

Effect of Climate Change on Agriculture and the Countermeasures in China

Dongli Wu¹, Qi Li^{2,3}

¹Meteorological Observation Center of China Meteorological Administration, Beijing

²Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing Jiangsu

³Jiangsu Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology, Nanjing Jiangsu

Email: wudongli666@126.com

Received: Mar. 10th, 2018; accepted: Mar. 21st, 2018; published: Mar. 28th, 2018

Abstract

Global warming, so that China's agriculture to some extent, also affected, but there is pros and cons of these effects in two ways. This article discusses the two dominant factors of temperature and precipitation under the influence study of CO₂ as a variable to explore the impact on China's agriculture. Major study on the impact of various aspects of plants, which focuses on the impact on crop yields, such as food crops, cash crops, livestock and fisheries production in the impact of a brief discussion of the agro-meteorological disasters, pests and diseases, soil and other auxiliary factors, impact. And to adapt to climate change and the proposed countermeasures, and for future studies of climate change impacts on China's agriculture outlook.

Keywords

Climate Change, China's Agriculture, Impact, Response

气候变化对中国农业的影响及对策研究

吴东丽¹, 李 琪^{2,3}

¹中国气象局气象探测中心, 北京

²江苏省农业气象重点实验室, 江苏 南京

³江苏省大气环境与装备技术协同创新中心, 江苏 南京

Email: wudongli666@126.com

收稿日期: 2018年3月10日; 录用日期: 2018年3月21日; 发布日期: 2018年3月28日

摘要

全球气候变暖,使中国农业在一定程度上也受到影 响,而这些影响存在利弊两方面。本文主要讨论了在温度及降水两个主导因素的作用下,研究探讨CO₂作为变量对中国农业造成的影响。主要研究对植物的各方面影响,其中着重阐述了对作物产量的影响,例如粮食作物、经济作物、牧业和渔业的产量的影响,简要讨论了对农业气象灾害、病虫害、土壤等辅助因素的影响。最后针对适应气候变化提出了相关对策,及未来研究气候变化对中国农业影响的展望。

关键词

气候变化, 中国农业, 影响, 对策

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国气候变化是在全球气候变化的背景下发生的,因此在各个时间尺度上的变化许多方面都和全球气候变化有一致性。目前有关全球气候变化的研究主要集中在大气中CO₂浓度升高、酸雨增加、O₃增加、紫外线增强等对作物的影响以及农田和反刍动物的CH₄、N₂O、SO₂等温室气体的排放规律[1] [2] [3]等方面。中国位于季风区,其环境具有空间上的复杂性和时间上的易变性,而且处于经济高速发展、人口压力剧增的时期,对外界变化的响应和承受力具有敏感和脆弱的特点。农业生态系统是受人类强烈干预的人为控制系统,也是自我调节机制较为薄弱的生物系统,是全球气候变化的主要承受者[4]。良好的农业生产环境对中国的现代化建设起着至关重要的作用。因此,分析气候变化对中国农业的影响变得极为重要。

2. 中国气候变化的特征

2.1. 温度变化

我国学术界对中国近50~100年温度变化的总体特征已有较深入的研究[5]-[10]。其中最近的研究结果显示:近50年来,除西南和华南的局部地区外,中国的大部分地区均呈现升温趋势,其中增暖幅度大致呈纬向分布,由南向北逐渐递增。在季节上,增温季节以冬季最为显著,但不同区域的季节增温趋势有较大差异,其中东北地区一年四季均增温;华北、华东、西北地区冬、春、秋三季增温,夏季降温;华南地区春季降温,夏、秋、冬增温;西南地区冬、春季降温,夏、秋略有增暖;青藏高原春季略有降温,夏、秋、冬则增温[11]。寒冷干燥的地区升温幅度比暖湿地区明显,如东北地区出现永久冻土带界限北移现象[8],华北地区冬季升温幅度高于夏季。

王馥棠[12]根据GCM(全球大气环流模式)模拟输出及随机天气发生器的计算,得出未来中国气温的可能变化(表1)。

2.2. 降水变化

降水丰富的长江中下游地区(华南地区)年降水量有增加趋势,东北地区变化不明显,两地区均有极端

Table 1. Possible air temperature increase in future China (°C)
表 1. 未来中国气温的可能增温值(°C)

年份	冬季	春季	夏季	秋季	年平均气温
2010	0.38	0.35	0.34	0.35	0.35
2020	0.69	0.63	0.62	0.64	0.65
2030	0.93	0.86	0.84	0.87	0.88
2040	1.12	1.04	1.02	1.05	1.06
2050	1.48	1.37	1.34	1.38	1.40

降水事件频率增加的趋势；而相对干旱的西北地区和华北地区不同学者虽有不同的看法，但多数学者认为有降水量减少的趋势。温度大部分地区呈上升趋势，降水量存在地区分布不均趋势，且这种趋势在温度上升的大背景下有增大的可能。降雨量多的地区继续增多，降雨量少的地区将会继续减少[11]。

葛全胜等指出，在作物生长期期间，全国平均降水在近 40 年中存在明显的准年代波动，却没有明显的增加或减少趋势[13]。1980 年以后，生长期期间降水趋势变化的区域差异却较为明显；新疆、东北及长江中下游的部分地区降水增加，而除此之外的全国大多数地区则以降水减少占绝对优势，华北地区的降水减少最为明显。20 世纪 80 年代以后，中国的东北、华北、西北、长江下游地区与云南南部春季物候期提前，西南地区东部、长江中游地区春季物候期推迟。这一变化趋势与中国生长期期间的温度变化趋势相对应[11]。

3. 气候变化对中国农业的影响

气候变化使中国未来农业生产面临三个突出问题：一是使农业生产的不稳定性增加，产量波动加大；二是带来农业生产布局 and 结构的变动；三是引起农业生产条件的改变，农业成本和投资大幅度增加[14]。

3.1. 对农业种植制度的影响

气候变暖，生长季延长，对我国种植制度影响重大。在技术进步的共同作用下，1986~1995 年的 10 年间，全国耕地复种指数增加了 9.5%，东北地区耕地复种指数达 102%。伴随着冬麦北移的成功[15] [16] [17] [18]，北方地区种植制度将发生进一步变化。

根据全球社会经济情景 IS92a 与 7 个未来气候情景 GCM 的合成模型预测，到 2050 年中国的温度可能上升 1.4°C，降水可能增加 4.2%，在这种气候变化情景下，中国作物的种植制度将可能发生变化。王馥棠[19]根据合成 GCM 产生的中国区域气候变化情景估算，可以模拟评价气候变暖对中国种植制度的潜在影响。结果表明，到 2050 年，除了海拔很高的青藏高原地区和东北北部的部分地区以外，几乎其他所有地方的种植制度都将发生较大的变化(表 2)，最显著的变化将会发生在中国最重要的东部农业生产区。

由表 2 可知，一熟种植面积将下降 23.1%，二熟种植面积由 24.2%变为 24.9%，三熟种植面积由当前的 13.5%提高到 35.9% [20]。两熟制北移到目前一熟制地区的中部，目前大部分的两熟制地区将被不同组合的三熟制取代，三熟制地区的北界由长城流域北移到黄河流域[21]。由于气候变暖，将使中国长江以北地区，特别是中纬度和高原地区的适宜生长季开始日期提前、终止日期延后，农业生产潜在的适宜生长季有所延长[22]。程延年[23]则具体指出，在热量条件有保证的情况下，年降水量小于 600 mm，只能一年一熟或两年三熟；年降水量大于 800 mm，方可稻麦两熟。因此，要想利用气候变暖的契机提高复种指数，必须大力发展节水农业，在雨养农业地区开展旱地农田种植体系的研究。

Table 2. Changes in the area ratio of various planting systems under the climate scenario in 2050 in China (%)
表 2. 2050 年气候情景下中国各种种植制度面积比的变化(%)

	当前(1951~1980年)	2050年	可能变化
一熟制	62.3	39.2	-23.1
两熟制	24.2	24.9	+0.7
三熟制	13.5	35.9	+22.4

3.2. 对作物产量的影响

3.2.1. 粮食作物

王馥棠[19]在三种平衡 GCM 模式(GFDL、MPI 和 UKMOH)产生的 2050 年气候变化情景的基础上, 利用改进的适合于中国农业实际的三种作物模型(ORIZA1 水稻模型、CERES-wheat 和 CERES-maize 模型)完成了对作物产量影响的模拟试验, 模拟出了作物产量可能的变化范围(表 3), 结果表明, 在农业种植方式和耕作措施不发生变化的情况下, 大气 CO₂ 浓度增加引起的气候变暖对玉米影响最明显, 其次为冬小麦, 对水稻产量的影响最小。在区域上, 对北方的影响大于南方; 在季节上, 以秋季气候变化的影响最为明显。气候变化对作物产量的影响在空间分布上有一定差异。如水稻中的单季稻由北向南减产幅度逐渐增加, 在华北中北部产量下降最大(约为 17%), 黄河中下游和西北地区产量下降较小(10%~15%), 江淮地区和四川盆地产量下降最小(6%~10%); 早稻则是长江以南的南方中部稻区产量下降最小(2%以下), 其周边地区特别是西部地区, 产量下降较多(一般在 2%~5%); 南方稻区长江以南的西北部, 晚稻产量下降较多(10%~15%), 东南部下降较小(7%~10%)。

3.2.2. 经济作物

根据三种平衡 GCM 模式(GFDL, MPI 和 UKMOH)预测的气候变化情景, 研究表明, 未来对于棉花这样的喜高温作物, 气候变暖将使当前种植区内的品种逐渐被相对晚熟的类型取代, 品种类型变化比较明显的地区可能会出现在长江中下游地区、黄淮地区以及新疆东部。虽然气候变化使中国整体范围的棉花生产潜力得到提高, 但是, 这种生产潜力的提高也存在区域间的差异, 可能少部分地区的产量有下降趋势, 例如新疆东部和南疆北缘[22]。

另外的模式研究表明, 中国的棉花生产在短暂的增产之后会受到气候变化的不利影响, 如果没有采取任何适应措施, 棉花的增产幅度趋缓[24]在未来 CO₂ 倍增条件下(GFDL, MPI 和 UKMOH), 中国大部分的大豆产区都表现出了减产的趋势, 如果缺乏灌溉条件, 东北的减产幅度可达到 15%, 黄淮海平原的夏大豆和江南、华南的秋大豆略有减产, 减产约 1%~2%; 如果灌溉条件满足, 东北的北部增产幅度十分明显, 而江南、华南、其他东部的大豆产区基本都表现减产 1%~2%。采用瞬变模式(HadCM2 和 ECHAM4)研究和平衡模式的结果基本一致, 东北北部的增产在黑龙江的黑河明显, 而江南等大多地区也表现为不同程度的减产。灌溉大豆较雨养大豆的减产幅度较小, 说明灌溉能够减缓气候变化对大豆的不利影响。在未来 CO₂ 倍增条件下(GFDL, MPI 和 UKMOH), 中国主要的花生种植区均表现为不同程度的减产。雨养花生平均减产大约在 4.7%~6.0%左右; 灌溉花生除在东北部分地区表现增产外, 在其他种植区也都表现为不同程度的减产趋势, 但总体减产幅度较雨养花生有一定的降低, 大约为 2.5%~4.8% [22]。

3.2.3. 牧业和渔业

近 20 年来, 中国内蒙古草原区有变暖的趋势, 冬季增温尤为明显, 温度的升高使草原地区的春季干旱进一步加剧, 根据模型计算的净第一性生产力以及羊草样地实测的地上生物量结果显示, 自 1993 年

Table 3. Possible changes in crop yield estimated under the climate change scenario in 2050 (%)**表 3.** 模拟 2050 年气候变化情景下估算的作物产量可能变化(%)

作物种类	范围	平均
雨养冬小麦	-0.2~-23.3	-7.7
灌溉冬小麦	-1.6~-2.5	-2.0
雨养春小麦	-19.8~-54.9	-31.4
灌溉春小麦	-7.2~-29.0	-17.7
早稻	-1.9~-5.2	-3.7
晚稻	-8.8~-12.9	-10.4
单季稻	-8.0~-13.7	-10.5
雨养春玉米	-19.4~+5.3	-
灌溉春玉米	-8.6~+3.6	-
雨养夏玉米	-11.6~-0.7	-
灌溉夏玉米	-11.6~+0.7	-

以来内蒙典型草原的生产力有明显下降的趋势[25]。在未来气候变化的情景下, 由于温度和降水的改变, 牧草的生长量也发生变化, 从而影响到放牧牲畜的生产能力[26]。研究预测, 在 GFDL 和 UKMOH 情景下, 2030 年内蒙古放牧肉牛的体重将增加 4.7% 和 5.2%, 而 MPI 下则降低 9.8%, 结果的差异可能源于不同情景的温度和降水时空配置不同, 使牧草的生产能力受到影响, 间接影响了放牧肉牛的饲草获取量[27]。

由于渔场和鱼汛期直接受海流和海温的影响, 而海流、海温变化和气候变化密切相关, 因而渔业生产对气候变化的反应较为敏感。有学者利用引进的渔业模型(FISH BIOENERGETICS MODEL2)对中国沿海主要鱼种, 如带鱼、小黄鱼、大黄鱼的生长进行了动态模拟[28]。研究发现, 水温的变化会直接影响鱼类的生长、摄食、产卵、洄游、死亡以及鱼类种群的变化, 并最终影响到渔业资源的数量、质量及其开发利用。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将有不同程度的降低, 在 CO₂ 年递增率为 1% 的 HadCM2 情景下, 2030 和 2056 年的经济鱼产量降低幅度为 5%~15%, 渔获量降低幅度为 1%~8%。

3.3. 对作物生产潜力的影响

据研究, 中国 20 世纪 80 年代光温生产潜力有明显增长的趋势, 北方增幅大于南方[29]。未来气候变化对作物生产潜力的估算, 大多是在模拟 CO₂ 浓度倍增的前提下进行的。陶战等[30]认为我国种植业生产潜力将因气候变化而下降 5% 左右。李玉娥等[31]认为我国北方冬麦区小麦和玉米的生产潜力都将不同程度地提高。张厚宣[32]模拟计算我国南方稻区在自动灌水和雨育两种种植方式下, 在现有品种不变的前提下, 双季稻和单季稻气候生产潜力普遍下降。

金之庆等[33] [34]在考虑气候条件变化并考虑 CO₂ 的直接作用, 得出北方冬小麦产量将显著增加, 而南方麦区的减产幅度亦趋向缓和, 有的甚至增产; CO₂ 浓度的增加减少了玉米叶片的蒸腾量, 提高了水分利用率, 从而增强了玉米的适应能力, 提高了生产力。郑有飞等[35]在考虑光、温、水、CO₂ 影响的基础上, 并考虑太阳紫外线的负面影响, 得出南京地区冬小麦生产潜力下降 20% 的结论。关于气候变化对作物气候生产力的影响尚有许多不确定的地方, 影响因素不仅有温度和 CO₂, 太阳辐射、降水、蒸发、温度日较差、风等也有影响。如中国近 50 年来太阳辐射总体减弱, 主要是日照时数减少, 而温度日较差

也在减小。温度日较差对作物生长非常重要,日较差较小意味着最低温度升高,那么作物呼吸消耗加强,干物质积累减小,产量可能下降,品质也会受到影响[36]。

3.4. 对农业气象灾害的影响

我国地处东亚季风区,是世界上气象灾害最为频繁的国家之一。近年来,温室效应有进一步加剧气候变暖和气象灾害的趋势[37]。吴金栋[38]研究指出:近30年来,我国气温和降水变化具有明显的不稳定性,从而对农业生产造成影响。未来气候变化不能改变农业气象灾害频繁发生的事实,但可能会改变原有农业气象灾害的格局。气候变暖,低温冷害将有所减轻,但由于增温主要是在冬春季节,所以东北及其它地区夏季低温冷害仍不可掉以轻心。如在气候变暖较为显著的20世纪80年代,1985、1989年东北均发生了全区性的夏季低温冷害,东北三省粮食减产幅度均在10%~27% [39]。

气候变暖,无霜冻期将随温度升高而延长[39]。但霜冻是一种时间尺度很短的农业气象灾害,具体年份的发生可以与时间尺度很长的气候变化趋势相反[40]。事实上,随着生育期长的高品种的使用,作物本身抗冻性的降低,尽管低温强度有所减弱,但霜冻的危害程度有可能加剧。与低温危害减轻相反,高温危害将加剧。一方面温度升高,作物生育期缩短,产量降低[41][42][43]。另一方面,各种作用都将不同程度地受到高温热害的影响,尤以长江中下游的水稻和北方小麦为甚[41]。

3.5. 对病虫害的影响

叶彩玲等[44]简要概述了近年来农作物病虫害气象环境成因研究方面的最新进展,指出温度、湿度、降雨、风、光照等气象要素,对促进或抑制某种病虫害的发生、发展、流行及其危害程度都可能产生显著的影响。就农作物病害而言,病害的潜育期一般在发病温度范围内随温度升高而缩短。如西瓜蔓枯病潜育期在15℃时,需要10~11 d,28℃时只需3.5d。高温有利于大白菜炭疽病的流行,通常情况下,在适宜温度范围内大多数害虫各虫态发育速率与温度呈正相关,温度升高害虫各生育期缩短,反之则延长。气候变暖再加上湿度增加,将进一步加重病虫害的发生发展。降雨或适温高湿有利于大多病菌的繁殖和扩散,研究表明[45],当温度在22℃~27℃范围内,相对湿度在92%~98%时有利于稻曲病孢子萌发,加速稻曲病的流行。霍治国等指出[46],冬季雨量、春季中雨量增加对长江流域小麦白粉病的流行有促进作用。

3.6. 对土壤的影响

气候变化将降低化肥利用率,增加农业投入,使我国荒漠化加剧,耕地面积减少,影响我国的粮食生产。气候变化虽不是出现这种现象的直接和主要原因,但气候变暖使降水增加有限,蒸发量加大(远超过降水量的增加),为荒漠化提供了有利的气候背景,加速了土地退化。根据研究分析[47],在全球气候变暖下,未来20~50年我国土地荒漠化的发展趋势是十分严峻。我国目前极端干旱区面积为 $69.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,干旱区(包括干旱、半干旱和半湿润干旱区)的总面积为 $297.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,占国土总面积的38.3%。预测气温升高1.5℃时,极端干旱区减少 $6.9 \times 10^4 \text{ km}^2$,湿润区减少 $25.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,干旱总面积(不包括极端干旱)增加 $18.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。干旱区每年递增 220 km^2 ,湿润区每年减少 3023.5 km^2 [48]。

4. 农业生产的适应对策

4.1. 提高农业生产技术,选育新品种,改进作物品种布局

气候变暖有利于温室作物更好地生长,减少低温危害的风险,可以达到增产节能的目的。由于温室内的温度上升,作物生长加速,可以更快地向市场提供充足的货源,进一步增加农民收入[34]。要积极运

用基因等科技技术, 培育耐高温、耐干旱、抗病虫害、抗冷冻害的作物优良品种, 以对应不同地区气候变暖的影响[49]。引进的优良作物品种进行气候适应性研究, 与当地气候特征进行对比分析, 科学合理制定种植制度, 做到因地制宜、效益优先。对于原有种植作物, 也要针对气候变暖现象, 适当调整播种期, 使作物在主要生长季处于更为适宜的气候条件, 达到增产的目的[36]。将当前勉强或不适合农作的地区逐步调整转变为牧业或林业地区, 或牧、林结合地区。增加土壤植被的覆盖率, 不仅有利于吸收利用大气中的二氧化碳, 也有利于防止土壤退化和沙漠化。在种植业内部适时改革耕作制度, 调整作物品种布局, 以充分适应气候的变化[50]。

4.2. 加强农田基本建设及对病虫害的综合防治, 逐步加大生态防治力度

开展农作物病虫害发生流行的气候背景及其影响机制的研究, 在掌握病虫气象规律的基础上, 研制重大农业病虫害的监测和预警技术, 对病虫害的发生发展及时跟踪, 同时对未来动态加以准确预报。改善农田生态环境, 防御干旱灾害。农田水利建设、节水农业体系、农田防护林等都有利于农业适应气候变化能力的提高。针对温度上升, 作物蒸腾加速、水分损失增多、干旱发生几率加大的情况, 采用先进的滴灌、喷灌、渗灌、微灌等技术, 减少无效蒸散和渗漏, 提高作物的水分利用效率[36] [50]。

4.3. 加强气候的预测预报及其对农业影响的评估

研究减缓气候变化不利影响的对策措施, 变被动防御为主动防御, 将损失减少到最低程度。研究气候变化背景下, 作物病虫害可能发生的趋势, 做好预测预报工作[50]。大力发展农业气象科学, 加强气候变化的监测和预警, 做好防范措施, 努力将自然灾害造成的损失减少到最低。运用农业卫星遥感, 用高新技术和新技术知道区域内农业的发展, 以确保农业的高速、稳定增长。积极开展人工影响天气活动, 扩大作业面积, 加大投入, 不断优化人工降雨等作业方案和技术方法, 提高减灾效益, 更好地服务于农业生产[49]。

5. 研究展望

气候变化对中国农业的影响总体来说弊多利少, 因而制定应对措施非常重要。除减少人为燃烧化石燃料排放 CO₂ 外, 要根据气候变化的区域特点, 运用科学方法定量研究有利和不利的影 响, 以便在种植制度的安排、品种的选育、农业生产管理措施的制定等方面积极应对, 充分发挥热量资源优势, 提高作物的水分利用[51]高产、高效、优质的目的。因此, 今后要加强以下几方面的研究:

1) 进一步加强开放性(FACE)试验研究, 探索气候变暖变干情景下作物光合、呼吸作用和水分耗散变化机理, 为建立评估气候变化影响的作物生长模型提供生物学基础[52]。

2) 加强气候变化对农业生产评估的模型研究, 在模型中应包括土壤养分、病虫草害、经济评价、应对决策、技术措施、管理水平等因子[53]。

3) 开展气候变率和极端事件对农业生产的影响评估。过去的研究大多考虑平均气候变化的影响, 很少考虑气候变率和极端气候事件造成的气候脆弱性。气候变暖加剧气候异常, 极端事件发生增多, 对农业生产的不利影响更加显著, 客观评价这种影响对科学制定农业应对决策更有意义[54]。

4) 继续发展和改进各类模型, 建立适合中国的综合性模型。运用现代遥感和 GIS 技术, 提高模型参数的分辨率、精确度, 减少不确定性, 建立完善的数据库、模型库和专家系统集于一体的农业资源信息系统, 实现对整个农业生态系统的动态监测。气候的变化有人为因素和自然因素, 要综合研究农业生态系统与全球气候变化相互作用的机制, 了解农业生态系统在自然和人为双重作用力驱动下的动态变化规律, 建立相应的动态区域模型, 协调农业生态系统和气候变化之间的关系[55]。

参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [2] 《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第三次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [3] 骆世明. 农业生态学近年研究领域与研究方法综述[J]. 生态农业研究, 1999, 7(1): 19-22.
- [4] 于贵瑞. 全球变化与陆地生态系统碳循环和碳蓄积[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 57-59.
- [5] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬. 近 40 年我国气候变化的初步分析[J]. 应用气象学报, 1991, 2(2): 164-174.
- [6] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近一百年来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19.
- [7] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等. 近百年中国气温序列的建立[J]. 应用气象学报, 1998, 9(4): 392.
- [8] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年来最高最低温度变化[J]. 气象学报, 1997, 55(4): 418.
- [9] 王绍武, 董光荣. 中国西部环境特征及其演变[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 53-56.
- [10] 沙万英, 邵雪梅, 黄玫. 20 世纪 80 年代以来中国的气候变暖及其对自然区域界线的影响[J]. 中国科学, D 辑, 2002, 32(4): 317.
- [11] 陈利容. 全球气候变化对我国农业的影响[J]. 种子科技, 26(4): 38-40.
- [12] Wang, F.T. (1997) Impacts of Climate Change on Cropping System and Its Implication for Agriculture in China. *Acta Meteorologica Sinica*, **11**, 407-415.
- [13] 葛全胜, 郑景云, 张学霞, 等. 过去 40 年中国气候与物候的变化研究[J]. 自然科学进展, 2003, 13(10): 1048-1053.
- [14] 毛留喜. 气候变化对农业发展的影响[J]. 中国气象报, 2005: 2.
- [15] 宫德吉. 近 40 年来气温增暖与内蒙古干旱[J]. 内蒙古气象, 1995(1): 16-21.
- [16] 侯立白, 陈贺芹, 陈贵, 等. 辽宁省小麦北移种植的可行性与实践[J]. 国外农学——麦类作物, 1995(3): 42-44.
- [17] 孙连发. 黑龙江省冬小麦育种中几个策略问题的探讨[J]. 黑龙江农业科学, 1997(4): 26-27.
- [18] 杨恒山, 侯立白, 冯永祥, 等. 内蒙古西辽河平原冬小麦种植可行性分析[J]. 农牧产品开发, 2000(4): 20-24.
- [19] Choi, C.R. and Hwang, K.T. (1997) Detection of Hydrocarbons in Irradiated and Roasted Sesame Seeds. *JAOCs*, **74**, 469-473. <https://doi.org/10.1007/s11746-997-0108-y>
- [20] 张厚瑄. 气候变化对我国种植制度的影响[J]. 中国农业气象, 2000, 21(1): 9-12.
- [21] 王馥棠. 近十年来我国气候变暖影响研究若干进展[J]. 应用气象学报, 2002, 12(6): 755-765.
- [22] 林而达, 张厚瑄, 王京华, 等. 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: 82-87.
- [23] 程延年. 气候变化对农业影响及其对策等课题组. 气候变化对农业影响及其对策[M]. 北京: 北京大学出版社, 1993: 3-53.
- [24] 宋艳玲, 张强, 董文杰. 气候变化对新疆地区棉花生产的影响[J]. 中国农业气象, 2004(3): 15-20.
- [25] 李镇清, 刘振国, 陈佐忠, 等. 中国典型草原区气候变化及其对生产力的影响[J]. 草业学报, 2002, 12(1): 4-10.
- [26] 邵庆均. 全球性气候变化与我国畜牧业[J]. 家畜生态, 1995, 16(2): 37-40.
- [27] 中国气候变化国别研究组. 中国气候变化国别研究[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000: 114-115.
- [28] 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.
- [29] 章基嘉, 徐祥德, 苗俊峰. 气候变化及其对农作物生产潜力的影响[J]. 气象, 1992, 18(8): 3-7.
- [30] 陶战, 蔡罗保, 杨书润. 气候变化对我国农业的可能影响及对策[J]. 农业环境与发展, 1994, 11(3): 1-6.
- [31] 李玉娥, 张厚瑄. 温室效应对我国北方冬麦区粮食作物生产潜力的影响[J]. 中国农业气象, 1992, 13(4): 37-39.
- [32] 张厚宣. 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(1): 35-40.
- [33] 金之庆, 方娟, 葛道阔, 等. 全球气候变化影响我国冬小麦生产之前瞻[J]. 作物学报, 1994, 20(2): 186-197.
- [34] 金之庆, 葛道阔, 郑喜莲, 等. 评价全球气候变化对我国玉米生产的可能影响[J]. 作物学报, 1996, 22(5): 513-524.
- [35] 郑有飞, 万长建, 徐维新. 未来气候变化时南京地区冬小麦气候生产潜力估算[J]. 中国农业气象, 1997, 18(3): 14-18.

- [36] 宁金花, 申双和. 气候变化对中国农业的影响[A]. 现代农业科技, 2009(12): 251-254.
- [37] 王馥棠. 气候变暖与我国粮食发生的可持续发展[J]. 科学对社会的影响, 1999(1): 40-44.
- [38] 吴金栋, 太华杰. 近 30 年我国气候变化的不稳定性及其与农业生产的关系[J]. 气象, 1996, 22(8): 3-8.
- [39] 高素华, 潘亚茹, 章庆辰. 温室效应对未来农业气候资源的影响问题[J]. 中国农业气象, 1991, 12(4): 1-5.
- [40] 何维勋, 冯玉香, 曹永华, 等. 北京近 50 年初、终霜冻日的变化[J]. 中国农业气象, 1992, 13(4): 33-36.
- [41] 气候变化与作物产量编写组. 气候变化与作物产量[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992: 357-447.
- [42] 张宇. 水热变化对冬小麦生长发育的模拟试验[J]. 气象, 1993(7): 19-32.
- [43] 赵名茶. 全球气候变化对我国干旱地区影响分析[J]. 干旱资源与环境, 1993(4): 11-17.
- [44] 叶彩玲, 霍治国, 丁胜利, 等. 农作物病虫害气象环境成因研究进展[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(1): 90-97.
- [45] 王长金. 稻曲病发生发展的气候条件及其防治措施[J]. 中国农业气象, 1996, 17(3): 41-44.
- [46] 霍治国, 叶彩玲, 钱栓, 等. 气候异常与中国小麦白粉病灾害流行关系的研究[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(1): 85-90.
- [47] 王澄海. 气候变化与荒漠化[M]. 北京: 北京气象出版社, 2003.
- [48] 肖风劲, 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): 329-330.
- [49] 王丹, 王开磊. 气候变化对我国农业生产的影响及对策[J]. 中州学刊, 2009, 3(5): 70-71.
- [50] 吴志祥, 周兆德. 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, 2004, 10(6): 467.
- [51] 刘玉洁, 陶福祿. 作物水分利用效率对温度和 CO₂ 浓度升高的响应研究进展[J]. 地理科学进展, 2013, 3(32): 416-424.
- [52] 邓振镛, 王强, 张强, 等. 中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6278-6288.
- [53] 秦鹏程, 姚凤梅, 曹秀霞, 等. 利用作物模型研究气候变化对农业影响的发展过程[J]. 中国农业气象, 2011, 32(2): 240-245.
- [54] 周广胜, 何奇瑾, 汲玉河. 适应气候变化的国际行动和农业措施研究进展[J]. 应用气象学报, 2016, 5(27): 527-533.
- [55] 丁一汇, 王会军. 近百年中国气候变化科学问题的新认识[J]. 科学通报, 2016, 10(61): 1029-1041.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5711, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ccrl@hanspub.org