

极端气候对粮食产业高质量发展的影响研究

路雯晶

贵州大学经济学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年10月12日; 录用日期: 2023年12月11日; 发布日期: 2023年12月19日

摘要

极端气候频发对农业生产和粮食产业发展构成严重威胁。本文以全国31省(市、区)为研究对象, 在厘清极端气候对粮食产业高质量发展影响机制的基础上, 首先构建粮食产业高质量发展指标体系并运用熵值法测算其综合发展水平, 然后运用空间计量模型、面板Tobit模型实证分析对粮食产业高质量发展的影响程度及空间溢出效应。研究发现: 1) 全国粮食产业高质量发展水平呈上升趋势, 呈现出粮食主产区 > 产销平衡区 > 粮食主销区的区域特征, 且其子系统发展水平呈平稳增长趋势; 2) 极端气候在其产出效应、投入效应、结构效应和技术进步的共同作用下给本地区粮食产业高质量发展带来显著抑制作用, 同时通过空间溢出效应对邻近地区的粮食产业高质量发展产生不利影响, 且存在区域异质性; 3) 极端气候的产出效应、投入效应、结构效应对子系统粮食产业经济福利、绿色可持续、结构效率及粮食安全具有抑制作用, 而通过技术进步对粮食产业科技创新具有促进作用。建议通过外部调节机制及内部影响机制保障粮食产业高质量发展。

关键词

极端气候, 粮食生产, 粮食产业高质量发展, 空间溢出效应

Study on the Influence of Extreme Climate on the High Quality Development of the Grain Industry

Wenjing Lu

School of Economics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Oct. 12th, 2023; accepted: Dec. 11th, 2023; published: Dec. 19th, 2023

Abstract

The frequent occurrence of extreme weather poses a serious threat to agricultural production and

the development of food industry. This paper takes 31 provinces (municipalities and districts) as the research object. On the basis of clarifying the influence mechanism of extreme climate on the high-quality development of grain industry, this paper firstly constructs the high-quality development index system of grain industry and uses the entropy method to measure its comprehensive development level. Then, the spatial econometric model and Tobit model are used to analyze the influence degree and spatial spillover effect on the high-quality development of grain industry. The results showed that: 1) the high quality development level of the national grain industry showed an upward trend, showing that the main grain-producing areas were larger than the balanced areas of production and marketing, and the main grain-selling areas were larger than the regional characteristics, and the development level of the sub-systems showed a steady growth trend; 2) Extreme weather, under the combined effects of output effect, input effect, structural effect and technological progress, significantly inhibited the high-quality development of grain industry in this region, and adversely affected the high-quality development of grain industry in neighboring regions through spatial spillover effect, with regional heterogeneity; 3) The output effect, input effect and structure effect of extreme climate inhibited the economic welfare, green sustainability, structural efficiency and food security of the sub-system food industry, while the technological progress promoted the scientific and technological innovation of food industry. It is suggested to ensure the high quality development of grain industry through external adjustment mechanism and internal influence mechanism.

Keywords

Extreme Climate, Grain Production, High Quality Development of the Grain Industry, Spatial Spillover Effect

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

党的二十大报告中指出“要加快构建新发展格局，着力推动高质量发展”。如何实现高质量发展已成为现阶段我国经济社会所面临的重大时代命题，粮食产业作为国之根本，理应顺应这一趋势；2019年，国家发展改革委、国家粮食和物资储备局出台《关于坚持以高质量发展为目标加快建设现代化粮食产业体系的指导意见》，明确提出了促进我国粮食产业高质量发展的总体要求[1]。为保障国家粮食安全，满足人民群众日益多元化的粮食消费需求，推动粮食产业向“质量兴农”“效益兴农”“绿色兴农”的高质量发展转型势在必行。然而，近年来全球气候变暖、极端气候频发给我国农业生产带来了严重威胁。2021年《中国气候公报》指出我国极端气候事件多发强发广发并发，2022年指出我国气候状况总体偏差，旱涝灾害突出。我国是世界上受气象灾害影响严重的国家之一，且气候灾害来势早、种类多、强度大，致使我国农业生产脆弱性增加[2]，粮食生产风险性加大。据统计，我国每年因暴雨洪涝、干旱、高温热浪、冰雹、强台风等气象灾害导致的农田受灾面积达0.5亿公顷以上，粮食减产超过500亿公斤[3]，造成的粮食减产波动可高达18%；2022年由极端天气造成我国农作物受灾面积达12071.6千公顷，直接经济损失2386.5亿元。且近年来，极端气候事件相互叠加及耦合作用，加大了农田生态环境的恶化程度和农业生产的不确定性，对粮食产业产出、生产要素投入以及生产结构等产生了不利影响，对我国粮食安全、粮食产业绿色可持续以及粮食产业经济福利带来了较大冲击，严重威胁我国粮食产业高质量发展。

适应气候资源变化, 稳住农业基本盘, 接续推进农业高质量发展和乡村振兴是当前粮食产业高质量发展的应有之义[4]。因此, 探索如何缓解和适应极端气候对粮食产业高质量发展的影响, 对保障国家粮食安全、实现农业现代化、促进乡村振兴具有重要意义。

目前学界关于粮食产业高质量发展的研究较为丰富, 主要集中在三方面。一是关于粮食产业高质量发展的内涵, 有学者认为粮食产业高质量发展是一个动态、可持续、协调发展的过程[5], 还有学者认为粮食产业高质量发展要坚持以科技创新、绿色可持续等新发展理念为指导, 充分考虑中国经济发展现状和国际市场变化, 助力粮食产业高质量发展整体目标的实现[6] [7] [8]。二是关于粮食产业高质量发展的测算, 一些学者从粮食产业高质量发展的内涵、粮食生产环节及新时代对粮食消费需求的变化出发进行测算, 例如祁迪等(2022)从创新、协调、绿色、开放、共享五个方面建立指标体系测算其发展水平[9], 华坚等(2022)从粮食生产、加工、流通、消费五个维度测算[10], 郝爱民等(2022)从粮食产业投入、粮食产出及科技生态三个方面建立指标体系进行测算[8]。也有学者采用全要素生产率测算粮食产业高质量发展水平[11] [12], 以土地、资本、劳动力等作为粮食产业投入要素, 选取生产效益、结构效率为期望产出, 污染物及碳排放等作为非期望产出测算粮食产业的投入产出效率。三是关于粮食产业高质量发展的影响因素, 人力资本、财政支农、粮食受灾程度及农村信息化对粮食生产效率、要素配置具有重要作用, 对粮食产业高质量发展具有重要影响[13] [14], 然而现阶段研究粮食产业高质量发展的气候影响因素还相对较少, 主要集中研究气候变化或气候灾害对粮食生产、粮食安全等方面的影响[15] [16]。

面对全球气候变化、气象灾害频发的严峻形势, 突破粮食产业传统低效的粗放型生产方式和资源环境的制约瓶颈, 在粮食产业高质量发展与生态环境及社会需求之间取得新的平衡, 增强粮食产业高产高效, 促进其高质量发展, 增强应对气候资源变化的能力, 已经刻不容缓。研究极端气候对粮食产业高质量发展的影响程度及作用路径具有重要的现实意义, 可为适应绿色可持续发展和生态文明建设的时代要求、推进应对气候变化防灾减灾的科学方法、推动粮食产业高质量发展和农业经济结构转型提供数量化信息及政策空间。因此本文以我国 31 省(市、区)为研究对象, 运用空间计量模型分析极端气候对粮食产业高质量发展的影响及其空间溢出效应并运用面板 Tobit 模型对其影响效应进行检验, 最后提出极端气候对粮食产业高质量发展的优化路径。

2. 理论分析与研究假说

Table 1. The concrete manifestation of the impact of extreme climate on food industry

表 1. 极端气候对粮食产业影响的具体表现

自变量	因变量	关系	主要表现	直接结果
	粮食安全	“-” 直接负向影响	产量降低, 外观品质下降	影响粮食供给与需求、生产与储备、消费与分配
	粮食产业结构效率	“-” 间接负向影响	改变粮食作物结构布局、种植方式及种植规模	易造成非粮化现象
极端气候	粮食产业绿色可持续	“-” 间接负向影响	增加自然资本、金融资本、物质资本及人力资本投入	粮食生产化学污染加剧
	粮食产业经济福利	“-” 间接负向影响		粮食生产成本增加、比较利益下降
	粮食产业科技创新	“+” 间接正向影响	激发粮食生产技术、防灾抗灾技术创新	减少粮食损失、提高粮食产业全要素生产率

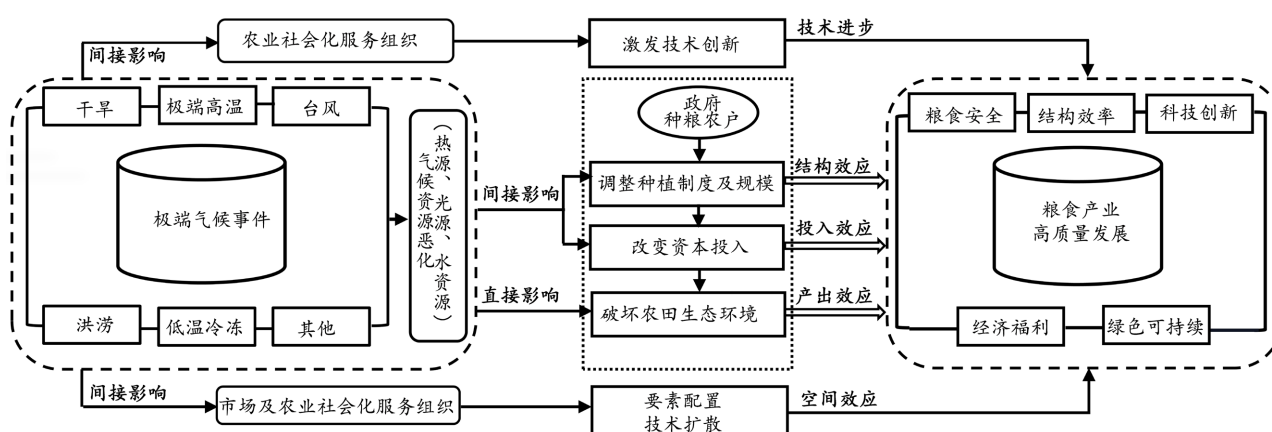


Figure 1. The influence mechanism of extreme climate on the high-quality development of grain industry

图 1. 极端气候对粮食产业高质量发展的影响机制图

干旱、洪涝、高温热浪和低温冷冻等极端气候的频发对粮食生产具有直接、间接和空间效应。首先，由极端气候造成的自然灾害会直接破坏粮田生态环境、影响粮食作物生长发育，导致粮食产量减少、质量降低，进而影响国家粮食安全及农民种粮经济福利；另一方面，极端气候具有间接效应，主要表现为种粮经营主体调整生产要素投入、要素配比及生产技术选择，进而影响粮食产业结构效率、绿色可持续发展及科技创新。最后，极端气候灾害频发会带来一定的空间效应，主要表现为区域间粮食生产要素和服务的竞争及技术扩散，进而对邻近地区的粮食产业高质量发展产生一定的影响。极端气候对粮食产业的影响是多方位的，影响机制也具有复杂性，本文主要从产出效应、投入效应、结构效应、技术进步及空间效应五个维度分析极端气候对我国粮食产业高质量发展的影响路径，其具体表现和影响机制见表 1 和图 1 所示。

2.1. 产出效应

极端气候的产出效应是指洪涝、干旱、高温、冰雹、强台风等极端气候事件对粮食产出和产品质量造成影响，进而影响粮食安全及农民经济福利的作用路径，极端气候的产出效应一般为负面影响。具体来说，极端气候表现为光源、热源、水资源等气候资源数量、质量或环境条件的恶化对粮食作物生理过程的负面影响和直接的物理损害来影响粮食作物生长发育和产量品质形成[17]。首先，极端气候在不同的时空尺度上影响土地的结构、功能和状态进而导致土地资源退化和耕地面积减少，增加土地应对极端气候压力的敏感性，降低对自然灾害的抵御能力，最终导致粮食作物产量减少和品质安全降低。其次，极端气候会影响粮食作物代谢紊乱，如高温热浪和干旱胁迫导致作物水分缺失会对粮食作物的光合能力、蒸腾作用等生理活动产生负面影响；暴雨洪涝、强台风等极端气候事件会物理毁坏农产品外观品质，影响作物的生长发育和抗逆能力。最后，极端气候导致病虫害的数量和分布区域扩大，对粮食作物生长和品质造成严重危害。粮食产业生产潜力会因气候资源配置失衡带来的土壤肥力下降、粮食作物代谢紊乱、病虫害加重等问题受到抑制，最终导致粮食产量以及质量的下降。因此，本文提出研究假设 H1：

H1: 极端气候的产出效应影响粮食的生产与储备、供给与需求进而对粮食安全产生显著的负向影响。

2.2. 投入效应

极端气候频发会导致自然生态系统运行的边界条件改变，为了维持粮食生产的正常运转，种粮经营主体或政府会适当增加或减少相关生产要素的投入。极端气候的投入效应主要表现为其影响粮食生产过程中的资本要素投入，进而影响粮食产业高效、绿色可持续发展的作用路径，具体来说主要包括自然资

本、金融资本、物质资本以及人力资本的投入数量和质量方面。首先，极端气候造成气候资源禀赋(数量和质量)恶化，粮食产业经营主体会通过增加灌溉面积、增强光照等方式加大自然资本的投入；气候要素恶化也会影响金融资本投入，为减缓极端气候对粮食生产收益的不利影响，种粮农户会对极端气候事件预期并采取相应的预防性举措，增加气候灾害预防性投入，比如购买农业保险等。其次，气候要素与农用化肥、机械动力等其他生产要素之间存在一定的替代关系，当强降水、干旱等极端气候事件出现后，种粮农户会增加化肥、农药、机械等物质资本投入，同时极端气候导致的气象灾害性事件会使农民物质资本直接受损，进一步导致收入减少，反过来又影响物质资本重建[18]。最后，极端气候会对人力资本投入产生影响，一方面，极端气候如极端高温或低温会严重影响农村劳动力的生理、心理健康以及行为选择，进而引起农村劳动力的劳动动能以及劳动意愿的下降；另一方面，极端气候造成的粮食歉收、粮食利润空间缩小以及种粮保障农户家庭生计的能力弱化等问题，促使农民为了生计逆向选择，在地区间、产业间及部门间流动，导致气候移民的现象。而这进一步体现在种粮劳动力结构上，粮食产区优质种粮劳动力尤其男性和青壮年流失严重，“老龄化、女性化、稀缺化”趋势明显，而这些“老弱化”种粮劳动力更偏向采用传统粗放式的粮食生产方式，其对粮食绿色、标准化生产技术的采纳程度和应用能力较低。极端气候导致的自然资本、金融资本、物质资本的投入增加及人力资本的投入意愿降低，使得土地投资的边际成本不断上升以及粮食生产的化学污染加剧。鉴于此，本文提出研究假说 H2：

H2：极端气候的投入效应增加粮食产业生产管理成本、加剧粮食产业化学污染进而对粮食产业经济福利及绿色可持续发展产生显著的负向影响。

2.3. 结构效应

极端气候的结构效应主要表现为极端气候事件会对粮食产业的种植制度和种植规模产生影响，进而影响粮食产业结构效率的作用路径。人类应对极端气候会带来粮食生产结构上的变化，因为经历过极端天气事件的农户，大多数更倾向于采用多样化种植方式，如调整粮食作物布局、品类分布以及品种选育等，同时会调整粮食作物播期和播种面积。另外，高温干旱、洪涝、台风等极端气候不仅会使粮食作物的适宜种植区范围、耕作制度等受到直接影响，也会间接影响种植业内部结构调整，主要表现为经济作物占比上升和粮食作物占比下降，造成非粮化现象[19]，这在一定程度上导致化学投入品施用量增加、施用度增强，进而造成农业生产污染加剧。最后，极端气候导致的种粮机会成本增加和比较效益低下，加快了农村土地流转和农业规模经营的进程，而这一过程存在较为突出的非粮化现象。因此，本文提出研究假设 H3：

H3：极端气候的结构效应导致种植业内部结构和规模调整进而对粮食产业结构效率产生显著的负向影响。

2.4. 技术进步

高温干旱、洪涝台风、冷冻冰雹等事件频发导致气候条件恶化时，人类科技创新具有“相机抉择”的主动性和“自动稳定器”的适应性，调节其对粮食产业造成的冲击。极端气候影响粮食生产前沿面，短期内可能会降低农民生产积极性，影响其生产行为，对粮食产业生产技术水平造成打击，但长期内人们为适应极端气候会日益注重粮食生产技术、灾害预警技术、抗灾防灾技术的提高，且粮食技术研发活动能够推进农业偏向性技术进步，提高人类抵御气候灾害的能力，减缓极端气候对粮食生产的不利影响[20]。另外，根据希克斯提出的诱致性技术创新理论，气候移民导致的种粮劳动力减少会促使其价格上涨，由于资源的稀缺性，会诱导粮食生产技术创新进而推动技术进步。在技术进步的作用下，可以避免资本边际效益递减，保持粮食产业经济持续增长。因此，本文提出研究假设 H4：

H4: 极端气候影响人类技术创新进而对粮食产业科技创新具有显著的正向影响。

极端气候的产出效应、投入效应和结构效应，分别对粮食安全、粮食产业经济福利和绿色可持续发展以及粮食产业规模效率具有负向作用，而技术进步对粮食产业科技创新具有正向作用，但基于相关文献并结合现实状况，通过技术进步还不能完全抵消极端气候对粮食产业带来的负面影响。因此，本文认为极端气候对粮食产业高质量发展的负向效应大于正向效应。于是，本文提出研究假设 H5:

H5: 极端气候对粮食产业高质量发展具有显著的负向影响。

2.5. 空间效应

极端气候的产出效应会使本地区的粮食供给减少，在需求不变的情况下，会导致周边地区粮食价格上涨，促使其粮食产业经济效益提升。另一方面，在极端气候胁迫下，为了维持粮食生产并作出有利于家庭收益最大化的选择，种粮农户会通过要素市场或社会化服务组织向周边地区获取粮食生产要素和生产服务，需求增多造成资源的稀缺性，而粮食生产要素和服务的稀缺会导致区域间要素和服务的竞争及价格上升，进而对相邻地区的粮食产业发展具有抑制作用。最后，极端气候能够激发技术创新，推动区域技术外溢，满足周边地区粮食产业发展的技术需求，进而推动粮食产业高质量发展。因此，本文提出研究假设 H6:

H6: 极端气候对粮食产业高质量发展具有正向或负向的空间溢出效应。

3. 实证研究设计

3.1. 数据来源

本文以全国 31 省(直辖市、自治区)为调查对象，选取 2011~2020 年共 10 年的相关数据，所涉及变量指标的原始数据来源于历年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》各省统计年鉴、国家统计局和 EPS 数据库。个别缺失数据通过线性插值法进行补充。

3.2. 模型构建

3.2.1. 综合评价模型

熵值法具有客观赋权的优点，使得结果真实有效。为测度我国 31 省(市、区)粮食产业高质量发展状况，本文运用熵值法对粮食产业高质量发展指标体系的各个具体指标进行赋权，测度我国粮食产业高质量发展的综合评价指数。具体模型如下:

步骤一: 为消除量纲的影响，对各个指标进行标准化处理:

$$\text{正向指标: } S_{\lambda ij} = \frac{x_{\lambda ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标: } S_{\lambda ij} = \frac{x_{\max} - x_{\lambda ij}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中 x_{\min} 、 x_{\max} 表示第 j 项指标中的最大值和最小值。 $x_{\lambda ij}$ 和 $S_{\lambda ij}$ 分别表示第 i 个地区第 j 项指标标准化处理前后的数值。

步骤二: 计算指标权重:

$$Z_{\lambda ij} = \frac{S_{\lambda ij}}{\sum_{\lambda=1}^b \sum_{i=1}^a S_{\lambda ij}} \quad (3)$$

步骤三: 计算指标熵值:

$$M_j = -a_0 \sum_{\lambda=1}^b \sum_{i=1}^a Z_{\lambda ij} \text{LN}(Z_{\lambda ij}) \quad (4)$$

其中,

$$a_0 = \frac{1}{\text{LN}(b \times a)} \quad (5)$$

步骤四: 计算指标冗余度:

$$P_j = 1 - M_j \quad (6)$$

步骤五: 各指标权重:

$$K_j = \frac{P_j}{\sum_{i=1}^n P_j} (1 \leq i \leq n) \quad (7)$$

步骤六: 各地区综合评价指数:

$$U_{\lambda j} = Z_{\lambda ij} \times K_j \quad (8)$$

3.2.2. 面板 Tobit 模型

由于粮食产业高质量发展及各个子系统的综合评价指数在 0~1 之间, 因变量为受限变量, 因此本文采用面板 Tobit 模型检验极端气候对粮食产业高质量发展及各个子系统的影响程度。该模型设定如下:

$$\bar{y}_{it} = \alpha x_{it} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

$$\begin{cases} y_{it} = \bar{y}_{it}, & \text{if } 0 < y_{it} \leq 1 \\ y_{it} = 0, & \text{if } y_{it} < 0 \\ y_{it} = 1, & \text{if } y_{it} > 1 \end{cases} \quad (10)$$

式中 \bar{y}_{it} 为潜变量, y_{it} 为观测到的被解释变量为自变量, α 为自变量系数, ε_{it} 为随机扰动项。

3.2.3. 空间计量模型

在进行极端气候对粮食产业高质量发展的空间计量分析前, 需要检验粮食产业高质量发展是否存在空间自相关性。本文运用采用 Moran's I 指数进行空间自相关检验, 其计算公式为:

$$\text{Moran's I} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (11)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (12)$$

其中, x_i 和 x_j 分别表示第 i 个地区和第 j 个地区的粮食产业高质量发展的综合评价指数, w_{ij} 表示空间权重矩阵中地区 i 和 j 对应的空间权值。 n 表示不同区域的数量, S^2 表示区域粮食产业高质量发展综合评价指数的方差。 Moran's I 的取值范围为[-1, 1]。

经过上述空间自相关检验后若 Moran's I 显著, 表明粮食产业高质量发展综合评价指数在各地区间存在空间效应, 可构建空间计量模型。为全面系统地考察极端气候对粮食产业高质量发展影响的空间效应, 本文选取全国 31 个省(市、区)进行空间计量模型的实证分析。本文以空间杜宾模型为基础, 建立了如下计量模型:

$$Y_{it} = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} Y_{it} + \beta X_{it} + \theta \sum_{j=1}^n W_{ij} X_{it} + \delta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (13)$$

其中, Y_{it} 为被解释变量, ρ 为空间滞后项的系数, W_{ij} 为空间权重矩阵, X_{it} 为解释变量, βX_{it} 为解释变量的空间滞后, β 为解释变量的空间滞后项的系数; δ_i 为地区效应, γ_t 为时间效应, ε_{it} 为随机扰动项。

3.3. 变量选取

3.3.1. 被解释变量

本文根据粮食产业高质量发展的定义、内涵和特征,并在借鉴高维龙等(2021)、祁迪等(2022)等已有研究成果的基础上,依据科学性、系统性和数据可获得性等原则,从粮食安全、结构效率、绿色可持续、科技创新及经济福利五个维度,构建我国粮食产业高质量发展指标体系。该指标体系包含粮食产业高质量发展的5个子系统、11个一级指标及30个二级指标(见表2)。

Table 2. Grain industry high-quality development index system

表 2. 粮食产业高质量发展指标体系

目标指标	子系统	一级指标	二级指标	计量单位	指标方向
粮食产业高质量发展	粮食安全	生产保障	粮食作物播种面积	千公顷	正向
			人均耕地面积	公顷/人	正向
			单位面积种粮劳动力	人/公顷	正向
		总量安全	粮食单位面积产量	吨/公顷	正向
			粮食生产收益	亿元	正向
			人均粮食产量	Kg/人	正向
	结构效率	结构优化	粮食加工产品占比	%	正向
			粮食工业总产值占比	%	正向
			粮食规模化程度	%	正向
		生产效率	土地产出率	元/公顷	正向
			劳动生产率	吨/人	正向
			资本利用率	%	正向
	绿色可持续	资源消耗	单位 GDP 水耗	立方米/元	负向
			单位 GDP 电耗	千瓦/元	负向
			农业中间消耗率	%	负向
			有效灌溉率	%	负向
		环境污染	单位面积化肥施用量	吨/公顷	负向
			单位面积农药使用量	Kg/公顷	负向
			单位面积农膜使用量	Kg/公顷	负向
单位面积柴油使用量			吨/公顷	负向	
绿色生态	森林覆盖率	%	正向		
	水土流失治理率	%	正向		

Continued

科技创新	科技投入	机械化程度	千瓦/公顷	正向
		电气化程度	千瓦/公顷	正向
	科技支撑	农业科技人员比重	%	正向
经济福利	公共服务	医疗卫生水平	%	正向
		社会保障水平	元/人	正向
	经济发展	农村恩格尔系数	%	负向
		城乡收入差距	%	负向
	粮食消费价格指数	%	负向	

3.3.2. 核心解释变量

本文研究的核心解释变量为极端气候，极端气候对粮食产业的影响主要表现在洪涝、干旱、高温、冰雹、强台风等极端气候事件造成的自然灾害对粮食产业高质量发展的影响，因此本文在借鉴陈卫洪等(2013)研究成果的基础上，并结合相关文献，用粮食产业受灾率(受灾面积/粮食播种面积)衡量极端气候。

3.3.3. 控制变量

在考虑影响粮食产业高质量发展的核心解释变量后，参考现有相关文献并基于现实状况，本文分别从经济、社会、政府决策和农村人力资本四个角度切入，界定出影响我国粮食产业高质量发展的控制变量。1) 各省(市、区)经济发展水平(经济因素)。经济发展水平的提高可以为本地粮食产业发展提供资金支持和物质技术保障，本文用地区人均 GDP 取对数衡量各地的经济发展水平；2) 城镇化水平(社会因素)。城镇化水平的提高会缩短与农村的时空距离，促进以城带乡，有利于城市发展对农村产生溢出效应，对粮食产业高质量发展具有积极意义；3) 政府财政支农水平(政府因素)。粮食产业发展离不开政府财政资金的支持，政府财政支出向粮食产业倾斜对粮食产业高质量发展具有重要作用，本文用地方财政农林水事务支出占各地 GDP 的比重来衡量当地政府财政支农水平；4) 农村受教育程度(农村人力资本)。人力资本的提升对于知识技术的接受能力和效率都会明显提高(陈美玲, 2018)，一般来说种粮劳动力受教育水平越高，越有利于粮食产业高质量发展，本文用农村平均受教育年限衡量农村人力资本水平。各变量描述性统计见下表 3。

Table 3. Descriptive statistics

表 3. 描述性统计

变量类型	指标名称	指标衡量	样本容量	均值	标准差
被解释变量	粮食产业高质量发展	粮食产业高质量发展综合评价指数	310	0.428	0.0567
控制变量	城镇化水平(city)	城镇人口/总人口	310	58.05	13.15
	地区发展水平(lngdp)	地区人均 GDP 取对数	310	10.78	0.440
	政府决策(invest)	地方财政农林水事务支出占各地 GDP 比重	310	0.038	0.0374
	农村受教育程度(edu)	农村平均受教育年限	310	7.640	0.815

4. 结果与分析

4.1. 粮食产业高质量发展测算结果分析

本文运用熵值法计算出全国 31 省(市、区)粮食产业高质量发展及其子系统的综合评价指数, 下图 2 反映了粮食产业高质量发展及其子系统 2011~2020 年综合发展指数的时间演化趋势图。从整体上看, 2011~2020 年我国粮食产业高质量发展平均水平呈上升趋势, 发展指数由 2011 年的 0.3907 增加到 2020 年的 0.4528, 增长 15.89%, 增长速度较快。分系统来看, 各子系统综合发展指数由高到低分别为粮食产业绿色可持续、粮食产业经济福利、粮食安全、粮食产业结构效率及粮食产业科技创新。粮食产业绿色可持续系统综合指数在 0.24 以上, 2011~2017 年期间有小幅下降后又有所缓解, 这与党的十八大以来提出的生态文明建设理念和生态优先、绿色发展的时代主题有直接关系。粮食产业经济福利系统除 2013 年有所下降整体呈平稳增长趋势, 这得益于国家注重市场调控、稳定粮价的协同效应, 粮食安全系统综合指数总体呈稳步提升趋势, 这与国家长期以来实施的粮食安全战略有重要关系。粮食产业结构效率系统综合指数在 2015 年下降后又出现回暖趋势, 且 2019 年后增幅明显, 由 0.0369 上升至 0.0404, 粮食产业结构效率稳中向好。粮食产业科技创新系统综合指数相对较低, 2011~2020 年大都在 0.01 左右, 除 2016 年有所跌落, 其余年份虽在在平稳增长, 但粮食产业科技创新仍任重道远, 主要原因在于农村产业科技创新一直是我国产业发展的薄弱环节, 科技投资更具有城市和新兴行业偏向性。

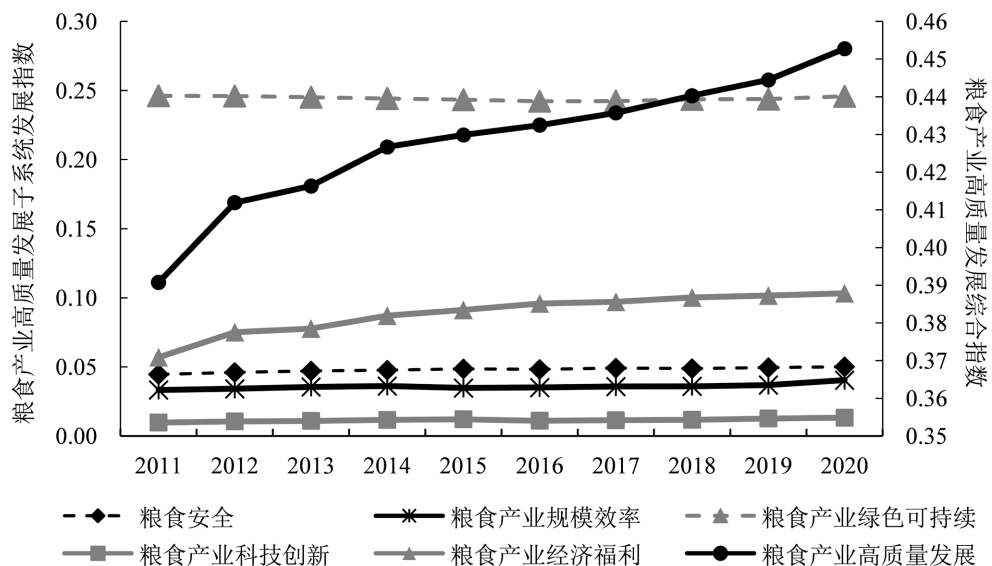


Figure 2. Time series changes of the comprehensive index of high-quality development of grain industry and its subsystems

图 2. 粮食产业及其子系统高质量发展综合指数时序变化

从省域排名与空间分布来看(见表 4), 对全国 31 省(市、区)和粮食功能区 2011、2020 年粮食产业高质量发展综合发展水平及增长率进行排名, 2020 年排名第一的是位于粮食主产区的黑龙江 0.6365, 排名最后的是粮食主销区的上海 0.3368, 省域之间有较大差距。全国粮食产业高质量发展水平排名前十的均位于粮食主产区。而全国粮食产业高质量发展水平排名后 5 位的省份粮食平衡区有 2 个(贵州、新疆), 粮食主销区有 3 个(海南、福建和上海)。从增长率及增长率排名来看, 粮食平衡区较为突出, 贵州、西藏、青海、宁夏、云南、广西 2020 年粮食产业高质量发展水平增长率在 19% 以上, 增长率排名分别在第一位、第二位、第四位、第五位、第六位和第八位, 占据增长率排名前十位中的六位, 其余前 10 位中的四位分

别是粮食主产区的内蒙古、安徽和湖北及粮食平衡区的海南，而综合发展水平较好的粮食主产区中有 7 个省份增长率排名在 20 名及以后。从粮食功能区的各平均水平来看，2011、2020 年虽然粮食产业综合发展水平排名没有发生变化(粮食主产区 > 产销平衡区 > 粮食主销区)，但增长率排名产销平衡区 > 粮食主销区 > 粮食主产区，这如新古典增长理论的结论：不同地区之间可能存在着“稳态”及“条件收敛”，由于资本边际收益递减规律，粮食主产区的增长率逐渐平稳，而粮食生产要素的跨区流动，以及知识、技术扩散效应，落后粮食生产区的潜质逐渐被激发表现出了更高的增长率。

Table 4. Evaluation index and ranking of high-quality development of grain industry in provinces and regions

表 4. 不同省份及区域粮食产业高质量发展综合评价指数及排名

粮食功能区	省份	2011 年	综合发展指数 排名	2020 年	综合发展指数 排名	增长率(%)	增长率 排名
粮食主产区	河北	0.4337	6	0.4827	7	0.1131	25
	内蒙古	0.4554	3	0.5680	2	0.2471	3
	辽宁	0.4236	8	0.4662	13	0.1003	27
	吉林	0.4915	2	0.5346	3	0.0878	29
	黑龙江	0.5461	1	0.6365	1	0.1654	13
	江苏	0.4303	7	0.4933	5	0.1463	20
	安徽	0.4061	11	0.4802	8	0.1825	9
	江西	0.4120	9	0.4653	14	0.1295	22
	山东	0.4367	5	0.4870	6	0.1152	24
	河南	0.4511	4	0.5017	4	0.1122	26
	湖北	0.4022	13	0.4756	10	0.1824	10
	湖南	0.4054	12	0.4662	12	0.1499	19
四川	0.4112	10	0.4777	9	0.1617	15	
产销平衡区	山西	0.3903	15	0.4422	19	0.1328	21
	广西	0.3596	22	0.4293	22	0.1938	8
	重庆	0.3980	14	0.4602	15	0.1562	17
	贵州	0.3408	27	0.4270	23	0.2527	1
	云南	0.3555	24	0.4323	20	0.2161	6
	西藏	0.3767	17	0.4702	11	0.2481	2
	陕西	0.3902	16	0.4265	24	0.0932	28
	甘肃	0.3638	21	0.4237	25	0.1649	14
	青海	0.3570	23	0.4436	18	0.2424	4
	宁夏	0.3638	20	0.4469	16	0.2284	5
新疆	0.3367	28	0.3648	29	0.0836	30	

Continued

	北京	0.3647	19	0.4297	21	0.1781	12
	天津	0.3764	18	0.4447	17	0.1817	11
	上海	0.3188	30	0.3368	31	0.0565	31
粮食主销区	浙江	0.3469	26	0.3914	27	0.1285	23
	福建	0.3242	29	0.3761	28	0.1601	16
	广东	0.3535	25	0.4066	26	0.1503	18
	海南	0.2905	31	0.3491	30	0.2016	7
粮食主产区平均值		0.4389	1	0.5027	1	0.1454	3
产销平衡区平均值		0.3666	2	0.4333	2	0.1821	1
粮食主销区平均值		0.3393	3	0.3906	3	0.1514	2

4.2. 极端气候对粮食产业高质量发展的实证结果分析

4.2.1. 粮食产业高质量发展的空间自相关估计结果

为探索粮食产业高质量发展是否具有空间相关性,本文运用 Stata 16.0 对其进行空间自相关检验。按照所研究区域的地理位置以及经济关系本文分别选取邻接空间矩阵、地理距离空间矩阵、经济空间矩阵及嵌套空间矩阵这四种空间权重矩阵对粮食产业高质量发展进行莫兰指数(Moran's I)测算,结果如表 5 所示。

Table 5. Moran's I index value of high-quality development of grain industry in 31 provinces and cities in China

表 5. 全国 31 省市粮食产业高质量发展的 Moran's I 指数值

年份	邻接空间权重矩阵		距离空间权重矩阵		经济空间权重矩阵		嵌套空间权重矩阵	
	Moran's I	p-value	Moran's I	p-value	Moran's I	p-value	Moran's I	p-value
2011	0.464***	0.000	0.353***	0.000	0.178**	0.014	0.271***	0.002
2012	0.463***	0.000	0.343***	0.000	0.180**	0.013	0.266***	0.002
2013	0.455***	0.000	0.330***	0.000	0.160**	0.020	0.240***	0.003
2014	0.434***	0.000	0.310***	0.000	0.171**	0.015	0.243***	0.003
2015	0.417***	0.000	0.299***	0.000	0.149**	0.028	0.217***	0.007
2016	0.435***	0.000	0.309***	0.000	0.161**	0.021	0.231***	0.005
2017	0.398***	0.000	0.273***	0.000	0.135**	0.039	0.199**	0.012
2018	0.358***	0.000	0.233***	0.002	0.151**	0.027	0.205***	0.010
2019	0.384***	0.000	0.242***	0.001	0.161**	0.021	0.219***	0.007
2020	0.394***	0.000	0.246***	0.001	0.137**	0.036	0.198**	0.011

注: *、**、*** 分别表示 10%、5%、1% 的水平下显著。

由表 5 知, 邻接空间权重矩阵的莫兰指数均在 0.35 以上, 且都在 1% 的水平下显著为正, 说明我国粮食产业高质量发展存在较强的正向空间相关性。距离空间权重矩阵和嵌套空间权重矩阵也大多都在 1% 水平下显著, 但莫兰指数值相对较低, 与邻接空间权重矩阵相比空间相关性相对较弱。而经济空间权重矩阵在 5% 的水平下显著, 并且莫兰指数相对较低, 说明我国粮食产业高质量发展水平在经济空间权重矩阵下空间聚集性更弱。因此本文选择邻接空间权重矩阵进行分析。

基于上述空间相关性的检验, 表明我国粮食产业高质量发展具有空间相关性, 因而可以选择空间计量模型探究极端气候对其影响分析。为确定本文使用的空间计量模型类型(空间滞后模型、空间误差模型或空间杜宾模型), 运用 LM 检验。在 LM 检验中, SEM 模型的 LM 和 RobustLM 检验值分别为 108.645 和 3.536, 表明应拒绝无空间误差项的原假设; SLM 模型的 LM 和 RobustLM 检验值分别为 125.133 和 20.024, 且通过了 1% 的显著性水平检验, 拒绝了无空间滞后项的原假设。然后进行 LR 检验, 检验值分别为 58.67 和 50.96, 且 P 值均在 1% 的水平下显著, 说明 SDM 不能退化为 SLM 和 SEM。最后进行 Hausman 检验, 经检验 p 值为 0.0068, 在 1% 的显著水平上拒绝随机效应的原假设。

4.2.2. 空间计量结果分析

通过上述检验, 本文最终选择固定效应的空间杜宾模型(SDM)研究极端气候对粮食产业高质量发展的影响程度及空间溢出效应, 为了保证结果稳健性和结论可信度, 本文同时运用空间滞后模型、空间误差模型及面板 Tobit 模型进行对比分析, 估计结果见表 6。

Table 6. Estimation results of quantitative model for high quality development of grain industry

表 6. 粮食产业高质量发展计量模型估计结果

项目	变量	SDM	SAR	SEM	面板 Tobit	
各变量系数值	exclim	-0.0483*** (0.0107)	-0.0516*** (0.0113)	-0.0368*** (0.0106)	-0.0845*** (0.0141)	
	city	-0.0013*** (0.0005)	-0.0005 (0.0004)	-0.0018*** (0.0004)	0.0001 (0.0007)	
	lngdp	0.0091 (0.0136)	-0.0183 (0.0129)	0.0220* (0.0132)	-0.0258 (0.0187)	
	invest	-0.2685** (0.1081)	-0.0458 (0.0985)	-0.2551** (0.1066)	0.2433* (0.1421)	
	edu	-0.0136** (0.0053)	0.0004 (0.0051)	-0.0125** (0.0050)	0.0144** (0.0070)	
	-cons				0.6006*** (0.1691)	
	var(e.Y)				0.0029*** (0.0003)	
	Log-likelihood		574.0172			467.45013
	rho		0.6268*** (0.0577)	0.7205*** (0.0501)		
	sigma2_e		0.0013*** (0.0001)	0.0015*** (0.0001)	0.0014*** (0.0001)	
lambda				0.7833*** (0.0423)		
N		310	310	310	310	

注: *, **, *** 分别表示 10%、5%、1% 的水平下显著。

由表 6, 对比分析不同模型的拟合结果, 空间杜宾模型与其它模型估计的各变量符号、显著性水平较为一致, 表明空间杜宾模型具有一定的稳健性。空间相关性系数为 0.6268, 并在 1% 的显著性水平下通过 Z 检验, 说明邻近省份粮食产业高质量发展每提高 1%, 将导致本地区粮食产业高质量发展增加 0.6268%, 表明我国粮食产业高质量发展存在显著的正向空间溢出效应, 在空间布局上呈现出集聚态势, 即邻近地区间粮食产业高质量发展表现为互相促进、协同提升的演进特征。此外, 从四种不同模型的估计结果看, 核心解释变量极端气候的回归系数在 1% 的显著性水平下为负, 表明极端气候对粮食产业高质量发展具有显著负向影响, 验证了假说 H5。

本文基于空间杜宾模型, 用偏微分方法对空间效应进一步分解, 测算核心解释变量的直接效应、间接效应和总效应, 见表 7。从总效应来看, 核心解释变量通过 5% 显著性水平下的 Z 检验, 且回归系数为 -0.1746, 表明极端气候对粮食产业高质量发展具有显著的负向抑制作用。控制变量中, 城镇化水平在 5% 的显著性水平下为正, 而地区经济发展水平在 1% 的显著性水平下为负, 表明城镇化水平的提高对粮食产业高质量发展具有明显的推动作用而地区经济发展水平具有抑制作用, 可能原因在于城镇化发展有利于缩小城乡差距, 促进城乡融合发展, 进而改善地区的产业结构, 推动产业优化升级和科技创新, 而经济发展水平越高的地区更偏向于第二、三产业的发展。从直接效应来看, 核心解释变量在 1% 的水平下显著, 直接效应回归系数为 -0.0584, 表明极端气候造成的受灾率每增加 1%, 将导致本地区粮食产业高质量发展水平降低 0.0584%。从间接效应来看, 在邻接空间权重矩阵下, 核心解释变量通过显著性检验且符号为负, 表明极端气候具有负向的空间溢出效应, 对邻近地区的粮食产业高质量发展具有显著的抑制作用, 验证了假说 H6。总体而言, 由洪涝、干旱、高温、冰雹、强台风等极端气候事件的发生导致的自然灾害不仅给本地区粮食产业高质量发展造成严重威胁, 还会通过空间溢出效应对邻近地区的粮食产业高质量发展产生不利影响, 因此应重视并采取相关措施减缓和适应极端气候造成的负面影响。

Table 7. Spatial spillover effect decomposition based on spatial Durbin model

表 7. 基于空间杜宾模型的空间溢出效应分解

变量	直接效应		间接效应		总效应	
	系数	Z 值	系数	Z 值	系数	Z 值
exclim	-0.0584***	0.0134	-0.1162*	0.0640	-0.1746**	0.0729
city	-0.0007	0.0006	0.0072***	0.0027	0.0065**	0.0031
lngdp	-0.0217	0.0153	-0.3585***	0.0776	-0.3802***	0.0867
invest	-0.2605**	0.1143	0.0971	0.5574	-0.1634	0.6092
edu	-0.0089	0.0065	0.0537	0.0328	0.0449	0.0373

注: *, **, *** 分别表示 10%、5%、1% 的水平下显著。

4.2.3. 区域异质性检验

为检验极端气候对粮食产业高质量发展影响的区域异质性, 本文按照粮食主产区、产销平衡区、粮食主销区分组进行回归和空间模型估计, 见表 8。极端气候对粮食产业高质量发展的影响具有明显的区域差异, 由表 8 结果知, 粮食主产区的核心解释变量的直接效应、间接效应和总效应均在 1% 的水平下显著为负。但与全国整体的估计结果相比, 在粮食主产区内, 由极端气候造成的自然灾害对本地区及邻近地区粮食产业高质量发展产生的影响更大、显著性更强。粮食主产区作为承担国家粮食安全保障的重要

区域，其粮食播种面积较大且生产区域相对集中，一旦遭遇极端气候，将导致大面积粮食受损，化肥、农药、资金等投入要素需求增多，易形成区域间要素竞争和要素配置，抑制了两区域粮食产业高质量发展。粮食产销平衡区的核心解释变量的总效应显著为负，间接效应不显著。粮食产销平衡区多为经济、技术相对落后的西南和西北省份，且生产粮食的经济效益较低，种粮一般为自给自足，当遭受极端气候影响时种粮农户很少采取适应性调整措施，因此弱化了极端气候对产销平衡区粮食产业的间接影响，进而对其粮食产业高质量发展影响较小。粮食主销区的直接效应为正但不显著，间接效应估计系数在 10% 水平下显著为正，这说明极端气候会产生正向的空间溢出效应，对周边地区粮食产业高质量发展产生显著的推动作用。粮食主销区以工业化、城市化为主导，有效粮田面积和粮食播种面积相对较少，非粮化现象较为明显，加之本地先进的技术和管理经验做调节，气候资源变化还未能显著影响其发展，而本地粮食生产的技术、知识对邻地产生溢出效应，邻近种粮经营主体在学习先进的技术和管理水平的同时会汲取经验，兼顾粮食发展与环境保护，从而促进其粮食产业高质量发展。

Table 8. Estimation results and effect decomposition of spatial Durbin model for grain functional areas

表 8. 粮食功能区空间杜宾模型估计结果及效应分解

变量	粮食主产区				产销平衡区				粮食主销区			
	回归系数	效应分解			回归系数	效应分解			回归系数	效应分解		
		直接效应	间接效应	总效应		直接效应	间接效应	总效应		直接效应	间接效应	总效应
exclim	-0.0528*** (0.0189)	-0.0643*** (0.0204)	-0.1470*** (0.0512)	-0.2113*** (0.0600)	-0.0135** (0.0066)	-0.0116 (0.0074)	-0.0084 (0.0113)	-0.0201* (0.0105)	0.0024 (0.0040)	0.0042 (0.0046)	0.0116* (0.0069)	0.0158 (0.0100)
city	-0.0024*** (0.0007)	-0.0028*** (0.0009)	-0.0037 (0.0026)	-0.0065** (0.0032)	-0.0006* (0.0003)	-0.0003 (0.0003)	-0.0020*** (0.0005)	-0.0023*** (0.0005)	-0.0014*** (0.0005)	-0.0010* (0.0006)	0.0028*** (0.0007)	0.0018 (0.0012)
lngdp	0.0652*** (0.0193)	0.0829*** (0.0254)	0.1857** (0.0800)	0.2687*** (0.1017)	0.0402*** (0.0076)	0.0423*** (0.0085)	-0.0056 (0.0143)	0.0367*** (0.0124)	0.0038 (0.0252)	0.0049 (0.0281)	-0.0119 (0.0294)	-0.0070 (0.0556)
invest	2.0943*** (0.2614)	2.5348*** (0.3518)	5.1603*** (1.5359)	7.6951*** (1.7643)	-0.0614 (0.0523)	-0.0397 (0.0583)	-0.1353* (0.0746)	-0.1750*** (0.0570)	-1.6303*** (0.4648)	-1.1218* (0.6819)	3.0667*** (0.9430)	1.9449 (1.6117)
edu	-0.0078 (0.0104)	-0.0153 (0.0121)	-0.0919** (0.0389)	-0.1072** (0.0475)	-0.0077*** (0.0021)	-0.0136*** (0.0025)	0.0321*** (0.0054)	0.0185*** (0.0050)	0.0101** (0.0046)	0.0112** (0.0047)	0.0103 (0.0063)	0.0215** (0.0095)
Log-l		302.6272				355.1283				238.0984		
R ²		0.6160				0.4254				0.8255		

注：*、**、***分别表示 10%、5%、1%的水平下显著。

4.3. 极端气候的影响效应检验结果分析

根据前文极端气候对粮食产业高质量发展的影响效应分析，极端气候的产出效应、投入效应、结构效应和技术进步会对粮食产业高质量发展的各个子系统——粮食安全、粮食产业经济福利、粮食产业绿色可持续、粮食产业结构效率及粮食产业科技创新产生影响。因此本文运用面板 Tobit 模型对极端气候的影响效应进行检验，检验结果如表 9 所示。由实证结果知，粮食安全、规模效率、绿色可持续、经济福利系统的回归系数都显著为负，表明极端气候的产出效应、投入效应和结构效应对其发展具有抑制作用，由此验证了研究假设 H1、H2 和 H3。粮食产业科技创新的估计系数在 10% 的显著性水平下为正，表明极端气候通过技术进步对粮食产业科技创新具有显著的正向影响，由此验证了研究假设 H4。

Table 9. Estimation results of the econometric model of the effects of extreme climate
表 9. 极端气候的影响效应计量模型估计结果

变量	粮食安全	规模效率	绿色可持续	科技创新	经济福利
exclim	-0.0229*** (0.0055)	-0.0083** (0.0036)	-0.0420*** (0.0074)	0.0033* (0.0017)	-0.0147*** (0.0045)
city	-0.0001 (0.0003)	0.0004** (0.0002)	0.0001 (0.0003)	0.0000 (0.0001)	-0.0002 (0.0002)
lngdp	-0.0153* (0.0086)	-0.0047 (0.0051)	-0.0421*** (0.0078)	0.0153*** (0.0020)	0.0211*** (0.0039)
invest	0.1092* (0.0593)	0.0594* (0.0328)	-0.2168*** (0.0815)	0.1073*** (0.0185)	0.1842*** (0.0377)
edu	0.0133*** (0.0027)	0.0065*** (0.0015)	-0.0132*** (0.0048)	0.0004 (0.0011)	0.0074*** (0.0019)
cons	0.1173 (0.0757)	0.0149 (0.0459)	0.8135*** (0.0848)	-0.1609*** (0.0227)	-0.1842*** (0.0410)
var(e.Y)	0.0005*** (0.0001)	0.0002*** (0.0000)	0.0009*** (0.0001)	0.0000*** (0.0000)	0.0002*** (0.0000)
N	310	310	310	310	310

注：*、**、***分别表示 10%、5%、1%的水平下显著。

5. 结论与启示

本文以全国 31 省(市、区)为研究对象,在厘清极端气候对粮食产业高质量发展的影响机制的基础上,运用空间计量模型和面板 Tobit 模型实证分析极端气候对粮食产业高质量发展的影响程度及空间溢出效应。主要研究结论如下:第一,2011~2020 年我国粮食产业高质量发展平均水平呈上升趋势。第二,我国粮食产业高质量发展在空间布局上呈现出集聚态势,而极端气候导致的自然灾害不仅给本地区粮食产业高质量发展造成严重威胁,还会通过空间溢出效应对邻近地区的粮食产业高质量发展产生不利影响,且存在区域异质性。第三,极端气候的产出效应、投入效应、结构效应对子系统粮食产业经济福利、绿色可持续、结构效率及粮食安全具有抑制作用,而通过技术进步对粮食产业科技创新具有促进作用。

基于以上研究结论得出以下对策建议:

极端气候风险不仅给本地区粮食产业高质量发展造成严重威胁,还会通过空间溢出效应对邻近地区的粮食产业高质量发展产生不利影响,因此需要建立起粮食产业高质量发展的保障机制。首先,将极端气候等外在环境因素纳入到粮食产业高质量发展的框架中并瞄准极端气候风险管理、风险治理及生态价值补偿三个环节,对提高粮食产业高质量发展具有重要作用。一方面要借助数字经济,充分使用大数据和智能化监测气候变化的技术手段,并构建全面的重大灾害事件统计体系,加强对全国及各地区的气候变化情况尤其是极端天气的监测和预警。另一方面,加大农业新基建方面的基础设施投入,建设高标准农田,建立起高效的极端气候防御体系。最后还需通过减少碳排放并增加碳汇等方式进行生态价值补偿,并构建和完善高效生态型农业生产体系,通过生态恢复和农业生态建设从根源上降低极端气候风险。此外,粮食产业高质量发展还需要内部因素的调节与推动。粮食产业高质量发展体系涉及到政府、市场、农业社会化服务组织及种粮农户等众多参与主体,因此不同层级的参与主体应形成其价值发挥机制和合作机制,增加项目调整的灵活性,使各参与主体积极合作,通过延伸粮食产业链、提升粮食价值链、打

造粮食供应链并激发粮食创新链等途径，在推动粮食产业高质量发展的同时实现多方共赢。

参考文献

- [1] 戴瑞姣. 《关于坚持以高质量发展为目标加快建设现代化粮食产业体系的指导意见》解读[J]. 农村经济与科技, 2020, 31(20): 278-279.
- [2] 闫骥瑞. 气候变化对我国农业生产率影响效应研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2020.
- [3] 俞书傲. 气候变化对农作物生产的影响[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2019.
- [4] 黄季焜. 对近期与中长期中国粮食安全的再认识[J]. 农业经济问题, 2021(1): 19-26.
- [5] 李利英, 豆丹丹, 李凤廷, 刘威. 新时期粮食产业高质量发展的内涵与路径研究[J]. 农业经济, 2022(6): 50-52.
- [6] 颜波, 亢霞, 姜明伦, 曾伟. 我国粮食产业高质量发展研究(上) [J]. 中国粮食经济, 2019(12): 43-46.
- [7] 王瑞峰, 王艳艳, 曾海容. 粮食产业高质量发展影响因素的实证检验[J]. 统计与决策, 2021, 37(18): 103-107.
- [8] 郝爱民, 刘育廷. 三产融合对主产区粮食产业高质量发展的外溢效应研究[J]. 农林经济管理学报, 2022(5): 509-517.
- [9] 祁迪, 祁华清, 樊琦. 粮食产业高质量发展评价指标体系构建[J]. 统计与决策, 2022(5): 106-110.
- [10] 华坚, 潘雪晴. 农业科技创新对粮食产业高质量发展的影响——基于 30 个省份面板数据分析[J]. 华东经济管理, 2022(7): 55-64.
- [11] 李明文, 王振华, 张广胜. 农业服务业促进粮食高质量发展了吗——基于 272 个地级市面板数据的门槛回归分析[J]. 农业技术经济, 2020(7): 4-16.
- [12] 高维龙. 粮食产业高质量发展的绿色创新驱动机制研究[J]. 江西财经大学学报, 2022(3): 73-86.
- [13] 梁伟森, 方伟. 粮食产业高质量发展评价及其影响因素——基于广东省的经验证据[J]. 江苏农业科学, 2021(12): 215-221.
- [14] 高维龙, 李士梅. 农业服务化对粮食产业高质量发展的驱动机制研究[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2021(5): 1-14+37.
- [15] 陈卫洪, 谢晓英. 气候灾害对粮食安全的影响机制研究[J]. 农业经济问题, 2013(1): 12-19.
- [16] 苏芳, 刘钰, 汪三贵, 尚海洋. 气候变化对中国不同粮食产区粮食安全的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2022(8): 140-152.
- [17] 霍治国, 江梦圆, 匡昭敏, 李莉, 孔瑞, 李春晖, 张海燕. 国外农产品气候品质评价研究进展[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(9): 34-49.
- [18] 张爽. 气候变化对我国农民收入的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2021.
- [19] 崔宁波, 董晋. 主产区粮食生产安全: 地位、挑战与保障路径[J]. 农业经济问题, 2021(7): 130-144.
- [20] 陆盈盈. 气候变化对中国农业全要素生产率变动的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2019.