

蓝红星,冯文意,胡原.粮食安全视域下生态低碳农业的发展战略与路径选择[J].华中农业大学学报,2024,43(3):39-50.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.03.005

粮食安全视域下生态低碳农业的发展战略与路径选择

蓝红星^{1,2},冯文意¹,胡原^{1,2}

1. 四川农业大学管理学院,成都 611130; 2. 国家粮食安全与天府粮仓重点实验室/
四川省农村发展研究中心,成都 611130

摘要 实现粮食安全战略与“双碳”目标是加快农业农村现代化步伐、加快建设农业强国的关键。为助推粮食安全战略与“双碳”目标的同步实现,本研究立足粮食安全视域,阐释生态低碳农业的科学内涵,厘清粮食安全与生态低碳农业的辩证关系,剖析粮食安全战略下生态低碳农业发展面临的问题与挑战,并针对性提出发展战略与推进路径。研究发现,在“大食物观”“大产业观”“大农业观”指导下,生态低碳农业涉及全食品类、全产业链、全生活环节。粮食安全是发展生态低碳农业的底线要求,生态低碳农业是可持续保障粮食安全的应有之义。当前,发展生态低碳农业面临自然资源约束、科学技术瓶颈、小农生产模式、居民观念局限等现实困难,亟需探索水地资源拓展、技术创新应用、居民素质提升等有效路径,推动生态低碳农业实现“藏粮于地”“藏粮于技”“藏粮于民”。

关键词 粮食安全;生态低碳农业;大食物观;大农业观

中图分类号 F326.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)03-0039-12

粮食安全是关乎国家安全的“国之大者”,“双碳”目标是中国对世界的庄严承诺。作为传统农业大国,中国一直将粮食安全视为国之根本。党的十八大以来,我国粮食安全保障能力显著增强,以占世界9%的耕地、6%的淡水资源,保障了世界近20%人口的口粮供给,为“谁来养活中国”之问作出响亮回应。进入新发展阶段,面对百年未有之大变局背景下动荡的国际形势、严峻的全球气候变化、频发的自然灾害等风险挑战,粮食安全的战略地位更加凸显。习近平总书记立足解决14亿多人吃饭这一最大国情,提出了“粮食安全是‘国之大者’”“确保谷物基本自给、口粮绝对安全”“中国人的饭碗主要装中国粮”等重要论断与战略部署,这不仅为新时代“三农”工作指明了发展方向,更强调了保障农产品的持续有效供给依然是农业的第一要务^[1]。

长期以来,农业深受气候环境的影响,由气候变化引起的极端天气、资源紧缺、能源问题等都将对粮食生产造成影响^[2]。联合国政府间气候变化专门委

员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)认为现在若不全力以赴达成1.5℃的温控目标,未来世界将在粮食安全乃至人类生存方面面临巨大威胁。而要达成这一目标,据联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)发布的《2023年排放差距报告》测算结果,世界需要在2030年前将全球温室气体年排放总量削减42%。应对气候危机已经成为全世界共同的任务挑战^[1-3]。现有研究表明,农业是温室气体的第二大重要来源,农业食物系统的碳排放占全部活动碳排放的1/3^[4-5],而生态低碳农业在减少农业领域的温室气体排放方面有着巨大的潜力^[3-4]。加快发展低碳农业已经成为应对气候问题的重要举措。2020年,我国“双碳”目标正式提出,向国际社会承诺在2030年实现“碳达峰”、2060年实现“碳中和”,展现出中国在气候危机问题中的大国担当。2021年,中共中央、国务院颁布《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》,其中“加快推进农业绿

收稿日期:2023-12-30

基金项目:国家社科基金青年项目(23CJY061);四川省哲学社会科学基金重大项目(SCJJ23ND05);成都市哲学社会科学规划专项重点项目(2023A12)

蓝红星,E-mail:57689712@qq.com

通信作者:胡原,E-mail:huyuan@sicau.edu.cn

色发展,促进农业固碳增效”等意见要求强调了农业生态低碳发展的必要性与重要性。2022年中央一号文件提出,要研发应用减碳增汇型农业技术,推进农业农村绿色发展。习近平总书记在2022年中央农村工作会议上指出,要发展生态低碳农业,坚持绿色是农业的底色、生态是农业的底盘,实现农业生产、农村建设、乡村生活生态良性循环。2023年中央农村工作会议再次强调绿色兴农。可见,为加快建设农业强国,作为农业大国既要加快发展生产力,提高农业生产全要素生产率,确保国家粮食安全和重要农产品有效供给,又要节能减排、生态固碳,减少碳排放,为实现双碳目标提供有力支撑。

目前,学者们围绕粮食安全与生态低碳农业展开了丰富的研究,在粮食安全领域着眼于内涵、经验、路径的深入阐述,生态低碳农业方面则围绕驱动因素、碳排碳汇测算等展开研究。现有研究中粮食安全多作为生态低碳农业发展的背景展开叙述。本文从理论发展和服务实践双重角度出发,对新时代粮食安全内涵进行梳理整合,从“大食物观”“大产业观”“大农业观”3个维度出发,在产品品类、生产流程、生活环节全方位粮食安全视域下探讨生态低碳农业的科学内涵,厘清粮食安全与生态低碳农业的辩证关系,剖析粮食安全战略下生态低碳农业发展面临的问题与挑战,并基于此提出相应的战略思路,以期同步实现粮食安全战略和“双碳”目标提供借鉴与参考。

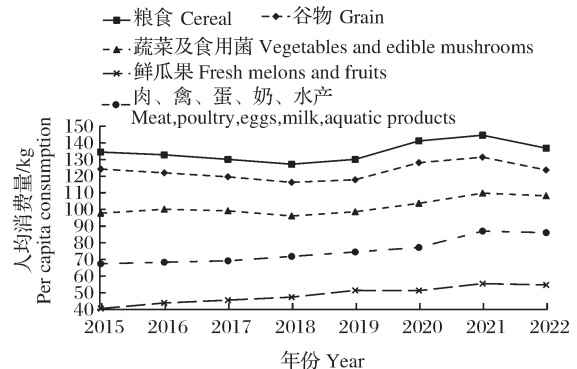
1 粮食安全视域下生态低碳农业的科学内涵

2023年中央经济工作会议突出强调“树立大农业观、大食物观,把农业建成现代化大产业。”这是新阶段农业发展的前进方向,也是实现粮食安全的重要指引。目前,粮食安全已经不局限于粮食产量、粮食质量、粮食结构,还要追求粮食治理体系和治理能力的现代化^[6],实现纵向维度的供应可持续性和横向维度的多功能性^[7]。立足粮食安全视角,阐明“生态低碳农业”的基本内涵,既是对生态低碳农业发展的深化与完善,也是对粮食安全概念的延伸与拓展,更是健全耕地数量、质量、生态“三位一体”保护制度体系的应有之义。解析粮食安全视域下生态低碳农业的科学内涵,必须立足“大食物观”“大产业观”“大农业观”,从粮食品类、农食系统流程、农村生活环节等

维度详细展开。

1.1 生态低碳农业是在“大食物观”下实现农产品全品类低碳

伴随着社会经济的快速发展,居民膳食习惯也从单一碳水为主的摄取向多元化转变,对粮食的消费需求也从“吃饱、吃好”向“吃得营养、吃得健康”转变,粮食结构合理、供给有力、营养健康越发受到重视。居民食物消费结构发生了显著变化,健康和多样化的食物需求成为广大消费者的必然选择。国家统计局年鉴数据显示,2015—2022年间,除2020年、2021年受新冠疫情影响,粮食(原粮)消费量明显上涨外,我国人均粮食(原粮)消费量整体呈现下降趋势,肉类、蛋类、奶类等其他食物种类的整体消费量呈现上升趋势(图1)。这种变化展现出居民饮食结构需求的转变,体现了人们对于食物营养与多样性的需求。值得注意的是,虽然种植业与养殖业都是农业碳排放来源,但研究表明,肉类消费的变化才是食物系统中温室气体排放的主导因素^[8-9]。根据2023年《中华人民共和国气候变化第三次两年更新报告》数据(<https://www.mee.gov.cn/ywdt/hjywnews/202312/W020231229717236049262.pdf>),2018年中国农业活动温室气体排放中,动物肠道排放2.28亿t二氧化碳当量,占28.7%;动物粪便管理排放1.40亿t二氧化碳当量,占17.7%。种植业温室气体排放中还有相当一部分来自饲料粮,2000—2021年,中国饲料加工总量从3741万t快速增长到31697万t,增幅高达747.3%,年均增长10.7%,各类粮食作物饲用量也在持续增长^[10]。2023年,中国饲料工业协会(<http://www.chinafeed.org.cn/hyfx/hy->



本图数据来源于2023年国家统计年鉴。Note: The data in this figure are derived from the National Statistical Yearbook 2023.

图1 2015—2022年全国居民人均主要粮食消费量

Fig.1 Consumption of major foodstuffs per capita in the country's population from 2015 to 2022

fx_erji/202402/t20240206_437711.htm)公布全国工业饲料总产量已达32 162.7万t,比2022年增长6.6%。

在这一背景下,大食物观应运而生并不断丰富完善。从生产端看,大食物观强调要从整个食物系统视角考虑食物供求,一是全方位开拓食物的来源,保障食品消费的多样性;二是保障口粮绝对安全,为粮食安全打上双保险;三是兼顾粮食口径,强调非食物用途粮食的有效供应^[11]。粮食安全要考虑的品类越来越广,来源越来越多,质量越来越高,可持续性越来越强。这些目标给生态低碳农业提出了新要求,不仅要关注传统的主粮生产的低碳,更要重视多类农产品生产的低碳效应。从消费端看,大食物观引领下的营养健康目标可以改变消费者的偏好,促进消费需求的改变,增加生态低碳产品的竞争力,为生态低碳农业发展提供了根本动力,从消费端促使现代农业向生态低碳转型。所以,生态低碳农业就是要适应大食物观视野下的消费需求,以多元、健康、营养为导向,实现全品类农产品的生态低碳生产。

1.2 生态低碳农业是在“大产业观”下实现农业粮食系统全流程低碳

要实现新时代的粮食安全目标,就不能仅关注粮食生产这一个环节,而是要树立“大产业观”,从产业链视角对农业发展进行全面谋划,关注产业发展的各个环节,重视除生产以外的粮食储存、转运、加工、销售等多个环节。

新时代粮食安全目标的达成,需要整个农业食物系统的支撑。联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations,FAO)将农业食物系统定义为全食物链的参与者、部门及其相互作用的总和,包括研发、投入、供应、生产、收获、储存、运输、加工、零售、批发、制备、消费和处置等一系列活动。着眼于涉农产业链,从投入品角度出发,农业产前、产中、产后的全过程均有投入品进入产业链条,既有农业自身活动产出的投入品,如种子、有机肥等,也有工业生产产出的投入品,如化肥、农药、农用薄膜等,农产品的生产、加工、流通也都涉及能源的投入使用。根据FAO数据(<https://www.fao.org/food-agriculture-statistics/zh/>),2021年我国在化肥制造、农药制造、食品加工、食品包装、食品零售、食品家庭消费、食品运输方面所排放的CO₂当量达到了11.46亿t。可见在农业为基础的产业链条中温室

气体的排放不可避免且覆盖广泛^[3]。因此,生态低碳农业就是要从全产业链视角出发,从涉农产业的投入、产出、消费等环节入手,实现农业食物系统的全流程生态低碳。

1.3 生态低碳农业是在“大农业观”下实现农村生活全环节低碳

大农业观实质是指广义的农业,不仅包括传统农业的种植业、林业、畜牧业和水产业等,还包括产前、产中、产后的各项活动。与此同时,农业、农村、农民是一个有机整体,生态低碳农业离不开与农民、农村低碳生活的有机互动。因此,大农业观下生态低碳农业还应当包括农业生产主体与生产环境的生态低碳。

农村作为农产品的主要生产地,其环境优劣对农产品的品质至关重要,而农村居民的生活起居与农业行为将对农村环境造成较大影响。一方面,能源的选择、污水的排放、垃圾的处理等生活环节以及农业生产副产品处理等非生产环节,不同处理方式带来的环境影响差异巨大。如采用太阳能等清洁能源相比焚烧农业副产品带来的环境影响更小;将生活污水转化为沼气与有机肥不仅减少了生活污水直接排放对环境造成的不良影响,还提供了清洁能源,降低工业化学品对耕地的污染。农业生产过程中会产生大量副产品,我国农村每年粮食种植产生6亿t秸秆,畜禽养殖产生30亿t粪便^[12],将这些副产品变废为宝是目前农村生活降低排放的关键环节,农业副产品有效处理可以成为重要的能源、碳源,处理不当则会造成大量的碳排放。FAO数据显示(<https://www.fao.org/food-agriculture-statistics/zh/>),我国2021年燃烧作物残茬排放的CO₂当量达到了658.496万t,排放的CH₄达到了18.884万t,总的农业粮食体系废弃物处理排放的CO₂当量则是达到了2.09亿t。因此,农民生活中的温室气体排放也不可忽视。另一方面,农村环境在第三产业的发展带动下,旅游、体验、康养等附加的经济效益逐渐升高。消费者开始重视在与自然的交互中表达“悦己”的情感诉求,更加追求农产品消费过程中的额外情绪体验,例如生态农场、康养服务等。这为生态低碳农业奠定了良好的经济价值基础,也要求涉农服务业重视生态低碳目标,相关产业的发展离不开农村环境的支撑。生态低碳农业就是覆盖大农业观下的三产融合与生活环节,以维护农村环境为主要目标,协同提升传统农业产业外的经济效益,实现农村生活全

环节生态低碳。

2 粮食安全与生态低碳农业的关系辨析

保障粮食安全是农业的第一要务,“双碳”目标是应对全球气候危机的重要战略。农业既是温室气体的主要排放来源,也深受气候环境的影响,是双碳目标实施过程中不可忽视的一部分。要兼顾国家粮食安全与农业向生态低碳转型,实现二者协同增效,必须要厘清粮食安全与生态低碳农业的辩证关系,两者相互制约又相互促进,存在明显的权衡与协同关系(图2)。

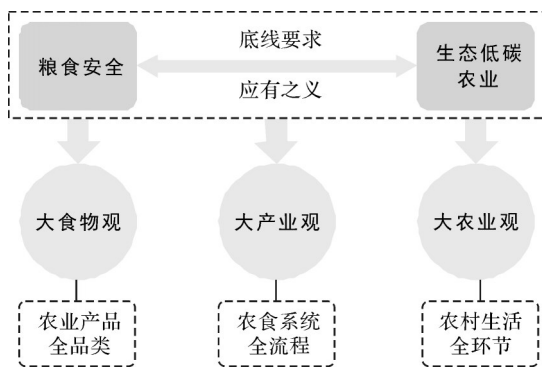


图2 粮食安全与生态低碳农业的辩证关系及科学内涵

Fig.2 Dialectical relationship between food security and ecological low-carbon agriculture and its scientific connotation

2.1 粮食安全是生态低碳农业发展的底线要求

长远来看我国国内的粮食供给将长期处于紧平衡状态。根据全国第7次人口普查分析,近10年间,我国总人口数增长速度放缓,且预计到“十五五”期间会迎来人口总量的“拐点”,但庞大的人口基数将持续保持,这意味着我国的人均资源占有量十分有限,水资源的人均占有率仅为世界平均水平的1/4,耕地的人均占有率不到世界平均水平的40%。在这样的人口和资源禀赋条件下,保障粮食安全是确保国家安全和经济社会稳定的永恒主题^[13]。近些年,中国粮食生产取得了巨大成就,在各类危机的挑战下稳住了供给,实现了粮食生产的“十九连丰”,2022年人均粮食占有量达到了486.1 kg (https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202309/content_6903859.htm),远超400 kg的国际粮食安全线,但与发达国家依旧存在着较大差距。随着经济条件的改善,人们的食物消费倾向多样化,原粮消费呈现出下降的态势,肉禽类及其他食物的消费占比逐步上涨,多名

学者采用不同方法预测的饲料粮需求量均呈现出上升的趋势^[14]。所以,我国粮食总需求仍将持续增长。

国际粮食市场波动性较大,国内农业生产才是实现粮食安全的根本底气。目前,我国已实现“谷物基本自主,口粮绝对安全”的战略目标,国内口粮供给率已达100%,但饲用粮与其他品类食品还有较大一部分依赖进口。多年来,我国利用进出口平台,有效调节国内农产品供应,促进了农产品供应的优质化和多样化。但进口不能成为国内粮食的主要来源,根据海关总署公布的数据(https://lswz.hebei.gov.cn/lysc/sczx/202301/t20230129_56512.html),2022年中国净进口粮食量达14 687万t,相当于我国当年粮食产量的21%。仅依靠进口无法满足国内的农产品需求。同时,面对日益动荡的国际形势以及其他风险挑战,国际农产品市场并不稳定,风险日益增加。所以要减少对国际市场农产品供应的依赖,就更立足于国内的农产品生产。

农业的第一要务始终是保障农产品供给,生产功能是农业的最基本功能。生态低碳农业是随着经济基础和科学技术发展到一定阶段对农业提出的更高要求,是农业发展的高级阶段^[12],是实现农业现代化的重要部分,但其本质上依旧是农业。生态低碳农业仍然是支撑国民经济建设与发展的基础产业,以提供基本的生活资料和基本原料为第一任务目标,只有在稳产保供前提下的农业生态功能实现才有意义。

2.2 发展生态低碳农业是可持续保障粮食安全的应有之义

农业生产深受气候环境的影响,如果气候环境持续恶化,粮食减产是必然趋势,日益恶化的气候环境成为夯实粮食安全根基的新挑战。近些年,干旱、洪水、极端温度等自然灾害频发,给农业生产带来了极大的负面影响,直接威胁到我国粮食安全。我国应急管理部发布的全国自然灾害基本情况(https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbgzdt/202301/t20230113_440478.shtml)显示,2022年我国发生区域性暴雨38次,28个省份626条河流发生超警戒以上洪水,珠江流域降水量为1961年以来同期最多;2022年也遭受了多年难遇的高温,干旱相继发生,年初珠江流域冬春连旱、4—6月黄淮海和西北地区春夏旱、长江流域罕见夏秋冬连旱,长江流域中旱以上日数较常年同期偏多54 d,为1961年以来历史同期最多;同年全国

共遭受35次冷空气过程影响,较常年偏多5.9次,低温冷冻和雪灾共造成87.07万 hm^2 农作物受灾,直接经济损失124.5亿元。台风、对流、山火等自然灾害也频频发生,这些都是气候变化给粮食安全与人类生活带来的威胁。如不及时采取措施,20 a后气候变化将导致中国粮食生产水平下降,中国可能失去粮食自给自足能力。

新时代粮食安全观重视农产品供给的可持续性,强调“人地和谐”,实现可持续发展。粮食生产对资源环境具有高度依赖性,保障粮食生产环境的持续可利用、粮食生产资源的持续可投入是实现农产品持续供应的关键。因此,新时代粮食安全观要求农业发展不仅要保障当代人、后代人的和谐健康,还要保障生态系统的和谐健康,以实现可持续发展。生态低碳农业响应了绿色发展观,是维护整个粮食生态系统可持续的重要举措。

低碳经济发展为农业提供了提升经济价值的可行路径,对农民增收有一定促进作用。农民种粮收益不高一直是粮食安全的“隐忧”,只有促进农民增收,才能更好地回答“谁来种粮”这一问题。一方面,生态低碳农业提升了农产品自身价值,在新时代居民膳食营养健康的倡导下,越来越多的群众对农产品消费产生了“绿色”“有机”的偏好,绿色有机农产品就是在生产过程中没有受到环境污染,化肥农药投入更少的农业产品,其市场价格普遍高于普通农产品。另一方面,农业生产的休闲旅游、生态服务、康养涵养等附加服务需求日渐上升,拓宽了农业经济收益的渠道。

从长远来看,推进生态低碳农业转型是保障粮食安全、实现农业现代化的必然要求,发展生态低碳农业也有利于资源环境的持续利用、促进农民增收,这些都是长期保障粮食供应的重要因素。只有积极发展生态低碳农业,应对气候危机,才能实现长期的粮食安全目标。

2.3 要实现粮食安全与生态低碳农业战略同步

目前,全球气候变化已经给粮食安全、人类健康和经济社会可持续发展带来了严重威胁,应对全球气候危机成为了全世界共同的课题^[3,15]。为缓解气候危机带来的影响,以低能耗、低污染、低排放为特征的低碳经济,受到了世界各国的认同与响应。为了共同应对全球气候变化,体现负责任大国的国际担当,我国也提出了“双碳”目标。根据《中国应对气候

变化2023年行动报告》(https://www.mee.gov.cn/ywgz/xdqhbh/wsqtz/202310/t20231027_1044178.shtml),2022年中国单位国内生产总值(GDP)二氧化碳排放比2005年下降幅度超过51%,中国正在用实际行动兑现“双碳”目标的承诺。在新发展理念和战略下,涉农行业都把粮食安全放在首位,并兼顾环境保护,这为粮食安全与双碳目标实现共赢奠定了战略基础。

近年来随着研究的逐步深入,农业在发展低碳经济中的地位也日渐突出。一方面,农业是全球碳排放的主要来源,2019年联合国气候变化框架公约(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)评估显示(https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Climate_Action_Support_Trends_2019.pdf),农业部门的碳排放占全球总碳排放量的13%,因此农业领域减排十分重要,同时农业也是甲烷和氧化亚氮的重要排放来源,两者的温室效应分别是二氧化碳的84倍和264倍。另一方面,农业可以利用粮食作物特性实现减排固碳,是公认唯一有潜力实现净碳汇的经济部门,农业领域碳汇开发潜力巨大。“碳达峰、碳中和”已成国家长期战略,农业作为在减排与碳汇领域都有发展路径的经济部门,参与双碳目标的实现责无旁贷。

粮食安全与生态低碳在实际操作层面既有冲突又存在协同,协调冲突、突出协同,实现粮食安全与生态低碳农业发展的战略同步,才能迎来双赢。首先,以高投入为主要手段的增产措施会导致温室气体排放增加,自然资源、工业产品、能源的加大投入是不符合低碳经济“低能耗、低污染、低排放”核心理念的。而以降低投入为主要手段的减排措施可能会带来粮食的减产,粮食增产与低碳减排存在一定负相关关系。但是,粮食安全与双碳目标并非完全矛盾,更多时候两者的协同效应更强。农业具备极强的固碳能力,可以通过增加有机质的方式提升土壤肥力,土壤肥力又与作物单产存在正相关关系,也就是说土壤固碳有利于作物增产。同时,粮食安全与生态低碳在技术上也存在协同效应,改良作物品种与种植方式也能够实现作物增产与减排固碳的双目标。面对粮食安全与双碳目标的冲突,要在完成底线目标的基础上做好权衡,探索协同机制,实现粮食安全与双碳目标的协同增效。

3 粮食安全视域下发展生态低碳农业面临的问题挑战

虽然粮食安全与生态低碳农业存在协同效应,但协同效应的实现还面临着各种阻碍,且二者之间的冲突矛盾仍然严峻。目前农业依然在适应气候变化和减缓气候变化二者之间寻求平衡,适应气候变化要考虑资源限制与生产模式局限,减缓气候变化需要较高的技术开发与居民素养为支撑。

3.1 自然资源约束导致粮食安全战略下生态低碳农业难以兼顾

水土资源是粮食生产最基本的生产要素,保质足量的水土资源供给与农产品产量有着直接关系。我国农业生产长期面临自然资源的限制,在有限的资源投入下保障农产品有效供给已经存在较大压力,再难以兼顾生态低碳目标。

一方面,我国土地资源紧缺,耕地数量少、后备弱、质量差、负荷大。尽管近些年我国严格落实“严守18亿亩耕地红线”目标,2022年全国耕地面积1.276亿 hm^2 ,较2021年末净增加约8.67万 hm^2 (https://www.gov.cn/xinwen/2023-03/03/content_5744395.htm),但仍面临人均耕地不足的困境。第3次全国国土调查(https://www.gov.cn/xinwen/2022-06/26/content_5697791.htm)显示,2019年底我国人均耕地面积只有0.091 hm^2 ,不足世界平均水平的40%。有限的耕地更多被用于生产具有口粮保供地位的主粮,饲料用粮的对外依存度相对较高,2020年大豆进口量突破1亿t。但农产品国际市场的不确定性日益增强,国内农业保供压力持续上涨。同时,人多地少的基本国情使得我国传统粮食生产坚持高投入、超负荷模式,耕地呈现出中低产田面积大、退化面积大、污染面积大、有机质含量低、补充耕地等级低、基础地力低的特征^[7]。根据全国耕地质量等级情况公报(http://www.moa.gov.cn/nybg/2020/202004/202005/t20200506_6343095.htm),2019年我国评价为1~3等的高质量耕地面积为0.421亿 hm^2 ,占耕地总面积的31.24%,相较2014年增加了0.0893亿 hm^2 ,耕地质量在多年大力保护的投入下有所上升。但是评价为7~10等的低地力耕地面积依然有0.296亿 hm^2 ,占耕地总面积的21.95%,这部分耕地基础地力相对较差,生产障碍因素突出,短时间内较难得到根本改善。另一方面,我国水资源总量少,空间分布与利用效率问题突出。

我国是联合国认定的13个贫水国家之一,虽然2022年全国水资源总量达27088.1亿 m^3 ,但人均水资源占有量仅为世界人均的35%,全国城市中有约2/3缺水(https://www.gov.cn/xinwen/jdzc/202403/content_6942239.htm)。农业是最大的用水领域,2022年我国用水总量约为5998.2亿 m^3 ,其中农业3781.3亿 m^3 ,占总用水量的63%,水资源依赖性极高(<http://www.mwr.gov.cn/zzsc/tjgb/szygb/2022/mobile/index.html>)。同时,我国水资源与耕地资源的空间分布并不契合,南方地区水资源丰沛但耕地较少,北方地区作为粮食主产区水资源却仅占全国总量的19%^[16],全国13个主要产粮的省份耕地资源总量与水资源总量差异巨大(表2)。在这种情况下,我国的水资源利用效率还有待提高,2020年耕地灌溉面积为6916.1万 hm^2 ,其中节水灌溉面积仅为3779.6万 hm^2 (<https://www.stats.gov.cn/sj/nds/2023/indexch.htm>),2022年全国农田灌溉水有效利用系数仅为0.572,与发达国家0.7~0.8的水平还存在较大差距。

3.2 科学技术瓶颈导致粮食安全目标下生态低碳农业难以支撑

科技是破除粮食安全与生态低碳冲突的一把利刃,加强绿色导向型科技攻关,搭建以绿色水平提升为导向的科技经济一体化平台,是发挥农业科技支持农业绿色发展的重要举措^[17]。技术进步往往意味着投入要素的更有效利用,科技可以通过开发更高产量低排放的农产品品种、创新先进的耕种方式、降低化肥农药等农用化学品投入、改革农业副产品处理体系、提高能源利用效率等手段,调节粮食增收与减排固碳的冲突,促进两者的协同效应。虽然向绿色节能发展已成为农业技术革新的主要方向之一,但目前生态农业科技进步面临着投入低于平均水准、推广困难等主要问题,依靠科学技术突破实现粮食安全与生态低碳农业双赢还任重道远。

一方面,农业科技投入不足制约低碳农业科技创新能力的提高。农业科技具有显著的公共性、基础性、社会性,农业生态低碳的发展也具有公益性属性,其经济附加价值远低于其他产业,因此,财政农业科技投入一直是我国农业科技投入的主要来源,占比达到80%以上。2008—2020年,我国科技总投入和农业科技投入经费持续增长,但按照农业科技投入强度(农业科技投资占农业国内生产总值的比重)衡量政府对农业科研的投入水平,我国农业科研

表2 我国13个粮食主产省(区)农作物播种总面积与水资源总量

Table 2 Total area sown to crops and total water resources in China's main grain-producing provinces

省份 Province	粮食产量/万t Food production	粮食产量 全国排名 National rankings	农作物总播种面积/万hm ² Total sown area of crops	农作物总播种面积 全国排名 National rankings	水资源总量/亿m ³ Total amount of water resources	水资源总量 全国排名 National rankings	农田灌溉水有效利用系数 Efficient utilization coefficient of irrigation water in farmland
黑龙江 Heilongjiang	7 763.1	1	1 520.94	1	918.5	10	0.611
河南 Henan	6 789.4	2	1 471.15	2	249.4	23	0.625
山东 Shandong	5 543.8	3	1 096.41	3	508.9	19	0.648
安徽 Anhui	4 100.1	4	893.36	5	545.2	17	0.564
吉林 Jilin	4 080.8	5	622.64	14	705.1	15	0.604
内蒙古 Inner Mongolia	3 900.6	6	875.07	6	509.2	18	0.574
河北 Hebei	3 865.1	7	811.40	9	188.0	16	0.677
江苏 Jiangsu	3 769.1	8	753.42	10	192.8	25	0.620
四川 Sichuan	3 510.5	9	1 022.74	4	2 209.2	3	0.497
湖南 Hunan	3 018.0	10	859.15	7	1 683.8	6	0.553
湖北 Hubei	2 741.1	11	819.19	8	714.2	14	0.537
辽宁 Liaoning	2 484.5	12	432.69	18	561.7	16	0.592
江西 Jiangxi	2 151.9	13	573.05	15	1 556.2	7	0.530
全国平均 National average	2 214.6		548.36		873.8		0.572

注:本表数据来源于2023年中国统计年鉴与2022年中国水资源公报。Note: The data in this table is derived from the 2023 China Statistical Yearbook and the 2022 China Water Resources Bulletin.

投入强度呈下降趋势。作为国民经济的基础,农业的根基地位更加突出了农业科技发展的的重要性,需要与之匹配的科技投入作为支撑。目前,我国农业科研投入强度占农业GDP的比重只有0.71%左右,远低于发达国家2%~3%的财政投入水平,也远低于全国所有行业平均2.14%的投入强度(<https://caas.cn/xwzx/nkyw/67b805956f714d0a9f5d3420207fecbd.htm>)。且财政农业科技经费在国家财政科技拨款中的占比呈现减少趋势,由2015年的4.02%下降到2020年的3.76%(https://kepu.gmw.cn/2022-11/23/content_36183132.htm)。这与农业科技的公共性、基础性、社会性地位不匹配,也与三农“压舱石”的战略地位不匹配。科技投入的不足难以支撑科技创新研发攻克生态低碳方面的技术难关。另一方面,已研发的生态低碳优势技术面临推广困境。生态低碳技术推广过程中要注意识别创新技术的适用区域,克服从业主体素养不高的困难,提升农民对生态低碳技术的采纳意愿,提高科技转化的效率。要达成这些目标需要进一步加大技术推广力度。但目前,农村基层技术推广体系依然薄弱,农技推广的人力资源、物资资源、技术水平都十分欠缺,整体技

术服务体系滞后,较难实现生态低碳这类较为复杂的技术落地。

3.3 小农生产模式导致粮食安全要求下生态低碳农业难以落实

“大国小农”是我国的基本农情,在未来很长一段时间内我国的农业经营主体都将是小农户。过多的经营主体制约了农业规模化和集约化的发展,让生态低碳政策、技术、理念的推行变得更加复杂。农业从业主体之间的差异也会影响生态低碳政策、技术、理念采纳情况,使生态低碳农业难以全面推广落实。

一是从生产规模来看,小农生产模式制约了规模化、集约化生产,间接导致资源投入增加。据第3次全国农业普查数据,我国小农户占全国各类农业经营主体的98%,小农户经营耕地面积占全国总耕地面积的70%^[15],我国拥有承包地的农户数量达到2.07亿户,但通过土地流转经营达到2 hm²以上的农户只占到全国农户总数的5%(https://www.gov.cn/xinwen/2021-02/08/content_5585835.htm)。以小农经营为主的现状造成了农户土地经营规模的有限性,难以形成规模效益以降低生态低碳生产要素的

使用成本。规模小、土地分散化导致生产成本低和效率低,这也是目前我国化肥、农药等农业化学品施用量较高的主要原因。虽然近些年我国化肥、农药施用量逐年减少,但多年来高投入的生产模式难以迅速转变。《全国农产品成本收益资料汇编 2022》显示,我国 2021 年化肥、农药施用强度依然分别高达 307.7、7.3 kg/hm²,超国际公认的化肥(225 kg/hm²)、农药(7 kg/hm²)的安全上限^[18]。二是从经营主体决策与素养来看,一方面小农户数量众多,在生产行为采纳上有自主决定权,难以实现多主体统一决策,增加了生态低碳农业生产的推广复杂程度。另一方面小农户受教育年限普遍较低,且农村青壮年劳动力流失严重,导致现有生产主体能力素养偏低,对于先进理念的理解周期较长,对于技术操作的学习能力较弱,且存在思维固化、经验主义至上等多种问题,对生态低碳农业的推广造成阻碍。

3.4 居民认知局限导致粮食安全愿景下生态低碳农业难以推行

认知影响个体的习惯观念与行为选择,对低碳理念的认知可以通过影响居民的消费偏好、行为选择、生活习惯等促进生态低碳农业发展。从偏好选择上看,我国居民农产品消费结构不均衡、浪费现象严重,阻碍了生态农业的经济效益转化,不利于从动机方面推进生态低碳农业。从生活习惯来看,生态低碳的生活方式往往需要观念上的调整与更高成本的投入,制约了居民选择生态低碳的生活方式。

大食物观视野下倡导的饮食理念,可以通过提升消费端对生态低碳农产品的需求,推进农业食物系统的供给侧调整,促进农业经营主体选择生产生态低碳农产品。通过需求端推动生态低碳产业发展面对以下 2 个问题。一方面,当前居民不均衡的膳食结构从最终结果上不利于减排固碳。随着生活水平的日益提高,居民动物性食物的摄入量持续增加,根据中国统计年鉴(<https://www.stats.gov.cn/sj/ndsj/2023/index.htm>),我国城镇居民人均肉类食物的消费量从 2015 年的 28.9 kg 上升到 2022 年的 35.2 kg,农村居民人均肉类食物消费量从 2015 年的 23.1 kg 上升到 2022 年的 33.7 kg,膳食结构中蛋白质、脂质占比逐步升高。2020 年《中国居民营养与慢性病状况报告》显示(https://www.gov.cn/xinwen/2020-12/24/content_5572983.htm),我国居民膳食脂肪供能比持续上升,均已突破 30% 的建议供能上限。养殖业的碳排放显著高于种植业,目前不均衡的膳食

习惯会促进动物类食品的供给,整体上不利于低碳减排。另一方面,粮食浪费与损耗造成的排放问题日益凸显。据估计,全球每年浪费的粮食数量达到了 13 亿 t,加大了农产品的需求,增加了粮食保供的压力,不利于低碳减排。良好的农村生态环境是维持农业长远生产能力的保障,但目前部分农村居民的生活习惯并不利于生态低碳农业发展,且生态低碳的生活方式往往需要进一步的成本投入。比如:科学处理生活污水,减少污染的同时拓宽清洁能源来源,但需要修建化粪池等设施设备;用秸秆降解还田代替焚烧,增加土壤有机质含量的同时减少排放,但操作难度与时间成本大幅提高;多利用农村自然禀赋,采用太阳能、风能等清洁能源等,但设备要求较高。而且这些低碳生活方式如果不能带来经济效益,就很难被农村居民所采用。

3.5 激励体系困境导致粮食安全方针下生态低碳农业难以发展

提升农民种粮收益是解决“谁来种粮”问题的根本途径。经济效益是生态低碳农业发展的最终动力源泉,没有经济效益,农民不可能选择生态低碳生产^[5]。低碳农业生产的经济效益转化基于健全的市场体系,赋予生态农产品合理的经济价值。碳市场是碳排放权市场和碳汇市场的总称^[19],它通过市场机制实现资源的优化配置,以较低的成本实现减排目标^[20]。但农业碳排放与碳汇进入碳交易市场体系面临着经济效益难以衡量、市场认证缺乏标准、监管体系不够完善的现实困境。

一方面农业是公益性产业,农业碳排放属于“生存性”排放,难以准确测量的同时在减缓和适应气候变化方面还具有典型的外部性特征,存在价格生成困境^[21]。尽管碳交易市场已经建立,但农业面源性碳排难以被测量和认证,建立统一的市场标准和认定体系十分困难。这使得低碳农业减排增汇的价值无法通过传统产品市场出清时的价格传递,导致农业碳排放与碳汇产生的经济效益难以被生产主体占有。另一方面,目前生态农产品的认定标准不够健全,分散化小农户生产的农产品的碳减排量和碳汇量缺乏认证就不能提升其生产农产品的价值与价格;而参考由第三方检测的有机农产品认证体系因技术门槛与成本较高不利于全面推广;与低碳农业相配套的补偿机制还存在缺失,这些问题都导致生态低碳农业的经济激励难以实现。最后,绿色农产品的市场监管还不够严谨。生态低碳农产品产业链

发展不完善,产品市场不规范,正规鉴定机构缺乏及监管力度不够,导致市场上生态低碳农产品质量良莠不齐,无法获得市场主导价格,限制了收益的提升。

4 粮食安全视域下生态低碳农业的发展战略与推进路径

4.1 拓展生态低碳农业水地资源开发,绿色利用资源实现“藏粮于地”

一是从时间维度,保障水地资源永续开发利用。坚持耕地用养结合,广泛应用深松整地、轮作间种等保护性耕作技术,实现固碳、固氮、增产协同发展,让土地地力在科学种养过程中得以维系。大力推广秸秆还田、生态粪肥等农业副产品还田手段替代农用化学品的投放,实现固碳还田的同时降低农业副产品处理排放,依靠有机肥料施用减少农业面源性化学污染,延长耕地寿命。持续提升水资源利用效率,扩大节水灌溉耕地面积,用滴灌、喷灌等节水手段替代传统漫灌,利用水溶施肥等降耗技术,攻克水资源浪费难题,减少农业用水量,提升农田灌溉水有效利用系数,维系水资源稳定健康。

二是从空间维度,打破食物来源传统固定思维。要基于大食物观,跳出“食物主要来源于耕地”的传统农业思维模式,不再一味紧盯着耕地产出,转为面向整个国土资源,充分发挥耕地、森林、草原和江河湖海等自然生态系统的生产功能,向自然要粮^[22]。在盐碱地开发、海水灌溉等方面持续发力,通过利用盐碱耕地、开发林草农业食品、拓展种粮地域类型等方式,全方位开发并获取粮食和食物资源。

三是从结构分布维度,提升耕地区域自然条件耦合度。因地制宜规划耕地开发与还耕行为。充分重视湿地、林地、草地生态系统强大的生态涵养能力,依据实地自然特征,合理规划耕地区与自然资源区,结合考虑土壤条件、水资源条件、气候条件开发最适宜的耕地,将地力不足又占用了自然栖息地的耕地科学退耕,造良田、建良林,提升因地施策能力。

4.2 推动生态低碳农业技术创新应用,助推增产减排实现“藏粮于技”

一是立足生产前端,加强绿色农业投入品创新应用。持续研发绿色种业科技品类,选育高产量低排放的农产品、研究转化率高的牲畜饲料,通过技术创新破解粮食增产与生态低碳的冲突,强化协同效

应。进一步开发低污染、可降解、可持续的农业化学投入品,助力农药、化肥、薄膜等农用化学物品新投入持续减量,实现生产前端投入绿色化,助力生态减排,降低环境污染。

二是着眼生产中端,推动生态种养技术模式创新应用。持续发掘农作物互利共生关系,推进“节约土地型”农业技术发展。全面推广“猪-沼-果生态农业模式”“稻田综合种养模式”等优质生态种养方式,让农业产业内部模块的物质循环利用,将污染负效益转变为资源正效益^[23]。关注生产过程减排,大力发展智慧农业,使用数字技术手段推动精细化生产,充分利用数字科技参与农业生产全过程的决策和管控,在提升农业生产效率的同时降低碳排放^[24]。同时推动农业设施设备向节能转型,实现低能耗设备革新。

三是关注生产后端,促进清洁能源低耗能模式创新应用。持续推进乡村新能源技术开发,提升清洁能源使用率,实现农村用能结构多元化。加强乡村低碳绿色基础设施投入,推广太阳能、风能、水能等再生能源,通过补贴等方法提升绿色科技覆盖面。着眼加工、储运、包装、消费等产后环节,持续创新低耗能的设施设备,大力开发数字化管理,减少粮食损耗,实现农业产业全过程生态低碳。

4.3 加强生态低碳生产生活宣传教育,践行低碳理念实现“藏粮于民”

一是从消费端倡导健康饮食理念,优化居民膳食结构,倒逼生态低碳农产品供给。通过多维渠道提倡和鼓励消费者调整饮食结构,向科学、健康和可持续的饮食转型,合理分配各类别营养元素摄取,减少脂质的过度摄入,增加以水产品为代表的优质动物蛋白摄入,加大绿色淡水养殖发展^[25],减轻传统养殖业与饲料粮生产压力。常态化开展生态理念引导教育,促进消费者生态低碳农产品的采纳,增强消费者的节约意识,减少消费端食品浪费,有效缓解农产品供给压力。

二是从供给端引导农业生产经营主体提高生态低碳意识,加快形成绿色低碳的农业生产方式。生态认知会激活农户低碳农业技术采纳行为^[26],坚持强化农民生态低碳理念培育,提升农民对“低碳”概念的理解与认知水平,可以降低低碳技术学习难度与成本,奠定推广可被农民采纳、能被农民使用的生态低碳技术基础。持续完善低碳技术的基层推广体系,加大农业推广投入,持续提升农民科技素养。

三是建立生态低碳农业的主体激励机制,需要通过构建多元市场交易体系,为发展低碳农业提供根本动力。进一步提升低碳农业的经济效益,通过提升生态低碳农产品市场价值、增加生态低碳农业生产补贴等方式,打通低碳农业促进农民增收的渠道,引导农村居民参与农业碳交易项目,用农业碳交易推动碳减排,激励农户采纳绿色低碳生产技术^[27]。持续推进农业碳汇交易的市场机制研究,完善农业碳汇的定量测度与认证,建立全国统一的市场标准和认定体系,完善生态低碳农产品市场监管,推动农业低碳生产的成本投入与收益获取在边际上维持均衡,为农业碳排放权的市场交易奠定基础。

粮食安全是关乎民生稳定的国家底线,气候危机是全球共同课题,双碳目标是国家的担当体现。农业作为其中的核心部门,要积极担当责任,推进粮食安全与生态低碳农业共同迈进。粮食安全视域下的生态低碳农业发展需要科研、生产、管理、消费等多部门联合关注,持续探索深层逻辑,为最终实现粮食安全与农业生态低碳的共赢提供有力支撑。

参考文献 References

- [1] 张卫建, 严圣吉, 张俊, 等. 国家粮食安全与农业双碳目标的双赢策略[J]. 中国农业科学, 2021, 54(18): 3892-3902. ZHANG W J, YAN S J, ZHANG J, et al. Win-win strategy for national food security and agricultural double-carbon goals [J]. *Scientia agricultura sinica*, 2021, 54(18): 3892-3902 (in Chinese with English abstract).
- [2] 严立冬, 邓远建, 屈志光. 论生态视角下的低碳农业发展[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(12): 40-45. YAN L D, DENG Y J, QU Z G. Research on development of low-carbon agriculture from the angle of ecology[J]. *China population, resources and environment*, 2010, 20(12): 40-45 (in Chinese with English abstract).
- [3] 张莉侠, 曹黎明. 中国低碳农业发展现状与对策探讨[J]. 经济问题探索, 2011(11): 103-106. ZHANG L X, CAO L M. Development status and countermeasures of low-carbon agriculture in China[J]. *Inquiry into economic issues*, 2011(11): 103-106 (in Chinese).
- [4] 张向阳, 张玉梅, 冯晓龙, 等. 中国农业食物系统能源碳排放趋势分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(4): 535-542. ZHANG X Y, ZHANG Y M, FENG X L, et al. Carbon emissions of agrifood systems from energy consumption in China[J]. *Chinese journal of eco-agriculture*, 2022, 30(4): 535-542 (in Chinese with English abstract).
- [5] 张新民. 中国低碳农业的现状、挑战与发展对策[J]. 生态经济, 2012(10): 143-146. ZHANG X M. Current situation, challenges and development countermeasures of low-carbon agriculture in China[J]. *Ecological economy*, 2012(10): 143-146 (in Chinese).
- [6] 何秀荣. 国家粮食安全治理体系和治理能力现代化[J]. 中国农村经济, 2020(6): 12-15. HE X R. Modernization of the national food security governance system and governance capacity[J]. *Chinese rural economy*, 2020(6): 12-15 (in Chinese).
- [7] 何可, 宋洪远. 资源环境约束下的中国粮食安全: 内涵、挑战与政策取向[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2021, 21(3): 45-57. HE K, SONG H Y. China's food security under the constraints of resources and environment: connotation, challenges and policy orientation[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University (social sciences edition)*, 2021, 21(3): 45-57 (in Chinese with English abstract).
- [8] 张翠玲, 强文丽, 牛叔文, 等. 基于多目标的中国食物消费结构优化[J]. 资源科学, 2021, 43(6): 1140-1152. ZHANG C L, QIANG W L, NIU S W, et al. Options of Chinese dietary pattern based on multi-objective optimization[J]. *Resources science*, 2021, 43(6): 1140-1152 (in Chinese with English abstract).
- [9] 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 (in Chinese with English abstract).
- [10] 刘长全, 韩磊, 李婷婷, 等. 大食物观下中国饲料粮供给安全问题研究[J]. 中国农村经济, 2023(1): 33-57. LIU C Q, HAN L, LI T T, et al. The security of feed grains supply in China from the perspective of a big food concept[J]. *Chinese rural economy*, 2023(1): 33-57 (in Chinese with English abstract).
- [11] 武拉平. 科学认识大食物观视角下我国的粮食安全问题[J]. 社会科学辑刊, 2023(6): 191-200. WU L P. Full understanding of China's food security from perspective of the greater food approach[J]. *Social science journal*, 2023(6): 191-200 (in Chinese with English abstract).
- [12] 冉光和, 鲁钊阳, 王建洪. 中国低碳农业发展的基本理论与可行路径[J]. 科技进步与对策, 2011, 28(20): 157-160. RAN G H, LU Z Y, WANG J H. Basic theory and feasible path of low-carbon agriculture development in China[J]. *Science & technology progress and policy*, 2011, 28(20): 157-160 (in Chinese).
- [13] 蒋和平, 尧珏, 蒋黎. 新时期我国粮食安全保障的发展思路与政策建议[J]. 经济学家, 2020(1): 110-118. JIANG H P, YAO J, JIANG L. Development thoughts and policy suggestions for China's food security in the new era[J]. *Economist*, 2020(1): 110-118 (in Chinese with English abstract).

- [14] 熊学振, 杨春. 中国粮食安全再认识: 饲料粮的供需状况、自给水平与保障策略[J]. 世界农业, 2021(8): 4-12. XIONG X Z, YANG C. Re-recognition of China's food security: supply and demand status, self-sufficiency level and guarantee strategy of feed grain[J]. World agriculture, 2021(8): 4-12 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张俊飏, 何可. “双碳”目标下的农业低碳发展研究: 现状、误区与前瞻[J]. 农业经济问题, 2022(9): 35-46. ZHANG J B, HE K. Current situation, misunderstandings and prospects of agricultural low: carbon development under the targets of carbon peak and carbon neutrality [J]. Issues in agricultural economy, 2022(9): 35-46 (in Chinese with English abstract).
- [16] 刘昌明, 赵彦琦. 中国实现水需求零增长的可能性探讨[J]. 中国科学院院刊, 2012, 27(4): 439-446. LIU C M, ZHAO Y Q. Possibility of the zero growth of water requirement in China [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2012, 27(4): 439-446 (in Chinese with English abstract).
- [17] 何可, 李凡略, 张俊飏, 等. 长江经济带农业绿色发展水平及区域差异分析[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(3): 43-51. HE K, LI F L, ZHANG J B, et al. Green development levels and regional differences of agriculture in the Yangtze River Economic Belt [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2021, 40(3): 43-51 (in Chinese with English abstract).
- [18] 蓝红星, 王婷昱, 施帝斌. 中国农业农村现代化: 生成逻辑、内涵特征与推进方略[J]. 改革, 2023(7): 105-115. LAN H X, WANG T Y, SHI D B. Chinese path to agricultural and rural modernization: generative logic, connotation characteristics and promotion strategies [J]. Reform, 2023(7): 105-115 (in Chinese with English abstract).
- [19] 沈满洪. 论碳市场建设[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(9): 86-91. SHEN M H. On the construction of carbon markets [J]. China population, resources and environment, 2021, 31(9): 86-91 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张希良, 张达, 余润心. 中国特色全国碳市场设计理论与实践 [J]. 管理世界, 2021, 37(8): 80-95. ZHANG X L, ZHANG D, YU R X. Theory and practice of China's national carbon emissions trading system [J]. Management world, 2021, 37(8): 80-95. (in Chinese with English abstract).
- [21] 何可, 汪昊, 张俊飏. “双碳”目标下的农业转型路径: 从市场中来到“市场”中去 [J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2022(1): 1-9. HE K, WANG H, ZHANG J B. Agricultural transformation path with respect to the target of carbon peak and carbon neutrality: from the market to the “market” [J]. Journal of Huazhong Agricultural University (social sciences edition), 2022(1): 1-9 (in Chinese with English abstract).
- [22] 蓝红星, 李芬妮. 基于大食物观的“藏粮于地”战略: 内涵辨析与实践展望 [J]. 中州学刊, 2022(12): 49-56. LAN H X, LI F N. The strategy of “storing grain in the land” based on the view of big food: connotation analysis and practice prospect [J]. Academic journal of Zhongzhou, 2022(12): 49-56 (in Chinese with English abstract).
- [23] 陈雪婷, 黄炜虹, 齐振宏, 等. 生态种养模式认知、采纳强度与收入效应: 以长江中下游地区稻虾共作模式为例 [J]. 中国农村经济, 2020(10): 71-90. CHEN X T, WU H, QI Z H, et al. Farmers' cognition, adoption intensity and income effect of ecological breeding mode: a case study of rice-shrimp co-cultivation mode in the middle and lower reaches of Yangtze River [J]. Chinese rural economy, 2020(10): 71-90 (in Chinese with English abstract).
- [24] 何可, 吴昊, 曾杨梅. “双碳”目标下的智慧农业发展 [J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(3): 10-17. HE K, WU H, ZENG Y M. Development of smart agriculture with goals of carbon peaking and carbon neutrality [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2023, 42(3): 10-17 (in Chinese with English abstract).
- [25] 高鸣, 陈洁, 姚志. 中国淡水养殖业绿色发展: 提质增效与未来路径 [J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(3): 96-106. GAO M, CHEN J, YAO Z. Green development of freshwater aquaculture in China: improving quality and increasing efficiency and the future path [J]. Journal of Huazhong Agricultural University (natural sciences edition), 2022, 41(3): 96-106 (in Chinese with English abstract).
- [26] 蔡晶晶, 汪晴晴. 农户低碳农业技术采纳行为影响因素分析 [J]. 科技管理研究, 2023, 43(23): 255-266. CAI J J, WANG Q Q. Analysis of factors influencing farmers' adoption behavior of low-carbon agricultural technology [J]. Science and technology management research, 2023, 43(23): 255-266 (in Chinese with English abstract).
- [27] 何可, 李凡略, 畅华仪. 构建低碳共同体: 地方性共识与规模养殖户农业碳交易参与: 以农村沼气CCER碳交易项目为例 [J]. 中国农村观察, 2021(5): 71-91. HE K, LI F L, CHANG H Y. Building a low carbon community: local consensus and the participation of large-scale pig breeders in agricultural carbon trading [J]. China rural survey, 2021(5): 71-91 (in Chinese with English abstract).

Development strategy and path choice of ecological low-carbon agriculture in perspective of food security

LAN Hongxing^{1,2}, FENG Wenyi¹, HU Yuan^{1,2}

1. *College of Management, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;*

2. *National Key Laboratory of Food Security and Tianfu Granary/
Sichuan Center for Rural Development Research, Chengdu 611130, China*

Abstract Synchronizing the food security strategy with the goal of “carbon peaking and carbon neutrality” is the key to accelerate the pace of agricultural and rural modernization and the construction of a strong agricultural country. To promote the synchronization of the food security strategy with the “Dual-carbon” objective, this study, based on the perspective of food security, explained the scientific connotation of eco-low-carbon agriculture, clarified the dialectical relationship between food security and eco-low-carbon agriculture, analyzed the problems and challenges faced by eco-low-carbon agriculture under the food security strategy, and put forward the development strategies and the promotion paths. The study revealed that, under the guidance of “all-encompassing approach to food”, “large-scale industrial view” and “view of big agriculture”, ecological low-carbon agriculture involves the ecological low-carbon of the entire food category, industrial process, and life link. Food security is the bottom-line requirement for the development of ecological low-carbon agriculture, and ecological low-carbon agriculture represents the true meaning of sustainable food security. At present, the development of ecological low-carbon agriculture is facing various practical difficulties, including natural resource constraints, scientific and technological bottlenecks, small-scale agricultural production patterns, the limitations of the residents’ concepts and others, It is urgent to explore the effective paths for expanding water and land resources, applying technological innovations, and improving the quality of residents, so as to promote ecological low-carbon agriculture and achieve the goal of “storing grain in the land”, “storing food in technology” and “storing food in the people”.

Keywords food security; ecological low-carbon agriculture; all-encompassing approach to food; view of big agriculture

(责任编辑:边书京)