

大食物观引领下低碳减排与粮食安全的协同发展:现状、挑战与对策^{*}

陈志钢 徐 孟

(浙江大学中国农村发展研究院,杭州,310058)

摘 要:大食物观所蕴含的更高层次的粮食安全理念对农业食物系统转型提出了更高的要求,与此同时,农业食物系统固碳减排存在巨大潜力,对中国实现碳中和目标有重要作用,探讨如何将大食物观的理念与碳减排目标结合起来,提出大食物观视角下的低碳减排和粮食安全的协同发展路径具有重要意义。本文从农业食物系统低碳减排与粮食安全的权衡关系出发,分析了大食物观视角下的低碳减排与粮食安全协同发展的现状、挑战和实现路径。研究发现,大食物观以消费端需求为导向,为低碳减排目标与粮食安全目标的协同发展提供了框架指引,农业食物系统可持续转型能助力粮食安全与低碳减排双目标的实现。目前中国粮食和重要农产品供给能够有效满足居民需求,农业食物系统在 2018 年已经实现其自身的碳中和,温室气体排放转为净碳汇;但是随着未来人口和收入的增长,实现更高层次的粮食安全和推进低碳农业食物系统转型过程仍面临自然资源约束加剧、小农为主的生产模式、不均衡的居民膳食结构,以及食物损失与浪费严重等挑战。基于此,本文提出了大食物观引领下的农业食物系统低碳减排与粮食安全协同发展的对策建议。

关键词:大食物观;农业食物系统;碳减排;粮食安全;权衡与协同

DOI:10.13246/j.cnki.iae.2023.06.007

一、引言

随着中国经济的高速发展和收入水平的提高,中国居民的膳食结构发生变化,由单一的以碳水化合

物为主的膳食结构逐渐变得丰富和多元化(He 等,2018;Wang 等,2022a)。与此同时,人们对食物

deepen the forward and backward extension of agricultural industry chain for diversified industrial integration. It also needs to continuously increase the cultivation of talents in related fields to actively mobilize professional talents to invest in rural revitalization and construction.

Keywords: Rural industry integration; Text mining; Integration mode; Integration degree measurement

责任编辑:鄂昱州

^{*} 项目来源:国家自然科学基金项目(编号:72161147001),国际农业研究磋商组织低碳食物系统研究项目(Mitigate+),浙江大学生态文明计划。徐孟为本文通讯作者

的消费需求从过去的“吃得饱”“吃得好”向“吃得营养”“吃得健康”转变。为顺应居民食物消费结构的变化趋势,确保居民吃得安全健康、营养均衡,习近平总书记指出,“要树立大食物观,从更好满足人民美好生活需要出发,掌握人民群众食物结构变化趋势,在确保粮食供给的同时,保障肉类、蔬菜、水果、水产品等各类食物有效供给,缺了哪样也不行”^①。这意味着中国的粮食安全由传统的“口粮观”转变为“大食物观”,相应地,大食物观也将引领中国农业食物系统加速进入以营养为导向转型发展的新阶段。

农业食物系统的转型面临粮食安全、健康、环境和气候等多个可持续发展目标之间的权衡和协同,“碳达峰、碳中和”已成为中国长期的发展战略,农业食物系统转型路径也在未来国家自主贡献中发挥重要作用(全球粮食未来联盟,2022),而大食物观引领下的以营养为导向的粮食安全目标与低碳减排目标密切关联。一方面,农业食物系统是温室气体排放的重要来源之一,占全球温室气体排放的1/3(Crippa等,2021);而且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。对中国来说,农业温室气体排放量占世界农业排放总量的11%~12%,

根据FAO的数据,2018年中国农业活动温室气体排放总量为7.1亿吨二氧化碳当量(樊胜根,2021)。根据《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》,中国农业生产活动产生的甲烷和氧化亚氮排放分别占全国总排放量的40%和60%^②。另一方面,农业、林业及其他土地利用在实现大幅度减排和固碳方面存在巨大的潜力,这是唯一有巨大潜力且可以通过建立和保护森林等碳汇而成为净碳汇的经济部门(张玉梅等,2021;International Food Policy Research Institute,2022)。

大食物观的提出和践行,以及未来人口、收入的持续增加,将对粮食安全和农业食物系统的碳减排提出更高层次的挑战和要求。在大食物观视角下,如何实现粮食安全与低碳减排的协同发展成为当前亟待解决的重要问题。本文在概述农业食物系统粮食安全与低碳减排的权衡关系的基础上,从大食物观的内涵出发,分析了大食物观以消费端需求为导向,促进粮食安全与低碳减排协同发展的机制;并进一步探讨大食物观视角下中国农业食物系统低碳减排与粮食安全协同的现状,以及未来可能面临的挑战,基于此本文提出相应的对策建议,以期为践行大食物观和双碳目标的共同实现提供科学支撑。

二、大食物观视角下农业食物系统低碳减排与粮食安全的关系

(一) 农业食物系统低碳减排与粮食安全的权衡关系

气候变化本身会影响粮食安全,但低碳措施的实现也可能与粮食安全之间存在权衡关系(Fan等,2012),分析二者之间的关联是实现粮食安全和低碳目标双赢的基础。一般而言,粮食安全目标主要表现在粮食的供给能力和可获得性,可通过粮食产量、粮食价格等指标来衡量;而农业食物系统的温室气体减排则包括农业土地利用、农业生产活动(不包括能源消费温室气体排放)和农业食物系统各环节的能源消费等过程的温室气体减排。

低碳目标和粮食安全目标之间在减排与增产、

固碳与增产等方面存在需要权衡的冲突关系(张卫建等,2021)。在减排和增产方面,一方面,粮食的增产往往需要依靠扩张耕地面积和增加生产投入的方式,但这会导致森林、草地等面积减少以及投入品增加,从而导致温室气体排放的增加;另一方面,与低碳相关的农业实践或者碳税等措施可能增加生产成本和减排成本等,对粮食供给和粮食价格产生影响。在固碳和增产方面,为实现低碳目标所采取的措施会影响能源消费和农业生产活动,对粮食安全产生影响。例如以土地为基础的减缓措施包括植树造林和扩大生物质能源来源,挤占土地、水资源等自然资源,会导致粮食价格上涨(Fan

① 习近平看望参加政协会议的农业界社会福利和社会保障委员, http://www.gov.cn/xinwen/2022-03/06/content_5677564.htm

② 中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告, <http://www.mee.gov.cn/ywgz/ymqhbh/wsqtkz/201907/P020190701765971866571.pdf>

等,2012;Calvin 等,2014)。

(二)大食物观为低碳减排与粮食安全协同提供框架指引

1. 大食物观与农业食物系统。大食物观拓展了传统粮食安全的边界,不仅体现了居民对食物质量和数量的追求,而且也反映了食物供给侧和需求侧的变化(樊胜根,2022;罗明忠等,2022)。大食物观的概念本质上是更广泛、更高层次的食物安全问题,除了保障人民群众对主粮的基本需求,还保障副食品包括肉类、蔬菜、水果、水产品等在内的各类食物的有效供给。从食物供给侧来看,大食物观要求拓展食物供给渠道,向耕地草原森林海洋、植物动物微生物要热量和蛋白质,全方位多途径开发食物资源。从资源范围来看,大食物观要求从耕地资源向整个国土资源拓展,宜粮则粮,宜经则经,宜牧则牧,宜渔则渔,宜林则林^①。从食物需求侧来看,大食物观要求满足人民群众对各类食物的需求,保障他们的营养健康。

以上目标的实现离不开全食物链的保障,因此,从概念上讲大食物观类似于农业食物系统。农业食物系统的定义是指全食物链的参与者、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(FAO,2018)。另外,食物系统对环境、气候变化和健康方面的外部性影响也属于食物系统的一部分(Fan,2021),这也与大食物观的生态目标一致,大食物观与生态系统密切关联,除了保障人民群众的营养健康,还延续了“绿水青山就是金山银山”的生态理念,强调农业现代化与生态保护的均衡发展(罗明忠等,2022)。

本文认为大食物观与农业食物系统密切相关,在资源范围方面,大食物观涵盖的范围更广,包括耕地、草原、森林、海洋以及动物、植物、微生物;在内涵方面,狭义上其蕴含着构建更广泛、更高层次的粮食安全,广义上旨在促进健康、营养和生态环境等多个目标的实现(钟钰等,2022)。

2. 大食物观促进农业食物系统低碳减排与粮食安全协同的机制。尽管低碳减排与粮食安全目标存在一定的冲突关系,但适当的措施可实现低碳

目标和粮食安全目标之间较强的协同效应(Sheng等,2021;张卫建等,2021;张玉梅等,2021;林斌等,2022)。大食物观所倡导的以消费端的需求为导向,推进农业食物系统的供给侧调整,为低碳目标和粮食安全目标的协同发展提供了全面的框架指引(见图1)。

大食物观通过改变消费端行为和整个食物链的环节来促进协同。大食物观的营养健康目标可促进消费需求的改变,而消费端膳食结构的改变被认为是经济有效的碳减排措施,能够实现生产端无法达到的环境效益(Springmann等,2018),科学健康的膳食有助于碳减排目标和粮食安全目标的共同实现(Tilman等,2014)。肉类消费的变化主导了食物系统中温室气体排放,研究发现,食物种类如果从目前全类别向不包括动物产品的类别转变,全球可减少5.5亿~7.4亿吨的温室气体排放,同时可节约2.8亿~3.3亿公顷的耕地面积(Poore等,2018)。对于中国而言,已有研究表明采用中国健康膳食指南或者EAT-Lancet膳食计划不仅能降低慢性病和死亡率,同时可在2030年减少1.46亿~2.02亿吨的温室气体排放(Sheng等,2021)。减少食物的损失和浪费可有效减少农业食物系统碳排放,同时也间接缓解了食物需求。这项措施的重要性还体现在联合国可持续发展目标(SDG12.3)中,该目标呼吁到2030年将零售和消费者层面的浪费与生产和供应链上的粮食损失减少一半。有学者估计,如果将中国三大粮食综合损失率从目前的20.02%下降到12.96%,可节省粮食4292万吨(武拉平,2022)。此外,就整个食物链环节能源消耗的排放而言,提高能源使用效率和优化能源结构可使得2060年的农业食物系统能源消费的碳排放下降20%以上(张玉梅等,2021)。

大食物观通过改变生产端管理方式和技术创新实践促进协同发展。大食物观引领下的消费端需求的改变要求生产端也作出相应改变,而生产端主要通过技术创新实践提高资源利用效率,从而兼顾碳减排和粮食增产目标的实现。具体来看,通过农作物技术改进可提高化肥利用率,有效减少氮肥的过度施用,进而减少氧化亚氮的排放,且保证粮

^① 从大食物观出发更好满足人民需求, <http://www.moa.gov.cn/ztzl/ymskn/jjrbbd/202203/t20220308-6390794.htm>

食产量不受影响(Gu等,2023;van Wessenbeec等,2021;Wang等,2022b;Zhang等,2015)。在甲烷排放的减排策略中,通过改善稻田的灌溉和排水方式,以及推广良种良法等减少水稻甲烷的排放(Costa等,2022;叶兴庆等,2022);通过提高饲喂水平,降低牧草成熟度和降低饲粮精粗比三种策略可使每单位肉/奶平均减少12%的甲烷排放,同时动

物产品产量增加17%;通过利用甲烷抑制剂、油脂、油籽或硝酸盐,以及喂养含鞣质的饲料喂养动物等五种策略,绝对甲烷排放量平均减少21%(Arndt等,2022)。此外,“作物—牲畜”部门之间的循环农业实践,例如粪肥管理、将作物残留物用于牲畜饲料等措施可有效促进温室气体减排(Gu,2022;Kimura等,2022)。

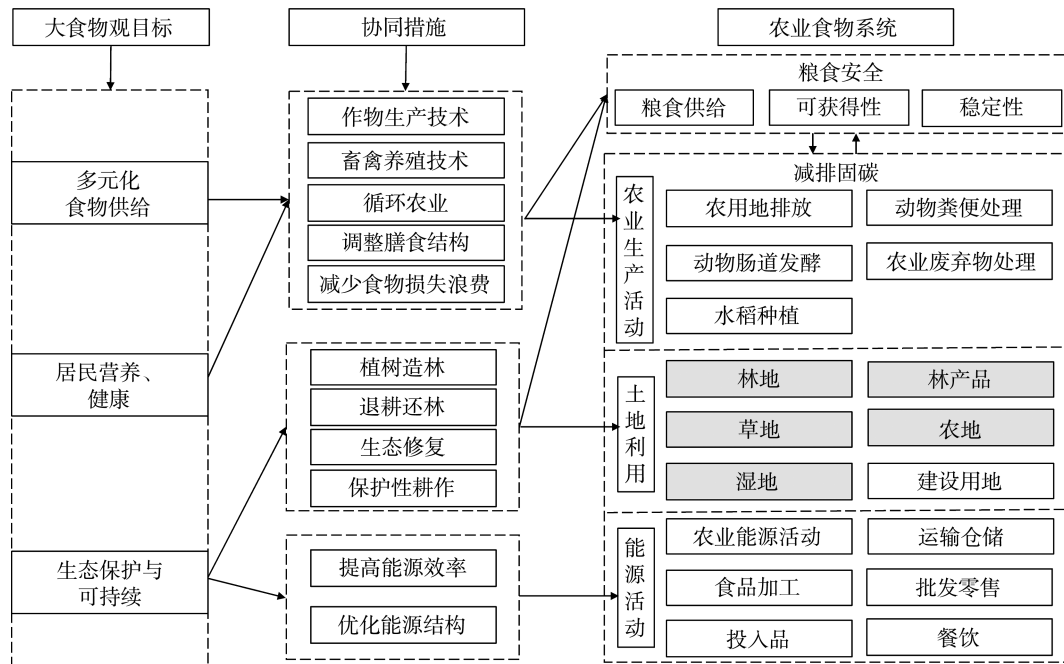


图1 大食物观促进农业食物系统的粮食安全与低碳减排协同的机制

大食物观通过调整自然资源布局来促进协同发展。大食物观要求资源范围从耕地资源转向整个国土资源,资源渠道的拓展一方面可增加食物供给,另一方面通过资源布局实现固碳。农业食物系统是固碳的重要部门,森林、红树林、泥炭地等生态系统可提供陆地温室气体最大的减缓比例,研究发现,在全球尺度上,森林等生态系统每年有 18.3 ± 6.9 亿吨二氧化碳当量的技术减排潜力和 6.6 ± 2.9 亿吨二氧化碳当量的成本效益减排潜力,分别占陆地总潜力的56%和48%(Roe等,2021),而植树造林、退耕还林、生态修复等措施不仅有效提高森林覆盖率还促进其他植被修复,进而提高碳汇。固碳措施也能增强农业生态系统的稳定性、多样性和多功能性(张卫建等,2021)。此外,土壤有机碳在全球碳循环中扮演着重要角色,通过改进耕作和土壤

保护等措施增加土壤固碳、减少二氧化碳排放的同时可保持土壤的健康(Zomer等,2017)。

总体而言,大食物观为探索农业食物系统的低碳目标和粮食安全目标的协同实现路径提供了方向指引,即农业食物系统的低碳减排和粮食安全的协同不仅通过农作物种植和禽畜养殖技术改进、种养结合等循环农业方式改进生产端(Kimura等,2022),同时应该从消费端等环节着手,探索通过膳食结构转型、减少全食物链的损失和浪费等措施协同促进温室气体减排和保障食物的供给。此外,植树造林、退耕还林等碳汇措施在增加温室气体吸收方面发挥着巨大作用,而保护性耕作等措施在固碳的同时还使得土壤保持健康,间接地对食物供给起到促进作用。

三、大食物观视角下农业食物系统低碳减排与粮食安全协同的现状与挑战

大食物观将对中国农业食物系统转型带来深刻影响,把握当前粮食安全和农业食物系统温室气体排放的现状,识别当前或者潜在的可能阻碍更高层次的粮食安全和低碳减排目标实现的影响因素与挑战,对为未来农业食物系统成功转型提供依据。

(一) 自然资源约束对粮食安全和碳减排的协同提出挑战

从粮食供需的角度来看,目前我国实现了口粮绝对安全,谷物基本自给,2021 年全国粮食总产量 13657 亿斤,连续 7 年保持在 1.3 万亿斤以上^①;肉蛋奶、果蔬茶品种丰富,供应充裕,可有效满足居民的消费需求(柯炳生,2022;黄季焜,2021)。从农业食物系统的温室气体排放量和吸收量来看,根据张玉梅等(2021)对农业食物系统温室气体排放来源的核算,中国农业食物系统实现了其自身的碳中和。伴随着碳排放量的减少和碳汇量的增加,农业食物系统排放的温室气体从 2002 年的净排放 1.7 亿吨转为 2018 年的净碳汇 0.2 亿吨。温室气体排放总量 10.9 亿吨,占中国总排放的 8.2%,其中农业活动(7.1 亿吨)占 65%,能源消费(3.8 亿吨)占 35%;而土地利用、土地利用变化和林业带来的碳吸收达 11.2 亿吨(张玉梅等,2021)。

但是从中长期来看,畜产品(特别是牛羊肉与奶产品等)需求的增长将超过其生产的增长,一方面导致畜产品的自给率逐渐下降,另一方面会增加饲料粮(玉米与大豆)的需求,使得饲料粮进口压力不断加大(黄季焜,2021)。中国利用全球 9%的耕地面积和 6%的淡水资源养活了全球 20%的人口,而未来人口的持续增长将使得耕地和水资源的约束加剧,目前中国农业尚未完成现代化转型(赵敏娟等,2022),设施农业发展不足,在有限的耕地资源和水资源条件下、极端气候变化影响下以及复杂多变的国内外形势下,如何兼顾大食物观引领下的粮食安全和农业食物系统自身低碳目标的实现,对农业生产的绿色高质量发展提出了更高的要求。

(二) 小农为主的生产模式不利于增产和碳减排措施的落实

尽管中国 2015 年实施的化肥零增长战略和全面推进畜禽粪污资源化利用在农业碳减排中发挥了重要作用(Wang 等,2022;Zhu,2022),但是,由于目前中国农业生产仍以小农户为主,全国小农户数量占农业经营主体的 98%以上,小农户经营耕地面积占总耕地面积的 70%,这种传统粗放的生产方式对低碳和高产的农业转型发展产生了诸多挑战(张俊飏等,2022;韦玉琼等,2022)。首先,在中国低碳农业实践中,农民是最基本的决策单位,但规模小、土地分散化不利于机械化的耕作和低碳技术的应用,从而导致成本高和效率低的问题,而这也是中国化肥施用过量的重要原因(Chen 等,2014;Duan 等,2021)。其次,农业的相对收益持续下降,非农收入在农民家庭收入中所占比例不断上升(Rigg 等,2016),导致农民对农业生产的积极性较低。因此,对于经济上缺乏可行性的小农户来说,实施需要大规模资金和劳动力投入的绿色高质量农业更为困难。第三,低碳农业的实施往往需要政府的监督与协调,但对数以亿计的小农户而言,监督管理难度较大。并且,实际调研中发现,在实施可持续农业和废物管理项目时,中小畜禽养殖户并未纳入政府畜禽废弃物利用监管范围(Kimura 等,2022)。

(三) 不均衡的居民膳食结构将对未来供给端和碳减排带来更大压力

随着社会经济的发展和生活水平的提高,中国居民的食物消费结构发生了巨大的变化。从宏量营养素的角度来看,居民动物性食物的摄入量增加,优质蛋白质的摄入量大幅度增加,禽畜鱼蛋的摄入量由 1992 年的 52.6 克/标准人日提高到 2015 年的 132.7 克/标准人日(中国营养学会,2021)。膳食结构改善主要表现在蛋白质供能比上升、碳水化合物供能比不断下降,其中城市居民碳水化合物贡献的能量比例从 1992 年的 58.9%下降至 2015 年的 50.7%,农村居民从 1992 年的 70.1%下降到 2015 年的 55.3%;城市居民蛋白质贡献的能量比例从 1992

① 再创新高! 2021 年全国粮食总产量达到 13657 亿斤, <http://www.gov.cn/xinwen/2021-12/06/content-5657602.htm>

年的12.7%上升到2015年的12.9%,农村居民则从11.3%上升到11.5%。同样地,脂肪提供的能量比例也一直在上升,到2015年已超过了城市和农村居民推荐上限规定的30%。总体而言,中国居民膳食结构仍有待改善,全谷物、深色蔬菜、水果、奶类、鱼虾类和大豆类等还存在摄入不足的情况(中国营养学会,2021)。食物消费结构变化带来的温室气体排放也不容忽视,研究发现,1997—2012年中国居民食物消费结构的变化,尤其是对肉类和油类消费的增加对环境产生了较大负担,每年导致约704万吨二氧化碳排放的增加(He等,2018)。

未来随着人口增长、居民收入的提高和居民食物消费结构的升级,对肉蛋奶等动物性食品的消费需求会进一步增加(Tilman等,2014; Zhang等2021, Wang等,2022),这对农业食物系统的供给端和碳中和带来更大压力。一方面,动物性食品的碳排放强度远高于植物性食品(Poore等,2018; Xu等,2021),导致碳排放的增加;另一方面,牲畜的养殖也会带动粮食需求不断扩大,使得粮食需求总量成刚性增长,同时也会进一步增加种植业的碳排放(Poore等,2018)。

(四) 食物损失和浪费严重加剧粮食安全风险和碳排放

据估计,全球约8%~10%的温室气体排放与

食物损失和浪费有关,浪费的食物数量达13亿吨,占全球食物产量的比例达25%~30%(Rosenzweig等,2020),其中1/4足以养活世界约为9亿的饥饿人口(FAO,2019)。食物生产和运输等环节的损失以及零售商和消费者浪费的食物,不仅增加了对农业生产的需求,同时增加了温室气体排放及其对耕地、水资源等自然资源的压力。目前中国尚未公布食物损失和浪费的官方数据,根据中国的一项调查研究(Xue等,2021),2014—2018年,中国每年生产的供人类消费的食物(349百万吨)中有27%存在损失或浪费的情况,其中45%与收获后处理和储存有关,13%与在外就餐有关,这些食物产生了约4.64亿吨二氧化碳排放;就食物种类而言,水果和蔬菜占总食物损失和浪费的比例最高(62%),其次是肉类(17%)、谷物(9%)、油籽和豆类(5%)。而据《中国城市餐饮食物浪费报告》显示,2015年中国城市餐饮每年食物浪费总量约为1700万~1800万吨,相当于全国粮食产量的3%^①,随着居民生活方式的转变,在外就餐的频率和比例不断提高,由此引起的餐饮业浪费也将不断提高。此外,该报告还指出中小学生也是不容忽视的食物浪费群体,中小学食物浪费超过城市餐饮平均浪费水平。

四、大食物观引领下实现农业食物系统低碳减排与粮食安全协同的政策建议

大食物观的提出对粮食安全目标提出了更高的要求,同时,低碳目标和粮食安全目标之间存在着一定的权衡关系,而大食物观所倡导的以消费端需求为导向,可推进农业食物系统的供给侧调整,为低碳目标和粮食安全目标的协同发展提供了框架指引。基于大食物观视角下的农业食物系统粮食安全和低碳目标协同发展面临的挑战,迫切需要发挥大食物观的引领作用,并采取措施重塑农业食物系统。

(一) 充分发挥消费端作用,倡导可持续的健康膳食

以大食物观为契机,一方面,加快构建符合大食物观的食物营养标准体系,把营养标准制定从传

统的农产品范围扩大到大食物观范围;重视营养引导与食育教育,提倡和鼓励消费者合理调整饮食结构,向科学、健康和可持续的饮食发展,包括增加全谷物、水果和豆类的消费,减少精制谷物和红肉的过度消费。另一方面,制定完善相关的制度和标准,促进餐饮行业服务点餐服务的规范化和节约化,同时加大对减少食物浪费的宣传力度,落实《中华人民共和国反食品浪费法》等相关法律法规,提高消费者的节约消费意识,特别是加强青少年儿童节约食物的宣传教育(陈志钢等,2019)。

(二) 技术创新推动低碳农业转型的同时提高食物供给能力

充分利用技术和数字化驱动的智慧型农业和

^① 世界自然基金会,中国科学院地理科学与资源研究所. 中国城市餐饮食物浪费报告(2018)

设施农业,提高产量,降低排放。农作物生产方面,推广灌溉技术和肥料等综合管理方法(李劼等,2022),着力解决玉米和大豆的单产短板以保障牲畜产品的饲料需求(张红宇,2021);禽畜养殖方面,提高饲料利用率,将循环农业模式纳入区域发展规划中,推广种植和养殖相结合的环境友好型家庭农场建设,促进作物残余物的循环利用和粪肥还田(Kimura等,2022)。推进生产、收获、加工、储存、运输和销售等各个环节的食物减损,包括建立信息化、智能化的粮食仓储设备和散粮运输服务体系,完善粮食加工标准,提高粮食加工转化率,推广低温冷藏设备的使用方式等(武拉平,2022)。

(三) 优化农业支持结构,并通过绿色融资支持农业食物系统转型

在农户层面,制定适当的激励计划,鼓励农户对低碳技术措施的采用;同时,面临国际形势的变动等带来能源价格上涨进而导致的化肥、农药、农膜等投入成本上涨,可适当优化农户层面的补贴政策,调动农民的生产积极性,保障生产者的收入。另外,将补贴转移到健康和可持续食物的生产和消费,例如水果、蔬菜、豆类和坚果等;考虑到研发投

入对农业生产和低碳减排中的重要作用,可将补贴或公共政策资金向技术研发倾斜(Fan, 2021; Kimura等,2022)。此外,政府机构应制定政策,充分发挥绿色融资的功能,通过绿色融资方式减少资金约束,有效支持低碳且高产的农业技术和措施的落实,提高资源利用效率,降低碳排放。例如创造有利于私人部门风险评估和管理的环境,通过税收优惠等制度,推动公私合作等融资模式来支持绿色高质量农业转型(Kimura等,2022)。

(四) 因地制宜进行农业生产活动,使自然资源得到有效利用

一方面,根据地形地貌、气象水文、土壤类型等资源禀赋和资源环境承载力,科学布局和优化农业生产布局,因地制宜发展农业,推进农产品逐步向优势产区集中。强化国土空间规划与用途管控,因地制宜地把土地转化为草地、林地和湿地等,提升生态系统碳汇增量。另一方面,根据自然条件,通过土地流转等方式进行适度规模的农业经营方式,完善农业基础设施,提高农业机械化水平。此外,还应充分发挥新型农业经营主体的社会化服务功能,推动低碳技术的推广与服务,促进小农户与低碳高效农业发展的有机衔接。

参考文献

1. Arndt, C., Hristov, A. N., Price, W. J., McClelland, S. C., Pelaez, A. M., Cueva, S. F., Oh, J., Dijkstra, J., Bayat, A. R., Crompton, L. A., Euge, M. A., Kreuzer, M., McGee, M., Veneman, J. B., Ya, D. R. Full Adoption of the Most Effective Strategies to Mitigate Methane Emissions by Ruminants Can Help Meet the 1.5°C Target by 2030 but not 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2022 (20): e2111294119
2. Calvin, K., Wise, M., Kyle, P., Patel, P., Clarke, L., Edmonds, J. Trade-offs of Different Land and Bioenergy Policies on the Path to Achieving Climate Targets. *Climatic Change*, 2014, 123: 691~704
3. Chen, X., Cui, Z., Fan, M., Vitousek, P., Zhao, M., Ma, W., Wang, Z., Zhang, W., Yan, X., Yang, J., Deng, X., Gao, Q., Zhang, Q., Guo, S., Ren, J., Li, S., Ye, Y., Wang, Z., Huang, J., Zhang, F. Producing More Grain With Lower Environmental Costs. *Nature*, 2014 (7523): 486~489
4. Costa, C., Wollenberg, E., Benitez, M., Newman, R., Gardner, N., Bellone, F. Roadmap for Achieving Net-zero Emissions in Global Food Systems by 2050. *Scientific Reports*, 2022(12): 15064
5. Crippa, M., Solazzo, E., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., Leip, A. Food Systems are Responsible for a Third of Global Anthropogenic GHG Emissions. *Nature Food*, 2021(2): 198~209
6. Duan, J., Ren, C., Wang, S., Zhang, X., Reis, S., Xu, J., Gu, B. Consolidation of Agricultural Land Can Contribute to Agricultural Sustainability in China. *Nature Food*, 2021, 2: 1014~1022
7. Fan, S. Economics in Food Systems Transformation. *Nature Food*, 2021(2): 218~219
8. Fan, S., Ramirez, A. Achieving Food Security While Switching to Low Carbon Agriculture. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2012 (4): 041405
9. FAO. Sustainable Food Systems: Concept and Framework, 2018
10. FAO. The State of Food and Agriculture 2019. Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction, 2019

11. Gu, B. Recoupling Livestock and Crops. *Nature Food*, 2022(3): 102~103
12. Gu, B., Zhang, X., Lam, S. K., Yu, Y., van Grinsven, H. J. M., Zhang, S., Wang, X., Bodirsky, B. L., Wang, S., 16. Duan, J., Ren, C., Bouwman, L., de Vries, W., Xu, J., Sutton, M. A., Chen, D. Cost-effective Mitigation of Nitrogen Pollution From Global Croplands. *Nature*, 2023(7942): 77~84
13. He, P., Baiocchi, G., Hubacek, K., Feng, K., Yu, Y. The Environmental Impacts of Rapidly Changing Diets and Their Nutritional Quality in China. *Nature Sustainability*, 2018(1): 122~127
14. International Food Policy Research Institute. 2022 Global Food Policy Report: Climate Change and Food Systems. International Food Policy Research Institute, 2022
15. Kimura, S., Chen, K., Gong, B. Circular Agriculture for Sustainable and Low-Carbon Development in the People's Republic of China. *Asian Development Bank*, 2022: 1~7
16. Poore, J., Nemecek, T. Reducing Food's Environmental Impacts Through Producers and Consumers, 2018
17. Rigg, J., Salamanca, A., Thompson, E. C. The puzzle of East and Southeast Asia's persistent smallholder. *Journal of Rural Studies*, 2016, 43: 118~133
18. Roe, S., Streck, C., Beach, R., Busch, J., Chapman, M., Daiglou, V., Deppermann, A., Doelman, J., Emmet, J., Engelmann, J., Fricko, O., Frischmann, C., Funk, J., Grassi, G., Griscom, B., Havlik, P., Hanssen, S., Humpenöder, F., Landholm, D., Lawrence, D. Land-based Measures to Mitigate Climate Change: Potential and Feasibility by Country. *Global Change Biology*, 2021, 27: 6025~6058
19. Rosenzweig, C., Mbow, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E. T., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M. G., Sapkota, T., Tubiello, F. N., Xu, Y., Contreras, E. M., Portugal-Pereira, J. Climate Change Responses Benefit From a Global Food System Approach. *Nature Food*, 2020(1): 94~97
20. Sheng, F., Wang, J., Chen, K. Z., Fan, S., Gao, H. Changing Chinese Diets to Achieve a Win - Win Solution for Health and the Environment. *China & World Economy*, 2021(6): 34~52
21. Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Nez, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S. J., Herrero, M., Carlson, K. M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L. J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., Willett, W. Options for Keeping the Food System Within Environmental Limits. *Nature*, 2018(7728): 519~525
22. Tilman, D., Clark, M. Global Diets Link Environmental Sustainability and Human Health. *Nature*, 2014, 515: 518~522
23. van Wesenbeeck, C. F. A., Keyzer, M. A., van Veen, W. C. M., Qiu, H. Can China's Overuse of Fertilizer be Reduced Without Threatening Food Security and Farm Incomes. *Agricultural Systems*, 2021, 190: 103093
24. Wang, X., Bodirsky, B. L., Müller, C., Chen, K. Z., Yuan, C. The Triple Benefits of Slimming and Greening the Chinese Food System. *Nature Food*, 2022a(3): 686~693
25. Wang, X., Xu, M., Lin, B., Bodirsky, B. L., Dietrich, J. P., Stevanovic, M., Bai, Z., Ma, L., Jin, S., Fan, Lotze-Campen, H., Popp, A. Reforming China's Fertilizer Policies: Implications for Nitrogen Pollution Reduction and Food Security. *Sustainability Science*, 2022b
26. Xu, X., Sharma, P., Shu, S., Lin, T. -S. Global Greenhouse Gas Emissions from Animal-based Foods Are Twice Those of Plant-based Foods. *Nature Food*, 2021(2): 724~732
27. Xue, L., Liu, X., Lu, S., Cheng, G., Hu, Y. China's Food Loss and Waste Embodies Increasing Environmental Impacts. *Nature Food*, 2021(2): 519~528
28. Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P., Shen, Y. Managing Nitrogen for Sustainable Development. *Nature*, 2015(7580): 51~59
29. Zhu, Z., Zhang, X., Dong, H., Wang, S., Li, Y., Gu, B. Integrated Livestock Sector Nitrogen Pollution Abatement Measures Could Generate Net Benefits for Human and Ecosystem Health in China. *Nature Food*, 2022(3): 161~168
30. Zomer, R. J., Bossio, D. A., Sommer, R., Verchot, L. V. Global Sequestration Potential of Increased Organic Carbon in Cropland Soils. *Scientific Reports*, 2017(7): 15554
31. 陈志钢, 毕洁颖, 聂凤英, 方向明, 樊胜根. 营养导向型中国食物安全新愿景及政策建议. *中国农业科学*, 2019(18): 3097~3107
32. 樊胜根. 后疫情时代农业食物系统的重要思考. *中国食品*, 2021(10): 38~41
33. 黄季焜. 对近期与中长期中国粮食安全的再认识. *农业经济问题*, 2021(1): 19~26
34. 柯炳生. 夯实农业生产基础 保障国家粮食安全. *农民日报*, https://szb.farmer.com.cn/2022/20220216/20220216_002/20220216_002_2.htm
35. 林 斌, 徐 孟, 汪笑溪. 中国农业碳减排政策、研究现状及展望. *中国生态农业学报(中英文)*, 2022, 30(4): 500~515
36. 罗明忠, 林玉婵. 以“大食物观”构建粮食安全大格局. *深圳特区报*, 2022
37. 李 劫, 徐晋涛. 我国农业低碳技术的减排潜力分析. *农业经济问题*, 2022(3): 117~135

38. 中国营养学会. 中国膳食指南科学报告(2021), 2021
39. 全球粮食未来联盟. 潜在的气候行动机会:对国家自主贡献中食物系统的评估, 2022
40. 武拉平. 我国粮食损失浪费现状与节粮减损潜力研究. 农业经济问题, 2022(11):34~41
41. 韦玉琼, 龙飞, 岳欣冉. 乡村振兴背景下农村碳排放变动及减排策略. 农业经济问题, 2022(9):62~73
42. 叶兴庆, 程郁, 张玉梅, 伍振军, 李青, 刘昌新. 我国农业活动温室气体减排的情景模拟、主要路径及政策措施. 农业经济问题, 2022(2):4~16
43. 张红宇. 牢牢掌握粮食安全主动权. 农业经济问题, 2021(1):14~18
44. 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. 农业经济问题, 2022(9):35~46
45. 赵敏娟, 石锐, 姚柳杨. 中国农业碳中和目标分析与实现路径. 农业经济问题, 2022(9):24~34
46. 张卫建, 严圣吉, 张俊, 江瑜, 邓艾兴. 国家粮食安全与农业双碳目标的双赢策略. 中国农业科学, 2021(18):3892~3902
47. 张玉梅, 樊胜根, 陈志钢, 冯晓龙, 张向阳, 柏兆海, 汪笑溪. 2021 中国与全球食物政策报告——转型农业食物系统助力实现中国 2060 碳中和目标, 2021
48. 钟钰, 崔奇峰. 从粮食安全到大食物观:困境与路径选择. 理论学刊, 2022(304):102~109

Meeting Low-carbon and Food Security Objectives of China Agri-food System Under the Greater Food Approach: Status Quo, Challenges, and Pathways

CHEN Kevin, XU Meng

Abstract: The Greater Food approach implies a higher level of food security and puts forward higher requirements for agri-food system transformation in China. Meanwhile, the agri-food system has great potential for carbon sequestration and GHG emissions reduction, which can play an important role in achieving the goal of carbon neutrality. This paper aims to discuss how to achieve carbon neutrality in Chinese agri-food system under the Greater Food approach and further put forward the pathways of a win-win strategy of food security and a low-carbon agri-food system. Starting from the relation between the low-carbon agri-food system development and food security, this paper systematically analyzes the status quo, challenges, and pathways to achieve the goals of food security and low carbon. We find that the Greater Food approach oriented to demand provides a guideline for minimizing the trade-offs and identifying the synergy of food security and low-carbon agri-food systems. We conclude that transformation towards sustainable agri-food system can promote the realization of both goals. At present, the supply of major agri-food products in China can effectively meet the needs of Chinese residents. Meanwhile, China's agri-food system had achieved its carbon neutrality in 2018, turning greenhouse gas emissions into a net carbon sink. However, with rising population and income in the future, the synergy between higher level of food security and low-carbon transformation of China's agri-food system is still uncertain. Chinese agri-food system faces a number of challenges, including resource constraints, the dominance of smallholder farmers on the production side, unbalanced dietary structure, and sizable food loss and waste. The paper finally proposes the agri-food system transformation pathways under the Greater Food approach to overcome these challenges and achieve the win-win of lower GHG emissions and food security.

Keywords: The Greater Food Approach; Agri-food system; GHG emissions reduction; Food security; Trade-offs and synergies

责任编辑: 吕新业

— 85 —