

DOI: 10.12357/cjea.20240088

范振楠, 覃朝晖, 余思明. 极端气温对粮食生产韧性的影响效应研究——基于绿色金融视角[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(5): 896–910

FAN Z N, QIN Z H, YU S M. Impact of extreme temperature on the resilience of grain production: perspectives on green finance[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2024, 32(5): 896–910

极端气温对粮食生产韧性的影响效应研究^{*} ——基于绿色金融视角

范振楠, 覃朝晖^{**}, 余思明

(三峡大学经济与管理学院 宜昌 443002)

摘要: 随着极端气温事件增多, 粮食生产受到严重威胁。本文基于 2012—2021 年中国除港澳台地区的 31 个省(自治区、直辖市)面板数据测算粮食生产韧性, 采用面板 Tobit 模型论证极端气温对粮食生产韧性的影响, 并运用调节效应模型检验绿色金融发挥的调节效应。研究发现, 极端气温显著降低了粮食生产韧性水平, 且极端高温对粮食生产韧性的负向影响更大。机制分析表明, 绿色金融在极端气温对粮食生产韧性的影响中发挥负向调节作用。异质性分析显示, 在粮食主产区和产销平衡区, 极端气温对粮食生产韧性的抑制作用更明显, 并且极端高温的不利影响大于极端低温; 从粮食生产韧性的 3 个维度来看, 极端高温显著降低了抵抗力和适应力, 极端低温显著降低了适应力。绿色金融调节效应也呈现明显的异质性, 其在粮食主产区、产销平衡区以及适应力维度均具有显著的负向调节作用; 但在主销区调节作用不显著, 且在变革力维度仅缓解了极端低温对粮食生产韧性的不利影响。据此, 为了应对极端气温的不利影响, 未来可通过持续提高粮食生产保障水平、加强粮食生产领域绿色金融支持力度、制定差异化粮食生产韧性提升方案, 来促进粮食生产韧性水平提高。

关键词: 极端气温; 粮食生产韧性; 绿色金融; 粮食生产功能区; 异质性

中图分类号: S161.2; F323.3

Impact of extreme temperature on the resilience of grain production: perspectives on green finance^{*}

FAN Zhennan, QIN Zhaohui^{**}, YU Siming

(College of Economics and Management, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: Against the backdrop of the intensifying effects of global climate change, the number of extreme temperature events are gradually increasing, posing a severe challenge to grain production. Clarifying the impacts and mechanisms of extreme temperature on the resilience of grain production is of great significance for responding to these temperature events, thereby improving the grain production resilience and ensuring food security. Grain production is an important component of the grain system, and existing research has not thoroughly analyzed the relationship and underlying mechanisms between extreme temperature and grain production resilience. Therefore, based on panel data from 31 provinces (autonomous regions and municipalities) in China, excluding Hong Kong of China, Macao of China, and Taiwan of China, from 2012 to 2021, this article used the entropy method to calculate the resilience level of grain production and the level of green finance. A panel Tobit model was constructed to empirically analyze the impact

^{*} 国家社会科学基金项目 (21BMZ138, 23CMZ021) 资助

^{**} 通信作者: 覃朝晖, 研究方向为农业农村发展。E-mail: zhaohuirr@163.com

范振楠, 研究方向为农业经济。E-mail: xinghe4664@163.com

收稿日期: 2024-02-28 接受日期: 2024-03-22

^{*} The study was supported by the National Social Science Foundation of China (21BMZ138, 23CMZ021).

^{**} Corresponding author, E-mail: zhaohuirr@163.com

Received Feb. 28, 2024; accepted Mar. 22, 2024

of extreme temperature on grain production resilience, and a moderating effect model was used to examine the regulatory effect of green finance on the impact of extreme temperature on grain production resilience. The results indicated that: 1) extreme temperature had a significant negative impact on the resilience of grain production, and the negative impact of extremely high temperature was stronger than that of extremely low temperature. Using observable variables to measure the likelihood of bias caused by unobserved variables alleviated endogeneity issues that may arise from omitted variables, and a series of robustness tests were conducted. Thus, this conclusion is valid. 2) A mechanistic analysis showed that green finance alleviated the adverse effects of extreme temperature on the grain production resilience. 3) The impact of extreme temperature on grain production resilience varied significantly across different functional areas of grain production and grain production resilience dimensions. Extreme temperature notably weakened the grain production resilience in the major grain-producing areas and production-sale balance areas. Moreover, the adverse effects of extremely high temperature surpassed those of extremely low temperature. However, extreme temperature did not significantly affect the grain production resilience in the major selling areas. Concerning the various dimensions of grain production resilience, both extremely high and low temperature significantly reduced adaptability, while extremely high temperature notably diminished resistance. 4) In terms of the impact of extreme temperature on grain production resilience, green finance was found to exert a significant regulatory effect on the main grain-producing areas, production-sale balance areas, and the adaptability dimension. Specifically, green finance positively regulated the impact of extremely low temperature on grain production resilience and the capacities of change and adapt. However, in major selling areas, the regulatory effect of green finance was not significant. Based on these results, we recommend enhancing grain production security, bolstering support for green finance in the grain production sector, and devising tailored strategies to enhance grain production resilience in response to escalating extreme temperature.

Keywords: Extreme temperature; Resilience of grain production; Green finance; Functional areas of grain production; Heterogeneity

国无农而不稳,民无粮则不安。国家统计局发布数据显示,截至2023年底,我国粮食总产量同比增长1.3%,连续9年稳定在6.5亿t以上,为维护粮食安全做出了积极贡献。2024年中央“一号文件”强调要抓好粮食生产,确保粮食产量保持稳定增长态势。但是粮食安全保障仍然面临巨大挑战,一个突出的表现是,气候变化使极端天气事件在全球范围内的发生频率和严重程度均大幅上升^[1]。据《中国气候变化蓝皮书(2023)》指出,中国极端高温等极端天气事件呈显著增加趋势,这对粮食生产的影响最为直接也最为严重,并最终威胁粮食安全。而极端气温是气温冷暖的重要指标^[2],与平均气温相比,极端气温对粮食生产的影响更为显著^[3]。在此情境下,粮食安全的内涵已不仅仅局限于粮食产量的提高,而在于促进粮食生产向更有韧性的方向转型。因此,在气候变暖背景下,深入剖析极端气温对我国粮食生产韧性的影响,探索强化粮食生产韧性的驱动机理和优化路径,不仅是培育粮食增产内生动能的必然选择,也是保障粮食安全的实然之举。

韧性问题是学术界长期关注的重大问题,Holling^[4]将韧性概念引入系统生态学领域,表述为系统遭受外部冲击后的自我修复能力。随后经济、社会等领域进一步丰富了韧性的内涵,Martin等^[5]认为韧性包含脆弱性、抵抗性、稳健性和恢复性4个方面,并从演化动态的视角对区域经济韧性进行分析。尽管直接研究粮食生产韧性的文献较少,但是仍能在一些学者的研究中体现粮食生产韧性的重要性。郝爱

民等^[6]从粮食生产、有效供给能力角度对粮食体系韧性进行了阐释。青平^[7]、樊胜根等^[8]提出增强粮食生产和供给的韧性,建立有韧性的农业与食物系统,将成为提高气候等突发事件应对能力的重要因素。蒋辉等^[9]认为粮食生产韧性是粮食生产体系应对外来冲击时表现出的抵抗力和恢复力,中国粮食生产韧性整体呈下降趋势。城镇化率、科技和农业生产资料价格等是粮食生产韧性的影响因素。有关极端气温与粮食生产韧性间关系的研究较少,学者们主要研究了极端气温与粮食生产的关系。研究发现,粮食生产系统对极端气候事件的响应主要表现为脆弱性^[10],冻害和热浪均显著造成粮食减产^[3,11]。此外,部分学者立足全球气候变暖背景,研究了粮食生产系统与极端气候变化的相互作用关系,发现气候极端化会增加粮食系统不确定性,同时粮食系统通过重新配置生产要素加剧气候极端化趋势^[12-13]。

以上研究为探讨极端气温对粮食生产韧性影响提供了丰富的理论基础,但仍存在不足之处,具体而言:1) 现有研究主要讨论粮食体系韧性问题,粮食生产是粮食体系的重要组成部分,更加强调粮食生产应对不确定性冲击的综合能力,但是目前将极端气温与粮食生产韧性结合的研究较少。2) 尽管绿色金融具有防范与化解气候变化风险的重要作用^[14],并且已有学者证实绿色金融能够提高粮食安全水平^[15],但是面对极端气温对粮食生产韧性的影响,绿色金融扮演怎样的角色,鲜有探讨。鉴于此,本文基于2012—2021年中国除港澳台外的31个省(自治区、

直辖市)的面板数据,构建了粮食生产韧性评价指标体系,探究极端气温变化对粮食生产韧性的影响。与已有研究相比,本文的可能边际贡献有 3 个方面: 1) 从极端高温和极端低温两方面,探讨极端气温变化对粮食生产韧性的影响,从而为提高粮食生产韧性提供新的视角。2) 分析绿色金融在极端气温变化影响粮食生产韧性过程中的调节作用,进一步丰富了现有文献。3) 探讨极端气温对粮食生产韧性影响效应的区域和维度异质性,以及绿色金融发挥调节效应的差异,从而为政府制定差异化政策提供参考。

1 理论分析与研究假说

1.1 极端气温对粮食生产韧性的影响

气温是影响粮食生产的重要自然因素之一,在全球气候变暖背景下,极端气温事件频发趋强,使粮食生产过度暴露在极端气温事件的冲击中。极端气温导致生产相关的基础设施遭到破坏^[16],持续高温会增加粮食储存成本,导致粮食生产抵御极端气温能力较差。潘根兴等^[17]认为,总体上粮食生产对极端气候变化的适应能力较弱,极端气温常常会造成短期粮食产量的急剧波动。已有众多证据表明,极端气温对粮食产量具有显著负向影响^[18-19]。同时,极端气温通过生物或非生物胁迫,改变粮食作物碳含量和养分摄入量,对粮食作物品质产生影响^[10]。例如,在极端高温下,土壤水分蒸发、有机质分解和营养物质流失速度加快^[20],病虫害呈加重趋势^[21],导致粮食质量下降。由柯布-道格拉斯生产函数可知,粮食生产是土地、资本、劳动力等多要素的组合函数,但是极端气温事件的发生阻碍了生产要素的优化配置,使粮食生产韧性面临的威胁增加。例如,极端高温降低了化肥利用效率^[22]和农药活性^[23],根据气候变化适应性行为理论,农户可能采取适应性措施予以应对,但是由于采用适应性措施的未来预期经济效益较低,所以农户更倾向于选择易操作、成本低和利己的适应性行为,如增施化肥、农药等^[24],但会造成资源过度浪费及面源污染等问题。极端气温还会进一步破坏土壤结构,导致耕地质量下降。此外,极端气温还会降低劳动生产率^[25]。粮食生产要素配置效率的下降,最终可能会导致粮食生产韧性的下降。基于以上分析,提出如下研究假说:

H1: 极端气温会降低粮食生产韧性水平。

1.2 绿色金融的调节效应

金融资源是粮食生产必不可少的要素之一,但是粮食生产仍然面临融资难题。传统金融更加注重

粮食产量增长,对环境保护问题缺乏足够关注,仍然支持一些高污染排放和过度使用资源的项目^[26]。此外,传统金融忽视了粮食生产受到的极端气温威胁^[27]。而绿色金融将金融活动与环境污染治理、应对气候变化相结合,实现环境效益与经济效益的良性平衡^[14],从而为缓解极端气温对粮食生产韧性的影响提供了重要手段。

具体而言,绿色金融的调节效应主要体现在以下 3 个方面: 第一,资金支持效应。绿色金融有助于引导更多资金向粮食生产领域倾斜^[15],降低融资成本^[28],提高粮食生产资金的可获得性,推动绿色基础设施建设、先进农业技术研发、环保生产资料及节能高效机械设备的购置等,从而在面对极端气温冲击时,有助于迅速恢复粮食生产能力。第二,风险分担效应。绿色保险特别是农业保险能够分散粮食生产过程中面临的气候风险,并在风险发生后为种粮户提供风险损失赔偿,从而提高种粮户的种粮积极性,稳定粮食生产。此外,农业保险通过给予政策补贴,优化粮食作物种植结构,促进土地流转以形成规模化生产,提高了投保种粮户抵御极端气温的能力^[29]。第三,污染减缓效应。一方面,绿色金融通过限制融资渠道、增加融资难度和融资成本^[30]等方式,将高污染涉粮企业的外部成本内部化,有效遏制其非绿色生产行为^[27],从而倒逼涉粮企业采用低碳技术和清洁生产工艺,以减少污染排放。另一方面,绿色金融使粮食生产更加注重品质提高和高污染要素投入减量增效及科学配比,优化生产要素投入结构,进而对污染排放产生影响。基于以上分析,提出如下研究假说:

H2: 绿色金融可以缓解极端气温对粮食生产韧性的不利影响。

2 模型设定、变量选取与数据来源

2.1 模型设定

基于上述理论分析,本文进一步通过实证模型来验证极端气温对粮食生产韧性的影响。由于采用熵值法计算的粮食生产韧性值范围为 0~1,是具有非负截断特征的变量,如果使用普通最小二乘法(OLS)可能无法得到一致估计量。故本文进一步构建如下面板 Tobit 模型:

$$\text{Rgp}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{Etemp}_{it} + \alpha_2 X_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: Rgp_{it} 表示第 i 个省份第 t 年的粮食生产韧性, Etemp_{it} 表示第 i 个省份第 t 年的极端气温, X_{it} 表示一系列控制变量, μ_i 表示个体效应, ε_{it} 表示随机误差项,

α_0 表示截距项, α_1 、 α_2 表示待估计参数。

为了检验绿色金融在极端气温对粮食生产韧性影响中的调节效应, 构建模型如下:

$$Rgp_{it} = \beta_0 + \beta_1 Etemp_{it} + \beta_2 Gf_{it} + \beta_3 Etemp_{it} \times Gf_{it} + \beta_4 X_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: Gf_{it} 表示绿色金融, $Etemp_{it} \times Gf_{it}$ 表示极端气温与绿色金融的交互项, β_0 表示截距项, β_1 、 β_2 、 β_3 和 β_4 表示待估计参数, 其他符号含义与式(1)相同。

2.2 变量选取

被解释变量: 粮食生产韧性(Rgp)。本文在借鉴郝爱民等^[6]和蒋辉等^[9]研究成果的基础上, 构建包含抵抗力、适应力、变革力3个一级指标、8个二级指标以及可量化的21个三级指标的粮食生产韧性综合评价指标体系(表1)。同时在进行粮食生产韧性指数测度时, 采用熵值法测量指标权重。

解释变量: 极端气温(Etemp)。本文根据气候变化检测和指数专家组(ETCCDI)对极端气候指数的定义^[31], 选取极端温度指数中的暖昼日数(TX90p)表示极端高温, 即日最高气温>90%分位值的天数百分比, 选取极端温度指数中的冷夜日数(TN10p)表示极端低温, 即日最低气温<10%分位值的天数百分比。

调节变量: 绿色金融(Gf)。目前尚未有统一的绿色金融评价指标体系, 本文依照人民银行等七部委发布的《关于构建绿色金融体系的指导意见》, 基于系统性、科学性、可比性和可获得性等原则, 参考以往学者的研究^[32], 从绿色信贷、绿色投资、绿色保险、绿色债券、绿色支持、绿色基金、绿色权益7个方面构建绿色金融评价指标体系(表2), 测算绿色金融发展水平。

控制变量。根据已有文献, 控制变量各指标选取如下: 1) 极端降水(R95p), 选取极端降水指数中的强降水总量表示极端降水, 即日降水量>95%分位值的年累积降水量; 2) 财政支农比重(Fsa), 用农林水事务财政支出占农林牧渔总产值的比重来衡量; 3) 农村交通基础设施(Road), 用农村公路密度来衡量; 4) 种植结构(Ps), 用粮食作物播种面积占非粮食作物播种面积的比重表示; 5) 农业贸易开放水平(Ato), 用农产品进出口总额占农业产值比重表示。

2.3 数据来源

为确保样本连续性和数据可得性, 本文选取2012—2021年除中国港澳台外的31个省(自治区、直辖市)的面板数据。极端气温数据(日最高气温、日最低气温)来自于国家气象科学数据中心(<https://data.cma.cn/data/>); 原粮优质品率相关数据来源于布瑞克

农业数据库, 个别缺失值用储备粮质量达标率补充替代; 绿色食品粮食类别获证产品数相关数据来自《绿色食品统计年报》; 绿色金融发展水平指数数据来源于《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国金融年鉴》《中国保险年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国统计年鉴》, 以及万得数据库(Wind)和中国经济金融研究数据库(CSMAR)。粮食生产韧性指数和控制变量的相关数据来自于《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国人口与就业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》及各省统计年鉴。此外, 对于个别缺失数据, 本文采用插值法计算求得。表3为本文主要变量的描述性统计结果, 粮食生产韧性均值为0.254, 最大值为0.415, 最小值为0.096, 这表明不同地区间粮食生产韧性差异较大, 各极端气候指标也存在较大差异。

3 实证结果及分析

3.1 粮食生产韧性时序演变分析

3.1.1 全国及区域粮食生产韧性时序演变

为了分析比较全国及区域粮食生产韧性, 参照《国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020年)》的标准将31个省(自治区、直辖市)分为粮食主产区、主销区和产销平衡区。由图1可知, 全国及三大粮食生产功能区的粮食生产韧性均呈波动上升趋势, 全国平均粮食生产韧性值从2012年的0.223上升至2021年的0.270。粮食主产区的粮食生产韧性值始终高于全国平均水平, 在2012—2014年间, 粮食主产区与全国粮食生产韧性值逐渐贴近, 但之后又逐渐拉开差距。产销平衡区与主销区粮食生产韧性值较为接近, 尽管从时间趋势来看均呈波动增长态势, 但均明显低于全国平均水平。

3.1.2 省域粮食生产韧性时序演变

如表4所示, 2012—2021年31个省(自治区、直辖市)的粮食生产韧性Mann-Kendall趋势检验(MK检验)结果表明, 粮食生产韧性呈上升趋势居多, 共有23个省份在5%水平呈显著上升趋势, 山西和上海呈不显著上升趋势, 海南、西藏和甘肃无明显变化趋势, 天津、辽宁和青海的粮食生产韧性在5%显著性水平呈下降趋势。说明从省域层面来看, 绝大部分省份粮食生产应对外部冲击或风险能力逐渐提高, 能够在一定程度上为粮食安全提供持续保障。山西、甘肃常年干旱, 山多地少且土壤贫瘠; 青海、西藏地处高原, 海拔高且气温低, 受制于地理环

表 1 粮食生产韧性的评价指标体系
Table 1 Evaluation indexes system of the grain production resilience

一级指标 Primary indicator	二级指标 Secondary indicator	三级指标 Third indicator	单位 Unit	指标说明 Indicator description	指标属性 Index attribute
抵抗力 Resistance	生产基础 Production basis	耕地面积 Cultivated land area	hm ²	省域耕地面积 Area of cultivated land in the province	正向 Positive
		有效灌溉率 Effective irrigation rate	%	有效灌溉面积/农作物总播种面积 Effective irrigated area/total planted area of crops	正向 Positive
		农村第一产业从业人员比重 Proportion of workers in rural primary industry	%	(第一产业就业人员比重×乡村从业人数)/农村总人口数 (Proportion of employed persons in primary industry × number of employed persons in rural areas)/total rural population	正向 Positive
		农业产值比重 Proportion of agricultural output value	%	农业产值/农林牧渔总产值 Agricultural output value/total output value of agriculture, forestry, animal husbandry and fishery	正向 Positive
	经济支撑 Economic support	粮食单位面积产量 Grain production per unit area	kg·hm ⁻²	粮食总产量/粮食播种面积 Total grain production/grain sown area	正向 Positive
		粮食零售价格指数 Retail grain price index	%	当期粮食价格/基期粮食价格 Current grain price/grain price in base year	正向 Positive
		单位面积化肥施用量 Fertilizer application rate per unit area	kg·hm ⁻²	化肥施用量/农作物播种面积 Fertilizer application amount/crop sown area	负向 Negative
		单位面积农药施用量 Pesticide application rate per unit area	kg·hm ⁻²	农药施用量/农作物播种面积 Pesticide application amount/crop sown area	负向 Negative
		单位面积农膜使用量 Amount of agricultural film used per unit area	kg·hm ⁻²	农膜使用量/农作物播种面积 Agricultural film usage/crop sown area	负向 Negative
		生态条件 Ecological condition			
适应力 Adaptability	生产质量 Production quality	原粮优质品率 High quality rate of raw grains	%	稻谷(早籼稻、中晚籼稻、粳稻)、夏收小麦、玉米的收获质量、大豆完整粒率中等以上比例的均值 Mean proportion of rice (early indica rice, top and late indica rice, and japonica rice), summer wheat and maize grains with above medium quality, or soybean with above medium grain percentage	正向 Positive
		绿色食品粮食类别获证产品数 Number of green food grain category certified products		当年认证绿色食品标志产品数×绿色食品产品结构 Number of certified green food labelled products×green grain product structure	正向 Positive
	治理水平 Governance level	水土流失治理面积 Soil erosion control area	hm ²	省域水土流失治理面积 Provincial soil erosion control area	正向 Positive
		农村电力水平 Rural electricity power level	kWh·person ⁻¹	农村用电量/农村总人口数 Rural electricity consumption/total rural population	正向 Positive
		受灾率 Damage rate	%	农作物受灾面积/农作物总播种面积 Crop affected area/total sown area	负向 Negative
	可恢复力 Restoring force	粮食复种指数 Multiple cropping index of grain	%	粮食播种面积/耕地面积 Grain sown area/cultivated land area	正向 Positive
		农业固定资产投资 Investment in agricultural fixed assets	×10 ⁸ ¥	农林牧渔固定资产投资额×(农业产值/农林牧渔总产值) Investment in fixed assets for agriculture, forestry, animal husbandry and fishery×(agricultural output value/total output value of agriculture, forestry, animal husbandry and fishery)	正向 Positive
		农业产值增速 Agricultural output value growth rate	%	(当期农业产值-上期农业产值)/上期农业产值 (Current agricultural output value - previous agricultural output value)/previous agricultural output value	正向 Positive
		变革力 Change capacity			
	技术进步 Technological advances	农业科研支出比重 Proportion of agricultural research expenditure	%	农业科研经费支出/农业产值 Agricultural research expenditure/agricultural output value	正向 Positive
		农业研发人力资本 Agricultural R&D human capital	persons	公有经济企事业单位农业技术人员数 Number of agricultural technicians in public economic enterprises and institutions	正向 Positive
	多样协作 Diverse collaboration	农林牧渔服务业比重 Proportion of agriculture, forestry, animal husbandry and fishery services	%	农林牧渔服务业产值/农林牧渔总产值 Output value of agriculture, forestry, animal husbandry and fishery services/total output value of agriculture, forestry, animal husbandry and fishery	正向 Positive
		单位面积农业机械总动力 Total power of agricultural machinery per unit area	kW·hm ⁻²	农业机械总动力/农作物播种面积 Total power of agricultural machinery/sown area of crops	正向 Positive

表 2 绿色金融评价指标体系
Table 2 Evaluation index system of the green finance

一级指标 Primary indicator	二级指标 Secondary indicator	指标说明 Indicator description	指标属性 Index attribute
绿色信贷 Green credit	环境保护项目信贷占比 Proportion of credit for environmental protection projects	环境保护项目信贷总额/信贷总额 Total credit for environmental protection projects/total credit	正向 Positive
绿色投资 Green investment	环境污染治理投资占比 Proportion of investment in environmental pollution control	环境污染治理投资/GDP Environmental pollution control investment/GDP	正向 Positive
绿色保险 Green insurance	农业保险赔偿比例 Agricultural insurance compensation ratio	农业保险支出/农业保险收入 Agricultural insurance expenditure/agricultural insurance income	正向 Positive
绿色债券 Green bond	绿色债券发展程度 Green bond development degree	绿色债券发行总额/债券发行总额 Total issuance of green bond/total issuance of bond	正向 Positive
绿色支持 Green support	财政环境保护支出占比 Proportion of expenditure on fiscal environmental protection	财政环境保护支出/财政一般预算支出 Fiscal environmental protection expenditure/general budget expenditure of finance	正向 Positive
绿色基金 Green fund	绿色基金占比 Proportion of green fund	绿色基金总市值/基金总市值 Total market value of green funds/total market value of funds	正向 Positive
绿色权益 Green rights and interests	绿色权益发展深度 Depth of development of green rights and interests	碳交易、用能权交易、排污权交易/权益市场交易总额 Total carbon trading, energy trading, emission rights trading/equity market transactions	正向 Positive

表 3 粮食生产韧性指数主要变量的描述性统计
Table 3 Descriptive statistics of variables of the grain production resilience index

变量 Variable	符号 Symbol	样本量 Sample size	均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum
粮食生产韧性 Resilience of grain production	Rgp	310	0.254	0.063	0.096	0.415
极端高温 Extremely high temperature	TX90p	310	0.456	0.112	0.167	0.844
极端低温 Extremely low temperature	TN10p	310	0.340	0.126	0.030	0.652
绿色金融 Green finance	Gf	310	0.240	0.109	0.052	0.686
极端降水 Extreme precipitation	R95p	310	0.344	0.212	0.014	1.168
财政支农比重 Proportion of fiscal support to agriculture	Fsa	310	0.309	0.390	0.070	2.091
农村交通基础设施 Rural transport infrastructure	Road	310	0.877	0.489	0.054	2.184
种植结构 Planting structure	Ps	310	3.353	4.791	0.551	33.192
农业贸易开放水平 Level of agricultural trade openness	Ato	310	0.828	2.503	0.009	16.880

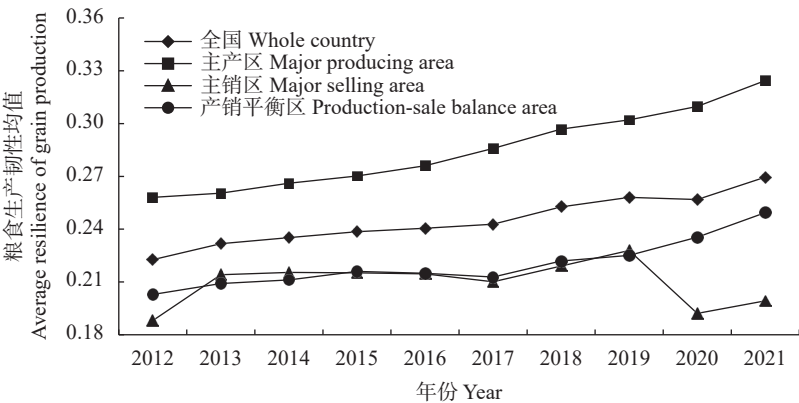


图 1 全国及不同粮食生产功能区粮食生产韧性时序变化

Fig. 1 Temporal changes of grain production resilience of the whole country and different functional areas of grain production

境和自然条件, 这些省(自治区)粮食生产韧性提升不明显, 甚至下降; 上海、海南和天津虽位于经济发展水平较高的东部地区, 但是由于粮食耕种面积少、种粮劳动力缺乏等, 其粮食生产韧性发展未能与经

济发展步调一致; 辽宁属粮食主产区, 随粮食主产区政策支持力度的加强, 农业现代化进程加快推进, 在一定程度上有利于粮食生产韧性提高, 但是辽宁粮食生产韧性不升反降, 主要是自然灾害频发所致^[9]。

表 4 2012—2021 年不同省(自治区、直辖市)粮食生产韧性 Mann-Kendall (MK) 趋势检验

Table 4 Mann-Kendall (MK) trend test of grain production resilience of different provinces (autonomous regions and municipalities) from 2012 to 2021

省(自治区、直辖市) Province (autonomous regions and municipalities)	MK 检验值 MK test value	变化趋势 Change trend	省(自治区、直辖市) Province (autonomous regions and municipalities)	MK 检验值 MK test value	变化趋势 Change trend
北京 Beijing	2.147**	显著上升 Significant increase	湖北 Hubei	3.578***	显著上升 Significant increase
天津 Tianjin	-1.789**	显著下降 Significant decrease	湖南 Hunan	3.757***	显著上升 Significant increase
河北 Hebei	3.399***	显著上升 Significant increase	广东 Guangdong	1.789**	显著上升 Significant increase
山西 Shanxi	0.537	不显著上升 No significant increase	广西 Guangxi	3.757***	显著上升 Significant increase
内蒙古 Inner Mongolia	2.504***	显著上升 Significant increase	海南 Hainan	0.000	无明显趋势 No obvious trend
辽宁 Liaoning	-1.789**	显著下降 Significant decrease	重庆 Chongqing	1.789**	显著上升 Significant increase
吉林 Jilin	2.504***	显著上升 Significant increase	四川 Sichuan	3.578***	显著上升 Significant increase
黑龙江 Heilongjiang	3.399***	显著上升 Significant increase	贵州 Guizhou	3.578***	显著上升 Significant increase
上海 Shanghai	0.358	不显著上升 No significant increase	云南 Yunnan	3.935***	显著上升 Significant increase
江苏 Jiangsu	2.862***	显著上升 Significant increase	西藏 Xizang	0.000	无明显趋势 No obvious trend
浙江 Zhejiang	2.326***	显著上升 Significant increase	陕西 Shaanxi	3.578***	显著上升 Significant increase
安徽 Anhui	3.757***	显著上升 Significant increase	甘肃 Gansu	0.000	无明显趋势 No obvious trend
福建 Fujian	3.578***	显著上升 Significant increase	青海 Qinghai	-1.789**	显著下降 Significant decrease
江西 Jiangxi	3.220***	显著上升 Significant increase	宁夏 Ningxia	2.862***	显著上升 Significant increase
山东 Shandong	3.399***	显著上升 Significant increase	新疆 Xinjiang	2.862***	显著上升 Significant increase
河南 Henan	3.757***	显著上升 Significant increase	全国 National	3.757***	显著上升 Significant increase

和*分别表示在5%和1%水平显著。 ** and *** indicate significance at 5% and 1% levels, respectively.

3.2 绿色金融时序演变分析

图 2 展示了 2012—2021 年全国绿色金融及 7 个维度的变化趋势。从绿色金融均值来看, 全国绿色金融发展水平整体呈稳定上升趋势, 从 2012 年的 0.141 提高到 2021 年的 0.330。近年, 我国深入推进生态文明建设, 并将“绿色发展”纳入国家战略范畴, 为绿色金融提供制度保障, 使得绿色金融蓬勃发展。“双碳”目标的提出, 为绿色金融发展带来更加广阔的市场机遇。但我国绿色金融发展水平总体不高, 仍处于积极探索阶段。随着绿色金融纵深发展, 产品服务创新不断涌现。从绿色金融 7 个维度均值来看, 绿色保险发展水平最高, 充分凸显了绿色保险, 尤其是农业保险在保障粮食生产方面的巨大潜力。绿色

投资和绿色支持的均值在 2012—2021 年间有小幅下降, 但总体在 0.17 和 0.03 左右徘徊, 这表明我国持续投入资金保护环境和治理污染。绿色信贷、绿色债券、绿色基金和绿色权益均值在 2012—2021 年间均呈上升趋势, 说明绿色信贷、绿色债券、绿色基金和绿色权益发展水平持续增长, 调节资金流向绿色低碳领域, 有效拓宽了绿色项目的融资渠道, 降低了融资成本和项目风险。但是 10 年间绿色信贷、绿色债券、绿色基金和绿色权益均值增长幅度较小, 未来可能面临较大需求和提升空间。

3.3 极端气温对粮食生产韧性影响的基准回归结果

表 5 为极端气温对粮食生产韧性影响的估计结果。模型 1 和模型 3 显示, 极端高温和极端低温对粮

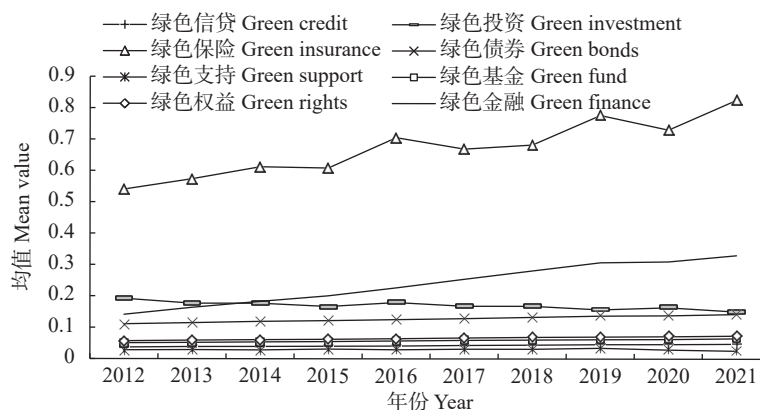


图 2 2012—2021 年全国绿色金融及 7 个维度发展水平的时序变化

Fig. 2 Temporal changes of the development levels of national green finance and it's seven indicators from 2012 to 2021

表 5 极端气温对粮食生产韧性影响的基准回归结果
Table 5 Benchmark regression results of the impact of extreme temperature on the grain production resilience

变量 Variable	模型1 Model 1	模型2 Model 2	模型3 Model 3	模型4 Model 4
极端高温 Extremely high temperature (TX90p)	-0.139*** (0.026)	-0.126*** (0.025)		
极端低温 Extremely low temperature (TN10p)			-0.089*** (0.015)	-0.079*** (0.015)
极端降水 Extreme precipitation (R95p)		-0.005 (0.012)		-0.002 (0.012)
财政支农比重 Proportion of fiscal support for agriculture (Fsa)		0.043*** (0.015)		0.040*** (0.015)
农村交通基础设施 Rural transport infrastructure (Road)		0.079*** (0.014)		0.076*** (0.014)
种植结构 Planting structure (Ps)		0.003*** (0.001)		0.003** (0.001)
农业贸易开放水平 Level of agricultural trade openness (Ato)		-0.008*** (0.002)		-0.008*** (0.002)
cons	0.308*** (0.015)	0.217*** (0.022)	0.275*** (0.011)	0.189*** (0.019)
sigma_u	0.053*** (0.007)	0.053*** (0.007)	0.056*** (0.007)	0.054*** (0.007)
sigma_e	0.027*** (0.001)	0.025*** (0.001)	0.027*** (0.001)	0.025*** (0.001)
LR chibar2	370.61***	360.11***	404.40***	375.68***
ρ	0.794	0.822	0.815	0.826
Log likelihood	622.873	645.662	625.721	647.474
N	310	310	310	310

括号内数值为标准误。**和***分别表示在5%和1%水平显著。Cons、sigma_u、sigma_e、LR chibar2、 ρ 、log likelihood和N分别代表常量、个体效应标准误、特异效应标准误、LR卡方检验值、方差比系数、对数似然值和样本数。Standard deviations are in parentheses. ** and *** indicate significance at 5% and 1% levels, respectively. Cons, sigma_u, sigma_e, LR chibar2, ρ , log likelihood and N represent constant, individual effect standard error, specific effect standard error, LR chi square test value, variance ratio coefficient, log likelihood value, and sample size, respectively.

食生产韧性的估计系数分别为-0.139和-0.089,均在1%的水平通过检验。模型2和模型4在考虑控制变量时,极端高温和极端低温的估计系数绝对值有所下降,但仍在1%水平上显著为负,表明极端气温对粮食生产韧性提高具有显著的抑制作用。由此,假说H1得到验证。这意味着极端高温和极端低温都会在一定程度上影响粮食生产韧性,但在影响程度上有所差异,极端高温对粮食生产韧性的负向影响更大。形成上述结果的可能原因在于,伴随着气候变暖趋势的持续,我国极端低温日数显著减少,极端高温日数显著增多^[33],从而导致极端高温对粮食生产韧性的负向影响相对更为突出。

从控制变量来看,随着财政支农比重、农村交通基础设施水平的提高以及粮食作物种植结构逐渐“趋粮化”,粮食生产韧性显著增强;随着农业贸易开放水平的提高,粮食生产韧性显著减弱。可能的解释是,政府对粮食生产的财政支持政策有利于农户购置先进生产设备、培育优质作物品种等,进而提高粮食生产韧性;良好的交通基础设施建设能够提升粮食生产的抗风险抗灾能力,进而提升粮食生产韧性。粮食作物种植比例扩大能够形成规模效应,增强农户抵御不确定性冲击的能力。随着我国粮食进口依存度的提高,国家之间通过贸易加强联系可能对粮食生产韧性传递负面影响。

3.4 内生性问题及稳健性检验

3.4.1 内生性问题

虽然本文考虑了影响粮食生产韧性的各控制变量,

尽可能地避免了由于遗漏变量所导致的估计偏误,但依然可能存在其他遗漏变量导致内生性估计偏误。为此本文参照王伟同等^[34]的做法,利用可观测变量度量未观测变量带来偏误的可能性,进一步消除遗漏变量可能带来的内生性问题。考虑两个不同控制集合的回归模型,一是仅控制有限的控制集,在此仅控制极端气温变量,得到其回归系数记为 $\hat{\beta}^R$;二是控制所有可能的控制集,此时得到极端气温变量的系数记为 $\hat{\beta}^F$,从而构造指数 $\text{Ratio}_{r,f} = \left| \hat{\beta}^F / (\hat{\beta}^R - \hat{\beta}^F) \right|$ 。Ratio_{r,f}越大,不可观测变量对估计结果造成偏误的可能性就越小。估计结果显示,极端高温的Ratio_{r,f}值为10.692,极端低温的Ratio_{r,f}值为7.900,均大于1,即未观测变量的解释能力至少要为已选择控制变量的7.9倍,才可以对本文基准估计结果产生偏误,因此可以基本排除估计结果因遗漏变量而出现估计偏误的可能。

3.4.2 稳健性检验

为保证基准结论的可靠性,通过以下方法进行稳健性检验:

1) 替换解释变量。选取极端气温指数中的夏日日数(SU)来表示极端高温,即年内日最高气温>25℃的日数;选取极端气温指数中的霜冻日数(FD)来表示极端低温,即年内日最低气温<0℃的日数,以此作为刻画极端气温的解释变量。回归结果如表6模型1和模型2所示,夏日日数和霜冻日数的估计系数均显著为负,表明替换解释变量后基准回归结论依然成立。

表 6 极端气温对粮食生产韧性影响的稳健性检验结果
Table 6 Robustness test results of the impact of extreme temperature on the grain production resilience

变量 Variable	模型1 Model 1	模型2 Model 2	模型3 Model 3	模型4 Model 4	模型5 Model 5	模型6 Model 6
夏日日数 Summer days (SU)	-0.002* (0.001)					
霜冻日数 Frost days (FD)		-0.001** (0.000)				
极端高温 Extremely high temperature (TX90p)			-0.125*** (0.025)		-0.183*** (0.023)	
极端低温 Extremely low temperature (TN10p)				-0.078*** (0.015)		-0.110*** (0.013)
控制变量 Control variable	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled
cons	0.167*** (0.021)	0.154*** (0.019)	0.215*** (0.022)	0.188*** (0.019)	0.216*** (0.023)	0.184*** (0.021)
sigma_u	0.052*** (0.007)	0.057*** (0.008)	0.054*** (0.007)	0.054*** (0.007)	0.057*** (0.009)	0.053*** (0.008)
sigma_e	0.026*** (0.001)	0.026*** (0.001)	0.025*** (0.001)	0.025*** (0.001)	0.018*** (0.001)	0.018*** (0.001)
LR chibar2	321.58***	354.63***	372.51***	395.44***	317.15***	328.92***
ρ	0.802	0.835	0.824	0.826	0.906	0.895
Log likelihood	635.197	636.012	645.585	647.463	587.123	591.108
N	310	310	310	310	250	250

括号内数值为标准误。*、**和***分别表示在10%、5%和1%水平显著。Cons、sigma_u、sigma_e、LR chibar2、 ρ 、log likelihood和N分别代表常量、个体效应标准误、特异效应标准误、LR卡方检验值、方差比系数、对数似然值和样本数。Standard deviations are in parentheses. *, ** and *** indicate significance at 10%, 5% and 1% levels, respectively. Cons, sigma_u, sigma_e, LR chibar2, ρ , log likelihood and N represent constant, individual effect standard error, specific effect standard error, LR chi square test value, variance ratio coefficient, log likelihood value, and sample size, respectively.

2) 调整控制变量。在研究气温变化影响的文献中,一些文献就是否应加入降水作为控制变量存在争议^[35]。因此,删除极端降水控制变量进行稳健性检验。表6模型3和模型4的回归结果与基准回归结论保持一致,表明对控制变量的调整未改变本文的基准结论。

3) 剔除样本。考虑到研究内容为粮食生产韧性,因此剔除了粮食产量极小的北京、天津、上海、海南、青海、西藏6个省(自治区、直辖市)。回归结果如表6模型5和模型6所示,极端高温和极端低温的估计系数均在1%水平显著,表明本文的基准结论并未受到缩减样本的干扰。

3.5 绿色金融的调节效应分析

为了研究绿色金融是否影响极端气温对粮食生产韧性的负向作用,本文将绿色金融作为调节变量,并引入交互项进行回归分析。具体调节效应检验结果如表7所示。回归结果表明,绿色金融与极端高温的交互项,以及绿色金融与极端低温的交互项对粮食生产韧性的估计系数均显著为正,从而验证了假说H2,说明极端气温对我国粮食生产韧性的负向影响程度随着绿色金融发展水平的提高而有所减弱,即绿色金融负向调节了极端气温对我国粮食生产韧性的削弱作用。由此可见,推动绿色金融发展,是应对外部极端气温、增强内在粮食生产韧性的有效

路径。

3.6 极端气温对粮食生产韧性影响的异质性分析

3.6.1 粮食生产功能区异质性

为了探讨极端气温对各粮食生产功能区粮食生产韧性的回归结果是否存在异质性,进一步对各粮食生产功能区分别进行分析。表8结果显示,极端高温和极端低温对粮食主产区和产销平衡区的粮食生产韧性皆在1%显著性水平上具有负向影响,对主销区粮食生产韧性的影响不显著。尽管粮食主产区作为保障粮食安全的核心区域,是我国粮食供给的主要来源,但是粮食主产区主要依靠资源消耗的粗放生产方式仍未根本改变,极端气温事件频发增大了农用化学品的投入强度,导致粮食生产效率降低,污染问题加重。此外,极端气温加速土壤退化,耕地撂荒不断增加,且粮食主产区撂荒率增速尤为突出^[36],从而削弱了主产区粮食生产韧性。粮食产销平衡区多位于中西部地区,自然环境相对脆弱,经济欠发达,自然灾害预防监测系统及农业基础设施欠完善,粮食生产与销售相对于主产区来说仅能达到平衡状态。因此,粮食产销平衡区一旦受到极端气温冲击,自身抵抗力和适应力较差,会对粮食生产韧性造成不利影响。粮食主销区多位于经济发达区域,城镇化水平较高,粮食种植规模较小,粮食生产韧性所受极端气温影响的反应不强。

表 7 绿色金融在极端气温对粮食生产韧性影响中的调节效应回归结果

Table 7 Regression results of the regulatory effect of green finance on the impact of extreme temperature on the grain production resilience

变量 Variable	模型1 Model 1	模型2 Model 2	模型3 Model 3	模型4 Model 4
极端高温 Extremely high temperature (TX90p)	-0.135*** (0.028)	-0.125*** (0.028)		
极端高温与绿色金融的交互项 Interaction between extremely high temperature and green finance (TX90p×Gf)	0.541*** (0.156)	0.384** (0.159)		
极端低温 Extremely low temperature (TN10p)			-0.101*** (0.020)	-0.098*** (0.019)
极端低温与绿色金融的交互项 Interaction between extremely low temperature and green finance (TN10p×Gf)			0.424*** (0.122)	0.388*** (0.119)
绿色金融 Green finance (Gf)	0.116*** (0.021)	0.084*** (0.023)	0.088*** (0.022)	0.061** (0.024)
控制变量 Control variable	未控制 Uncontrolled	已控制 Controlled	未控制 Uncontrolled	已控制 Controlled
cons	0.278*** (0.018)	0.219*** (0.023)	0.258*** (0.015)	0.202*** (0.020)
sigma_u	0.059*** (0.008)	0.054*** (0.007)	0.061*** (0.008)	0.055*** (0.007)
sigma_e	0.025*** (0.001)	0.024*** (0.001)	0.025*** (0.001)	0.024*** (0.001)
LR chibar2	392.39***	374.65***	421.40***	390.03***
ρ	0.851	0.837	0.859	0.845
Log likelihood	642.037	654.801	642.270	657.493
N	310	310	310	310

括号内数值为标准误。**和***分别表示在5%和1%水平显著。Cons、sigma_u、sigma_e、LR chibar2、 ρ 、log likelihood和N分别代表常量、个体效应标准误、特异效应标准误、LR卡方检验值、方差比系数、对数似然值和样本数。Standard deviations are in parentheses. ** and *** indicate significance at 5% and 1% levels, respectively. Cons, sigma_u, sigma_e, LR chibar2, ρ , log likelihood and N represent constant, individual effect standard error, specific effect standard error, LR chi square test value, variance ratio coefficient, log likelihood value, and sample size, respectively.

表 8 不同粮食生产功能区极端气温对粮食生产韧性影响的异质性回归结果

Table 8 Regression results of heterogeneity of grain production functional areas in the impact of extreme temperature on the grain production resilience

变量 Variable	主产区 Major producing area	主销区 Major selling area	产销平衡区 Production-sale balance area	主产区 Major producing area	主销区 Major selling areas	产销平衡区 Production-sale balance areas
极端高温 Extremely high temperature (TX90p)	-0.185*** (0.033)	-0.107 (0.083)	-0.137*** (0.032)			
极端低温 Extremely low temperature (TN10p)				-0.128*** (0.019)	-0.010 (0.048)	-0.069*** (0.018)
控制变量 Control variable	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled
cons	0.189*** (0.031)	0.170** (0.076)	0.257*** (0.032)	0.175*** (0.027)	0.103* (0.063)	0.214*** (0.028)
sigma_u	0.046*** (0.011)	0.032*** (0.012)	0.057*** (0.013)	0.043*** (0.009)	0.040*** (0.013)	0.051*** (0.012)
sigma_e	0.019*** (0.001)	0.036*** (0.003)	0.018*** (0.001)	0.018*** (0.001)	0.036*** (0.003)	0.018*** (0.001)
LR chibar2	138.16***	8.78***	146.74***	147.48***	28.53***	145.76***
ρ	0.860	0.429	0.911	0.850	0.546	0.884
Log likelihood	305.972	125.165	260.485	311.487	124.340	259.341
N	130	70	110	130	70	110

括号内数值为标准误。*、**和***分别表示在10%、5%和1%水平显著。Cons、sigma_u、sigma_e、LR chibar2、 ρ 、log likelihood和N分别代表常量、个体效应标准误、特异效应标准误、LR卡方检验值、方差比系数、对数似然值和样本数。Standard deviations are in parentheses. *, ** and *** indicate significance at 10%, 5% and 1% levels, respectively. Cons, sigma_u, sigma_e, LR chibar2, ρ , log likelihood and N represent constant, individual effect standard error, specific effect standard error, LR chi square test value, variance ratio coefficient, log likelihood value, and sample size, respectively.

绿色金融的调节作用在三大粮食生产功能区体现出了差异性(表9)。表9结果显示,在粮食主产区和产销平衡区,绿色金融与极端高温的交互项及绿

色金融与极端低温的交互项估计系数均在1%的显著水平上为正值;在主销区,极端高温与绿色金融的交互项及极端低温与绿色金融的交互项估计系数均

表 9 极端气温对粮食生产韧性影响中绿色金融调节效应的粮食生产功能区异质性回归结果

Table 9 Regression results of heterogeneity of grain production functional areas in the regulatory effect of green finance on the impact of extreme temperature on grain production resilience

变量 Variable	主产区 Major producing area (1)	主销区 Main selling area (2)	产销平衡区 Production-sale balance area (3)	主产区 Major producing area (4)	主销区 Main selling area (5)	产销平衡区 Production-sale balance area (6)
极端高温 Extremely high temperature (TX90p)	-0.141*** (0.032)	-0.113 (0.081)	-0.208*** (0.033)			
极端高温与绿色金融的交互项 Interaction between extremely high temperature and green finance (TX90p×Gf)	0.924*** (0.281)	0.127 (0.475)	0.915*** (0.156)			
极端低温 Extremely low temperature (TN10p)				-0.111*** (0.020)	-0.076 (0.057)	-0.115*** (0.023)
极端低温与绿色金融的交互项 Interaction between extremely low temperature and green finance (TN10p×Gf)				0.781*** (0.220)	0.726 (0.554)	0.412*** (0.114)
绿色金融 Green finance (Gf)	0.238*** (0.031)	-0.099* (0.060)	0.034 (0.030)	0.182*** (0.028)	-0.118* (0.064)	0.052 (0.032)
控制变量 Control variable	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled
cons	0.238*** (0.026)	0.193** (0.081)	0.292*** (0.034)	0.233*** (0.024)	0.144** (0.059)	0.234*** (0.032)
sigma_u	0.040*** (0.008)	0.030** (0.012)	0.062*** (0.014)	0.039*** (0.008)	0.034*** (0.011)	0.052*** (0.012)
sigma_e	0.015*** (0.001)	0.036*** (0.003)	0.015*** (0.001)	0.015*** (0.001)	0.035*** (0.003)	0.017*** (0.001)
LR chibar2	165.96***	5.87***	180.87***	172.08***	19.31***	165.66***
ρ	0.867	0.404	0.945	0.872	0.481	0.908
Log likelihood	330.363	126.528	278.332	333.421	126.745	269.873
N	130	70	110	130	70	110

括号内为标准误。*、**和***分别表示在10%、5%和1%水平显著。Cons、sigma_u、sigma_e、LR chibar2、 ρ 、log likelihood和N分别代表常量、个体效应标准误、特异效应标准误、LR卡方检验值、方差比系数、对数似然值和样本数。Standard deviations are in parentheses. *, ** and *** indicate significance at 10%, 5% and 1% levels, respectively. Cons, sigma_u, sigma_e, LR chibar2, ρ , Log likelihood and N represent constant, individual effect standard error, specific effect standard error, LR chi square test value, variance ratio coefficient, log likelihood value, and sample size, respectively.

不显著。说明绿色金融的调节作用主要体现在削弱了粮食主产区和产销平衡区极端气温对粮食生产韧性的负向影响,而在主销区的调节作用不显著。可能的原因是,绿色金融发展水平的提升,促进了主产区粮食生产方式绿色转型,减少污染排放,从而提高粮食生产韧性。在产销平衡区,通过绿色信贷和保险方式等为粮食生产主体提供更多资金支持和风险保障,稳定粮食生产,从而稀释了极端气温冲击对粮食生产韧性的影响。

3.6.2 粮食生产韧性分维度异质性

分别将粮食生产韧性的抵抗力、适应力和变革力3个维度作为被解释变量进行估计,结果如表10所示。极端高温对抵抗力和适应力影响的估计系数显著为负,对变革力的影响不显著;极端低温对适应力的负向影响显著,对抵抗力和变革力的影响不显著。说明极端高温主要通过降低抵抗力和适应力来削弱粮食生产韧性,极端低温主要通过降低适应力来削弱粮食生产韧性。可能的原因在于,我国极端

高温事件频发趋强,加之我国长期以来的小农生产方式,导致粮食生产抵御极端高温能力较差。极端气温事件预测具有突发性、难预测性和强破坏性等特点^[37],一旦发生,粮食生产无法及时对自身进行适应性调整以恢复到稳定生产状态。而极端气温对变革力的影响不显著,可能是因为粮食生产环节的技术进步缓慢,受到极端气温的短期性冲击后,对生产的改进和技术变革无法在短期内呈现效果。

绿色金融的调节作用在粮食生产韧性的3个维度也体现出了差异性,结果如表11所示。在适应力维度上,绿色金融与极端高温、极端低温的交互项系数均显著为正值,说明绿色金融缓解了极端气温对粮食生产适应力的影响;在变革力维度上,绿色金融与极端低温的交互项系数显著为正,与极端高温的交互项系数不显著,说明绿色金融缓解了极端低温对粮食生产变革力的影响。但是绿色金融对极端高温作用于粮食生产韧性的调节效果并不明显;在抵抗力维度上,绿色金融与极端高温、极端低温的

表 10 极端气温对粮食生产韧性影响的分维度异质性回归结果

Table 10 Regression results of heterogeneity of dimensions of grain production resilience in the impact of extreme temperature on the grain production resilience

变量 Variable	抵抗力 Resistance	适应力 Adaptability	变革力 Change capacity	抵抗力 Resistance	适应力 Adaptability	变革力 Change capacity
极端高温 Extremely high temperature (TX90p)	-0.032** (0.015)	-0.202*** (0.043)	-0.011 (0.025)			
极端低温 Extremely low temperature (TN10p)				-0.009 (0.009)	-0.128*** (0.025)	-0.021 (0.014)
控制变量 Control variable	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled	已控制 Controlled
cons	0.411*** (0.018)	0.164*** (0.034)	0.153*** (0.027)	0.398*** (0.016)	0.116*** (0.027)	0.160*** (0.025)
sigma_u	0.066*** (0.009)	0.062*** (0.009)	0.096*** (0.013)	0.067*** (0.009)	0.062*** (0.009)	0.095*** (0.013)
sigma_e	0.015*** (0.001)	0.043*** (0.002)	0.023*** (0.001)	0.015*** (0.001)	0.043*** (0.002)	0.023*** (0.001)
LR chibar2	679.64***	199.56***	644.64***	689.09***	212.75***	647.39***
ρ	0.953	0.671	0.944	0.954	0.680	0.943
Log likelihood	788.302	487.347	644.100	786.683	488.912	645.091
N	310	310	310	310	310	310

括号内数值为标准误。**和***分别表示在5%和1%水平显著。Cons、sigma_u、sigma_e、LR chibar2、 ρ 、log likelihood和N分别代表常量、个体效应标准误、特异效应标准误、LR卡方检验值、方差比系数、对数似然值和样本数。Standard deviations are in parentheses. ** and *** indicate significance at 5% and 1% levels, respectively. Cons, sigma_u, sigma_e, LR chibar2, ρ , log likelihood and N represent constant, individual effect standard error, specific effect standard error, LR chi square test value, variance ratio coefficient, log likelihood value, and sample size, respectively.

表 11 极端气温对粮食生产韧性影响中绿色金融调节效应的分维度异质性回归结果

Table 11 Regression results of heterogeneity of dimensions of grain production resilience in the regulatory effect of green finance on the impact of extreme temperature on the grain production resilience

变量 Variable	抵抗力 Resistance	适应力 Adaptability	变革力 Change capacity	抵抗力 Resistance	适应力 Adaptability	变革力 Change capacity
极端高温 Extremely high temperature (TX90p)	-0.037** (0.018)	-0.204*** (0.047)	0.003 (0.028)			
极端高温与绿色金融的交互项 Interaction between extremely high temperature and green finance (TX90p×Gf)	-0.049 (0.097)	0.686** (0.271)	0.058 (0.156)			
极端低温 Extremely low temperature (TN10p)				-0.018 (0.012)	-0.154*** (0.033)	-0.032* (0.019)
极端低温与绿色金融的交互项 Interaction between extremely low temperature and green finance (TN10p×Gf)				0.041 (0.073)	0.572*** (0.206)	0.213* (0.116)
绿色金融 Green finance (Gf)	-0.028* (0.015)	0.133*** (0.038)	0.055** (0.024)	-0.026* (0.016)	0.094** (0.040)	0.039 (0.025)
控制变量 Control variable	控制 Controlled	控制 Controlled	控制 Controlled	控制 Controlled	控制 Controlled	控制 Controlled
cons	0.410*** (0.018)	0.159*** (0.035)	0.155*** (0.027)	0.399*** (0.017)	0.125*** (0.030)	0.173*** (0.025)
sigma_u	0.065*** (0.008)	0.065*** (0.009)	0.093*** (0.012)	0.066*** (0.009)	0.067*** (0.009)	0.093*** (0.012)
sigma_e	0.014*** (0.001)	0.042*** (0.002)	0.023*** (0.001)	0.015*** (0.001)	0.041*** (0.002)	0.023*** (0.001)
LR chibar2	671.59***	215.63***	648.03***	670.72***	226.10***	652.81***
ρ	0.953	0.707	0.941	0.954	0.723	0.942
Log likelihood	790.143	496.039	646.807	788.084	496.626	648.626
N	310	310	310	310	310	310

括号内数值为标准误。*、**和***分别表示在10%、5%和1%水平显著。Cons、sigma_u、sigma_e、LR chibar2、 ρ 、log likelihood和N分别代表常量、个体效应标准误、特异效应标准误、LR卡方检验值、方差比系数、对数似然值和样本数。Standard deviations are in parentheses. *, ** and *** indicate significance at 10%, 5% and 1% levels, respectively. Cons, sigma_u, sigma_e, LR chibar2, ρ , log likelihood and N represent constant, individual effect standard error, specific effect standard error, LR chi square test value, variance ratio coefficient, log likelihood value, and sample size, respectively.

交互项系数均不显著,说明绿色金融对极端气温的
应对尚显不足。

4 结论与启示

本文考察了极端气温对粮食生产韧性的影响,

分析了绿色金融在极端气温对粮食生产韧性影响过程中的调节作用,并基于 31 个省(自治区、直辖市)的面板数据对其进行了实证检验。主要得出以下结论:1) 极端气温对粮食生产韧性的提高具有显著负向影响;2) 绿色金融在极端气温对粮食生产韧性的弱化过程中起到了调节作用;3) 分粮食生产功能区来看,极端气温对粮食主产区和产销平衡区的负向影响更大,对主销区的影响不显著。绿色金融在粮食主产区和产销平衡区发挥了显著的调节作用。对粮食生产韧性分维度的影响中,极端高温主要降低了粮食生产韧性的抵抗力和适应力,极端低温主要降低了粮食生产韧性的适应力。绿色金融在分维度的调节作用主要体现在适应力和变革力两方面,具体而言,绿色金融对极端气温影响下的粮食生产适应力,以及极端低温影响下的粮食生产变革力具有显著负向调节作用。

以上结论对于应对极端气温,提高粮食生产韧性具有重要的政策启示:

第一,持续提高粮食生产保障水平。完善农田水利基础设施建设,推进高标准农田建设,实现粮食高产优质。加强保护性耕作,确保土地产出能力稳定、可持续;调整粮食耕作制度和种植结构,培育耐高温、抗寒等抗逆性强的优良粮食作物品种;构建气候智能型粮食生产技术创新体系,弱化粮食生产对气候资源的依赖。加强极端气温预警和防范工作,为农户提供有关极端气温事件信息和知识,提升农户对极端气温的认知和防范意识,并引导农户采取科学合理的气候变化适应性行为。

第二,加强粮食生产领域绿色金融支持力度。完善金融机构绿色金融支持粮食生产的建立、考核评估和激励约束机制,政府通过财政贴息、税收优惠、风险补偿等,引导和撬动更多金融资源向粮食生产领域聚集。加大粮食生产科研投入力度,支持绿色技术研发创新。创新绿色信贷、绿色债券等绿色金融产品,满足粮食生产主体融资需求;完善碳排放权和排污权等环境权益抵质押产品的开发,推动粮食生产适应气候变化的价值实现。发展环境污染责任保险、气象指数保险等创新型保险产品,增强农户风险承担能力,从而形成绿色金融发展与粮食生产韧性提升的良性互动。

第三,制定差异化粮食生产韧性提升方案。对于粮食主产区,充分发挥资源优势与区位优势,推动粮食生产向绿色低碳生产方式转变,加快提升粮食生产综合能力。对于产销平衡区,加大政策扶持力

度,提高粮食生产积极性,发展特色优势粮食产业,维持区域产销平衡,减轻极端气温的影响。对于粮食主销区,充分发挥经济、科技优势,发展现代化农业以提高粮食自给率。

参考文献 References

- [1] 李先德,孙致陆,赵玉菡. 全球粮食安全及其治理: 发展进程、现实挑战和转型策略[J]. 中国农村经济, 2022(6): 2-22
LI X D, SUN Z L, ZHAO Y H. Global food security and its governance: development process, practical challenges and transformation strategies[J]. Chinese Rural Economy, 2022(6): 2-22
- [2] 陈恬宇,李东峰,王立雪,等. 长江流域年极端气温的时空变化特征研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2023, 57(6): 837-845
CHEN T Y, LI D F, WANG L X, et al. Spatiotemporal variation of annual extreme temperature in the Yangtze River Basin[J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences), 2023, 57(6): 837-845
- [3] 陈帅,徐晋涛,张海鹏. 气候变化对中国粮食生产的影响——基于县级面板数据的实证分析[J]. 中国农村经济, 2016(5): 2-15
CHEN S, XU J T, ZHANG H P. The impact of climate change on grain production in China — An empirical analysis based on county panel data[J]. Chinese Rural Economy, 2016(5): 2-15
- [4] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 1-23
- [5] MARTIN R, SUNLEY P. On the notion of regional economic resilience: conceptualization and explanation[J]. *Journal of Economic Geography*, 2015, 15(1): 1-42
- [6] 郝爱民,谭家银. 数字乡村建设对我国粮食体系韧性的影响[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2022, 21(3): 10-24
HAO A M, TAN J Y. Impact of digital rural construction on food system resilience[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2022, 21(3): 10-24
- [7] 青平. 构建新型农食系统 保障粮食与营养安全[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2021(6): 1-4
QING P. Build a new agro-food system to ensure food and nutrition security[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2021(6): 1-4
- [8] 樊胜根,高海秀,冯晓龙,等. 农食系统转型与乡村振兴[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2022, 21(1): 1-8
FAN S G, GAO H X, FENG X L, et al. Transformation of agrifood systems to boost rural revitalization[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2022, 21(1): 1-8
- [9] 蒋辉,陈瑶,刘兆阳. 中国粮食生产韧性的时空格局及其影响因素[J]. 经济地理, 2023, 43(6): 126-134
JIANG H, CHEN Y, LIU Z Y. Spatiotemporal pattern and influencing factors of grain production resilience in China[J].

- Economic Geography, 2023, 43(6): 126–134
- [10] 谢立勇, 李悦, 钱凤魁, 等. 粮食生产系统对气候变化的响应: 敏感性与脆弱性[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(5): 25–30
XIE L Y, LI Y, QIAN F K, et al. Analysis on agricultural sensitivity and vulnerability to climate change and counter-measures[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(5): 25–30
- [11] 陆岐楠, 刘子亨, 曲晓睿. 近地面臭氧、高温对中国粮食生产的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(11): 78–91
LU Q N, LIU Z H, QU X R. Effects of ground-level ozone and high temperature on grain production in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2023, 33(11): 78–91
- [12] 覃志豪, 唐华俊, 李文娟. 气候变化对我国粮食生产系统影响的研究前沿[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(1): 1–8
QIN Z H, TANG H J, LI W J. Front issues in studying the impacts of climate change on grain farming system in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2015, 36(1): 1–8
- [13] 刘立涛, 刘晓洁, 伦飞, 等. 全球气候变化下的中国粮食安全问题的研究[J]. 自然资源学报, 2018, 33(6): 927–939
LIU L T, LIU X J, LUN F, et al. Research on China's food security under global climate change background[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(6): 927–939
- [14] 何德旭, 程贵. 绿色金融[J]. 经济研究, 2022, 57(10): 10–17
HE D X, CHENG G. Green finance[J]. Economic Research Journal, 2022, 57(10): 10–17
- [15] 李建强, 王长松, 袁梓皓. 绿色金融何以提升粮食安全?——基于农村人力资本和农业产业集聚视角[J]. 济南大学学报(社会科学版), 2024, 34(1): 52–68
LI J Q, WANG C S, YUAN Z H. Enhancing food security through green finance: a study from the perspectives of rural human capital and agglomeration of agricultural industry[J]. Journal of University of Jinan (Social Science Edition), 2024, 34(1): 52–68
- [16] KUMAR N, POONIA V, GUPTA B B, et al. A novel framework for risk assessment and resilience of critical infrastructure towards climate change[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 165: 120532
- [17] 潘根兴, 高民, 胡国华, 等. 气候变化对中国农业生产的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1698–1706
PAN G X, GAO M, HU G H, et al. Impacts of climate change on agricultural production of China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(9): 1698–1706
- [18] OSMAN R, ZHU Y, MA W, et al. Comparison of wheat simulation models for impacts of extreme temperature stress on grain quality[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2020, 288/289: 107995
- [19] 陈帅. 气候变化对中国小麦生产力的影响——基于黄淮海平原的实证分析[J]. 中国农村经济, 2015(7): 4–16
CHEN S. Impact of climate change on wheat productivity in China —An empirical analysis based on Huang-Huai-Hai Plain[J]. Chinese Rural Economy, 2015(7): 4–16
- [20] 易福金, 周甜甜, 陈晓光. 气候变化、农业科研投入与农业全要素生产率[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2021, 21(4): 155–167
YI F J, ZHOU T T, CHEN X G. Climate change, agricultural research investment and agricultural total factor productivity[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2021, 21(4): 155–167
- [21] 霍治国, 李茂松, 王丽, 等. 气候变暖对中国农作物病虫害的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(10): 1926–1934
HUO Z G, LI M S, WANG L, et al. Impacts of climate warming on crop diseases and pests in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(10): 1926–1934
- [22] 陈苏, 黄怡素. 气候变化对双季稻化肥利用效率影响的实证分析——以南方稻作区为例[J]. 农林经济管理学报, 2023, 22(5): 582–591
CHEN S, HUANG Y S. Effect of climate change on fertilizer use efficiency of double-season rice: a case study of southern rice growing region[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2023, 22(5): 582–591
- [23] BAILEY S W. Climate change and decreasing herbicide persistence[J]. Pest Management Science, 2004, 60(2): 158–162
- [24] 陈欢, 周宏, 王全忠, 等. 农户感知与适应气候变化的有效性分析——来自江苏省水稻种植户的调查研究[J]. 农林经济管理学报, 2014, 13(5): 467–474
CHEN H, ZHOU H, WANG Q Z, et al. Effectiveness of farmers' perception & coping behaviors with climate change: a research based on survey among rice planting households in Jiangsu[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2014, 13(5): 467–474
- [25] 王春超, 林芊芊. 恶劣天气如何影响劳动生产率? ——基于快递业劳动者的适应行为研究[J]. 经济学(季刊), 2021, 21(3): 797–818
WANG C C, LIN Q Q. How does bad weather affect labor productivity? — Evidence from the adaptation behavior of couriers[J]. China Economic Quarterly, 2021, 21(3): 797–818
- [26] 马骏, 孟海波, 邵丹青, 等. 绿色金融、普惠金融与绿色农业发展[J]. 金融论坛, 2021, 26(3): 3–8, 20
MA J, MENG H B, SHAO D Q, et al. Green finance, inclusive finance and green agriculture development[J]. Finance Forum, 2021, 26(3): 3–8, 20
- [27] 龚斯闻, 赵国栋, 马晓崑. 绿色金融的发展逻辑与演进路径——基于要素解构的视角[J]. 经济问题探索, 2019(10): 184–190
GONG S W, ZHAO G D, MA X Y. Green finance: development logic, evolution path — A perspective based on factor deconstruction[J]. Inquiry into Economic Issues, 2019(10): 184–190
- [28] 康雯, 吴云霞. 绿色金融、融资约束内在机理与反融资约束效应[J]. 经济问题探索, 2022(6): 124–133
KANG W, WU Y X. Green finance, internal mechanism of financing constraints and effect of anti-financing constraints[J]. Inquiry into Economic Issues, 2022(6): 124–133

- [29] 王遥, 任玉洁. “双碳”目标下的中国绿色金融体系构建[J]. 当代经济科学, 2022, 44(5): 1-13, 139
WANG Y, REN Y J. Construction of green financial system under the carbon peak and carbon neutrality goals[J]. Modern Economic Science, 2022, 44(5): 1-13, 139
- [30] 崔惠玉, 王宝珠, 徐颖. 绿色金融创新、金融资源配置与企业污染减排[J]. 中国工业经济, 2023(10): 118-136
CUI H Y, WANG B Z, XU Y. Green financial innovation, financial resource allocation and enterprise pollution reduction[J]. China Industrial Economics, 2023(10): 118-136
- [31] 尹红, 孙颖. 基于 ETCCDI 指数 2017 年中国极端温度和降水特征分析[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(4): 363-373
YIN H, SUN Y. Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in 2017 based on ETCCDI indices[J]. Climate Change Research, 2019, 15(4): 363-373
- [32] 张友国, 窦若愚, 白羽洁. 中国绿色低碳循环发展经济体系建设水平测度[J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(8): 83-102
ZHANG Y G, DOU R Y, BAI Y J. Measurement on China's green low-carbon circular developing economic system construction[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2020, 37(8): 83-102
- [33] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 337-353
REN G Y, FENG G L, YAN Z W. Progresses in observation studies of climate extremes and changes in China's mainland[J]. Climatic and Environmental Research, 2010, 15(4): 337-353
- [34] 王伟同, 谢佳松, 张玲. 人口迁移的地区代际流动偏好: 微观证据与影响机制[J]. 管理世界, 2019, 35(7): 89-103, 135
WANG W T, XIE J S, ZHANG L. Regional intergenerational mobility preferences of population migration: micro evidence and impact mechanism[J]. Management World, 2019, 35(7): 89-103, 135
- [35] AUFFHAMMER M, HSIANG S M, SCHLENKER W, et al. Using weather data and climate model output in economic analyses of climate change[J]. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2013, 7(2): 181-198
- [36] 张沁岚, 段伟. 农业强国建设: 经验、挑战与着力点——《中国农村经济》《中国农村观察》第七届“三农论坛”会议综述[J]. 中国农村经济, 2023(12): 167-177
ZHANG Q L, DUAN W. Building up China's strength in agriculture: experience, challenges, and focuses: a summary of the 7th “Agriculture, Rural areas and Farmers” forum of China Rural Economy and China Rural Survey[J]. Chinese Rural Economy, 2023(12): 167-177
- [37] 蒋帅, 张黎, 景元书, 等. 1981—2015 年中国区域极端气候事件的时空分布特征[J]. 水土保持研究, 2023, 30(6): 295-306
JIANG S, ZHANG L, JING Y S, et al. Spatial and temporal distribution characteristics of regional extreme climate events in China from 1981 to 2015[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(6): 295-306