

# 气候变化对我国农业生产的影响研究进展

裴占江<sup>1,2</sup>, 刘 杰<sup>1,2</sup>, 史风梅<sup>2</sup>, 王 粟<sup>2</sup>, 卢玢宇<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 博士后科研工作站, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 农村能源研究所/农业部种养殖循环重点实验室/黑龙江省秸秆能源化重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**农业是人类社会经济发展的基础,也是对气候变化最敏感的领域之一,任何微小的气候变化都会对农业生产带来潜在或显著的影响。随着全球气候变化的不断持续,气候的异常变化对我国农业生产影响越来越大。当前气候变化对农业生产影响的研究主要集中在农业生长潜力、农业气候资源环境、农业种植制度和结构等方面,均不同程度地对我国粮食安全、农业经济造成损失。因此,科学合理的深入研究气候变化对我国农业光、温、水、土壤等农业生产要素的影响,揭示农业气象灾害和病虫害发生的机理,分析和模拟气候变化对我国农业生产的影响具有重大的科学价值和现实意义。采用文献综述和比较研究的方法,探讨了气候变化对农业生产影响的主要研究方法以及气候变化对农业生产潜力、农业生产环境、种植制度、农业经济的影响,指出了当前气候变化对农业生产影响研究中存在的问题,提出了今后的研究方向。

**关键词:**气候变化;农业生产;农业灾害;种植制度

**中图分类号:** S162 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2017)08-0112-07 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2017.08.0112

全球气候变化已经成为当今环境科学研究的核心问题之一,关于全球气候变化的影响及其应对策略已经成为学术界研究热点课题<sup>[1]</sup>。根据IPCC的报告,近130 a(1880-2012年)全球地表平均温度上升了0.78℃,与1880-2003年相比,2003-2012年全球地表的平均温度上升速度更快。根据2016年《中国气候变化监测公报》,2015年亚洲地表平均气温比常年值偏高1.17℃,为1901年以来的第1高值年,近百年间(1901-2015年),亚洲地表平均气温上升了1.45℃,远高于全球地表平均气温的上升速度;1951-2015年,中国地表年平均气温呈显著上升趋势;2015年中国平均地表气温为10.5℃,比常年值偏高1.3℃,是自1951年有完整气象记录以来最暖的年份;中国区域平均气温总体呈上升趋势,但区域差异较大,北方(华北、西北和东北)较南方增温速率更加明

显,西部较东部更加突出,其中青藏地区增温速率高达 $0.36^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ;1961-2015年,中国上空对流层低层和顶层平均气温显著上升,平流层下层平均气温明显下降。21世纪以后,全球的平均降雨量变化不大,但是与之前相比,降雨区域分化明显,极端干旱和洪涝事件频发<sup>[2]</sup>。中国极端高温事件、极端强降水事件频次趋多,极端低温事件频次显著减少,区域性干旱事件呈弱线性上升趋势。近百年中国平均年降水量无明显线性变化趋势,以20~30 a的年代际波动为主,年际变率大,2015年较常年偏多20.1 mm。1961-2015年,中国陆地表面太阳年总辐射量趋于减少,2015年较常年偏少 $45.9\text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

农业作为对气候变化反应最敏感的产业,任何微小的气候变动都会给农业正常的生产生活带来影响,特别的极端气候如干旱、洪涝、冰雹、霜冻等,对我国的粮食安全、农民收入、社会稳定造成波动,甚至会影响国家经济的可持续。我国地域辽阔,地形复杂,人口、经济发展各不相同,又是气候多变国家,气候变化对我国各区域的影响各不相同。由于平均气温上升,积温带北移东扩,农作物适宜耕作区扩大,使我国东北地区在气候变化的过程中获得更好的农业发展机遇,洪涝、冰雹、霜冻等极端自然天气发生频率减小,但是东北地区农业可用水资源减少,旱灾发生频率却在增加,总体上全球气候变化对东北地区的农业生产是有

收稿日期:2017-06-13

**基金项目:**中国清洁发展机制基金赠款资助项目(2014101);哈尔滨市创新人才研究专项资金资助项目(2015 RAQXJ056);黑龙江省农业科学院引进博士人员科研启动金资助项目(201507-37);黑龙江省博士后基金资助项目(LBH-Z15199)

**第一作者简介:**裴占江(1980-),男,黑龙江省哈尔滨市人,博士,助理研究员,从事沼气的生产及利用研究。E-mail: neaupzj@163.com。

**通讯作者:**刘杰(1974-),男,黑龙江省延寿县人,博士,研究员,从事生物质能源的生产与利用研究。E-mail: Liujie@163.com。

利的<sup>[3]</sup>;气候变化使黄淮海平原地区平均气温明显升高,平均降雨量明显下降<sup>[4]</sup>,气候干暖化,水资源更加匮乏并且极端气候发生频率增加<sup>[5]</sup>;长江中下游地区在气候变化的影响下,平均降水量增加,冬季趋暖,夏季趋凉<sup>[6]</sup>,冬季温度的变化有利于农业病虫害繁衍,长江中下游地区光热资源充足,气候变暖对其影响相对较小,但是极端气候发生的频率有升高的趋势;西北地区在气候变化的影响下平均气温显著升高,且其升高强度高于全国平均水平,平均降雨量也有增加的趋势,以新疆北部地区最为明显<sup>[7]</sup>;我国西南地区受气候变化的影响主要体现为平均气温、降雨减少,有干冷化的趋势,并且旱灾、地质灾害发生的频率也有增加的趋势<sup>[8]</sup>。因此,气候变化对我国农业生产产生的影响是复杂而深刻的。

科学预测、分析气候变化对农业生产各方面的影响,并研究探讨应对气候变化的对策,是全球农业可持续发展的重要课题之一<sup>[9]</sup>。本文通过整理、归纳近几十年的研究,试图提出认识气候变化对我国农业生产影响的科学路径,分析以往研究的优点、贡献和不足,为我国科学分析和应对气候变化对农业生产的影响提供依据。

## 1 气候变化对我国农业生产影响的研究方法

全球气候的任何异常变化都会一定程度上影响我国的粮食产量、种植制度、作物生长和品种分布。因此,深入探究气候变化的科学机理,评估气候变化对我国未来农业生产产生的影响,提出适应气候变化需要的政策、途径和方法是我国迫切需要解决的重大问题<sup>[10]</sup>。近几十年来研究人员在气候变化与农业生产、种植结构、作物品质等方面进行了大量试验<sup>[11]</sup>。这些试验的研究方法主要集中在观测试验和模型模拟两个方面,观测试验包括研究大气成分变化对作物生理及化学组成的影响,可分为田间试验和人工温室气候室试验两种方法;模型模拟方法包括统计分析和动态数值模拟<sup>[12]</sup>。

人工温室控制试验一般是在野外封闭或顶部封闭的环境下,改变 CO<sub>2</sub> 的浓度来研究其对作物生产的影响,研究结果表明高浓度 CO<sub>2</sub> 环境下,初期作物光合作用显著增加,之后逐渐恢复到正常 CO<sub>2</sub> 浓度时光合作用的强度,但如果长期处于高浓度 CO<sub>2</sub> 的环境下,作物的光合作用普遍下

降<sup>[13]</sup>。由于人工温室效应与自然田间环境差别较大,不能很好地观测作物对 CO<sub>2</sub> 浓度的响应。因此,需要作为补充观测试验方法的开放式 CO<sub>2</sub> 富集 FACE 方法。FACE 方式是在田间设置一定面积的 FACE 试验区圈,直接输入高浓度的 CO<sub>2</sub>。这种方法在自然环境下,观测作物对 CO<sub>2</sub> 浓度的响应,是非常理想的方式之一<sup>[14]</sup>。统计模型模拟方法是利用回归分析、方差分析、主成分分析等数理统计方法对农作物与气候变化之间构建的非动态统计方程。但是此模型模拟精度较低,尤其是在研究范围有变化的时候误差更大。但是在缺乏土壤、水文、地形等基础数据的时候,统计模型又在气候变化对农业影响的研究中起到重要作用。随着长期观测试验的进行,人们对气候变化和作物生长的认识不断发展和完善<sup>[15-16]</sup>,利用气候变化和作物生长模式相关联进行动态模拟成为评价气候变化对农业生产的主要研究方法<sup>[17]</sup>。通过构建土壤-作物-大气系统动力学模型,用动态模拟方法获得信息,涉及到作物生长发育的各种形状。由于动态模拟在原则上可输入任意组合的气候因子观测产量构成和最终产量的变化,对作物生理生态过程的动态描述和研究未来气候变化的影响,无疑是一种有利的影响评价方法。

## 2 气候变化对我国农业生产的影响

### 2.1 气候变化对我国农业生产潜力的影响

农业生产潜力是指在太阳辐射、温度、水分以及土壤养分的共同作用下,以最佳农业管理条件下,农作物可能达到的最高产量。目前,国内外对农作物生产潜力的研究取得了大量的成果,主要是以光照、温度、降水为基础评价农业生产潜力<sup>[18-20]</sup>,也有通过光、热、水、土逐渐递减的方法研究宏观尺度上评价农业生产潜力的变化<sup>[21-23]</sup>。农业生产潜力不仅能够反映农业气候资源对区域农业产生的综合影响,也反映了区域农业生态的环境基础<sup>[24-25]</sup>。随着全球气候变化的不断加剧,我国应该更加重视气候变化对农业生产潜力的影响,目前,我国已有学者对此给予关注,并取得一定成果。冷疏影<sup>[26]</sup>分析了全国 671 个气象站的 30 a 的气象数据,包括光照、温度、降水和土壤养分等数据,分析计算各生产要素对农业生产潜力的影响并在地理信息系统的支持下绘制了我国农业生产潜力图。赵名茶<sup>[27]</sup>利用 671 个气象站点的数,分析我国各地域影响农业生产潜力的因

子,并绘制我国气温带北移和降水带西迁后的干湿界限的变化绘制成图,并对未来农业生产潜力的变化做出预测。袁兰兰<sup>[28]</sup>利用卫星遥感影像监测的2010年我国耕地分布数据,结合近50a的农业气象数据和土壤养分数据,采用CAZE模型,估算出小麦、水稻、玉米和大豆在不同地理区域的生产潜力及其发展趋势。竺可桢<sup>[29]</sup>研究了气候资源与农业生产的关系,分别从太阳辐射总量、温度和降雨量三个因子对粮食生产的影响进行了论述。陈明荣<sup>[30]</sup>提出了生产潜力的温度影响系数。唐国平<sup>[31]</sup>根据1958-1997年中国310个气象站点的数据,分析了我国气候的背景特征,用3个模型来模拟未来中国的气象变化,根据模拟结果评估气候变化对农业生产潜力的影响。赵慧颖<sup>[32]</sup>通过数理统计方法分析了典型草原地区的气候变化规律及其对农业生产潜力的影响,典型牧草地地区气候干暖化趋势明显,年平均降水量呈现减少趋势,降水量较少成为典型牧草地地区生产潜力的主要限制因素。赵艳霞<sup>[33]</sup>分析了黄土高原地区的生态环境特征,采用FAO光温生产潜力和气候生产潜力计算方法,计算了1960-2000年近40a黄土高原的小麦生产潜力,并预测了未来50a光温生产潜力的增幅大于气候潜力的增幅。葛亚宁<sup>[34]</sup>以2010年我国耕地分布的遥感监测数据为基础,结合1960-2010年我国的气象数据,采用GAEZ模型,综合考虑影响玉米生产潜力的时空格局特征,发现我国玉米生产潜力差异较大,呈现东高西低格局,其中东北地区玉米生产潜力最高,并分析了我国近50a在气候变化的影响下玉米生产潜力的时空变化特征。总体来看,上述研究为我国各地区农业主体认识各地区农作物可能达到的最大产量、推动农业可持续发展提供了一定的参考依据。

## 2.2 气候变化对我国农业生产环境的影响

我国的气候受到来自太平洋、印度洋、北冰洋等全球性区位单元的大气环流影响<sup>[35]</sup>,全球性地理单元的异常变化是导致我国发生农业灾害的大气环流的主因<sup>[36]</sup>。由于气候变化以及人为的环境破坏使农业自然灾害频发,给我国农业生产生活带来巨大灾难。气候变化导致气温波动引发热害、冻害、霜冻,使热带作物受低温影响,寒带作物受高温影响;水资源分布异常引发旱灾、涝灾、雹灾;空气大幅度异常流动引发风灾。我国每年都有大量的农田受到农业气象灾害的影响,损失巨

大,威胁粮食安全和社会稳定。农业气象灾害频率的增加在受全球气候变化的大环境下,交替进行、持续发展<sup>[37]</sup>。目前,关于全球气候变化与农业生产和农业自然灾害与农业生产相关性的研究已经做了大量工作<sup>[38]</sup>,包括气候变化对农业病虫害的影响<sup>[39]</sup>。郑冬晓<sup>[40]</sup>分析了厄尔尼诺-南方涛涛(ENSO)效应对我国气温、降水、农业灾害和农业生产的影响,发现ENSO年我国北方大部分地区初霜冻偏早,东北地区多发生低温冻害,西北和华北易干旱;拉尼娜年东北初霜冻偏晚,西北和华北易发生干旱。陈辉<sup>[41]</sup>利用1990-1999年河南省农业灾情数据,分析了10年间各类农业灾害对农作物的影响和气候变化对农作物产量的影响,研究发现旱灾和病虫害已经成为河南省农业生产面临的主要农业气象灾害,并且灾害发生状况与河南的粮食产量波动情况基本一致。李祎君<sup>[42]</sup>利用全国气象站的农业气象数据结合《中国农业统计年鉴》中1978-2007年农业气象灾害受灾面积等资料,分析了气候变化对农业生产环境的影响,研究发现气候变暖为农业病虫害提供更为有利的生存环境,病虫害发生世代数增加,使我国农业病虫害防治工作更加困难。吕军<sup>[43]</sup>等利用经验正交函数 EOF 对1960-2008年的气象数据进行分析,发现我国在20世纪80年代末期开始平均气温有明显升高,东北、西北、内蒙古旱灾最为严重,长江中下游、珠江流域、东北涝灾严重,年均降雨量不是旱涝灾害的主要原因,而年降雨日数和降雨地区分区不均均是旱涝灾害的重要原因。王刚<sup>[44]</sup>以水循环及水资源系统的角度分析了气候变化对旱涝灾害的驱动机制,气候变化引起大范围的大气环流异常,易引发持久性的旱涝灾害,同时气候变化对土壤特性、植被覆盖等影响加剧,增加了发生旱涝灾害的风险。随着全球气候变化的持续,促进了我国农业灾害发生的频率、强度和范围,加大对气候变化与农业气象灾害的相关性研究十分迫切。

## 2.3 气候变化对我国种植制度和结构区划的影响

全球气候变化引起的光、温、水条件的改变,影响到了我国农业生产的方方面面,人类通过不同方式改变农业生产来适应气候的变化<sup>[45]</sup>。气候变化对我国农业的种植制度、种植格局产生了较大影响。李祎君<sup>[46]</sup>通过对1980-2007年的《中国农业统计年鉴》以及1961-2007年全国气象数

据的分析,发现在全球气候变化的影响下,小麦的种植对气候反应最为敏感,波动较大;水稻种植比例南北方反向,波动较小;北方复种指数明显增加,种植线北移,黑龙江省等高寒地区大面积扩种水稻。张厚瑄<sup>[47-48]</sup>研究指出气候变化使我国的热量有不同程度的增加,使一年两熟、一年三熟的种植制度北迁,但是降雨量变化产生不利因素,使种植制度的改变拥有不确定性。云雅如<sup>[49]</sup>分析了黑龙江省的气象资料 and 主要农作物耕作面积资料,利用快速聚类方法分析了黑龙江省 1980-2000 年种植结构的变化,发现全省水稻种植面积显著扩大,小麦种植面积迅速减少,而玉米的种植面积相对稳定,在气候变化的背景下,黑龙江省主要种植作物由小麦和玉米转变为水稻和玉米。王明娜<sup>[50]</sup>在黑龙江省气象数据和作物种植统计数据的基础上,分析了黑龙江省作物格局的变化,指出水稻的种植区明显向北扩张,小麦种植区向北收缩,玉米种植区保持相对稳定,这些是受全球气温变暖,温度显著增加影响的。金之庆<sup>[51]</sup>采用 GISS Transient B 模型,根据近 40 a 历史数据模拟了今后 50 a 气候变化对东北地区主要农作物种植结构的影响,研究指出未来 50 a 随着气候变暖和 CO<sub>2</sub> 的增加,有利于东北大豆生产,不利于玉米生产,并且随着水汽蒸发东北降雨量可能增加,未来有望种植冬小麦并增加复种指数。熊伟<sup>[52]</sup>采用区域气候模式与 CERES-Maize 模型相结合的方法,模拟了在温室气体增加的环境下未来我国玉米产量的变化,模拟结果显示气候变化将导致我国玉米单产降低、总产下降,给我国玉米产业带来一定的损失。廖玉芳<sup>[53]</sup>利用湖南省地面观测点测算的气象数据结合最佳小网格推算模型推算了 500 m 分辨率的网格序列资料,运用 GIS 技术,开展了湖南省主要农作物的适宜性动态气候区划,研究中发现气候变化对湖南双季稻的影响表现为熟性搭配区的变化,使油菜、油茶适宜种植区扩大,棉花、烟草适宜种植区变小。

## 2.4 气候变化对我国粮食产量和农村社会经济发展的影响

气候变化对粮食产量和农村社会经济发展的影响正逐渐成为气候变化研究的重点领域之一<sup>[54]</sup>。气候变化对粮食安全和农村经济发展影响的研究已经有了大量研究成果<sup>[55-56]</sup>,不同的研究所选的试验区域、研究内容有各自的侧重点<sup>[57]</sup>。卢丽萍<sup>[58]</sup>等分析了 1978-2007 年近 30 a

的气象灾害的时间序列和空间分布特征,发现粮食产量与气象灾害的发生呈反比,受灾严重的主要集中在东部地区,其中旱灾和涝灾占到影响粮食生产因素的 70%~85%。秦大河<sup>[59]</sup>模拟了未来 30 a 我国粮食产量会在气候变化的影响下减产 5%~10%,以水稻、玉米、小麦三大粮食作物为主。但是在干旱地区,受气候变化的影响粮食产量可能增加<sup>[60]</sup>。吴普特等<sup>[61]</sup>分析了我国 1949-2005 年的干旱指数(PDSI)、单位灌溉面积用水量(GIQ)、单位面积粮食产量(PHGO)的 annual 变化特征及其相关关系,发现在 1990 年以前,GIQ 和 PHGP 均与 PDSI 有较好的线性相关关系,表明气候变化对农业用水和粮食产量的影响显著,人为因素影响较小,而 1990 年以后 GIQ 和 PHGP 与 PDSI 的线性拟合较差,表明人为因素在农业用水和粮食产量中占主导作用。通过技术进步、政策保证和加强生产资料投入可以在一定程度上减少气候变化对农业生产的影响。平均气温升高土壤微生物分解加快,化肥释放周期缩短,这就需要施用更多的肥料<sup>[62]</sup>。气温变暖有利于昆虫幼虫越冬和杂草生长,可能会加剧病虫害流行和杂草蔓延<sup>[63]</sup>,使农业生产不得不加大农药和除草剂的用量,提高农业生产成本<sup>[64]</sup>。

## 3 结论

综上所述,气候变化对农业生产的影响已经成为世界各国广泛关注的热点问题,涉及大气科学、农业科学、地理科学、信息科学等多学科交叉融合的前沿问题。关于气候变化对农业生产的影响及其应对策略研究,国内外众多学者已经开展了大量的研究工作,并取得了一系列的研究成果,但与农业、工业、电子等其它科研领域的研究相比还远远不够。另一方面,综合考虑全球气候变化的发展趋势及规律,深入研究气候变化的内在机制及其对我国农业生产的影响具有重大的科学价值和现实意义。

气候变化对农业生产影响的研究方法方面,目前利用大气、农业、地理、气象等多学科交融的方法研究气候变化与农业生产的关系应是未来研究的重点。另外,我国地质种类复杂多样,各地气候及地理资源差别较大,气候变化对农业生产影响的时间、方式、程度各不相同。因此,采用单一时间、单一地区或单一方法研究气候变化与农业生产的关系,将无法建立起气候变化对农业生产影响的全面认识。

关于气候变化对粮食生产的影响方面,研究气候变化与粮食生产之间的相互作用应是未来的研究重点。粮食生产是一个涉及自然、气象、环境、地理等方面十分复杂的系统,以往研究大多集中于农业生产的某一方面,缺少将农业生产作为一个有机的整体来研究。气候变化不仅仅是气温的改变,更是伴随着干旱、洪涝、冰雹、霜冻等农业气象灾害,使农业生产所依赖的水、光、热、温等气候要素以及土壤养分要素转移、变迁,更有可能改变农作物的品种及其抗逆性。

气候变化对农业气象灾害、病虫害影响的定量研究方面,弄清主要农区气象灾害发生以及农业病虫害流行暴发的特征和机理应是未来的研究重点。全球范围异常气候出现和病虫害发生的概率将大大增加,这些极端天气事件和病虫害将对农业的生产和可持续发展产生重要影响,尤其是极端天气事件的增多,势必将影响全球粮食的稳定生产。因此,合理制订我国适应气候变化的农业生产措施,加强对农业气象灾害和病虫害发生的频率、强度、持续时间及其与粮食产量的定量研究意义重大。

#### 参考文献:

- [1] Alexandrov V A, Hoogenboom G. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 104(4): 315-327.
- [2] 钱凤魁,王文涛,刘燕华. 农业领域应对气候变化的适应措施与对策[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014(5): 19-24.
- [3] 赵秀兰. 近 50 年中国东北地区气候变化对农业的影响[J]. *东北农业大学学报*, 2010(9): 144-149.
- [4] 刘时银,丁永建,叶佰生,等. 高亚洲地区冰川物质平衡变化特征研究[J]. *冰川冻土*, 2000(2): 97-105.
- [5] 王雅琼,马世铭. 中国区域农业适应气候变化技术选择[J]. *中国农业气象*, 2009, (S1): 51-56.
- [6] 侯伟芬,王谦谦. 江南地区近 50 年地面气温的变化特征[J]. *高原气象*, 2004(3): 400-406.
- [7] 刘引鸽,缪启龙,高庆九. 基于信息扩散理论的气象灾害风险评价方法[J]. *气象科学*, 2005(1): 84-89.
- [8] 秦大河. 中国西部环境演变评估——中国西部环境变化的预测[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [9] 刘彦随,刘玉,郭丽英. 气候变化对中国农业生产的影响及应对策略[J]. *中国生态农业学报*, 2010(4): 905-910.
- [10] 包刚,覃志豪,周义,等. 气候变化对中国农业生产影响的模拟评价进展[J]. *中国农学通报*, 2012(2): 303-307.
- [11] 林而达,张厚宣,王京华. 全球气候变化对中国农业影响的模拟[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997.
- [12] 孙白妮,门艳忠,姚凤梅. 气候变化对农业影响评价方法研究进展[J]. *环境科学与管理*, 2007(6): 165-168.
- [13] Farquhar G D, Ehleringer J R, Hubick K T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis[J]. *Annual Review of*

*Plant Biology*, 1989, 40(1): 503-537.

- [14] 罗卫红, Mayumi Yoshimoto, 戴剑锋, 等. 开放式空气 CO<sub>2</sub> 浓度增高对水稻冠层能量平衡的影响[J]. *应用生态学报*, 2003(2): 258-262.
- [15] 高亮之, 金之庆, 郑国清, 等. 小麦栽培模拟优化决策系统(WCSODS)[J]. *江苏农业学报*, 2000(2): 65-72.
- [16] 潘学标. 作物模型原理[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [17] 姚凤梅, 张佳华. 中国北方农牧交错带农作物产量时空格局与情景预测研究进展[J]. *农业工程学报*, 2005(1): 173-176.
- [18] 武永利, 卢淑贤, 王云峰, 等. 近 45 年山西省气候生产潜力时空变化特征分析[J]. *生态环境学报*, 2009(2): 567-571.
- [19] 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[J]. *干旱地区农业研究*, 2005(2): 202-208.
- [20] 高素华, 潘亚茹, 郭建平. 气候变化对植物气候生产力的影响[J]. *气象*, 1994(1): 30-33.
- [21] 党安荣, 阎守邕, 吴宏歧, 等. 基于 GIS 的中国土地生产潜力研究[J]. *生态学报*, 2000(6): 910-915.
- [22] 钟章奇, 王铮, 夏海斌, 等. 全球气候变化下中国农业生产潜力的空间演变[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(12): 2018-2032.
- [23] 封志明, 杨艳昭, 游珍. 中国人口分布的水资源限制性与限制制度研究[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(10): 1637-1648.
- [24] 沈思渊, 席承藩. 淮北涡河流域农业自然生产潜力模型与分析[J]. *自然资源学报*, 1991, 6(1): 22-33.
- [25] Beringer T I M, Lucht W, Schaphoff S. Bioenergy production potential of global biomass plantations under environmental and agricultural constraints[J]. *GCB Bioenergy*, 2011, 3(4): 299-312.
- [26] 冷疏影. 地理信息系统支持下的中国农业生产潜力研究[J]. *自然资源学报*, 1992(1): 71-79.
- [27] 赵名茶. 全球 CO<sub>2</sub> 倍增对我国自然地域分异及农业生产潜力的影响预测[J]. *自然资源学报*, 1995(2): 148-157.
- [28] 袁兰兰. 近 50 年来气候变化对中国主要农作物土地生产潜力的影响[D]. 武汉: 华中师范大学, 2015.
- [29] 竺可桢. 论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产的关系[J]. *地理学报*, 1964(1): 1-13.
- [30] 陈明荣, 龙斯玉. 中国气候生产潜力区划的探讨[J]. *自然资源*, 1984(3): 72-79.
- [31] 唐国平, 李秀彬, Guenther Fischer, Sylvia Prieler. 气候变化对中国农业生产的影响[J]. *地理学报*, 2000(2): 129-138.
- [32] 赵慧颖. 气候变化对典型草原区牧草气候生产潜力的影响[J]. *中国农业气象*, 2007(3): 281-284.
- [33] 赵艳霞, 王馥棠, 刘文泉. 黄土高原的气候生态环境、气候变化与农业气候生产潜力[J]. *干旱地区农业研究*, 2003(4): 142-146.
- [34] 葛亚宁, 刘洛, 徐新良, 等. 近 50 a 气候变化背景下我国玉米生产潜力时空演变特征[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(5): 784-795.
- [35] Fu C, Jiang Z, Guan Z, et al. Impacts of climate change on water resources and agriculture in China[M]//Regional Climate Studies of China. Springer Berlin Heidelberg,

- 2008; 447-464.
- [36] 安芷生. 中国北方干旱化的历史证据和成因研究[M]. 北京:气象出版社,2004.
- [37] 周广胜. 气候变化对中国农业生产影响研究展望[J]. 气象与环境科学,2015,38(1):80-94.
- [38] Kaiser H, Drennen T. Agricultural dimensions of global climate change[M]. CRC Press,1993.
- [39] Lesk C, Rowhani P, Ramankutty N. Influence of extreme weather disasters on global crop production[J]. Nature, 2016,529(7584): 84-87.
- [40] 郑冬晓,杨晓光. ENSO 对全球及中国农业气象灾害和粮食产量影响研究进展[J]. 气象与环境科学,2014,37(4): 90-101.
- [41] 陈辉,于向云,王志强. 河南近 10 年主要农业灾害及其影响[J]. 河南气象,2001(2):28-29.
- [42] 李祎君,王春乙,赵蓓,等. 气候变化对中国农业气象灾害与病虫害的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(S1): 263-271.
- [43] 吕军,孙嗣畅,陈丁江. 气候变化对我国农业旱涝灾害的影响[J]. 农业环境科学学报,2011,30(9):1713-1719.
- [44] 王刚,肖伟华,路献品,等. 气候变化对旱涝事件影响研究进展[J]. 灾害学,2014,29(2):142-148.
- [45] 卢爱刚,庞德谦,何元庆,等. 全球升温对中国区域温度纬向梯度的影响[J]. 地理科学,2006(3):345-350.
- [46] 李祎君,王春乙. 气候变化对我国农作物种植结构的影响[J]. 气候变化研究进展,2010,6(2):123-129.
- [47] 张厚瑄. 中国种植制度对全球气候变化响应的有关问题 I. 气候变化对我国种植制度的影响[J]. 中国农业气象, 2000(1):10-14.
- [48] 张厚瑄. 中国种植制度对全球气候变化响应的有关问题 II. 我国种植制度对气候变化响应的主要问题[J]. 中国农业气象,2000(2):11-14.
- [49] 云雅如,方修琦,王媛,等. 黑龙江省过去 20 年粮食作物种植格局变化及其气候背景[J]. 自然资源学报,2005(5): 697-705.
- [50] 王明娜,潘华盛. 气候变暖对黑龙江省粮食作物种植格局的影响评估[J]. 黑龙江气象,2009,26(4):17-20.
- [51] 金之庆,葛道阔,石春林,等. 东北平原适应全球气候变化的若干粮食生产对策的模拟研究[J]. 作物学报,2002(1): 24-31.
- [52] 熊伟,杨婕,林而达,等. 未来不同气候变化情景下我国玉米产量的初步预测[J]. 地球科学进展,2008(10): 1092-1101.
- [53] 廖玉芳,宋忠华,赵福华,等. 气候变化对湖南主要农作物种植结构的影响[J]. 中国农学通报,2010,26(24): 276-286.
- [54] Fischer G, Shah M M, Van Velthuizen H. Climate change and agricultural vulnerability[R]. International Institute for Applied Systems Analysis under United Nations Institutional Contract Agreement No. 1113 on "Climate Change and Agricultural Vulnerability" as a contribution to the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg,2002.
- [55] Godfray H C J, Beddington J R, Crute I R, et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people[J]. Science,2010,327(5967): 812-818.
- [56] Parry M L, Rosenzweig C, Iglesias A, et al. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios[J]. Global Environmental Change,2004,14(1): 53-67.
- [57] 史培军,王静爱,谢云,等. 最近 15 年来中国气候变化、农业自然灾害与粮食生产的初步研究[J]. 自然资源学报, 1997(3):2-8.
- [58] 卢丽萍,程丛兰,刘伟东,等. 30 年来我国农业气象灾害对农业生产的影响及其空间分布特征[J]. 生态环境学报, 2009,18(4):1573-1578.
- [59] 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): 63-73.
- [60] 邓振镛,张强,徐金芳,等. 全球气候变暖对甘肃农作物生长影响的研究进展[J]. 地球科学进展,2008(10): 1070-1078.
- [61] 吴普特,赵西宁. 气候变化对中国农业用水和粮食生产的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(2):1-6.
- [62] 李淑华. 气候变暖对我国农作物病虫害发生、流行的可能影响及发生趋势展望[J]. 中国农业气象,1992(2):46-49.
- [63] 亢艳莉. 气候变化对宁夏农业的影响[J]. 农业网络信息, 2007(6):125-126,128.
- [64] 许朗,刘金金. 气候变化与中国农业发展问题的研究[J]. 浙江农业学报,2013,25(1):192-199.

## Research Process on the Effect of Climate Change About the Agricultural Production of China

PEI Zhan-jiang<sup>1,2</sup>, LIU Jie<sup>1,2</sup>, SHI Feng-mei<sup>2</sup>, WANG Su<sup>2</sup>, LU Bin-yu<sup>2</sup>

(1. Postdoctoral Programme, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Rural Energy Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Combining Farming and Animal Husbandry, Ministry of Agriculture, P. R. China/Key Laboratory of Energy Utilization of Main Crop Straw Resources, Harbin, Heilongjiang 150086)

**Abstract:** Agriculture is the base of human society and economic development, and one of the most sensitive and

vulnerable sectors to climate change, any degree of climate change would have potential and significant effect on agricultural production and its related process. With the continuous development of global climatic change, abnormal meteorology is disadvantages on agricultural production. The current research on the effect of climate change about agricultural production is organized around agricultural growth potential, climate resources and environment, planting system and structure and so on. The effect of climate change was researched on thoroughly systematic about the key elements of agricultural production such as light, temperature, soil quality and water environment. Examination of these issues may provide insights into the impact mechanism between agrometeorological disasters and occurrence of crop pests. It was of great scientific and practical significance to analyze and simulate the impacts of climate change on agricultural production in China. Through literature review and comparative studies, the main research methods of the impact of climate change on agricultural production were discussed, and the impacts of climate change on agricultural production potential, agricultural production environment, cropping system and agricultural economy were discussed, at the same time, some current problems in these studies were also found, and some key scientific problems were proposed in the future study.

**Keywords:** climate change; agricultural production; agricultural disasters; cropping system

(上接第 111 页)

### 参考文献:

- [1] 孙岩, 徐晓辉, 苏彦莽, 等. 便携式土地墒情监测系统设计与[J]. 节水灌溉, 2016(6):102-104.
- [2] 刘柯楠, 吴普特, 朱德兰, 等. 基于 GPS 的太阳能平移式喷灌机自主导航系统设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016, 32(16):89-94.
- [3] 李野, 董守田, 黄丹丹. 基于 ZigBee 技术的水稻自动灌溉控制系统设计[J]. 农机化研究, 2015(2):226-229.
- [4] 李俊瑞, 李凌琨, 陈传玮. 户用太阳能沼气池的研究与设计[J]. 可再生能源, 2015, 33(8):1219-1224.
- [5] 黄伟力, 边燕, 冯青春, 等. 基于 Cortex-M3 的农作物生长参数监测系统设计与[J]. 农机化研究, 2015(2):203-205.
- [6] 熊美东, 李就好, 田凯, 等. 基于太阳能供电的田间图像采集系统设计[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7):389-393.
- [7] 马质璞, 王玉吉, 刘宏伟. 基于太阳能蜈蚣养殖箱的研究及应用[J]. 机械设计与制造, 2015(8):121-123.
- [8] 肖德琴, 傅俊谦, 邓晓晖, 等. 基于物联网的桔小实蝇诱捕监测装备设计及试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7):166-172.
- [9] 崔海朋, 张超辉. 基于 STM32 的嵌入式槽式太阳能热发电控制器设计[J]. 鲁东大学学报(自然科版), 2017, 33(2):122-126.
- [10] 喻志伟, 项安. 太阳能自动跟踪系统设计[J]. 机电一体化, 2015(11):50-54.
- [11] 李盛前, 杨晓京. 太阳能干燥器自动跟踪系统研究[J]. 微处理机, 2011, 32(6):70-72.
- [12] 刘松, 黄钱飞, 李仁浩, 等. 双轴液压式全景太阳能自动跟踪系统设计[J]. 机床与液压, 2015, 43(11):115-118.
- [12] 闻邦椿. 机械设计手册. 第 3 卷, 机械零部件设计, 轴系、支承与其他[M]. 5 版. 北京:机械工业出版社, 2010.
- [14] 阿杰, 高金凤. 基于 STC15 的太阳能自动跟踪系统设计[J]. 制造业自动化, 2016, 38(12):101-103.
- [15] 彭喜英, 赵强松. 基于单片机 AD $\mu$ C812 的太阳能自动跟踪系统设计[J]. 机械工程与自动化, 2015(1):150-152.

## Design of Solar Energy Automatic Tracker

LU Qiang, SHI Ying-gang, LIU Li

(College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** In order to make full use of solar energy, the mechanical part and the control part of solar energy automatic tracker were designed. The structure, working principle, performance characteristics, tracker contains, sun position detection unit, signal processing, control unit and power unit in detail was introduced. The mechanical implementation structure diagram and the control circuit diagram were also drawn. The light signal acquisition module feed back the illumination intensity to the control module. According to the illumination intensity, signal control module, on-off of relay and the rotation of step motor, the horizontal and pitch control of solar energy automatic tracker was realized. As a result, solar receiver always remained the facade towards the sun to increase the effect of solar energy absorption.

**Keywords:** solar energy; automatic tracking; photosensitive resistance; dual-axis tracking