

我国典型农作区作物生产碳汇功能研究

余玮¹, 黄璜¹, 官春云¹, 陈阜², 陈光辉¹

(1. 南方粮油作物协同创新中心, 湖南农业大学, 长沙 410128; 2. 中国农业大学, 北京 100083)

摘要: 我国是一个农业大国, 研究我国典型农作区作物生产碳汇对于估算区域碳收支和制定应对气候变化的管理政策有重要的意义。全国 6 个典型农作区中主要农作物生产整体表现为碳汇。同一区域内不同作物的碳汇量差异明显, 同一作物在不同区域之间差异显著。全国年土壤有机碳储量整体表现为碳汇, 不同区域年土壤有机碳储量的范围为 $-2.07 \text{ TgC}\cdot\text{y}^{-1}$ ~ $19.95 \text{ TgC}\cdot\text{y}^{-1}$ 。

关键词: 作物生产; 固碳减排措施; 碳汇功能

中图分类号: S3 **文献标识码:** A

Study on the Carbon Sink Function of Crop Production in Typical Agricultural Areas of China

She Wei¹, Huang Huang¹, Guan Chunyun¹, Chen Fu², Chen Guanghui¹

(1. Southern Regional Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crops in China, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China; 2. China Agriculture University, Beijing 100083, China)

Abstract: China is a big agricultural country. The research on the carbon sink function of crop production in China's typical agricultural areas plays an important role in estimating the regional carbon budget and making management policies to tackle climate changing issue. The production of staple crops can be generally reflected by their carbon sinks. The carbon sinks of different crops in the same area differ greatly, and the carbon sink of the same crop also differs in different areas. The national annual reserve of soil organic carbon can be generally embodied in its carbon sink as well. The annual reserves of soil organic carbon in different areas range between $-2.07 \text{ TgC}\cdot\text{y}^{-1}$ and $19.95 \text{ TgC}\cdot\text{y}^{-1}$.

Key words: crops production; measures of carbon sequestration and emission reduction ; carbon sink

一、前言

联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第五次评估报告表明, 2010 年全球农林业温室气体排放量为 $12 \text{ Gt CO}_2\text{eq}$ (CO_2 当量), 占人类活动总排放量的 24%^[1]。我国作为世界上重要的农业大国之

一, 作物生产对全球气候变化的影响不可忽视。过去几十年里, 我国农业投入快速增加, 碳排放也随之增加, 产量的提高使农作物固定碳的能力也在快速增加。农业作物生产系统正逐渐成为一个巨大的碳库, 在保持农业土壤碳汇功能、提高土壤有机碳水平、保障粮食安全等方面具有重要的意义。本项

收稿日期: 2016-01-08; 修回日期: 2016-01-15

作者简介: 余玮, 湖南农业大学, 副教授, 主要研究方向为作物学; E-mail: clregina@163.com

基金项目: 中国工程院咨询项目“我国典型农作区作物生产碳汇功能”(2013-XY-17)

本刊网址: www.enginsci.cn

目根据我国不同农作区的差异,将全国划分为东北、华北、西北、长江中下游、西南、华南六大区域,笔者等分别对其作物生产系统固碳及土壤固碳进行定量分析。本文中涉及的耕地面积、作物播种面积、作物产量等数据来自2011—2013年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》及各省级统计年鉴。农田有机碳储量(dSOC)的计算采用大田试验的测定数据。

二、我国各区域主要作物农田土壤固碳

我国不同区域农田土壤碳储量变化率有所不同,全国平均年土壤有机碳储量变化量为 $193.48 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$,表现为固碳效应(见表1)。其中,东北地区和西北地区表现为负值,即土壤有机碳储量表现出减少的趋势,分别减少 $6.48 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 和 $231.30 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 。其他地区土壤有机碳储量变化量表现为正值,具有固碳能力。其中,华北地区有机碳储量增加量最多为 $859.75 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$,而从西北向东和南土壤有机碳储量增加量呈减少趋势。长江中下游地区较西南地区有机碳储量增加量减少了 $61.38 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$;华南地区较长江中下游地区减少了 $24.41 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$ 。

由于各区域的主要作物种植面积有所不同,所以年区域农田固碳率有所区别。全国主要作物种植面积(各区域主要作物种植面积之和)为华北>长江中下游>东北>西南>西北>华南。全国年土壤固碳量约为 26.53 TgC 。其中,华北地区的固碳效果明显,年土壤固碳量为 19.95 TgC ,占全国年固碳量的 75.21% ,其次为西南地区年土壤固碳量占全国年固碳量的 15.53% ,长江中下游地区为全国年固碳总量的 13.93% ,华南地区为全国年固碳量的 3.63% 。东北地区和西北地区有机碳库减少量分别为 $0.13 \text{ TgC}\cdot\text{y}^{-1}$ 和 $2.07 \text{ TgC}\cdot\text{y}^{-1}$ 。

三、各农作区作物生产碳汇功能及减排措施

(一) 西北地区农作物生产碳汇功能及固碳减排措施

1. 西北地区农作物生产碳汇功能

我国西北地区主要农作物有小麦、玉米、马铃薯和棉花等,种植面积分别为 $3.261\times 10^7 \text{ hm}^2$ 、 $1.80\times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $1.04\times 10^6 \text{ hm}^2$ 和 $1.74\times 10^6 \text{ hm}^2$,其中小麦种植面积在各区域中最大。西北地区主要农作物生产固碳量和碳成本如图1所示。主要农作物生态系统净生产力表现为水稻($5174 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}$)>玉米($3766 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}$)>大豆($2164 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}$)。主要农作物生产固碳量为 32.93 TgC ,主要由小麦、玉米和马铃薯贡献,分别占区域总固碳量的 42.30% 、 30.39% 和 17.69% 。四种主要农作物的碳效率分别是 5.23 、 3.88 、 5.86 和 0.86 。主要农作物生产碳成本为 9.92 TgC ,小麦、玉米、马铃薯和棉花分别占区域碳成本的 26.84% 、 25.98% 、 10.02% 和 37.16% 。西北地区农田土壤固碳率为 $-2.07 \text{ TgC}\cdot\text{y}^{-1}$,即每年减少 2.07 TgC 。西北地区整个农田系统表现为固碳效应,即净碳量为正值。

2. 西北地区农作物生产固碳减排措施

优化耕作制度,构建资源节约与环境友好作物生产技术模式。以免耕、秸秆还田等技术措施为代表的保护性耕作体系可以减少土壤系统的扰动,在甘肃、陕西、宁夏等地区研究结果表明保护性耕作可以减少土壤有机碳的损失,增强土壤碳汇,也可以减少 CO_2 的排放,从而增加农田有机碳的含量。建立适当的间作或轮作体系也可以实现农田固碳减排的作用,且能实现增加作物碳汇。在黄土高原、河西走廊的研究均发现间作比连作和单作能减少土壤呼吸。另外,还需根据区域自身的特点,选择种植具有高碳汇能力的作物,如薯类、蔬菜、玉米等农作物。

表1 我国不同区域土壤固碳

区域	土壤有机碳储量变化量/($\text{kgC}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{y}^{-1}$)	主要农作物种植面积/ hm^2	农田土壤固碳量/($\text{TgC}\cdot\text{y}^{-1}$)
东北	-6.48	19 838 200.00	-0.123
华北	859.75	23 206 300.00	19.95
西北	-231.30	8 954 178.54	-2.07
西南	228.70	18 017 370.00	4.12
长江中下游	167.32	26 165 240.00	3.69
华南	142.91	6 726 950.00	0.96
全国	193.48	102 908 238.5	26.53

建立生态补偿政策，推进农作物清洁生产。充分发挥西北地区的自然资源和经济条件优势，解决农业清洁生产的约束和限制条件，在农业生产全过程中，使用清洁化农业生产资料以及农艺和养殖措施，种养结合，综合利用节水、节肥、节药、节地、节能以及资源综合利用等农业生产技术，实现农业废物的内部循环，减少农业污染的产生，实现农业清洁生产。在农业生产过程中发挥科研院所的技术优势，与农业技术推广部门、农业生产单位和农户之间建立技术服务联系，大力推广具有高效固碳减排的耕作模式、种植结构。

(二) 东北地区农作物生产碳汇功能及固碳减排措施

1. 东北地区农作物生产碳汇功能

东北地区农作物种植以水稻、玉米和大豆为主，种植面积分别为 $4.82 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $1.113 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 、

$3.89 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，其中玉米种植面积在各区域中达到最大。东北地区主要农作物生产固碳量和碳成本如图2所示。主要农作物生产固碳量为 74.78 TgC ，水稻、玉米和大豆分别占区域总固碳量的 32.68%、56.06% 和 11.26%，东北地区的固碳贡献优势表现在水稻和玉米上。东北地区大豆生产碳效率最高 (15.21)，水稻、玉米分别为 2.73 和 8.72。三种农作物生产碳成本为 14.55 TgC ，水稻、玉米和大豆分别占区域碳成本的 61.59%、34.60%、3.81%。从土壤有机碳储量来看，全国平均年变化率为 $193.48 \text{ kgC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ ，表现为固碳效应，而东北表现为负值，即土壤有机碳储量表现出减少的趋势，每年减少 0.13 TgC 。东北地区整个农田系统表现为固碳效应。

2. 东北地区农作物生产固碳减排的技术模式与途径

增加农田碳汇和作物碳汇。东北地区土壤有机

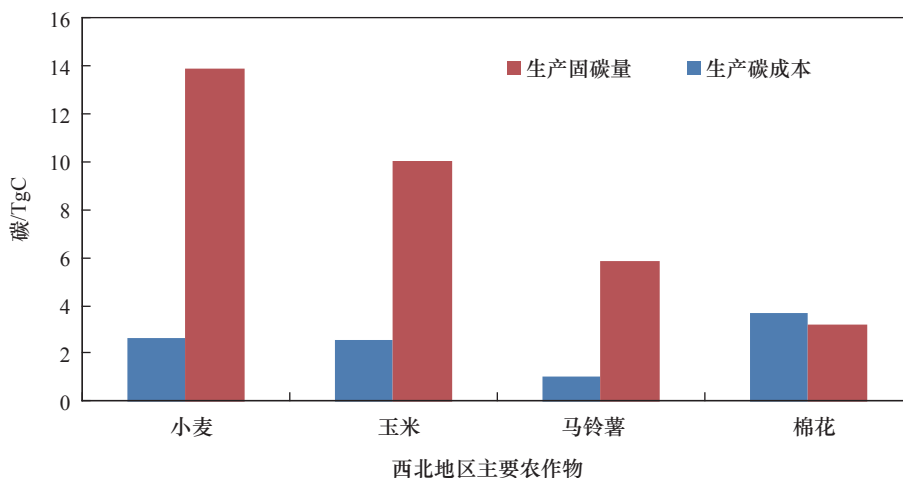


图1 西北地区主要农作物生产固碳量和碳成本

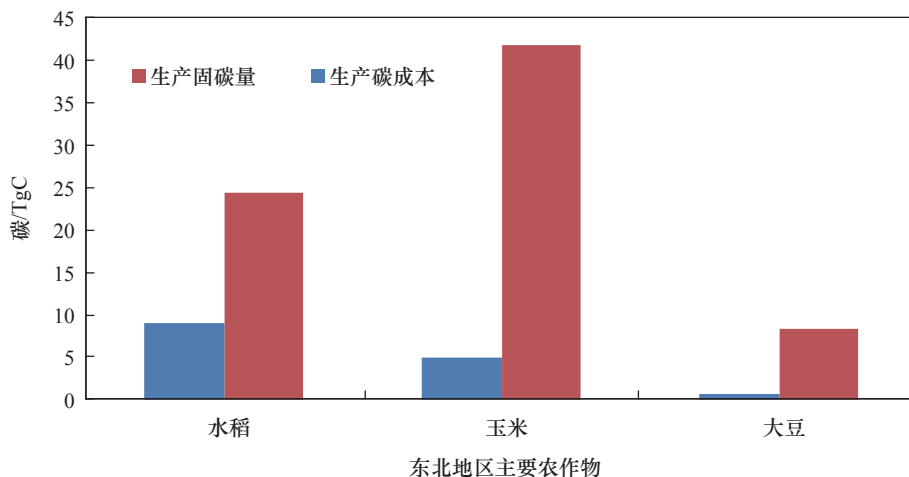


图2 东北地区主要农作物生产固碳量和碳成本

碳储量表现出减少的趋势，而东北黑土地养分含量较高，其可吸收有机碳的空间有限。增加农田碳汇必须降低有机质矿化，增加土壤固定新鲜有机碳的能力，加强农田生物固碳减排技术的研究，如生物质能源的利用，作物秸秆所制备的生物炭，作物秸秆添加制剂后还田和生物黑炭等；农田和草原土壤固碳。秸秆还田和免耕可以在很大程度上提高土壤有机碳的含量，所以必须扩大秸秆还田的面积和免耕技术运用的范围。

东北地区的水稻、玉米和大豆多为一年一熟制，而东北的固碳贡献优势表现在水稻和玉米上。由于光热条件的限制，对于农作物产量的增加不能从增加熟制上实现，因此，作物高产需要进行潜力开发，结合育种与栽培方式提高作物的单产，尤其是水稻和玉米的产量。同时，合理布局，调整种植结构，采用轮作、间作套种等栽培措施，种养结合，实现作物碳汇的增加。

减少碳投入和碳排放。该地区水稻生产碳足迹明显高于其他两种作物，而构成水稻碳足迹的主要因素是灌溉用电和化肥施用，分别占54.7%和21%，该区域应当在优化生产技术、减少化肥和农膜使用的基础上，重点研究采取高效的灌溉措施提高效率减少灌溉等耗电量，降低水稻的生产碳足迹。而对于该地区主要的三种农作物，应当注意化肥的施用，重视有机肥和厩肥、有机肥和化肥的配施以及秸秆深施并且发展肥料高效利用与节肥技术。种植方式会影响到土壤呼吸。耕作制度还可改变甲烷产生、排放的条件而影响甲烷的排放。与连续淹水稻田相比，采用水旱轮作、旱作栽培及垄作栽培等

方式均可提高土壤的通透性，改善土壤的氧化还原条件，能显著降低甲烷的排放。

(三) 华北地区农作物生产碳汇功能及固碳减排措施

1. 华北地区农作物生产碳汇功能

华北地区小麦和玉米的种植面积为 $1.219 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 、 $1.101 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。华北地区作物生态系统净生产力表现为玉米($3\ 141 \text{ kgC} \cdot \text{hm}^{-2}$)>小麦($2\ 334 \text{ kgC} \cdot \text{hm}^{-2}$)。该地区主要作物生产固碳量为63.05 TgC，小麦和玉米固碳量基本持平，分别占该地区总固碳量的45.14%和54.86%。两种作物生产碳成本为43.34 TgC，小麦和玉米分别占据63.25%和36.75%（见图3）。全国平均年土壤有机碳储量变化率为 $193.48 \text{ kgC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ ，而华北地区有机碳储量增加量最多，为 $859.75 \text{ kgC} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ ，该地区的农田固碳效果明显，年土壤固碳量为19.95 TgC，占全国年固碳量的75.21%。华北地区整个农田系统表现为固碳效应。

2. 华北地区农作物生产固碳减排的技术模式与途径

增加作物碳汇。华北地区是我国典型的小麦-玉米一年两熟轮作区，其增加作物碳汇的主要模式是增加光能利用率和改良土壤的物理性质，其基本途径：一是选种生育期适当长的品种，延长作物的光合作用时间，从而增加作物的固碳量；二是玉米适时早播晚收。在不影响小麦播种的前提下，适当延长活秆绿叶时间而延长作物的光合作用时间，从而增加玉米的固碳量；三是选种耐逆性较好的品种，适当增加作物的种植密度，从而增加作物群体

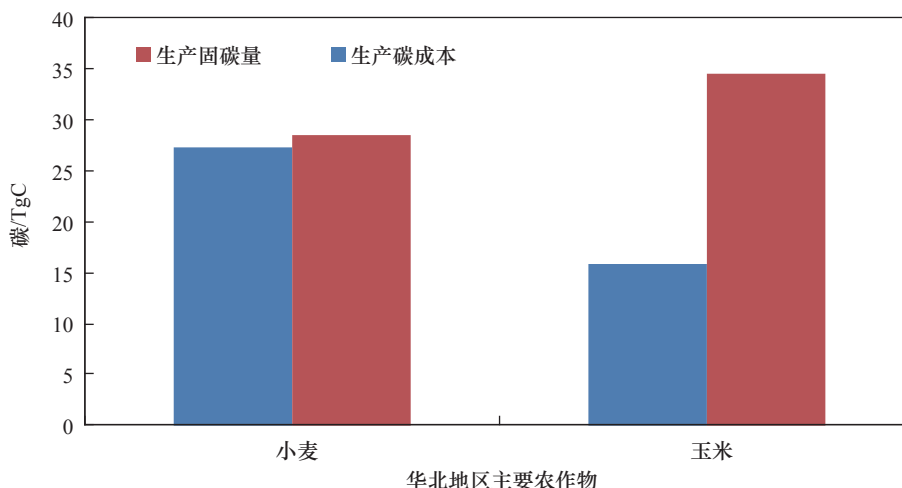


图3 华北地区主要农作物生产固碳量和碳成本

的固碳量；四是深松耕调土强根。近年来，重机械应用，少免耕的推广，造成该地区耕层变浅，土壤容重增加，严重影响了作物根系的生长发育，从而影响了地上部分的生长。在该地区适当深松耕可打破犁底层，降低土壤容重，改善土壤的理化性质，为作物根系生长提供适宜的环境，进一步促进地上部分的生长，从而增加作物的固碳量。

推进作物生产固碳减排的技术政策。①在优化本地区耕作制度方面，根据华北小麦-玉米两茬平作区的生态气候特点，该地区的农业高校和科研院所组织开展了诸如保护性耕作、秸秆还田、测土配方施肥、缓释肥料研发及玉米垄作沟灌栽培等“农机-农艺-农技”一体化研究工作，这为构建资源节约与环境友好作物生产技术模式提供了理论依据和技术支撑。②在社会化服务方面，一是建设试验示范区。采用适合本地实际的技术模式，建成标准化的样板田，形成系统的作业规范。二是建设推广区。以试验示范区为依托，通过技术指导、宣传培训、作业补贴等措施，建设具有一定规模的技术推广区，逐步扩大技术推广的应用范围。三是提升技术支撑能力。组织技术培训、宣传与机具选型，尽快消除固碳减排技术障碍，简化固碳减排技术，降低农户的边际成本。③在生态补偿政策建立方面，充分利用现有秸秆，综合利用财政、税收、价格优惠激励政策，加强研究秸秆收、运、储体系建设激励措施，提高还田和收集率，扩大秸秆养畜、保护性耕作、秸秆代木、能源化利用等秸秆综合利用支持规模；探索秸秆综合利用重点区域支持政策及研究建立秸秆还田或打捆收集补助机制。

(四) 西南地区农作物生产碳汇功能及固碳减排措施

1. 西南地区农作物生产碳汇功能

西南地区水稻种植面积最大 ($4.45 \times 10^6 \text{ hm}^2$)，其次为玉米 ($3.96 \times 10^4 \text{ hm}^2$)、小麦 ($2.28 \times 10^4 \text{ hm}^2$) 和油菜 ($1.96 \times 10^4 \text{ hm}^2$)。西南地区作物生态系统净生产力表现为水稻 ($3\ 003 \text{ kgC} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 小麦 ($2\ 537 \text{ kgC} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 玉米 ($1\ 768 \text{ kgC} \cdot \text{hm}^{-2}$) > 油菜。西南地区主要作物生产总固碳量为 27.61 TgC，其中水稻 (48.40 %) > 玉米 (25.37 %) > 小麦 (20.97 %) > 油菜 (5.26 %)。通过对作物生产净碳量和碳效率的对比发现，西南地区主要作物生产基本表现为碳汇功能，以小麦生产碳汇能力最强，其次为水稻和玉米（见图 4）。西南地区农田生态系统表现为固碳效应。

2. 西南地区农作物生产固碳减排的技术措施和途径

(1) 增加农田碳汇。加大有机肥投入，推广秸秆还田技术，提升农田有机质含量：农田土壤有机质主要来源于作物秸秆、根茬腐熟和有机肥投入。而我国西南地区年均温和降雨量均高于北方地区，有利于秸秆腐熟转化为有机碳，因此大力推广秸秆还田技术，增加外源有机肥投入可有效提高农田有机质的含量。

大力推广保护性耕作技术，降低翻耕强度和频度：翻耕将加大对土壤环境的扰动，一方面使深层有机碳更多的暴露在空气中发生氧化，另一方面，还会改变土壤通透性和土壤微生态环境，加速有机碳矿化和分解。实施保护性耕作技术，降低翻耕强度和频度，可有效降低西南地区农田土壤有机碳的矿化分解损失。

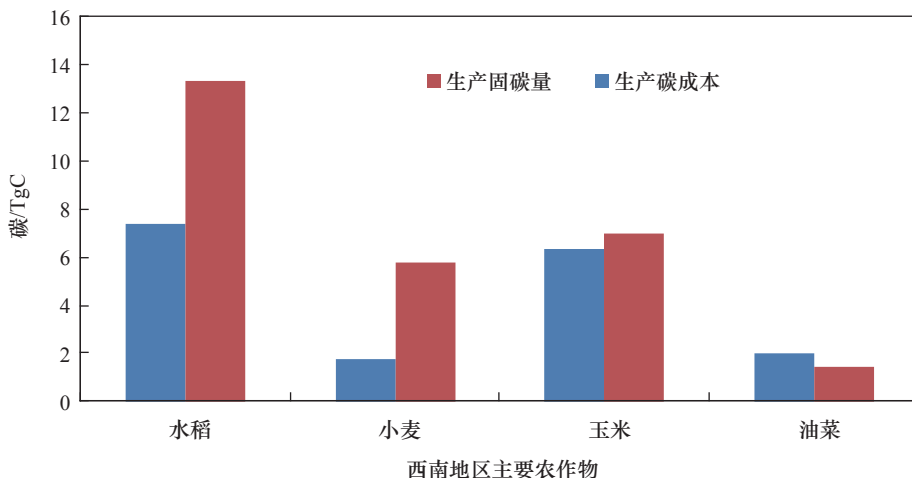


图 4 西南地区主要农作物生产固碳量和碳成本

推广秸秆和植被覆盖技术，减少水土流失：水土流失是造成土壤有机质含量下降的一个重要因素。我国西南地区，地形以丘陵和山地为主，是我国水土流失最为严重的地区。以四川省为例，水土流失面积约为 $2.014 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，占幅员面积的 41.2%，土壤年均侵蚀量约为 $9 \times 10^8 \text{ t}$ 。秸秆与植被覆盖技术的应用能够有效减缓降水对土壤的冲击力，同时，秸秆和植被也具有强大的水流阻隔能力，从而可有效降低因水土流失造成的土壤有机碳流失。

(2) 增加作物碳汇的主要技术模式与途径。作物高产潜力开发：作物碳汇能力主要取决于作物物质的生产能力，因此，加强高产品种选育和资源高效利用栽培管理技术的研发与推广应用，将更有利于作物碳汇功能的发挥。

大力发展和推广间套作带状复合种植技术，提高复种指数：在我国西南地区，光照资源相对不足，但水热资源丰富，充分利用该区域水热资源的优势，大力发展带状间套作栽培技术，提高复种指数，可有效提高作物对资源的利用率，增强该区域作物的碳汇功能。如麦/玉/豆、油/玉/豆等带状复合种植高产高效种植模式。

(3) 减少碳排放。开展肥料高效利用与节肥技术的研发与推广：西南地区，地形多为丘陵和山地，水土流失相对严重，肥料利用效率低下，加强肥料的高效利用与节肥技术的研发与推广，提高肥料利用效率，减少投入量，提高作物生产碳效率，可有效的降低作物生产碳排放。如推广测土配方施肥技术，并根据作物对肥料的需求时期和数量定量施肥。

节水高效灌溉技术的推广和应用：西南地区季节性干旱缺水问题十分突出，作物生产灌溉需求高，而灌溉过程中的能源消耗是作物生产碳排放和碳足迹的重要组成部分。优化灌溉措施和技术，减少灌溉水的投入，提高水分利用的效率，将有利于西南地区碳排放的下降。如大力推广喷灌、微灌技术和水稻控灌技术。

发展和推广少耕免耕栽培技术：研究表明，翻耕是造成土壤有机质含量下降和农田温室气体排放加剧的主要因素，作物生产中推广少耕免耕栽培技术可降低翻耕过程中的生产碳排放，同时还可以降低土壤有机碳的矿化和分解，减少二氧化碳向大气中的输入。

(4) 秸秆资源化利用。资料显示，我国西南地区秸秆资源年产量约为 $7.123 \times 10^7 \text{ t}$ ，但 21% 的秸秆未被利用。加强秸秆资源的能源化利用，提高利用效率可直接减少农业生产生活二氧化碳的排放；大力开发、推广秸秆资源饲用和秸秆还田技术能够在减少农业生产生活二氧化碳排放的同时，提高土壤有机质含量；推广秸秆直接还田或腐熟还田技术，提高土壤有机质含量，减缓大气二氧化碳浓度的升高。

(五) 长江中下游地区农作物生产碳汇功能及固碳减排措施

1. 长江中下游地区农作物生产碳汇功能

长江中下游地区农作物以水稻、油菜、小麦、玉米为主，该地区是我国典型的双季稻产区，水稻种植面积在所有作物中占绝对优势，为

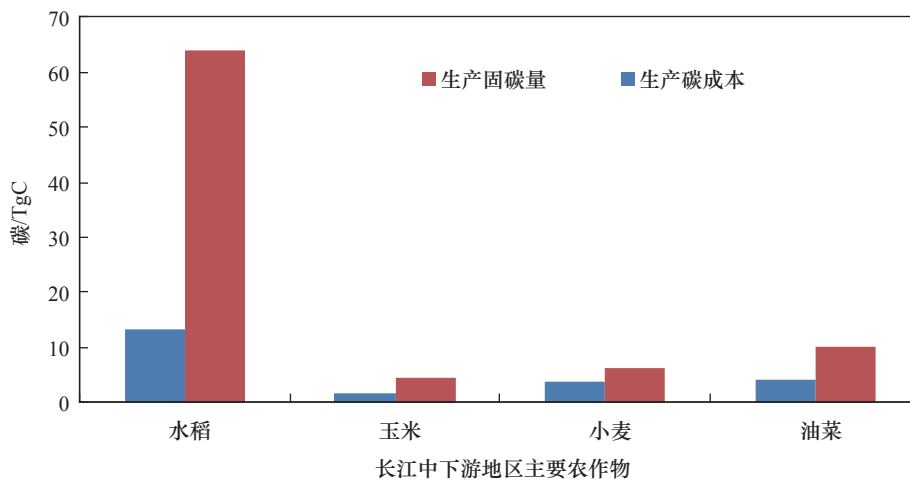


图5 长江中下游地区主要农作物生产固碳量和碳成本

$1.479 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。该地区主要农作物生产固碳量为 84.86 TgC ，固碳贡献主要来自水稻，占总固碳量的 75.44% ，其次为油菜 (11.98%)、小麦 (7.38%) 和玉米 (5.20%)。长江中下游地区作物生态系统净生产力表现为水稻 ($4\ 327 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 玉米 ($2\ 477 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 油菜 ($2\ 474 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 小麦 ($1\ 136 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}$)。该地区农田土壤年固碳量为 3.69 TgC ，占全国年固碳量的 13.93% 。水稻、玉米、油菜和小麦的碳效率分别为 4.75 、 2.38 、 2.48 和 1.62 。长江中下游地区整个农田生态系统表现为固碳效应。

2. 长江中下游地区农作物生产固碳减排的技术模式与途径

(1) 增加农田碳汇。长期免耕有利于增加土壤碳库。长期保护性耕作下，我国农田表土有机碳含量总体呈上升趋势，水田比旱地更有利于促进有机碳的积累。在最近几年发表的一些代表性的长期试验研究显示，长江中下游平原地区在配方施肥和有机、无机配合施肥条件以及良好的农作制下农田土壤有机碳均呈普遍的上升趋势。

(2) 增加作物碳汇。长江中下游地区是典型的多熟制区域，种植制度多为稻-稻、稻-油等，该区域的固碳贡献优势表现在水稻上，因此首先可以考虑从增加熟制上来增加农作物产量进而增加碳汇，比如稻-稻-油，稻-稻-菜等。其次，作物高产需要进行潜力开发，结合育种与栽培方式提高作物单产，尤其是水稻和油菜的产量。同时，种养结合，合理布局，调整种植结构，采用轮作、间作套种等栽培措施，提高复种指数，实现作物碳汇的增加。

(3) 减少碳排放。在长江中下游地区，减少碳排放的主要措施包括适宜作物品种的选择、耕作方式和合理施肥、灌溉管理以及种养结合等，其中灌溉管理是最简单而且效果最明显的措施。例如，在生产实践上选育土壤氧化层根系发达、厌氧层根系分布小、通气组织不发达、根分泌少的品种，有利于促进根际形成有氧环境和提高甲烷氧化菌的活性，抑制甲烷产生菌的活性。如杂交稻替代常规稻，不仅经济效益显著，减少甲烷排放的同时还能增加水稻的产量。其次，稻季土壤耕作方式对水稻生长季甲烷排放总量有显著或极显著的影响，例如在长江下游稻麦两熟制农田采用周年旋耕措施能有效减少水稻生长季甲烷的排放。在肥料使用上，通过有机肥和化肥配合施用，增加酸性肥料、添加甲烷产生菌抑制剂(如碳化钙)的使用等均可以减少甲烷的产生。合理的水管理方式，如稻田淹水和烤田相结合是减少甲烷排放的理想措施，适当的间歇烤田能大幅度减少甲烷的排放量。此外，在长江中下游地区，稻田生态养殖具有显著的减排效果。

(六) 华南地区农作物生产碳汇功能及固碳减排措施

1. 华南地区农作物生产固碳功能

我国华南地区主要农作物总固碳量为 71.17 TgC ，其中甘蔗的固碳量占比最多，为总固碳量的 81.26% ，水稻为 18.74% 。本地区作物生态系统净生产力表现为甘蔗 ($44\ 425 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}$) > 水稻 ($2\ 573 \text{ kgC}\cdot\text{hm}^{-2}$)，表明甘蔗吸收二氧化碳能力最强。水稻和甘蔗碳成本分别为 4.61 TgC 和 5.00 TgC 。华南地区农田土壤固碳率为 $0.96 \text{ TgC}\cdot\text{y}^{-1}$ 。整个农田系统表现为固碳

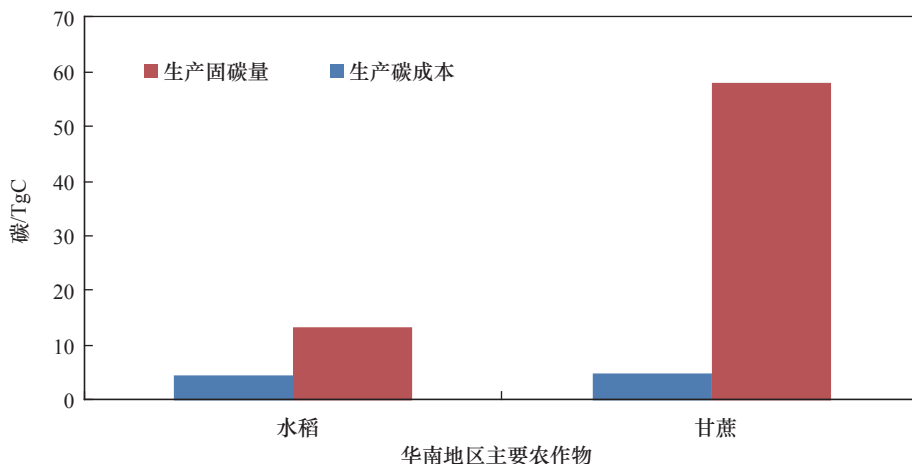


图6 华南地区主要农作物生产固碳量和碳成本

效应,即净碳量为正值。

2. 华南地区农作物生产固碳减排主要技术模式与途径

(1) 增加农田碳汇。华南四省中广东水稻的种植面积最大,其单产仅次于福建,其氮肥施用量低于广西,磷肥、钾肥施用量均低于海南、福建两省。因此,广东水稻生产能够更有效地减少碳排放,增加碳汇量。广西作为甘蔗种植大省有全国最大的甘蔗种植面积,其单产低于广东,高于海南、福建;但是其施肥量低于广东、海南等地。因此在广西大面积推广种植甘蔗相对其他三省来说能够有效增加碳汇。

在华南稻区开展保护性耕作能增进农田生产生态功能,保护稳定的产量效益,有利于可持续发展。开展保护性耕作是以保护农田水土、增加农田有机质含量、减少能源消耗、减少土壤污染、抑制土壤盐渍化、受损农田生态系统恢复等领域的保护性技术研究为重点,包括免耕直播技术、免耕抛秧技术和水稻秸秆还田技术。

(2) 增加作物碳汇。在华南地区推广双季超级稻强源活库优米栽培技术、稻鸭共育生态高效栽培技术模式、稻鱼共育生态高效栽培技术模式等,可抑制水稻病虫和稻田杂草的发生,减少病虫的危害,

减少农药使用量和使用次数,保护农田生态环境。鸭子和鱼的活动可以疏松表土,促进营养成分的吸收和利用,并且其排泄物又是水稻的优良有机肥。既减少了农药的使用,减轻了农田污染,又降低了生产成本;可以充分利用水面,提高稻田综合生产效益,增加农民的收入。

(3) 减少碳排放。在华南地区推广水稻“四减四增”生产技术和水稻“三控”施肥技术,通过减少在水稻生产过程中化学肥料和农药的投入、减少水资源消耗和污染物排放,实现增加土壤肥力、增强水稻抗逆力、增加肥料利用率,提高经济效益的目的。再加上水稻高效病虫害防控技术,坚持预防为主,综合防治的植保工作方针,以重大病虫为主要防控对象,狠抓害虫主害代和病害流行关键期的防控,同时减少化学农药使用量和对农业生态环境的污染,提高防治效果,保护稻田生态环境。

参考文献

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2014: Mitigation of climate change. contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[EB/OL]. 2014-04. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.