

【粮食安全保障研究】

未来气候变化对我国粮食安全的影响

周曙东 周文魁 林光华 乔辉

(南京农业大学 经济管理学院 江苏 南京 210095)

摘要: 气候变化对中国农业生产可能带来正面影响和负面影响,探讨应对气候变化的适应性对策,分析农业气象灾害对粮食安全的影响,并对气候变化影响及适应性措施的不同情景方案对粮食安全影响进行情景模拟分析。研究结果显示未来气温上升导致的粮食单产下降将对中国今后的粮食生产带来一定程度的不利影响,除东北地区外,其他五个地区的粮食产量都将下降,从而对中国未来的粮食安全形势构成重大威胁。部分省区发生的季节性干旱对处于干旱和半干旱区的华北和西北地区的区域性粮食安全造成一定的影响。应对气候变化的适应性措施可以达到趋利避害的目的。未来在长江流域和华南地区大力推广双季稻,可以充分利用气温上升带来积温增加的好处,使这些地区的水稻产量明显增加;引种和技术进步对全国粮食产量提高有着显著的作用;而多种适应性措施多管齐下对全国粮食产量的提高程度更为明显。

关键词: 气候变化;粮食安全;技术进步;情景分析

中图分类号: S162 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-7465(2013)01-0056-10

一、引言

中国是一个人口大国,确保粮食安全一直是中国政府农业政策最主要的政策目标之一。粮食生产与气候条件保持着高度的因果联系,特别是在目前生态环境遭遇一定程度的伤害、极端天气反复发作的条件下,气候变化已经成为直接影响粮食安全的关键因素。今后20年至50年间农业生产将受到气候变化的严重冲击,并进而严重影响全球长期的粮食安全(王宏广,2005)。作为世界上的粮食生产大国和人口大国,中国的粮食安全问题同样处于这一危机的阴影之下。熊伟等(2001)利用中国随机天气模型,将IPCC最新推荐的气候模式HadCM2和ECHAM4与作物模式CERES2R ICE3.5相连接,模拟了未来4种气候情景下中国主要水稻产区产量的变化趋势,结果表明在未来气候情景下,中国水稻产量表现为不同程度的减产趋势。姚凤

梅等(2005)应用PRECIS区域气候模式输出和作物模式相连接模拟未来气候变化对我国主要稻区水稻产量的影响。熊伟等(2006)利用最新温室气体和SO₂排放方案,即政府间气候变化专门委员会(IPCC)排放情景特别报告(SRES)的A2和B2方案,通过区域气候模式和区域作物模型模拟未来2080s(2071—2100)我国小麦产量变化,结果表明2080s两种温室气体排放方案下(A2和B2),我国雨养小麦普遍减产,平均减幅为21.7%和12.9%,仅华北和长江中下游冬麦区部分区域增产。王馥堂(1996)基于中国近50年的粮食产量统计资料,分析各个年代主要粮食作物产量与影响粮食产量变化因素之间的关系,研究结果表明气候变化及其他因素对中国粮食生产都有影响,其中气温和降水变化是较为显著的影响因素。丑洁明、叶笃正(2006)将气候变化研究和农业经济研究相结合,在经济模型C-D生产函数中添加了气候变化因子,构建了一个经济—气候新模型作为连接气候变

收稿日期:2012-11-21

基金项目:国家社科基金重大项目(08&zd015);国家社科基金重大项目(11&ZD046);中央高校基本科研业务费专项资金(KYT201005)

作者简介:周曙东,男,南京农业大学经济管理学院教授,研究方向为技术经济、环境经济。

化因素和经济变化因素的桥梁,并用来评价全球气候变化对中国粮食产量的影响。黄维(2010)等利用中国1988、1995、2000和2005年的县级面板数据,构建了包含气候变化因素、投入要素、自然环境条件变量的面板数据随机效应计量模型,并利用该模型研究了中国县域气候变化对粮食产量的影响。研究表明一定幅度内的气温上升和降水增加对中国粮食产量有正的影响,但气温和降水的变动对中国粮食产量的影响存在明显的区域差异,气温上升和降水量的增加对东北、华北以及西北地区的粮食产量产生正的作用,对其他地区则产生小幅的负面影响。周曙东与朱红根(2010)通过构建气候—经济模型(简称C-D-C模型),运用计量经济模型实证分析气候变化对南方水稻产量的影响,并对未来气候变化情景的影响进行了模拟评估。结果表明,气候变化对南方地区水稻产量有显著负影响,且气候变化对各区域影响存在差异,降水对华南、华中和华东地区有负的作用,而对西南地区有一定正影响;温度对西南、华南、华东和华中地区都有负面影响。

二、气候变化对农业生产的影响

1. 气候变化的正面影响

气候变化对中国农业生产既会带来正面影响,也会带来负面影响,其中正面影响主要表现在以下方面。

(1) 作物种植熟制北移

气候变暖会导致积温增加,作物的生长期延长,使中国长江以北地区,尤其是中纬度地区农作物的适宜生长季的开始日期提早和终止日期推迟,气候变暖使这些地区农作物生产的生长季将有所延长。这将会对中国的种植制度产生重大影响,作物种植带将北移,二熟制和三熟制的面积将会扩大。在过去的50年里,气候变暖造成了中国种植制度界限不同程度的北移。与目前常用的中国种植制度气候区划结果(1951—1980年)相比,在陕西、山西、河北、北京和辽宁等省市,一年两熟种植北界明显向北移动;辽宁、河北、山西、陕西、内蒙古、宁夏、甘肃和青海等省区冬小麦的种植北界不同程度地北移西扩。以河北省为例,冬小麦种植界限的北移,可使界限变化区域的小麦单产平均增加约25%(杨晓光等,2010)。由于气候增暖明显,使得水稻种植面积得以北扩,过去不能种植水稻的伊

春和黑河地区,现在也可以种植水稻。2000年黑龙江省的水稻种植面积比1980年扩大6倍(周秀杰、张桂华等,2004)。总的来说,在未来中国平均气温上升1℃的情况下,中国二熟制的北界将会北移,移动到现在一熟制地区的中部,而三熟制的北界也将北移,从目前的长江流域移动到黄河流域;在未来平均气温上升2℃的情况下,中国大部分两熟制地区将被三熟制地区所取代,届时一熟制地区的面积将由现在的62.3%缩小到39.2%,二熟制地区的面积变化不大,而三熟制地区的面积则将由目前的13.5%扩大到35.9%,三熟制地区的北界将向北移动达500 km之多(吴志祥、周兆德,2004)。不同组合的多熟制将会使作物的种植品种更加多样化。

(2) 冬季的冻害减轻

热量条件的改善同时使低温冷害有所减轻,晚熟农作物品种面积也将增加。气候变暖已经使北方冬麦区冻害大幅度减轻,北方冬麦区在二十世纪的五六十年代和七十年代初,几乎每年都会发生程度不同的低温冻害。八十年代以来,由于气候变暖,冬季温度升高明显,冻害的次数和强度减少减轻,从八十年代中期至今,当地还未发生过大面积的冻害(杜娟、关泽群,2007)。气候变暖后,吉林省的玉米品种熟期较过去延长了7~10天,高产晚熟玉米的种植面积迅速增长。此外,由于气候变暖,寒露风对南方晚稻生产造成的影响日益减小,从而促进了产量的提高。

2. 气候变化的负面影响

(1) 影响农作物生长发育,导致单产下降

气候变暖会对作物的生育期造成显著影响,因此未来气候变化将影响中国水稻、小麦、玉米等主要作物的单产。在气候变暖的条件下,如果没有新的适应技术,作物的生育期会缩短,这将会抵消作物全年生长期延长的效果,从而对作物产量产生影响。在平均气温上升1℃时,水稻的生育期将会缩短14~15天。目前的水稻品种分蘖速度会由于生育期缩短而加快,造成有效分蘖的减少,引起作物的穗重和总干重下降,降低作物产量。目前小麦的品种,在平均气温上升1℃时小麦的生育期会缩短10天,这样就会减少干物质的累积时间,降低籽粒的产量。气候变暖同样会缩短玉米的生育期,目前的玉米品种,当平均气温升高1℃时,玉米的生育期平均缩短7天,玉米将因此减产5%~6%(杜华明,2006)。

此外,在温室效应的影响下,高温热害将是影响中国粮食生产的严重问题。气候变化将使得温度继续升高,高温热害、伏旱将会更加严重,这将显著影响中国亚热带地区的粮食生产。随着高温热害的加剧,很多作物的生长发育都受到了限制,高温会影响到谷子、高粱、大豆、玉米等作物的产量,也会强烈抑制棉花和水稻的生长发育过程。作物不同的生长季节,在温度升高的情况下会导致不同的效果,随着种植水平、作物种类和分布地区的变化,其影响程度也会不同。

(2) 影响农作物的品质

气候变暖会对农作物的品质产生影响。以水稻为例,气候变暖将会影响稻米的外观和品质,开花至成熟阶段的高温可显著缩短水稻的成熟天数,造成成熟后的稻米籽粒充实不良,胚透明度低,籽粒不饱满,精米率降低,米粒无光泽。水稻成熟期的有效积温与米粒的透明度呈负相关关系。温度对大米的蒸煮食用也会产生明显的影响,如果在灌浆期间气温较高,则煮出的米饭较硬;如果在灌浆结实期间气候凉爽,昼夜温差大,则煮出的米饭香味较浓。光照强度对稻米品质也会造成影响,水稻生育期当中,如果光照不足将会影响作物光合作用,特别是在营养生长过旺、田间郁闭、通风透光不良的情况下,则会增加垩白米发生率。但如果光照太强,温度相应提高,使水稻成熟过程缩短,则也会使垩白率增多。直链淀粉是影响稻米蒸煮品质的一个主要因素,Fe元素和Zn元素则对人体营养十分重要,在CO₂浓度升高的情况下,水稻籽粒中的直链淀粉含量将会增加,而Fe和Zn元素含量则会下降。水稻籽粒中的蛋白质含量会随着温度和CO₂浓度的增高而降低。在CO₂浓度倍增的情况下,冬小麦籽粒中的粗淀粉含量将增加2.2%,而赖氨酸和蛋白质含量分别将下降4%和12.8%;玉米籽粒中的直链淀粉、氨基酸、粗纤维、粗蛋白和总糖含量都将下降(吴志祥、周兆德 2004)。

(3) 加剧干旱局面,影响粮食生产

中国的干旱半干旱地区主要分布在北方,约占全国陆地总面积的47%,频繁出现的干旱已成为制约中国北方地区粮食生产的重要因素,而气候变暖则会加重北方地区的干旱局面。近年来,随着全球温室效应的加剧和气温的不断升高,虽然个别地区降水有增加的趋势,但整个中国北方干旱化问题日益突出。中国气象专家张存杰对未来10年中国北方地区降水趋势进行了预测,结果表明,中国北

方总体降水将相对减少,尽管部分地区在部分年份降水会有少量增加,但总的来说,未来10年北方大部分地区将持续干旱,短期内干旱情况不会根本缓解。在南方地区,气候变暖会导致高温热害的发生,使得伏旱更加严重。中国南方雨水资源丰富,但时空分布不均,存在严重的季节性干旱,伏秋干旱经常发生。^①随着气候变暖,干旱发生频率和强度不断加大,严重影响到中国亚热带地区的粮食生产。暖温带地区的粮食生产也出现了类似问题,近3年来中国南方赣、浙、闽、湘等省份相继遭遇了百年一遇的严重秋旱和伏旱,旱情持续时间长,发展速度快,对粮食生产造成了巨大损失。

(4) 导致暴雨频发,形成洪涝灾害

气候变化会引起极端天气气候事件的频繁发生,导致暴雨频发,从而给粮食生产造成重大损失。暴雨量占全年降水量的20%~30%,大范围的连续暴雨或雨量过分集中的降水,则往往会造成山洪暴发,江河水位陡涨,甚至河堤决口,水库垮坝,路基冲毁,农田受淹,房屋倒塌,城市积水等,酿成严重灾害。近几十年来,洪涝灾害在中国局部地区发生频繁,尤其是90年代之后,长江、黄河、珠江、松花江、淮河、太湖流域连续多次发生大洪水,洪灾造成的损失日益严重。据长江流域自动观测站的资料显示,长江流域大部分地区的年平均降水量逐年上升,其中夏季降水量显著增加,暴雨日数增多。除此之外,长江上游地区的夏季暴雨期不断提前,而此时,长江中下游正值梅雨季节,两股大水并发,使得原本不难消化的上游来水成为一种负担,洪灾发生的几率也随之增强。在温室效应作用下,中国南方地区的大雨日数极有可能显著增加,特别是暴雨发生的天气会增多,洪涝灾害发生频率增大。暴雨频率增加,将直接导致水土流失和土壤侵蚀加剧,增加滑坡、泥石流等地质灾害的发生频率和强度,这些都将严重影响中国的粮食生产。

(5) 导致病虫害大面积暴发

农业病虫害的发生与气象条件密切相关,中国每年有200多亿公顷的国土面积发生农业病虫害,是耕地面积的2倍多,每年粮食因农业病虫害而减少的产量约占当年粮食总产量的9%。气候变暖会影响到中国主要农作物的病虫害发生情况,会加重农业病虫害的发展,这是因为农作物害虫的生态

^① 专家认为未来10年北方大部分地区将持续干旱[EB/OL]. <http://www.china.com.cn/chinese/OP-c/870870.htm>

学特征,如分布、生长发育、繁殖和越冬等与温度条件密切相关。低温会使农作物害虫的分布范围受到一定限制,气候变暖会改变农作物害虫的地理分布,一旦气温增高,农作物害虫的分布范围就会扩大。

气候变暖会使中国主要农作物害虫虫卵的越冬北界北移,害虫成活率提高,虫口数剧增,虫害发生期、迁入期提前,危害期延长。冬季的寒冷能够有效杀死害虫,暖冬会导致来年虫害大面积暴发,造成的农产品减产。气候变暖还会延长一些农作物害虫的生长季节,增加这些害虫的繁殖代数,延长其每年的危害时间,加重农作物的受害程度。在适宜的气候条件下,一些迁飞性害虫如水稻褐飞虱可能会大暴发。中国南方水稻产区早稻、一季中稻、一季晚稻和双季稻并存的局面有利于水稻虫害的滋生和传播。由于暖冬的持续出现以及春季高温少水的影响,水稻灰飞虱经常暴发,带毒率较以往明显升高。

冬季温度增高,有利于条锈菌越冬,使菌源基数增大,春季气候条件适宜,将会促使小麦条锈病的发生、流行加重。在气候条件适宜的年份,条锈病将有“南下”发展的趋势;另外,水稻纹枯病属高温高湿型病害,当气温为 $23\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$,并在伴有降雨或在湿度大的情况下,病情将扩展,有可能发展成为发病最广、危害最大的病害(周平,2001)。病虫害大面积暴发必将增加农药的使用量,从而提高我国农业的生产成本,并增加药物残留,影响农产品质量安全。

(6) 极端天气气候事件破坏农业设施

在全球气候变化的背景下,极端天气气候事件的发生频率呈增加趋势,强度也有增大趋势,强降雨、暴雪、高温、干旱等极端天气气候事件频繁出现,会引发区域性的农业气象灾害。中国大多数农田水利工程建设标准低,质量较差,配套不完善,而在运行管理中又因技术、经济等条件的限制而未得到及时的维修、更新改造、续修配套,在暴雨洪水等灾害的袭击后,损毁程度往往较为严重。如果遭遇严重的干旱,可造成水库堤坝裂缝,水库水位一旦低于死库容,便不能够发挥灌溉作用。而强降雨导致的山洪暴发也可能对水库造成危害,一旦水库水位高于水库的安全水位,就可能造成水库堤坝溃决。

暴雨、暴雪和冰冻等农业气象灾害也会对农业设施造成重大破坏,如损毁温室大棚、排灌设备,破

坏农业灌溉系统,引起农业生产条件的改变。由于不少地区农田排灌设施建设滞后,抵御自然灾害的能力十分有限,加之水利设施不配套,排灌能力较差,一旦遇到洪涝或干旱等灾害,水利设施难以发挥作用,从而严重影响当地粮食生产。

三、应对气候变化的适应性对策

(1) 通过引种及技术进步提高单产

引种指的是从外地区引入能供生产上推广栽培的优良品种,在气候条件或主要气候因素相同的地区之间相互引种,通过适应性试验,直接在本地区推广利用的方法,具有简便易行、见效快的优点,容易获得成功,并能够显著提高作物的单产和品质。当地的现有品种如不能够适应气候变化,导致单产下降,而在南部的相邻地区的品种则可能较好地适应更加温暖的气候,通过在相邻省份间引种提高作物单产以减少气候变化对粮食产量的不利影响,从而有效地利用热量资源而得到较高的产量。

在未来气候变化的压力下,需要大力开展耐高温、抗旱涝、抗病虫害等抗逆性品种的育种研究和科技攻关。选育作物的抗逆性应该达到以下几点:一是耐高温、耐干旱和抗病虫害,以应对气候变暖和干旱的影响;二是抗紫外线,特别是要增强对UV-B的抗性;三是耐盐碱,在未来海平面升高,沿海滩涂盐碱加重的情况下也不影响对滩涂盐碱地的开发利用。通过技术进步来提高单产是解决未来耕地下降和农产品需求上升的根本途径。

(2) 调整农业结构和布局,改革种植制度

目前中国的种植制度是以热量为主导因素的,未来气候变暖后,因积温增加和生长期延长,一熟区的边界将北移。因热量条件的改变,复种面积将扩大。各地应根据当地的气候变化特征,及时调整种植结构,优化种植模式,趋利避害,充分挖掘气候资源潜力,提高农业经济效益。西北和东北地区以种植春小麦为主,温度升高导致该地区春季干旱少雨,造成小麦减产,因此在该地区可使用耐旱的小麦品种,或者将种植期适当提前,以有效降低气候变暖对该地区小麦生产的负面影响。

(3) 推广双季稻

在农业机械化的支持下,未来在南方部分省区推广双季稻将是一种提高水稻总产量可行的对策,尤其在未来粮食需求量巨大增长的情况下,推广双季稻可以有效提高水稻的自给率。双季稻三熟制

是以双季稻为基础和一季旱作物(包含冬绿肥)的一年三熟制。双季稻主要分布在北纬 $20^{\circ} \sim 32^{\circ}$ 雨热同季的东南亚稻区。中国长江以南的亚热带,正好处在这一地区的中心地带,是双季稻三熟制的主要分布地区。在未来气温升高的情况下,我国双季稻种植北界将向北移动,界限的北移使得原有的稻—麦两熟区变成可以种植双季稻的区域。现有三熟制模式曾广泛分布于长江中下游直至华南各省,但近年来部分省区因双季稻费工、投入高等原因,并没有实际种植双季稻,而是只种一季中稻。但从气候条件分析,未来气候变暖将使这些地区的热量资源更为丰富,如果水资源满足,这些地区是能够种植双季稻的。

(4) 加强农田水利基础设施建设

农田水利基础设施是粮食生产的基础,是农业抗灾减灾的有力保障。中国的农田水利基础设施从50年代开始建设,其中的大部分工程是利用各地原有的沟、塘、坡地而兴建起来的,这些工程建设标准低、质量较差,干渠、支渠的衬砌比重小,而斗、毛、农渠的渗透系数很大,涵管、渡槽、闸等建筑物破损失修也十分严重,造成了渠系水利利用系数很低,暴雨期间蓄水集雨能力不足。在运行管理中又因技术、经济等条件限制而未得到维修和更新改造,在实行农业生产责任制以后,许多沟渠和塘坝遭到毁坏,加之投入不足,水利设施不配套,排灌能力较差,一旦遇到洪涝或干旱等灾害,会造成大面积的农田受淹或受旱。我国水稻主产区主要集中在华东和中南地区,其中,长江中下游地区以雨养农业为主,未来气候变化将会引起季节性干旱频发,从而导致灌溉用水缺乏,这就降低了粮食产量的稳定性;小麦主产区主要分布在华北、华东和中南地区,目前华北地区小麦生产的主要限制性因素之一为水分匮乏;玉米主要产区分布在东北—华北—西南的年降水量为 $600 \sim 1500 \text{ mm}$ 的农业区,其中 $1/2$ 为雨养农业。改善灌溉条件可以在一定程度上抵消气候变化的负面影响,因此应通过多个投资主体来增加对农田水利基础设施建设的投入,提高渠道水传输效率,增加有效灌溉面积,从而提高抗旱能力和抵御洪涝灾害能力。

(5) 发展节水农业

在未来气候变化导致季节性干旱、灌溉水短缺的情况下,应大力发展节水农业。中国目前灌溉水的利用率却很低,只有40%左右,而一些发达国家可达到80%以上,说明浪费严重,远未做到科学用

水。西南地区是我国重要的农产品生产基地,干旱是制约该地区农业生产发展的重要因素,但其实西南地区水资源既相对丰富,又相对匮乏。具体表现为:降雨量较为丰富,但时空严重不均;河川水资源总量大,时空分布变化大;可利用的水资源总量少,人均及单位面积可用水量低。西北地区由于气候干旱,干旱缺水现象更加严重,并且由于降水时空分布极不平衡,加之农田基础设施建设滞后,几乎是十年十旱,严重影响粮食生产。气候变暖和干旱将使水资源成为制约我国尤其是西部地区农业发展的重要因素,要大力发展节水农业,在西部地区因地制宜地发展集雨开源技术、节水灌溉技术、农艺抗旱技术和工程保水技术等农业节水技术,加强节水技术的示范推广应用,尽快形成高效节水农业投入的长效机制。

四、农业气象灾害对粮食安全的影响

中国是一个农业大国,与世界其他国家相比,灾害种类众多,几乎具有世界上所有的灾害类型。在所有的自然灾害中,气象灾害占了80%以上,其中最主要的是农业气象灾害。农业气象灾害指的是不利气象条件对农业造成的灾害,本节将重点分析农业气象灾害对粮食安全的影响。

(1) 旱灾对粮食安全的影响

旱灾指因气候严酷或不正常的干旱而形成的气象灾害。一般指因土壤水分不足,农作物水分平衡遭到破坏而减产或歉收。中国地处东亚,东临太平洋,有明显的季风气候,由于季风的不稳定性,导致中国的干旱灾害频繁发生。中国农业旱灾的主要发生区域为北方的黄淮海平原、河套平原以及南方的江南丘陵、云贵高原。近40年来,黄河中下游、海河流域、淮北地区及广东东部和福建南部沿海出现的干旱次数有35~40次,几乎平均每年有不同程度的干旱出现,其中干旱最为严重的年份是1959年、1960年、1972年、1978年和2000年,受灾面积都达到4~5亿亩,成灾面积都超过了2亿亩。90年代之后,中国农业气象灾害的发生范围有扩大的趋势,发生频率也不断增多。西北地区出现了干旱化的趋势,给小麦、玉米的生产带来不利影响;南方地区部分省份如江西出现伏旱,给水稻生产带来威胁。2000年是自1949年以来发生最为严重干旱的年份,在1999年冬旱的基础上,2000年春季和夏季黄淮、江淮持续少雨,导致冬小麦主产区

严重干旱给夏粮生产造成严重损失,东北三省、长江下游和四川先后出现春夏连旱和伏秋旱,给上述地区秋粮造成严重灾害,全国受旱面积60811万亩,成灾40175万亩,因旱灾减产粮食12033万吨,减产幅度达到25%。2009年初,河北、河南、山东、江苏等粮食主产区的15个省、市均出现不同程度的旱情,干旱造成全国1.36亿亩作物受旱,其中重旱3981万亩,有346万人、166万头大牲畜因旱发生饮水困难。2010年中国西南五省市云南、贵州、广西、四川及重庆遭受了百年一遇的特大旱灾,耕地受旱面积1.16亿亩,其中作物受旱9068万亩,重旱2851万亩、干枯1515万亩,有2425万人、1584万头大牲畜因旱饮水困难,严重旱情导致逾六千万人受灾,返贫人口达200多万,因灾经济损失超过350亿元。因此,旱灾是影响中国粮食生产的首要自然灾害。^①

(2) 洪涝灾害对粮食安全的影响

中国大部分地区的年降水量都集中在夏季,年际变化较大,洪涝灾害较为频繁。洪涝灾害会对农业生产带来一系列影响。洪涝灾害对农业的影响具体表现在以下几个方面,一是强降水导致农田出现内涝,农田被冲毁,而且被冲毁的农田土壤肥力流失严重,不仅造成当季绝收,还会对补种、改种作物产生不利影响;二是强降水会抑制水稻等作物生长发育,稻田灌水过深,造成含氧量少,使分蘖受抑制,直接影响产量;三是南方地区处于开花授粉阶段的早稻、玉米等作物如受暴雨冲刷,会使授粉结实率受到较大影响,不利于后期产量形成;四是持续阴雨天气会导致田间过湿,造成旱地作物根系发黑,生长停滞甚至淹死;五是部分地区在出现强降水的同时还伴随着大风、冰雹等强对流天气,这将导致作物倒伏,如玉米出现倒伏,产量和品质受到很大影响,采收后易腐烂。所有这些将降低产量与品质,从而造成经济损失。

1954年发生的洪灾是建国以来最为严重的一次。全国的洪涝受灾面积超过1600万公顷,仅长江流域就有316万公顷的耕地被淹,死亡人数达3.3万。1998年大洪水是二十世纪第二位的全流域型大洪水(仅次于1954年),全国共有29个省受灾,农田受灾面积3.18亿亩,成灾面积1.96亿亩,受灾人口2.23亿人,死亡3千多人,房屋倒塌497万间,经济损失达1666亿元,因洪灾减产粮食6033万吨,减产幅度达到12%。2010年中国极端灾害性天气突发多发,江南、华南、西南、东北和江

淮等地区先后出现多次大范围强降雨过程,汛情发生早,洪涝灾害种类多,受灾程度重,洪涝灾害造成全国2亿人次受灾,1454人死亡,669人失踪,1347.1万公顷农作物受灾,其中209万公顷绝收,因灾直接经济损失2751.6亿元。因洪灾减产粮食3421万吨,减产幅度达到6%。^②

(3) 极端天气事件对粮食安全的影响

① 热带气旋(台风)

热带气旋是一种有着很强破坏力的天气现象,是在热带海洋大气中形成的中心温度高、气压低的强烈涡旋的统称。中国受季风气候影响十分强烈,气象灾害频繁,东部沿海地区平均每年约有7个热带气旋登陆。台风登陆时中心附近风力可达12级以上,足以摧毁建筑房屋,吹倒庄稼、树木,对农业生产影响很大。热带气旋会导致恶劣天气如狂风、暴雨、风暴潮、巨浪等,导致房屋、畜禽舍被吹毁,水稻、玉米、果树被吹倒,水产养殖场全部淹没,台风巨浪冲毁损坏围网,造成鱼蟹大量逃逸。近年来,每年热带气旋造成的损失平均都在百亿元人民币以上。2009年台风“莫拉克”于9日16时20分在福建霞浦县登陆,造成浙江省温州全市、台州全市、嘉兴市秀洲区、海盐、桐乡、嘉善、丽水青田、景宁、金华磐安等县(市、区)受灾。根据温州、台州、嘉兴、丽水、金华等市防指办报告,上述27个县(市)454个乡镇农作物受灾面积143.2千公顷,成灾农田面积66.3千公顷,绝收面积17.7千公顷,因灾减产粮食15万吨,死亡大牲畜3771头,水产养殖损失10.1千公顷2.2万吨。^③

② 暴雪低温冷冻

雪灾是大量降雪造成大范围积雪成灾的自然现象,低温冷冻是指由于寒潮和冷空气的侵入,导致连续多日的气温大幅度下降,造成农作物冻伤和减产。这些都属于极端天气事件,我国历史上的严重冻害发生在1968年、1975年和1982年,导致的死苗毁种面积都在20%以上。2002年4月下旬,山东省有43个县遭受了严重的霜冻灾害,小麦、蔬菜、果树、桑苗普遍受冻,农作物受灾面积达51万公顷,直接经济损失64亿元。2008年初中国南方出现的雨雪冰冻天气范围广、强度强、持续时间长,

① 数据来源于中国气象局《中国干旱灾害数据集》《中国暴雨洪涝灾害数据集》《中国热带气旋灾害数据集》内部电子版数据,2010。

② 同上

③ 同上

使农业遭受了严重损失,农作物受灾面积 1431.8 万公顷,其中成灾面积 1737.5 万公顷,绝收面积 197.1 万公顷。仅江苏省由此遭受的农业直接经济损失达 10.9 亿元,约占全部直接经济损失的 50%。小麦产量因雪灾减产 908 万吨,减产幅度达 8%。^①

五、不同情景方案对粮食安全影响的情景模拟分析

人类可以采取积极有效措施以应对气候变化,有效利用气候变化带来的正面影响,尽量规避、减少气候变化带来的负面影响,从而达到趋利弊害的目的。本文运用中国农业政策分析模型分别对气候变化影响以及适应性措施的不同情景方案对粮食安全影响进行情景模拟分析。

1. 基准线预测方案

首先需要对全国水稻、小麦、玉米三大粮食作物的生产量和需求量进行了基准线模拟预测。基准线模拟期定于 2020 年,在目前耕地下降、人口增加趋势的基础上,对 2020 年全国及各省的耕地、人口进行外推,大豆、棉花、油菜进口量在 2008 年的基础上增长 20%。将这些变化作为外生变量引入中国农业政策分析模型,据此模拟出的结果作为以后各模拟方案对比的基础。

基准线预测的模拟结果表明,到 2020 年全国对水稻、小麦、玉米的需求量分别为 21447 万吨、15681 万吨、22915 万吨,对三大粮食作物的总需求量将达到 60044 万吨。按照 2020 年基准期三大粮食作物的产量计算,则三大粮食作物的粮食自给率为 77.2%,其中水稻、小麦和玉米的自给率分别为 86.3%、71.6% 和 72.4%。

2. 气候变化影响模拟方案

(1) 气候变化影响方案(情景 1):假设未来部分省区发生干旱造成季节性缺水的情景方案

气候变化影响模拟方案情景 1 根据近 3 年来中国部分省区干旱发生的实际情况,假定未来华北地区的河北、山东、河南等省和西南地区的四川、重庆、云南等省(市)发生春旱,中部地区的湖北、湖南、江西等省发生秋旱,贵州、广东、广西则既发生春旱又发生秋旱,根据其作物干旱面积和需水量分别计算出这些省区发生干旱季节性缺水时的水资源减少量,运用中国农业政策分析模型来模拟未来部分省(市)发生干旱季节性缺水对粮食生产的影响。

响。

气候变化影响方案(情景 1)模拟分析显示,在未来部分省区发生干旱的情景下,全国除大豆、棉花、蔬菜以外的主要农作物播种面积都出现减少,其中水稻、小麦、玉米三大粮食作物播种面积分别减少 3.6%、2.4% 和 2.4%。秋旱主要影响水稻生产,对于湖北、湖南、江西等发生秋旱的省区,秋旱发生的时期正是其水稻最为关键的结实期,导致水稻产量普遍减少,其中江西减少 14.8%,湖北减少 29.0%,湖南减少 13.1%。而春旱则主要影响小麦生产,对于河北、安徽、云南、陕西等发生春旱的省区,春旱发生的季节是其小麦生长发育的关键时期,需水量在全生育期最大,春旱造成的季节性缺水,不仅会影响小麦的分蘖成穗,还会影响小麦穗子的大小和籽粒多少,使小麦产量普遍减少,其中河北减少 41.6%,安徽减少 47.0%,云南减少 46.8%,陕西减少 19.1%。全国粮食总产量将减少 0.5%。从地区来看,因为发生干旱的省区主要集中在华北、西南和西北三个地区,这三个地区的粮食产量会出现减少,分别减少 18.2%、0.4% 和 14.6%。全国的粮食自给率会由此降低 0.4 个百分点。

(2) 气候变化影响方案(情景 2):假设未来气候变化造成粮食单产下降的模拟情景方案

根据林而达、熊伟、张宇、王馥棠等人的研究结果,在未来气候变化的情况下,中国早稻单产大多表现出不同程度的下降趋势,其中重庆、福建等省区的下降幅度最大;中稻单产也表现为不同程度的下降,其中东北地区下降幅度最大,华北地区下降幅度明显大于长江中下游地区;晚稻单产也表现为不同程度的下降趋势;未来气候变化条件下,若未更替当前小麦生态类型区的适应性品种,则全国小麦单产普遍下降,小麦平均减产 7.7%,其减幅大约由南向北增加;玉米表现为全国主要玉米产区均出现减产,玉米平均减产 4.8%,减产区主要集中在东北平原、华北平原、四川盆地、黄土高原及长江流域地区。本文根据上述自然科学的研究结果,整理计算出未来气候变化情况下中国各省区水稻、小麦、玉米三大粮食作物的单产变化情况,利用这些单产数据在中国农业政策分析模型下来模拟未来气候变化引起粮食单产下降对粮食生产的影响。

^① 数据来源于江苏省气象局 2008 年江苏雪灾资料汇编(内部资料) 2008。

气候变化影响方案(情景2)的模拟结果显示,在未来气温升高导致粮食单产下降的情景下,全国粮食总产量将减少10.1%,其中水稻总产量将减少12.8%,小麦总产量将减少10.0%,玉米总产量将减少7.1%。说明气温升高将对中国水稻、小麦、玉米三大粮食作物的生产带来较为严重的不利影响,粮食产量将出现一定程度的下滑,尤其是水稻和小麦两大粮食作物的减产幅度均超过10%。从地区来看,在未来气温升高粮食单产下降的情景下,华北、华东、中南和西北四个地区的水稻、小麦和玉米产量都将减少,东北地区水稻和玉米产量将增加而小麦产量将减少,西南地区小麦产量将增加而水稻和玉米产量将减少。华北、华东、中南、西南、西北五个地区的粮食产量都将出现减少,分别减少1.8%、11.5%、25.6%、11.9%和6.9%;东北地区的粮食产量则将小幅增加,增加7.2%。东北地区处于中国北方的高纬度地区,未来气候变暖将使高纬度地区热量不足的状况有所改善,因此在东北地区,气候变暖对农作物生长的正影响超过负影响,其粮食产量表现为提高。

未来气温上升导致的粮食单产下降将对中国今后的粮食生产带来一定程度的不利影响,除东北地区外,其他五个地区的粮食产量都将下降,全国粮食总产量将出现一定幅度的下滑,水稻、小麦和玉米的自给率分别下降11%、7.2%和5.1%,对中国未来的粮食安全形势构成重大威胁。

3. 气候变化适应性方案

气候变化适应性方案将模拟人类采取积极有效措施以应对气候变化,通过情景模拟来估计所发挥的作用。

(1) 气候变化适应性方案(情景3):部分省区推广双季稻对粮食安全影响的情景模拟分析

根据杨晓光(2010)等人的研究结果,未来由于气候变暖,积温增加,热量资源更为丰富,如果仅考虑气候要素的影响,双季稻的适种范围将发生变化,江苏、安徽、湖北、湖南等省的双季稻种植北界将向北移动60公里左右,如果在能够满足双季稻种植条件的省份推广双季稻,则上海、浙江、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南全境将可以种植双季稻,湖北可以种植双季稻的地区将达到全省的80%,安徽可以种植双季稻的地区将达到全省的50%,江苏、重庆、贵州、云南可以种植双季稻的地区将达到全省的20%。将此作为本研究设计的模拟情景,模拟通过扩大双季稻播种面积提高水稻产

量的作用。

气候变化适应性方案(情景3)的模拟结果显示,未来在部分省区推广双季稻的情景下,粮食产量将上升为47007万吨,按照上述2020年全国60044万吨的粮食需求来计算,则粮食自给率为78.3%,比基准期水平提高了1.1个百分点。水稻、小麦和玉米的自给率分别为89.5%、71.6%和72.4%,水稻自给率比基准期提高3.2个百分点,小麦和玉米自给率则变化不大。未来在长江流域和华南地区大力推广双季稻,增加双季稻种植面积,可以充分利用这些地区气温上升带来的积温增加的好处,使这些地区的水稻产量明显增加,提高水稻的自给率。

(2) 气候变化适应性方案(情景4):引种和技术进步对粮食安全的情景模拟分析

通过在相邻省份间引种和技术进步来提高粮食单产是一个应对气候变化适应性方案。从目前各地区从相邻地区引入作物新品种的实际情况看,引入的新品种在各个主要性状方面均能超过当地现有品种,其单产和现有品种相比都能有一定幅度的提高。通过技术进步来提高单产是解决未来耕地下降和农产品需求上升的根本途径。根据2011年农业部颁布的《农业主导品种和主推技术推介发布办法》,假设主推的水稻、小麦、玉米品种能够在目标省份得到普遍推广,根据各省区引种后的作物单产数据以及新品种的单产,计算出在未来气温上升情景下各省区引种后其水稻、小麦、玉米能达到的单产数值和单产变化情况,进而运用在中国农业政策分析模型下来模拟对粮食生产的促进作用。

气候变化适应性方案(情景4)的模拟结果显示,粮食产量和基准期相比将上升为53222万吨,按照上述2020年全国60044万吨的粮食需求来计算,则粮食自给率为88.6%,比基准期水平提高了11.4个百分点,比气温上升情景则提高了19.2个百分点。水稻、小麦和玉米的自给率分别为99.2%、74.1%和88.1%,水稻自给率比基准期提高23.9个百分点,小麦自给率比基准期提高9.7个百分点,玉米自给率比基准期提高21.5个百分点。引种和技术进步提高粮食自给率的程度要明显高于单纯推广双季稻,对于保障国家粮食安全的作用更为重要。

(3) 气候变化适应性方案(情景5):综合适应性方案对粮食安全的情景模拟分析

情景5(综合适应性方案)是在情景1的基础

上,将气候变化适应性方案(情景3)与(情景4)结合起来综合应用。假设部分省区春秋季节发生干旱季节性缺水,并且同时推广双季稻以及在相邻省份间引种及技术进步提高粮食单产的气候变化综合适应性方案。该方案综合考虑了上述几种不同方案,不仅考虑到气温升高和季节性缺水两种不利情景,也同时考虑到了推广双季稻和相邻省份间引种两种有利情景,比单纯考虑某一种方案更符合未来可能的实际情况,对未来的气候变化适应性方案选择具有更强的现实意义。

在气候变化综合适应性方案情景下,我国粮食产量将上升为59586万吨,粮食自给率将达到99.2%,基本达到粮食完全自给,其比基准期水平提高了22.0个百分点,比气温上升情景则提高了29.8个百分点,比单独推广双季稻情景提高了20.9个百分点,比单独引种和技术进步情景提高了10.6个百分点。水稻、小麦和玉米的自给率分别为111.0%、98.5%和88.1%,水稻自给率比基准期提高24.7个百分点,实现完全自给,小麦自给率比基准期提高26.9个百分点,接近完全自给,玉米自给率比基准期提高21.5个百分点。综合适应性情景对于提高粮食自给率的程度要明显高于单纯推广双季稻和单纯引种和技术进步。因此,在未来气温升高和部分省区发生季节性干旱缺水的情况下,通过同时采取在南方省区推广双季稻并且在相邻省份间引种的综合适应性措施,可以抵消气候变化对粮食生产的不利影响,进一步提高全国粮食产量,从而强有力的保障国家粮食安全,实现国家粮食安全战略目标。

六、结论与政策含义

第一,气候变化对中国农业生产既会带来正面影响,也会带来负面影响,其中的正面影响主要表现在:气候变暖会导致积温增加,作物的生长期延长,促使作物种植熟制北移;热量条件的改善同时使低温冷害有所减轻,晚熟农作物品种面积也将增加。负面影响主要表现在:气候变暖会对作物的生育期造成显著的影响,加速农作物生长发育,导致单产下降;对农作物的品质产生不利影响;加剧干旱局面,影响粮食生产;导致暴雨频发,形成洪涝灾害;导致病虫害大面积暴发。极端天气气候事件还会破坏农业设施。

第二,在未来部分省区发生干旱的情景下,全

国粮食总产量将减少0.5%。华北、西南和西北三个地区粮食产量会出现减少,尤其是华北和西北地区的粮食减产幅度均超过10%。因此有关政府主管部门要进一步完善节水农业用水、用电方面的扶持政策,多渠道建立农业节水补贴制度,积极采取以奖代补、财政贴息、金融信贷支持等方式,加快发展高效节水农业,提高水资源利用效率,同时加大水利基础设施建设,提高农业生产应对干旱的能力。

第三,在未来气温升高粮食单产下降的情景下,全国粮食总产量将减少10.1%,华北、华东、中南、西南、西北五个地区的粮食产量都将出现减少,华东和东南地区的粮食减产幅度均超过10%,而东北地区的粮食产量则将小幅增加。全国粮食自给率下降到69.4%。这将威胁到国家粮食安全,各级政府需要采取积极的适应性措施以应对气候变化对农业生产的不利影响。

第四,推广双季稻会对全国粮食产量的提高带来积极作用。在未来部分省区推广双季稻的情景下,全国粮食总产量将增加1.5%。粮食自给率上升为78.3%。在南方满足双季稻种植条件的地区大力推广双季稻,可以有效提高这些地区的水稻产量从而提高全国粮食总产量。

第五,引种和技术进步对全国粮食产量提高有着显著的作用。在引种和技术进步的气候变化适应性情景下,全国粮食总产量将增加14.9%,华北和东北地区粮食产量增幅较大,这两个地区的粮食产量占全国粮食总产量的比重将从基准期的31.1%提高到39.2%。全国粮食自给率达到88.6%。因此引种和技术进步提高粮食自给率的程度要明显高于单纯推广双季稻,对于保障国家粮食安全的作用更为重要。政府应加大对农业科研的投资力度,促进研发单位选育和推广适应气候变化的作物新品种,通过技术进步强化农业适应气候变化的能力。

第六,推广双季稻、引种和技术进步多种措施多管齐下对全国粮食产量的提高程度更为明显。在气候变化综合适应性情景下,全国粮食总产量将增加28.6%。除西北地区外的五个地区粮食产量都将出现增长,尤其是华北和东北地区粮食产量增幅较大,这两个地区的粮食产量占全国粮食总产量的比重将从基准期的31.1%提高到39.4%。模拟结果显示,粮食自给率将达到99.2%,表示到2020年通过这些适应性措施可以实现水稻的完全自给,

小麦则可望达到目前农业部发布的保障粮食安全的目标,小麦的自给率实现 98.5%,但玉米仍不能达到农业部发布的保障粮食安全的目标,玉米的自给率仅为 88.1%,仍需要通过进口来解决。

参考文献:

- 杜娟,关泽群. 2007. 气候变化及其对农业的影响[J]. 安徽农业科学, 35(16): 4898-4899.
- 杜华明. 2006. 气候变化对农业的影响研究进展[J]. 甘肃农业, (1): 97.
- 丑洁明,叶笃正. 2006. 构建一个经济—气候新模型评价气候变化对粮食产量的影响[J]. 气候与环境研究, 11(3): 347-353.
- 黄维,邓祥征,何书金,等. 2010. 中国气候变化对县域粮食产量影响的计量经济分析[J]. 地理科学进展, 29(6): 677-683.
- 熊伟,陶福祿,许吟隆,等. 2001. 气候变化情景下我国水稻产量变化模拟[J]. 中国农业气象, 22(3): 1-5.
- 熊伟,居辉,许吟隆,等. 2006. 气候变化下我国小麦产量变化区域模拟研究[J]. 中国生态农业学报, 14(2): 164-167.
- 王宏广. 2005. 中国粮食安全研究[M]. 北京: 中国农业出版社.
- 王馥堂. 1996. 气候变化与我国的粮食产量生产[J]. 中国农村经济, (11): 19-23.
- 吴志祥,周兆德. 2004. 气候变化对我国农业生产的影响及对策[J]. 华南热带农业大学学报, 10(2): 7-11.
- 姚凤梅. 2005. 气候变化对我国粮食产量的影响评价[D]. 北京: 中国科学院研究生院.
- 杨晓光,刘志娟,陈阜. 2010. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学, 43(2): 329-336.
- 周平. 2001. 气候变化对我国农业生产的可能影响与对策[J]. 云南农业大学学报, (3).
- 周曙东,周文魁,朱红根,等. 2010. 气候变化对农业的影响及应对措施[J]. 南京农业大学学报: 社会科学版, 10(1): 34-39.
- 周秀杰,张桂华,郑红,等. 2004. 黑龙江省气候变化对极端天气气候事件的影响[J]. 气象, 30(11): 12-17.

(责任编辑: 宋雪飞)

The Impact of Future Climate Change on China's Food Security

ZHOU Shudong, ZHOU Wenkui, LIN Guanghua, QIAO Hui

(College of Economics and Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: This paper analyzes the positive and negative impacts of future climate change on agricultural production in China, explores adaptive countermeasures in response to climate change, identifies the impacts of agricultural meteorological disasters on food security, and makes a simulation analysis on the impacts on food security with different scenarios of climate change and adaptive measurements. The simulation results shows that the decline in grain yields owing to temperature rise would bring some unfavorable impacts on grain production in China, and, except in Northeast China, grain production will decline in other five regions in China, which poses a major threat to China's food security in future. Seasonal drought in some provinces would affect regional food security in the arid and semi-arid regions of northern and northwestern China. Adaptive countermeasures in response to climate change help achieve the purpose of avoiding disadvantages. The promotion of double cropping system of rice in the Yangtze River Basin and the rest of South China could take the advantage of the temperature rise, and the accumulated temperature rise in these regions could significantly increase rice yield. The introduction of new varieties and technological improvement play an important role in improving the national grain production. The application of combined countermeasures would make more significant achievements for the increase in the grain production in China.

Key words: Climate Change; Food Security; Technological Improvement; Scenario Analysis