

气候适应与农业高质量发展： 研究进展与政策建议

◆ 陈 帅 杨昕云

(浙江大学中国农村发展研究院/浙江大学公共管理学院 杭州 310058)

摘要：随着气候变化的加剧，农业面临越来越严峻的挑战。本文总结了气候变化对农业生产的多维度影响，涵盖土地价值、作物单产、种植结构及全要素生产率等方面的研究进展。研究显示，气候变化，尤其是高温，通常会对作物单产造成负面影响。但农业具有一定的适应潜力，通过调整种植结构、播种时间和灌溉等策略，可以减轻气候变化的负面效应。然而，现有研究仍不足以揭示具体的适应机制和微观适应行为，特别是气候适应的不平等性问题，需要进一步深入探索。低收入地区和弱势群体的适应能力较弱，面临的气候风险更大，进一步加剧了气候变化带来的不平等性。因此，制定精准的气候适应政策至关重要，政策应推动应对与适应协同，完善激励机制，并通过跨区域利益补偿机制，提升各地区的适应能力。总之，未来的气候适应政策应注重微观适应机制和气候不平等问题，通过多学科合作提升政策的科学性和可操作性，推动农业高质量发展。

关键词：气候适应；农业高质量发展；气候变化影响；农业政策；气候不平等

DOI: 10.13856/j.cn11-1097/s.2025.06.011

1 引言

随着气候变化的形势越发严峻，国家已经深刻认识到全球变暖和极端气候事件常态化对农业体系的冲击与挑战，农业气候应对和适应的政策目标在不断明确。2022年印发的《国家适应气候变化战略2035》明确了，优化农业气候资源利用格局、强化农业应变减灾工作体系、增强农业生态系统气候韧性、建立适应气候变化的粮食安全保障体系等举措。2023年中央一号文件强调，要开展新一轮农业气候资源普查和区划工作。

2022年中央一号文件明确提出“加强中长期气候变化对农业影响研究”，凸显了农业应对和适应气候变化研究兼具现实紧迫性和战略重要性。在经济学领域，早期研究以土地价值为核心，通过李嘉图模型（Ricardian Approach）建立气候变量与土地价值的关系，发现气候变化能够提升土地价值^[1]。在解决模型中存在的遗漏变量^[2]和空间相关性^[3]后，研究证实气候变化对土地价值的影响以负面效应为主。在此基础之

收稿日期：2025-03-07。

基金项目：国家社会科学基金重大项目“气候变化与粮食安全的数量经济学研究”（24&ZD100），浙江省杰出青年科学基金“中国气候变化、人力资本配置及其社会经济影响”（LR22G030003），国家自然科学基金面上项目“大数据视角下中国空气污染、短期人口流动及其社会经济影响”（72273131），浙江大学“仲英青年学者”（202105）。

作者简介：陈帅（1983—），男，云南昭通人，长聘教授，研究方向为农业经济学、资源与环境经济学和发展经济学。

通信作者：杨昕云（1998—），女，甘肃兰州人，博士研究生，研究方向为农业经济学、资源与环境经济学，E-mail: xinyun.yang@zju.edu.cn。

上, 研究重点逐渐转向作物单产, 揭示了温度与作物产量之间的非线性减产关系, 表明高温变暖将加剧单产损失^[4]。随着方法改进, 研究拓展至揭示气候变化对种植面积与种植结构的影响^[5]。为了更全面地评估气候与农业生产的关系, 将全要素生产率引入分析框架, 考察技术和效率对气候的响应^[6-7]。随后, 研究议题逐渐深入至具体的气候适应机制。短期适应策略聚焦播种时间调整^[8]、灌溉方式^[9]等应对天气波动的措施, 长期适应潜力关注耕地面积与种植结构^[10]、灌溉^[9]等要素调整对气候变化的适应。近年来, 研究议题扩展至气候不平等维度, 揭示气候影响在不同地区^[11-12]和不同人群^[13-14]之间的差异, 这主要源于气候适应能力存在差距^[15-16]。整体上, 研究议题在广度和深度上逐步拓展, 涵盖农业产出与要素投入, 同时兼顾效率与公平。

该领域的研究方法脉络呈递进式创新。早期研究基于截面数据, 构建李嘉图模型探究气候因素对土地价值的影响^[1]。为解决遗漏变量偏误问题, 研究增加时间维度信息, 采用面板固定效应控制非时变的混杂因素^[2,17]; 引入空间残差排除空间相关性对估计结果的干扰^[3-4]。随着研究议题深入至农业气候适应, 长期差分法将长期气候变化纳入分析, 通过比较短期估计与长期趋势差异, 量化农业适应潜力^[6,18]。气候适应具有空间异质性, 空间差异法利用当前可观测计量参数在地区间的差异, 评估未来不同地区的气候适应潜力^[19]。移动平均法通过平滑短期天气波动, 识别农业对长期气候变化的响应^[10,20]。面对气候变化的综合评估, 综合评估模型整合气候-经济多维数据, 模拟不同排放路径下农业系统的影响。

整体上, 农业应对和适应气候变化在部分研究议题上已达成基本共识。气候变化导致作物非线性减产, 温度超过农作物最优生长阈值将显著降低单产^[4,21]。农业气候适应潜力显著, 长期适应可抵消短期极端天气的负面冲击^[6,9]。但是, 具体适应机制尚不明确。节水灌溉^[9]、调整种植时间^[8]等短期适应策略, 土地利用^[10]等长期适应机制陆续被揭示, 但仍显不足。气候变化影响具有不平等性, 欠发达地区和低收入人群适应能力较弱, 面临更严峻气候适应挑战。

截至目前, 学术研究的共识仍不足以匹配政策需求。两者之间的差距体现在三个方面: 一是气候变化整体影响的评估结果, 在具体适应措施及其有效性不清晰的情况下, 难以指导政策的精准定位; 二是微观适应机制的揭示和理解不充分, 导致农业气候适应政策还面临激励相容的机制设计问题; 三是气候不平等的影响评估还不完善, 利益主体之间的补偿关系尚未厘清, 难以支撑政策设计的持续性问题。

基于此, 未来农业气候应对和适应亟须在具体适应机制上达成研究共识, 以指导政策措施的有效实施。通过跨区域利益补偿机制和风险共担机制, 破解激励难题。政策制定应着眼于未来气候变化情景下的农业生产结构调整, 着力构建气候应对与适应协同的前瞻性政策体系。最终强化学术研究与政策联动, 整合多学科资源, 提升政策设计的科学性与可操作性, 助力农业高质量发展。

2 气候变化与农业生产的研究议题脉络与研究方法进展

2.1 研究议题

2.1.1 土地价值

早期研究以土地价值为指标探究气候与农业关系, 但学界对此尚未形成共识。传统生产函数忽略了农户的气候适应行为, 从而高估了气候对农业的负面影响。为了更准确地评估气候对农业的影响, Mendelsohn 等开创性地提出李嘉图模型^[1]。该模型基于截面数据, 建立气候变量与土地价值的因果关系。其核心思想是, 理性的农户会根据气候条件做出最优决策, 而土地价值作为预期收益现值的资本化体现, 能够综合反映农户对未来气候条件变化的适应性调整^[22]。与传统生产函数不同, 该模型将农户的气候适应行为内化至土地价值中, 有效捕捉气候变化对农业生产的长期影响。Mendelsohn 等运用该模型, 利用美国近 3 000 个县的气候和农田价格截面数据, 评估了气候对土地价值的影响。研究发现, 春季变暖能够增加美国农场土地价值^[1]。Liu 等基于县级农业数据, 利用李嘉图模型发现, 除西南和西北地区, 温度升高与降水增加总体上有助于提高中国农业净收益, 但存在明显的季节性和地区异质性^[23]。

随着新方法引入,越来越多的研究表明气候对土地价值造成负面经济损失。Schlenker 等在 Mendelsohn 等的研究基础上,聚焦美国东部雨养农业区,将空间残差引入截面方法,以解决邻近地区土地价值之间的空间相关性^[3]。研究发现,未来气候变化对美国土地价值的影响具有地区差异,以经济损失为主,具体影响取决于不同气候方案。为解决截面李嘉图模型的遗漏变量偏误,Deschênes 和 Greenstone 构建面板固定效应模型,认为 Mendelsohn 等提出的李嘉图模型未能区分气候变量与其他影响土地价值的因素,且忽略了不随时间变化的遗漏变量,导致估计结果存在偏误^[2]。在此基础上,Deschênes 和 Greenstone 将数据结构拓展至面板,构建了考虑未观测因素的固定效应模型,以识别年际天气波动对农业收益的影响,结果显示,短期的天气变化能够提升农业部门收益^[2]。但是,这一结论因模型设定偏误受到争议^[24]。Massetti 和 Mendelsohn 突破了 Deschênes 和 Greenstone 采用混合截面方法的局限性,运用面板固定效应模型,揭示了美国农业将受益于温和的气候变暖趋势,但极端温度可能会造成土地价值经济损失^[17]。

2.1.2 作物单产

随着研究方法和数据结构逐渐拓展至面板,研究议题也相应转向短期天气波动对农业收益及作物单产的影响。学界已基本达成共识,主流观点认为气候因素对作物的影响具有显著非线性特征,当温度超过最优阈值时,高温将对作物产量带来损害^[4,25-26]。

Schlenker 和 Roberts 利用美国县级面板数据,考察了温度和降水变化对美国玉米、大豆和棉花单产的影响^[4]。他们通过加总农作物生长周期内的日区间积温,构建温度区间,以考察不同的温度区间内积温对农作物单产的边际影响。研究发现,温度与农作物单产之间存在先增后减的非线性关系。在不超过最优温度的情况下,温度升高有助于作物增产;然而,一旦温度超过最优阈值,便会对农作物生长造成不利影响。Tack 等基于美国田野实验的面板数据,发现秋季极端低温和春季极端高温会导致美国冬小麦减产^[27]。Gammans 等使用法国省级面板数据,发现春夏季气温升高会使法国小麦和大麦单产减少;未来气候变化对单产有负向影响,预计到 21 世纪末,冬小麦、冬大麦和春大麦的单产分别将下降 21%、17% 和 34%^[28]。基于中国农业数据的研究发现,温度对水稻^[29-30]、小麦^[31]、玉米和大豆^[21]单产具有非线性减产影响,未来气候变化对作物单产具有负面影响^[21,29,32]。

2.1.3 种植结构与耕地调整

在分析气候变化对土地价值或作物单产的影响时,无论基于截面数据分析气候变化对土地价值的影响,还是基于面板数据评估作物单产对气候变化的响应,均假定种植面积外生给定。该假定的不足之处在于:估计结果仅能捕捉集约边际上的气候适应行为(如投入要素管理、作物品种调整),忽视了广延边际(即种植面积调整)在农业气候适应中起到的重要作用^[5],导致估计结果出现偏误,可能高估农业系统对气候变化的脆弱性。

Miao 等利用美国玉米和大豆的县级生产数据和气象数据,发现春季降水增多会减少玉米种植面积,且玉米种植逐渐转向大豆,从而改变了作物种植结构^[5]。在此基础上,Cohn 等基于巴西马托格罗索州的玉米和大豆作物单产、农地利用和气象数据发现,与作物单产相比,气候导致的农业产出变化中约 70% 是由作物种植强度和种植面积的变化决定的;他们指出,如果仅关注气候引起的单产损失,可能会低估农业对气候变化的脆弱性^[33]。Cui 使用美国县级玉米和大豆的种植数据及气象数据,运用固定效应模型,发现气温升高和降水增多使得凉爽和干燥地区玉米和大豆的种植面积增加,而温暖和潮湿地区的玉米和大豆种植面积则下降^[20]。Aragón 等认为,仅使用单产来预测未来气候变化对农业产出的影响,而忽略温度变化下种植面积的变化,会高估高温带来的农业损失;如果将作物种植面积的变化纳入考量,在未来不同气候情景下,高温引致的农业产出损失将比仅考虑单产变化时降低 14%^[34]。

前期研究重点评估短期天气波动对种植面积和种植结构变化的影响,后期研究逐渐转向长期气候变化对土地利用的影响。Cui 和 Zhong 评估了特定作物种植面积对天气波动的响应,还从整体上估计长期气候变化对土地利用的影响^[10]。研究发现,在寒冷地区,温度正常值的增加会扩大耕地面积;在干燥地区,降水增加也会促进

耕地利用扩张。相反,在温暖湿润地区,温度和降水反而会减少耕地利用。

2.1.4 全要素生产率

全要素生产率(TFP)相较于单一投入的生产率指标(如单产或亩均利润),更适用于评估气候变化对农业生产的整体影响。TFP综合考虑所有投入和产出,衡量总产出与总投入的比率。TFP变化率能够反映无法用投入增加解释的产出增长,进而衡量农业生产技术对气候变化的适应性^[35]。

早期研究主要关注温度和降水对农业生产的短期影响。Villavicencio等将气候与农业全要素生产率的研究结合,基于美国州级农业生产数据,发现降水量和降水密度对农业全要素生产率普遍有正向影响,而温度的影响仅在南部平原地区显著。这表明气候不仅对农业产出整体产生影响,而且与投入要素效率密切相关^[36]。Liang等进一步指出,部分研究受限于较短时间范围、局部地区和特定作物,未能捕捉气候变化对国家农业经济的整体影响;他们通过分析美国全国层面的农业全要素生产率数据发现,气候变化对全要素生产率的正面影响逐渐减弱,而负面影响却在加剧,表明农业对气候变化的敏感度逐渐提高^[37]。Ortiz-Bobea等认为,农业对气候的适应策略还包括调整作物组合(crop mix)和投入组合(input mix);他们基于美国州级农业全要素生产率数据与气象数据,发现中西部各州农业全要素生产率对气候变化的敏感性日益增强。这源于该地区以种植谷物和油籽为主,而这些作物对气候变化表现出较高的敏感性^[35]。

Letta和Tol基于1960—2006年的国家层面数据,研究温度与农业全要素生产率增长之间的关系,发现气候变化仅对贫穷国家的农业全要素生产率产生负面影响^[38]。Ortiz-Bobea等分析了1961—2015年全球农业全要素生产率的变化,研究表明气候变化导致全球农业全要素生产率降低约21%;特别是在非洲、拉丁美洲和加勒比等气候温暖的地区,气候变化的负面影响更为显著,农业全要素生产率减少26%~34%^[7]。此外,Aragón等基于秘鲁农户数据也发现,气温升高对农业全要素生产率产生负向影响^[34]。

随着研究不断深入,部分研究开始关注长期气候变化对农业全要素生产率的影响。Chen和Gong基于中国县级面板数据,运用面板固定效应模型和长差分模型,估计了气候变暖对农业全要素生产率的影响。结果显示,短期内极端高温对农业全要素生产率产生负向影响,而长期适应能够抵消37.9%短期负向影响^[6]。

2.1.5 农业气候适应

根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)报告的定义,气候适应指针对气候变化及其影响进行调整的过程^[39]。其目的在于降低潜在的经济损失,或充分利用气候变化可能带来的有利机遇。气候变化对农业生产的显著负面影响已被广泛证实^[1,4,21]。然而,气候适应措施能够在一定程度上缓解负面冲击,从而保障农业生产的稳定性。

早期研究聚焦短期的气候适应能力。农业经营者通过调整作物组合、投入组合、种植时间和面积等措施,来应对短期天气波动。具体来看,温度升高使农民调整播种日期^[40],未来气候暖湿化进一步推动作物种植结构、种植面积的调整^[8],从而抵消部分气候变化对单产的负面影响^[33]。灌溉技术的应用能够显著降低农业生产对气候变化的敏感性^[41-42],缓解极端高温对作物产量的损失^[9],减轻气候变化对农业生产的负面影响。

后期研究逐渐转向长期气候适应潜力的评估。Burke和Emerick首次提出长期差分方法,他们基于1980—2000年的美国农业生产数据,通过比较面板估计与长期差分估计之间的差异,量化农业的长期气候适应潜力^[18]。Chen和Gong在此基础上,利用中国1980—2015年的县级农业生产数据,系统评估了气候变暖对中国农业全要素生产率及农业投入产出的影响;研究发现,尽管极端高温会对农业生产造成显著负面影响,但通过长期适应策略,如灵活调整劳动力、化肥和机械等生产要素,能够有效缓解极端高温对农业的负面冲击,抵消高达37.9%的全要素生产率损失^[6]。Schmitt等基于德国农户数据的研究揭示了作物对于干旱的差异化适应能力,冬小麦和冬大麦对春季干旱的敏感性增加,而冬大麦对夏季干旱表现出长期适应性^[43]。刘东等利用中国农村固定观察点数据,从微观农户层面评估了中国粮食生产对气候变化的适应能力,并揭示其

作用机制。研究发现,农户的气候适应行为可以有效抵消 52.5%~63.5% 的高温对粮食单产造成的负面影响。进一步的机制分析发现,这一适应结果主要源于农业技术进步与要素投入调整^[44]。此外,不同农业部门的气候适应潜力也存在差异。Chen 等通过对中国北方种植业、畜牧业、林业和渔业等农业部门的气候适应能力进行研究,发现种植业在中期表现出较强的适应能力,而畜牧业的适应空间相对有限^[45]。

2.1.6 气候不平等

气候不平等指气候变化对不同社会群体和地区的影响存在差异,通常表现为弱势群体和低收入国家受到气候变化影响更加严重。造成气候不平等现象的原因在于气候风险分布不均衡,表现为气候变化影响在地理分布、人口分布上存在差异。不同地区和群体的适应能力存在显著差距,进一步加剧了气候不平等。

气候变化影响不均衡。气候变化对低纬度、气温较高且收入较低的国家影响更为显著^[46],加剧国家或地区间的不平等^[12]。具体表现为:炎热地区因气候变暖遭受的损害高于凉爽地区,而低收入地区相比富裕地区承担更大的气候损失^[11,47-48]。此外,低收入人群因其居住地与职业特征,常面临更严峻的气候暴露风险,更容易受到极端气候事件冲击^[13-14]。

气候适应能力不平等。经济发达地区或高收入人群对气候变化的敏感性较低,具备更强的适应能力^[49],他们能够通过安装空调等基础设施有效降低高温暴露风险。相比之下,经济欠发达地区的低收入群体缺乏这些适应能力,当他们面对气候变化造成的损失时,往往被迫选择迁移至经济发达地区^[50]。以农业为主的地区人口可能大规模迁往城市,改变地区间人口结构^[15-16]。

2.2 研究方法

2.2.1 截面 Hedonic

截面 Hedonic 方法源于 Mendelsohn 等提出的李嘉图模型^[1],通过土地价值的折现值来反映长期气候变化对农业的影响,将时间维度的气候变化转化为不同气候条件区域之间天气对农业影响的横向比较。该模型的经济学假设是,给定外生条件(如气候条件、市场价格等)不变,农户选择最优作物组合和生产要素投入以实现利润最大化。当气候等外生条件改变时,农户会动态调整生产决策^[51]。由于土地价值反映了包含农户适应性调整的预期收益现值,通过分析气候要素与土地价值的关系,能够有效捕捉农业气候适应性调整行为。

然而,随着研究不断深入,截面模型的局限性逐渐显现。其一,当引入时间维度信息后,利用李嘉图模型重复横截面估计,难以有效控制的混杂因素可能导致遗漏变量偏误^[2]。其二,李嘉图模型未考虑残差项的空间相关性,即部分未经观测因素在空间维度存在关联。如果忽略这些因素,将会导致模型估计存在偏误^[3]。这些局限性也推动了后续研究对截面 Hedonic 模型的改进和拓展。

2.2.2 面板模型

为更准确评估气候变化对农业的影响,Deschênes 和 Greenstone 改进截面 Hedonic 方法,将其拓展为基于面板数据的固定效应模型^[2]。他们认为土壤质量等未观测混杂因素会影响土地价值,导致估计偏误。因此,在模型中加入固定效应以消除未观测混杂因素。

然而,Massetti 和 Mendelsohn 指出,Deschênes 和 Greenstone 对截面 Hedonic 方法的修正,本质上是通过重复估计截面数据引入年际天气波动的时间信息^[17]。事实上,面板数据因追踪观测同一样本的结构特征,气候对农业生产影响的估计系数应保持恒定。基于此,他们改进 Deschênes 和 Greenstone 的方法,运用面板数据固定效应模型捕捉个体非时变特征,控制不随个体而异的时变混杂因素,从而解决截面 Hedonic 模型和重复截面估计存在的遗漏变量偏误问题。

2.2.3 空间计量

Schlenker 等将李嘉图模型拓展为截面空间残差模型,通过考虑残差的空间相关性,有效解决了遗漏变

量偏误问题，为气候变化对土地价值影响的评估提供了新的方法框架^[3]。Ward 等将空间残差模型应用于评估撒哈拉以南非洲的农业气候响应，发现未来气候变化将导致谷物产量下降^[52]。

在此基础上，Schlenker 和 Roberts 将截面方法进一步拓展至基于面板数据的空间残差模型，通过整合美国县级农业数据与气象站气候日值信息，考察温度和降水变化对美国玉米、大豆和棉花单产的影响，充分考虑样本的空间相关性，显著提升了模型在气候影响作物单产研究中的解释力^[4]。Chen 等利用空间残差模型，基于中国县级玉米和大豆数据，得出与 Schlenker 和 Roberts 相似结论，即温度与作物单产之间呈非线性倒 U 形关系，极端高温会对玉米和大豆单产造成损失^[21]。

2.2.4 长期差分

长期差分法 (Long-difference) 由 Burke 和 Emerick 提出^[18]，与对短期天气波动的响应不同，农户对气候变化的感知和适应是一个渐进的过程，需要较长时间才能对生产决策进行相应调整。由于面板方法只能捕捉短期天气波动的影响，无法评估气候变化对农业生产的长期影响，导致对气候变化实际对农业生产的影响被高估。长期差分法则纳入农户对近期气候趋势的适应性行为，通过比较两个不同时间段内的均值变化，来研究长期气候变化对农业产出的影响。比较长差分估计和面板模型估计，能够反映出农户对气候变化的适应程度。

Burke 和 Emerick 基于美国县级数据的研究表明，长期差分法与面板估计得到的气候影响系数相近，表明农业生产在长期内能部分缓解极端高温的负面冲击^[18]。Chen 和 Gong 将长期差分法应用于中国农业生产研究，通过比较短期与长期影响差异，发现长期适应性能够抵消极端高温对全要素生产率和作物单产的负面冲击，且在单产方面表现更为显著^[6]。Chen 等将研究视角拓展至不同农业部门气候适应能力分析，发现种植业的中期适应能力能够有效抵消气候变化的短期负面影响^[45]。

2.2.5 空间差异

空间差异方法 (Regional-heterogeneity) 认为气候变化影响具有地区异质性，这些差异源自地区适应能力不同。在不增加额外信息的情况下，利用当前地区的适应性，推测未来不同地区在应对气候变化时的适应潜力。Heutel 等基于美国 22 年间老年人死亡率数据，揭示了温度与死亡率的关系在不同气候区存在显著差异，温暖地区对高温的适应能力较强，而寒冷地区对低温的适应效果更显著。这种差异源于区域特定的适应机制，包括居民行为、基础设施和文化习俗等^[19]。类似地，Auffhammer 通过分析加利福尼亚州近 20 亿份能源账单数据，发现温暖气候区的能源利用对温度变化的敏感性显著低于高温区域，进一步证实了区域适应能力的差异性^[53]。

2.2.6 移动平均

移动平均方法 (Moving-average) 通过平滑短期天气波动，减少其对长期气候影响估计结果的干扰。该方法通过计算气候变量在选定时间窗口内的平均值，减少天气波动干扰，用于反映这一段时间内的平均气候水平，从而更准确地揭示气候变化的长期趋势。

Cui 利用移动平均法的思想计算特定的时间窗口下温度或降水的均值，用于平滑短期天气因素引致的偏误，从而捕捉气候变化的长期趋势；结合面板固定效应模型，估计气候变化引起的种植面积变化，分析了气候变化对美国玉米和大豆种植面积的长期影响；研究发现，10%~35% 的美国玉米和大豆种植面积扩张归因于气候变化^[20]。Chen 等选用温度箱作为气候变量，运用移动平均法构造气候常态变量，以分析气温变化对不同农业部门产值的中期影响；研究发现，种植业的中期适应能力较强^[45]。Cui 和 Zhong 运用了移动平均法构造反映长期气候趋势的气候常态变量，并结合面板固定效应模型，捕捉气候变化对土地利用的影响^[10]。

2.2.7 综合评估模型

经济建模通过构建数学模型来模拟预测气候变化对经济的影响，模型通常分为几种类型，如综合评估模型、可计算一般均衡模型、局部均衡模型。

综合评估模型 (Integrated Assessment Models, IAMs) 是研究气候变化及其影响的重要工具。模型基

于社会规划者视角,将气候、作物和经济数据整合在一个框架内,通过模拟不同温室气体排放路径(RCPs)下的农业系统反应,以实现社会福利的最大化^[54]。该模型能够揭示不同气候情景对经济、社会和环境的影响,解释力较强,为制定气候应对策略提供决策信息。然而,基于数学规划的建模方法通常面临“黑箱”问题,且参数需求大,难以解释因果关系的路径机制。

综合评估模型起源于Nordhaus提出的DICE模型^[55-56],最初用于评估温室气体的最优排放路径。随着模型不断优化,逐步纳入时间动态变化、碳社会成本和空间差异等因素,逐渐应用于预测未来气候变化情景对农业和社会经济的影响。在此基础上,O'Neill等开发了基于温室气体浓度排放路径(RCPs)的社会经济分析框架,模拟不同气候和社会经济情景对未来农业生产力的影响^[57]。

可计算一般均衡模型(CGE)与综合评估模型互为补充,更注重经济体之间的关系^[58]。通过社会核算矩阵,CGE能够捕捉农业与非农业部门的互动,分析市场均衡的变化。Yates和Strzepek运用全球粮食贸易动态模型评估气候变化对埃及农业经济的影响,发现气候变化对整体经济福利影响较小,但对小型食品进口国风险较大^[59]。Costinot等发现气候变化将改变全球农产品的比较优势,从而影响农业生产布局,并减轻气候变化的总体负面影响^[60]。Hertel等开发了全球贸易分析项目(GTAP)模型评估气候变化对农业和贫困的影响,结合农业生产力变化,模拟全球商品价格、贸易模式及各国经济福利变化^[61]。在此基础上,Calzadilla等构建了新型GTAP-W模型分析气候变化对全球农业的潜在影响,揭示气候变化引致的水资源变化和土壤湿度变化改变了农业生产和国际贸易模式,影响全球粮食供给^[62]。

在关于中国农业的研究中,运用市场均衡模型的研究相对有限^[63-64]。其中,Xie等构建了中国农业政策模拟模型(CAPSiM)和GTAP模型的链接模型(CAPSiM-GTAP),模拟气候变化情景下农作物产量变化对中国粮食生产的影响。研究表明,气候变化对小麦等主要作物产量有显著负面影响,但是可以通过国际贸易缓解气候导致的不利影响^[64]。

3 研究共识与未来展望

3.1 研究共识

近年来,气候变化在农业领域研究显著增多,热度持续攀升。研究议题逐步扩展,重要性日益凸显,为理解农业应对和适应气候变化提供了充足的学术支持。整体来看,国内外研究的共同趋势是研究对象精细化、研究方法严谨化、研究结果精准化,并在诸多研究议题和研究方法方面已达成基本共识(表1)。

表1 研究共识与代表性文献

研究议题	共识性观点	研究方法	代表性文献
土地价值	未来气候变化将提高农业土地价值	李嘉图模型	Mendelsohn等 ^[1] ; Liu等 ^[23]
	短期天气波动导致土地价值下降	面板固定效应模型	Deschênes和Greenstone ^[2]
	未来气候变化会降低土地价值	截面空间残差模型	Schlenker等 ^[3]
	极端高温会给土地价值带来经济损失	面板固定效应模型	Massetti和Mendelsohn ^[17]
作物单产	温度与作物单产呈非线性倒U形关系	面板固定效应模型	Schlenker和Roberts ^[4] ; Schlenker和Lobell ^[25] ; Moore和Lobell ^[26] ; Chen等 ^[21]
	长期气候适应会抵消部分单产损失	面板固定效应模型长期差分法	Burke和Emerick ^[18]
种植结构	气候因素改变作物种植结构	面板固定效应模型	Miao等 ^[5] ; Cui ^[20]
土地利用	长期气候变化对土地利用影响在不同气候条件地区间存在差异	面板固定效应模型移动平均法	Cui和Zhong ^[10]

(续)

研究议题	共识性观点	研究方法	代表性文献
全要素生产率	气候变化对全要素生产率有正面影响	面板固定效应模型	Villavicencio 等 ^[36]
	气候变化对全要素生产率有负面影响	面板固定效应模型	Liang 等 ^[37] ; Ortiz-Bobea 等 ^[35] ; Ortiz-Bobea 等 ^[7]
	长期气候适应抵消短期极端高温对农业全要素生产率负面影响	面板固定效应模型长期差分法	Chen 和 Gong ^[6]
气候适应	调整播种时间以减少作物损失	面板固定效应模型	Cui 和 Xie ^[8]
	调整种植面积或结构以适应未来气候变化	面板固定效应模型	Cui 和 Xie ^[8]
	使用灌溉策略适应气候变化	面板固定效应模型长期差分法	Fishman ^[42] ; Taraz ^[41] ; Wang 等 ^[9]
气候不平等	气候变化的影响不均衡	面板固定效应模型综合评估模型	Diffenbaugh 和 Burke ^[12] ; Hsiang 等 ^[11] ; Gilli 等 ^[14]
	气候适应能力不平等	面板固定效应模型	Hoffmann 等 ^[50]

其一，气候变化总体上导致作物非线性减产。气候变化引起的温度升高对粮食作物单产的影响呈先增后减的倒 U 形非线性关系，即温度升高在初期对作物生长有促进作用，但超过作物的最优生长温度后，气温升高反而会对作物生长造成损害，导致产量下降。这一观点在主要粮食生产国和消费国均得到验证^[4,21,29-32]。

其二，农业的整体气候适应能力逐渐凸显。主流观点认为，尽管气候变化对农业生产造成显著负面效应^[1,4,21]，但农业具有长期气候适应能力，可以在一定程度上缓解短期极端天气的冲击^[6,9]，并逐步适应气候变暖趋势。

其三，具体的气候适应措施仍不明朗。目前，许多研究侧重从整体上评估农业气候适应能力和适应潜力，但对于具体适应措施和机制的研究仍较为薄弱。关于适应机制的研究，调整作物种植时间和生长周期^[8]、改变作物播种面积和种植结构^[20]等短期生产调整策略逐步被揭示。仅有少数研究探讨了长期气候变化对耕地面积和种植结构的影响^[10]，具体的长期气候适应措施有待进一步探索。

其四，气候变化的不平等影响逐渐显现。气候变化的影响具有显著的空间和群体异质性，表现为气候风险分布不均和适应能力差异。低纬度高温地区及低收入国家更易遭受损失^[11-12]，低收入人群面临更高气候风险^[13-14]。同时，发达地区通过优化基础设施适应气候变化，而欠发达地区因适应能力不足，被迫通过人口迁移^[16,50]应对气候风险，进一步加剧气候不平等。

3.2 未来展望

其一，低温变暖的研究尚显不足。多数研究聚焦极端高温对农业和经济的影响，尽管少数研究关注低温变暖，认为气温升高有助于低温地区节省能源^[65]，促进经济增长^[12]。但是，现有研究仍未能充分揭示低温变暖对农业生产的具体影响，未来需要逐步拓展，尤其是低温变暖对不同地区、不同作物长期影响的综合分析。

其二，作物迁移与碳肥效应预期能够部分抵消作物减产损失。在气候变暖背景下，作物向高纬度地区迁移趋势明显。作物生长季温度逐渐升高，生长季节和种植范围的变化在一定程度上抵消极端天气对作物的部分损害^[66]。此外，二氧化碳浓度升高引起氮和碳循环的协同强化^[67]，提高光合作用效率^[68]，促进作物增产。然而，现有研究仍缺乏对作物迁移与碳肥效应经济效益的评估。未来应该结合自然科学证据，通过实证分析与数学规划方法，科学量化其潜力。

其三，微观适应机制需要厘清。气候适应不仅取决于国家宏观层面的政策制定，也与微观个体的适应行为紧密相关。已有研究表明，农户在面对气候变化时会采取适应行为，如改变生产方式^[69]、调整种植决

策^[70]、改变劳动配置^[71-72]，甚至调整家庭消费和储蓄行为^[73]。但是，兼顾农户收益的微观适应机制仍未全面揭示，具体的激励措施需要进一步明确。

其四，气候适应的支付意愿需要修正。农业生产的气候应对和适应不仅与作物生长条件和自然机理密切相关，还深受人类心理和行为的影响。当个体长时间暴露于异常温度时，容易产生麻木心理，导致其对气候变化的反应逐渐减弱，降低参与气候应对和适应政策的积极性，影响政策实施效果^[74]。因此，需纳入人类心理和行为，精准评估并修正人们对气候适应的支付意愿，制定有效的气候应对和适应政策。

4 助力农业高质量发展的政策建议

4.1 政策需求缺口

揭示气候适应具体措施不清晰，政策措施的针对性和落脚点亟待明确。目前学界广泛关注农业气候适应的整体性评估，但仍未系统性揭示具体适应机制，导致难以制定有针对性的适应措施。具体而言，部分研究通过宏观或中观数据估计极端气候事件对作物单产和全要素生产率的短期与长期影响，并通过比较短期和长期的估计系数差异来反映农业对气候变化的整体适应效果。尽管种植策略、灌溉策略、土地利用调整等具体适应措施逐步被揭示，但其他具体的适应措施及其效果仍需进一步评估，为气候适应政策的精准实施提供依据。

剥离微观适应机制的研究不充分，政策激励相容需要学术支持。农业气候适应的微观主体是农户，其适应行为和心理对气候变化的应对至关重要。然而，受限于数据和方法，现有研究多集中于宏观和中观层面的气候适应探讨，缺乏基于微观农户数据的适应行为研究。对微观适应机制的剥离仍显不足，导致制定气候适应政策面临激励不相容的问题。

评估气候适应的不平等不完善，政策公平性考量有待加强。气候应对和适应存在不平等问题，主要表现在气候风险的空间分布差异和弱势群体的适应能力不足。当前学术研究集中在气候影响的整体性评估，部分揭示了气候影响的不平等。但是，对不同地区和人群间气候适应能力差异性关注较少，导致气候适应政策面临公平性难题，政策可持续性受到影响。

4.2 研究进展的政策反馈

健全应对与适应政策协同体系。现有农业气候政策多以被动应对为主，缺乏前瞻性的主动气候适应措施。为此，需结合国家“双碳”战略目标，考虑居民膳食营养和健康需求，兼顾短期极端天气和长期气候变化，建立健全应对与适应协同的政策体系。推动农业系统结构性调整，分散气候灾害风险，提高农业气候韧性。

完善具体适应措施，破解激励相容难题。推广气候风险共担机制，通过生产者补贴、跨区域利益补偿等措施，破解激励相容难题。降低农业经营者适应气候变化的成本，激励农户积极采取气候适应行动，助力农业高质量发展。

推动学术研究与政策反馈联动。整合农业、经济、气候科学等学科资源，开展气候变化对农业影响的全路径分析，为政策设计提供理论支持和实证证据。加强学术与政策的反馈联动，精准评估农业应对和适应气候变化的情况，提升政策实践的科学性、有效性和可操作性。

参考文献

- [1] MENDELSON R, NORDHAUS W D, SHAW D. The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis [J]. *The American Economic Review*, 1994, 89 (4): 753-771.

- [2] DESCHÊNES O, GREENSTONE M. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather [J]. *American Economic Review*, 2007, 97 (1): 354-385.
- [3] SCHLENKER W, HANEMANN W M, FISHER A C. The impact of global warming on US agriculture: an econometric analysis of optimal growing conditions [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2006, 88 (1): 113-125.
- [4] SCHLENKER W, ROBERTS M J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106 (37): 15594-15598.
- [5] MIAO R, KHANNA M, HUANG H. Responsiveness of crop yield and acreage to prices and climate [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2016, 98 (1): 191-211.
- [6] CHEN S, GONG B. Response and adaptation of agriculture to climate change: evidence from China [J]. *Journal of Development Economics*, 2021, 148: 102557.
- [7] ORTIZ-BOBEA A, AULT T R, CARRILLO C M, et al. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth [J]. *Nature Climate Change*, 2021, 11 (4): 306-312.
- [8] CUI X, XIE W. Adapting agriculture to climate change through growing season adjustments: evidence from corn in China [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2022, 104 (1): 249-272.
- [9] WANG D, ZHANG P, CHEN S, et al. Adaptation to temperature extremes in Chinese agriculture, 1981 to 2010 [J]. *Journal of Development Economics*, 2024, 166: 103196.
- [10] CUI X, ZHONG Z. Climate change, cropland adjustments, and food security: evidence from China [J]. *Journal of Development Economics*, 2024, 167: 103245.
- [11] HSIANG S, KOPP R, JINA A, et al. Estimating economic damage from climate change in the United States [J]. *Science*, 2017, 356 (6345): 1362-1369.
- [12] DIFFENBAUGH N S, BURKE M. Global warming has increased global economic inequality [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019, 116 (20): 9808-9813.
- [13] BUCHANAN M K, KULP S, CUSHING L, et al. Sea level rise and coastal flooding threaten affordable housing [J]. *Environmental Research Letters*, 2020, 15 (12): 124020.
- [14] GILLI M, CALCATERRA M, EMMERLING J, et al. Climate change impacts on the within-country income distributions [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2024, 127: 103012.
- [15] FENG S, OPPENHEIMER M. Applying statistical models to the climate-migration relationship [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, 109 (43): 2915-2915.
- [16] CAI R, FENG S, OPPENHEIMER M, et al. Climate variability and international migration: the importance of the agricultural linkage [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2016, 79: 135-151.
- [17] MASSETTI E, MENDELSON R. Estimating Ricardian models with panel data [J]. *Climate Change Economics*, 2011, 2 (4): 301-31.
- [18] BURKE M, EMERICK K. Adaptation to climate change: evidence from US agriculture [J]. *American Economic Journal: Economic Policy*, 2016, 8 (3): 106-140.
- [19] HEUTEL G, MILLER N H, MOLITOR D. Adaptation and the mortality effects of temperature across US climate regions [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2021, 103 (4): 740-753.
- [20] CUI X. Climate change and adaptation in agriculture: evidence from US cropping patterns [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2020, 101: 102306.
- [21] CHEN S, CHEN X, XU J. Impacts of climate change on agriculture: evidence from China [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2016, 76: 105-124.
- [22] ORTIZ-BOBEA A. The role of nonfarm influences in Ricardian estimates of climate change impacts on US agriculture [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2020, 102 (3): 934-959.
- [23] LIU H, LI X, FISCHER G, et al. Study on the impacts of climate change on China's agriculture [J]. *Climatic Change*, 2004, 65 (1): 125-148.
- [24] FISHER A C, HANEMANN W M, ROBERTS M J, et al. The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather: comment [J]. *American Economic Review*, 2012, 102 (7): 3749-3760.
- [25] SCHLENKER W, LOBELL D B. Robust negative impacts of climate change on African agriculture [J]. *Environmental Research Letters*, 2010, 5 (1): 014010.

- [26] MOORE F C, LOBELL D B. The fingerprint of climate trends on European crop yields [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 112 (9): 2670-2675.
- [27] TACK J, BARKLEY A, NALLEY L L. Effect of warming temperatures on US wheat yields [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 112 (22): 6931-6936.
- [28] GAMMANS M., MÉRÉL P, ORTIZ-BOBEA A. Negative impacts of climate change on cereal yields: statistical evidence from France [J]. *Environmental Research Letters*, 2017, 12 (5): 054007.
- [29] CHEN X, CHEN S. China feels the heat: negative impacts of high temperatures on China's rice sector [J]. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2018, 62 (4): 576-588.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] ZHANG P, ZHANG J, CHEN M. Economic impacts of climate change on agriculture: the importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017, 83: 8-31.
- [33] COHN A S, VANWEY L K, SPERA S A, et al. Cropping frequency and area response to climate variability can exceed yield response [J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6 (6): 601-604.
- [34] ARAGÓN F M, OTEIZA F, RUD J P. Climate change and agriculture: subsistence farmers' response to extreme heat [J]. *American Economic Journal: Economic Policy*, 2021, 13 (1): 1-35.
- [35] ORTIZ-BOBEA A, KNIPPENBERG E, CHAMBERS R G. Growing climatic sensitivity of US agriculture linked to technological change and regional specialization [J]. *Science Advances*, 2018, 4 (12): 4343.
- [36] VILLAVICENCIO X, MCCARL B A, WU X, et al. Climate change influences on agricultural research productivity [J]. *Climatic Change*, 2013, 119: 815-824.
- [37] LIANG X Z, WU Y, CHAMBERS R G, et al. Determining climate effects on US total agricultural productivity [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017, 114 (12): 2285-2292.
- [38] LETTA M, TOL R S J. Weather, climate and total factor productivity [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2019, 73 (1): 283-305.
- [39] Climate change 2014-impacts, adaptation and vulnerability: regional aspects [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [40] SACKS W J, DERYNG D, FOLEY J A, et al. Crop planting dates: an analysis of global patterns [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, 19 (5): 607-620.
- [41] TARAZ V. Adaptation to climate change: historical evidence from the Indian monsoon [J]. *Environment and Development Economics*, 2017, 22 (5): 517-545.
- [42] FISHMAN R. Groundwater depletion limits the scope for adaptation to increased rainfall variability in India [J]. *Climatic Change*, 2018, 147: 195-209.
- [43] SCHMITT J, OFFERMANN F, SÖDER M, et al. Extreme weather events cause significant crop yield losses at the farm level in German agriculture [J]. *Food Policy*, 2022, 112: 102359.
- [44] 刘东, 冯晓龙, 司伟. 中国粮食生产的气候变化适应水平及其机制研究 [J]. *经济学 (季刊)*, 2024, 24 (5): 1516-1532.
- [45] CHEN X, CUI X, GAO J. Differentiated agricultural sensitivity and adaptability to rising temperatures across regions and sectors in China [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2023, 119: 102801.
- [46] MENDELSON R, DINAR A, WILLIAMS L. The distributional impact of climate change on rich and poor countries [J]. *Environment and Development Economics*, 2006, 11 (2): 159-178.
- [47] TACONET N, MÉJEAN A, GUIVARCH C. Influence of climate change impacts and mitigation costs on inequality between countries [J]. *Climatic Change*, 2020, 160 (1): 15-34.
- [48] ZHANG B, WANG S, SLATER L. Anthropogenic climate change doubled the frequency of compound drought and heatwaves in low-income regions [J]. *Communications Earth & Environment*, 2024, 5 (1): 715.
- [49] DELL M, JONES B F, OLKEN B A. Temperature shocks and economic growth: evidence from the last half century [J]. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2012, 4 (3): 66-95.
- [50] HOFFMANN R, ABEL G, MALPEDE M, et al. Drought and aridity influence internal migration worldwide [J]. *Nature Climate Change*, 2024 (14): 1245-1253.
- [51] MENDELSON R O, MASSETTI E. The use of cross-sectional analysis to measure climate impacts on agriculture: theory

- and evidence [J]. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2017, 11 (2): 280-298.
- [52] WARD P S, FLORAX R J G M, FLORES-LAGUNES A. Climate change and agricultural productivity in Sub-Saharan Africa: a spatial sample selection model [J]. *European Review of Agricultural Economics*, 2014, 41 (2): 199-226.
- [53] AUFFHAMMER M. Climate adaptive response estimation: short and long run impacts of climate change on residential electricity and natural gas consumption [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2022, 114: 102669.
- [54] FISCHER G, SHAH M, TUBIELLO N F, et al. Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990-2080 [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2005, 360 (1463): 2067-2083.
- [55] NORDHAUS W D. An optimal transition path for controlling greenhouse gases [J]. *Science*, 1992, 258 (5086): 1315-1319.
- [56] NORDHAUS W D. Optimal greenhouse-gas reductions and tax policy in the “DICE” model [J]. *The American Economic Review*, 1993, 83 (2): 313-317.
- [57] O’NEILL B C, KRIEGLER E, RIAHI K, et al. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways [J]. *Climatic Change*, 2014, 122: 387-400.
- [58] CARLETON T, DUFLO E, JACK B K, et al. *Adaptation to climate change [M] // Handbook of the Economics of Climate Change*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2024.
- [59] YATES D N, STRZEPEK K M. An assessment of integrated climate change impacts on the agricultural economy of Egypt [J]. *Climatic Change*, 1998, 38 (3): 261-287.
- [60] COSTINOT A, DONALDSON D, SMITH C. Evolving comparative advantage and the impact of climate change in agricultural markets: evidence from 1.7 million fields around the world [J]. *Journal of Political Economy*, 2016, 124 (1): 205-248.
- [61] HERTEL T W, BURKE M B, LOBELL D B. The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030 [J]. *Global Environmental Change*, 2010, 20 (4): 577-585.
- [62] CALZADILLA A, REHDANZ K, BETTS R, et al. Climate change impacts on global agriculture [J]. *Climatic Change*, 2013, 120: 357-374.
- [63] ZHAI F, LIN T, BYAMBADORJ E. A general equilibrium analysis of the impact of climate change on agriculture in the People’s Republic of China [J]. *Asian Development Review*, 2009, 26 (1): 206-225.
- [64] XIE W, HUANG J, WANG J, et al. Climate change impacts on China’s agriculture: the responses from market and trade [J]. *China Economic Review*, 2020, 62: 101256.
- [65] RODE A, CARLETON T, DELGADO M, et al. Estimating a social cost of carbon for global energy consumption [J]. *Nature*, 2021, 598 (7880): 308-314.
- [66] SLOAT L L, DAVIS S J, GERBER J S, et al. Climate adaptation by crop migration [J]. *Nature Communications*, 2020, 11 (1): 1243.
- [67] CUI J, ZHANG X, REIS S, et al. Nitrogen cycles in global croplands altered by elevated CO₂ [J]. *Nature Sustainability*, 2023, 6 (10): 1166-1176.
- [68] ROCHAIX J D. The pyrenoid: an overlooked organelle comes out of age [J]. *Cell*, 2017, 171 (1): 28-29.
- [69] HUANG J, WANG Y, WANG J. Farmers’ adaptation to extreme weather events through farm management and its impacts on the mean and risk of rice yield in China [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2015, 97 (2): 602-617.
- [70] FLEISCHER A, MENDELSON R, DINAR A. Bundling agricultural technologies to adapt to climate change [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2011, 78 (6): 982-990.
- [71] HUANG K, ZHAO H, HUANG J, et al. The impact of climate change on the labor allocation: empirical evidence from China [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2020, 104: 102376.
- [72] COLMER J. Temperature, labor reallocation, and industrial production: evidence from India [J]. *American Economic Journal: Applied Economics*, 2021, 13 (4): 101-124.
- [73] CUI X, TANG Q. Extreme heat and rural household adaptation: evidence from Northeast China [J]. *Journal of Development Economics*, 2024, 167: 103243.
- [74] MOORE F C, OBRADOVICH N, LEHNER F, et al. Rapidly declining remarkability of temperature anomalies may obscure public perception of climate change [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2019, 116 (11): 4905-4910.

Climate Adaptation and High-Quality Agricultural Development: Research Progress and Policy Recommendations

CHEN Shuai YANG Xinyun

Abstract: Agriculture faces growing challenges as climate change intensifies. This paper examines the multidimensional impacts of climate change on agricultural production, including land value, crop yields, acreage and total factor productivity. Existing studies indicate that climate change, particularly rising temperatures, generally has a negative impact on crop yields. However, agriculture has a certain potential for adaptation, and the negative effects of climate change can be mitigated by adjusting strategies such as cropping structure, sowing time and irrigation. Nevertheless, existing studies are still insufficient to reveal specific adaptation mechanisms and micro-adaptation behaviors, especially the issue of inequality in climate adaptation. Low-income and vulnerable regions have weaker adaptive capacity and face higher climate risks, further exacerbating the inequality induced by climate change. Therefore, it is essential to formulate precise climate adaptation policies that integrate mitigation and adaptation efforts, improve incentive mechanisms, and enhance regional adaptive capacity through cross-regional benefit compensation mechanisms. In conclusion, future climate adaptation policies should focus on micro-adaptation mechanisms and climate inequality, enhance the scientific and reliability of policies through multidisciplinary research, and promote high-quality development of agriculture.

Keywords: Climate Adaptation; High-quality Agricultural Development; Climate Change Impacts; Agricultural Policy; Climate Inequality

(责任编辑 卫晋津 李 辉)