

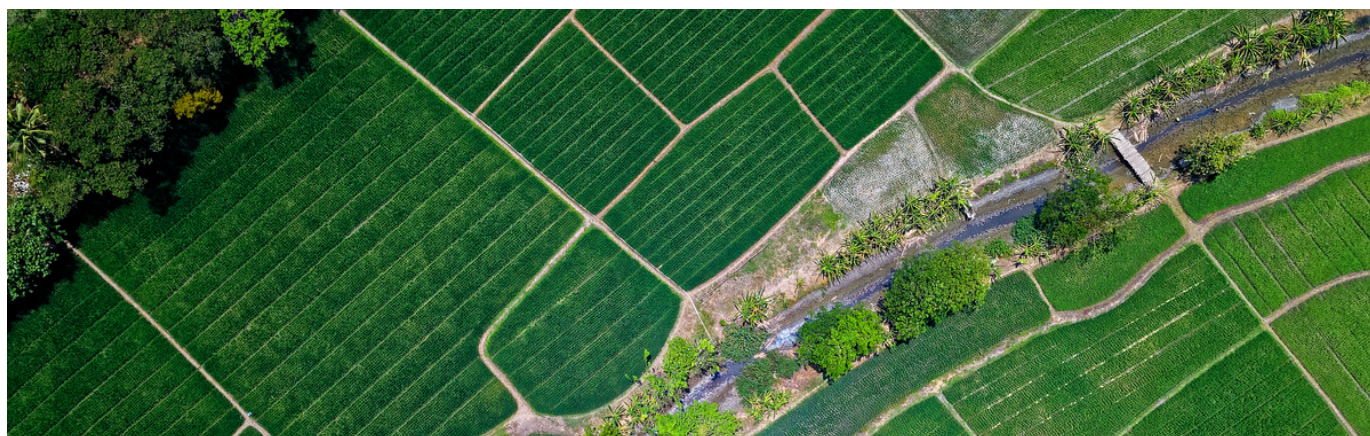
加速中国农食系统绿色低碳转型： 以超级污染物减排驱动协同共赢

► 1. 推动农食系统中超级污染物的减排将带来多重效益

作为贡献了全球45%升温效应的超级污染物（super pollutants）——甲烷、氧化亚氮、氢氟碳化物、黑碳和地面臭氧^[1]，其中有很多是来源于农食系统。根据联合国粮农组织（FAO）的最新数据，2022年全球农食系统的排放为162亿吨CO₂e^[2]，其中甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）和含氟气体（F-gases）分别占比38%，18%和4%¹。此外，CH₄也是另一个重要的超级污染物对流层臭氧（O₃）的前体物，全球O₃增长的一半可归因于CH₄^[3]。农食系统与黑碳（BC）排放也密不可分，全球范围内，使用固体燃料烹饪贡献了40%的BC排放^[4]，这一数字在非洲和亚洲甚至能高达60%~80%^[5]。秸秆露天焚烧和基于柴油发电的农用机械也是重要的BC排放源^[6]。与此同时，超级污染物的排放也在影响农食系统的不同环节与参与者。例如黑碳沉降在植物表面会影响农作物生长。长期暴露在地面臭氧超标的环境也与包括玉米、小麦、大豆和稻米等农作物减产密切相关^[7]。全球每年有数百万人口的死亡与在炊事中固体燃料的不完全燃烧产生的空气污染相关，其中很多是妇女和儿童^[8]。

另一方面，农食系统的超级污染物减排会带来气候、健康和经济等多项协同效益。短期来看，控制超级污染物的排放能够减缓气候变暖速率，防止自然系统到达气候临界点^[9]。此外，减少农食领域的CH₄^[10]（以及随之而来的O₃）和BC^[11]排放可以提高区域空气质量并改善公众健康。而减少食物损失和浪费除了缓解粮食安全问题，还能降低食物生产过程中产生的温室气体排放、土地和水等资源消耗、农药化肥等投入品消费，同时减少有机废弃物填埋产生的CH₄^[12]。降低氮肥施用量不但能够减少N₂O排放，还能通过降低土壤和水中的氨和硝酸盐含量来保护水质^[13]。

在这份简报中，我们将聚焦农食系统中的三个关键议题——氮肥施用与氧化亚氮排放、食物损失与浪费及其相关的甲烷排放、以及农村能源与黑碳排放。我们将探讨在这些领域推进超级污染物减排行动所能带来的多重协同效益。



¹ iGDP根据FAOSTAT计算，<https://www.fao.org/faostat/en/#data/GT>

2. 主要减排行动和协同效益

2.1 氮肥施用与氧化亚氮排放

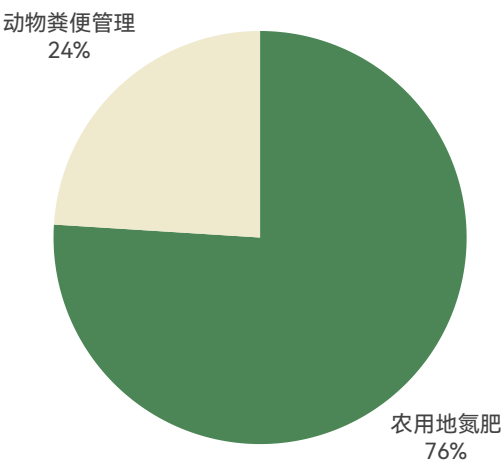
氮肥过度施用主导农业N₂O排放增长，并加剧氮污染、空气污染等环境风险

尽管氮肥在促进农作物生产和农产品增收中发挥着重要的作用，但是过量氮肥施用也带来了一系列的环境问题，例如水体污染和农田土壤的N₂O排放，同时也导致土壤有机质的下降、土壤的酸化和板结^[14]。在全球人类活动导致的N₂O排放中，农业部门排放占比超过75%^[13]，而这其中，氮肥对农业N₂O的排放贡献达到了70%^[15]。氮肥的施用也是驱动农业N₂O排放增长的重要因素，在2000年至2018年间，化学氮肥所导致的N₂O排放增长超过了35%^[13]。

过量氮肥施用不仅加剧温室气体排放，还会造成严重氮污染：大量氮素会随着雨水进入河流、土壤和地下水，导致水体富营养化及藻类大量繁殖，污染饮用水源；过高的硝酸盐可能会增加癌症及甲状腺等健康风险。由于以上环境、健康影响，氮污染造成的经济损失在每年3400亿-3.4万亿美元之间^[16]。此外，过量施用氮肥还会释放氨气和氮氧化物（NO_x），这些物质进入大气后可转化为硫酸铵、硝酸铵等气溶胶，进一步影响空气质量。

中国的氮肥施用量自1980年以来进入快速增长阶段，并对粮食增产起到重要作用，贡献约为45%^[17]。但是我国氮肥的使用以及由此带来N₂O排放也在增加，当前我国氮肥生产与使用相关的N₂O排放占比33%^[18]。随着化肥减量增效政策的密集出台，我国化肥施用量自2016年开始缓慢下降，也是我国从1974年以来首次实现化肥的负增长^[19]。与此同时，来自化肥施用的N₂O排放也在同步下降中。尽管农用化肥施用量呈下降趋势，但是化肥施用强度仍有调整空间。2023年，我国化肥施用强度293千克/公顷左右，仍然远超国际公认的化肥施用的安全上限225千克/公顷。

图1 2021年我国农业活动氧化亚氮排放结构



来源：《气候变化第一次双年透明度报告》

图2 我国化肥施用强度（千克/公顷，2000-2023）



来源：国家统计年鉴

氮肥过量使用造成农业面源污染，加剧环境和公共健康风险

	环境与气候影响	健康影响	社会影响
过度施用氮肥	- 若考虑氮肥从生产（74.3%）到使用（25.7%）的全流程排放，2020年我国氮肥系统温室气体排放量达到4.96亿吨CO₂e^[20] - 过量施氮导致土壤酸化。1980年至2024年，在我国长期施用氮肥的情况下，土壤pH值平均下降15.27%^[21] - 过量施氮易导致水体污染。截至2014年，我国14个省仅农田氮流失量就已超过水环境安全阈值^[22]	- 氮肥是我国地表水硝酸盐的主要来源（26.9%），海河流域和黄河流域硝酸盐污染导致的儿童健康风险超标概率分别达到12%和46%^[23] - 氮肥过量易引发空气污染，进而诱发多种呼吸系统和心血管疾病，甚至导致新生儿死亡。氮肥施用量每年每增加10gN/m²，可使PM2.5浓度增加5.5μg/m³，进而导致年度总医疗支出边际增加0.62%^[24]	- 氮肥过量施用将增加农民生产成本，2008年我国农户过量施用氮肥带来的直接损失约为155.5亿元^[25] - 我国氮肥流失造成的社会和生态成本约为686美元/公顷^[26]，氮肥流失导致的氮挥发所造成的经济损失达到440-1150亿美元/年^[27] - 由于化肥施用量与作物产量之间存在倒“U”型关系^[28]，氮肥过施可能导致庄稼易倒伏、易发生虫害，造成作物产量损失^[29]

科学施肥、多元替代，实现粮食安全和农民增收下的氮肥减量增效

过量的氮肥施用不仅对增产无益，还会导致严重的环境污染与健康风险，因此，在确保粮食安全和农民增收的前提下，进一步推进氮肥减量增效是关键：一方面，使用缓释控肥、硝化抑制剂等新型肥料或有机肥替代传统氮肥；另一方面，继续推广测土配方、农作物养分管理、水肥一体化等精准施肥技术。随着数字化技术与农业的结合更为紧密，智慧农业试点或部分大型规模化农场可以率先运用施肥信息传感、智能决策、智能化装备等技术开展精准智能化养分管理。相关研究认为，在定额施用氮肥、优化氮素投入结构、使用高效氮肥和施肥技术的情况下，我国化学氮肥合理需求最大可以降低至1213万吨^[30]，相较2023年氮肥施用量下降约25%。

 气候与环境效益

得益于氮肥减量，全国超3/4的耕地在2015年后N₂O排放下降，2022年中国农田施肥导致的直接N₂O排放比2015年降低了17%^[31]。针对使用高效氮肥和精准施肥的减排措施，研究发现，施用缓控释肥可以将三大主粮导致的氨挥发、N₂O排放、氮淋溶和径流分别降低34.8%-70.1%、25.3%-50.4%、3.4%-47.3%和2.7%-44.0%；配方施用氮肥则能将以上活性氮损失降低27.6%-35.3%^[32]。此外，有机废弃物科学还田替代氮肥可以降低农业面源污染、提升有机质含量，实现土壤状况改善：在化肥中添加有机改良物可将土壤质量指数提高17.6%-26.3%^[33]。

 健康效益

在当前农业模式下，通过减少氮肥施用、使用高效氮肥、氮肥深施以及畜牧业领域的相关技术减少氨挥发，可以避免约7.43万与PM2.5相关的过早死亡^[34]。

 社会与经济效益

相比于传统化肥，脲酶抑制剂和硝化抑制剂分别可提升7.1%和9%的主粮作物产量^[35]。测土配方施肥技术可以改善化肥施用结构并提高化肥利用率，进而提高农产品产量并增加农业经营收益，在小麦和水稻粮食作物种植过程，测土配方技术可以帮助农户分别增收531.64元/公顷和492.15元/公顷^[36]。

2.2 食物损耗与浪费和甲烷排放

食物损失和浪费造成超级污染物CH₄排放的同时也带来多重负面影响

农食系统中产生的食物损失和浪费不仅加剧全球粮食安全挑战，让环境和社会付出巨大代价，也是温室气体排放的重要来源。食物损失和浪费意味着生产食物投入的水、土地、能源、劳动力等资源的损失和浪费，此外进入填埋场的有机废弃物还会产生CH₄，贡献了相当于航空业5倍的温室气体排放^[37]。因此，减少食物损失和浪费对于保障粮食安全和促进可持续发展至关重要。

食物损失是指可供人类食用的农产品在储存、运输、加工阶段，由于被丢弃或损毁，且并未通过其他途径（如饲料化）被利用，从而造成的数量或质量下降^[38]。食物浪费则是由于零售商、食品服务提供商和消费者的决策和行动而导致的食物数量或质量的下降^[39]。这些损失和浪费的食物也成为了全球CH₄的重要排放源之一，占全球CH₄排放的12%^[40]。全球范围内，每年由食物损失和浪费造成的温室气体排放占全部温室气体的8~10%，相关经济损失达1万亿美元。食物被大规模丢弃的同时，每年仍有7.83亿人遭受饥饿，其中包括1.5亿因长期缺乏营养素导致生长发育迟缓的儿童^[12]。

2022年，中国的食物损失和浪费达4.6亿吨，主要发生在产后处理和储存环节，占比约为41.6%，远高于英国（4.8%）和日本（10.5%）等发达国家^[41]。在我国食物损失和浪费造成的碳排放中，消费环节的食物损失和浪费由于涵盖了上游环节的间接碳排放，总体碳足迹不容忽视。产后处理和加工的排放占比高达22.5%，是继消费环节之后的第二大排放源^[41]。

图3 中国食物损失和浪费各环节的占比

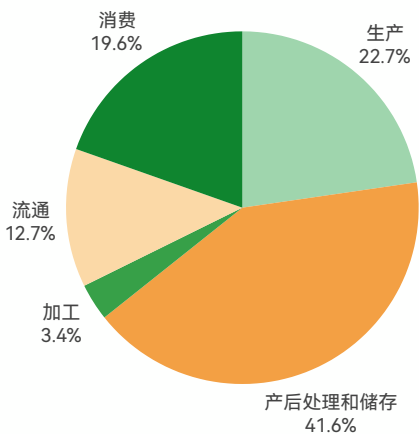
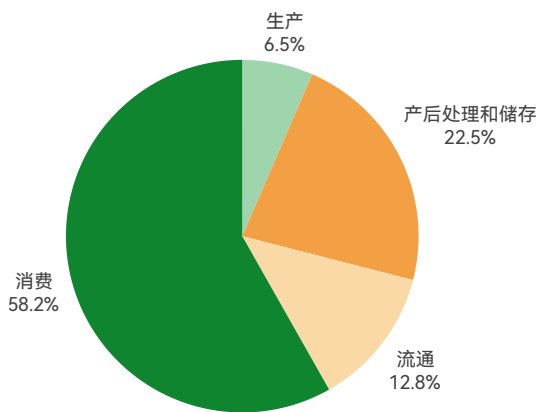


图4 中国食物损失和浪费环节的碳排放占比



来源：薛莉，成升魁，刘刚，王晶晶，范豪 & 牛苒. 《2025中国与全球食物政策报告：中国食物损失和浪费减量的碳排放效应与路径》

食物损失与浪费造成资源和能源浪费，对社会经济发展带来负担，其排放的温室气体和空气污染物更是加剧气候变化、危害公共健康

	健康影响	气候影响	社会影响
食物损失与浪费	- 从营养上看，2022年中国损耗浪费的食物可满足1.9亿人1年的营养需求^[42] - 在中国食物损失和浪费造成的氨（NH₃）、PM2.5、氮氧化物（NOx）等空气污染物排放约为16.1万吨、2.4万吨和5.6万吨^[43]	2023年，我国因食物损失和浪费造成的碳排放占比约为3.7%^[41] - 当前我国稻谷、小麦和玉米的全产业链损失率分别为26.2%、16.7%和18.1%^[44]，由于水稻生产会排放大量CH₄，稻谷损失导致的CH₄排放是粮食损失碳排放的主要来源^[45]	2022年，我国损耗和浪费的4.6亿吨食物折合经济损失1.88万亿元，相当于农业产值的22.3%^[42] 2014~2018年，我国由于食物损失和浪费导致30%的耕地和34%的农业用水资源被浪费，施用的氮肥和磷肥损失率达35%和11%^[46]

可持续食物冷链系统助力食物减损、温室气体减排并带来多重效益

缺乏有效的冷链系统是导致食物损失的主要原因，食物冷链系统还直接影响着食品质量、营养成分和食品安全，进而影响公众健康^[47]。研究显示，由于储存和冷藏措施不当，我国2015年损失约1200万吨水果和1.3亿吨蔬菜^[48]。近年来我国高度重视冷链物流发展，《“十四五”冷链物流发展规划》指出，推动冷链物流高质量发展是减少农产品产后损失和食品浪费的重要手段，是促进农民增收和乡村振兴的重要基础。当前，我国果蔬、肉类、水产品的冷链运输率分别为35%、57%、69%，而发达国家的平均冷链运输率在90%以上^[49]，冷链行业仍有较大发展空间。

虽然冷链行业发展可以显著减少食物损失和浪费产生的CH₄，但冷链所需的低温环境会消耗能源产生CO₂，制冷剂泄漏也会导致F-gases排放^[50]。因此，可持续的食物冷链需要在冷链建设与运营过程中兼顾经济、社会及气候等多方效益，最大限度减少负面影响^[47]。

 气候效益

一项针对我国在“十四五”时期实施的农产品仓储保鲜冷链物流设施建设工程^[51]的研究指出，政策带来的食物减损效果相当于减少了49.21km³的水资源消耗和470万吨CO₂e的排放^[52]。中长期来看，若中国的冷链物流水平发展到与发达国家相同的水平，我国的食物损耗率和相关的温室气体排放将会快速下降，2035年食物损耗带来的温室气体排放约为8000万吨CO₂e，相对于基准线水平（假设中国的冷链物流水平保持在19%）减排潜力约为70%^[53]。

 健康效益

冷链提供适宜的温湿度，在各流通环节中可以有效抑制微生物的活性、减缓食物腐坏速度，从而降低食品安全问题和食源性疾病的风险^[55]。此外，可持续冷链系统还可以改善营养从而促进公共健康，加强冷链系统建设可使食物中维生素A、维生素E等营养元素损失分别降低25%以上和40%以上^[56]。

 社会与经济效益

自2020年以来，农业农村部深入实施农产品仓储保鲜冷链物流设施建设工程，完善产地“最初一公里”冷链物流设施，共支持建设7.8万个产地冷藏保鲜设施，新增库容近2000万吨，农产品的平均损耗率从19.7%下降到7.1%，减损带来直接经济效益约530亿元^[54]。此外，项目建设累计创造就业岗位超100万个，增加务工收入180亿元^[54]。

2.3 农村能源与黑碳排放

农村固体燃料燃烧与柴油机械使用造成黑碳排放，引发气候健康双重危机

在农村地区，无论是以散煤、柴草等固体燃料来进行烹饪和取暖的过程，还是在大量基于柴油发动机的农业机械使用中，其所产生的黑碳，作为超级污染物，对推动全球温升并加速冰川消融，以及居民健康都有负面影响。2021年，全球人为活动导致的黑碳排放约为527.8万吨，其中，民用部门是最主要排放源，占比49.9%，农业部门则贡献了13.5%左右^[57]。尽管这些黑碳在大气中的寿命仅有数天至数周，但其增温效应可达二氧化碳的1500倍^[58]。并且，在区域尺度上，黑碳通过吸收太阳辐射并加热空气，改变降水模式；而沉降在雪冰表面的黑碳会降低反照率，加速冰川消融。据评估，北极地区的升温速度是全球平均水平的4倍左右，其中黑碳沉降是主要驱动因素之一^[59,60]。此外，黑碳排放带来的大量室内空气污染也威胁居民的健康。来自世界卫生组织的数据表明，全球每年约有320万人因家庭空气污染过早死亡，这些污染主要源于烹饪过程的固体燃料和煤油的不完全燃烧^[8]。

中国是黑碳主要排放国之一，占全球人类活动黑碳排放的16.1%，其中33.9%左右是来自民用部门，例如居民烹饪与取暖，尤其是在农村地区。此外，我国农业机械也主要以柴油为动力，由此带来的黑碳排放也不容忽视，在我国非道路机械带来的黑碳排放中，有接近一半的黑碳排放来自农业机械^[61]。突出的排放带来了不容忽视的健康后果：在中国，短期与长期暴露于黑碳分别导致约74500例和538,400例过早死亡病例^[62]。此外，由于女性更多参与到家庭烹饪中，因此黑碳排放对女性健康影响更大。研究显示，在农村地区，长期暴露在室内污染带来的黑碳排放下也导致了农村女性血压升高并增加心血管疾病风险^[63]。

黑碳排放造成的室内外空气污染与呼吸系统和心血管疾病密切相关，且弱势群体更易受影响

	健康影响	环境与气候影响	社会影响
农村居民烹饪与取暖 柴油农业机械	传统固体燃料使用与呼吸系统和心血管疾病密切相关，中国农村地区居民生活带来的黑碳排放于2014年导致约171,000例过早死亡^[64]	- 中国农村居民以煤炭和传统生物质能为主的能源施用造成了不成比例的高空气污染物排放，导致2014年环境PM2.5浓度超3.9µg/m³^[65] - 我国非道路移动源颗粒物排放于2020年达到23.7万吨，其中农用机械排放占比38.8%^[66] - 在青藏高原地区，化石燃料燃烧和当地居民使用的牦牛粪便等固体燃料燃烧所产生的黑碳使冰川消融速度加快约15%、积雪期缩短约3-4天^[67]	- 固体燃料使用带来黑碳排放对低收入人群影响更大，因为他们更多依赖散煤和柴草来进行烹饪和取暖^[68] - 女性由于承担更多家庭烹饪活动，因此受室内黑碳排放的污染影响更大^[63]

农村能源清洁化和农用机械电气化将带来显著的气候、健康和社会效益

转变农村炊事与采暖用能结构、推动农用机械的电气化是降低黑碳排放及其负面影响的重要举措。具体而言，根据地区能源禀赋，加强天然气、电力、可再生能源等更清洁能源的供给，因地制宜发展集中式供气供暖、或推广电炊具和分户式清洁取暖设备（例如热泵、电暖气、燃气壁挂炉）等，将有助于我国农村炊事与采暖过程中散煤、柴草等固体燃料的替代。农用机械领域针对电动农机的研发与推广将帮助减少柴油农机带来的环境、健康问题。

长期以来，我国高度重视农村能源转型。炊事清洁化方面，2012年我国就与世界银行合作启动了中国清洁炉灶行动倡议，《全国农业可持续发展规划（2015-2030年）》中还将推广清洁炉灶作为农村环境综合整治的重大工程之一。截至目前，我国农村清洁炉灶普及率已超过90%^[69]。清洁取暖层面，《北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021年）》强调清洁取暖是能源生产和消费革命、农村生活方式革命的重要内容，截至2024年，我国北方地区清洁取暖改造已累计完成4100万户^[70]。此外，对于电动农用机械，《农机装备发展行动方案（2016-2025年）》将清洁燃料与新能源农用动力、电控喷射与新能源拖拉机列为重点发展产品，目前，如农业无人机等小型电动农机设备应用规模已相当庞大，年作业量突破26亿亩次^[71]，而如电动拖拉机、播种机、旋耕机等设备也在逐渐进入市场。不过，大功率电动农机的规模化应用仍有待克服电池续航能力不足、充电不便等多重技术挑战。

气候与环境效益

我国农村居民用能结构的转变将推动我国、尤其是北方地区空气质量不断改善。相关研究指出，在碳中和情景下，农村炊事与采暖过程的脱碳将使得北方地区PM_{2.5}浓度到2050年下降1.9-5.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其中，山西、河北、陕西、山东与河南将成为空气质量改善最显著的五个省份^[65]。推动电动农机的发展同样能改善空气质量与排放情况，以一台大型拖拉机为例，若以电动农机替代，每年可减少约19吨CO_{2e}及0.06吨污染物排放^[72]。

健康效益

全国范围内农村炊事与采暖过程的脱碳将显著改善我国空气质量，进而提升居民健康，到2050年避免近75500例与PM_{2.5}有关的过早死亡，这其中，北方占比会达到69%^[65]。

社会效益

农村家庭炊事的清洁化能显著改善农村女性心理健康、降低其罹患慢性疾病的风险^[73]，并且由于清洁能源使用所减少的烹饪时间可以达到每周0.9天，将有助于改善农村女性在劳动力市场的参与情况^[74]。电动化农业机械的使用从长期有望帮助农户降低生产成本。研究显示，尽管电动拖拉机的售价、维护成本等均高于传统拖拉机，但与44.1kW柴油拖拉机相比，电动拖拉机的年能耗成本可以下降70%^[75]。

3. 农食系统超级污染物减排的机遇和政策建议

针对农食系统超级污染物 CH_4 、 N_2O 和BC的减排行动，能够带来显著的气候、健康和经济社会协同效益，实现“三赢”。在**气候效益**方面，控制超级污染物排放能在短期内显著减缓全球变暖速率，防止生态系统和地球气候系统达到关键临界点。**健康效益**层面，减少超级污染物的排放可提升空气质量，改善公众健康，有效避免空气污染相关的疾病和过早死亡。农食系统超级污染物减排还会带来显著的**经济社会效益**，减少食物损失和浪费有助于保障粮食安全；推广科学施肥等措施可降低农户生产成本，同时保护水质、提高土壤质量；推进农村能源清洁化有助于改善女性健康，提升其劳动参与和经济赋能。与此同时，在当前国家政策导向、经济激励和新兴农业经营主体等综合性因素的推动下，我国农食系统超级污染物减排正面临多重机遇。

我国农食系统超级污染物减排面临多项政策机遇

针对超级污染物减排的综合性政策和专项政策将农业领域列为重点。《减污降碳协同增效实施方案》综合性地提出针对 N_2O 、 CH_4 和BC的减排措施，例如“深入实施化肥农药减量增效行动，提高氮肥利用效率”，“优化稻田水分灌溉管理”，“提升秸秆综合利用水平，强化秸秆焚烧管控”，“推广先进适用的低碳节能农机装备”以及“加快农村取暖炊事等可再生能源替代”。2023年我国《甲烷排放控制行动方案》出台，此后多个省级行政区陆续推出地方方案^[76]，其中包括湖南、云南、湖北等农业生产大省。在畜禽粪污综合利用率方面，宁夏和天津均设立了高于国家方案的量化目标，水稻种植大省湖北则提出开展绿色低碳稻作示范工程。各地实践表明，地方行动正成为推动农食系统超级污染物减排的关键抓手。地方行动将对我国农食系统超级污染物减排发挥重要作用，有望进一步推进农食系统 CH_4 减排。

农食系统超级污染物减排还能与“无废城市”建设工作结合，《“十四五”无废城市建设工作方案》提出“鼓励和引导农民采用增施有机肥、秸秆还田、种植绿肥等技术”“加大畜禽粪污和秸秆资源化利用”及“推动农村清洁能源供应”等措施，促进 N_2O 、 CH_4 和BC等超级污染物减排。此外，我国最新公布的国家自主贡献（NDC）提出2035年全经济范围温室气体净排放量将比峰值下降7~10%的总体目标，并提出积极开展非二氧化碳温室气体管控。具体而言，NDC提出“有效控制农业领域甲烷排放”、“有序推动农田氧化亚氮控排”，为超级污染物减排提供新的机遇。

我国农食系统超级污染物减排存在显著的经济激励

近年来，我国金融体系加大对农食系统超级污染物减排的支持。《绿色金融支持项目目录（2025年版）》将电动农用车辆、高效节能农机等节能农资制造和购买；采用测土配方施肥、推广新型肥料、轮作休耕等措施减少 N_2O 排放的活动和使用可再生能源农机等措施降低农机排放的绿色农业生产活动；以及安装电采暖炉、空气源热泵、太阳能采暖系统等与农村清洁取暖基础设施的建设和运营相关的活动纳入，有利于发挥金融工具对农食系统超级污染物减排的支持。

此外，市场机制也为农食系统超级污染物减排提供了经济机遇。2024年初自愿减排交易市场重启，今年8-10月，生态环境部陆续发布纯农林生物质并网发电和热电联产^[77]和农业废弃物集中处理工程^[78]方法学的征求意见稿，针对农作物生产或加工过程中产生的茎、秆、叶和壳等剩余物和尾菜（新鲜蔬菜的残叶）的资源化利用提供了新的方向，有助于减少食物损失和浪费的 CH_4 排放。随着温室气体自愿减排项目方法学进一步扩展，有望纳入更多农食系统超级污染物排放源。

新型农业经营主体促进农食系统超级污染物减排降本增效

新型农业经营主体在推动技术应用和降低减排成本方面发挥了积极作用。近年来我国多地通过新型社会化经营方式，如农机作业委托和农机租赁服务，降低农机作业成本同时提高作业效率，这种通过农户与农机合作社签订合同并支付费用的方式有助于新型农机的推广。此外，农机作业服务提供秸秆还田中的灭茬服务，减少了过去农户对遗留的秸秆进行焚烧，从而助推农业机械清洁化的趋势和秸秆燃烧的BC减排^[79]。新型农业经营主体在冷链设施建设上也发挥了重要作用，我国“十四五”时期实施农产品仓储保鲜冷链物流设施建设工程，共支持3.8万个家庭农场、农民合作社和农村集体经济组织，建设7.8万个产地冷藏保鲜设施^[54]，大大增加了产地冷藏保鲜设施的库容，有效降低了农产品损耗和相应的CH₄。新型农业经营主体也大大提升了测土配方施肥技术覆盖率^[80]，促进农食系统N₂O减排。

展望未来，新型农业经营主体有望在农业减污降碳中发挥更多作用。截至2024年底，全国有111.1万个经营性主体开展社会化服务，服务小农户近9300万户，在保障粮食安全和促进农业增效农民增收方面发挥了重要作用，但仍存在服务资源分散、供给不足等问题^[81]。近年来极端天气事件的增多给我国一些粮食产区造成粮食损失，由合作社购买中等规模的烘干机并对农户提供服务很有必要性^[82]。随着农业农村部等六部门今年10月发布的《关于加强现代农事综合服务中心建设的指导意见》的落实，有望充分发挥新型农业经营主体的作用，加强烘干仓储、冷藏保鲜、农产品初加工、农业废弃物收集处理等关键环节的基础设施建设，将进一步助力农食系统超级污染物减排。



简报作者：朱彤昕 马越 陈美安

简报设计：包林洁

引用建议：朱彤昕, 马越, 陈美安. (2025). 加速中国农食系统绿色低碳转型：以超级污染物减排驱动协同共赢. 绿色创新发展研究院 (iGDP).

联系我们：igdpoffice@igdp.cn

扫描二维码关注更多iGDP农食系统低碳转型研究：



农食系统绿色低碳转型2025年度报告



农食系统与碳中和：中国农业与食物相关温室气体减排路径分析报告



中国地方农业甲烷减排行动与趋势

参考文献

- [1] Rachel Huxley, Drew Shindell, & Talia Caplan. (2025). Guest post: How ‘super pollutants’ harm human health and worsen climate change. *Carbon Brief*. <https://www.carbonbrief.org/guest-post-how-super-pollutants-harm-human-health-and-worsen-climate-change/>
- [2] FAO. (2024, November 14). *Greenhouse gas emissions from agrifood systems. Global, regional and country trends, 2000–2022*. FAOSTAT. <https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/greenhouse-gas-emissions-from-agrifood-systems.-global--regional-and-country-trends--2000-2022/en>
- [3] Climate & Clean Air Coalition. (2025). *Methane* | Climate & Clean Air Coalition. <https://www.ccacoalition.org/short-lived-climate-pollutants/methane>
- [4] Project Drawdown. (2025). *Sources, Regional Patterns, and Trends* | Project Drawdown®. <https://drawdown.org/publications/reducing-black-carbon/sources-regional-patterns-and-trend>
- [5] US EPA. (2014, September 15). *Understanding the Issue: Household Energy and Clean Air* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/understanding-issue-household-energy-and-clean-air>
- [6] Climate & Clean Air Coalition. (2025). *Black carbon* | Climate & Clean Air Coalition. <https://www.ccacoalition.org/short-lived-climate-pollutants/black-carbon>
- [7] Pei, J., Liu, P., Feng, Z., Chang, M., Wang, J., Fang, H., Wang, L., & Huang, B. (2024). Long-term trajectory of ozone impact on maize and soybean yields in the United States: A 40-year spatial-temporal analysis. *Environmental Pollution*, 344, 123407. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123407>
- [8] World Health Organization. (2024). *Household air pollution*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- [9] Gabrielle Dreyfus & Christie Ulman. (2024). *We can fend off climate fatalism by limiting super pollutants* | World Economic Forum. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/stories/2024/07/we-can-fend-off-climate-fatalism-by-limiting-near-term-warming/>
- [10] Global Methane Hub. (2025). *Meet the Moment on Methane*. <https://www.globalmethanehub.org/>
- [11] Institute for Global Decarbonization Progress & World Economic Forum. (2024). *Black Carbon Reduction: A Rapid Action Plan*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Black_Carbon_Reduction_2024.pdf
- [12] United Nations Environment Programme. (2024). *Food Waste Index Report 2024. Think Eat Save: Tracking Progress to Halve Global Food Waste*. <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/45230>
- [13] United Nations Environment Programme & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *Global Nitrous Oxide Assessment*. United Nations Environment Programme. <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/46562>
- [14] Ferland, D., Wagner-Riddle, C., Brown, S. E., Bourgault, M., Helgason, W., Farrell, R. E., & Congreves, K. A. (2024). Improved nitrogen fertilizer management reduces nitrous oxide emissions in a northern Prairie cropland. *Science of The Total Environment*, 956, 177211. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177211>
- [15] Hanqin Tian, Eric Davidson, Pep Canadell, & Rona Louise Thompson. (2024, June 12). *Food has a climate problem: Nitrous oxide emissions are accelerating with growing demand for fertilizer and meat – but there are solutions*. <https://www.csiro.au/en/news/all/articles/2024/june/global-nitrous-oxide-emissions?>
- [16] United Nations Environment Programme. (2023, January 16). *Four reasons why the world needs to limit nitrogen pollution*. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/four-reasons-why-world-needs-limit-nitrogen-pollution>
- [17] 李玥 & 巨晓棠. (2020). 农田氧化亚氮减排的关键是合理施氮. *农业环境科学学报*, 39(4), 842–851.
- [18] 李素玉, 李航, 王婷, 刘绿怡, 李艳丽, & 王莉. (2024). 关于我国氮肥供应链实现碳中和的研究与建议. *磷肥与复肥*, 39(3), 1–6.
- [19] 张福锁. (2017, December 27). 化肥减量增效助力农业绿色发展我国农用化肥用量43年首次实现负增长. 中华人民共和国农业农村部. https://www.moa.gov.cn/xw/zwtd/201712/t20171227_6131397.htm
- [20] 美国环保协会. (2025). 中国氮肥生产与消费的氧化亚氮减排潜力与路径分析 (p. 43). 美国环保协会. https://www.cemf.net.cn/storage/tiny_mce/images/38b767de7e46e1a1db4e1573daa43c8c68e9d3e424821.pdf
- [21] Zhang, L., Zhao, Z., Jiang, B., Baoyin, B., Cui, Z., Wang, H., Li, Q., & Cui, J. (2024). Effects of Long-Term Application of Nitrogen Fertilizer on Soil Acidification and Biological Properties in China: A Meta-Analysis. *Microorganisms*, 12(8), 1683. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12081683>
- [22] Yu, C., Huang, X., Chen, H., Godfray, H. C. J., Wright, J. S., Hall, J. W., Gong, P., Ni, S., Qiao, S., Huang, G., Xiao, Y., Zhang, J., Feng, Z., Ju, X., Ciais, P., Stenseth, N. C., Hessen, D. O., Sun, Z., Yu, L., ... Taylor, J. (2019). Managing nitrogen to restore water quality in China. *Nature*, 567(7749), 516–520. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1001-1>
- [23] Wang, C., Wang, X., Xu, Y. J., Lv, Q., Ji, X., Jia, S., Liu, Z., & Mao, B. (2024). Multi-evidences investigation into spatiotemporal variety, sources tracing, and health risk assessment of surface water nitrogen contamination in China. *Environmental Research*, 262, 119906. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119906>
- [24] Ai, H., Fan, B., Zhou, Z., & Liu, J. (2024). The impact of nitrogen Fertilizer application on air Pollution: Evidence from China. *Journal of Environmental Management*, 370, 122880. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122880>
- [25] 程存旺, 石嫣, & 温铁军. (2010). 氮肥的真实成本 (二) (p. 28). 中国人民大学. <https://www.greenpeace.org.cn/wp-content/uploads/2010/08/cf-n-rpt2.pdf>
- [26] Ying, H., Ye, Y., Cui, Z., & Chen, X. (2017). Managing nitrogen for sustainable wheat production. *Journal of Cleaner Production*, 162, 1308–1316. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.196>
- [27] Zhang, X., Gu, B., van Grinsven, H., Lam, S. K., Liang, X., Bai, M., & Chen, D. (2020). Societal benefits of halving agricultural ammonia emissions in China far exceed the abatement costs. *Nature Communications*, 11(1), 4357. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18196-z>
- [28] Zhang, X., Gu, B., van Grinsven, H., Lam, S. K., Liang, X., Bai, M., & Chen, D. (2020). Societal benefits of halving agricultural ammonia emissions in China far exceed the abatement costs. *Nature Communications*, 11(1), 4357. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18196-z>

- [29] 中国科学院. (2006, February 23). 过量施用化肥, 危害不容忽视. 中国科学院.
https://www.cas.cn/xw/kjsh/gndt/200906/t20090608_647856.shtml
- [30] 李婷玉, 姚澜, 钟于秀, 王怡, 李伟芳, 徐洋, 李冬佳, 刘蕊, 李贝, & 张卫峰. (2025). 绿色发展背景下的中国氮肥需求. 土壤学报, 2, 308–321.
- [31] Li, Z., Hong, S., Sun, Z., Cong, N., Yan, Y., Li, F., Gao, Y., Sun, Y., Chen, Y., Chen, Y., Wang, X., & Piao, S. (2025). Turning point of direct N₂O emissions in China's croplands dominated by reduced fertilizer usage since 2015. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 388, 109655.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.109655>
- [32] 颜晓元, 夏龙, & 逯超普. (2018). 面向作物产量和环境双赢的氮肥施用策略. 中国科学院院刊, 33(2), 177–183.
- [33] Li, P., Li, Y., Xu, L., Zhang, H., Shen, X., Xu, H., Jiao, J., Li, H., & Hu, F. (2021). Crop yield-soil quality balance in double cropping in China's upland by organic amendments: A meta-analysis. *Geoderma*, 403, 115197. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115197>
- [34] Li, B., Liao, H., Li, K., Wang, Y., Zhang, L., Guo, Y., Liu, L., Li, J., Jin, J., Yang, Y., Gong, C., Wang, T., Shen, W., Wang, P., Dang, R., Liao, K., Zhu, Q., & Jacob, D. J. (2024). Unlocking nitrogen management potential via large-scale farming for air quality and substantial co-benefits. *National Science Review*, 11(10). <https://academic.oup.com/nsr/article/11/10/nwae324/7756883>
- [35] 张广斌, 马静, 徐华, & 颜晓元. (2024). 中国农田非CO₂温室气体减排的研究现状与建议. 中国科学院院刊, 38(3), 504–517.
<https://doi.org/10.16418/j.issn.1000-3045.20211112001>
- [36] 张成玉 & 肖海峰. (2009). 我国测土配方施肥技术增收节支效果研究——基于江苏、吉林两省的实证分析-维普期刊 中文期刊服务平台. 农业技术经济, 2009(3), 44–51.
- [37] 联合国. (2024, March 27). 环境署: 全世界每天浪费的食物超过10亿餐. <https://news.un.org/zh/story/2024/03/1127661>
- [38] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Introduction—Food Loss | Technical Platform on the Measurement and Reduction of Food Loss and Waste*. FoodLossWaste. <https://www.fao.org/platform-food-loss-waste/food-loss/introduction/en>
- [39] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Introduction—Food waste | Technical Platform on the Measurement and Reduction of Food Loss and Waste | Food and Agriculture Organization of the United Nations*. FoodLossWaste. <https://www.fao.org/platform-food-loss-waste/food-waste/introduction/en>
- [40] ClimateWorks Foundation. (2023, April 27). Reducing Methane Emissions in the Global Food System. *Reducing Methane Emissions in the Global Food System*. <https://www.climateworks.org/ginas-methane/>
- [41] 全球食物经济与政策研究院. (2025). 2025中国与全球食物政策报告 (p. 140). 全球食物经济与政策研究院.
<https://agfep.cau.edu.cn/module/download/downfile.jsp?classid=0&filename=fdb9d36c9a2840d489e00ccc3c8086e0.pdf>
- [42] 李丽颖 & 赵博文. (2023, December 19). 《2023年中国食物与营养发展报告》发布. 中国农业农村信息网.
https://www.agri.cn/zx/nyyw/202312/t20231220_8254938.htm
- [43] Gatto, A., & Chepeliev, M. (2024). Reducing global food loss and waste could improve air quality and lower the risk of premature mortality. *Environmental Research Letters*, 19(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad19ee>
- [44] 白雪. (2025, April 29). 反食品浪费, 从宣传向法律制度约束转变. 中国发展网.
<http://www.chinadevelopment.com.cn/xc/2025/0429/1942395.shtml>
- [45] 胡永浩, 胡南燕, & 武拉平. (2024). 2022年中国粮食损失浪费的资源环境效应评估. 干旱区资源与环境, 38(9), 12–19.
- [46] Xue, L., Liu, X., Lu, S., Cheng, G., Hu, Y., Liu, J., Dou, Z., Cheng, S., & Liu, G. (2021). China's food loss and waste embodies increasing environmental impacts. *Nature Food*, 2(7), 519–528. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00317-6>
- [47] UNEP & FAO. (2022). *Sustainable food cold chains: Opportunities, challenges and the way forward*. UNEP; FAO.
<https://doi.org/10.4060/cc0923en>
- [48] Li, T., Xue, L., Liu, P., Zhang, S., Huang, J., & Sun, J. (2025). The impact of cold storage facilities implemented at the production site on mitigating fruit and vegetable losses in China. *Journal of Cleaner Production*, 524, 146420. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146420>
- [49] 高文, 孙莹, & 胡燕俊. (2024, August 6). 冷链如何让鲜品穿越时空? . 农民日报. https://scs.moa.gov.cn/schs/202408/t20240806_6464233.htm
- [50] Dong, Y., Xu, M., & Miller, S. A. (2021). Overview of cold chain development in China and methods of studying its environmental impacts. *Environmental Research Communications*, 2(12), 122002. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/abd622>
- [51] 农业农村部办公厅关于进一步加强农产品仓储保鲜冷链设施建设的通知, Pub. L. No. 农办市[2020]8号 (2020).
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-06/15/content_5519524.htm
- [52] Li, T., Xue, L., Liu, P., Zhang, S., Huang, J., & Sun, J. (2025). The impact of cold storage facilities implemented at the production site on mitigating fruit and vegetable losses in China. *Journal of Cleaner Production*, 524, 146420. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146420>
- [53] Hong Jialing, Yang Li, Hu Min, & Kevin Mo. (2022). *Food Cold Chain Non-CO₂ GHG Emission Reductions in China: Challenges and Opportunities* (p. 7). Institute for Global Decarbonization Progress.
- [54] 商务部. (2024, December 3). 商务部召开完善现代商贸流通体系、推动批发零售业高质量发展专题新闻发布会. 中国政府网.
https://www.gov.cn/lianbo/fabu/202412/content_7008418.htm
- [55] Bai, L., Liu, M., & Sun, Y. (2023). Overview of Food Preservation and Traceability Technology in the Smart Cold Chain System. *Foods*, 12(15), 2881.
<https://doi.org/10.3390/foods12152881>
- [56] Chen, C., Fang, Y., & Wang, X. (2025). Evaluation of Nutrient Loss and Greenhouse Gas Emissions Caused by Food Loss and Waste in China. *Sustainability*, 17(16), 7341. <https://doi.org/10.3390/su17167341>
- [57] Southern University of Science and Technology & Peking University. (2023). *GEMS [Dataset]*. <https://gems.pku.edu.cn/home>
- [58] Naik, V., Szopa, S., Adhikary, B., Artaxo Netto, P. E., Berntsen, T., Collins, W. D., Fuzzi, S., Gallardo, L., Kiendler-Scharr, A., Klimont, Z., Liao, H., Unger, N., & Zanis, P. (2021). Short-lived climate forcers. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, Ö. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 817–922). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>

- [59] Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment*, 3(1), 168. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
- [60] Ohata, S., Koike, M., Yoshida, A., Moteki, N., Adachi, K., Oshima, N., Matsui, H., Eppers, O., Bozem, H., Zanatta, M., & Herber, A. B. (2021). Arctic black carbon during PAMARCIP 2018 and previous aircraft experiments in spring. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 21(20), 15861–15881. <https://doi.org/10.5194/acp-21-15861-2021>
- [61] Shen, X., Kong, L., Shi, Y., Cao, X., Li, X., Wu, B., Zhang, H., & Yao, Z. (2021). Multi-type Air Pollutant Emission Inventory of Non-road Mobile Sources in China for the Period 1990–2017. *Aerosol and Air Quality Research*, 21(9), 210003. <https://doi.org/10.4209/aaqr.210003>
- [62] Cui, C., Liu, Y., Chen, L., Liang, S., Shan, M., Zhao, J., Liu, Y., Yu, S., Sun, Y., Mao, J., Zhang, H., Gao, S., & Ma, Z. (2022). Assessing public health and economic loss associated with black carbon exposure using monitoring and MERRA-2 data. *Environmental Pollution*, 313, 120190. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120190>
- [63] Baumgartner, J., Zhang, Y., Schauer, J. J., Huang, W., Wang, Y., & Ezzati, M. (2014). Highway proximity and black carbon from cookstoves as a risk factor for higher blood pressure in rural China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(36), 13229–13234. <https://doi.org/10.1073/pnas.1317176111>
- [64] Gu, Y., Zhang, W., Yang, Y., Wang, C., Streets, D. G., & Yim, S. H. L. (2020). Assessing outdoor air quality and public health impact attributable to residential black carbon emissions in rural China. *Resources, Conservation and Recycling*, 159, 104812. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104812>
- [65] Ma, T., Zhang, S., Xiao, Y., Liu, X., Wang, M., Wu, K., Shen, G., Huang, C., Fang, Y. R., & Xie, Y. (2023). Costs and health benefits of the rural energy transition to carbon neutrality in China. *Nature Communications*, 14(1), 6101. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41707-7>
- [66] Wu, B., Wu, Z., Yao, Z., Li, J., Wang, W., Shen, X., & Hao, X. (2022). Multi-type emission factors quantification of black carbon from agricultural machinery based on the whole tillage processes in China. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 314, 120280. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120280>
- [67] Wang, X., Luo, X., Zhang, Y., Kang, S., Chen, P., & Niu, H. (2024). Black carbon: A general review of its sources, analytical methods, and environmental effects in snow and ice in the Tibetan Plateau. *Environmental Science and Pollution Research International*, 31(3), 3413–3424. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-31439-y>
- [68] Xing, R., Luo, Z., Zhang, W., Xiong, R., Jiang, K., Meng, W., Meng, J., Dai, H., Xue, B., Shen, H., & Shen, G. (2024). Household fuel and direct carbon emission disparity in rural China. *Environment International*, 185, 108549. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108549>
- [69] 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心. (2024, November 26). “清洁炉灶”专题研讨会在COP29中国角应对气候变化南南合作高级别论坛上成功举办. 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心. http://www.ncsc.org.cn/xwdt/gjxw/202411/t20241126_1096843.shtml
- [70] 贺克斌 & 周晓竺. (2025). 中国散煤综合治理研究报告2025 (p. 60). 北京大学能源研究院. https://download.wanwang.xin/contents/sitefiles2053/10269645/files/2971830..pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3D%25e4%25b8%25ad%25e5%259b%25bd%25e6%2595%25a3%25e7%2585%25a4%25e7%25bb%25bc%25e5%2590%2588%25e6%25b2%25bb%25e7%2590%2586%25e7%25a0%2594%25e7%25a9%25b6%25e6%258a%25a5%25e5%2591%258a2025_0918.pdf&auth_key=1763436323-0340144701014279a931195af7f5a1a2-0-5e11812fff54080ca52a3193cc9607ec
- [71] 杨俊峰. (2025, September 9). 《农业无人机行业白皮书（2024/2025）》发布. 人民日报海外版. https://paper.people.com.cn/rmrbhwb/pc/content/202509/09/content_30103958.html
- [72] Eldeeb, M. A., & Tawfik, A. M. (2023). A Well-to-Wheel Analysis to Estimate the Potential Environmental Impact of Converting Agricultural Tractors and Trucks to Electric in California and the United States. 320–332. <https://doi.org/10.1061/9780784484883.028>
- [73] Yu, L., Lin, B., Jin, S., & Wang, X. (2024). Health implications of cooking energy transition: Evidence from rural China. *Environmental Research Letters*, 19(12), 124048. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad8d6a>
- [74] Hao Feng, Zhen Yan, & Zhen Yan. (2025). Free From the Kitchen Fueled by Clean Energy: Women’s Employment and Nutritional Benefits in Rural China. *Agricultural Economics*. <https://doi.org/10.1111/agec.70075>
- [75] Zhang, C., Li, J., Li, C., Lin, P., Shi, L., & Xiao, B. (2025). Electrification and Smartification for Modern Tractors: A Review of Algorithms and Techniques. *Agriculture*, 15(18), 1943. <https://doi.org/10.3390/agriculture15181943>
- [76] 李斯吟 & 朱彤昕. (2025, April 29). 零碳录|中国地方甲烷减排行动进展速览 [微信公众号]. 对话2049. <https://mp.weixin.qq.com/s/77P0QlUEYAgGnre3DyiKMg>
- [77] 生态环境部. (2025, August 15). 温室气体自愿减排项目方法学纯农林生物质并网发电、热电联产（征求意见稿）. <https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk06/202510/W020251013728363970375.pdf>
- [78] 生态环境部. (2025, October 13). 温室气体自愿减排项目方法学农业废弃物集中处理工程（征求意见稿）. <https://www.mee.gov.cn/xxgk/xxgk06/202510/W020251013728363970375.pdf>
- [79] 朱彤昕, 马越, & 陈美安. (2025). 农食系统绿色低碳转型年度报告：农业农村低碳现代化的地方实践 (p. 41). 绿色创新发展研究院. <https://www.igdp.cn/wp-content/uploads/2025/06/2024-Annual-Report-Green-and-Low-Carbon-Agri-Food-System-Practices-in-China.pdf>
- [80] 新型农业经营主体调研组. (2024, April 24). 新型农业经营主体调研报告. 中国农村网. https://www.crnnews.net/pl/bwtg/962766_20240424022641.html
- [81] 农业农村部. (2025, October 18). 加强现代农事综合服务中心建设 推动健全便捷高效的农业社会化服务体系——农业农村部农村合作经济指导司负责人就《关于加强现代农事综合服务中心建设的指导意见》答记者问. 中华人民共和国中央人民政府. https://www.gov.cn/zhengce/202510/content_7044946.htm
- [82] 海阳. (2025, October 31). 与秋雨“抢粮”，河南玉米排队等烘干 [微信公众号]. 千篇一绿. https://mp.weixin.qq.com/s/_aW7ktGMLlgaaXE8CdwDNQ