

“双碳”目标约束下应对气候变化的农户适应性行为

陈苏, 陈义凯

江西财经大学经济学院, 南昌 330013

摘要 农业既是温室气体排放源之一, 也是最易遭受气候变化影响的产业。提高农户适应气候变化的能力, 最大程度减轻气候变化对农业生产的不利影响, 以促进低碳农业发展和保证粮食安全十分必要。基于农业气候资源变化现状, 从改进施肥方式、精准施肥、多元替代等化肥减量技术和引导农户改变种植熟制, 调整作物布局、品种布局的种植技术2个方面分析了农户可采取碳减排的适应性行为。建议积极引导农户采纳化肥减量技术、鼓励农户调整农业种植结构、强化农业基础设施建设等方面, 协同推进降碳、减污、扩绿、增长。

关键词 气候变化; 农业生产; 化肥减量技术; 农业种植结构

目前, 全球正经历以变暖为主要特征的气候变化。2023年3月, 联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在《气候变化2023》中明确指出, 相较于1850—1900年, 2011—2020年全球地表温度上升了1.1°C, 并预测全球升温将于2021—2040年突破1.51°C^[1]。中国是全球气候变化的敏感区之一, 升温速率超过同期全球平均水平。1901—2022年, 中国地表平均气温升温速率为0.16°C/10 a^[2], 高于全球平均水平。农业是温室气体的排放源之一, 2004年国家应对气候变化战略研究与国际合作中心发布的《中华人民共和国气候变化初始国家信息

通报》显示, 农业温室气体排放总量约占全国排放总量的17%, 农业排放的甲烷和二氧化氮分别占全国总量的50%和92%。2022年, 农业农村部出台的《农业农村减排固碳实施方案》指出: “推进农业农村领域减排固碳, 是农业生态文明建设的重要内容, 是农业农村现代化建设的重要方向, 是推进乡村振兴的重要任务, 是应对气候变化的重要途径”。

农业是国民经济的基础, 也是最易受自然气候影响的产业。气候变化与农业生产关系的研究一直是学术界热点议题。一方面, 气温、降水等气候要素的波动直接导致农业生产不确定性增加, 影响

收稿日期: 2023-11-29; 修回日期: 2024-04-12

基金项目: 江西省教育厅科技项目(GJJ2022036); 国家自然科学基金地区项目(72063014); 教育部人文社会科学研究青年项目(20C1042104); 江西省研究生创新专项(YC2022-s447)

作者简介: 陈苏, 副教授, 研究方向为农业经济理论与政策, 电子信箱: chensu@jxufe.edu.cn

引用格式: 陈苏, 陈义凯. “双碳”目标约束下应对气候变化的农户适应性行为[J]. 科技导报, 2024, 42(16): 91-97;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2024.01.00198

粮食产量。气温在一定条件下能够促进粮食产量增加,但气温升高超过某一特定阈值时,可能会对粮食产量产生负向影响^[3]。就其作用机制而言,黄萌田等^[4]研究表明,气温、降水等气候因素直接对粮食作物的生长发育产生影响;但也有研究指出,这些气候因素是通过影响农户的行为策略进一步影响粮食产量,即气候因素与农户适应性行为共同作用于粮食产量^[5-6]。另一方面,气候变化还会对化肥等生产要素的效果和投入量产生影响^[7-8]。大多数化肥具有不耐高温、不耐潮的特点。例如,碳酸氢铵作为一种常见的化肥,具有很强的吸湿性,在潮湿环境中容易发生分解现象,且温度越高分解越快^[9]。因此,气温升高和降水增加都会造成化肥挥发或溶解,不仅显著降低化肥的利用效率,也不利于农作物有效生长。同时,这类气候因素的出现可能导致土壤矿物质挥发或流失加剧^[10],从而需要增加化肥投入量以满足农作物生长所需肥力,可能会造成化肥利用效率的进一步降低^[11]。

农户应对气候变化的适应性行为是其在气候变化实际或潜在影响下做出的趋利避害的调整^[12]。适应性行为是弱势群体为应对气候变化风险和冲击所采取的长期措施,适应气候变化对于增强家庭抵御洪水、干旱等灾害的能力至关重要^[13]。粮食安全是国家安全的重要基础,解决好吃饭问题始终是治国理政的头等大事。随着社会的进步和人们生活水平的提高,居民消费正由“吃得饱”向“吃得好”“吃得营养健康”加快转变,既要完成保障好粮食安全的底线,更要回答好助力减排固碳的时代课题。

1 农业气候资源变化

农业气候资源是指能为农业生产提供物质和能量的气候资源,主要包括光、热、水资源等。中国农业气候资源类型多样,在数量、质量及组合特征上有很大的地域差异,在时间上又有明显的年际变化。

1.1 气温资源变化

中国正面临高温等极端天气气候事件增多、增强的趋势^[14]。1961—2007年全国平均气温倾向率

为 $0.28^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$,全国农业热量资源水平提高明显^[15],空间上表现为“东南高,向西、向北递减”^[16]。具体而言,1961—2007年中国华南地区气温平均增速为 $0.28^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ^[17],东北地区气温倾向率达到 $0.38^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 10°C 以上积温呈明显上升^[18]。西北地区增温明显,气温倾向率达到了 $0.35^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 10°C 以上积温倾向率也达到了 $50^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})\cdot\text{d}$ ^[19]。西南地区气温倾向率为 $0.18^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 10°C 以上积温呈明显上升^[20]。长江中下游和黄淮海农业区, 0°C 以上和 10°C 以上积温增加明显,农业热量资源条件改善^[17]。

1.2 降水资源变化

中国降水资源分布变化显著,西北中西部和华南地区降水呈增多趋势,而东北、华北、西南以及西北东部降水明显减少^[21]。具体而言,1951—1999年,北方地区日降水量大于 25 mm 以上的日数呈显著减少趋势,东北西部降水增加,北部到华北大部极端降水减少^[22]。1960—1986年,西北地区降水量变化处于相对稳定阶段,在1987年降水量出现了“突变型”增加,年降水量增加率达 $9.7\text{ mm}/10\text{ a}$,进入21世纪,降水量的增加趋于减缓^[23]。长江中下游地区春季降水减少,秋季趋于增多。旱灾发生频率高、持续时间长、影响范围广,是最常见、破坏性最强的自然灾害^[24]。西南地区春秋季节降水明显减少,干旱面积扩大,严重制约区域农业可持续发展^[25]。

总体来看,中国农业气候资源变化具有明显的区域差异,华南、西北地区“升温降水多”,东北、长江中下游、西南和黄淮海地区则“升温降水少”。

2 气候变化适应性行为

气候变化适应性是人们根据气候环境提供的条件,通过对实践、过程或结构进行调整(或改变),以减少气候变化带来不利影响的过程。为应对气候变化对农业生产的影响,农户通常采取有效的气候变化应对措施,包括调整农业生产要素投入比例或组合,以及采取适应气候变化的新技术或管理方式^[26]。风险规避理论认为农户是趋利避害的理性

行动者^[23],为规避气候变化对农业生产带来的风险,农户往往会将增加化肥施用作为一种分散风险的策略选择,即通过增施化肥减少气候变化带来的化肥效用降低的不良影响。然而,这一策略选择与农业绿色发展的要求背道而驰。农户作为农业绿色发展主体,其生产行为与决策行为均属于经济行为,具有“经济人”理性动机,合理使用和有效配置生产性资源,在实现降碳、减污同时,提高化肥利用效率,达到增产增效。然而,碳减排是一种既典型又特殊的公共物品供给,农户碳减排行为具有很强的外部性,需要政策激励。本文从2个方面总结农户碳减排的适应性行为,在调整农业生产要素投入比例或组合方面,政府可以积极推广改进施肥、精准施肥等适应性化肥减量技术;在采取适应气候变化的新技术或管理方式方面,由于农业气候资源变化改变了区域内作物间的比较优势^[24],政府可以通过引导农户调整农业种植结构,例如改变种植熟制、调整作物布局等,以提高农户在“双碳”目标约束下应对气候变化的适应能力。

2.1 化肥减量技术

2.1.1 改进施肥方式

改进施肥方式是指采用现代化的农业技术,如引进高效施肥机械,采取水肥一体化等方法,以改进传统的撒施、表施和大水冲施等施肥方式。机械化深施肥是一种现代施肥技术,即通过使用先进的农业机械装备,在农作生长过程中将肥料深度投放到土壤的根系范围内。相比于传统浅施肥,机械化深施肥能够使肥料与根系更好地接触,避免养分被水分冲刷或气候因素引起的挥发和流失,提高养分吸收效率,增加粮食作物产量^[27]。研究表明,在机械深施基肥条件下,能够,并有效^[28]。同时,机械化深施肥还可以减少肥料的溢出和径流,减少对地表水和地下水的污染风险,有助于保护生态环境。水肥一体化是一项新型农业技术,紧密结合了灌溉和施肥过程,通过将可溶性肥料或其他营养物质溶入灌溉水中,借助自然高差和压力系统完成浇水施肥。该技术还可以进行针对性设计,根据不同土壤环境、作物对肥料的需求以及不同时期作物对水分的需求,优化组合水和肥料之间的配比^[29]。相较于

传统的水肥管理技术,水肥一体化技术能够实现水肥的高效利用和精准管理,具有显著的节水、节肥等特点^[30]。相关研究指出,通过合理应用水肥一体化技术,可以在节水35%~60%、节肥20%~50%的条件下,提高作物产量10%以上^[27]。目前水肥一体化技术被广泛应用于果园、茶园和水稻等作物种植,并已从小范围试验示范逐渐覆盖东北、华北、西北和南方大部分地区^[31]。

2.1.2 精准施肥技术

精准施肥是指基于作物需肥规律和土壤养分状况,制定精确的肥料配方信息,增加专用肥和配方肥的使用,达到提高化肥利用效率的目的^[32]。在同一地块内,土壤养分分布具有空间异质性。然而,长期以来,农业生产普遍采用统一的施肥标准,这不仅导致农业生产成本上升,还削弱了农业的经济效益^[33]。随着信息技术的不断进步,以及计算机在农业领域的广泛应用,为精准施肥提供了坚实的技术基础。养分专家(nutrient expert)系统作为一种基于计算机的决策系统,能够根据相关信息生成特定施肥建议,推荐最佳施肥方案。通过遵循养分专家系统的建议施肥,不仅可以降低化肥施用量,同时也能提升水稻养分吸收量和产量^[34]。采用测土配方肥技术同样有助于减少化肥施用量。测土配方肥是一种根据土壤养分状况以及作物生长需肥规律,在农技人员指导下,科学合理施用化肥,旨在解决作物需肥与土壤养分不足之间的矛盾实现作物高产、优质。研究表明,科学施用测土配方肥能够优化肥料的养分配比,提高肥料利用率,减少农业面源污染^[35]。

2.1.3 多元替代技术

多元替代是指通过合理利用有机养分资源,推进增施有机肥等方法,减少化肥依赖。一是农牧废弃物有机肥替代化肥,即利用秸秆、畜禽粪便等有机物料,经过堆积、发酵形成有机化合物肥料。秸秆还田是把不适宜作为饲料的秸秆(玉米秆、高粱秆等),通过粉碎、留高茬及田面覆盖等直接方式,或经过堆沤和过腹等间接方式,将其有效施入土壤。农牧废弃物有机肥相较于传统复合肥,具有原料来源广、养分全面等特点^[36],可以提高土壤有机

质含量和作物产量、增强土壤碳固存效应^[37]。二是绿肥替代化肥。绿肥是一种清洁有机肥源,次生环境风险低。种植绿肥不仅能有效解决农田养分流失问题,还有助于改善土壤理化性质,提高土壤有机质含量。紫云英作为一种绿肥作物,其稻草还田与氮肥减量 20% 和 30% 配施,能够实现水稻产量和稻米品质协同提高^[38]。三是生物肥料替代化肥。生物肥料是一种以有益微生物为主要成分,通过微生物的作用促进植物生长和发育的新型肥料,主要包括微生物菌剂、生物有机肥和复合微生物肥料,其功能主要表现在改善土壤微生物环境、增加土壤肥力等方面。以有机肥替代为例,其通过有机肥料和无机肥料相结合,将大量、中量和微量元素相结合,提高土壤保肥能力,缓减农业面源污染,实现经济、社会与环境协同发展^[39]。

2.2 农业种植结构

2.2.1 种植熟制调整

种植熟制是一定区域内作物熟制与间作、轮作等种植方式的总称。气候变化对农业种植熟制的影响主要体现在复种指数和种植模式 2 个方面。在复种指数方面,随着全球变暖不断加剧,农业生态系统热量输入持续增加,物候变化明显,复种指数不断提高,降低土壤氮磷流失量^[40]。例如,在长江中下游平原地区,由双季稻转变为“水稻-小麦”“水稻-油茶”“玉米-水稻”等,实现了降碳、固肥、增产。与此同时,在复种指数提高背景下,“趋粮化”也越来越明显,与经济作物相比,粮食作物对化肥投入需求较低。在种植模式方面,气候变化导致不同系统内作物的种植模式发生改变。例如,在冬小麦种植的北界地带,为有效利用气候变化带来的热量资源,冬小麦-夏玉米套种成为了最为广泛采用的种植模式^[41],该模式减少化肥使用量,保证作物高产高效。在农牧交错带以及黄土高原等干旱缺水地区,为有效节约水资源并更好地适应干旱缺水状况,通常采取耗水作物与抗旱作物的轮作模式,该模式有利于水肥一体化的实施,同时提高了水和化肥利用效率。

2.2.2 作物布局调整

作物布局的调整主要涉及 2 个方面,即作物种

植界限和区域内部作物种植比例。在作物种植界限方面,随着气候变暖,平均气温和积温呈上升趋势。相应地,作物种植界限也呈现向高海拔和高纬度地区移动的趋势^[42]。在西北地区,特别是该地区的东部,冬小麦的种植分布从海拔 1800~1900 m 上升到 2000~2100 m,同时种植北界已向北扩展了 50~100 km^[43];在东北地区,水稻播种面积明显扩大,其种植北界呈现出向北纬 52° 地区扩展的趋势^[44];在西藏地区,玉米种植的海拔逐渐提高,甚至在海拔 3840 m 的地方也能够进行种植^[45]。在作物种植比例方面,其变化与作物空间布局密切相关。气温上升和降水模式改变可能影响作物的生长适宜性,部分作物可能因气温升高,导致其种植比例增加,而其他作物可能因降水减少,导致种植比例减少。在华北地区,农户为适应气候变化导致的干旱和缺水加剧的状况,会大面积压缩高碳排放的水稻种植比例,并不断扩大抗旱作物的种植^[46];在甘肃省中部半干旱地区,小麦产量较低且不稳定,农户往往会扩大谷子、马铃薯、豆类等耐旱作物的种植面积^[47],这些调整在一定程度上也降低了化肥投入。2015 年,原农业部发布《关于“镰刀弯”地区玉米结构调整的指导意见》,提出适应性的主动技术路径之一:重点是东北地区恢复大豆、玉米轮作,因地制宜发展苜蓿、玉米轮作,华北地区实行冬小麦、夏花生(豆类)种植,发挥豆科作物固氮养地的作用。

2.2.3 品种布局调整

培育作物高产品种能够提高养分利用效率,降低化肥土壤残留,为肥料减量使用提供重要保障。水稻是种植业第一大碳排放源,由于水田产生了大量甲烷^[12]。然而,不同水稻品种的化肥利用存在显著差异,籼稻亩均化肥施用量高于粳稻,杂交水稻亩均化肥施用量也高于常规稻^[7]。南方稻作区的湖北、安徽、江西等地区积极推行水稻“籼改粳”工程。2021 年,江西省“籼改粳”面积突破 200 万亩(为尊重原始统计数据,本文“亩”未换算为“公顷”)。同时,安徽、浙江等地区积极推广“节水抗旱稻”,该杂交水稻从种质上降低了水稻生产对水资源需求弹性,在实现高产的同时,提高了化肥利用效率^[48]。

在北方旱作区,主要推广抗旱节水高产粮食品种。2022年河北省抗旱节水小麦品种累计推广2亿多亩。整体而言,这些措施反映了政府为引导农户应对气候变化做出的适应性调整,确保农业生产在不断变化的气候条件下依然可持续。

3 建议

化肥是种植业最大的碳源,也易受气候变化影响其作用发挥,在“双碳”目标下,为提高农户应对气候变化适应性能力,政府通过积极推广改进施肥、精准施肥、多元替代等适应性技术,引导农户改变种植熟制、调整作物布局和品种布局的低肥耗种植技术,持续拓宽减碳空间,实现降碳、减污、扩绿、增长。基于上述已有研究,本文提出以下建议。

第一,积极引导农户采纳化肥减量技术。一是改进施肥方式,大力推广包括机械化施肥、水肥一体化在内的现代化施肥技术;开展农业技术培训,加深施肥技术科研人员与农户的沟通交流,纠正农户传统的错误施肥方式,提高农户现代化施肥技术水平;同时,针对复杂的地貌环境、气候差异,应加强现代施肥机械的研制,并增强现代施肥机械的补贴力度,以加速传统农具的更新换代。二是精准施肥技术,在农村地区建立精准施肥示范基地,以实际效果展示技术的可行性,并积极宣传农户采纳精准施肥技术的成功案例,发挥示范引领作用,推动农业生产向智能化、精准化方向发展。三是多元替代技术,探索建立种养结合机制,推动畜禽粪肥就地就近还田利用,推广紫云英等绿肥种植技术,并加大生物肥料的研发力度,以实现化肥减量。

第二,鼓励农户积极调整农业种植结构。一是完善气象预警体系,通过多方渠道提供及时、准确的气象信息,以便农户可以灵活地调整种植时间、选择适宜的品种等,从而减缓气候变化对农业生产活动和农业生产要素投入的负面影响;二是推广适应性农作物,引导农户选择能够适应气候变化的农作物品种,如耐旱、耐高温、耐盐碱等品种,减缓气候变化对农业生产的影响,降低气候变化引起的损失及适应成本;三是支持农业科技创新,相关农业

科研部门应着力推动新技术、新品种的研发和应用,尤其要重视对抗旱、耐涝和耐高温等特性种子的研发,提高农业生产的抗逆能力;四是鼓励农户采用多样化农业种植结构,减少对单一农作物的依赖,提高农户对气候变化的抵抗能力,降低风险。

第三,强化农业基础设施建设。中国地域辽阔,不同地区种植结构和气候变化存在显著差异,因此需要根据具体情况采取差异化农业基础设施建设策略。在南方地区,气候湿润且降水充沛,重点应放在排水系统的建设上,通过建立高效的排水系统,有效排除多余的雨水,避免水涝对农田的侵害,从而保护农作物的生长和发育;与此相反,在北方地区,气候较为干旱且降水较少,应更加注重灌溉系统的建设,通过科学合理的灌溉体系,确保农作物能够得到足够的水分供应,提高耐旱性。

参考文献(References)

- [1] 高启慧,秦圆圆,梁媚聪,等. IPCC第六次评估报告综合报告解读及对我国的建议[J]. 环境保护, 2023, 51(增刊2): 82-84.
- [2] 赵月阳,董腾. 中国气候风险指数不断升高[J]. 生态经济, 2023, 39(9): 9-12.
- [3] Schlenker W, Roberts M J. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(37): 15594-15598.
- [4] 黄萌田,周佰铨,翟盘茂. 极端天气气候事件变化对荒漠化、土地退化和粮食安全的影响[J]. 气候变化研究进展, 2020, 16(1): 17-27.
- [5] Roberts M J, Schlenker W, Eyer J. Agronomic weather measures in econometric models of crop yield with implications for climate change[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2013, 95(2): 236-243.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.

- [9] 曹大宇, 朱红根. 气候变化对我国种植业化肥投入的影响[J]. 西部论坛, 2017, 27(1): 107-114.
- [10] Miraglia M, Marvin H J, Kleter G A, et al. Climate change and food safety: An emerging issue with special focus on Europe[J]. Food and Chemical Toxicology, 2009, 47(5): 1009-1021.
- [11] Tang L, Zhou J, Bobojonov I, et al. Induce or reduce? The crowding-in effects of farmers' perceptions of climate risk on chemical use in China[J]. Climate Risk Management, 2018, 20: 27-37.
- [12] 李欢娟, 史兴民. 基于计划行为理论的樱桃种植户对气候变化与气象灾害适应行为研究[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15(3): 301-312.
- [13] Ng'ang'a S K, Bulte E H, Giller K E, et al. Livestock wealth and social capital as insurance against climate risk: A case study of Samburu County in Kenya[J]. Agricultural Systems, 2016, 146: 44-54.
- [14] 陈国宁. 中国是全球气候变化敏感区[J]. 生态经济, 2022, 38(10): 9-12.
- [15] 杨晓光, 李勇, 代姝玮, 等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 IX. 中国农业气候资源时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(12): 3177-3188.
- [16] 李萌, 申双和, 褚荣浩, 等. 近30年中国农业气候资源分布及其变化趋势分析[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(21): 1-11.
- [17] 李勇, 杨晓光, 王文峰, 等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 I. 华南地区农业气候资源时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2605-2614.
- [18] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 IV. 未来气候变暖对东北三省春玉米种植北界的可能影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2280-2291.
- [19] 徐超, 杨晓光, 李勇, 等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 III. 西北干旱区农业气候资源时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 763-772.
- [20] 代姝玮, 杨晓光, 赵孟, 等. 气候变化背景下中国农业气候资源变化 II. 西南地区农业气候资源时空变化特征[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 442-452.
- [21] 胡延斌, 肖国举, 李永平. 气候带北移及其对中国作物种植制度的影响研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(3): 269-274.
- [22] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003, 58(S1): 1-10.
- [23] 陈亚宁, 李稚, 范煜婷, 等. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. 地理学报, 2014, 69(9): 1295-1304.
- [24] 张强, 姚玉璧, 李耀辉, 等. 中国西北地区干旱气象灾害监测预警与减灾技术研究进展及其展望[J]. 地球科学进展, 2015, 30(2): 196-213.
- [25] 王英, 曹明奎, 陶波, 等. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征[J]. 地理研究, 2006, 25(6): 1031-1040.
- [26] 顾倩. 气候变化下的农业适应性行为研究[J]. 农业灾害研究, 2022, 12(11): 79-81.
- [27] 付浩然, 李婷玉, 曹寒冰, 等. 我国化肥减量增效的驱动因素探究[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(3): 561-580.
- [28] 刘德坤, 张雅芬, 骆瑶倩, 等. 机械深施基肥对麦季氮肥利用效率的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(17): 235-240.
- [29] 李华明. 农业经济形势问题及政策创新[J]. 农业与技术, 2020, 40(2): 164-166.
- [30] 曹慧, 赵凯. 农户化肥减量施用意向影响因素及其效应分解: 基于 VBN-TPB 的实证分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2018(6): 29-38, 152.
- [31] 李传哲, 许仙菊, 马洪波, 等. 水肥一体化技术提高水肥利用效率研究进展[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(2): 469-475.
- [32] 陈桂芬, 马丽, 陈航. 精准施肥技术的研究现状与发展趋势[J]. 吉林农业大学学报, 2013, 35(3): 253-259.
- [33] Pierre R. Characterization of soil conditions at the field level for soil specific management[J]. Geoderma, 1993, 60(1/2/3/4): 57-72.
- [34] 柳开楼, 李大明, 胡志华, 等. 养分专家系统在双季稻中的应用和评价[J]. 中国土壤与肥料, 2019(1): 184-189.
- [35] 李夏菲, 杨璐, 于书霞, 等. 湖北省油菜测土配方施肥下 N_2O 减排潜力估算[J]. 中国环境科学, 2015, 35(12): 3817-3823.
- [36] 高瑛, 王娜, 李向菲, 等. 农户生态友好型农田土壤管理技术采纳决策分析: 以山东省为例[J]. 农业经济问题, 2017, 38(1): 38-47, 110-111.
- [37] 于森, 高晓梅, 刘晓辉, 等. 秸秆还田量对旱地土壤养分、细菌群落结构的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(3): 171-177.
- [38] 王秀红, 沈健英, 陆贻通. 稻田施用固氮蓝藻、有机肥、化肥的肥效比较[J]. 河南农业科学, 2006, 35(5): 67-69.
- [39] 苑甜甜, 王俊芹, 赵邦宏. 农户采纳化肥减施增效技术何以有效: 基于组态分析视角[J]. 江西财经大学学报, 2022(2): 95-106.
- [40] 赵锦, 杨晓光, 刘志娟, 等. 全球气候变暖对中国种植

- 制度可能影响II.南方地区气候要素变化特征及对种植制度界限可能影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(9): 1860-1867.
- [41] 范士超, 褚庆全, 何浩, 等. 小麦-玉米两熟制产量限制因素及其提升技术途径: 以山东省龙口市为例[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(6): 6-12.
- [42] 杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2): 329-336.
- [43] 刘德祥, 董安祥, 邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业的影响[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 119-125.
- [44] 云雅如, 方修琦, 王丽岩, 等. 我国作物种植界线对气候变暖的适应性响应[J]. 作物杂志, 2007(3): 20-23.
- [45] 何奇瑾, 周广胜. 我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性[J]. 生态学报, 2012, 32(12): 3931-3934, 3937-3939.
- [46] 王长燕, 赵景波, 李小燕. 华北地区气候暖干化的农业适应性对策研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(5): 646-652.
- [47] 姚小英, 邓振镛, 蒲金涌, 等. 甘肃省糜子生态气候研究及适生种植区划[J]. 干旱气象, 2004, 22(2): 52-56.
- [48] 张莉侠. 节水抗旱稻引领水稻蓝色革命 推动绿色发展取得重大进展[J]. 上海农村经济, 2022(12): 7-9.

Research on adaptive behavior of farmers in response to climate change under the constraint of the "dual carbon" target

CHEN Su, CHEN Yikai

School of Economics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China

Abstract Agriculture is not only a source of greenhouse gas emissions, but also an industry most vulnerable to climate change. To enhance the ability of farmers to adapt to climate change and minimize the adverse effects of climate change on agricultural production, it is necessary to promote the development of low-carbon agriculture and ensure grain security. Based on the current changes of agricultural climate resource, this article systematically summarizes the adaptive behaviors that farmers can adopt to reduce carbon emissions from two aspects: chemical fertilizer reduction such as improving fertilizer application methods, precision fertilization and diversified substitution and planting technology, such as guiding farmers to change planting maturity, adjusting crop and variety layout. Therefore, by actively guiding farmers to adopt fertilizer reduction technologies, encouraging farmers to adjust agricultural planting structures, and strengthening agricultural infrastructure construction, the carbon reduction, pollution reduction, green expansion, and growth will be promoted synergistically. Meanwhile, it is expected to provide reference for enriching research in the fields of climate change and adaptive behavior of farmers.

Keywords climate change; agricultural production; reduction of chemical fertilizers; agricultural planting structure ●



(责任编辑 徐丽娇)