

探路农食系统转型

中国农食系统应对气候变化实践年度报告2023



致谢：

衷心感谢以下专家为报告案例调研或报告审阅提供支持与建议（按姓氏首字母排列）：

陈庆隆 江西省正合农业农村碳中和研究院
褚 裕 PDT食物小站
何琪婧 气候友好稻作项目
胡小平 成都家园行动公益服务中心
蒋南青 青和新碳（北京）环境科技有限公司
李 颖 大自然保护协会
刘尚文 气候友好稻作项目
左 智 云南思力生态替代技术中心

感谢iGDP同事汪燕辉对案例调研的支持，杨鹂、陈思敏和姚喆对报告提供的建议和反馈，袁雅婷对报告设计协调的支持。

感谢张烨提供报告版面设计。

作者

陈美安 朱彤昕 于杨今奇 胡敏

免责声明：本报告内容均基于公开、可得、可靠的信息来源，旨在加强相关领域的讨论交流。报告中包含的内容及观点仅代表作者迄今为止的认识和判断，不代表参与专家及其所在机构观点。

引用建议：绿色创新发展研究院. (2023). 探路农食系统转型—中国农食系统应对气候变化实践年度报告. 北京：绿色创新发展研究院。

探路农食系统转型

中国农食系统应对气候变化实践年度报告2023

2023年11月



目录

背景	2
1. 农食系统与气候变化	3
2. 推动农食系统转型的行动进展	3
3. 目标	5
行动案例	6
行动:氮肥减量	7
案例1:科技助力精准施肥——减少化肥使用	7
案例2:瘦地变沃土——保护性耕作的推广	9
行动:动物肠道发酵减排	11
案例3:调整奶牛的餐盘——减少畜禽肠道发酵	11
行动:稻田甲烷减排	13
案例4:气候友好的水稻种植	13
行动:畜禽粪污管理	16
案例5:“禽粪”有为:畜禽粪污也是资源	16
行动:农机节能和电动化	18
案例6: 农机电动化初探——植保无人机和电动拖拉机	18
行动:食物加工节能降碳	21
案例7:食品加工制造的能效提升和能源替代	21
行动:交通低碳化	24
案例8:解决最先一公里——田间移动冷库	24
案例9:食物里程减碳——轻型货运电动化	26
行动:减塑和循环利用	28
案例10:临期食品的春天——商业创新减少食物浪费	28
案例11:食物包装减“塑”瘦身	30
行动:烹饪节能及电气化	32
案例12:电气化为中式烹饪的低碳和安全插上翅膀	32
行动:餐厨垃圾资源化利用	34
案例13: 残羹剩饭成抢手货,既能发电又能堆肥	34
行动:膳食和消费行为调整	37
案例14:“珠三角气候友好饮食倡导”:餐厅点菜如何助力食物减排	37



背景



1. 农食系统与气候变化

农食系统是人类为了满足食物需求所开展的农业生产、食品加工、包装、运输、零售以及消费的各个活动环节所组成的一个整体系统。其中既包括参与其中的农户、企业和政策制定者等利益相关方，也覆盖了不同参与主体所处的社会、经济和自然环境¹。

农食系统中参与主体的在不同环节下展开的与食物生产和消费相关的活动，无论是粮食种植、畜禽养殖、农用机械的使用，还是食物的加工、包装材料的使用以及冷链运输和食物烹饪等，也带来了温室气体的排放。在全球范围下，农食系统一年产生的温室气体已经占到总温室气体排放的1/3左右²。据估算，我国农食系统的排放在2019年也达到了16.5亿吨CO₂e，占当年温室气体排放14%³。

同时，由于气候变化导致的极端气候灾害的频发，也在加剧农业生产的波动性，并且对农业生产潜力带来挑战。在2008-2018年间，全球由于极端天气所带来的损失和破坏中有63%是发生在农业领域⁴。研究显示，受气候变化的影响，我国大米、小麦和玉米产量都将面临大幅下降的风险⁵。气候变化也从动物健康、生长环境、饲料质量等多个方面来影响畜禽生产力⁶。此外，气候变化对我国粮食安全也造成影响。由于气候变化导致粮食产量变化幅度在个别年份可达10%左右，同时也将增加农业灌溉用水，并可能导致单位面积粮食产量的下降⁷。同时，气候变化对于低收入的食物生产和消费者的冲击也更为显著，因为这些参与者在应对气候灾害以及获取安全和健康食物面临的挑战更大。

在此背景下，推动建立可持续的农食系统，不仅可以提高农食系统应对气候变化的韧性，同时对保证粮食安全、生物多样性的保护和公众健康改善都有着重要意义。一方面，可持续农食系统的发展可以转变对高度集约化农业生产以及化肥农药过度施用的依赖，为粮食生产提供更持续性的支持，并且缓解由于单一化种植和重度耕作对生物多样性的破坏。另一方面，可持续农食系统对食物安全和均衡膳食的推动也可以减少由于饮食结构带来的糖尿病和心血管疾病的发生，提供居民的健康水平⁸。

2. 推动农食系统转型的行动进展

在政策和技术的推动下，农食系统的减排和转型路径也逐渐清晰。无论是已经推广的测土配方、灌溉管理、畜禽粪污和餐厨垃圾资源化利用、垃圾分类和减少食物浪费行动，还是正在发展的绿色物流、精准农业等技术，都在影响着农食系统温室气体排放的变化，为农食系统的减排提供了机遇。

基于我国庞大的人口规模和有限的耕地面积，对农业生产和粮食安全的关注一直处在我国政策议程的核心位置。我国已经制定和实施的多项针对农业、农村可持续发展的行动，包括农业绿色发展、土壤保育、乡村振兴和保障粮食安全

¹ Nguyen, H. (2018). Sustainable food systems: Concept and framework. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/3/ca2079en/CA2079EN.pdf>

² Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., & Leip, A. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, 1–12.

³ 陈美安, 胡敏, 杨鹏, & 马中. (2022). 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. 工作论文. 北京：绿色创新发展中心（iGDP）

⁴ FAO. (2021). The Impact of Disaster and Crisis on Agriculture and Food Security. Food and Agriculture Organization.

⁵ Ahmed, J., Almeida, E., Aminetzah, D., Denis, N., Henderson, K., Katz, J., Kitchel, H., & Mannion, P. (2020). Agriculture and climate change: Reducing emissions through improved farming practices. McKinsey & Company.

⁶ 梁红, 陈美安, 胡敏, 吴宛忆, & 耿浩淼. (2022). 畅想农业碳中和——一场新的绿色革命. 高瓴产业与创新研究院, 北京绿色金融与可持续发展研究, 绿色创新发展中心（iGDP）

⁷ 刘立涛, 刘晓洁, 伦飞, 吴良, 鲁春霞, 郭金花, 曲婷婷, 刘刚, 沈镭, & 成升魁. (2018). 全球气候变化下的中国粮食安全问题研究. *自然资源学报*, 33(6), 927–939.

⁸ Tilman, D., & Clark, M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515(7528), 518–522.

等战略和政策。从2004年开始中共中央国务院每年发布以三农（农业、农村、农民）为主题的“中央一号文件”，部署农业农村的工作安排。2017年“中央一号文件”已经提出“促进农业农村发展由过度依赖资源消耗、主要满足量的需求，向追求绿色生态可持续、更加注重满足质的需求转变”⁹。在2021年发布的“中央一号文件”中，文件中将农业绿色发展作为推进农业现代化的重要内容之一，提到要守住18亿亩耕地红线¹⁰。针对粮食安全问题，我国在2019年发布的《中国粮食安全》白皮书中强调在有限耕地面积的情况下，粮食生产能力的提高除了需要保护耕地红线，还需要提升耕地质量和保护生态环境，而对农业技术的推广应用也将为粮食增长发挥作用¹¹。

此外，针对食物的加工、运输和消费环节的排放，我国也有包括工业节能、绿色低碳交通和废弃物管理等减排措施。尽管这些行动的首要目标并非是温室气体减排，也对农食系统碳减排带来积极贡献。按照农食系统不同环节的主要排放源，下表梳理了该环节下对食物相关温室气体减排带来影响的政策。

表 1. 推动农食系统减排和转型的政策

	主要排放源	推动农食系统减排和转型行动	相关政策文件
农业生产	氮肥施用	推进化肥农药减量增效和有机肥替代；构建果菜茶有机肥替代化肥长效机制，对有机肥购买和使用提供补贴。	《全国农业可持续发展规划（2015-2030）》 《关于加快推进农用地膜污染防治的意见》 《“十三五”控制温室气体排放工作方案》 《“十四五”全国农业绿色发展规划》 《耕地质量提升与保护方案》 《关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》 《数字农业农村发展规划（2019-2025）》 《中共中央国务院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》 《2030年前碳达峰行动方案》 《农业农村减排固碳实施方案》
	水稻种植	选育高产低排放良种，改善水分和肥料管理。 通过合理的农田管理措施，提高农业固碳能力。	
	畜禽养殖	加强畜禽粪污的资源化利用。 推广低蛋白日粮、全株青贮等技术和高产低排放畜禽品种。	
	农用机械	推动种植业、畜牧业和渔业的信息、智能化和智慧化。 绿色农用机械应用推广，支持农业绿色发展机具、智能装备纳入农机购置补贴范围。	
	农业投入品生产（农药、化肥和农膜）	推进农膜回收利用和推广环境友好生物可降解地膜；化肥农药零增长政策。	
农场到餐桌	食物加工	食品加工业能效提升。	《关于加快我国包装产业转型发展的指导意见》 《“十四五”循环经济发展规划》 《关于加快发展冷链物流保障食品安全促进消费升级的意见》 《“十四五”全国农业绿色发展规划》 《基加利修订案》《绿色高效制冷方案》 《十四五现代能源体系规划》 《“十四五”冷链物流发展规划》
	食物包装	推动绿色包装，2025年电商快件基本实现不再二次包装，可循环快递包装应用规模达1000万个。	
	食物运输	发展农产品绿色低碳运输。	
	食物零售	提升商用冷柜、冷藏陈列柜的能效水平。促进低温室效应潜能值（GWP）制冷剂的推广应用。	
食物消费	食物烹饪	引导炊事用能向电气化发展。 加快农村取暖炊事、农业及农产品加工设施等可再生能源替代。	《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》 《减污降碳协同增效实施方案》 《生活垃圾分类制度实施方案》 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》 《中国食物与营养发展纲要（2014—2020年）》 《中华人民共和国反食品浪费法》 《中国居民膳食指南》
	餐厨垃圾处理	生活垃圾分类和餐厨垃圾资源化利用。 减少食物浪费，制定和修改有关国家标准、行业标准和地方标准来最大程度防止和减少浪费。	
		调整居民膳食结构，推广膳食结构多样化的健康消费模式。	

⁹ 2017年中央一号文件。 http://www.gov.cn/xinwen/2017-02/05/content_5165613.htm

¹⁰ 2021年中央一号文件。 http://www.gov.cn/zhengce/2021-02/21/content_5588098.htm

¹¹ 国务院新闻办公室。 (2019). 《中国的粮食安全》白皮书。 http://www.gov.cn/zhengce/2019-10/14/content_5439410.htm

3. 目标

本报告旨在对中国推动农食系统可持续转型的实践案例进行收录和分析，探索农食系统中不同的参与主体，例如政府、企业、农户或者民间机构，如何通过机制设计和创新来推动农食系统向气候友好和可持续发展方向转型。案例选择基于此前工作论文中已识别的农食系统重点减排行动（见表 2），并在具体减排行动下发掘我国已有的案例实践，同时也对案例推广所需的关键要素进行了初步的总结。

表 2. 农食系统重点减排行动及相关案例

优先行动	主要措施	2050减排贡献	收录案例实践
农业生产			
氮肥减量	采用氮肥增效剂,缓释肥,继续推广测土配方和保护性耕作。	10%	案例1: 科技助力精准施肥 案例2: 瘦地变沃土——保护性耕作的推广
畜禽粪污管理	沼气资源利用:通过回收畜禽粪污厌氧发酵产生的沼气,沼气发电和制成生物天然气。	11%	案例3: “禽粪”有为——畜禽粪污也是资源
稻田甲烷减排	调整稻田灌溉模式,采取干湿交替灌溉;推广水稻直播早种。	6.6%	案例4: 气候友好的水稻种植
反刍动物肠道发酵减排	通过动物育种,以及在饲料中添加辅料来减少甲烷排放。	3%	案例5: 调整奶牛的餐盘——减少畜禽肠道发酵
农机节能和电动化	提高农机能效提升,推动中小型农机的电动化。	5.8%	案例6: 农机电动化初探——无人植保机和电动拖拉机
农场到餐桌			
食品加工节能降碳	食品加工的能效提升和能源替代。	5%	案例7: 食品加工制造的能效提升和能源替代
交通低碳化	交通能效提升,推动轻型货运电动化和低GWP值制冷剂的使用。	7%	案例8: 解决最先一公里——田间移动冷库 案例9: 食物里程减碳——轻型货运电动化
减塑和循环利用	简化包装,采用可回收包装和可降解包装材料。	2.8%	案例10: 临期食品的春天:商业创新减少食物浪费 案例11: 食物包装减“塑”瘦身
食物消费			
烹饪节能及电气化	推动烹饪节能和炊事电气化	12.8%	案例12: 电气化为中式烹饪的低碳和安全插上翅膀
餐厨垃圾资源化利用	继续推广垃圾分类,通过餐厨垃圾厌氧消化进行沼气回收利用。	5%	案例13: 残羹剩饭成抢手货,既能发电又能堆肥
膳食和消费行为调整*	推广居民膳食指南,倡导本地食物消费。	-	案例14: “珠三角气候友好饮食倡导”——餐厅点菜助力食物减排

*注: 膳食调整主要指减少动物性食物摄入及鼓励本地食物消费,其减排量主要体现为两个方面,一是农业生产,尤其是畜牧业相关的排放,二是食品运输相关的排放。考虑到行为改变的不确定性较大,此处不做定量分析。诸多研究表明,减少动物性食物摄入会带来显著的减排贡献,应加强重视。



行动案例



行动：氮肥减量

减排潜力：

10%



具体实践：

推动化肥减量增效和改善土壤健康。



案例1：科技助力精准施肥——减少化肥使用

尽管化肥对促进农作物生产和农产品增收上有重要贡献，但是过量化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 N_2O 排放，同时也导致土壤有机质的下降、土壤的酸化和板结。当前我国也在加大力度推进化肥农药减量增效，深入实施测土配方施肥。测土配方即基于土壤养分的需求进行合适施肥来避免过度施肥以及肥料利用率低。实际上我国早在2005年就开始推广测土配方，确保土壤肥力。统计数据显示，我国农用化肥施用量从2015年开始缓慢下降，从2015年6022万吨下降到2021年的5191万吨，但是2021年我国化肥施用强度在307千克/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。

随着智慧农业的兴起，大数据、遥感无人机等信息化技术在农作物精准种植和管理中得以应用和推广。例如通过传感器来收集土壤、农作物的信息以及天气、温度等环境数据，然后通过大数据分析来为农户提供种植、灌溉施肥等建议，从而能够提高产量、节能资源。我国发布《数字农业农村发展规划（2019-2025）》和《“十四五”推进农业农村现代化规划》中也都提到发展智慧农业的重要性。

中化化肥公司，在农业部支持下，从2014年以来，在全国推出了以智能配肥机为主的智能配肥服务站，进行精准的测土配肥¹²。农户可以通过与互联网智能配肥终端对应的应用软件。输入种植信息并提供测土图样，配肥机可以进行快速测土，并且将测土结果传送到云端。云服务器根据测土结果计算出种植方案、所需的肥料配方和价格，最终生成配肥订单发送到农户的智能手机上¹³。经过智能配肥的化肥由于直接从工厂到农民手中，节省了流通环节的加价。测算显示，智能配肥系统可直接减少施肥量和成本投入10%~30%，同时作物增产5%以上，服务农民增收10%以上¹⁴。

另一个的例子来自极飞科技智慧农业设备在江苏盐城步凤镇的银宝高新公司的无人种植示范农场¹⁵。农场的5000亩农田

图 1. 水稻田上方作业的植保无人机



图片来源: viya0414在Pixabay上发布

由三人的管理团队运行。在播种前，使用遥感无人机对农田进行平地测绘，获得高清地图，包括农田面积、地势情况等信息，并且基于这些信息对地块进行精细化管理。在水稻生育期的时候，遥感无人机可以结合AI模型对水稻的长势进行分析、识别基本苗，并对病虫害进行监测。同时在田埂上安装带有传感器的农田智能相机，可以获得土壤的湿度和温度等方面的数据来提醒农户进行各项工作¹⁶。另外在稻田需要打药施肥的时候，由无人机代替人工进行精准施肥和农药喷洒¹⁷。在智慧农业的管理下，比传统生产模式相比，农场单位面积的农作物使用的农药化肥减少了10%，农作物的产量增加了10%左右¹⁸。此外，与传统全年稻麦两季的纯收入500-600元/亩相比，采用智慧农业系统的种植单季的小麦收益就达到了400元/亩¹⁹。

案例推广的关键要素：

- 农田土壤数据的收集和更新是精准施肥的基础，因此需要定期对土壤养分的测试分析和数据更新来选择养分适合的肥料。
- 智慧农业作为技术和知识密集型的产业需要掌握现代农业生产技能和操作现代化农业设备的农户的参与，因此对农户进行技术培训和吸引年轻农户的加入是关键。
- 由于智能监测和遥感设备成本不低，基于中国农业小农为主的现状，因此推动适度推动适度的土地流转和农业的产业化经营可以降低单位成本。

¹² 农民日报. (2016). 共筑减量新局面谱写增效新篇章. <http://www.sinofert.com/s/4368-12223-56364.html>

¹³ 第一财经. (2016). 中国农民尝鲜精准农业 在手机上完成智能施肥. <https://www.yicai.com/news/5003423.html>

¹⁴ 农民日报. (2016). 测土配肥一键下单精准施肥手机操控. <http://www.sinochem.com.cn/s/1375-5662-19811.html>

¹⁵ 森宁. (2022). 3名90后玩转江苏5千亩农田:用智慧农业系统“耕种管收”. 澎湃新闻. https://m.thepaper.cn/newsDetail_forward_19944206

¹⁶ 张晔, 吴婷. (2022). “开”着飞机干农活——数字技术让农业更智慧. 科技日报. http://www.news.cn/fortune/2022-09/21/c_1129018878.htm

¹⁷ 同上

¹⁸ 极飞科技. (2023). 极飞科技企业社会责任报告2022. <https://www.xa.com/about/csr>

¹⁹ 张晔, 吴婷. (2022). “开”着飞机干农活——数字技术让农业更智慧. 科技日报. http://www.news.cn/fortune/2022-09/21/c_1129018878.htm

案例2: 瘦地变沃土——保护性耕作的推广

在提高农业应对气候变化的韧性中，恢复土壤的肥力和改善土壤健康不仅可以减少农药化肥的施用，还可以提高农田土壤的固碳能力。在全球不同地区，一种基于土地可持续利用，以实现农业可自我再生为主要目标的系统性农业生产管理模式——再生农业，开始得到推广。

再生农业以“土壤健康”为核心，通过基于自然的解决方案，最大化光合作用，提高土壤有机质（有机碳），将空气中的碳固定到土壤里。再生农业拥有五大核心原则：最小土壤扰动、最大化生物多样性、保持土壤覆盖、保持全年活根、引入牲畜。其主要措施包括有保护性耕作（免耕少耕）、多样化种植（轮作、间混套作等）、采用覆盖作物和整体计划放牧（种植养殖在同一土地上，小斑块轮牧）等²⁰。尽管我国没有应用再生农业的理念来管理农业生产实践，但是已有的一些农业生产方式也符合再生农业的概念。以再生农业中的主要技术措施——采用免耕少耕和秸秆覆盖为主要特点的保护性耕作为例，我国从20世纪60年代开始，在黑龙江的国营农场已经开始试验小麦免耕播种。2005年，“中央一号文件”将发展保护性耕作上升为国家政策²¹。2020年，我国发布《东北黑土地保护性耕作行动计划（2020-2025）》，将东北地区推行保护性耕作上升为国家行动²²。目前保护性耕作在我国东北地区和黄淮海地区均有推广。

东北黑土地是世界上最肥沃的土壤类型之一，这里的粮食产量占全国总量四分之一，对国家粮食安全至关重要。然而这片黑土地在被开垦以来，黑土层从50厘米下降到30厘米，有机质含量也下降了三分之一，生产力下降了20%²³。2006年吉林省获得了保护性耕作技术立项支持，同时省财政也设立了农机化新技术推广专项资金，开始推进保护性耕作的推广落地。

2007年，中国科学院联合吉林省梨树县农业技术推广总站、以及吉林省的土壤肥料工作总站建立了“中国科学院保护性耕作研发基地”，在当地进行了15年地研究监控，探索出了一套技术模式和配套机具（“梨树模式”）。保护性耕作可以有效遏制土壤退化。梨树试点项目发现，2007年到2018年间，土壤有机质从22.5g/kg增加至24g/kg。秸秆覆盖还田还增加了氮磷钾等养分在耕层的积累和活性，增加了土壤养分供应能力。土壤结构和土壤生物多样性都得到了提高，蓄水抗旱能力增强²⁴。2020年东北黑土保护性耕作实施面积达到了四千万亩。除了减排与环境效益，保护性耕作还可增产增收。2017年，梨树试验基地增产约1000千克/公顷，大约增加收入1400元。保护性耕作还将氮肥利用率提高4.7%。减少了化肥使用，农机进地的次数、燃油消耗和劳动力成本，平均每公顷节省成本1650元²⁵。

作为我国粮食主产区的黄淮海平原，在过去的40多年来，尽管这一地区的冬小麦产量从每公顷2.6吨提高到5.7吨左右，但是冬小麦—夏玉米的集约种植方式也让该地区面临着耕地质量下降和水资源缺乏的问题。2020年5月，由农业农村部农业机械化总站、先正达集团中国、中国农业大学和大自然保护协会（TNC）等共同启动了“润田”项目，项目依托农业技术服务平台MAP（Modern Agriculture Platform），在黄淮海地区开展冬小麦保护性耕作技术试验与示范。保护性耕作的技术要点在于：在作物茬秸秆覆盖下，一次性完成播种、施肥和镇压作业。与传统耕作方式相比，节省了三次左右的农机作业次数，降低了农户的种粮成本和时间²⁶。通过推广保护性耕作，这一地区小麦-玉米两熟区水资源和养分利用效率都提到了提高。2020至2022年试验数据表明²⁷，与当地传统耕作方式相比，保护性耕作可以提高土壤肥

²⁰ 韩明会, 李保国, 张丹, & 李颖. (2021). 再生农业——基于土地保护性利用的可持续农业. 中国农业科学, 54(5), 1003-1016.

²¹ 敖曼, 张旭东, & 关义新. (2021). 东北黑土保护性耕作技术的研究与实践. 中国科学院院刊, 36(10), 1203-1215.

²² 科技日报. (2020). 东北地区保护性耕作上升为国家行动

²³ 重庆晨报. (2022). 专家称东北黑土地生产力下降20% 变薄、变瘦、变硬的黑土. http://henan.china.com.cn/m/2022-06/16/content_42004701.html

²⁴ 敖曼, 张旭东, & 关义新. (2021). 东北黑土保护性耕作技术的研究与实践. 中国科学院院刊, 36(10), 1203-1215.

²⁵ 同上

²⁶ 黄淮海地区冬小麦传统耕作方式：三到五次的农事作业，包括秸秆粉碎、秸秆旋耕还田、撒施化肥、整地播种和播后镇压等。

²⁷ 试验数据来源于河北省藁城县、河北省任县、河南省临颖县、安徽省阜南县四个小型对照试验田（<5亩），试验设计、数据收集及分析由中国农业大学完成。

图 2. TNC工作人员及相关人员参加黄淮海地区冬小麦保护性耕作现场观摩活动



图片来源：TNC新闻中心

力，0-40厘米土层土壤全氮、全磷含量增加约13%和10%，土壤有机碳储量增加约7%；同时还提高了约7%土壤水分储存。示范项目也显示，保护性耕作与传统耕作小麦产量持平或略增，最终农民生产成本降低、净效益增加。同时，由于减少了农机进地的次数，也可以同步减少约58%化石燃料的使用和60%的温室气体排放量。

保护性耕作是基于自然的、保护土壤生态系统健康的、最有效的可持续耕地管理方案之一。这种耕作模式能够将土壤侵蚀和机械扰动降到最低，实现保护和培育土壤。在保证作物丰产、农民增收的同时，促进土壤健康和农田生态系统良性循环，对提高该地区土壤健康、降低农田耗水、改善生态系统、提高农民收益和促进农业可持续发展具有重要的理论和实践意义。

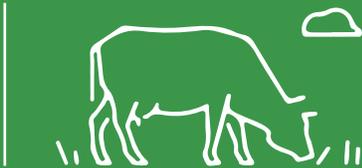
案例推广的关键要素：

- 政府、研究机构和企业共同参与可以从不同的维度为保护性耕作的示范和推广提供支持。
- 保护性耕作需要农机农艺相结合，包括品种选择、种植密度、施肥方案、植保方案、收获方式等，更需要跨学科专家人才提供因地制宜的解决方案。
- 对农户进行能力建设，转变其传统精耕细作的理念；对再生农业的理念、实践及效果的信息分享可以促进农户的参与。
- 实施保护性耕作措施对所需的机械设备有很高要求，加快对专用设备的研发可以推动实践得到更多推广。

行动：动物肠道发酵减排

减排潜力：

3%



具体实践：

调整反刍动物饲料结构



案例3：调整奶牛的餐盘——减少畜禽肠道发酵

来自肉牛、奶牛、山羊等反刍动物肠道微生物在分解和发酵食物的过程中通过打嗝放屁也带来大量甲烷排放。2020年，全球反刍动物的甲烷排放达到28亿吨CO₂e，占当年全球农食系统温室气体排放的17.5%²⁸。

国内外的研究实践也在识别可以减少反刍动物甲烷排放的不同方案，包括改善饲料结构，调整日粮精粗比，对粗饲料进行青贮处理；或者寻找可以抑制反刍动物甲烷形成的饲料添加剂。以调整饲料精粗比为例，在粗料均为玉米秸秆青

²⁸ FAO. (2022). Greenhouse gas emissions from agrifood systems: Global, regional and country trends, 2000–2020. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/3/cc2672en/cc2672en.pdf>

贮条件下，精粗比60:40的日粮产生的甲烷比精粗比40:60的日粮减少了21%²⁹。一项针对不同比例青贮玉米和甜高粱组合对反刍动物甲烷排放研究推荐青贮玉米与甜高粱组合的比例为5:5，饲粮吸收效果较好且甲烷产量较低³⁰。

图 3. 内蒙古赤峰市村民制作青贮饲料



图片来源：姚喆

通过在盐碱地上种植耐盐作物——甜高粱，并将其与玉米混合制成青贮饲料用于畜牧养殖，在提高土地利用率和缓解牧草短缺的同时，也提高了饲粮吸收率和减少甲烷排放。这样的种植和饲养方式正在江苏省北部的5000亩盐碱地上得到试验和推广。随着肉类和奶类消费需求的增加，一些大型牛奶生产企业在江苏沿海设立了大型养殖场。奶牛饲料大多以青贮玉米为主，由于本地的盐碱地的玉米产量低，过去畜牧企业面临本地牧草短缺的情况。现在通过当地的沿海滩涂盐碱地上混种适合不同盐碱度的甜高粱和青贮玉米，混收以后进行全株混合裹包青贮，再将青贮饲料送到养殖场，添加上必要的营养素辅料后成为奶牛的日粮。经过处理的青贮饲料可消化养分高，同时改善奶牛乳品质³¹。数据显示，采用甜高粱和青贮玉米混种模式每亩收入达3000元左右，亩

总效益增加24%，并且这种全混日粮的奶牛乳产量提高了11%，甲烷也有所下降³²。

甲烷减排是盐碱地高粱种植带来的协同效应——这一种植方式在对提高我国盐碱地的利用率以及牧草质量的同时也带来了甲烷减排。我国在西北、东北和华北等17个省区有大约15亿亩的盐碱地，通过开发和种植适合盐碱地的高耐盐甜高粱品种，并进行青贮发酵形成优质的青贮牧草，能够缓解我国饲料资源紧张的问题。目前这一种植方式也在新疆、内蒙古、山东和江苏进行试验³³。不过需要注意的是，甜高粱作为饲料利用也还存在一些挑战，例如淀粉含量比玉米低，以及高单宁和干物质含量对喂饲的影响仍有待探讨³⁴。

案例推广的关键要素：

- 基于当地的地理条件和畜禽养殖规模来考虑类似的种植方式。在盐碱地多且有一定规模的畜禽养殖条件下，种植能够适应干旱条件的甜高粱，并且将其制作成青贮来替代青贮玉米，并且提供给当地的畜禽养殖场，可以同时产生环境和经济效益。

²⁹ 娜仁花, 董红敏, 陈永杏, & 周忠凯. (2011). 日粮精粗比对瘤胃发酵特性的影响. 中国畜牧杂志, 47(9), 49-54

³⁰ 童殷迪, 徐志鹏, 玉霞, 侯振平, 张雪蕾, 刘大林, & 吴端钦. (2022). 不同比例青贮玉米和甜高粱组合对体外瘤胃发酵产气量、甲烷、氢气和挥发性脂肪酸生成的影响. 中国饲料. (7), 13-18.

³¹ 张晔. (2022). 甜高粱配青玉米，盐碱地上种出优质青贮饲料. 解放日报. http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2022-12/12/content_545946.htm?div=-1

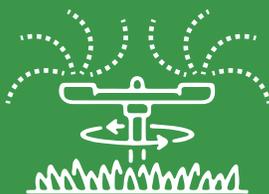
³² 同上

³³ 刘苏雅. (2023). 甜蜜事业：“候鸟式”科研，让盐碱地“开花”，高粱成甜秆儿. 北京日报. <https://news.bjd.com.cn/2023/01/12/10298450.shtml>

³⁴ 中国科学院遗传与发育生物学研究所. (2019). 甜高粱加反刍动物：现代高效可持续农业的新模式. http://www.genetics.cas.cn/dzqk/2019/04/01/kyjz/201904/t20190418_5277308.html

行动：稻田甲烷减排

减排潜力：**7%**



具体实践：
调整稻田灌溉模式，研发气候友好水稻品种



案例4：气候友好的水稻种植

水稻作为我国主要粮食作物之一，在不同区域广泛种植。在水稻种植过程中，其淹水土壤条件中的有机物被产甲烷菌分解时产生的甲烷排放是我国农业温室气体的主要排放源之一。近年我国不同地区也在探索如何进行更加气候友好型的水稻种植。例如通过灌溉方式和播种方式的调整来减少土壤淹水时间来控制甲烷排放，或者是种植和选育合适的水稻品种来减少水稻种植的需水量。

选取合适的旱稻品种进行直播旱种——即直接在整理好的土地上进行播种，并采取定期浇灌方式的种植，由于减少稻田淹水面积和时间，可以减少在淹水土壤条件所产生的甲烷排放以及种植水稻需要的水资源。并且也省去了在育秧和移栽环节所需要的人力投入。针对全球不同类型水稻耕种方式的研究显示，在传统耕作中采取水稻直播旱种的模式下，在不减少产量的同时，可以显著减少农田甲烷排放³⁵。在云南山地地区，近年受气候变化影响，干旱出现的频次和程度也在加剧。当地一支关注农业气候变化的团队也对水稻直播旱种进行了尝试，探讨能够适应干旱条件的气候友好型水稻种植方式。通过与当地的农技推广中心以及农户合作，选取高产低排放的水稻品种来尝试直播旱种。

此外，在云南和四川山地地区的一些乡村，也有通过开沟起垄的方式来进行水稻旱作——通过在平整好的田地里开挖形成的长条形土堆（即垄）的上面进行水稻种植，而在垄和垄之间较为低洼的地方（即垄沟）上进行灌溉，可以大幅减少稻田与水接触的时间并进而减少甲烷排放³⁶。以四川简阳地区的一个村庄为例，农户正在通过

图 4. 四川简阳踏水镇寨子村的水稻开沟起垄



图片来源：iGDP团队调研拍摄

覆盖免耕和开沟起垄的方式来种植水稻。在水稻种植前采用免耕方式减少对土壤的扰动，在种植过程中采用开沟起垄减少水稻淹水时间，同时用菜籽饼来作为肥料替代化肥，并且采用当地的菜籽壳做覆盖来增温保湿。由于受访农户的水稻种植多用于自己食用，因此水稻种植规模均在1-2亩左右。

除了通过对播种和灌溉方式调整来减少稻田甲烷排放，运用科技手段的探索也在进行中。在浙江嘉善县西塘县，由中国水稻研究所和阿里云联合开发的低碳稻作技术正应用在竹小汇低碳智慧农田示范方项目。项目规模在400亩农田左右，通过对农田安装多种物联传感设备、高精度定位和无人化操作，来对水稻农田进行全过程管理，包括对每一块水稻田进行精准灌溉。系统将根据水稻生长阶段设置相应的水位线标准，自动调整进出水量。在采用新技术方案后，农田的亩均用水量已经从原先的400方左右减少到230方，甲烷排放比传统模式有所减少³⁷。

另外，上海农业生物基因中心科研团队也通过其研发的节水抗旱稻品种，既减少灌溉用水也减少了稻田甲烷排放。新品种可以和水稻一样采用水种旱管，也可像小麦一样采用旱种旱管。并且只需要在出苗、分裂和孕穗灌浆三个阶段的进行三次灌溉，并能实现亩产600公斤以上³⁸。此外，由于节水抗旱稻不需要在稻田里建立水层，因

³⁵ Chakraborty, D., Ladha, J. K., Rana, D. S., Jat, M. L., Gathala, M. K., Yadav, S., Rao, A. N., Ramesha, M. S., & Raman, A. (2017). A global analysis of alternative tillage and crop establishment practices for economically and environmentally efficient rice production. *Scientific Reports*, 7(1), 1–11.

³⁶ 夏志坚. (2023). 稻田甲烷减排：中国水稻种植正在发生的变化. 中外对话. <https://chinadiologue.net/zh/5/96736/>

³⁷ 祝梅. (2022). 嘉善一块约400亩的农田示范方证明——智慧稻田，碳排放可减少20%. 浙江日报. https://zjnews.zjol.com.cn/zjnews/202209/t20220922_24832448.shtml

³⁸ 胡立刚, 冯克, 李纯. (2021). 稻水矛盾，破解何方？ 农民日报社. http://www.news.cn/zgjx/2022-11/01/c_1310667918_2.htm

此可以降低甲烷排放。新品种在安徽省望江、怀远等7个县进行了种植，数据显示7个县的稻田甲烷排放比水田相比有大幅下降³⁹。

无论是水稻品种、播种方式和灌溉管理的选择，都需要与当地的地理条件和气候环境相结合，并且能够回应农户在农业生产中的实际需求。

案例实践推广的关键要素：

- 农户对于气候友好的稻田种植方式的接受和采用是关键。在种植方式的推广中需要考虑和回应农户的实际需求，包括对作物产量、劳动力投入、病虫害防治以及最后成本收益的影响。在此基础上对有意愿的农户进行培训可以推动更多农户的参与。
- 土地适度规模化将有助于智慧农田的推广，在通过土地托管和土地流转方式形成的“大田”上采用这些技术的单位成本将下降，也更容易形成规模效应。

³⁹ 文汇报. (2022). 节水抗旱稻掀起水稻“蓝色革命” 碳排放减少90%以上. http://henan.china.com.cn/m/2022-09/01/content_42092270.html

行动：畜禽粪污管理

减排潜力：

11%



具体实践：

畜禽粪污资源化利用



案例5：“禽粪”有为：畜禽粪污也是资源

早在上世纪90年代开始，我国南方便以户用沼气为纽带实践“猪沼果”生态农业模式，把农村的养殖畜牧与种植结合起来。养殖畜禽和农民生活的粪污进入沼气池，厌氧发酵后获得沼气、沼渣和沼液，沼气可用于农民做饭、烧水和照明等，沼渣和沼液用作果蔬的肥料⁴⁰。随着中国农业的规模化、集约化发展和生活水平的提高带来的动物蛋白的需求增长，基于原有模式下的畜禽养殖废弃物利用技术水平及装备落后，养殖场产生的粪污也远超农田自身消纳能力，不仅造成农废资源的大量浪费，也污染了生态环境。

名为江西正合环保集团（以下简称正合集团）的企业创立了“N2N”生态循环农业模式，该模式在政府一系列土地、资金

⁴⁰ 科普中国. (2021). “猪沼果”模式新发现，治理小流域生态显奇功，受各方推荐. https://www.kepuchina.cn/more/202107/t20210712_2994829.shtml

政策的支持和资源整合下，以县域为单位整县推进，以农业废弃物无害化处理中心和有机肥生产中心为核心，通过对上游N家养殖企业粪污全量化收集处理，在生产端可提供沼气发电、生活端可沼气供气、并为N家下游种植场提供有机肥等方式构建绿色循环产业链，为政府一揽子解决农业面源污染问题。

正合集团早期业务是沼气工程承包商，在经营过程中发现养殖场对由第三方进行畜禽粪污专业化处理的需求遂创立N2N模式，转型初期以重资产投资为主，每个项目的场地、设备等需要4-5000万左右，一定程度上限制了N2N模式在江西省的推广。因此正合集团调整投资模式，与地方城投合资，进行轻资产投资，促进项目在更多县域整县推进。

正合集团在南昌市流湖镇投建生态农业科技园，对南昌市红谷滩区和新建区229家规模化养殖场实行生态改造，联动农村厕所和公共厕所粪污，实现人畜粪污共治。人畜粪污由密闭运输车全量化收集至处理中心进行厌氧发酵，产生沼气用于园区自用电，沼液沼渣制造商品有机肥用于销售。园区每年处理粪污30万吨，产生沼气500万立方米，发电1000万度；生产各种固态有机肥2万吨，沼液肥26万吨，土壤调理剂1000吨。年产沼气可替代标准煤7400吨，减排二氧化碳1.8万吨，沼肥利用相当于减少化肥施用1万吨。此外，正合集团同步流转流湖生态园周边的五百亩土地，与江西省农业技术推广中心、江西农科院、南昌大学等联合建立农业农村碳中和碳达峰科创平台，促进农业降碳技术、沼气替代化石能源及有机肥改良土壤固碳等落地和推广，为各地区农业低碳转型提供借鉴⁴¹。

正合集团在江西全省有10余个项目正在运行或筹备，在N2N模式之下，有些项目结合江西当地情况，涵盖废弃稀土尾矿地复垦复绿元素，使用沼液肥帮助废弃尾矿地恢复有机质后种植皇竹草，既可以用作饲料也可以作为沼气的原料，经过一段时间后土壤生态系统逐渐恢复。项目在产生经济效益的同时具有区域生态修复治理效果。

案例推广的关键要素：

- 在县域内整县推进畜禽粪污资源化利用涉及众多环节和相关方，离不开政府对资源的整合和政策支持。
- 因地制宜，基于不同县域的产业布局特点，节约化、阶梯利用、协同处理农业废弃物和居民生活废弃物，提高设施设备的利用率和资源利用效率。
- 转变投资模式，以轻资产投资为主，减轻企业的投资压力，提高推广的可能性。
- 充分联动县域内上下游的养殖企业和种植企业，获得稳定的粪源供应并充分消纳生产的有机肥。

图 5. 生态农业科技园车间里正在堆肥腐熟的有机肥



图片来源：iGDP团队调研拍摄

⁴¹ 数据及信息来自受访者提供

行动：农机节能和电动化

减排潜力：

6%



具体实践：

推动中小型农机电动化



案例5：农机电动化初探

以清洁燃料和新能源为动力的农用机械的应用不仅可以减少化石燃料燃烧带来的排放和环境污染，同时也可以降低农户劳动强度。我国耕地由于地块分散、多山地丘陵，对于农业的机械化和电动化发展都带来一定挑战。但是随着我国绿色低碳发展和农业农村现代化的推进，对于推动农机电动化所面临挑战的探索也在继续。

电动植保无人机目前在我国农业生产中正在被逐渐应用和推广，我国植保机大约97%为电动无人机⁴²。与传统地面机械相比，植保无人机可以通过地面遥控或者导航飞控来实现种子授粉、农药和化肥施用，并且可以通过搭载设备来

⁴² 张希颖, & 胡睿. (2018). 从美国、日本经验浅评中国植保无人机的发展. 对外经贸实务, (2), 26-29.

实现对农作物病虫害和生长情况的监控。这一灵活高效低空作业方式不仅可以节约人力成本、减少农药和用水量，还可以实现人机分离，操作人员因为减少与农药的接触而更加安全⁴³。

水稻、小麦等大田作物由于种植地块比较平整，方便植保机作用，因此目前植保机在这类大田作物应用较多。而大田最多的黑龙江省也成为植保无人机保有量的大省⁴⁴。在东北黑龙江的宝清县，当地提供植保飞防作业的飞手，会用自己购买的电动植保无人机，为周边农户提供农药喷洒服务。作业价格在6-8元每亩。由于无人机电池每次飞行时间不长，飞手还会带上发电机，便于电池充电⁴⁵。

由于很多发电机采用柴油进行充电，容易带来环境污染，因此现在也出现了针对无人机的充电宝。在江苏连云港的一个农场，由国网江苏电力研发的无人机充电宝已经开始为稻田作业的植保无人机提供充电服务。和柴油发电机0.3元/亩相比，充电成本不到0.1元/亩⁴⁶。该无人机充电宝是一个移动的储能方舱，由56个磷酸铁锂电池组成，总容量为56.3千瓦时，相当于2253块智能手机电池的容量。舱内装有慢充和快充4个接口，可同时满足四台植保无人机等农用电动机械的户外充电需求。在快速充电模式下，一块植保无人机电池最快仅10分钟就能充满电⁴⁷。

但是对于农户而言，电动植保无人机的费用也不低，价格一般在5-10万元之间。因此无人机生产商会通过和农资经销商合作社合作来提供植保服务运营，无人机生产商提供无人机供应和维修，并且培训专业的植保飞手，农业服务商提供植保作业，农药经销商提供药剂和技术指导⁴⁸。另一方面，农户也可以在不同的平台上通过预约无人机植保服务来获取服务⁴⁹。此外，我国也陆续出台了针对植保无人机购置的补贴政策，并且选择了六个省市作为植保无人机的补贴试点⁵⁰。目前这6省市均已经出台了补贴方案，补贴对象主要为农民（农机）专业合作社、植保作业公司和农作物病虫害统防治组织等⁵¹。

图 6. 电动植保无人机



图片来源：DJI-Agras在Pixabay上发布

对农机电动化的探索除了在已经逐步普及的电动无人植保机外，近年国内多家企业也纷纷展开对电动拖拉机的研发。2020年，国家农机装备创新中心发布了由其牵头研制的国内首台氢燃料电动无人驾驶拖拉机⁵²。江苏悦达集团下的黄海金马拖拉机厂在2021年推出了YL254ET和

⁴³ 同上

⁴⁴ 段倩倩. (2019). 全国渗透率仅5%，大疆和极飞分走两路突破植保机蓝海. 第一财经. <https://www.yicai.com/news/100172200.html>

⁴⁵ 澎湃新闻. (2021). 东北黑龙江北大荒：操作极飞植保无人机的新一代农民. https://m.thepaper.cn/newsDetail_forward_14512712

⁴⁶ 中国江苏网. (2022). 国网江苏电力：电力“黑科技”助力农业农村经济. http://jsnews.jschina.com.cn/nj/mqzc/202209/t20220902_3068275.shtml

⁴⁷ 夏衍, 丁桃红. (2022). 农田边 植保无人机用上移动“充电宝”. 我苏网. <http://www.ourjiangsu.com/a/20220810/1660114848228.shtml>

⁴⁸ 段倩倩. (2019). 全国渗透率仅5%，大疆和极飞分走两路突破植保机蓝海. 第一财经. <https://www.yicai.com/news/100172200.html>

⁴⁹ 张希. (2016). 江苏农民可以在支付宝预约无人机撒农药了. 南报网. https://www.csjcs.com/news/show/346/1080114_0.html

⁵⁰ 环球网. (2017). 三部门在六省市开展植保无人机补贴试点 每架最高3万. <https://uav.huanqiu.com/article/9CaKrnK5lpr>

⁵¹ 电池中国网. (2018). 6省均已出炉植保无人机购机补贴方案. <http://www.cbea.com/wrj/201801/349848.html>

⁵² 河南日报. (2020). 5G+氢燃料电动拖拉机在河南亮相. http://iot.china.com.cn/content/2020-06/18/content_41190201.html

YU1004两款电动拖拉机。前者可以在大棚、果园里进行轻负荷作业，后者是专门为水田旋耕、播种、田间管理开发的水田拖拉机。目前两款电动拖拉机均已进入小批量生产并投入到实际使用中⁵³。另外一家开展电动拖拉机研发的企业是来自甘肃酒泉的铸陇机械制造有限公司，公司针对甘肃山区丘陵为主的地块特点，研制出了电动小麦播种机、电动中耕除草机、电动追肥机等电动系列机具，并且在定西、临夏等地建立了试验示范点开展试验示范⁵⁴。公司在2022年研制生产的电动手扶大豆-玉米一体化播种机也在市场上颇受好评⁵⁵。

农机电动化推广的关键要素：

- 考虑到大型电动农机所需配套的充电基础设施和技术能支撑的活动半径，以及我国地少人多的现状以及农村人口老龄化的趋势，中小型电动农机未来在我国可以有不少的适用场景。
- 电动农机的费用不低，为采购电动农机服务或者电动农机本身提供一定的补贴可以有助于产品推广。
- 推动适度的土地流转可以降低电动农机推广使用的单位成本。

⁵³ 35斗. (2022). 国家队混动拖拉机下线，国产拖拉机提前进入电动时代. <https://m.jiemian.com/article/7840604.html>

⁵⁴ 中国农业机械化信息网. (2022). 电动农机技术优势分析及未来工作建议. <http://www.amic.agri.cn/secondLevelPage/info/31/147178>

⁵⁵ 同上

行动：食品加工节能降碳

减排潜力：

5%



具体实践：
提高食品加工能效水平



案例7：食品加工制造的能效提升和能源替代

食物在进行加工处理的过程中所产生的能耗也是农食系统温室气体排放的重要一环。例如对粮食进行的烘干、脱壳或者是对肉类进行的冷冻加工，以及需要经过巴氏杀菌的牛奶和多道工序提炼的动植物油制造，我们餐桌上出现的不同食物在加工环节都会有能源消耗。

为降低能耗和提高资源利用效率，食品加工制造企业也在进行多种尝试。国家和地方政府也提供了相应的政策支持。2016年，工信部发布《关于开展绿色制造体系建设的通知》，提出利用工业转型升级资金、专项建设基金以及绿色信贷等政策来支持绿色制造体系建设，建设内容中就包括了绿色工厂，并且食品行业也被列为了优先创建绿色工厂的行业之一⁵⁶。

⁵⁶ 工业和信息化部. (2016). 工业和信息化部办公厅关于开展绿色制造体系建设的通知. https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/zh/art/2020/art_5aaad16b40144ed0a58bedac344f79fa.html?wd=&eqid=9eb3ff80000125d80000000464926c0a

我国在2018年发布的《绿色工厂评价通则》的国家标准也为企业绿色转型升级提供了指南。此外，获得绿色工厂评价的工业企业将获得资金奖励和政策扶持⁵⁷。个别地区对进入绿色工厂名单的企业，在错峰生产和重污染天气管控期间也可以不被纳入停产限产范围⁵⁸。在政策的助推下，近年我国食品加工制造企业中陆续建立的绿色工厂中都可以看到对食物加工过程采取的一系列节能降碳行动，包括清洁燃料替代、以及采用节能技术和提高电气化等。

位于昆明的益海嘉里（昆明）食品工业有限公司的主营业务之一是面粉加工，在小麦的清理和制粉等环节中都会消耗大量能源。在国家绿色工厂评价体系的指导下，工厂从2019年开始筹建绿色工厂。基于昆明良好的日照条件，企业通过铺设屋顶的分布式光伏来减少对传统能源的消费。工厂一屋顶的光伏板预计每年可以发电98万千瓦时。工厂目前规划在2023年还将建设2兆瓦的发电二期项目，两期项目建成投入后预计可发电407万千瓦时⁵⁹。除了采用太阳能光伏发电外，工厂也会采购一定比例的绿色电力。并且利用微波照明等新技术和设备来进行节能降碳。工厂随后也成功申请成为国家绿色工厂⁶⁰。

图7. 益海嘉里金龙鱼昆明工厂的屋顶光伏



图片来源：益海嘉里新闻中心

另一个例子是来自维生素饮料“脉动”产地——湖北达能食品饮料有限公司。公司也采取了多项措施进行节能减排。公司采用余热蒸汽来替代天然气锅炉生产蒸汽，并投资了220余万元展开蒸汽管网改造以使用汉川电厂的余热蒸汽，2021年估计可以减少约0.7万吨碳排放。公司也利用厂房屋顶建设光伏项目进行发电，形成主厂屋顶4.1兆瓦装机容量的光伏建设。同时也与当地的水电开发公司签署了水电再生能源供应合同，每年预计可以减少碳排放1.3万吨⁶¹。此外，公司也在工厂的生产运行过程中开展热能回收（蒸汽冷凝水热能再利用、空压机热能回收、冷却隧道热能回收）等项目⁶²。这些措施也推动湖北达能工厂在2019年获评国家级绿色工厂⁶³。

我国乳制品企业伊利集团从摸清家底开始，在对碳排放进行系统统计的基础上来推动减排和绿色转型。企业从2010年开始进行内部碳管理，并在工厂进行了一系列节能降碳改造，包括对燃煤锅炉进行煤改气，推动分布式光伏建设和采取能效提升等措施⁶⁴。伊利在2020年专项推进节能项目也将其同年的运营成本降低了1亿元，并且节约天然气430

⁵⁷ 中国产业发展促进会.(2023). 各地区绿色工厂补贴政策一览. <https://www.beipa.org.cn/newsinfo/6005635.html>

⁵⁸ 中国大气网.(2020). 绿色工厂系列：绿色工厂可以享受哪些优惠政策. <https://www.chndaqi.com/news/304961.html>

⁵⁹ 益海嘉里.(2023). 碳中和工厂的排碳“归零”密码 | 6个故事读懂ESG报告①. <https://yihaijerry.com.cn/new/1406.html>

⁶⁰ 同上.

⁶¹ 武汉市生态环境局.(2022). 武汉市低碳试点案例汇编. <http://hbj.wuhan.gov.cn/hjsj/ztlz/dtshalhb/index.shtml#book7/page36-page37>

⁶² 同上.

⁶³ 武汉频道.(2022). 绿色制造·金山银山① | 生产工厂如何实现碳中和？它做到了. http://news.cjn.cn/bsy/dz_20097/202210/t4316867.htm

⁶⁴ 伊利集团.(2023). 2022可持续发展报告. https://static.sse.com.cn/disclosure/listedinfo/announcement/c/new/2023-04-28/600887_20230428_XZCS.pdf

⁶⁵ 北京青年报.(2022). 零碳蔬菜、碳中和牛奶等集中上市 零碳食品谁买单. <https://finance.sina.cn/china/gncj/2022-07-12/detail-imizmscv1099890.d.html>

⁶⁶ 伊利集团.(2023). 2022可持续发展报告. https://static.sse.com.cn/disclosure/listedinfo/announcement/c/new/2023-04-28/600887_20230428_XZCS.pdf

万立方米，煤2.8万吨⁶⁵。到2022年公司已经有31家工厂被认证为国家绿色工厂⁶⁶。以伊利旗下冰淇淋雪糕生产为主的长春伊利冷冻食品有限公司为例，工厂从2014年起每年进行碳盘查，并且通过强化能源管理、淘汰高耗能设备、开展节能技改等工作来减少温室气体的排放⁶⁷。例如采用热泵系统来回收制冷废热，从而减少工厂天然气使用，每年实现减排782吨。并且开展车间闪蒸蒸汽回收改造项目，对闪蒸蒸汽热量进行回收，每年减少碳排放268吨⁶⁸。一系列的减排措施也是伊利在打造零碳工厂中的重要一环。另外，在湖南省平江县一家专注面筋（辣条）的企业——湖南省玉峰食品实业有限公司通过设备改进来实现食品加工制造的节能降碳，并在2019年创建成国家级的绿色工厂。公司通过对已有的热载体炉和蒸汽锅炉进行技术改造，将燃煤改为生物质颗粒，可提高锅炉热效率15%。另一方面也对产品杀菌后排出的蒸汽余热和热水进行回收利用，减少燃耗⁶⁹。

案例推广的关键要素：

- 政策支持对食品加工制造业的节能减排有很大的助力，例如绿色工厂评定有相应的指南，经济激励以及其他的政策优惠。企业也可以因此提升品牌形象。
- 企业在生产加工环节推动的能效提升也可以降低相应的能耗和运营成本。

⁶⁷ 中国吉林网. (2023). 再获“水足迹”认证 长春伊利打造“双足迹”工厂. <http://caifu.cnjwang.com/dszjyw/202307/3745397.html>

⁶⁸ 辛晓彤. (2023). 首推零碳牛奶，伊利都对奶牛做了什么. <https://new.qq.com/rain/a/20231002A0581W00>

⁶⁹ 岳阳市人民政府. (2020). 绿色制造典型案例之二：湖南省玉峰食品实业有限公司. http://www.yueyang.gov.cn/ztxx/58817/58818/58819/content_1723317.html

行动：交通低碳化

减排潜力：**7%**



具体实践：
绿色冷链和轻型食物货运电动化



案例8：解决最先一公里——田间移动冷库

农产品冷链运输的发展可以减少新鲜收获的农产品在未能得到及时保鲜情况下造成的损失和浪费。研究显示，在2014年到2018年间，我国每年大约有3.5亿吨左右的食物损失和浪费，占每年食物生产总量的27%。其中有将近一半（45%）的食物损失和浪费发生在食物收获和存储环节，而这一比例在发达国家例如英国仅为4.8%，在日本是10.5%⁷⁰。因此对于农产品生产的最先一公里的冷链基础设施的建设不容忽视。

为减少农产品产后和运输中的损失和浪费，我国发布的《“十四五”冷链物流发展规划》中提出要围绕服务农产品产地集散、优化冷链产品销地网络，并且聚焦产地“最先一公里”和城市“最后一公里”来补齐两端冷链物流设施

⁷⁰ 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.

短板⁷¹。并且也在2020年启动实施农产品仓储保鲜冷链物流设施建设工程，在三年里安排了100多亿元的资金来支持农民专业合作社、家庭农场和集体经济组织建设产地冷藏保鲜设施⁷²。并且在全国选择了100个县通过中央财政支持开展农产品产地冷藏保鲜整县推进试点⁷³。

江苏南通市海门在2021年被列入农产品产地冷藏保鲜整县推进试点后，陆续建立了20个田间冷库。以海门的普明村为例，由村投资建设的冷库可以存储果蔬4600立方米。当地大量种植的蔬果采摘后可以尽早入库并做长期保存。通过对果蔬的保鲜冷藏来减少农产品产后腐损。冷库使用也可以为村集体带来租金收入⁷⁴。

此外，另一种移动的田间冷库也开始出现。作为国内最大的设施芦笋种植基地，江苏省涟水县的芦笋产量占全国30%。为了对不易储藏的芦笋进行保鲜，当地的供电部门通过建立移动冷库，来解决芦笋从田头到冷库的预冷问题。由于芦笋对新鲜度要求很高，采收2小时之内需要完成分拣、裁切和打捆，并进入冷库进行预冷⁷⁵，为了避免在高温天气下芦笋采摘后由于气温过高导致老化，国网涟水县供电公司联合农业农村部门，建设了4台小型的移动冷库，移动冷库可以直接开到田头，将刚采摘的芦笋进行及时保鲜⁷⁶。芦笋采摘后不到10分钟放入移动冷库，可以减少20%-30%的田头损耗，使预冷芦笋的保鲜期延长3天左右⁷⁷。移动冷库面积在10平方米左右，移动冷库安装在纯电动平板车上，在收储芦笋的冷库由一组UPS电源供电。UPS电源可供冷藏车厢内一台2匹的压缩机制冷1小时左右，同时还有一到两组备用蓄电池组。日常可以用200伏电源给车辆和蓄电池充电⁷⁸。通过这些田间冷库，不仅延长了芦笋的销售时间，同时也扩大了芦笋的销售半径。

图 8. 储藏农产品的移动冷库



图片来源：中国江苏网 罗佳宝/摄

案例推广的关键要素：

- 田间冷库的发展中政策支持是关键。其中既有针对农产品冷链建设的指导性的规划文件，同时还提供了相应的配套政策，例如对农产品产地冷藏保鲜整县推进和农产品仓储保鲜冷链物流设施建设工程的财政支持。
- 地方的部门合作也对田间移动冷库发展有助力，例如在江苏涟水县的移动冷库建设中，当地的国网供电公司和农业农村部门合作为芦笋保鲜提供支持。

⁷¹ 国务院办公厅. (2021). 《“十四五”冷链物流发展规划》. https://www.gov.cn/zhengce/content/2021-12/12/content_5660244.htm

⁷² 农业农村部新闻办公室. (2022). 农产品产地冷藏保鲜设施建设进入“快车道”. http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202207/t20220715_6404915.htm

⁷³ 财政部. (2021). 《关于全面推进农产品产地冷藏保鲜设施建设的通知》. <https://app.www.gov.cn/govdata/gov/202105/03/471005/article.html>

⁷⁴ 张周楠, 徐超. (2023). 田头建起“冰箱”，蔬菜身价翻番. 新华日报. http://www.zgjssw.gov.cn/shixianchuanzhen/nantong/202302/t20230227_7843591.shtml

⁷⁵ 涟水县人民政府. (2022). 冷库立田头 芦笋“抢鲜”出. http://www.lianshui.gov.cn/col/888_535372/art/16592832/1661473369941zq5m3ixU.html

⁷⁶ 孙昕, 姜奇卉. (2022). 江苏全省农业科技贡献率达70.9%. 江苏新闻网. <https://www.js.chinanews.com.cn/news/2022/0830/212317.html>

⁷⁷ 荆楚网. (2022). “冰箱”立田头！高温天气下芦笋这样“抢鲜”上市. http://news.cnhubei.com/content/2022-08/23/content_15000843.html

⁷⁸ 扬子晚报. (2022). 江苏淮安：为芦笋保鲜，移动冷库来到田头. <https://rmh.pdnews.cn/Pc/ArtInfoApi/article?id=30629111>

案例9: 食物里程减碳——轻型货运电动化

伴随经济发展和居民生活水平的提高，对食物消费需求增加，食物消费种类也更加丰富，来自不同地区的果蔬、乳制品和水产品也在进入到大家的餐桌。随着跨区域长距离的食物运输里程的增加，由此带来的温室气体排放也有所增长。在全球范围，来自“食物里程”（即食物从生产地到消费地的运输）的排放占全球整个农食系统排放的20%左右，排放量达到30亿吨CO₂e⁷⁹。由于食物运输与国家面积和人口之间的关联，因此中国、印度、美国和俄罗斯均为全球食物运输主要排放国家⁸⁰。为减少食物运输的排放，从大型食品企业、物流公司到外卖配送都在进行探索。

作为全球重要的食品供应商雀巢公司，在其制定的净零路线图中，提到以2018年为基年，在2025年减排20%、2030年减排50%、2050年减排100%的目标，在实现这些目标的关键行动之一是在物流和供应链领域，具体包括采用新能源汽车，增加集约化运输，确保车辆高效装载，引入沼气动力卡车和更多采用铁路运输⁸¹。目前已经开始在一、二、三线城市布局新能源车，受限于重型卡车的续航能力，目前主要是在150公里以内的场景中替换新能源车⁸²。

主要物流行业，例如顺丰、菜鸟、京东物流等也在推行使用新能源物流车。在2018年，顺丰速运在全国多个城市的末端配送中进行了电物流车替代，开始采用纯电动微型面包车⁸³。2022年，京东物流开始投入使用换电新能源车，通过新能源车整体换电解决方案，京东物流预计可提升所在物流园区储能电量消纳比超过25%，减少投放车辆超20%，单位车辆的碳减排量可进一步提升超15%，综合碳减排提升率超35%⁸⁴。

此外，在城市外卖配送中，几乎所有的外卖骑车都已经在使用两轮电动车进行订单配送。由于电动车电池续航能力有限，能源和互联网公司也在推动电池换电服务，为骑手提供快速便捷的能源补给。例如电动车换电公司铁塔能源和阿里旗下的“小哈换电”都在全国部署了自助式换电柜，为骑手提供换电服务。铁塔能源从2019年开始在全国开展了换电服务，覆盖280多个城市每天为外卖快递骑车提供超过200万次的换电服务，通过这项服务，改变了骑手使用铅酸电池和燃油做动力的工作模式来实现减排⁸⁵。“小哈换电”提供的换电服务也在全国多个城市部署了换电柜站点，用户通过哈啰

图 9. 位于北京市区的两轮电动车换电柜



图片来源: iGDP团队调研拍摄

⁷⁹ Li, M., Jia, N., Lenzen, M. et al. (2022). Global food-miles account for nearly 20% of total food-systems emissions. *Nature Food* (3), 445–453.

⁸⁰ Ibid.

⁸¹ 雀巢集团. (2020). 加速、转型、再生: 雀巢净零碳排放路线图. <https://www.nestle.com/sites/default/files/2020-12/nestle-net-zero-roadmap-cn.pdf>

⁸² 单义. (2023). 雀巢: 面向未来的可持续供应链实践道路. <https://new.qq.com/rain/a/20230603A07BXS00?no-redirect=1>

⁸³ 江西网络广播电视台. (2020). 科士达携手顺丰速递, 打造绿色城配新标杆. 中国日报. <https://cn.chinadaily.com.cn/a/202001/17/WS5e216c87a3107bb6b579a8ea.html>

⁸⁴ 电车汇. (2022). 京东物流首批换电投入运营, 年底前将投放1000台换电轻卡. 新浪科技. https://finance.sina.com.cn/tech/roll/2022-08-16/doc-imizmzscv6422316.shtml?finpagefr=p_114

⁸⁵ 许诺. (2022). 中国铁塔刘春华: 公司提供换电服务超6亿次, 碳减排超170万吨. 新京报. https://www.sohu.com/a/565307286_114988

APP中或者支付宝上的“小哈换电”小程序在站点进行扫码使用。“小哈换电”发布的报告显示，其服务的深圳用户通过“以换代充”方式，累计骑车超过1.2亿公里，相当于减排6000吨⁸⁶。

尽管从食品供应商到物流和互联网公司在食物运输的电动化上进行了探索和尝试，但是需要关注的是电动化趋势的背后需要清洁电力的支持才能最终减少碳排放。

案例推广的关键要素：

- 新能源汽车推广普及为食物运输的电动化提供了基础，尤其是在短途城际的食物运输。未来重型货运的研发以及电池储能的发展可以推动更多长途货运的电动化。
- 基于“电池共享”的换电服务的提供在一定程度上缓解了电池续航的里程焦虑以及充电不便等问题。电动自行车的电池由于外形尺寸，接口标准的不统一，容易导致换电模式无法互通，因此出台针对电动自行车换电的统一技术标准⁸⁷将有助于这项服务更好的推广。

⁸⁶ 戴晓蓉. (2022). 深圳首份两轮电动共享能量新趋报告发布：市民以换代充减碳近6000吨. 深圳特区报. <https://finance.sina.com.cn/jjxw/2022-09-23/doc-imqmmtha8453823.shtml>

⁸⁷ 于海军. (2023). 智能换电柜“标准”别掉队. 民生周刊. http://paper.people.com.cn/mszk/html/2023-06/12/content_25999435.htm

行动：减塑和循环利用

减排潜力：

3%



具体实践：

减少食物浪费、简化包装和提高资源循环利用



案例10：临期食品的春天——商业创新减少食物浪费

食物浪费不仅关于食物本身的损失，也意味着生产这些食物所投入的水，土，能源等资源被无效消耗，也枉费了整个食物供应链中所产生的污染和碳排放等环境代价，不当处理的食物垃圾也会释放甲烷等温室气体。而创新型社会组织 and 商业机构也可以起到减少食物浪费的作用，“变费为食”。

保质期是伴随着食品工业产生的，临期食品是临近食品的保质期限但还没有过期的食品。原则上，只要是在保质期之内的食品，质量就有保障，但临期食品仍然销售困难，经常面临被丢弃的命运。随着可持续消费方式的扩展，已有多家企业和商超通过减少临期食品浪费的方式减少来食物浪费。

根据与好特卖相关的新闻显示，自2020年2月创立以来，其致力于通过发挥周转过剩资源的优势引导消费者形成可持续的消费观念和生活方式。2021年，全国400余家好特卖门店共计服务超过1300万消费者，流转超3亿件商品，

直接减少了7万余吨食物的浪费，约等于减少14万吨的碳排放⁸⁸。2022年8-9月，好特卖携手新加坡星展银行一同策划无浪费月，联动线下门店与社交平台，邀请7位粉丝500万级博主及百位关键消费领袖（KOC）向广大消费者进行“食品无浪费”的主题宣传。据好特卖后台统计数据，共计有4万余人参与线下活动，一起拯救了122余吨即将被浪费的食物，相当于减少了243.8吨温室气体排放⁸⁹。

图 10. 惜食魔法袋小程序主页及合作品牌、产品详情页面



图片来源：iGDP团队截取

行业加速发展，市场规模达337亿元，预计2025年市场规模将达401亿元，临期经济或将从小众需求变成一个全新行业风口⁹²。不过临期食品的新兴市场也需要加强食品安全规范和监管，有消费者反映预包装食品在包装袋上有打印明确的生产、销售日期以及保质期，店内现包装的面包并未标示制作日期。

在超市和零售环节，很多门店也都已经有打折销售临期食品的实践。2021年10月，盒马鲜生在上海开了一家生鲜奥莱店，产品多为生鲜易耗品或临期食品；苏宁也随后在马鞍山设立了首家折扣超市，并宣布将陆续进军江浙沪⁹³。

案例推广的关键要素：

- 社交媒体和平台是临期食品推广的重要渠道，充分发挥社交平台的力量能更大程度带动消费者参与，促进节约意识。

起源于丹麦的“剩菜盲盒”概念进入国内后也受到年轻人的欢迎，2021年上线的“惜食魔法袋”小程序是我国第一个专注反食品浪费的小程序。“惜食魔法袋”通过连接商家与消费者，让店家将快要过期的食物打折出售，为余量食品找到了合适的处理渠道，同时培养了消费者绿色节约的习惯。目前“惜食魔法袋”上架食品主要以烘焙甜品、简餐轻食为主，以及少量果蔬饮品，消费者可以基于位置选择离自己最近的商家。范围覆盖北京、上海、河北、山西、河南、江苏、浙江、重庆、广东等地30多个城市，与好利来、巴黎贝甜、原麦山丘、面包新语、金凤成祥等200多个餐饮品牌合作⁹⁰。据剩菜盲盒平台“惜食魔法袋”负责人介绍，目前在全国范围内，大约已有4000家门店注册入驻“惜食魔法袋”，平均每天可减少5吨食物浪费，相当于减少碳排放12.5吨左右⁹¹。

随着我国居民生活水平的提高和食品工业的发展，餐饮、零售行业呈现增长态势，临期食品也日渐受到关注。艾媒咨询数据显示，2022年临期食品行业

⁸⁸ 齐鲁晚报. (2022). 好特卖引领低碳消费，创造美好生活. https://k.sina.cn/article_5328858693_13d9fee4500101kl45.html?from=tech&subch=internet

⁸⁹ 齐鲁晚报. (2022). 好特卖低碳活动，“星”系绿色生活. https://k.sina.cn/article_5328858693_13d9fee4500101l5fg.html?from=news

⁹⁰ 透视社. (2023). 小小“魔法袋”，绿色低碳又划算！. https://www.sohu.com/a/672780375_426502

⁹¹ 谢龙飞. (2023). “剩菜盲盒”为何受年轻人欢迎？里面都装了些什么？中国新闻网. <http://www.jwview.com/jingwei/html/06-29/546797.shtml>

⁹² 王小月. (2023). “剩菜盲盒”为反食品浪费打开新思路. 中国消费者报. <https://news.cctv.com/2023/06/09/ARTIIBAnHEUbei8l6uxRgQdJ230609.shtml>

⁹³ 王慧莹. (2022). 年轻人爱过的临期食品，为什么不香了？DoNews. <https://www.donews.com/article/detail/5093/45579.html>

- 部分盲盒食品（如店内现包装的面包）没有标明配料信息和生产日期，存在一定的食品安全风险，相关政策法规需要明确。
- 实体超市、商超等食品经营商通常也设有临期食品专柜，但商超与消费者之间的相关信息交流较为缺乏，实体商超可考虑在线上平台提供临期食品的信息或销售板块。

案例11: 食物包装减“塑”瘦身*

塑料防水质轻，是食品包装和餐饮外卖中常用的材料。然而目前，塑料经济多为“生产-使用-废弃”的线性经济模式主导，造成全球范围内95%的塑料包装价值被浪费，相当于每年800-1200亿美元的经济损失⁹⁴。除了浪费资源，塑料生命周期的每个阶段：化石燃料的开采和运输、塑料的提炼和生产，以及塑料废物的管理和处置过程都会排放大量温室气体。根据国际环境法中心（CIEL）的研究，每制造1kg塑料会向大气中排放3.5kg CO₂⁹⁵。食物系统中所使用的塑料包装需要向循环经济转型，不少企业已经行动起来减少塑料相关的资源消耗、碳排放和环境污染。

青合循环经济与碳中和研究院提供的资料显示，蒙牛在2022年推出光瓶优益C材料（见图 11），将PS材质的优益C100瓶替换为更易回收的PP材质，瓶身克重由7g降至6.5g。瓶身克重的减少，每年可减少塑料使用270吨；取消瓶标，将产品信息直接雕刻于瓶身，全年可减少塑料使用523.8吨，实现源头减量。光瓶优益C的封口铝箔厚度由40um

降至30um，全年可节约铝箔21.6吨。此外，取消PET瓶标将产品信息直接雕刻于瓶身的技术，每年可减少蒸汽使用85吨。通过包装设计，每排优益C（5瓶，每瓶100g）在原材料获取、生产制造、运输、使用及废弃物处理等阶段相较于原始包装产生的碳减排量为84.31g CO₂e/排，减排比例为46.62%。

图 11. PS优益C包装与PP光瓶优益C包装对比及光瓶优益C宣传海报



图片来源：内蒙古蒙牛乳业（集团）股份有限公司

2021年底，中国外卖用户规模达到5.44亿⁹⁶。针对外卖餐食所产生的大量一次性塑料垃圾，一家名为“爽提”的企业提出在高校使用循环餐盒的解决方案：通过自行搭建的校园内外卖平台来集中使用，回收，和清洗循环餐盒，避免一次性餐盒垃圾的产生。截至2021年12月，爽提循环餐盒平均循环使用次数已达63次。研究发现，相比一次性餐盒，单个循环餐盒在生产和使用（如回收、清洗和消毒处理）阶段增加了环境负荷，但

⁹⁴ 艾伦·麦克阿瑟基金会，清华大学. (2022). 中国塑料包装产业循环经济发展战略研究报告. <https://ellenmacarthurfoundation.org.cn/towards-a-circular-economy-for-plastics-in-china>

⁹⁵ Monica. (2022). 舌尖上的“碳足迹”，包装上的加减法. Marking Awards. <https://www.foodtalks.cn/news/34621>

⁹⁶ 共研产业咨询. (2023). 2022年中国外卖用户规模、市场规模及主要平台分析. https://www.sohu.com/a/652286798_121388108

* 注：案例的资料信息来自于内蒙古蒙牛乳业（集团）股份有限公司

若循环次数能达到6-8次，即可与同等功能或规格的一次性塑料餐盒因减少废弃物产生在综合环境影响上表现相当。在使用63次的情景下，循环餐盒每次使用可减少91g CO₂e和2兆焦耳初级能源消耗⁹⁷。“爽提”预计，每个循环餐盒能使用一年半至两年，至少可循环150次⁹⁸。不过，由于需要由“爽提”对使用后的餐盒统一回收、清洗并发回给商家，目前循环餐盒的适用的场景主要是校园这样的封闭场景。

案例推广的关键要素：

- 企业在设计环节可进一步减少不必要的包装，探索包装重复使用的商业及系统设计，同时在原料和设计选择阶段确保包装的可回收性。
- 顶层政策设计可进一步鼓励产业链上下游协调统一设计标准，提高生态设计要求，建立包装可回收性的认证和标签管理机制，将少数企业的低碳行为扩展到更大层面。
- 收集用后塑料涉及塑料在销售后返回供应链的复杂过程，由于塑料包装分布面广，材料复杂，对收集和分类都会带来很大的挑战。比如循环餐盒目前只适用于校园、园区、医院、政府单位等封闭场景，而对居民小区等开放式环境仍不太现实。

⁹⁷ 摆脱塑缚. (2022). 外卖循环餐盒经济与环境效益研究报告. <http://www.plasticfreechn.org.cn/upload/ueditor/20220511/202205111144068741.pdf>

⁹⁸ 林方舟, 黄佳钰. (2022). 外卖减塑难在哪? 3500万份外卖订单里的发现. 南方周末. <https://new.qq.com/rain/a/20220602A0857A00>

行动：烹饪节能及电气化

减排潜力：

12.8%



具体实践：
推动炊事电气化



案例12：电气化为中式烹饪的低碳和安全插上翅膀

食物消费碳排放，由食物直接碳排放、家庭间接碳排放和产业间接碳排放三部分组成。食物直接碳排放指食物本身所具有的碳排放；家庭间接碳排放指烹饪和储藏食物消耗能源产生的碳排放；产业间接碳排放指食物消费过程中生产、加工、流通等不同环节和不同行业间转移产生的碳排放。研究显示，1990-2018年中国30个省（区、市）人均间接碳排放呈增长趋势⁹⁹。而实现间接碳排放减排，烹饪电气化是重要的手段之一。

一方面，“煤改气”的燃料费用对于农村地区负担较重，天然气“改而不用”的现象仍存¹⁰⁰，另一方面随着城镇

⁹⁹ 黄和平, 李亚丽, & 杨斯玲. (2021). 中国城镇居民食物消费碳排放的时空演变特征分析. 中国环境管理, 13(1), 112-120.

¹⁰⁰ 渠沛然, 别凡. (2021). 农村煤改气出现“改而不用”苗头. 中国能源报. <https://m.bjx.com.cn/mnews/20211027/1183963.shtml>

居民越来越多地选择在外用餐，炊事能耗从住宅向公建转移¹⁰¹，因此在餐饮等经营场所率先推行烹饪电气化是更好的减排抓手。

2021年6月，江苏省发布了全国首个餐饮场所“瓶改电”省级支持政策——《关于鼓励餐饮场所推广“瓶改电”的工作意见》，鼓励餐饮场所推广全电厨房，取代传统的燃气管。截至2021年底，江苏省建成商用级“全电厨房”4023个，建设范围涵盖全省各市区县。商用级“全电厨房”具备烹饪无明火、操作便捷、自动断电保护等特点，可显著提升厨房安全系数，同时电磁灶的加热效率是燃气灶的3倍，使用电厨具用能成本也可节约20%至45%，平均可减少碳排放30%以上¹⁰²。

厦门市选取新建住宅试点电气化，2021年厦门市建设局年度建设科技项目《厦门市居住建筑电气化综合影响调查研究》，从碳排放的影响、工程投资、年运行费用、对电网的影响、健康与营养五个维度进行分析，发现当住宅面积低于168平方米时，电气化小区的工程建设成本低于燃气小区，且电炉灶全年运行费用低于燃气灶全年运行费用。在完全使用清洁电力能源的前提下，电炊具碳排放为零。目前，厦门已在海沧生态花园住宅项目进行居住建筑电气化实践。该项目为超高层住宅，考虑到防火安全问题，不设置传统天然气入户，开发商为每个住户配置了电陶炉灶，实现全电厨房。据了解，电陶炉电阻加热的模式能达到800℃高温，且可更精确调节火力。

图 12. 江苏省建湖县九龙口镇中心小学电气化改造后的厨房



图片来源：建湖县人民政府

案例推广的关键要素：

- 各类电炊事设备技术上完全可实现电能全覆盖，但由于老百姓长期以来“无火不成灶”的明火烹饪习惯，炊事电气化的推进相对缓慢。然而，新的厨房电器实际上是可以满足传统烹饪需求的，需要更多宣传推广。
- 研究显示，江苏省《关于鼓励餐饮场所推广“瓶改电”的工作意见》政策促进了餐饮行业电气化水平的上升¹⁰⁴，相关政策和配套资金激励¹⁰⁵对促进公建领域烹饪电气化必不可少。

¹⁰¹ 郝斌, 李叶茂, 冯威, 胥小龙, 彭琛, 陆元元, 李雨桐, 潘文宇, & 康靖. (2020). 建筑电气化及其驱动的城市能源转型路径报告摘要. 能源基金会 (中国) & 深圳市建筑科学研究院股份有限公司.

¹⁰² 董莹, 孙梦茹. (2022). 江苏推进后厨“绿色转型”“全电厨房”数量超4000个. 扬子晚报. https://k.sina.cn/article_1653603955_628ffe73020018knv.html?from=news&subch=onews

¹⁰³ 袁舒琪. (2021). 继续选取新建住宅试点电气化 厦门市将有更多小区做饭炒菜全用电. 厦门日报. http://m.news.cn/fj/2021-11/22/c_1128087092.htm

¹⁰⁴ 田瑾, 黄培坤, 周焱, 等. (2022). 餐饮商家低碳行动指引研究报告. 中华环境保护基金会. <http://www.cepf.org.cn/jjhd/202211/W020221108493004865079.pdf>

¹⁰⁵ 丁茜茜. (2021). “全电厨房”江苏餐饮业兴起绿色低碳新风尚. 江南时报. http://www.jntimes.cn/twx/202106/t20210617_7126970.shtml

行动：餐厨垃圾资源化利用

减排潜力：

5%



具体实践：

推广垃圾分类，通过餐厨垃圾厌氧消化进行沼气回收利用



案例13: 残羹剩饭成抢手货，既能发电又能堆肥

城市人口密度大、经济活动集中、资源消耗高，成为了中国温室气体排放的主要来源。随着中国城镇化和工业化的发展，来自生活垃圾处理的温室气体对气候带来的破坏效应在持续上升。当前，城市废弃物的产生量持续增长。2020年，中国城市生活垃圾的清运量已经达到了2.35亿吨¹⁰⁶，比2010年增长了近49%。餐厨垃圾含量高是中国城市生活垃圾的主要特点，统计显示我国餐厨垃圾占城市生活垃圾比重大致为37%~62%¹⁰⁷，餐厨垃圾处理对于大多数国家尤其我国来说都是垃圾处置环节的一大挑战。

¹⁰⁶ 中华人民共和国住房和城乡建设部. (2021). 2020年城乡建设统计年鉴.

¹⁰⁷ 孙慧, 孙晓峰, 郝润琴. (2019). 餐厨垃圾何去何从. 中华环境网. <http://www.zhjhjw.org/a/qkzz/zzml/201902-03/fmbd/2019/0320/7083.html>

图 13. 餐厨垃圾来源、品质及常用处理处置技术

01	品质最佳 未进入消费端的食品废弃物	<ul style="list-style-type: none"> 分类收集 来源：超市、商场等 	堆肥 厌氧消化
02	品质欠佳 消费端后收集的餐饮垃圾	<ul style="list-style-type: none"> 通常被污染需要预处理 来源：餐饮单位 	厌氧消化
03	品质欠佳 厨余垃圾+庭院垃圾等	<ul style="list-style-type: none"> 通常被污染需要预处理 来源：餐饮单位 	堆肥 厌氧消化
04	品质最差 混合生活垃圾	<ul style="list-style-type: none"> 堆肥或厌氧消化前需要进行大量预处理 通常堆肥产品不能达到农用要求 来源：城市、混合收集 	生物稳定/生物干化处理技术，产物或可运往垃圾焚烧厂或填埋场进行处理处置

图片来源：根据绿色创新发展中心《中国城市生活垃圾和市政污泥处理良好实践指南——温室气体减排视角》整理

餐厨垃圾经过处理后可以获得有价值的产品、燃料及能源。针对餐厨垃圾的处理利用，当前最常见的技术包括生物稳定/生物干燥处理、堆肥和厌氧消化（即大中型沼气工程）等。图13总结了不同来源的易腐有机垃圾及其品质。厌氧消化可以用于处理图13中类型1-3的垃圾。需要注意的是，类型4混合垃圾消化后产生的沼液沼渣利用场景有限。目前厌氧消化技术已经在国内外不同城市的餐厨垃圾处理中得到应用。

陕西省西安市餐厨垃圾资源化利用和无害化处理一期项目位于西安市沣东新城建章路街道办辖区，于2018年12月建成并投入试运营，是西安市第一座餐厨垃圾处理设施，处理能力为200吨/日餐厨垃圾及20吨/日地沟油。项目采用建设-拥有-经营（BOO）模式建设，特许经营期为30年，建设运营商为西安维尔利环保科技有限公司。项目建设总投资1.92亿元人民币，根据特需经营协议，地方政府支付的餐厨垃圾收运处理费为274元/吨。

从试运营起截至目前，项目已实现稳定运行，餐厨垃圾日收运处理量超过200吨，最多日处理餐厨垃圾超过250吨，年处理餐厨垃圾超过80000吨。根据项目运营数据，1吨餐厨垃圾平均可产生约80立方米沼气，50公斤废弃油脂，可发电160千瓦时；发电除自用外，计划并网发电。餐厨垃圾处理产生的沼液处理后，达到黄河流域二级水体排放标准外排，沼渣外运填埋处理。

山西省太原市餐厨垃圾处理项目位于太原市清徐县柳杜乡东南社村，处理厂占地69亩，总设计规模为日处理能力500吨，分两期建设；一期工程于2017年建成并投入试运营，餐厨垃圾处理能力为200吨/日，收集范

图 14. 陕西省西安市餐厨垃圾资源化利用和无害化处理一期项目设施



图片来源：iGDP团队调研拍摄

围包括太原市六城区和清徐县。项目采用建设-拥有-移交（BOT）模式建设，特许经营期为30年，建设运营商为太原天润生物能源公司。项目总体建设总投资3.11亿元人民币，根据特需经营协议，地方政府支付的餐厨垃圾收运处理费为309元/吨。

项目已实现稳定运行，餐厨垃圾日收运处理量超过200吨，年产沼气超过600万立方米，计划提纯作为生物天然气，另外油水分离后的粗油脂也是主要产品。餐厨垃圾处理后的沼液计划外运至污水处理厂，沼渣运往园区内垃圾焚烧厂焚烧处理，降低了沼渣的运输成本。

案例推广的关键要素：

- 餐厨垃圾处理项目的统筹规划及协同处理具有重要意义，可以节约运输成本，有效提高项目运营的经济性。
- 由于餐厨垃圾成分复杂，处理过后有机污染物、油脂、无机盐等浓度较高，产生的沼液一般送往污水处理厂，项目可以考虑不同的化学药剂能达到的效果。
- 不同品质的餐厨垃圾可以采用不同的处理技术，地方可以综合考虑垃圾原料品质、技术经济性、自身条件等，选择合适的处理方式。

行动：膳食和消费行为调整

减排潜力：



具体实践：

推广气候友好的饮食习惯

案例14：“珠三角气候友好饮食倡导”：餐厅点菜如何助力食物减排

消费者饮食选择的调整是不可忽视的有效减排方式¹⁰⁸，其中推动膳食结构转型，减少食物浪费以及食物教育都是有效的干预手段。用科学方法计算和展示菜单上每样菜品生命周期的碳排放量是一种综合手段，不仅能使消费者认识到其饮食选择对气候的影响，更帮助愿意践行低碳消费的个体做出合理的选择。有研究¹⁰⁹发现频繁的提醒可以影响人们做出“气候友好”的消费选择。

食物小站（PDT Food Collective）是一家专注于“可持续食物系统转型”的倡导组织。“珠三角气候友好饮食倡导”是由PDT发起的在珠三角地区推动“气候友好饮食原则”的项目。PDT与千禾社区基金会、新周刊共同发起，与餐饮行业、媒体和社会公益组织共同组成“粤食粤低碳”联盟，通过撬动系统内关键角色——餐厅，通过增强餐厅的低碳意识，来影响下游消费者的饮食选择，同时对上游的供应商提出要求，促进食物减碳中的全链条参与。

图 15. “珠三角气候友好饮食”原则宣传海报



图片来源：PDT提供

¹⁰⁸ Valentine Graveleau. (2022). On the menu at a UK restaurant: carbon footprint. <https://phys.org/news/2022-08-menu-uk-restaurant-carbon-footprint.html>

¹⁰⁹ Isabelle Gerretsen. (2022). The menu tweaks that lower diners' emissions. <https://www.bbc.com/future/article/20221121-the-menu-tweaks-that-lower-diners-emissions>

PDT在对珠三角地区20家餐厅进行走访调研中，了解餐厅运营现状、对可持续餐饮的理解及行动可能性，并在其中选择了5家在可持续餐饮领域已经有所尝试的餐厅进行深度合作。PDT从每个餐厅现有的菜品中选择一种加以“改造”或对其中的气候友好元素进行强化，具体改造方式包括：增加蔬菜比例，例如将“客家酿豆腐”中的猪肉换成韭菜，这其实也是更加传统客家的做法；采用当地食材，例如用当地优质水产边鱼替代其他高碳排肉类；减少深加工食品，用粗粮代替白精细等。通过对比菜品改造前后的全生命周期碳排放数据，6道菜品改造后碳排放降低的比重在15%-88%之间。在今年围绕地球日展开的“粤食粤低碳”活动月中，通过线上宣传与餐厅的物料宣传与推荐，改造菜品共销售出3061份，实现减排2964 kg CO₂e¹¹⁰。

由于农食系统涉及的参与主体多，单一主体即便建立了气候友好饮食的意识，也缺乏行动条件，加之农食领域碳减排并未有明确的政策支持，餐厅难以形成减少食物浪费之外的参与动机。PDT通过“粤食粤低碳”联盟，与大良顺德美食旅游促进会和红餐网合作，对合作餐厅进行定向招募，并从商业可行性如：素菜毛利较高、年轻消费者对于低碳概念的追捧、促进餐厅品牌形象等角度进行动员，促进项目的实施。

在面向消费者宣传“珠三角气候友好饮食”指引性原则时，PDT也注重将专业术语转译为符合珠三角当地文化的语言文字。例如“不时不食”的宣传语，旨在引导消费者发现应季的本地食材，提炼本土文化与低碳食物的联系。

此外，PDT通过餐饮转型试点，找到行业在转型中自发的动力，建立行业措施案例，并撬动公众意识，使“可持续饮食习惯”进入主流叙事。同时与媒体合作，宣传餐饮联盟中的商家及绿色菜品，触达消费者。经由这一系列活动，联盟商家对于气候友好饮食的理解、对于参与环境议题的效能感都有所提升，有餐厅表示“现在更新菜单时会考虑碳排放，比如选用更多应季菜”。

案例推广的关键要素：

- 在提出解决方案时，需要倾听商家的意见，考虑减碳措施的成本、消费者的接受程度，确保其在商业上是可持续的。
- 强调本土经验与智慧。对于餐厅和消费者的教育，应提炼并保护本地已有的可持续餐饮文化及实践，尽量避免直接套用舶来概念。
- 强调赋能餐饮业一线人员，如厨师、店员、店长，重视直接触达消费者的服务人员意识转变。
- 我国幅员辽阔，由于餐厅地理位置、品牌定位、食客人群等不同，随着可持续饮食热度增加，可以让更多公益组织和协会参与，为餐厅定制转型指导。

¹¹⁰ 数据和信息由受访对象提供

关于iGDP:

绿色创新发展研究院（Institute for Global Decarbonization Progress，缩写 iGDP）是专注绿色低碳发展的战略咨询平台，于2014年成立于北京，旨在成为具领先专业素养和独立影响力的国际化智库。成立以来，根植我国地方绿色低碳实践，面向全球应对气候变化进程，为决策者、投资者和社区提供具有国际视野和前瞻思考的解决方案和公益性知识产品。

绿色创新发展研究院（iGDP）拥有专业化和国际化的创新研究与策略传播团队，集合能源系统、气候变化、环境经济、国际关系等领域的技术人才。我们依托北京绿色伙伴咨询有限公司和北京顺义区磐之石能源与环境研究中心开展工作，并在欧洲设有联络处。



iGDP

中国北京市朝阳区秀水街1号
建外外交公寓6-2-62
邮编: 100600

电子邮箱: igdpooffice@igdp.cn
电话: 86-10-8532-3096