

气候变化对中国农业的影响

孙智辉¹, 王春乙²

1. 延安市气象局, 陕西延安 716000
2. 中国气象科学研究院, 北京 100081

摘要 在全球气候变化背景下, 中国的气温不断增高, 近 50 年中国年平均地表气温增加了 1.1℃, 明显高于全球; 降水变化趋势不明显, 年代际波动较大, 也存在明显的地区差别; 极端天气气候事件不断增多。未来气候变化情景, 预计中国北方增温幅度高于南方, 青藏高原增温最明显, 年降水量增加显著区域为华北、西北及东北地区, 长江中下游沿岸及其以南地区有小幅度增加。气候变暖将使粮食作物水稻、玉米和小麦的生育期缩短, 产量下降; 有利于棉花生产, 能提高北方棉花产量和品质; 三熟区面积将扩大约 22.4%, 一熟区面积约缩小 23.1%, 作物种植结构和作物品种的布局将发生变化; 主要农作物病虫害呈加重趋势; 对温带和寒带的家畜生长是有利的, 对热带和亚热带家畜和牧草生长不利; 中国四大海区主要经济鱼种的产量和渔获量有不同程度的降低; 气候变暖将使中国各类自然植被发生明显北移, 土地荒漠化危害范围加大, 土壤肥力下降, 并增加农业灌溉的需水量, 农业水资源供需矛盾加剧。中国农业应对气候变化包括减缓和适应两个方面, 应减缓和适应并重。

关键词 气候变化; 农业; 影响; 对策

中图分类号 P467

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)04-0110-08

Impact of Changing Climate on Agriculture in China

SUN Zhihui¹, WANG Chunyi²

1. Yanan Meteorological Bureau, Yanan 716000, Shaanxi Province, China
2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

Abstract Under the background of the global climate change, the mean temperature continues to rise in China during the last 50 years, with annual mean surface air temperature being increased by 1.1℃, higher than the global temperature increase; the precipitation trends are not obvious, with large interdecadal fluctuations and significant regional differences; the number of extreme weather and climate events grows. In the future climate change scenarios, the warming amplitude is higher in the northern area than in the southern area, the most obvious warming occurs over Tibetan Plateau, the annual precipitation increases significantly in the north, northwest and north-east of China, with a small increase in the Yangtze River and its southern region. The growth period of rice, maize and wheat will be shortened by climate warming, with decreased yield; climate warming is beneficial to cotton production, and can improve yield and quality of cotton in the north; the triple cropping area will increase by about 22.4%, one-harvest area will shrink by about 23.1%, the crop planting structure and layout in crop varieties will change; the situation of the main crop pests and diseases tends to be worse; climate warming is beneficial to the livestock growth in temperate and boreal regions, but detrimental to the livestock growth and forage in tropical and subtropical regions; there will be reductions to varying degrees of productions of four major economic species and fish catches in China's four sea areas; with the climate warming, various types of natural vegetation in China will move northward, the scope of desertification hazard will expand, soil fertility will decline and the agricultural irrigation water requirement will increase, the conflicts between supply and demand of agricultural water resources will be intensified. China's strategy will include two aspects, mitigation and adaptation, and both should be taken enough attention.

Keywords climatic change; agriculture; impact; countermeasures

收稿日期: 2009-11-05

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项项目(GYHY200806008)

作者简介: 孙智辉, 高级工程师, 研究方向为农业气象, 电子信箱: yaszhi@163.com; 王春乙(通信作者, 中国科协所属全国学会个人会员登记号: S281000181M), 研究员, 研究方向为农业气象, 电子信箱: wcy@cms1924.org

全球气候变暖已经是不争的事实,最近 100 年(1906—2005)全球平均地表温度上升了(0.74 ± 0.18) $^{\circ}\text{C}$,过去 50 年升温率几乎是过去 100 年的 2 倍。最近 50 年中国年平均地表气温增加了 1.1 $^{\circ}\text{C}$,明显高于全球或北半球同期平均增温速率^[1-2]。近 50 年中国年降水量变化趋势不显著,但年代际波动较大,并存在明显的区域差异。综合多模式多排放情景的预估结果,未来 20~100 年中国地表气温将明显增加,北方降水增加幅度大于南方^[3]。全球气候变化及其对经济和社会发展的影响是当前人类面临的重要挑战,特别是近 10 多年世界范围的气候异常给许多国家的粮食生产、水资源和能源带来严重影响,而成为关系到人类生存的热门话题,全球各界已经对气候变化及其影响进行了广泛研究。中国人口众多,人均资源相对短缺,又是一个发展中国家,农业基础条件差,气候环境的变化,对农作物生长发育和农业生产发展产生了复杂多样的影响^[4-6]。

1 气候变化对农业气候资源的影响

1.1 气候变化对光资源的影响

中国总辐射量在 20 世纪 60—80 年代呈减少趋势,90 年代后有所回升,但总体呈下降趋势。1956—2002 年间,全国平均年日照时数具有明显的下降趋势,20 世纪 90 年代初以后变化趋于和缓,减少趋势最明显的地区是华北和华东地区,黄土高原中东部下降也比较明显^[7-8]。辐射减少可能与火山喷发、城市和工矿业发展引起的空气污染物排放量有关,实际观测与数值模拟也表明气溶胶的增加导致直接辐射的降低,作物的光合有效辐射量随之减少,减少的趋势是渐缓的,冬小麦比水稻的减少趋势更明显。20 世纪 90 年代以来,全球火山喷发相对出现平静期和总体污染状况有所缓解,可能是全球范围内辐射增加的重要原因^[9-11]。

1.2 气候变化对热量资源的影响

近 50 年,除四川东北部和南部地区的气温略有下降外,全国大部地区呈明显的上升趋势,气温升高最显著的地区是华北、内蒙古东部和东北地区^[12]。气候生长期有较为明显的增长趋势,平均增长速率为每年 0.16 天^[13]。近 47 年,全国无霜冻期以每 10 年 3.4 天的气候倾向率延长。东北、西北积温增加明显^[14]。未来各种排放情景下,以冬季的变暖最明显。区域分布为青藏高原增温最大,东北、西北、华北次大,其余地区则由东南向西北递增分布。 CO_2 浓度增加越多对温度的影响就越大,温度升高幅度越明显^[15]。

研究气候变化对积温的影响,方法之一是统计分析站点年平均气温与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的相关性,然后根据模式模拟的全国各地年平均气温的变化来估算未来积温的变化。研究无霜期变化的方法和研究积温的方法类似。方法之二是将海洋大气耦合模式 DKRZ OPYC 对中国某一地区的模拟结果(各个季节的差值)叠加到当前气候平均场,通过时间插值生成月气候值。再利用随机天气发生器的统计模型,将月气候值生成逐日气候背景,在此基础上计算未来水热条件

的变化。

1.3 气候变化对水资源的影响

近 50 年,中国年平均降水量变化趋势不明显,但区域降水量变化波动较大,西部、华南降水呈增加趋势,华北、东北和西北东部降水呈减少趋势。华北每 10 年减少 20~40mm,华南与西南地区每 10 年增加 20~60mm^[16]。未来各种排放情景下降水变化分布基本一致,年降水增加显著区域为华北、西北及东北地区,长江中下游沿岸及其以南地区有小幅度增加^[15]。

温度升高,导致作物需水量发生变化。利用比较宏观和简化的内岛善兵卫公式发现温度升高对蒸发率的影响夏季大于冬季,北方大于南方。 CO_2 倍增时,1 月北方月蒸发率增加约 10%,南方增加 4%;7 月北方增加 18%,南方增加约 10%^[17]。未来温度上升,在其他气象要素保持不变的情景下,华北地区不同作物的需水量对气候变暖的响应存在差异,其中冬小麦需水量增加最大,棉花次之,夏玉米最小,业已紧张的水资源供需矛盾将更加突出^[18-19]。

2 气候变化对气候生产潜力和作物生产潜力的影响

2.1 气候变化对气候生产潜力的影响

光合生产潜力只取决于光合有效辐射的大小。气溶胶的增加,作物光合有效辐射降低,致使光合生产潜力也下降。全国平均光温生产潜力变化规律与年平均气温的 10 年滑动平均曲线变化几乎完全一致^[20]。利用 Thornthwaite 模型计算植被气候生产力变化,温度增加 1 $^{\circ}\text{C}$,降水增加 10%的暖湿型气候全国各地气候生产力呈增加趋势,由南向北增大,西北最大。温度增加 1 $^{\circ}\text{C}$,降水减少 10%的暖干型气候全国大部分地区植被气候生产力为负距平,但东北地区北部、东部、长江以南和青海地区为正距平。温度降低 1 $^{\circ}\text{C}$,降水增加 10%的冷湿型气候除北方为正距平外,南方大部为负距平。冷湿型气候在一定范围内对北方干旱半干旱区的农业有利。温度降低 1 $^{\circ}\text{C}$,降水减少 10%的冷干型气候全国均为负距平,对北方的影响大于南方^[21]。

2.2 气候变化对作物生产潜力的影响

气候变暖情景下,中国水稻气候生产力将普遍有所下降,雨养水稻下降幅度大于灌溉水稻,降水变化对雨养水稻气候生产力的影响是重要的。当考虑了 CO_2 浓度增加使水稻光合作用速率提高 20%的直接效应后,灌溉水稻生产力普遍提高,而雨养水稻在降水较多的情景下,大多数地方的水稻生产力有所提高;在降水较少的情景下,生产力有增有减^[22]。

不考虑大气中 CO_2 浓度上升对小麦光合作用直接影响,只根据气温、降水变化估算北方小麦气候生产力的变化百分率。降水减少较多的情况下,小麦气候生产力将普遍下降,变化幅度大于降水减少较少情景。“暖湿型”气候对小麦生产最有利,而“冷干型”气候对小麦生产最不利^[23]。

由于气候变暖,计算华北夏玉米气候潜力时,温度订正项提高幅度均远远大于水分订正项减小的幅度,这是夏玉米生产潜力提高的主要原因;其次是由于 CO_2 浓度倍增使玉米

光合强度增加,生产潜力提高。 CO_2 浓度倍增情景下,华北夏玉米生产潜力提高幅度为 9.5%~21.2%^[24]。

3 气候变化对农业生产的影响

3.1 CO_2 和 O_3 对农业生产的影响

CO_2 既是一种主要的温室气体,也是一种重要的农业气候资源。自然界中 CO_2 是绿色植物光合作用不可或缺的材料, CO_2 浓度增加,将加大光合作用强度,增加农作物的光合产量。 CO_2 浓度增加又通过对作物生理过程,如光合、呼吸、气孔活动、蒸腾耗水的间接影响,最终影响作物产量。利用 OTC-1 型开顶式气室和开放式 CO_2 浓度增高 (FACE) 系统平台对小麦、大豆、大白菜和玉米在不同 CO_2 浓度条件下的生长模拟实验和生理特性研究表明: CO_2 浓度增加,作物光合速率增加,蒸腾系数下降,作物的总生物量和产量随之增加, C_3 类作物产量增长率大于 C_4 类作物^[25-31]。

O_3 是一种强氧化剂,对农作物具有较强的毒害作用,能影响植物的生长发育和生理功能,引起植物的代谢紊乱。试验表明: O_3 浓度倍增,冬小麦和水稻总生物量和产量呈下降趋势,但 17 种氨基酸和粗蛋白含量有所增加,冬小麦减产率高于水稻,而 17 种氨基酸和粗蛋白的增长率冬小麦又高于水稻。自前工业化时代以来,对流层 O_3 浓度增加了 38%。

3.2 气候变化对作物产量的影响

20 世纪 90 年代初,利用统计模型开展气候变化对农业影响评价。以后,国内学者在评价方法上采用各地多年的逐日气候资料,对全球环流模式 (General Circulation Model, GCM) 模拟的月均值订正到逐日的水平或利用随机天气发生器连接 GCM 产生逐日天气情景的方法,结合作物模式进行作物产量的影响评价。

近几年,学者在模拟气候变化对产量的影响时,较多采用了区域气候模式。与 GCM 相比,区域气候模式在模式验证、时空分辨率、对地形的表述以及模式的不确定性等方面有显著改善,比以往大气环流模式和随机天气发生器相嵌套方法更合理,且模式在不同 CO_2 浓度趋向下,能模拟较小网格的逐日最高气温、最低气温、降水量、辐射等 20 余项气象指标,模拟中考虑不同温室气体排放情景、 CO_2 对作物的直接肥效作用以及雨养和灌溉等,模拟结果相对客观。

气候变化情景下,粮食作物水稻、玉米和小麦的生育期缩短,产量下降。气候变化对中国小麦总产量的影响并不是很大,比水稻和玉米要小。考虑 CO_2 直接肥效作用,小麦的单产将显著的增加,灌溉小麦增产幅度大于雨养小麦;雨养水稻和玉米单产增产明显,灌溉水稻和玉米影响不明显^[32-38]。但目前有关 CO_2 对作物直接作用的研究大多处于作物个体水平,作物群体能否表现出较高的产量潜力和持续的增产潜力、 CO_2 浓度增加对作物的负面影响等等这些问题都需要进一步研究。气候变暖有利于棉花生产,提高北方棉花产量和品质。气候变化对中国大部分地区大豆生产不利。但哈尔滨以北地区和呼和浩特等地区大豆生育期内热量条件明显改

善,有大幅度增产可能^[39]。

3.3 气候变化对种植制度的影响

从 1987—2004 年随着气候变暖,中国北部地区水稻的种植比例增加,其中黑龙江省的水稻种植增加最多,东南和华南地区水稻的种植比例减少。黑龙江、内蒙古和新疆地区小麦种植比例减少幅度在 10% 以上,西藏、贵州、河南地区小麦的种植比例有所增加。全国大部分地区的玉米种植比例呈现增加趋势。全国复种指数由 1985 年的 143% 增加到 2001 年的 163.8%,1985—2001 年间复种指数增加了 20.8,年均增幅为 0.85%。复种指数变化总体呈上升趋势,青藏高原、西北地区、西南、东南和华南地区丘陵山地复种指数增加幅度较大^[40]。

气候变暖将目前的两熟区向北移至目前一熟区的中部;而三熟区将明显地向北向西扩展,不仅以不同三熟组合方式取代目前大部分两熟制地区,而且其北界还将会从目前的长江流域移至黄河流域,三熟区面积将扩大约 22.4%。多熟制的这种变移,将使一熟区面积约缩小 23.1%^[41]。

气候变化使中国主要作物品种的布局也将发生变化。华北目前推广的强冬性冬小麦品种将为半冬性冬小麦品种所取代;比较耐高温的水稻品种将在南方占主导地位;东北地区玉米的早熟品种逐渐被中、晚熟品种取代。

水分条件成了影响农牧过渡带决定性作用的限制性因素。未来气候变暖,在降水不增加或增加不多的情况下,农牧交错带将南扩,东北与内蒙古相接地区农牧交错带的界限将南移约 70km,华北北部农牧交错带的界限将南移约 150km,西北部农牧交错带界限将南移约 20km,同时气候生产力可能下降^[42]。

气候变暖使中国东北、西北地区农作物种植结构发生较大改变。西北东部冬小麦种植界限向北、西、高海拔扩展,种植面积扩大 10%~20%。喜热作物棉花适宜区种植海拔高度升高 100m 左右,面积扩大 10 倍。复种作物适宜区海拔高度升高 200m 左右,复种面积扩大 4~5 倍^[43]。黑龙江省作物的高产中心发生移动,玉米高产中心南移 2 个纬度,小麦和大豆高产中心北移 2 个纬度。水稻的种植面积以年递增率 10% 的速度增长,单位面积上的产量大幅度增加。粮食作物种植结构发生了很大的变化,从主要以小麦和玉米为主的粮食作物种植结构变化为以玉米和水稻为主;水稻的种植区域明显向北扩展,小麦的种植区域向北收缩^[44-45]。

3.4 气候变化对作物病虫害的影响

气候变化使病虫害为害的地理范围扩大、程度加剧,病害发生期提前,危害加重。气候变化对农作物害虫的影响主要体现在越冬北界北移、越冬基数高、死亡率低;发生期提前,危害加重;迁入期提前,迁出期延后,危害期延长;繁殖代数增加和迁飞区域扩大^[46-49]。气候变化将使中国主要农作物病虫害危害呈加重趋势。

3.5 气候变化对畜牧业的影响

北方气候变得更加暖干后,各干燥区的草地类型将会向湿润区推进,即目前的各草原界限东移。青藏高原、天山、祁

连山等高山(原)牧场,其界限将上移。东北寒冷牧区和青藏高原高寒牧区温度升高,可延长牧草生长期,增加生长季积温,提高光合作用效率,从而提高草地生产力,有利牧业生产发展。干旱、半干旱牧区,水分是牧草生长发育的主要限制因子。因此温度升高对牧草生长的作用不明显,且在水分严重不足区,温度升高,会加剧蒸发,使土壤干旱,反而加重了牧草需水的胁迫。

气候向暖干转变时,各种家畜的分布界限将会东移。适于暖干气候的山羊、骆驼的分布区域可能扩大,而以马、牛为主的分布区向东退缩。青藏高原区,各家畜的分布线将上移,牦牛和藏绵羊的分布区会扩大。冬季气温明显升高,对家畜生长发育非常有利。气候变化对温带和寒带的家畜生长是有利的。对热带和亚热带家畜和牧草生长不利^[50-51]。

3.6 气候变化对渔业的影响

渔业生产因气候变化导致海平面上升、珊瑚白化、海温上升和海水酸度增加,而对气候变化的反应较为敏感。气候变暖将造成中国渤海、黄海、东海和南海四大海区主要经济鱼种的产量和渔获量在气候变化后都有不同程度的降低^[52-53]。气候变暖使淡水鱼中暖水性鱼类的安全越冬北界北推,冷水性鱼类的安全度夏南界北移,西多东少。气候变暖对淡水鱼不同年龄体重增加潜力的影响因气候区而有别,鲤鱼以中纬度地区鱼龄愈大增重效果愈大。气候变暖有促进淡水鱼类性成熟龄、产卵季节与孵化提早或加速的作用^[54]。全球气候变化是世界渔业资源产量和分布变化的重要原因之一,气候变化会直接或间接影响渔场的位置变动、鱼群的洄游路线以及渔汛的时间早晚等。海洋捕捞渔业受厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)、大洋暖池(Warm Pool)和冷池、阿留申低压(Aleutian Low)、北大西洋涛动(North Atlantic Oscillation,NAO)、太平洋年代气候振动(Pacific Decadal Oscillation,PDO)等重大全球气候变化现象影响^[55-57]。

3.7 极端气候事件对农业的影响

极端气候事件(洪水、干旱、极端高温和低温冷害等)对未来农业生产的影响更大^[58]。农业气象灾害是导致作物减产的主要因素,其中干旱是对作物产量影响最大、区域最广、发生最频繁的气象灾害^[59]。近半个世纪,东北、华北和西北部地区的干旱化面积呈显著上升趋势。全国因干旱受灾和成灾面积在逐渐扩大^[60-61]。极端强降水平均强度和极端强降水值都有增加的趋势,极端强降水事件也趋于增多^[62]。中国寒潮事件的发生频率显著下降,对畜牧业和设施农业的发展有利^[63]。高温热害出现频率增加,水稻空秕率将增加,产量下降。由于温度升高,物候期和生育期提前,终霜冻的危害不容忽视。气候变暖是造成全球极端气候事件明显增多的主要原因。在未来气候变暖的大背景下,中国冷害事件将呈减少趋势,但极端高温事件将增加,旱灾、水灾等自然灾害的发生频率和强度将会增加^[64-66]。目前的气候预测还不能回答未来农业生产地域会有哪些极端气候事件,或这些极端气候事件发生的频率和强度究竟有多大,为研究工作和实际农业生产安排带来

很大困难,这是今后研究中亟待解决的问题之一。

4 气候变化对农业环境的影响

农业环境是以农作物或农业生产为主体的周围环境各要素的总和。主要包括农田、森林、草原、灌溉水、空气、光、热及施用于农田的肥料(包括化肥)、农药和农业机具等。这些农业环境要素共同构成了一个农业环境综合体系,相互作用,相互影响,为人类创造出生产和生活上必须的大量物质。

4.1 气候变化对森林的影响

未来中国各类自然植被将发生明显的向北推移。南方的热带雨林将扩大,东北地区的寒温带针叶林和西南地区的青藏高原高寒植被将明显减小,尤其是寒温带针叶林将向北移入西伯利亚地区,几乎从中国区域消失。其他各中介性植被面积变化不大,但地理位置将向北推移达数百公里之多。森林的生产力有所上升^[67-72]。

4.2 气候变化对农田土壤环境的影响

土壤有机碳的变化影响土壤和作物生产的可持续性。气候变暖加速有机碳的分解,气温升高导致土壤有机碳含量下降^[73]。能使植物直接吸收利用的速效氮的释放量增大,增大未来作物施肥量,肥料挥发、分解、淋溶流失的增加对土壤和环境十分有害^[74]。

荒漠化的最终结果是土地生产潜力的丧失和人类生存条件的丧失,而中国是世界上荒漠化危害范围最广、程度最深的地区之一^[75]。截止2004年,中国的荒漠化土地面积为 $2.64 \times 10^6 \text{ km}^2$,沙化土地面积 $1.74 \times 10^6 \text{ km}^2$,分别占国土总面积的27.46%和18.12%。未来 CO_2 倍增、温度上升 1.5°C 的情景下,中国干旱、半干旱及半湿润地区面积扩大 $1.88 \times 10^5 \text{ km}^2$,湿润区缩小 $1.57 \times 10^5 \text{ km}^2$;若 CO_2 倍增、温度上升 4°C ,干旱、半干旱和半湿润区面积将扩大 $8.43 \times 10^5 \text{ km}^2$,湿润区将缩小 $9.59 \times 10^5 \text{ km}^2$,荒漠化面积扩大 $7.06 \times 10^5 \text{ km}^2$,平均每年扩大 6941 km^2 ^[76-78]。

4.3 气候变化对农业用水的影响

气候变化对农业灌溉需水量的影响很大^[79]。气候变暖可能使作物生长季内的潜在蒸散量增加,导致土壤水分的有效性下降,从而增加农业灌溉的需水量,同时气候变化造成近50年中国六大江河实测径流量都呈下降趋势,下降幅度最大的是海河流域。全国水面蒸发量减小^[80]。冰川退缩,积雪融化,海平面上升。干旱与半干旱区水资源对于气候变化影响特别脆弱,主要表现为降水和河川流量减少。地下水明显减少,并长期得不到恢复和补充。全球变暖对湖泊等水体污染也有影响,由于升高的水温、增加的降水强度和长期的低流量使湖泊和水库多种水污染加重^[81-83]。农业水资源供需矛盾加剧。

5 气候变化与农业脆弱性

气候变化对农业的敏感性和脆弱性的影响研究相对较少,蔡运龙等^[84]定性分析了气候变化对农业的影响及农业环境和农业系统的脆弱性,提出了农业对气候变化的适应对策和建议。林而达等^[85-89]通过对全国降水量和蒸发量的统计分

析, 研究了中国农业对全球变暖的敏感性, 并划分了中国的农业敏感区; 依据灌溉面积和耕地面积的比率 (I/C)、农牧业用地和已利用土地的比率 (A/L)、产量和复种指数 (I/Y)、受灾系数 (D/S) 和农民收入 (FI) 5 个非气候指标对中国农业的脆弱性进行了评价, 得到中国农业气候脆弱性分布图。其中, 山西和内蒙古农业的脆弱性最强; 甘肃、河北、陕西、青海和宁夏也具有强脆弱性。脆弱性评价尚未形成公认和统一的方法^[87], 国内学者利用不同方法对中国黄土高原^[88]、农牧交错带^[89]的农业和生态系统以及小麦、水稻、玉米三大作物^[90-92]对气候变化敏感性和脆弱性进行了评估, 灌溉作物的脆弱区大于雨养作物。根据各地水资源的特点、农业受旱成灾的情况及水利设施抗旱能力, 确定中国农业干旱脆弱性分区严重脆弱以上的区域有 151 个, 占了总统计区数的 44.4%, 一般脆弱以下区域有 189 个, 占了 55.6%^[93]。未来农业气候变化敏感性和脆弱性研究的方法主要有区域气候模式 (RCM)、作物模型、社会经济情景和 GIS 技术等。

6 中国农业应对气候变化的对策

应对气候变化包括减缓和适应两个方面, 减缓和适应并重^[94]。减缓气候变化主要包括减少农业和农村温室气体排放, 推广节能技术和设备, 提高土壤固碳能力, 改善生态环境; 适应气候变化主要是加强农业基础设施建设, 开展农田水利基本建设, 推广旱作节水技术, 增强农业防灾、抗灾、减灾和综合生产能力。培育产量高、品质优良的抗旱、抗涝、抗高温、抗病虫害等抗逆品种, 加大优良品种推广力度, 提高良种覆盖率。加强动物疫病监测预警, 提高动物疫病的预防和控制能力。开展草原退牧还草, 草场围栏, 人工草场建设, 保护和改善草原生态^[95-96]。加强气候变化研究, 加强国际合作, 加强科普宣传, 提升科技能力和科技素质^[97]。

参考文献 (References)

- [1] 秦大河, 罗勇. 全球气候变化的原因和未来变化趋势 [J]. 科学对社会的影响, 2008(2): 16-21.
Qin Dahe, Luo Yong. *Impact of Science on Society*, 2008(2): 16-21.
- [2] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认知 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(2): 1673-1719.
Qin Dahe, Chen Zhenlin, Luo Yong, et al. *Advances Climate Change Research*, 2007, 3(2): 1673-1719.
- [3] 赵宗慈, 王绍武, 罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 183-184.
Zhao Zongci, Wang Shaowu, Luo Yong. *Advances Climate Change Research*, 2007, 3(3): 183-184.
- [4] 肖凤劲, 张海东, 王春乙, 等. 气候变化对我国农业的可能影响及适应性对策 [J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 327-331.
Xiao Fengjin, Zhang Haidong, Wang Chunyi, et al. *Journal of Natural Disasters*, 2006, 15(6): 327-331.
- [5] Xiong W, Lin E, Ju H, et al. Climate change and critical thresholds in China's food security [J]. *Climatic Change*, 2007, 81: 205-221.
- [6] Yao Fengmei, Xu Yinglong, Lin Erda, et al. Assessing the impacts of climate change on rice yields in the main rice areas of China [J]. *Climatic*

- Change*, 2007, 80: 395-409.
- [7] 文小航, 尚可政, 王式功. 1961—2000 年中国太阳辐射区域特征的初步研究 [J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 554-560.
Wen Xiaohang, Shang Kezheng, Wang Shigong, et al. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(3): 554-560.
- [8] 杜春丽, 沈新勇, 陈渭民, 等. 43 a 来我国城市气候和太阳辐射的变化特征 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(2): 200-208.
Du Chunli, Shen Xinyong, Chen Weimin, et al. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 2008, 31(2): 200-208.
- [9] 高歌. 1961—2005 年中国霾日气候特征及变化分析 [J]. 地理学报, 2008, 63(7): 761-768.
Gao Ge. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(7): 761-768.
- [10] 王海啸, 黄建国, 陈长和. 城市气溶胶对太阳辐射的影响及其在边界层温度变化中的反映 [J]. 气象学报, 1993, 51(4): 457-464.
Wang Haixiao, Huang Jianguo, Chen Changhe. *Acta Meteorologica Sinica*, 1993, 51(4): 457-464.
- [11] 王春乙, 白月明. 臭氧和气溶胶浓度变化对农作物的影响研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2007.
Wang Chunyi, Bai Yueming. *Changes in the concentration of ozone and aerosol impact studies on crops* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007.
- [12] 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 中国气温变化的最新研究进展 [J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-706.
Ren Guoyu, Xu Minzhi, Chu Ziyang, et al. *Climatic and Environmental Research*, 2005, 10(4): 701-706.
- [13] 徐铭志, 任国玉. 近 40 年中国气候生长期的变化 [J]. 应用气象学报, 2004, 15(3): 306-312.
Xu Minzhi, Ren Guoyu. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2004, 15(3): 306-312.
- [14] 叶殿秀, 张勇. 1961—2007 年我国霜冻变化特征 [J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 661-665.
Ye Dianxiu, Zhang Yong. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2008, 19(6): 661-665.
- [15] 江志红, 张霞, 王翼. IPCC-AR4 模式对中国 21 世纪气候变化的情景预估 [J]. 地理研究, 2008, 27(4): 787-799.
Jiang Zhihong, Zhang Xia, Wang Ji. *Geographical Research*, 2008, 27(4): 787-799.
- [16] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近五十年中国大陆近地面气候变化的基本特征 [J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956.
Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi, et al. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(6): 942-956.
- [17] 高素华, 潘亚茹. 温室效应对农业气候资源的可能影响 [M]// 气候异常对农业影响的试验研究课题组. 中国气候变化对农业影响的试验与研究. 北京: 气象出版社, 1991.
Gao Suhua, Pan Yaru. The possible influence of greenhouse to agro-climatic resources [M]// Experimental Research Group of the Impact of Climate Anomalies on Agriculture. Test and research of climate change on agricultural impact. Beijing: China Meteorological Press, 1991.
- [18] 刘晓英, 林而达. 气候变化对华北地区主要作物需水量的影响 [J]. 水利学报, 2004, 2: 77-83.
Liu Xiaoying, Lin Erda. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004, 2: 77-83.
- [19] 王石立, 娄秀荣. 气候变化对华北地区冬小麦水分亏缺状况及生长的影响 [J]. 应用气象学报, 1996, 7(30): 308-315.
Wang Shili, Lou Xiurong. *Journal of Applied Meteorological Science*, 1996, 7(30): 308-315.
- [20] 章基嘉, 徐祥德, 苗峻峰. 气候变化对中国农业生产光温条件的影响

- [J]. 中国农业气象, 1993, 14(2): 11-16.
Zhang Jijia, Xu Xiangde, Miao Junfeng. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1993, 14(2): 11-16.
- [21] 丁一汇, 高素华. 痕量气体对我国农业和生态系统影响研究 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
Ding Yihui, Gao Suhua. The impacts of trace gas to agriculture and ecosystems in China [M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1995.
- [22] 张厚喧. 水稻气候生产力对气候变暖的响应问题的模拟计算 [J]. 中国农业气象, 1993, 14(1): 35-40.
Zhang Houxuan. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 1993, 14 (1): 35-40.
- [23] 王素艳, 霍治国, 李世奎, 等. 中国北方冬小麦的水分亏缺与气候生产潜力—近 40 年来的动态变化研究 [J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 121-130.
Wang Suyan, Huo Zhiguo, Li Shikui, et al. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12(1): 121-130.
- [24] 李玉娥, 张厚喧. 温室效应对我北方冬麦区粮食作物生产潜力的影响[J]. 气象, 1992, 13(4): 37-39.
Li Yue, Zhang Houxuan. *Meteorology*, 1992, 13(4): 37-39.
- [25] 王春乙, 郭建平, 郑有飞. 二氧化碳、臭氧、紫外线辐射与农作物生产 [M]. 北京: 气象出版社, 1997.
Wang Chunyi, Guo Jianping, Zhen Youfei. Carbon dioxide, ozone, ultraviolet radiation and crop production[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1997.
- [26] 王春乙, 白月明, 郑昌玲, 等. CO₂ 和 O₃ 浓度倍增对作物影响的研究进展[J]. 气象学报, 2004, 62(5): 875-881.
Wang Chunyi, Bai Yueming, Zheng Changlin, et al. *Acta Meteorologica Sinica*, 2004, 62(5): 875-881.
- [27] 王春乙, 郭建平, 王修兰, 等. CO₂ 浓度增加对 C₃、C₄ 作物生理特性影响的实验研究[J]. 作物学报, 2000, 26(6): 813-817.
Wang Chunyi, Guo Jianping, Wang Xiulan, et al. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(6): 813-817.
- [28] 郑昌玲, 王春乙. 近地层 O₃ 和 CO₂ 浓度变化对冬小麦影响的数值模拟 II: 模拟结果和分析[J]. 气象学报, 2005, 63(2): 192-203.
Zheng Changling, Wang Chunyi. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63 (2): 192-203.
- [29] 杨连新, 李世峰, 王余龙, 等. 开放式空气二氧化碳浓度增高对小麦产量形成的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1): 75-80.
Yang Lianxi, Li Shifeng, Wang Yulong, et al. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 75-80.
- [30] 王明娜, 罗卫红, 孙彦坤, 等. FACE 条件下水稻冠层蒸散和水分利用率的模拟[J]. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2497-2502.
Wang Mingna, Luo Weihong, Sun Yankun, et al. *Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(11): 2497-2502.
- [31] Lin E, Xiong W, Ju H, et al. Climate change impacts on crop yield and quality with CO₂ fertilization in china [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B-Biologic*, 2005, 360: 2149-2154.
- [32] Xiong W, Matthews R, Holman I, et al. Modelling China's potential maize production at regional scale under climate change [J]. *Climate Change*, 2007, 85: 433-451.
- [33] 张建平, 赵艳霞, 王春乙. 气候变化对我国华北地区冬小麦发育和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1179-1184.
Zhang Jianping, Zhao Yanxia, Wang Chunyi. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(7): 1179-1184.
- [34] 张建平, 赵艳霞, 王春乙, 等. 未来气候变化情景下我国主要粮食作物产量变化模拟[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(5): 208-213.
Zhang Jianping, Zhao Yanxia, Wang Chunyi, et al. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25(5): 208-213.
- [35] 张建平, 赵艳霞, 王春乙. 气候变化对南方双季稻发育和产量影响[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(4): 151-156.
Zhang Jianping, Zhao Yanxia, Wang Chunyi. *Advances Climate Change Research*, 2005, 1(4): 151-156.
- [36] 熊伟, 等. 气候变化对中国粮食生产影响的模拟研究[M]. 北京: 气象出版社, 2009.
Xiong Wei, et al. Simulation study of climate change impact on crop yield in China[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2009.
- [37] 姚凤梅, 张佳华. 气候变化对中国粮食产量的影响及模拟 [M]. 北京: 气象出版社, 2008.
Yao Fengmei, Zhang Jiahua. Impact and simulation of climate change to grain output in China[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008.
- [38] 王馥棠, 赵宗慈, 王石立, 等. 气候变化对农业生态的影响 [M]. 北京: 气象出版社, 2003.
Wang Futang, Zhao Zongchi, Wang Shili, et al. Impacts of climate change on agricultural ecology[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2003.
- [39] 邓根云. 气候变化对中国农业的影响 [M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1993.
Deng Genyun. Effects of Climate Change on Agriculture in China[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1993.
- [40] 李立军. 中国耕作制度近 50 年演变规律及未来 20 年发展趋势研究 [D]. 北京: 中国农业大学农学与生物技术学院, 2004.
Li Lijun. Evolution rules of farming the past 50 years and development trend of farming the next 20 years in China [D]. Beijing: College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, 2004.
- [41] Wang Futang. Impacts of climate change on cropping system and its implication for China[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, 11(4): 407-415.
- [42] 裴国旺, 赵艳霞, 王石立. 气候变化对我国北方农牧交错带及其气候生产力的影响[J]. 干旱区研究, 2001, 18(1): 23-28.
Qiu Guowang, Zhao Yanxia, Wang Shili. *Arid Zone Research*, 2001, 18 (1): 23-28.
- [43] 张强, 邓振镭, 赵映东. 全球气候变化对我国西北地区农业的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1210-1218.
Zhang Qiang, Deng Zhenyun, Zhao Yingdong. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1210-1218.
- [44] 孙芳. 农业适应气候变化能力研究—种植结构与技术方向 [D]. 北京: 中国农业科学研究院农业环境与可持续发展研究所, 2008.
Sun Fang. Study on adaptive capacity of agriculture to climate change—cropping pattern and technologies perspective [D]. Beijing: Agricultural Environment and Sustainable Development Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008.
- [45] 刘颖杰, 林而达. 气候变暖对中国不同地区农业的影响[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(4): 229-233.
Liu Yingjie, Lin Erda. *Advances Climate Change Research*, 2007, 3(4): 229-233.
- [46] 霍治国, 陈林, 叶彩玲, 等. 气候条件对中国水稻稻飞虱为害规律的影响[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(1): 97-102.
Huo Zhiguo, Chen Lin, Yie Cailin, et al. *Journal of Natural Disasters*, 2002, 11(1): 97-102.
- [47] 钱拴, 霍治国. 大气环流对中国稻飞虱危害的影响及其预测[J]. 气象学报, 2007, 65(6): 994-1002

- Qian Shuan, Huo Zhiguo. *Acta Meteorologica Sinica*, 2007, 65(6): 994–1002.
- [48] 侯婷婷, 霍治国, 李世奎, 等. 影响稻飞虱迁飞规律的气象环境成因[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 142–148.
Hou Tingting, Huo Zhiguo, Li Shikui, et al. *Journal of Natural Disasters*, 2003, 12(3): 142–148.
- [49] 霍治国, 叶彩玲, 刘玲. 作物病虫害气象预测与防御 [M]/徐祥德, 等. 农业气象防灾减灾调控工程与技术系统. 北京: 气象出版社, 2002.
Huo Zhiguo, Ye Cailing, Liu Ling. Weather prediction and prevention of crop pests and diseases [M]/Xu Xiangde, et al. Control engineering and technology system of agrometeorological disaster prevention and mitigation. Beijing: China Meteorological Press, 2002.
- [50] 李玉娥, 董红敏, 林而达. 气候变化对畜牧业生产的影响 [J]. 农业工程学报, 1997(增): 20–23.
Li Yue, Dong Hongmin, Lin Erda. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 1997(Suppl): 20–23.
- [51] 李刚, 周磊, 王道龙, 等. 内蒙古草地 NPP 变化及其对气候的响应[J]. 生态环境, 2008, 17(5): 1948–1955.
Li Gang, Zhou Lei, Wang Daolong, et al. *Ecology and Environment*, 2008, 17(5): 1948–1955.
- [52] 邓可洪, 居辉, 熊伟, 等. 气候变化对中国农业的影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2006, 22(5): 439–441.
Deng Kehong, Ju Hui, Xiong Wei, et al. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(5): 439–441.
- [53] 刘允芬. 气候变化对我国沿海渔业生产影响的评价 [J]. 中国农业气象, 2000, 21(4): 1–5.
Liu Yunfen. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2000, 21(4): 1–5.
- [54] 刘乃壮, 金志风. 气候变化对我国淡水渔业的可能影响[J]. 水产养殖, 1993, 5: 24–27.
Liu Naizhuang, Jin Zhifeng. *Journal of Aquaculture*, 1993, 5: 24–27.
- [55] 赵蕾. 全球气候变化与海洋渔业的互动关系初探[J]. 海洋渔业, 2008, 30(4): 87–93.
Zhao Lei. *Marine Fisheries*, 2008, 30(4): 87–93.
- [56] 方海, 张衡, 刘峰, 等. 气候变化对世界主要渔业资源波动影响的研究进展[J]. 海洋渔业, 2008, 30(4): 363–370.
Fang Hai, Zhang Heng, Liu Fen, et al. *Marine Fisheries*, 2008, 30(4): 363–370.
- [57] 樊伟, 程炎宏, 沈新强. 全球环境变化与人类活动对渔业资源的影响. 中国水产科学, 2001, 8(4): 91–94.
Fan Wei, Chen Yanhong, Sheng Xinqiang. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2001, 8(4): 91–94.
- [58] Mirza M M Q. Climate change and extreme weather events: Can developing countries adapt?[J]. *Climate Policy*, 2003, 3: 233–248.
- [59] 王春乙, 姜秀荣, 王建林. 中国农业气象灾害对作物产量的影响[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(5): 37–43.
Wang Chunyi, Lou Xiurong, Wang Jianlin. *Journal of Natural Disasters*, 2007, 16(5): 37–43.
- [60] 马柱国, 任小波. 1951–2006 年中国区域干旱化特征 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(4): 195–201.
Ma Zhuguo, Ren Xiaobo. *Advances Climate Change Research*, 2007, 3(4): 195–201.
- [61] 翟盘茂, 邹旭恺. 1951–2003 年中国气温和降水变化及其对干旱的影响[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 16–18.
Zai Panmao, Zou Xukai. *Advances Climate Change Research*, 2005, 1(1): 16–18.
- [62] 翟盘茂, 王萃萃, 李威. 极端降水事件变化的观测研究 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 144–148.
Zai Panmao, Wang Cuicui, Li Wei. *Advances Climate Change Research*, 2007, 3(3): 144–148.
- [63] 高荣, 王凌, 高歌. 1956–2006 年中国高温日数的变化趋势 [J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(3): 177–181.
Gao Rong, Wang Ling, Gao Ge. *Advances Climate Change Research*, 2008, 4(3): 177–181.
- [64] 张勇, 许吟隆, 董文杰, 等. SRES B2 情景下中国区域最高、最低气温及日较差变化分布特征初步分析 [J]. 地球物理学报, 2007, 50(3): 714–723.
Zhang Yong, Xu Yinlong, Dong Wenjie, et al. *Chinese Journal of Geophysics*, 2007, 50(3): 714–723.
- [65] 张勇, 曹丽娟, 许吟隆, 等. 未来我国极端温度事件变化情景分析[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 655–660.
Zhang Yong, Cao Lijuan, Xu Yinlong, et al. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(6): 655–660.
- [66] 江志红, 陈威霖, 宋洁, 等. 7 个 IPCC AR4 模型对中国地区极端降水指数模拟能力的评估及其未来情景预测 [J]. 大气科学, 2009, 33(1): 109–120.
Jiang Zhihong, Chen Weilin, Song Jie, et al. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2009, 33(1): 109–120.
- [67] 陈育峰, 李克让. 地理信息系统支持下全球气候变化对中国植被分布的可能影响研究[J]. 地理学报, 1996, 51(增): 26–39.
Chen Yufeng, Li Kerang. *Geographical Journal*, 1996, 51 (Suppl): 26–39.
- [68] 周广胜, 张新时, 高素华, 等. 中国植被对全球气候变化反应的研究 [J]. 植物学报, 1997, 39(9): 879–888.
Zhou Guangsheng, Zhang Xinshi, Gao Suhua, et al. *Plant Journal*, 1997, 39(9): 879–888.
- [69] 方精云, 唐艳鸿, 林俊达, 等. 全球生态学: 气候变化与生态响应[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
Fang Jingyun, Tang Yanhong, Lin Junda, et al. *Global ecology: Climate change and ecological response* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [70] 吕学都, 王文远. 全球气候变化研究: 进展与展望 [M]. 北京: 气象出版社, 2003.
Lu Xuedu, Wang Wenyuan. *Global climate change research: Progress and prospects*[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2003.
- [71] Hulme M, Wigley T, Jiang T, et al. Climate change due to the greenhouse effect and implications for China [R]. Gland: WWF International, 1992.
- [72] Wang Futang, Zhao Zongci. Climate change and natural vegetation in China[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1994, 11(4): 407–415.
- [73] 吴雅琼, 刘国华, 傅伯杰, 等. 中国森林生态系统土壤 CO₂ 释放分布规律及其影响因素[J]. 生态学报, 2007, 27(5): 2126–2135.
Wu Yaqiong, Liu Guohua, Fu Bojie, et al. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 2126–2135.
- [74] 严力蛟, 朱顺富. 农业可持续发展概论[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000.
Yan Lijiao, Zhu Shunfu. *Introduction to sustainable development of agriculture*[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2000.
- [75] 王澄海. 气候变化与荒漠化[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
Wang Chenghai. *Climate change and desertification* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2003.
- [76] 常影, 宁大同. 全球气候变化对土地荒漠化的影响 [J]. 地学前缘, 2002, 9(1): 1.
Chang Ying, Ning Datong. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(1): 1.
- [77] 慈龙骏, 杨晓晖, 陈仲新. 未来气候变化对中国荒漠化的潜在影响[J].

- 地学前缘, 2002, 9(2): 287-294.
Ci Longjun, Yang Xiaohui, Chen Zhongxin. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(2): 287-294.
- [78] 苏志珠, 卢琦, 吴波, 等. 气候变化和人类活动对我国荒漠化的可能影响[J]. 中国沙漠, 2006, 26(3): 329-335.
Su Zhizhu, Lu Qi, Wu Bo, *et al. Journal of Desert Research*, 2006, 26(3): 329-335.
- [79] 张建云, 王国, 杨扬, 等. 气候变化对中国水安全的影响研究[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(5): 290-295.
Zhang Jianyun, Wang Guo, Yang Yang, *et al. Advances in Climate Change Research*, 2008, 4(5): 290-295.
- [80] 任国玉. 气候变化与中国水资源[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
Ren Guoyu. *Climate change and water resources in China* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007.
- [81] 张建云, 王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
Zhang Jianyun, Wang Guoqing. *Studies for climate change impacting on hydrology and water resources*[M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [82] 丁一汇. 人类活动与全球气候变化及其对水资源的影响 [J]. 中国水利, 2008, 2: 20-27.
Ding Yihui. *China Water Resources*, 2008, 2: 20-27.
- [83] 刘昌明, 刘小莽, 郑红星. 气候变化对水文水资源影响问题的探讨[J]. 科学对社会的影响, 2008(2): 21-27.
Liu Changming, Liu Xiaomang, Zhen Hongxing. *Impact of Science on Society*, 2008(2): 21-27.
- [84] 蔡运龙, Smit B. 全球气候变化下中国农作物的脆弱性与适应对策[J]. 地理学报, 1996, 51(3): 202-212.
Cai Yunlong, Smit B, *et al. Geographical Journal*, 1996, 51 (3): 202-212.
- [85] 林而达, 王京华. 我国农业对全球变暖的敏感性和脆弱性[J]. 农村生态环境学报, 1994, 10(1): 1-5.
Lin Erda, Wang Jinghua. *Rural Eco-Environment*, 1994, 10(1): 1-5.
- [86] Lin Erda. Agricultural vulnerability and adaptation to global warming in China[J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1996, 92: 63-73.
- [87] 赵跃龙, 张玲娟. 脆弱生态环境定量评价方法的研究 [J]. 地理科学, 1998, 18(1): 73-79.
Zhao Yuailong, Zhang Lingjuan. *Geography Science*, 1998, 18(1): 73-79.
- [88] 赵艳霞, 何磊, 刘寿东, 等. 农业生态系统脆弱性评价方法[J]. 生态学

- 杂志, 2007, 26(5): 754-758.
Zhao Yanxia, He Lei, Liu Shoudong, *et al. Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(5): 754-758.
- [89] 王馥棠, 刘文泉. 黄土高原农业生产气候脆弱性的初步研究[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 91-100.
Wang Futang, Liu Wenquan. *Climatic and Environmental Research*, 2003, 8(1): 91-100.
- [90] 孙芳, 杨修, 林而达, 等. 中国小麦对气候变化的敏感性和脆弱性研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 692-696.
Sun Fang, Yang Xiu, Lin Erda, *et al. Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(4): 692-696.
- [91] 杨修, 孙芳, 林而达, 等. 我国玉米对气候变化的敏感性和脆弱性研究[J]. 地域研究与开发, 2005, 24(4): 54-57.
Yang Xiu, Sun Fang, Lin Erda, *et al. Areal Research and Development*, 2005, 24(4): 54-57.
- [92] 杨修, 孙芳, 林而达, 等. 我国水稻对气候变化的敏感性和脆弱性[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(5): 85-89.
Yang Xiu, Sun Fang, Lin Erda, *et al. Journal of Natural Disasters*, 2004, 13(5): 85-89.
- [93] 倪深海, 顾颖, 王会容. 中国农业干旱脆弱性分区研究 [J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 705-709.
Ni Shenhai, Gu Ying, Wang Huirong. *Advances in Water Science*, 2005, 16(5): 705-709.
- [94] 中华人民共和国国务院. 中国应对气候变化的政策与行动[R]. 2008. The Central People's Government of the People's Republic of China. China's response to climate change policies and actions[R]. 2008.
- [95] 中国国家发展和改革委员会. 中国应对气候变化国家方案[R]. 2007. National Development and Reform Commission. China's national climate change program[R]. 2007.
- [96] 林而达, 许吟隆, 蒋金荷, 等. 气候变化国家评估报告 (II): 气候变化的影响与适应[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(2): 51-56.
Lin Erda, Xu Yinlong, Jiang Jinhe, *et al. Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(2): 51-56.
- [97] 科学技术部, 等. 中国应对气候变化科技专项行动[R]. 2007. The Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, *et al. China's scientific and technological actions on climate Change*[R]. 2007.

(责任编辑 朱宇)

·学术动态·

“环境风险防范管理与应急技术研讨会”征文



环境保护部环境规划院与中国环境科学学会拟定于 2010 年 5 月下旬在哈尔滨召开环境风险防范管理与应急技术研讨会。会议现面向相关科技工作者征文, 征文范围如下: 环境风险敏感行业识别与应急管理技术政策; 典型高环境风险行业的系统防范技术标准与政策; 区域、流域环境风险综合评估与防范对策; 环境风险全过程管理政策体系; “十二五”环境风险控制对策与措施。

摘要截稿日期: 2010 年 3 月 20 日; 全文修订版截止日期: 2010 年 4 月 30 日。

联系方式: 北京市朝阳区北苑路大羊坊 8 号环境保护部环境规划院环境规划专业委员会 (100012), 王依

电话: 010-84923237

传真: 010-84915112

电子信箱: hjghzywyh@126.com