water requirements to climatic changes. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(2): 348-353.
- [29] Wang H L, Gan Y T, Wang R Y. Phenological trends in winter wheat and spring cotton in response to climate changes in northwest China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(8-9): 1242-1251.
- [30] Deng Z Y. Study of Ecological Adaptability of Crops Planting in Plateau with Arid Climate. Beijing: Meteorology Press, 2005: 25-38.
- [31] Hao L S, Ming J Z, Zhang W Z. Impact of climate warming on yield of winter wheat in Hebei Province. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30(2): 204-207.
- [32] Zhang J, Zhang Q, Zhao J H. The response of three crop drought indices to spring wheat water stress over semi-arid region in northwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4): 1646-1654.
- [33] Wang R Y, Zhang Q, Yang X G. Response of growth stages of crop to climate warming in Hexi Corridor. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(suppl.): 1-5.
- [34] Zhao H, Xiao G J, Wang R Y. Impact of climate change on spring wheat growth in Semi-Arid Rain Feed Region. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(3): 322-327.
- [35] Su Z S, Chen X G, Huang F. Influence of climate changing on wheat growth and its variation characteristics of yield in mountainous area of Ningxia. *Agriculture Research in Arid Area*, 2007, 25(2): 218-226.
- [36] Hou Q, Guo R Q, Yang L T. Climate change and its impact on main crops in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30(4): 560-564.
- [37] Zhao H, Wang R Y, Wang H L. Regional diversity in response of spring wheat growth on climate change in arid or semi-arid areas. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(6): 636-641.
- [38] Liu D X, Guo J Q, Dong A X. Impact of climate warming on yield of summer and autumn crops in Gansu Province. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2006, 24(4): 123-128.
- [39] Yao Y B, Deng Z Y, Wang R Y. The influence of climate changes on potato growth in Gansu Province. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2006, 24(3): 16-20.
- [40] Yao Y B, Dong A X, Wang R Y. Affect the frangibility of potato growing of semi-arid region over the Northwest China under climate change. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(special number): 48-54.
- [41] Li J P, Yang K, Cao N. Simulation of changes of potato yields under different climate change scenarios in Ningxia. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30(3): 407-412.
- [42] Nan R, Gao Y G, Han J J. Identification of Thermal Indexes and Region Division of the Main Cultivated Rice Varieties in Heilongjiang Province. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2007, 28(4): 436-439.
- [43] Sang J R, Liu Y L, Qiu W. Impact of climate warming on rice yield in irrigation area of Ningxia. *Journal of Desert Research*, 2006, 26(6): 935-958.
- [44] Wang P, Li T Q, Yan P. Impacts of climate change over Last 35 Years on rice growing period and yield in Heilongjiang Province. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2008, 29(3): 268-271.
- [45] Xie L Y, Guo M S, Cao M J. Strategies and countermeasures to climate change for agriculture in Northeast China. *Advances in Climate Change Research*, 2009, 5(3): 174-178.
- [46] Wang R Y, Zhang Q, Wang Y L. Response of corn to climate warming in arid areas in Northwest China. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(12): 1387-1392.
- [47] Yu W D, Zhao G Q, Chen H L. Impacts of climate change on growing stages of main crops in Henan Province. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2007, 28(1): 9-12.
- [48] Liu Y L, Zhang X Y, Liu J. Impact of climate warming on maize production in irrigation area of Ningxia. *Journal of Maize Sciences*, 2008, 16(2): 147-149.

- [49] Zhao J F, Yang X G, Liu Z J. Influence of climate warming on serious low temperature and cold damage and cultivation pattern of spring maize in Northeast China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (12): 6544-6551.
- [50] Liu S M, Gao H, Li Z F. Impacts of climate warming on crops planting structure in Tianjin. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30 (suppl 1): 42-46.
- [51] Cao L, Deng Z Y, Dou Y X. Influence of climatic change to oasis corn output in Shiyang River Basin of Hexi Corridor and countermeasure research. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28 (5), 1043-1048.
- [52] Deng Z Y, Chou H M, Li H D. Development of Climate and Agriculture in East Gansu. Beijing: Meteorological Press, 2000: 56-112.
- [53] Deng Z Y, Lin R N. Development of Climate and Agriculture in Hexi Corridor. Beijing: Meteorological Press, 1993: 117-201.
- [54] Ma X X, Deng Z Y, Wei Y G. Demark and analysis of eco-climate of millet in Gansu. *Arid Meteorology*, 2004, 22 (3): 59-62.
- [55] Li X Z, Lu J, Wang K X. Review on climate condition on millet production in Datong. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2009, 30 (suppl 2): 227-229.
- [56] Yao X Y, Deng Z Y, Pu J Y. Demark and analysis of eco-climate of prosomillet in Gansu. *Arid Meteorology*, 2004, 22 (2): 52-56.
- [57] Pu J Y, Yao X Y, Xin C Y. A study on eco-climate suitability of millet (*Panicum miliaceum*) in Gansu. *Agriculture Research in Arid Area*, 2010, 28 (1): 223-226.
- [58] Xu Y. The research development of new scientific facts of global climate change. *China Meteorological News*, 2007. 2. 8 (3).
- [59] Wang R Y. Climate change formed potential menace on grain safety. *China Meteorological News*, 2010. 1. 26 (3).
- [60] Lin E D. Climate warming influence on grain production in different regions in China. *China Meteorological News*, 2009. 6. 8 (3).
- [61] Zhu J F, Tang Y H. The measurement of crop production to climate change. *China Meteorological News*, 2008. 7. 7 (3).
- [62] Xu J F, Deng Z Y. Technology of protecting drought and reducing disaster in semiarid and subhumid region north China. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37 (29): 14229-14231.

参考文献:

- [1] 秦大河. 气候变暖中国经济面临严峻挑战. *中国气象报*, 2007-03-18 (1).
- [2] 符淙斌. 解读全球变暖背景下的区域干旱化. *中国气象报*, 2009. 3. 27 (1).
- [3] 林而达, 杨修. 气候变化对农业的影响评价及适应对策 // 陈邦柱, 秦大河. 气候变化与生态环境研讨论文集. 北京: 气象出版社, 2004: 72-77.
- [4] 王馥棠, 赵宗慈, 王石立. 气候变化对农业生态的影响. 北京: 气象出版社, 2003: 96-126.
- [5] 马柱国, 符淙斌, 任小波. 中国北方年极端温度的变化趋势与区域增暖的联系. *地理学报*, 2003, 58 (增刊): 12-20.
- [6] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化. *地理学报*, 2003, 58 (增刊): 2-10.
- [7] 王鹏祥, 杨金虎. 中国西北近 45a 来极端高温事件及其对区域性增暖的响应. *中国沙漠*, 2007, 27 (4): 649-655.
- [8] 林祥, 钱维宏. 近 40 年中国暖季日气温及其异常强度变化趋势. *地理学报*, 2003, 58 (增刊): 22-30.
- [9] 邓振镛, 张强, 徐金芳. 高温热浪与干热风的危害特征比较研究. *地球科学进展*, 2009, 24 (8): 865-873.
- [10] 屠其璞, 邓自旺, 周晓兰. 中国气温异常的区域特征研究. *气象学报*, 2000, 58 (3): 289-296.
- [11] 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.
- [12] 谢安, 孙永罡, 白人海. 中国东北近 50 年干旱发展及对全球气候变暖的响应. *地理学报*, 2003, 58 (增刊): 75-82.
- [13] 严中伟, 季劲均, 叶笃正. 60 年代北半球夏季气候跃变 I. 降水和温度变化. *地理学报*, 2003, 58 (增刊): 75-81.
- [14] 黄刚. 与华北干旱相关联的全球尺度气候变化现象. *气候与环境研究*, 2006, 11 (3): 270-279.
- [15] 邓振镛, 张强, 李栋梁. 气候变化对渭河上游径流量和输沙量的影响. *中国沙漠*, 2006, 26 (6): 982-985.
- [16] 邓振镛, 王鹤龄, 王润元. 气候变化对祁连山北坡农林牧业结构的影响与对策研究. *中国沙漠*, 2008, 28 (2): 381-387.
- [17] 李彤霄, 赵国强, 李有. 河南省气候变化及其对冬小麦越冬期的影响. *中国农业气象*, 2009, 30 (2): 143-146.
- [18] 邓振镛, 张强, 刘德祥. 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.
- [19] 张强, 邓振镛, 赵映东. 全球气候变化对我国西北地区农业的影响. *生态学报*, 2008, 28 (3): 1210-1218.
- [20] 屈振江. 陕西农作物生育期热量资源对气候变化的响应研究. *干旱区资源与环境*, 2010, 24 (1): 75-79.
- [21] 邓振镛, 张强, 蒲金涌. 气候变暖对中国西北地区农作物种植的影响. *生态学报*, 2008, 28 (8): 3760-3768.
- [22] 邓振镛, 张强, 徐金芳. 全球气候变暖对甘肃农作物生长影响的研究进展. *地球科学进展*, 2008, 23 (10): 1070-1078.
- [23] 蒲金涌, 姚玉璧, 马鹏里. 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] 谭方颖, 王建林, 宋迎波. 华北平原近 45 年农业气候资源变化特征分析. *中国农业气象*, 2009, 30 (1): 19-24.
- [25] 谢立勇. 气候变化下东北农业的“喜”和“忧”. *中国气象报*, 2009. 7. 2 (3).
- [26] 张智, 林莉, 梁培. 宁夏气候变化及其对农业生产的影响. *中国农业气象*, 2008, 29 (4): 402-405.

- [27] 曾英,黄祖英,张红娟. 气候变化对陕西冬小麦种植区的影响. 水土保持通报,2007,27(5):137-140.
- [28] 马鹏里,杨兴国,陈端生. 农作物需水量对气候变化的响应研究. 西北植物学报,2006,26(2):348-353.
- [30] 邓振镛. 高原干旱气候作物生态适应性研究. 北京:气象出版社,2005:25-38.
- [31] 郝立生,闵锦忠,张文宗. 气候变暖对河北省冬小麦产量的影响. 中国农业气象,2009,30(2):204-207.
- [32] 张杰,张强,赵建华. 作物干旱指标对西北半干旱区春小麦缺水特征的反映. 生态学报,2008,28(4):1646-1654.
- [33] 王润元,张强,杨兴国. 河西走廊绿洲农作物生长时段对变暖响应的比较研究. 地球科学进展,2007,22(特刊):1-5.
- [34] 赵鸿,肖国举,王润元. 气候变化对半干旱雨养农业区春小麦生长的影响. 地球科学进展,2007,22(3):322-327.
- [35] 苏占胜,陈晓光,黄峰. 宁夏山区小麦产量变化特征及其对气候变化的响应. 干旱地区农业研究,2007,25(2):218-226.
- [36] 侯琼,郭瑞清,杨丽桃. 内蒙古气候变化及其对主要农作物的影响. 中国农业气象,2009,30(4):560-564.
- [37] 赵鸿,王润元,王鹤龄. 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. 地球科学进展,2007,22(6):636-641.
- [38] 刘德祥,郭俊琴,董安祥. 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.
- [39] 姚玉璧,邓振镛,王润元. 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.
- [40] 姚玉璧,董安祥,王润元. 西北干旱区气候变化对马铃薯生长脆弱性的影响. 地球科学进展,2007,22(特刊):48-54.
- [41] 李剑萍,杨侃,曹宁. 气候变化情景下宁夏马铃薯单产变化模拟. 中国农业气象,2009,30(3):407-412.
- [42] 南瑞,高永刚,韩俊杰. 黑龙江省水稻主栽品种热量指标鉴定及适宜种植区划. 中国农业气象,2007,28(4):436-439.
- [43] 桑建人,刘玉兰,邱旺. 气候变暖对宁夏引黄灌区水稻生产的影响. 中国沙漠,2006,26(6):935-958.
- [44] 王萍,李廷全,闫平. 黑龙江省近35年气候变化对粳稻发育期及产量的影响. 中国农业气象,2008,29(3):268-271.
- [45] 谢立勇,郭明顺,曹敏建. 东北地区农业应对气候变化的策略与措施分析. 气候变化研究进展,2009,5(3):174-178.
- [46] 王润元,张强,王耀琳. 西北干旱区玉米对气候变暖的响应. 植物学报,2004,46(12):1387-1392.
- [47] 余卫东,赵国强,陈怀亮. 气候变化对河南省主要农作物生育期的影响. 中国农业气象,2007,28(1):9-12.
- [48] 刘玉兰,张晓煜,刘娟. 气候变暖对宁夏引黄灌区玉米生产的影响. 玉米科学,2008,16(2):147-149.
- [49] 赵俊芳,杨晓光,刘志娟. 气候变暖对东北三省春玉米严重低温冷害及种植布局的影响. 生态学报,2009,29(12):6544-6551.
- [50] 刘淑梅,高浩,黎贞发. 气候变暖对天津农作物种植结构的影响. 中国农业气象,2009,30(增1):42-46.
- [51] 曹玲,邓振镛,窦永祥. 气候变化对河西走廊灌区玉米产量的影响及对策研究. 西北植物学报,2008,28(5):1043-1048.
- [52] 邓振镛,仇化民,李怀德. 陇东气候与农业开发. 北京:气象出版社,2000:56-112.
- [53] 邓振镛,林日暖. 河西气候与农业开发. 北京:气象出版社,1993:117-201.
- [54] 马兴祥,邓振镛,魏育国. 甘肃谷子气候生态适应性分析及适生种植区划. 干旱气象,2004,22(3):59-62.
- [55] 李效珍,鲁巨,王孔香. 大同地区谷子生产的气候条件评述. 中国农业气象,2009,30(增2):227-229.
- [56] 姚小英,邓振镛,蒲金涌. 甘肃省糜子生态气候研究及适生种植区划. 干旱气象,2004,22(2):52-56.
- [57] 蒲金涌,姚小英,辛昌业. 甘肃糜子生态气候适宜性研究. 干旱地区农业研究,2010,28(1):223-226.
- [58] 徐影. 全球气候变化的最新科学事实和研究进展. 中国气象报,2007.2.8(3).
- [59] 王润元. 气候变化对西北粮食安全构成潜在威胁. 中国气象报,2010.1.26(3).
- [60] 林而达. 气候变暖影响我国不同地区的粮食生产. 中国气象报,2009.6.8(3).
- [61] 朱健峰,唐云辉. 农业生产如何应对气候变化. 中国气象报,2008.7.7(3).
- [62] 徐金芳,邓振镛. 我国北方半干旱半湿润气候区防旱减灾技术述评. 安徽农业科学,2009,37(29):14229-14231.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 30 卷 第 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元