

以农村可再生能源为纽带的低碳乡村模式

——以四川省遂宁市安居区海龙村为例

朱能敏¹, 陈勇², 罗涛¹, 白新禄^{1,3}, 冉毅¹, 席江¹, 杨红男¹, 宁睿婷¹, 刘刘^{1*}

(1. 农业农村部成都沼气科学研究所, 四川 成都 610041; 2. 遂宁市安居区农业农村局, 四川 遂宁 629000; 3. 塔里木大学农学院, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要: 我国是一个农业大国, 农业农村领域的减排增汇对实现我国“双碳”目标具有重要的战略意义。以四川省遂宁市安居区海龙村为研究对象, 针对村域种植业、养殖业、农村能源生产和消费以及农村人居环境等现状特点, 通过碳汇核算等模块化设置, 探讨农业农村减排增汇途径。海龙村具有典型的西南丘陵村落特征, 农业农村生产生活活动形式单一。碳排放实体构成及碳排放路径清晰, 农业农村生产生活活动是村域碳排放的主要来源, 工业化排放实体较少, 净碳排放水平较低。通过对村域各生态模块中排放实体的系统管理与减排技术的耦合嵌入可在提升村域生产生活效能的同时显著降低村域碳排放总量, 实现低碳乡村建设目标。初步形成了针对农业农村生产生活特点的减排增汇实施路径, 可为推动中国农业农村领域“双碳”目标的实现提供技术蓝本。

关键词: 碳达峰·碳中和; 碳汇核算; 技术集成; 减排增汇; 低碳乡村

中图分类号: X321; F323.22 文献标志码: A 文章编号: 1000-1166(2023)06-0088-06

DOI: 10.20022/j.cnki.1000-1166.2023060088

A Low-Carbon Countryside Model with Rural Renewable Energy as a Linkage—Hailong Village in Anju District, Suining City, Sichuan Province, as an Example / ZHU Nengmin¹, CHEN Yong², LUO Tao¹, BAI Xinlu^{1,3}, RAN Yi¹, XI Jiang¹, YANG Hongnan¹, NING Ruiting¹, LIU Yi^{1*} / (1. Biogas Institute of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610041, China; 2. Anju District Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Suining 629000, China; 3. Agricultural College of Tarim University, Alar 843300, China)

Abstract: China is a large agricultural country, and emission reduction and remittance enhancement in agriculture and rural areas are of great strategic significance for realizing China's "dual carbon" goal. This paper takes Hailong Village in Suining City, Sichuan Province as the research object and explores the ways for reducing carbon emission and enhancing carbon sequestration in rural areas through combination of individual operation such as carbon accounting according to its current characteristics of planting, livestock farming, the supply and consumption of energy for agricultural activities and rural living environments. Hailong Village is characterized by typical southwestern hilly villages with a single form of agricultural production and living activities. The composition of carbon emission entities and their carbon emission paths are clear, and agricultural production and living activities are the main source of carbon emissions in the village, with fewer industrialized emission entities and a lower level of net carbon emissions. Through the systematic management of emission entities in each ecological module of the village and the coupling and embedding of emission reduction technologies, the total carbon emissions of the village can be significantly reduced while improving the efficiency of the village's production and living activities, so as to realize the goal of building a low-carbon countryside. This study has initially developed an implementation path for emission reduction and sink enhancement that is specific to the characteristics of production and life in agriculture and rural areas, and provides a technical blueprint for promoting the realization of the 'dual carbon goal' in China's agriculture and rural areas.

Key words: carbon peaking and carbon neutrality; carbon sink accounting; technology integration; emission reduction and carbon sequestration; low-carbon rural area

收稿日期: 2023-11-20

项目来源: 国家成都市农业科技中心地方财政专项基金(NASC2022KR09); 四川省遂宁市安居区技术服务项目(ZKS-ZH-202212009)。

作者简介: 朱能敏(1982-)男,汉族,四川双流人,研究员,主要研究方向为生物质发酵产品农用风险评估, E-mail: zhunengmin@caas.cn

通信作者: 刘刘 E-mail: liuyi@caas.cn

2020年底,我国完成了全面脱贫攻坚目标任务,农业农村工作正式由脱贫攻坚转向乡村振兴。同年9月,国家主席习近平在第七十五届联合国大会上宣布:我国力争2030年前二氧化碳(CO₂)排放达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和的目标,我国正式全面推进履约减排实质性技术工作。我国是农业大国,农业农村的减排增汇将关系我国第二个“百年”计划及经济社会全面绿色转型的成败。2022年,农业农村部、国家发展改革委关于印发《农业农村减排固碳实施方案》的通知中提到:推进农业农村减排固碳,是推进乡村振兴的重要任务,让低碳产业成为乡村振兴新的经济增长点,有利于促进农业高质高效、乡村宜居宜业、农民富裕富足。我国农村异质性显著,农业生产与农村生活形式呈现区域性多元化特点,“碳达峰·碳中和”的实现形式也必然是多样性的。通过选定代表性农区开展减排增汇技术集成研发与示范,探索区域性“碳达峰·碳中和”实现模式将有助于形成以点带面、辐射连片的农业农村减排增汇规模效应。

自我国“双碳”战略实施以来,诸多学者从政策和技术层面开展了针对我国农业农村发展特点的乡村低碳建设研究,构建了一系列的具有地域特色的低碳乡村发展模式,也提出了我国低碳乡村建设中亟需解决的政策和技术屏障。王语嫣^[1]等从乡村景观学角度出发,将乡村绿地建设与农业耕作有机结合形成景观碳汇与农业种植碳汇的协调发展。陈颖婷^[2]等以广东省21个低碳乡村为例,从乡村能源供给、林业碳汇及垃圾分类回收等方面综合分析了乡村低碳建设过程中存在的问题及产生的经济效益。夏叶^[3]等从乡村人住房建设入手,分析了建材生产运输、房屋拆建及建造运行等方面所产生的碳排放,评估了乡村人住房建设过程中的碳排放潜力及管控措施。罗筱泉^[4]等从强化组织领导的政策层面到构建清洁能源体系、转变农业生产方式及发展低碳乡村旅游等技术层面提出了实现乡村低碳发展的基本路径。从上述已有研究可以看出,由于我国农业农村地域特点多样化衍生的乡村低碳发展模式与现实问题也是不同的,难以形成面面俱到的乡村低碳发展统一模式。

四川是我国农业大省也是沼气大省。据统计,截至2019年末,四川省拥有600余万口农村户用沼气池^[5]。在“双碳”战略背景下,沼气不仅是能源气体,也是《公约》认定的温室气体,任何形式的沼气

逃逸都可能产生严重的温室效应。同时,农业生产生活过程中也存在大量温室气体产生场景如水稻田、畜禽粪污储存池等^[6]。因此,选择以“沼气”为纽带形成的农业农村生产生活地区进行减排增汇技术集成研发与示范才能真正触及并解决农业农村“碳达峰·碳中和”的核心问题,形成具有高度实操性的农业农村“双碳”发展技术与政策模式,为我国履行《公约》进程提供有效的技术支撑。本研究以中国沼气能源革命第一村——四川省遂宁市安居区常理镇海龙村为对象,通过对村域内农业生产和农村生活活动的实地调查,厘清碳排放形式及路径,核算碳排放当量,评估碳减排潜力,提出碳减排技术措施,打造符合西南丘陵地形、地貌特点的农业农村减排固碳技术集成与示范,形成主体可复制、细微可调节,能因地制宜地辐射我国整个西南地区的低碳乡村建设模式,提升我国农业农村在国家“双碳”战略中的贡献权重。

1 研究方法

本研究以实地问卷调查、现场踏勘取样分析相结合的方式于2022~2023年在四川省遂宁市安居区海龙村村域内进行,样品分析在农业农村部成都沼气科学研究所完成。

取样方法:在村域内选定碳排放实体进行土壤样品采集,现场采样、储存及运输等都按照《土壤化学分析》标准进行^[7]。问卷调查按照一户一卷、面对面一问一答的方式进行,调查获得村域生活污水、生活垃圾、畜禽粪污以及能源消耗等相关基本数据。

试验设计:按照碳排放实体功能,选定稻田、旱地、坡地和林地等碳排放实体进行土壤样品采集并测定其中的碳、氮相关指标。根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)及省级相关机构颁布的碳汇计算方法核算村域碳排放实体的碳排放当量。

2 结果与分析

2.1 碳排-碳汇形式与路径

2.1.1 农村用能

海龙村农户家庭能源消费主要由电力和生物质能源(秸秆和薪炭材)组成,基本没有煤和天然气消费,因此碳排放计算仅需考虑电力消耗。薪炭燃料基本为枝丫材,秸秆与薪炭燃料等均不是来源于森林木材,因此并不计算其使用过程产生的CO₂排放^[8]。

2.1.2 旱地农田

海龙村 2022 年旱地构成为油菜种植 1530 亩、桃园 600 亩、居住地 200 亩及其它用地 100 亩。旱地碳排放主要为施肥引起的氧化亚氮(N_2O) 排放, 甲烷(CH_4) 排放量几乎为零^[9]。桃园单位面积化肥用量最大, 其碳排放量最高, 油菜地、居住用地和自留地的排放量逐次递减^[10]。旱地土壤碳汇主要通过作物光合作用将 CO_2 转化为固体生物物质等形式实现。海龙村旱地碳汇也是按照桃园、油菜地、居住用地和自留地的顺序逐次递减, 表明桃树生长过程通过光合作用将 CO_2 转化为生物质的能力最强。

2.1.3 稻田藕塘

海龙村 2022 年水田面积为 623 亩, 其中水稻种植 550 亩, 采用水稻-油菜轮作制进行耕种, 池塘莲-鱼共生面积 73 亩。与旱地不同, 稻田和池塘中的碳排放为水淹厌氧环境中微生物代谢产生的无组织 CH_4 排放, 其排放通量与有机物料添加、轮作模式、水土管理方式等生产因素密切相关^[11]。

2.1.4 养殖业粪污

海龙村养殖业粪污主要来源于猪和鸡、鸭等畜禽养殖。近 5 年海龙村生猪年出栏量为 3000 头, 家禽年出栏量为 10000 只, 年产粪污近 400 吨。村域畜禽粪污处理利用方式包括堆沤制肥(30%)、化粪池沤肥(40%)、厌氧消化产沼气制肥(10%)、小型生活污水处理排放(20%) 等 4 种, 因此碳排放主要为沤肥产生的 N_2O 及厌氧消化产生的 CH_4 无组织排放^[12]。

2.1.5 生活废弃物

海龙村 2022 年常住人口为 987 人, 生活垃圾年产量约为 266 t, 生活污水年产量约为 21.6 t BOD_5 。目前海龙村生活垃圾主要采用卫生填埋处理, 生活污水则通过污水处理设备处理, 因此碳排放主要为垃圾运输过程中的能耗当量排放和垃圾填埋过程^[13]、生活污水处理^[14] 过程中产生的 CH_4 直接排放。

2.1.6 农作物秸秆利用

海龙村 2022 年油菜和水稻种植面积分别为 1530 亩和 620 亩, 相应的油菜和水稻秸秆产量分别为每年 271.3 t 和 199.9 t。目前, 秸秆收储运都采用人工方式完成, 秸秆处理方式主要有直接燃烧(60%)、厌氧消化产沼气供能(10%)、制备畜禽饲料(10%) 和原位还田利用(20%)^[15-16], 由此产生的碳排放主要为直接燃烧产生的 CO_2 、厌氧消化过

程中逸散的沼气、畜禽饲料制备过程中的 CO_2 及还田过程中的 N_2O 。

2.1.7 林地

海龙村现有柏树天然林地 1437 亩, 林木通过光合作用吸收大气中的 CO_2 并产生氧气从而产生大量的林地碳汇^[17]。海龙村林下种植水平较低, 柏树属常年非落叶林木, 死木、枯枝落叶等年产量较小。因此, 海龙村林地主要通过同化固定 CO_2 形成碳汇, 海龙村林地面积近十年保持稳定, 因此林地碳汇量基本保持稳定。

2.2 碳排放核算

根据《IPCC 国家温室气体清单指南》(2019)^[18]、《省级温室气体清单编制指南》(2011)^[19] 等规范标准, 核算了 2022 年海龙村生产生活产生的温室气体排放量和吸收量。结果如图 1 所示, 海龙村碳年排放当量为 2384.1 t CO_2e , 其中农业生产年排放当量为 1573.5 t CO_2e , 农村生活年排放当量为 810.6 t CO_2e 。农业生产碳排放主要由畜禽粪污处理年排放当量(945.2 t CO_2e)、旱地农田年排放当量(282.3 t CO_2e)、旱地桃园年排放当量(141.8 t CO_2e) 及水田(藕塘、水稻田和水塘) 年排放当量(204.2 t CO_2e) 构成; 农村生活碳排放主要由农村用能排放当量(447.5 t $CO_2e \cdot a^{-1}$)、生活垃圾处理年排放当量(186.2 t CO_2e) 和生活污水处理年排放当量(176.9 t CO_2e) 构成。海龙村碳汇量为每年 1120 t CO_2e 当量, 主要为村中林地碳汇。综上, 海龙村为净碳排放体系, 净碳排放当量为每年 1264.1 t CO_2e 。



注: 单位: t $CO_2e \cdot a^{-1}$

图 1 海龙村年碳排放及碳汇组成

(续表 1)

排放实体	参数	参 数 意 义	分析方法
	溶解氧	① 基础水化学参数 ② 微生物代谢过程强度指标	多参仪水质分析仪
	总氮	① 细菌代谢的氮素水平 ② 氧化亚氮潜在前驱体	连续流动-盐酸萘乙二胺分光光度法
	氨氮	① 氨化/硝化细菌直接利用的氮素 ② 氧化亚氮直接前驱体	连续流动-水杨酸分光光度法
	硝酸盐氮	① 反硝化细菌直接利用的氮素 ② 氧化亚氮直接前驱体	紫外分光光度法
	总碳	土壤碳汇淋溶损失	TOC 自动分析仪
	总有机碳	土壤碳汇淋溶损失/水体碳排放潜力	TOC 自动分析仪
大气	二氧化碳	微生物代谢产生的温室气体。	气相色谱法
	甲烷	微生物代谢产生的温室气体	气相色谱法
	氧化亚氮	微生物硝化-反硝化作用产生的温室气体	气相色谱法
	硫化氢	微生物代谢产生的有毒气体	气相色谱法
	大气温度	影响温室气体扩散的物理因子	气象参数仪
	大气湿度	影响温室气体扩散的物理因子	气象参数仪
	风向	影响温室气体扩散的物理因子	气象参数仪
	风速	影响温室气体扩散的物理因子	气象参数仪

3 讨论

海龙村具有典型的西南丘陵村落特征,常年常住人口数低于户籍人口数,农业农村生产生活活动形式单一。碳排放实体构成及碳排放路径清晰,农业农村生产生活活动是村域碳排放的主要来源,工业化排放实体较少,净碳排放水平较低。通过对村域各生态模块中排放实体的系统管理与减排技术的耦合嵌入,可在提升村域生产生活效能的同时显著降低村域碳排放总量,实现低碳乡村建设目标。因此,以碳排放实体核查、碳排放量核算、减排技术集成嵌入、减排效能监测与评价四步法构建的海龙村低碳乡村建设模式可作为西南丘陵地区打造低碳乡村、实现农业农村“碳达峰·碳中和”的技术蓝本,形成一系列内涵一致性、形式多样性的我国西南低碳乡村发展模式。

参考文献:

- [1] 王语嫣. 基于低碳生态理念的乡村景观设计研究-以华东地区为例[J]. 老区建设 2023(09): 29-36.
- [2] 陈颖婷, 钟二妹, 陈孝均, 等. “双碳”视域下绿色乡村建设经济效益分析-以广东省低碳乡村为例[J]. 广东蚕业 2023, 57(08): 50-56.
- [3] 夏叶, 陶立克, 陈煜彬. 岭南地区乡村营造的低碳设计策略-以增城大埔村美丽乡村建设为例[J]. 华中建筑 2023 41(07): 37-42.
- [4] 罗筱泉, 林梦晓, 刘旻慧. “双碳”背景下乡村低碳发展路径探讨[J]. 皮革制作与环保科技 2023 4(06): 155-157.
- [5] 樊邦平. 600 余万口农村户用沼气池将重新“上岗”[R/OL]. <https://www.sc.gov.cn/10462/12771/2019/7/2/75fd173324174f04a4997423636df379.shtml>. 2009-07-02.
- [6] WANG X D, HE C, CHENG H Y, et al. Responses of greenhouse gas emissions to residue returning in China's croplands and influential factors: A meta-analysis [J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 289: 112486.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [8] 张雯, 欧阳子健, 苏盼. 农村生物质能源利用现状及发展对策——以湖北当阳为例[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(28): 13929-13932.
- [9] DUMBRELL N P, KRAGT M E, MEIER E A, et al. Integrating biophysical and whole-farm economic modelling of agricultural climate change mitigation [G]. Queensland 21st International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM) held jointly with the 23rd National Conference of the Australian Society for Operations Research / DSTO led Defence Operations Research Symposium, Gold Coast, 2015.
- [10] BRYAN, B. A, CROSSMAN N D, NOLAN M, et al. Land use efficiency: anticipating future demand for land-sector greenhouse gas emissions abatement and managing trade-offs with agriculture, water, and biodiversity [J]. *Global Change Biology*, 2015, 21(11): 4098-4114.

- [11] XIA LL, XIA Y Q, MA S T, et al. Greenhouse gas emissions and reactive nitrogen releases from rice production with simultaneous incorporation of wheat straw and nitrogen fertilizer [J]. *Biogeosciences*, 2016, 13(15): 4569–4579.
- [12] SURARS R, PRIEKULIS J, BĒRZINAET L, et al. Manure management systems impact on GHG emissions [G]. Riga: 25th NJF Congress on Nordic View to Sustainable Rural Development, 2015.
- [13] 刘春红, 郝学军, 刘枫. 北京市城市生活垃圾处理温室气体排放特征及减排策略 [J]. *环境工程技术学报*, 2022, 12(04): 1041–1047.
- [14] DU W, LU J Y, HU Y R, et al. Spatiotemporal pattern of greenhouse gas emissions in China's wastewater sector and pathways towards carbon neutrality [J]. *Nature Water*, 2023, 1: 166–175.
- [15] 何甜甜, 王静, 符云鹏, 等. 等碳量添加秸秆和生物炭对土壤呼吸及微生物生物量碳氮的影响 [J]. *环境科学*, 2021, 42(01): 450–458.
- [16] 杨传文, 邢帆, 朱建春, 等. 中国秸秆资源的时空分布、利用现状与碳减排潜力 [J]. *环境科学*, 2023, 44(02): 1149–1162.
- [17] 陈铭昊, 刘强, 吴伟光, 等. 林业碳汇项目综合风险评估研究——以浙江、福建、江西、广东林业碳汇项目为例 [J]. *农业展望*, 2021, 17(06): 18–24.
- [18] CALVO BUENDIA E, TANABE K, KRANJC A, et al. IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [M]. Switzerland: IPCC, 2019.
- [19] 中国环境科学研究院. 省级温室气体清单编制指南 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [20] 张鑫, 朱宇恩, 李磊, 等. “双碳”视角下基于 LCA 的市域秸秆资源化利用探讨 [J]. *山西农业大学学报 (自然科学版)*, 2023, 43(4): 65–74.
- [21] 李欢, 金宜英, 李洋洋. 生活垃圾处理的碳排放和减排策略 [J]. *中国环境科学*, 2011, 31(02): 259–264.
- [22] 陈松文, 刘天奇, 曹凑贵, 等. 水稻生产碳中和现状及低碳稻作技术策略 [J]. *华中农业大学学报*, 2021, 40(30): 3–12.
- [23] 欧阳喜辉, 周绪宝, 王宇. 有机农业对土壤固碳和生物多样性的作用研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27(11): 224–230.
- [24] 毕于运, 高春雨, 王红彦, 等. 我国农作物秸秆离田多元化利用现状与策略 [J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(09): 1–11.
- [25] 吴伟祥, 李丽劫, 吕豪豪, 等. 畜禽粪便好氧堆肥过程氧化亚氮排放机制 [J]. *应用生态学报*, 2012, 23(06): 1704–1712.
- [26] 周光明, 黄农. 湘潭市能源的生态足迹及森林固碳减排效应的分析 [J]. *湖南林业科技*, 2006, 33(1): 4–6.