

崔宁波, 殷琪荔. 气候变化对东北地区粮食生产的影响及对策响应[J]. 灾害学, 2022, 37(1): 52–57. [CUI Ningbo and YIN Qili. Impacts of Climate Change on Grain Production in Northeast China and Countermeasures[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(1): 52–57. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2022.01.010.]

# 气候变化对东北地区粮食生产的影响及对策响应<sup>\*</sup>

崔宁波, 殷琪荔

(东北农业大学 经济管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘 要:** 东北地区粮食生产是国家粮食安全战略的重要保障, 近年来受气候变化等因素的影响, 东北地区粮食生产的不稳定性与风险性加大, 积极响应气候变化对粮食生产的影响已成为稳定东北地区粮食生产的内在要求。本研究从东北地区气候变化特征出发, 对主要粮食作物的生长发育、产量、种植制度与布局、粮食生产潜力等方面综合分析气候变化对东北地区粮食生产的影响。结果表明: ①东北地区日照时数明显减少, 降水量呈下降态势, 气温显著升高。②东北地区旱涝灾害发生频率增加, 病虫害灾害累计发生面积增大, 低温冷害事件明显减少。③气候变化改变东北地区主要粮食作物的生长发育, 促进种植界限北移东扩, 粮食生产潜力有明显提升但存在区域差异性, 总体而言, 气候变化有利于东北地区粮食生产。针对气候变化对东北地区粮食生产的综合影响, 基于粮食产前、产中、产后视角, 提出适应气候变化稳定东北地区粮食生产的响应策略, 对于保障东北地区粮食安全具有重要意义。

**关键词:** 气候变化; 粮食生产; 响应; 东北地区

**中图分类号:** S162.5; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2022)01-0052-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2022.01.010

稳定粮食生产是保障“十四五”粮食安全的重要目标之一, 中国粮食产量已连续6 a 稳定在 $6.5 \times 10^8$  t 以上。东北地区是我国重要的粮食主产区, 2000—2019 年粮食总产量占全国总比重由11.5% 上升至20.8%, 对于保障中国粮食安全做出了重要贡献。但该地区对气候变化极为敏感, 1956—2009 年东北地区气温增温率为 $0.33^\circ\text{C}/10\text{ a}$ , 明显高于全国平均水平<sup>[1]</sup>; 另外, 东北地区也是我国气象灾害频发且严重的地区之一<sup>[2-3]</sup>, 据统计, 2018 年东北三省受气候变暖影响发生的干旱、暴雨洪涝、低温冻害等气象灾害造成的直接经济损失达261.9 亿元, 绝收面积达 $68.6 \times 10^4\text{ hm}^2$ , 气候变化背景下东北粮食生产的改变将直接影响中国粮食安全。国内外对于气候变化与粮食生产的研究颇丰, 而对气候变化与区域粮食生产的影响与响应关注度不够。基于此, 本文以东北地区为研究区域, 从东北地区气候变化特征角度出发, 系统探讨气候变化对东北地区粮食生产的影响, 最后基于产前、产中、产后视角提出稳定东北地区粮食生产的响应策略, 为保障东北地区粮食安全提供参考依据。

## 1 东北地区气候变化特征

中国东北地区地处中高纬度及欧亚大陆东端, 拥有特殊的气候资源特征, 主要表现为日照时数减少、热量资源增加显著、降水量时空分布不均匀。东北地区对气候变化具有较强的敏感性, 也是气象灾害发生频率较高的地区之一, 主要气象灾害包括干旱、洪涝、病虫害和低温冷害事件等。当前, 气候变化已经对东北地区粮食生产产生影响。

### 1.1 气候资源变化特征

#### 1.1.1 光能资源的变化

光能资源的变化主要体现为日照时数的改变, 气候变化背景下, 我国在1981—2010 年间日照时数总体减少<sup>[4]</sup>, 东北地区日照时数递减明显。1961—2017 年间, 东北地区日照时数下降速率为 $-25.1\text{ h}/10\text{ a}$ <sup>[5]</sup>, 且东北三省日照时数高于2 800 h 的区域面积已由 $13.6 \times 10^4\text{ km}^2$  减少到 $4.1 \times 10^4\text{ km}^2$ , 减少趋势十分明显<sup>[6]</sup>。日照时数的持续时间

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2021-08-05 修回日期: 2021-10-05

基金项目: 国家社科基金“东北地区粮食生产安全的耕地生态保障与对策研究”(20BJY149); 黑龙江省自然科学基金“开放条件下粮食供需结构失衡、进口贸易效应与确保中国粮食安全”(LH2020G001)

第一作者简介: 崔宁波(1980-), 女, 汉族, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业经济理论与政策研究。

E-mail: 82890000@163.com

也直接影响地表太阳辐射能量的量值,东北地区年太阳辐射总量年代际递减,变化幅度为 $-1.1\%/10\text{ a}$ <sup>[7]</sup>,但存在明显的区域差异性和季节差异性。黑龙江省太阳总辐射量呈现西南部最大,中东部和北部地区偏少的特征<sup>[8]</sup>,而吉林省中西部平原和辽河平原西部均呈现明显的递减趋势<sup>[9]</sup>;在季节上,东北地区冬季光能资源较丰富,春季和夏季太阳辐射减少明显<sup>[10]</sup>。

### 1.1.2 热量资源的变化

热量资源的变化主要体现为气温的变化,在全球气候变暖的背景下,中国年均气温增加明显,东北地区成为中国响应气候变暖最显著的地区之一。根据《吉林统计年鉴》《辽宁统计年鉴》《黑龙江统计年鉴》统计的气温数据,2000—2019年东北地区整体气温呈现升温态势(图1),2012—2019年东北地区升温明显。此外,温度升高使农作物生长期积温增加明显、种植界限北移、作物适宜生育期延长。 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温带北移显著,东北大部分地区初霜日向后延迟 $5\sim 10\text{ d}$ <sup>[11]</sup>;玉米和水稻晚熟品种的种植范围进一步北移东扩,主栽作物品种熟性由中晚熟品种替换早中熟品种;另外,热量资源的增加还使得作物适宜生育期延长,玉米生育期天数在东北大部分地区增加约 $10\text{ d}$ ,水稻适宜生育期增加了约 $8\text{ d}$ ,而适宜播种期普遍提前 $2\sim 10\text{ d}$ <sup>[12]</sup>。

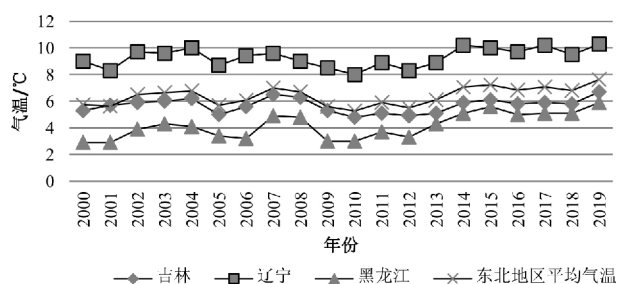


图1 东北三省2000—2019年气温变化

### 1.1.3 降水资源的变化

1961年以来,中国降水量呈现不显著增加趋势,但区域降水变化差异较大,其中东北地区降水量呈显著下降态势,通过整理计算吉林、辽宁、黑龙江三省份年降水量统计数据,结果显示2000—2019年东北地区有超过 $2/3$ 的年份年均降水量均小于 $600\text{ mm}$ (图2),表明近年来东北地区年降水量有下降态势。东北地区受地理位置和温带季风气候的影响,自东南向西北,年降水量从 $1\,032.8\text{ mm}$ 下降至 $230.6\text{ mm}$ ,其中夏季降雨量占全年降雨量的绝大部分<sup>[13]</sup>。从年降水量变化的区域分布来看,吉林西部、辽宁东南部、黑龙江东部地区大多呈现减少态势,近 $50\text{ a}$ 减少 $15\sim 20\text{ mm}$ <sup>[14]</sup>;从降水季节来看,东北地区夏季降水量较多,冬季变化不明显;从降水日数来看,东北地区降水日数减少明显,呈现出自东南向西北的少—多—少的分布格局特征<sup>[15]</sup>。受降水资源减少的影响,东北地区土壤储水资源也呈减少态势,且气候湿润区土壤水资源减少比较显著。

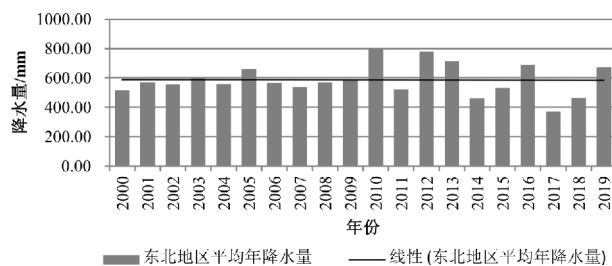


图2 东北地区2000—2019年年均降水量变化

## 1.2 主要气象灾害变化特征

### 1.2.1 旱涝灾害发生频率增加

气候变暖增加了旱涝灾害发生的强度与频率,东北大部分地区春秋两季旱灾严重,而全年降雨集中在 $6\sim 9$ 月份,干旱和洪涝灾害都易发生。根据灾情划分等级标准(表1),1986—2015年,辽宁省发生干旱和洪涝的重灾次数均为2次,表明辽宁省发生旱涝重灾次数较少,大约 $15\text{ a}$ 一遇;吉林省发生干旱与洪涝的重灾次数分别为4次和3次,表明旱涝重灾大约 $10\text{ a}$ 一遇;而黑龙江省的旱涝重灾次数均为4次,表明黑龙江省的干旱与洪涝重灾较多;同期,东北地区发生的中度与轻度灾害频次较高,表明干旱与洪涝已经成为东北地区的常态性气象灾害。另外,灾害持续时间上,东北地区连续出现涝灾年的最长持续时间为 $6\text{ a}$ ,连续出现旱灾年的最长持续时间长达 $7\text{ a}$ <sup>[16]</sup>;发生区域上,东北部为干旱多发区,春季的干旱覆盖面积最大,受灾最严重,中部与西南部为洪涝多发区,夏季和秋季西南部洪涝灾害较为频繁<sup>[17]</sup>;受灾面积上,仅2017年,东北三省作物受灾总面积约为 $3.48\times 10^6\text{ hm}^2$ ,其中洪涝灾害受灾面积约 $7.53\times 10^4\text{ hm}^2$ ,干旱灾害受灾面积达 $2.25\times 10^6\text{ hm}^2$ ,占受灾总面积的 $64.66\%$ ,对东北地区粮食生产影响较大<sup>[18]</sup>。

表1 东北地区1986—2015年干旱、洪涝各等级发生次数<sup>[33]</sup>

省份	干旱			洪涝		
	重	中	轻	重	中	轻
辽宁	2	6	22	2	4	24
吉林	4	3	23	3	3	24
黑龙江	4	3	23	4	2	24

### 1.2.2 病虫害累计发生面积增加

农业病虫害的发生与气候条件紧密相关,气候变暖条件下,东北地区每年发生的病虫害造成的损失都处于较高水平,累计发病面积明显增加,已经影响到粮食产量的稳定性。据统计,2014—2016年东北地区病害和虫害年均发生面积分别为 $159.31\times 10^4\text{ hm}^2$ 次、 $207.51\times 10^4\text{ hm}^2$ 次,3 a造成的累计损失为 $97.3\times 10^4\text{ t}$ ;其中,纹枯病在东北地区发生较为严重,2014—2016年累计发生 $146.64\times 10^4\text{ hm}^2$ 次,累计造成实际粮食损失超过 $19.41\times 10^4\text{ t}$ ;二化螟是东北地区主要的虫害,2014—2016年累计发生面积达 $211.53\times 10^4\text{ hm}^2$ 次,造成实际粮食损失高达 $23.24\times 10^4\text{ t}$ ,其中辽宁省的年均发生率和实际损失率最高,分别达到

68.23%和0.80%<sup>[19]</sup>。此外,气候变暖也促进了东北地区玉米大斑病和玉米螟的发生,不仅对玉米存在危害,对高粱和谷子等作物危害同样较大。

### 1.2.3 低温冷害事件减少

低温冷害是指作物在生长季节内遭受持续或短时间低温而造成的作物生理性障碍并最终导致粮食减产的气象灾害。全球气候变暖背景下,东北地区增温十分显著,低温冷害事件发生频率降低。20世纪90年代是东北地区低温冷害事件发生的转折点,此后低温冷害事件持续降低,到2010年以后低温冷害年数进一步减少,2010—2015年低温冷害重灾事件不到1次。东北地区典型的水稻障碍型低温冷害、玉米冷害也呈现出显著减少趋势<sup>[20]</sup>,1981—2016年黑龙江省玉米各强度低温冷害事件均呈现下降趋势,其中重度和轻度低温冷害事件发生范围减小幅度最大。近年来,东北地区受西伯利亚干冷空气与地理位置的影响,仅轻度低温冷害事件时有发生,中度及重度低温冷害仅在局部地区发生<sup>[21]</sup>,低温冷害事件的显著减少为东北地区粮食生产提供了有利条件。

## 2 气候变化对东北地区粮食生产的影响

### 2.1 对主要粮食作物生长发育及产量的影响

气候变化改变农业气候资源分布格局,对粮食作物生长发育将产生一定的影响。如在极端高温条件下,气温升高将促进大豆早熟,而重度旱涝灾害将会影响大豆体内脂肪和蛋白质的集聚,改变大豆的正常发育状况进而影响大豆品质。在CO<sub>2</sub>浓度升高的条件下,植株体内吸收的碳增加,氮减少,碳氮比增加而蛋白质含量降低,降低作物品质<sup>[22]</sup>。也有研究认为,气候变暖缩短了粮食作物的生育期和光合作用时间,影响干物质的积累导致粮食质量与产量受损。尤其对于东北地区的主要粮食作物玉米、水稻、大豆而言,玉米虽然具有较强的耐高温特点,但在玉米花期前后,高温将显著影响其光合作用;在玉米生育后期,高温使玉米提前结束生育进程而进入成熟期,灌浆时间缩短,干物质积累显著减少,产量和品质大幅受损<sup>[23]</sup>。有研究表明,平均气温每升高1℃,玉米生育期将缩短7 d,产量将降低5%~6%,而水稻生育期将缩短14~15 d,有效分蘖降低导致产量下降14%~17%<sup>[24]</sup>,另外,夜间增温也会降低稻米的糙米率和精米率。大豆在高温条件下,大豆异黄酮含量有显著下降,大豆品质明显受损。也有学者认为,气候变化有利于东北地区粮食增产。如气温升高对东北地区粮食生产具有正向影响,当气温每升高1.2℃,黑龙江省水稻、玉米和大豆将分别增产336.8 kg/hm<sup>2</sup>、541.6 kg/hm<sup>2</sup>、195.8 kg/hm<sup>2</sup>;水稻生育期内太阳辐射增强与气温升高对东北地区水稻单产的边际影响也为正,增产

贡献率达1.01%~3.29%<sup>[25]</sup>。由于不同地区的气候资源与条件、技术管理水平等因素的交互作用不同,因此产生的效益也不尽相同,总体而言,气候资源格局分布的改变有利于东北地区粮食增产。

### 2.2 对作物种植制度与布局的影响

种植制度是指一个地区或生产单位的作物组成、配置、熟制等种植方式的总体。气候变化通过改变热量资源进而影响种植制度,主要体现在种植界限、种植结构及品种布局的变化。气候变化促进作物种植界限明显北移东扩,1950—2000年,气候变暖推动吉林省玉米带种植重心由西向东偏移18.3 km<sup>[26]</sup>,1990年以来,东北地区水稻种植面积显著北扩,1995年以后,东北地区的水稻种植北界已达52°N左右的呼玛地区<sup>[27]</sup>;而东北地区晚熟品种种植面积也逐步向北扩大至大兴安岭附近,东线将可能移至三江平原附近<sup>[28]</sup>。气候变化也使种植结构发生明显变化,气候变暖背景下,1980—2010年,东北地区种植结构类型变化规律为:由最初种植结构类型分布受玉米和大豆种植分布主导,到后期大豆空间转移至黑龙江,水稻逐渐成为东北地区的重要种植类型,而小麦则减缩至局部地区<sup>[24]</sup>。东北地区暖温带范围扩大、热量资源增加等条件也促进了东北地区粮食种植结构优化,玉米和水稻等喜温作物复种指数增加、生长期延长、播种面积和总产量大幅提升,水稻逐步代替小麦,成为东北地区重要的粮食作物,未来种植结构将以玉米、大豆和水稻为主。此外,气候变化也促进作物品种布局发生变化,气候变暖促进耐高温水稻品种逐步向北发展,东北地区水稻种植面积由2001年的271.64×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>增加到2017年的604.32×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,东北地区水稻种植区呈现出高产晚熟品种替代早熟品种的趋势<sup>[29]</sup>,喜温作物如玉米、谷子等作物种植面积也有所扩大。气候变化促进东北地区暖温带范围扩大,使东北地区种植界限明显北移,种植面积增加,种植结构优化,总体而言,气候变化对种植制度与布局的影响有利于东北地区粮食生产。

### 2.3 对粮食生产潜力的影响

气候变暖使得中国大陆地区(除西南地区外)的光温生产潜力增加,其中北方高纬度地区增幅明显高于南方<sup>[30]</sup>。一方面,不同地区气候因子不同,对粮食生产潜力的影响程度也不同。气候变暖条件下,2000—2015年,东北地区中西部的玉米生产潜力均有所增加,且近一半耕地的玉米生产潜力增加约1 000 kg/hm<sup>2</sup>;东北地区部分中西部的大豆生产潜力有所提升,但增加幅度较小,不足500 kg/hm<sup>2</sup>,而在东北地区的东部,包括松嫩平原区、大小兴安岭区、三江平原区和长白山区,大豆生产潜力有所减少;在气候变化的影响下,东北地区90%以上面积的水田内的水稻生产潜力均呈下降态势,仅吉林省和黑龙江省的十分少的水田内的水稻生产潜力有所增加。另一方面,影响粮食生产潜力的气候因素有很多,而气候变化

对粮食生产潜力的影响利弊共存。温度是东北地区作物生长的主要限制因子, 气温升高对不同作物气候生产潜力的促进作用不同: 水稻最大, 而大豆对温度的敏感性最低。与 1951—2000 年的平均值相比, 松嫩平原 1990 年代的玉米气候生产潜力增加了  $1\ 057\ \text{kg}/\text{hm}^2$ , 水稻气候生产潜力增加了  $787\ \text{kg}/\text{hm}^2$ <sup>[31]</sup>。玉米和大豆的生产潜力在很大程度上依赖于水分和光照的变化, 受太阳辐射量、相对湿度、降雨量及雨天频率的正向影响较大, 主要是由于降雨量和雨天频率的增加会增加土壤水分, 为玉米和大豆生长发育过程中土壤水分提供相应供给, 而相对湿度与太阳辐射量的增加则会促进光合作用的发生, 进而转化为更多的有机质, 促进产量的增加。风速过大和气温过高会加速作物的实际蒸散量, 从而导致水分流失过快, 降低粮食生产潜力, 同时会对玉米和大豆的植株造成机械性损伤和生理危害<sup>[32]</sup>。因此, 气候变化提升了东北中西部地区粮食生产潜力, 而气温上升对水稻、玉米、大豆的生产潜力均有正向影响作用。

### 3 东北地区粮食生产适应气候变化的对策响应

粮食生产对气候变化的适应性主要体现在粮食生产阶段的单环节与综合环节上, 前者指粮食生产的产前、产中、产后各具体环节所需要的适应性策略, 主要包括优化产前基础、加强产中管理以及完善产后保障三个方面; 后者则为粮食生产活动各个环节所共同需要的适应性策略, 主要包括对科学技术、生态保护的需求, 科学技术的发展与应用是“科技兴农”的必然选择, 生态与环境保护为绿色的粮食生产活动提供源动力, 这两方面的需求贯穿于粮食生产前、产中、产后的各个环节, 只有通过多方面的综合协调策略才能适应气候变化带来的风险, 稳定东北地区的粮食生产(图3)。

#### 3.1 优化产前基础, 提供优良产粮资质

(1) 保障农业生产资源的有效利用与供给。农业生产资源的有效利用与供给是粮食生产活动开端的根本要求。东北地区光能资源总体呈减少态

势而热量资源相对丰富, 对粮食生产影响不大; 地方种质资源逐年减少, 种业发展还不成熟; 保护黑土地等工作仍有待加强。为了优化粮食产前基础, 保障农业生产资源的有效利用与供给, ①要充分利用东北地区的农业气候资源, 在受热量资源改善而扩大的种植面积上, 种植不同熟期粮食品种, 利用中熟和中晚熟品种替代早熟品种适种区域, 积极培育喜温作物如水稻、马铃薯的种植, 减少喜凉作物如小麦的种植。②要保护东北地区特有种质资源, 尤其是粮食作物种质资源, 东北地区拥有粮食作物种质资源仅占全国的 8%。应建立国家农作物种质资源鉴定评价体系; 完善和保护种质资源库; 积极开展保护农作物种质资源的宣传活动, 提高群众保护意识。③要保护黑土资源, 严格推进立法, 进一步完善东北黑土区保护政策; 建立黑土区保护补偿机制, 激发农民保护黑土意识; 推动保护性耕作的技术应用, 严格保护黑土数量与质量。

(2) 合理调整种植结构, 加强品种选育。过去 30 a 东北地区种植结构类型主要以玉米和大豆为主导, 当前东北地区玉米主导型和水稻主导型地区数量增加, 大豆主导型地区数量减少, 其中玉米主导型地区分布最广, 种植结构类型单一化趋势明显。另外, 品种选育也是粮食生产应对气候变化的最根本适应性对策之一, 在东北平原气候暖干化趋势加剧的压力下, 应选育和推广适应气候变化的作物新品种, 加大育种研究及科技攻关, 强化粮食生产适应气候变化的能力。①要加强空间规划和政策指引, 调减玉米种植面积, 减少单一玉米型种植, 发展青贮玉米, 减少籽粒玉米种植面积; 实行玉米地休耕, 落实休耕补贴; 推行以玉米大豆轮作制度; 维持水稻种植面积; 扩大黑龙江省西部及北部大豆种植面积, 建立非转基因大豆保护区。②要加强良种培育, 国无农不稳, 农以种为先, 要积极发展新品种引进筛选和配套栽培技术, 加强良种繁育和推广应用, 有计划地培育和选用稳产、抗涝、抗高温等抗逆性品种; 调整东北地区玉米带玉米品种, 研发籽粒青贮兼用型品种, 增加绿色优质粮食供应, 确保粮食生产的高产高效。

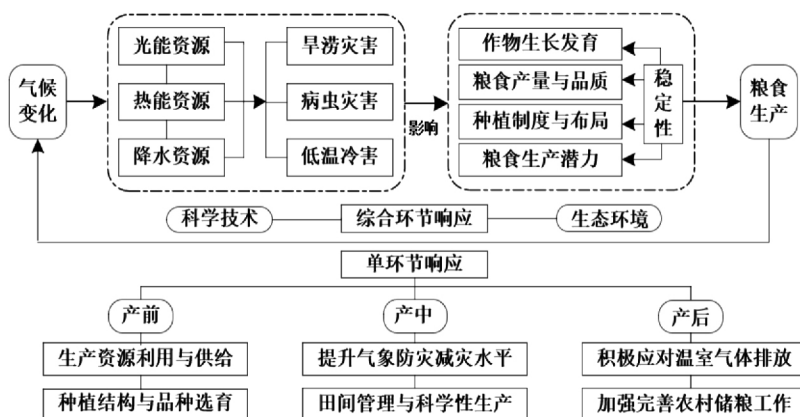


图3 东北地区粮食生产适应气候变化的对策响应

### 3.2 加强产中管理, 稳定粮食产能基石

(1) 提升东北地区气象防灾减灾水平。农业气象灾害是影响粮食产量稳定的主要自然灾害因素之一, 东北地区气象灾害频发, 灾害强度大、损失严重, 气象监测精细化水平、现代化水平不高, 人工影响天气工作系统还有待提升。为确保粮食生产的平稳运行, 应尽快提升气象防灾减灾水平。①要构建保障粮食安全的气象科技支撑体系, 通过发展现代农业气象预估技术, 建设智能感知气象观测体系以及推动高标准农田气象监测站网建设, 提升粮食作物优质稳产气象保障能力。②要完善人工影响天气工作体系, 加大重要粮食生产区在重要农事季节的抗旱防涝等作业力度; 全面提高人工影响天气在增雨抗旱、生态环境保护等领域的服务保障能力; 强化气象动态监测和区域联防机制, 保障减灾抗灾。③因地制宜开展气候智慧型农业实践示范, 完善气候智慧型农业科技发展体系, 推进中国发展气候智慧型农业领域的科技研发工作。充分发挥在提高农业生产力、加强农业对气候变化及自然灾害的抵御能力的同时, 使得农业发展更适合环境变化, 提升粮食生产能力。

(2) 加强田间管理与科学生产。科学绿色的田间管理是农业可持续发展的必然要求, 也是粮食生产的重要环节。当前, 东北地区粮食生产过程中病虫害累计发病面积增加、生产不规范等问题十分突出, 一定程度上违背了绿色农业发展理念, 也破坏了粮食生产的可持续性。为了稳定东北地区粮食产能基石, 科学化管理田间生产, 提升粮食生产效率。①要加强病虫害的综合防治, 加强绿色防控, 减少化学药剂防治, 推进物理、化学、生物等技术手段进行综合防治, 另外可以适当通过育种技术或生物技术增加寄主植物对病虫害的抗性, 确保作物生产的可持续性。②要加大科学性生产, 加强田间水肥管理, 加大农田水利设施建设, 增加有效灌溉面积; 推广高标准农田建设; 发展节水农业, 提高节水技术的广泛应用, 提升水资源利用率, 多渠道建设农业节水补贴制度, 引导农民加大投入, 从而实现科学性生产; 加强农业面源污染防治, 推进污水及土壤污染整治、废弃物资源化利用; 同时要科学合理施用化肥, 建立规范田间试验网络体系, 加强农药化肥减施增效技术的应用与推广。

### 3.3 完善产后保障, 提升粮食生产潜力

(1) 加强政府引领, 积极应对温室气体减排。农业生产活动是大气温室气体 GHG ( $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ ) 排放的重要来源, 对气候变暖的影响不容忽视。农业生产会直接或间接影响 GHG 的排放, 如水稻生产、氮肥使用、翻耕、秸秆焚烧等都会促进 GHG 的直接排放, 而依赖消耗化石燃料而生产的化肥、农药等会间接促进 GHG 的排放。因此, 应该积极采取合理的农业固碳减排技术, 对于减少温室气体排放具有重要意义。①要推广保护性

耕作, 加强秸秆还田工作, 少免耕, 结合保护性耕作施用生物炭; 优化使用有机无机肥料; 合理施用  $\text{CH}_4$  抑制剂抑制剂、脲酶抑制剂及硝化抑制剂等措施降低 GHG 排放, 同时要增强大气污染防治气象保障能力, 加强区域性大气污染联防联控能力建设。②要加强政策导向, 建立健全以绿色为导向的农业补贴制度, 促进地膜回收、化肥减量、秸秆综合利用等行为的发生, 加强为农业固碳减排提供财政和技术支持。

(2) 强化农村储粮工作, 降低粮食产后损失。粮食产后的储藏与气候、储藏环境、进仓处理方式等因素密不可分, 处理不当将会影响粮食质量甚至造成霉变, 降低粮食产后损失是稳定粮食生产的重要环节。东北地区粮食规模化生产程度高, 农户、合作社、农垦农场种植生产后, 粮食储藏主要由农户和新型经营主体自储以及其他粮食企业的粮库储存, 其中农户储粮占当地储粮总量的 50% 左右, 由于病虫害及储粮方式不当造成的粮食损失为 5% - 12% 左右。为了完善粮食产后保障, 更应重视气候变化影响后的储粮工作, 尽可能降低粮食产后损失。①要加大对农户储粮环节的技术支持和资金投入, 每年有将近一半的粮食阶段性的存放在农户手中, 仓库的储粮条件较差, 容易引起虫霉变质, 且在包装、运输过程中造成的遗留损耗较大; 强化不同品种分类、不同等级的分级、分仓储藏; 对于大规模粮库, 应配备气调储粮等设备, 不断提高粮库现代智能化水平, 实现“绿色储粮”。②要提高农户科学储粮意识, 转变农户储粮观念, 加强农户及相关人员的教育培训; 另外要持续提升农户科学储粮技术采用水平, 强化技术熟练度, 进一步提升机械化收获水平等, 利用综合手段达到提升科学储粮意识。

### 参考文献:

- [1] 翟献帅, 苏筠, 方修琦. 东北地区近 30 年来温度变化的时空差异[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(2): 20-27.
- [2] 陈莉, 王波, 刘玉莲, 等. 黑龙江省气候变化监测公报(2019)[M]. 北京: 气象出版社, 2020.
- [3] 《东北区域气候变化评估报告: 2020》编写委员会. 东北区域气候变化评估报告: 2020 - 决策者摘要[M]. 北京: 气象出版社, 2021.
- [4] 梁玉莲, 韩明臣, 白龙, 等. 中国近 30 年农业气候资源时空变化特征[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(4): 259-267.
- [5] 肖风劲, 张旭光, 廖要明, 等. 中国日照时数时空变化特征及其影响分析[J]. 中国农学通报, 2020, 36(20): 92-100.
- [6] 吴海燕, 孙甜田, 范作伟, 等. 东北地区主要粮食作物对气候变化的响应及其产量效应[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(4): 299-307.
- [7] 胡琦, 潘学标, 李秋月, 等. 气候变化背景下东北地区太阳能资源多时间尺度空间分布与变化特征[J]. 太阳能学报, 2016, 37(10): 2647-2652.
- [8] 任洪国. 大庆太阳能资源分布特点及开发利用研究[J]. 建筑节能, 2019, 47(10): 122-125.

- [9] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 气候变化背景下我国东北三省农业气候资源变化特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2199–2206.
- [10] 李婧, 吴根义, 姜彩红, 等. 东北地区生猪养殖粪污资源化利用技术应用[J]. 中国沼气, 2019, 37(3): 100–104.
- [11] 白梦娇. 气候变化下我国粮食生产对农民收入的影响研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
- [12] 陈群, 耿婷, 侯雯嘉, 等. 近 20 年东北气候变暖对春玉米生长发育及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(10): 1904–1916.
- [13] 李明, 王贵文, 柴旭荣, 等. 基于空间聚类的中国东北气候分区及其气象干旱时间变化特征[J]. 自然资源学报, 2019, 34(8): 1682–1693.
- [14] 李叶妮, 孙卫国, 朱红, 等. 我国东北地区主要城市气温和降水量序列的多尺度分析[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(9): 23–31.
- [15] 唐宝琪, 延军平, 王璐璐, 等. 1960—2014 年东北地区大雨和暴雨事件的变化特征[J]. 资源科学, 2015, 37(12): 2514–2523.
- [16] 聂英, 夏英. 东北地区粮食产能变化及影响因素[J]. 经济纵横, 2016(4): 70–76.
- [17] 李蓉, 辛景峰, 杨永民. 1949—2017 年东北地区旱灾时空规律分析[J]. 水利水电技术, 2019, 50(S2): 1–6.
- [18] 任宗悦, 刘晓静, 刘家福, 等. 近 60 年东北地区春玉米旱涝趋势演变研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(2): 179–190.
- [19] 张鑫, 任彬元, 宋显东, 等. 东北三省水稻病虫害发生为害和防控现状分析[J]. 中国植保导刊, 2018, 38(8): 61–66.
- [20] 胡春丽, 李辑, 焦敏, 等. 东北地区水稻障碍型低温冷害变化对区域气候变暖的响应[J]. 气象科技, 2015, 43(4): 744–749.
- [21] 余弘泳, 赵俊芳, 余会康. 气候变化对年代际东北玉米冷害影响分析[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(5): 113–122.
- [22] 王静, 杨晓光, 李勇, 等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 VI. 黑龙江省三江平原地区降水资源变化特征及其对春玉米生产的可能影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(6): 1511–1522.
- [23] 尹小刚, 王猛, 孔箐箐, 等. 东北地区高温对玉米生产的影响及对策[J]. 应用生态学报, 2015, 26(1): 186–198.
- [24] 刘珍环, 唐鹏钦, 范玲玲, 等. 1980—2010 年东北地区种植结构时空变化特征[J]. 中国农业科学, 2016, 49(21): 4107–4119.
- [25] 赵彦茜, 肖登攀, 唐建昭, 等. 气候变化对我国主要粮食作物产量的影响及适应措施[J]. 水土保持研究, 2019, 26(6): 317–326.
- [26] 王宗明, 于磊, 张柏, 等. 过去 50 年吉林省玉米带玉米种植面积时空变化及其成因分析[J]. 地理科学, 2006(3): 299–305.
- [27] 杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响: VI. 未来气候变化对中国种植制度北界的可能影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1562–1570.
- [28] 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(5): 208–213.
- [29] HANSON J D, LIEBIG M A, MERRILL S D. Dynamic cropping systems: increasing adaptability amid an uncertain future[J]. Agronomy Journal, 2007, 99(4): 939–943.
- [30] 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(8): 3–7.
- [31] 周光明. 松嫩平原作物气候生产潜力分析及其气候变化响应[J]. 黑龙江农业科学, 2009(5): 35–37.
- [32] 蒲罗曼. 气候与耕地变化背景下东北地区粮食生产潜力研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [33] 何学敏, 刘笑, 殷红, 等. 1986—2015 年中国东北地区主要农业气象灾害变化特征[J]. 沈阳农业大学学报, 2019, 50(4): 392–398.

## Impacts of Climate Change on Grain Production in Northeast China and Countermeasures

CUI Ningbo and YIN Qili

(School of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** Grain production in Northeast China is an important guarantee of the national food security strategy. In recent years, affected by climate change and other factors, the instability and risk of grain production in Northeast China have increased. Responding positively to the impact of climate change on grain production has become the inherent requirement of stabilizing grain production in Northeast China. Based on the characteristics of climate change in Northeast China, this paper comprehensively analyzed the impact of climate change on grain production in Northeast China from the aspects of the growth, yield, planting system and distribution of main grain crops, and grain production potential. The results showed that: ①The sunshine hours decreased significantly, the precipitation decreased, and the temperature increased significantly in Northeast China. ②The frequency of drought and flood disasters in Northeast China increased, the accumulated area of disease and insect disasters increased, and the events of cold injury decreased significantly; ③Climate change has changed the growth and development of major grain crops in Northeast China, promoted the expansion of planting limits to the north and east, and significantly improved the grain production potential with regional differences. In general, climate change is beneficial to grain production in Northeast China. In view of the comprehensive impact of climate change on grain production in Northeast China, based on the perspectives of pre-production, in-production and post-production of grain, this paper proposes response strategies to adapt to climate change and stabilize grain production in Northeast China, which is of great significance for ensuring grain security in Northeast China.

**Key words:** climate change; food production; response; northeast China