

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.190402

张若焰, 陈儒, 王秀娟, 姜志德. 现代烟草农业的碳效应核算与分析——以陕西省烟草合作社为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(12): 1903–1915

ZHANG R Y, CHEN R, WANG X J, JIANG Z D. Carbon effect of modern tobacco agriculture: Based on tobacco cooperatives in Shaanxi Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(12): 1903–1915

## 现代烟草农业的碳效应核算与分析\*

——以陕西省烟草合作社为例

张若焰, 陈儒\*\*, 王秀娟, 姜志德

(西北农林科技大学经济管理学院 杨凌 712100)

**摘要:** 通过构建烟草农业碳效应核算体系, 运用调研获取的陕西省烟草专业合作社 393 户烟农数据, 对农户在烟草种植各个环节产生的碳排放量、碳汇量、碳效率、碳密度和碳强度等多项综合碳效应指标进行测算与分析, 探究陕西省烟草农业碳效应水平, 更具针对性地制定减排政策, 以促进烟草农业的低碳化发展。研究结果表明: 调研区域烟农种植的 641.17 hm<sup>2</sup> 烟田总计碳排放量为 3 276.27 t, 每公顷碳排放量 5.11 t。其中农用能源消耗排放量最大, 占碳排放总量的 68.21%; 其次是农资投入环节, 占碳排放总量的 24.88%; 农业废弃物处理、农田管理以及农田耕地土壤 N<sub>2</sub>O 排放所产生的碳排放量所占比重较低。各地区每公顷碳排放量由大到小依次为宝鸡、商洛、安康、汉中。调查烟田的总碳汇量为 1 361.86 t, 每公顷碳汇量 2.12 t。通过秸秆还田、免耕、化肥与有机肥合理配施等措施引致的土壤固碳占总碳汇量的 81.12%。各地区每公顷碳汇量排序为商洛、宝鸡、汉中、安康。总净碳汇量为 -1 914.41 t, 每公顷净碳汇量 -2.99 t。研究区烟草农业总碳排放量大于碳汇量, 呈现负的净碳汇效应。此外, 汉中烟草专业合作社通过采取调整管理经营模式、优化农户投入结构、提高农资利用效率、改进烟草农业技术和转变农户耕作方式等措施, 使其碳效率、碳强度和碳密度等综合碳效应均呈现为最优, 每公顷净碳汇量最大。

**关键词:** 烟草生产; 专业合作社; 综合碳效应; 碳排放量; 碳汇量

中图分类号: F323.2

文章编号: 2096-6237(2019)12-1903-13

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



## Carbon effect of modern tobacco agriculture: Based on tobacco cooperatives in Shaanxi Province\*

ZHANG Ruoyan, CHEN Ru\*\*, WANG Xiujuan, JIANG Zhide

(School of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Greenhouse gas emission from agriculture activities have an important impact on global warming. As the part of the agriculture system, tobacco agriculture has the obligation to address the climate change in the background of Ecological Civilization Construction and Rural Revitalization. To Explore the carbon effect of tobacco agriculture in Shaanxi Province and formulate effectively emission reduction policies to promote the low-carbon tobacco agriculture development, this paper con-

\* 中国烟草总公司陕西公司委托项目(20170619000002)和国家自然科学基金面上项目(71573212)资助

\*\* 通信作者: 陈儒, 主要研究方向为农业资源经济与环境管理。E-mail: R.CHEN@foxmail.com

张若焰, 主要研究方向为绿色金融、低碳农业。E-mail: ry-Zhang@foxmail.com

收稿日期: 2019-05-29 接受日期: 2019-06-24

\* This work was supported by the Project Entrusted by Shaanxi Tobacco Company of China National Tobacco Corporation (20170619000002) and the National Natural Science Foundation of China (71573212).

\*\* Corresponding author, E-mail: R.CHEN@foxmail.com

Received May 29, 2019; accepted Jun. 24, 2019

structed the comprehensive carbon effect accounting system of the tobacco agricultural, calculated the carbon emission, carbon sink, net carbon sink, and analyzed the carbon efficiency, carbon intensity and other comprehensive carbon effect indexes through all production processes of the 393 farmers who engaged in tobacco agriculture from tobacco professional cooperative in Shaanxi Province. The results showed that: for the total 641.17 hectare tobacco fields in the survey area, the total carbon emission was 3 276.27 t C, and the average carbon emission per hectare 5.11 t C, among which the agricultural energy consumption was the largest emission, and the percentage of total carbon emission was 68.21%. Next was the agricultural material inputs which accounted for 24.88% of the total carbon emissions. The agricultural waste disposal, the farmland management, and the farmland soil's nitrous oxide emission accounted for low proportion of carbon emission. The order of average carbon emission per hectare for each region from large to small was Baoji, Shangluo, Ankang and Hanzhong. The total carbon sink was 1 361.86 t C, the average per hectare of the carbon sink was 2.12 t C. Soil carbon sequestration caused by straw returning, no-tillage, and rational applying the chemical fertilizer and organic fertilization accounted for 81.12% of the total carbon sequestration. The average carbon sequestration per hectare in each region was ranked as Shangluo > Baoji > Hanzhong > Ankang. The total net carbon sink was -1 914.41 t C, and the net carbon sink per hectare was -2.99 t C. The total carbon emission of tobacco agriculture was greater than that of carbon sink, showing negative net carbon sink effect. Therefore, it is important to develop the low-carbon modern tobacco agriculture to promote low-carbon technological progress and explore the clean energy instead of coal in the bulk curing barn for flue-cured tobacco. In addition, by adopting measures such as adjusting management and operation mode, optimizing the input structure of farmers, improving the utilization efficiency of agricultural resources, improving tobacco agricultural technology and changing farming methods, Hanzhong Tobacco Professional Cooperative presented the optimal comprehensive carbon effects such as carbon efficiency, carbon intensity, carbon density, and maximize the net carbon sink per hectare.

**Keywords:** Tobacco agriculture; Professional cooperatives; Comprehensive carbon effect; Carbon emission; Carbon sink

农业活动产生的温室气体排放对全球气候变暖具有重要的影响, IPCC(2010 年)显示农业碳排放量约占全球人为碳排放量的 11%~12%, 且每年以 0.9% 的速度在不断增长。在当前生态文明建设和乡村振兴不断推动的背景下, 农业生产的低碳化转变已经势在必行<sup>[1]</sup>。烟草种植是农业生产体系中的重要组成部分, 基于烟草(*Nicotiana tabacum*)产业的行业特殊性, 农户往往依据计划性的指标分配展开生产经营, 在以往传统生产方式下的烟草种植过程中, 由于农户过分依赖化肥、农药等化学农用品的大量施用, 引致土壤板结、水体污染等诸多农业生态环境问题, 且其传统粗放的生产方式在“量和质”两个方面均制约着烟草农业的转型发展。面临此种境遇, 政府采取了一系列的管控措施加以应对, 试图有序推动烟草农业从传统作业向现代化的逐步转变<sup>[2]</sup>, 诸如政府通过推广控氮增密技术, 减少农户对化肥的过度施用以提高土壤质量和烟叶产量; 开展物理、生物防治替代农药的绿色防控技术试点以提升烟叶品质; 依托合作经济组织优化农户生产投入结构以促进农户增产增收等<sup>[3]</sup>。基于此可知, 在现代烟草农业发展过程中, 与以往相比其更加关注经济、生态和社会等综合效益的协同提升, 且低碳化的生产经营特征不断凸显, 各项低碳农业技术也均得到一定程度的采用。那么, 当前烟草种植的碳排放、

碳汇、碳强度等碳效应处于何种水平? 结构如何? 哪种生产方式更为低碳?

在现有研究当中, 针对农业碳效应核算的成果主要分为两个方面: 一方面部分学者基于自身研究视角, 以整体农业系统作为研究对象, 构建碳效应分析框架和相应的测算体系, 核算农业碳排放量、碳汇量以及综合碳效应等。例如: 黄祖辉等<sup>[4]</sup>采用分层投入产出-生命周期评价法, 构建 5 个层级指标对农业系统碳足迹进行量化分析, 以此明确农业碳排放数量和结构特征; 田云等<sup>[5]</sup>基于 23 类主要碳源和 15 类主要农作物碳汇, 从宏观农业层面测算中国 31 省 15 年间的农业碳排放量、碳汇量与净碳汇量, 对不同省区的农业净碳水平进行对比分析; 陈儒等<sup>[6]</sup>通过构建农户层面碳效应分析框架和测算体系, 量化分析了农户农业生产项目上的综合碳效应。另一方面, 一些学者针对具体的不同农业产业展开了碳效应的核算和分析, 并对产业碳效应水平做以综合评价, 提出了促进产业低碳发展的意见。例如: 王钰乔等<sup>[7]</sup>采用生命周期评价法对 10 年间中国小麦(*Triticum aestivum*)、玉米(*Zea mays*)主要粮食作物生产的碳足迹进行核算, 并对其生产碳足迹的时空动态与相关政策效果进行了分析; 刘勇等<sup>[8]</sup>利用碳排放核算和 DEA-SBM 模型的方法, 对中国 12 年间水稻(*Oryza sativa*)主产省份的碳排放效率进行分析与

研究; Alam 等<sup>[9]</sup>通过生命周期评估法对孟加拉北部湿地雨育水稻的温室气体排放量进行了估算与分析; 宋博等<sup>[10]</sup>通过多目标灰靶决策模型对设施蔬菜生产系统碳足迹、生产环节碳排放结构进行测算和分析, 并对比评价北京市不同区域大棚蔬菜和温室蔬菜的碳排放、碳汇量; 师帅等<sup>[11]</sup>对畜牧业碳排放的 OECD 核算法、IPCC 系数法、生命周期法与投入-产出法进行梳理和对比, 提出了基于生命周期评价法扩展畜牧业碳足迹研究边界的建议; Vergé 等<sup>[12]</sup>采用生命周期的方法, 对不同生产效率下加拿大牛奶制品所产生的碳排放量进行核算; 孔立等<sup>[13]</sup>运用指数分析法核算了马铃薯(*Solanum tuberosum*)生产的碳排放量, 并与小麦、玉米的生产碳排放展开对比分析, 得出马铃薯是碳排放效率最高的粮食作物的结论。

由此可知, 尽管现阶段不同农业产业碳效应核算的研究成果已颇为丰硕, 但鲜有学者针对烟草农业展开碳效应的量化分析, 烟叶生产不同于其他农作物, 种植环节具有一定的特殊性, 通过构建符合其自身生产特点的碳效应分析框架, 估算烟草种植相应的碳效应水平, 剖析现代烟草农业的碳效应结构, 这为更具有针对性地制定烟草农业温室气体减排政策提供理论依据。以往关于碳效应核算与分析的研究思路为本文提供了参考和借鉴, 在综合相关研究成果的基础上, 本研究基于烟草种植的微观小农视角, 构建相应的碳效应测算体系, 对参与到陕西省 4 个地区烟草专业合作社的农户, 展开烟草种植生产环节碳排放、碳汇等碳效应的核算, 并在此基础上, 引入兼顾经济效益和生态效益的碳效率和碳强度等指标, 以此探析不同合作经营管理模式下烟草生产的综合碳效应。

## 1 烟草农业碳效应核算体系

### 1.1 关键排放源与汇的界定

#### 1.1.1 农业排放源与汇

京都议定书规定地球大气的 6 种主要的温室气体中, 农业碳排放方面涉及的农田生态系统温室气体主要是  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$ <sup>[14-15]</sup>。农业碳汇方面包括农作物生长周期中的  $\text{CO}_2$  吸收和当期土壤有机碳含量(SOC)的增长<sup>[16-18]</sup>。根据 IPCC 评估报告,  $1 \text{ kg CO}_2=0.273 \text{ kg C}$ ;  $1 \text{ kg CH}_4=25 \text{ kg CO}_2=6.825 \text{ kg C}$ ;  $1 \text{ kg N}_2\text{O}=298 \text{ kg CO}_2=81.354 \text{ kg C}$ , 为便于对比农业碳源、碳汇量, 将  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  统一换算成标准碳进行计算。

#### 1.1.2 烟草农业碳效应核算的系统边界

本文从微观农户层面借鉴生命周期评价(LCA)

的理论思想, 以此核算烟草农业的综合碳效应。烟草种植作业周期从最初冬季深翻土壤开始, 借助农业机械进行深耕, 并辅之以 1~2 次旋耕, 而后施用底肥; 育苗在特定的苗床上进行, 由合作经济组织统一培育, 现阶段主要以漂浮育苗和湿润育苗为主, 待烟苗成长到一定程度将其移栽至大田; 移栽使用膜下井窖式, 将苗床内的烟苗连同生长需要的泥土一起取出, 将每一颗烟苗分离开, 在整理好的大田土地上起垄, 挖好洞穴按照一定的行距和株距放置烟苗, 控氮增密技术的施行使烟草移栽植株密度为  $19\ 500\sim 22\ 500 \text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 完成移栽后浇水、覆膜以增温保湿、提高烟株的抗旱防涝能力和烟叶抗菌抗病毒能力; 而后在烟叶的生长过程中, 需要采用适量追肥、及时灌排水、中耕培土、打顶抹岔、防治病虫害等大田管理措施, 以提高烟叶产量和质量; 等到烟叶成长到成熟阶段, 将成熟的烟叶收获, 以三段五步式方法在标准密集烤房对烟叶进行烤制、加工和分级, 作为烟叶成品, 烟叶采烤环节则主要利用统一标准化的烤房进行烘烤、回潮等。

根据烟草农业的种植环节, 将其翻耕到采烤过程产生的直接、间接碳排放归纳为 5 类<sup>[6]</sup>:

第 1 类为农资投入所产生的碳排放, 即在烟草种植中所使用化肥、农药、农膜等隐含生命周期碳排放。其中烟草农业生产中所施用肥料主要有氮肥、磷肥、钾肥、烟草专用肥、粪肥与有机肥等。氮肥种类以硝态氮肥和铵态氮肥为主, 常见为硫酸铵、碳酸氢铵以及硝酸钠, 平均折纯量约为 17%; 磷肥种类为过磷酸钙、重过磷酸钙、磷矿粉以及钙镁磷肥, 平均折纯量为 21%; 钾肥主要有硫酸钾和硝酸钾, 平均折纯量为 34%; 烟草专用肥是省烟草公司根据各地土壤情况进行测土配方并为各地配施提供, 折纯量约为 30%, 针对不同地区情况, 其氮磷钾比例也存在差异, 其中宝鸡陇县配施烟草专用肥氮磷钾比例为 10:14:16, 商洛洛南配施氮磷钾比例为 10:10:25, 汉中南郑配施比例为 10:9:23, 安康汉滨配施比例为 10:10:25。烟草农业种植过程中所施用的底肥以粪肥为主, 包括绿肥、饼肥、商品有机肥等。烟草农业生产中使用的农药主要分为抑芽剂、杀虫剂、杀菌剂和除草剂 4 类。

第 2 类为农业能源投入产生的碳排放, 即农户在烟草生长环节使用农用机械、人工的能源消耗和烟叶烘烤环节的能源使用所产生的碳排放量。烟草农业农用机械使用主要在翻耕、旋耕、起垄、移栽和培土等多个环节, 农用机械需要消耗柴油、汽油

等燃料从而引起碳排放。烟草农业生产工序多,作业要求高,劳动力用量是水稻、小麦、玉米等大农业的 5 倍<sup>[19]</sup>,农忙时期烟草农业需要大量的人工投入从而引起碳排放。烟草采烤环节区别于一般种植业,根据调研和实地走访,陕西省烟叶烘烤燃料以煤炭为主,商洛市洛南县阳光合作社和汉中市南郑县的小南海烟站在清洁生物质燃料烘烤能源方面有一定探索,但由于原料、技术与成本等多方面问题尚未实现大范围推广和使用,因此烘烤环节主要计算其煤炭燃烧和耗电所产生碳排放量。

第 3 类是农田土壤 N<sub>2</sub>O 排放,包括施用化肥、粪肥就地转化 N<sub>2</sub>O 的排放、大气沉降氮转化和淋溶净流损失氮转化等。

第 4 类为农田利用与管理环节产生的碳排放,即灌溉、翻耕等耕作方式产生的碳排放量。调研地区涉及陕西省 4 个市、县(区),其地形、降水量等地理状况存在一定差异,由于丘陵、山地地区地形具有多样性特点,烟叶多种植于此,水资源也相对匮乏,地形原因导致灌溉难度较大,农户依据自身经验、地形状况以及水热条件选择适合的灌溉方式从而产生碳排放。

第 5 类是农业废弃物处理环节产生的碳排放,即农膜、烟秆焚烧产生的碳排放量。烟草农业碳汇来源主要分为两类:其一是土壤固碳环节,即合理配施化肥与有机肥、秸秆还田以及免耕等保护性耕作引致当期土壤固碳量的增加值;其二为植被固碳环节,即烟草秸秆生物量的碳转化部分。

## 1.2 烟草农业碳计量的测算体系

### 1.2.1 碳排放、碳汇与净碳汇

烟草农业碳排放主要从农资投入、农业能源投入、农田土壤 N<sub>2</sub>O 排放、农田利用与管理以及农业废弃物处理 5 个环节加总计算,烟草农业碳汇包括植株生物量碳转化与烟田土壤固碳量。在此基础上,将碳汇与碳源之间的差值定义为净碳汇,用来衡量碳源和碳汇两者之间的差距。具体计算公式为:

$$E = \sum E_i = \sum T_i \times \varphi_i \quad (1)$$

式中:  $E$  为农户在烟草生产 5 个环节中碳排放的总量;  $E_i$  为各种碳排放源的排放量;  $i$  为碳排放源类型;  $T_i$  为各个碳排放源消耗数量;  $\varphi_i$  为不同碳源的碳排放系数,烟草生产环节的碳排放系数如表 1 所示。

$$C_{\text{crop}} = \sum C \times Y \times \frac{1-r}{H} \quad (2)$$

式中:  $C_{\text{crop}}$  为烟草农作物植株碳汇总量,  $C$  为烟草植株的碳吸收率,  $Y$  为烟叶产量,  $r$  为烟草植株含水量,  $H$

为烟草的经济系数。烟草植株生长时含水量为 70%~80%,取平均植株含水量  $r=0.75$ ,烟草的经济系数  $H=0.55$ ,碳吸收率  $C=0.450$ <sup>[5]</sup>。

$$C_{\text{soil}} = \sum A_j \times \theta_j \quad (3)$$

式中:  $C_{\text{soil}}$  为烟田土壤固碳量,  $j$  为土地利用方式(免耕、秸秆还田、有机化肥配施等),  $A_j$  为土地面积,  $\theta_j$  为不同土地利用方式下土壤平均固碳速率。

$$C_{\text{net}} = C_{\text{sink}} - E = C_{\text{crop}} + C_{\text{soil}} - \sum E_i \quad (4)$$

式中:  $C_{\text{net}}$  为烟草农业净碳汇量,  $C_{\text{sink}}$  为烟草农业碳汇量。

### 1.2.2 碳效率、碳强度与碳密度

农业碳效率指投入单位碳所产生的经济产量和经济价值等有效价值量,主要以经济效率和生态效率来衡量,分别为经济产值与碳投入量的比值和碳汇量与碳投入量的比值<sup>[20]</sup>,通过测算碳效率能够有效地分析碳效应为农业发展带来的收益。农业碳强度是指单位农业产值所产生的净碳汇量,正值代表碳汇强度,负值代表碳排放强度<sup>[6]</sup>。农业碳密度是指单位播种面积上产出的碳排放(汇)量,包括碳排放密度、碳汇密度以及净碳汇密度。其具体计算公式为:

$$C_{\text{econ-e}} = Y_i \times \frac{P_i}{E_i} \quad (5)$$

$$C_{\text{eco-e}} = \frac{C_i}{E_i} \quad (6)$$

$$C_1 = \frac{C_i - E_i}{Y_i \times P_i} \quad (7)$$

$$C_{(\rho-E)} = \frac{E_i}{A_i} \quad (8)$$

$$C_{(\rho-C)} = \frac{C_i}{A_i} \quad (9)$$

$$C_{(\rho-N)} = \frac{C_i - E_i}{A_i} \quad (10)$$

式中:  $C_{\text{econ-e}}$  表示碳经济效率,  $Y_i$  为烟草产量,  $E_i$  为种植烟叶所产生的碳排放量,  $P_i$  为烟叶所出售的价格;  $C_{\text{eco-e}}$  为碳生态效率,  $C_i$  表示在烟草种植过程中产生的碳汇量;  $C_1$  表示碳强度;  $C_{(\rho-E)}$  为碳排放密度;  $A_i$  为种植烟草的面积;  $C_{(\rho-C)}$  为碳汇密度;  $C_{(\rho-N)}$  为净碳汇密度。

## 2 碳效应核算系数与数据来源

### 2.1 烟草农业碳效应的核算系数

在农资投入环节中,施用肥料会产生 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O 和 CH<sub>4</sub> 等温室气体排放,美国能源部科学与能源研究

橡树岭实验室(ORNL)通过试验测定化肥的碳排放系数为  $0.89 \text{ kg(C)} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 但由于烟草农业测土配方的普遍施行, 各区域针对土壤情况配比化肥, 比例上存在一定差异, 统一以一个系数折算不够准确。因此将烟草专用肥按照不同地区氮磷钾比例进行折纯、折算, 再逐一计算氮肥、磷肥、钾肥的碳排放量。本研究结合陈舜等<sup>[21]</sup>、胡小康等<sup>[22]</sup>、邓明君等<sup>[23]</sup>研究成果综合确定氮肥  $3.392 \text{ kg(C)} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、磷肥  $0.636 \text{ kg(C)} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、钾肥  $0.180 \text{ kg(C)} \cdot \text{kg}^{-1}$  的碳排放系数。粪肥施用到农田时, 其中的氮会转化为  $\text{N}_2\text{O}$  并直接排放到大气中, 此外还会产生  $\text{CH}_4$  的排放。周贝贝等<sup>[24]</sup>对农田施用粪肥量与其所产生的  $\text{N}_2\text{O}$  和  $\text{CH}_4$  排放进行核算, 得到粪肥  $\text{CO}_2$  排放系数为  $1\,913.1 \text{ kg(CO}_2\text{)} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 折合为标准碳排放系数为  $522.28 \text{ kg(C)} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。美国橡树岭国家实验室(ORNL)测定农药碳排放系数为  $4.934 \text{ kg(C)} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 农膜使用的碳排放系数为  $5.18 \text{ kg(C)} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 本文以此核算烟草农业生产中使用农药、农膜所产生的碳排放量(表 1)。

在能源投入环节中, 农用机械主要统计农户在种植周期内农机燃料的使用费用, 推算出农机燃料耗用量, 再以政府间气候变化专门委员会(IPCC)测定的  $0.592\,1 \text{ kg(C)} \cdot \text{kg}^{-1}$  系数计算农机碳排放量。人工耗能主要统计了烟农家庭和雇工用工总人数与总天数的乘积作为烟草用工数, 再根据陈琳等<sup>[25]</sup>对于蔬菜用工碳排放系数  $0.25 \text{ kg(C)} \cdot \text{d}^{-1}$ , 来核算人工投入量所产生的碳排放。在核算烟草农业烘烤环节碳排放时, 需要逐一计算烘烤用电和煤炭所产生碳排放量再进行加总, 烘烤用电碳排放系数用陈罗焯等<sup>[26]</sup>核算的  $0.92 \text{ kg(C)} \cdot \text{kWh}^{-1}$ , 烘烤用煤以 IPCC 测定的煤炭燃烧碳排放系数  $0.755\,9 \text{ kg(C)} \cdot \text{kg}^{-1}$  进行核算。在农田土壤  $\text{N}_2\text{O}$  排放环节, 烟农从事农业活动、施用肥料、秸秆残留、土地利用、大气沉降等都会产生  $\text{N}_2\text{O}$  的排放, 熊正琴等<sup>[27]</sup>、王智平<sup>[28]</sup>通过采样测定不同土地类型与种植农作物的土壤  $\text{N}_2\text{O}$  排放系数, 烟叶属于旱地经济作物, 抛去其肥料投入产生的  $\text{N}_2\text{O}$  直接排放, 土壤本身呼出氧化亚氮排放系数为  $0.95 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表 1)。

在农田利用与管理环中, 采用灌溉面积与段华平等<sup>[29]</sup>核算出灌溉碳排放系数  $266.48 \text{ kg(C)} \cdot \text{hm}^{-2}$  折算灌溉产生的碳排放量。烟农翻耕、旋耕等耕作行为对土壤有扰动作用, 会增加土壤碳排放量。本研究以烟农进行翻耕的次数和种植烟叶的面积数相乘, 用伍芬琳等<sup>[30]</sup>核算出的翻耕产生的碳排放系数  $312.6 \text{ kg(C)} \cdot \text{hm}^{-2}$  进行核算。在农业废弃物处理环节, 烟草农业废弃物碳排放主要为烟秆和农膜

燃烧所产生的  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$ , 根据中国温室气体清单研究测算农业废弃物焚烧系数为  $5.15 \text{ g(CH}_4\text{)} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $0.13 \text{ g(N}_2\text{O)} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 本文通过折算标准碳排放确定农膜与秸秆燃烧系数为  $0.045\,4 \text{ kg(C)} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 以此来核算碳排放量(表 1)。

土壤固碳过程主要是由于枯枝落叶和动植物残体撑起覆盖于地表, 在气候、生物等因素的作用下, 形成有机质含量丰富的腐殖质层, 提升了土壤含碳量, 成为农业重要的碳汇来源<sup>[6]</sup>。烟草种植过程中合理配施化肥与有机肥、秸秆还田和免耕等都会提升耕地的固碳能力<sup>[31-32]</sup>。本文参考金琳等<sup>[33]</sup>分析出不同土地利用方式对土壤碳汇的影响, 化肥与有机肥配施对土壤固碳增加量为  $1.78 \text{ t(C)} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 免耕对土壤固碳的增加量为  $0.71 \text{ t(C)} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 秸秆还田对土壤固碳的增加量为  $0.47 \text{ t(C)} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , 以此来核算烟草种植过程中的土壤固碳量。烟草种植过程中, 通过培训和技术推广, 烟农普遍使用配施化肥与有机肥, 部分烟农有免耕和秸秆还田行为, 以增加土壤固碳量。烟草植株在生长周期内的碳吸收量, 即植株通过光合作用形成的净初级生产量<sup>[5]</sup>, 计算方法见式(2)(表 1)。

## 2.2 数据来源

秦巴山区是中国气候南北分界点, 位于亚热带与暖温带的过渡区, 是烤烟种植最适宜区域之一。宝鸡、商洛、汉中和安康 4 个地区作为陕西省重要的烤烟种植基地, 年产量稳定在 5 万 t 左右, 占陕西省烟叶总量的 90% 以上。本文依托中国烟草总公司陕西公司委托项目进行入户调研和深度访谈, 覆盖陕西省宝鸡市陇县盛大专业合作社、商洛市洛南县阳光烤烟专业合作社、安康市汉滨区新禾丰烤烟专业合作社以及汉中市南郑县金叶烤烟专业合作社 393 户入社烟农。访谈提纲主要涉及合作社的组织管理模式、收益分配方式、服务供给体系等几个方面; 问卷调查内容涉及农户的个人家庭特征、烟草农业生产环节、烟草农业投入产出以及农户对合作社的参与程度和满意程度等方面。问卷总计发放 400 份, 回收有效问卷 393 份, 问卷回收有效率达 98.25%, 涉及 16 个镇 50 个村落, 其中宝鸡市陇县盛大专业合作社 83 份, 商洛市洛南县阳光烤烟专业合作社 108 份, 安康市汉滨区新禾丰烤烟专业合作社 78 份, 汉中市南郑县金叶烤烟专业合作社 124 份。涉及调查区域烟草种植规模总计  $641.17 \text{ hm}^2$ , 其中宝鸡市陇县  $114.13 \text{ hm}^2$ , 商洛市洛南县  $135.53 \text{ hm}^2$ , 安康市汉滨区  $163.77 \text{ hm}^2$ , 汉中市南郑县  $227.74 \text{ hm}^2$ 。

表 1 烟草农业生产环节的碳排放、碳汇系数  
Table 1 Carbon emission and carbon sink coefficients of tobacco production

项目 Item	核算内容 Accounting element	碳排放、碳汇系数 Coefficient of carbon emission or carbon sink	参考来源 Reference source
农资投入 Input of agricultural materials	氮肥施用量 Nitrogen fertilizer application amount	3.932 kg(C)·kg <sup>-1</sup>	[21-23]
	磷肥施用量 Phosphate fertilizer application amount	0.636 kg(C)·kg <sup>-1</sup>	
	钾肥施用量 Potash fertilizer application amount	0.180 kg(C)·kg <sup>-1</sup>	
	粪肥施用量 Manure application amount	1 913.1 kg(CO <sub>2</sub> )·kg <sup>-1</sup>	[24]
	农药施用量 Pesticide application amount	4.934 kg(C)·kg <sup>-1</sup>	美国橡树岭国家实验室 Oak Ridge National Laboratory
	农膜使用量 Plastic film application amount	5.18 kg(C)·kg <sup>-1</sup>	
农业能源投入 Input of agricultural energy	农用机械能源(柴油) Agricultural mechanical energy (diesel)	0.592 1 kg(C)·kg <sup>-1</sup>	政府间气候变化专门委员会 Intergovernmental Panel on Climate Change
	烘烤用电 Electricity for tobacco leaf curing	0.92 kg(C)·kWh <sup>-1</sup>	[26]
	烘烤用煤 Coal for tobacco leaf curing	0.755 9 kg(C)·kg <sup>-1</sup>	政府间气候变化专门委员会 Intergovernmental Panel on Climate Change
	人工投入 Labor	0.25 kg(C)·d <sup>-1</sup>	[25]
土壤 N <sub>2</sub> O 排放 Soil N <sub>2</sub> O emission	旱地作物 Upland crop	0.95 kg·hm <sup>-2</sup>	[28]
农田管理 Farmland management	翻耕 Plowing	312.6 kg(C)·hm <sup>-2</sup>	[30]
	灌溉 Irrigation	266.48 kg(C)·hm <sup>-2</sup>	[29]
农业废弃物处理 Agricultural waste disposal	秸秆燃烧 Straw combustion	5.15 g(CH <sub>4</sub> )·kg <sup>-1</sup> 0.13 g(N <sub>2</sub> O)·kg <sup>-1</sup>	[34]
	农膜燃烧 Agricultural plastic film combustion	0.045 4 kg(C)·kg <sup>-1</sup>	
土壤固碳 Soil carbon sequestration	化肥有机肥配施 Rational fertilization	1.78 t(C)·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup>	[33]
	秸秆还田 Straw returning	0.47 t(C)·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup>	
	免耕 No-tillage	0.71 t(C)·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup>	

### 3 结果与分析

#### 3.1 陕西省烟草农业生产的碳排放、碳汇与净碳汇

根据前文构建的烟草农业碳计量测算体系, 结合实地调研获取的农户数据, 测算了陕西省烟草农业生产中所产生的碳排放量、碳汇量和净碳汇量(表 2)。从表 2 可以看出烟草产生总碳排放量为 3 276.27 t C, 其中汉中市南郑县金叶烤烟专业合作社碳排放量最大, 为 910.62 t C, 占总碳排放量的 27.79%; 总碳排放量由大到小依次是汉中、商洛、安康、宝鸡。烟草生产的总碳汇量为 1 361.86 t C, 其中汉中市最大, 为 494.78 t C, 占总碳汇量的 36.33%; 总碳汇量由大到小依次为汉中、安康、商洛、宝鸡。烟草生产的总净碳汇量为 -1 914.41 t C, 其中净碳汇量最高的是汉中市, 为 -415.84 t C; 净碳汇量最低的是商洛市, 为 -524.03 t C。陕西省烟草农业净碳汇量均为负值, 表明烟草农业生产环节中碳吸收量小于碳排放量。

为更好地对比不同区域的碳效应, 本文引入户均碳效应和每公顷单位面积碳效应两个指标。在户均碳效应中, 户均碳排放量为 8 336.56 kg C, 其中安康市最大, 为 9 950.16 kg C, 高于平均值 1 613.61 kg(C)·户<sup>-1</sup>,

其大小依次为汉中、商洛、安康、宝鸡。户均碳汇量为 3 465.29 kg C, 其中安康、汉中高于平均值, 安康产生户均碳汇量最大, 为 4 077.25 kg C, 高于均值 611.96 kg(C)·户<sup>-1</sup>, 户均碳汇量依次为安康、汉中、宝鸡、商洛。户均净碳汇量为 -4 871.27 kg C, 其中汉中市户均净碳汇量最大, 为 -3 353.59 kg C, 户均净碳汇量排序依次为汉中、商洛、安康、宝鸡。

相较户均碳效应而言, 单位面积碳效应能够更加直观地对比不同地区每公顷烟田的碳排放、碳汇、净碳汇水平。调研地区每公顷碳排放量为 5 109.83 kg C。其中宝鸡市最大, 为 6 715.08 kg C, 高于平均值 1 605.25 kg(C)·hm<sup>-2</sup>; 商洛每公顷排放量略高于平均排放量; 汉中市、安康市低于平均每公顷排放量, 汉中每公顷碳排放量最小, 为 3 998.51 kg C, 低于平均每公顷排放量 1 111.32 kg C; 每公顷碳排放量大小依次为宝鸡、商洛、安康、汉中。单位面积每公顷碳汇量为 2 124.02 kg C。其中每公顷碳汇量最高的是商洛市, 为 2 206.95 kg C, 高于平均值 82.93 kg(C)·hm<sup>-2</sup>; 宝鸡市和汉中市也都在平均值之上; 最低的为安康市 1 941.90 kg C, 低于平均值 182.12 kg(C)·hm<sup>-2</sup>; 每公顷

表 2 陕西省不同区域典型烟草专业合作社烟草生产碳排放、碳汇及净碳汇量

Table 2 Carbon emission, carbon sink and net carbon sink of tobacco production of typical professional cooperatives in different areas of in Shaanxi Province kg

项目 Item	宝鸡市陇县 盛大专业合作社 Shengda Tobacco Professional Co- operative in Longxian County, Baoji City	商洛市洛南县 阳光烤烟专业合作社 Yangguang Tobacco Professional Coopera- tive in Luonan County, Shangluo City	安康市汉滨区 新禾丰烤烟专业合作社 Xinhefeng Tobacco Professional Coopera- tive in Hanbin District, Ankang City	汉中市南郑县 金叶烤烟专业合作社 Jinye Tobacco Profes- sional Cooperative in Nanzheng County, Hanzhong City	合计 Total
总碳排放量 Total carbon emission	766 392.33	823 142.45	776 112.32	910 619.75	3 276 266.84
户均碳排放量 Carbon emissions per household	9 233.64	7 621.69	9 950.16	7 343.70	8 336.56
每公顷碳排放量 Carbon emissions per hectare	6 715.08	6 073.51	4 739.04	3 998.51	5 109.83
总碳汇量 Total carbon sink	249 949.95	299 108.25	318 025.44	494 775.19	1 361 858.83
户均碳汇量 Carbon sink per household	3 011.45	2 769.52	4 077.25	3 990.12	3 465.29
每公顷碳汇量 Carbon sink per hectare	2 190.01	2 206.95	1 941.90	2 172.54	2 124.02
总净碳汇量 Total net carbon sink	-516 442.38	-524 034.19	-458 086.88	-415 844.56	-1 914 408.01
户均净碳汇量 Net carbon sink per household	-6 222.20	-4 852.17	-5 872.91	-3 353.59	-4 871.27
每公顷净碳汇量 Net carbon sink per hectare	-4 525.04	-3 866.55	-2 797.14	-1 825.96	-2 985.80

碳汇量排序依次为汉中、商洛、宝鸡、安康。每公顷净碳汇量为 $-2\ 985.80\ \text{kg C}$ 。每公顷净碳汇量最大的汉中为 $-1\ 825.96\ \text{kg C}$ ，其排序依次为汉中、安康、商洛、宝鸡。

### 3.2 不同生产环节碳效应分析

由表 3、图 1 可知，在烟草农业种植中产生碳排放量比重最高的环节是农业能源投入环节，其产生的碳排放量为  $2\ 234.57\ \text{t C}$ ，占总碳排放量的 68.20%。农业能源投入中最主要为烟叶烘烤所产生的碳排放，共  $2\ 133.85\ \text{t C}$ ，占总碳排放量的 65.13%；农用机械耗能和人工投入所产生的碳排放分别占总碳排放量的 1.53%和 1.55%。烟叶烘烤是烟草农业碳排放的主要来源。在烘烤环节中，烘烤用煤所产生的碳排放量为  $1\ 599.82\ \text{t C}$ ，占总排放量的 48.83%，烘烤用电碳排放占总碳排放量的 16.30%，煤炭仍是烟叶烘烤最主要的能源。在农业能源消耗环节，不同区域每公顷碳排放量由大到小依次为宝鸡、商洛、安康、汉中。其中商洛市烘烤环节产生碳排放总量最高，宝鸡市烘烤环节户均和每公顷碳排放量最大，安康市和汉中市对太阳能、电能、生物质等新能源烤房的开发较多，在一定程度上减少了烘烤环节的排放量，宝鸡市合作社部分烟农还未使用标准化烤房，使烘烤环节碳排放量较大。总体来说，与其他种

植业在农资投入消耗所产生的碳排放量最大的研究结论<sup>[5-6]</sup>相比，烟草行业具有独特的烘烤环节，烟叶烘烤煤炭燃烧大幅增加了烟草农业的碳排放量，致使烟草农业在农业能源投入环节产生较大的碳排放量，因而积极探索新的烘烤技术，开发和利用新型能源进行烟叶烘烤，通过提高燃料的利用效率以降低烘烤环节所产生的碳排放量是烟草农业低碳转型的关键所在。

其次是农资投入环节，产生碳排放量  $815.08\ \text{t C}$ ，占总碳排放量的 24.89%。其中施用化肥所产生的碳排放量为  $198.25\ \text{t C}$ ，占总碳排放量的 6.05%；施用有机肥所产生的碳排放量为  $331.21\ \text{t C}$ ，占总碳排放量的 10.11%；施用农药所产生的碳排放量为  $27.45\ \text{t C}$ ，占总碳排放量的 0.84%；使用农膜所产生的碳排放量为  $258.17\ \text{t C}$ ，占总碳排放量的 7.88%。每公顷碳排放量由大到小依次为安康、宝鸡、汉中、商洛。施用粪肥在农资投入环节中产生碳排放量最大，这与之前学者分析的农户种植活动产生碳排放量主要集中在化肥和农药的施用环节有所不同，主要原因在于烟草农业中所推行的控氮增密技术、绿色植保蚜茧蜂技术和黄板诱蚜等，有效减少了农户化肥农药的施用量，降低了其农资投入环节农药化肥的碳排放量；同时通过配发有机肥等相关措施，不同地区

表 3 陕西省不同区域典型烟草专业合作社烟草农业生产环节碳排放量

Table 3 Carbon emissions from different production links of tobacco agriculture in typical professional cooperatives in different areas of Shaanxi Province kg

项目 Item		宝鸡市陇县 盛大专业合作社 Shengda Tobacco Professional Cooperative in Longxian County, Baoji City	商洛市洛南县 阳光烤烟专业 合作社 Yangguang Tobacco Professional Cooperative in Luonan County, Shangluo City	安康市汉滨区 新禾丰烤烟专业合 作社 Xinhefeng Tobacco Professional Cooperative in Hanbin District, Ankang City	汉中市南郑县 金叶烤烟专业 合作社 Jinye Tobacco Professional Coop- erative in Nanzheng County, Hanzhong City
氮肥碳排放	总量 Total	21 221.03	28 054.21	41 418.28	50 192.52
Carbon emissions from nitrogen fertilizer	每公顷平均 Per hectare	185.94	207.00	252.91	220.39
	户均 Per household	255.68	259.76	531.00	404.78
磷肥碳排放	总量 Total	5 967.19	5 429.69	12 357.59	12 174.41
Carbon emissions from phosphate fertilizer	每公顷平均 Per hectare	52.28	40.06	75.46	53.46
	户均 Per household	71.89	50.27	158.43	98.18
钾肥碳排放	总量 Total	1 988.72	2 957.75	7 268.81	9 224.18
Carbon emissions from potash fertilizer	每公顷平均 Per hectare	17.43	21.82	44.38	40.50
	户均 Per household	23.96	27.39	93.19	74.39
粪肥用量碳排放	总量 Total	59 609.14	69 149.38	83 511.98	118 939.72
Carbon emissions from manure	每公顷平均 Per hectare	522.29	510.21	509.93	522.26
	户均 Per household	718.18	640.27	1 070.67	959.19
农药碳排放	总量 Total	1 729.06	4 901.09	8 898.06	11 919.28
Carbon emissions from pesticides	每公顷平均 Per hectare	15.15	36.16	54.33	52.34
	户均 Per household	20.83	45.38	114.08	96.12
农膜碳排放	总量 Total	56 376.53	51 571.04	76 402.93	73 818.63
Carbon emissions from agricultural plastic film	每公顷平均 Per hectare	493.97	380.51	466.53	324.14
	户均 Per household	679.24	477.51	979.52	595.31
农用机械能源碳排放 (柴油)	总量 Total	14 372.99	21 187.79	6 268.75	8 205.00
Carbon emissions from agricultural mechanical energy (diesel)	每公顷平均 Per hectare	125.94	156.33	38.28	36.03
	户均 Per household	173.17	196.18	80.36	66.17
烘烤碳排放	总量 Total	541 312.89	577 541.51	483 637.63	531 367.87
Carbon emissions from tobacco leaf curing	每公顷平均 Per hectare	4 742.95	4 261.36	2 953.15	2 333.22
	户均 Per household	6 521.84	5 347.61	6 200.48	4 285.22
人工投入碳排放	总量 Total	10 613.00	14 884.50	9 215.00	15 968.00
Carbon emissions from effort	每公顷平均 Per hectare	92.99	109.82	56.27	70.12
	户均 Per household	127.87	137.82	118.14	128.77
灌溉碳排放	总量 Total	19 577.40	9 841.99	24 587.22	38 515.24
Carbon emissions from irrigation	每公顷平均 Per hectare	171.54	72.62	150.13	169.12
	户均 Per household	235.87	91.13	315.22	310.61
翻耕碳排放	总量 Total	894.66	1 205.39	1 293.54	1 715.55
Carbon emissions from plowing	每公顷平均 Per hectare	7.84	8.89	7.90	7.53
	户均 Per household	10.78	11.16	16.58	13.84
土壤 N <sub>2</sub> O 排放	总量 Total	108.43	128.76	155.58	216.35
N <sub>2</sub> O emission from soil	每公顷平均 Per hectare	0.95	0.95	0.95	0.95
	户均 Per household	1.31	1.19	1.99	1.74
秸秆燃烧碳排放	总量 Total	25 525.86	31 889.92	19 743.33	32 651.12
Carbon emissions from straw combustion	每公顷平均 Per hectare	223.66	235.30	120.56	143.37
	户均 Per household	307.54	295.28	253.12	263.32
农膜燃烧碳排放	总量 Total	7 095.43	4 399.42	1 353.62	5 711.88
Carbon emissions from agricultural plastic film combustion	每公顷平均 Per hectare	62.17	32.46	8.27	25.08
	户均 Per household	85.49	40.73	17.35	46.06



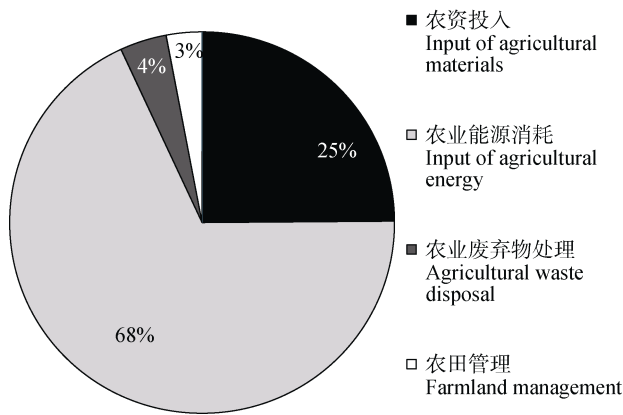


图 1 烟草农业生产各环节碳排放量占比情况

Fig. 1 Carbon emission proportion from different production links of total carbon emissions of tobacco agriculture

应根据实际情况制定适合本地土壤状况的有机肥化肥配比政策, 化肥和有机肥的合理配施能够优化土质、提高土壤肥力、改善土壤结构并增加土壤固碳潜力。施用有机肥较多的是汉中市和安康市。农资投入环节中农膜使用产生的碳排放量也不容忽视, 占总碳排放量的 7.88%, 汉中和商洛每公顷农膜所产生的碳排放量相对较低。

农业废弃物处理环节中所产生的碳排放量为 128.37 t C, 占碳排放总量的 3.92%。其中烟秆燃烧占 3.35%, 农膜燃烧占 0.57%。汉中秸秆燃烧的总排放量最大, 而商洛市每公顷烟秆燃烧产生碳排放量最大, 宝鸡市户均碳排放量最高, 总体上烟草农业存在烟秆焚烧和回收利用率低等现象。商洛市阳光合作社通过推进烟秆的回收再利用, 将烟秆制作成生物质燃料用以支撑烟叶烘烤环节的能源, 同时降低烟秆燃烧和烘烤两个环节的碳排放量, 但由于存在技术和成本等问题, 使烟秆回收推广范围较小, 还未形成良好的减排效果。目前, 我国已出台禁止焚烧秸秆等政策以促进秸秆还田和再利用, 同时秸秆还田等还会增加土壤固碳量, 进一步达到低碳减排的目的。宝鸡市农膜燃烧所产生的碳排放量较大, 原因在于其农膜的回收再利用率较低, 而其他合作社针对烟草农膜都有相应的回收再利用政策, 提高了农膜的利用率。

农田管理所产生的碳排放量为 97.63 t C, 占总碳排放量的 2.98%。其中灌溉产生碳排放占 2.82%, 翻耕产生碳排放占 0.16%。灌溉方面, 安康和汉中灌溉产生碳排放总量较大, 宝鸡市每公顷碳排放量较大。安康、汉中和商洛均属秦巴山区, 气候相较于宝鸡更湿润, 宝鸡灌溉次数较多, 安康和汉中烟叶种植集中于山地, 灌溉难度大, 机械化程度不高,

地形原因是导致其差异的主要因素。农田土壤 N<sub>2</sub>O 排放 609.11 kg, 占总碳排放量的 0.02%, 4 地无明显差异。

由图 2、表 4 可知, 在烟草农业碳汇量中, 土壤固碳 1 104.73 t C, 占总碳汇量的 81.19%。主要在于化肥有机肥配施措施有效增加了土壤碳汇量, 为 1 075.18 t C, 占总碳汇量的 78.95%; 秸秆还田总固碳量为 29.41 t C; 免耕总固碳量 142 kg。4 个合作社土壤固碳量相差不大, 平均每公顷土壤固碳量由大到小依次为汉中、宝鸡、商洛、安康。调研区域烟秆植株固碳 257.13 t C, 占总碳汇量的 18.88%。汉中市植株固碳总量最大, 这与其种植规模有关, 每公顷植株固碳量排序依次为商洛、宝鸡、汉中、安康。烟草农业低碳化转型要求在减少碳排放的同时增加农业的固碳效应以达到减源增汇的目的。通过以上分析可知, 烟草农业碳汇量的主要来源是土壤固碳, 因此, 改进烟农耕作方式以提升土壤固碳潜力能够有效促进烟草的低碳化发展。

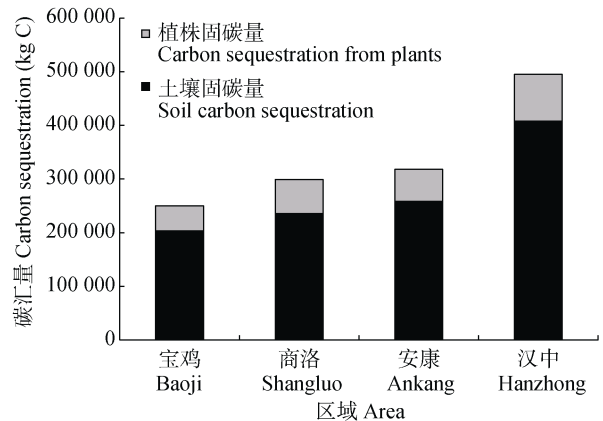


图 2 陕西省不同区域典型烟草专业合作社烟草农业碳汇量

Fig. 2 Carbon sequestration of tobacco production in typical professional cooperatives in different areas of Shaanxi Province 各区域烟草专业合作社名称见表 3。The names of the professional cooperatives of different areas are shown in the table 3.

### 3.3 不同组织管理模式碳效应分析

如表 5 所示, 从碳效率角度来看, 总体上烟草农业的碳经济效率高于生态效率, 说明农户在种植过程中, 更加注重追求经济效率而生态意识相对薄弱。汉中的碳效率最高, 其碳经济效率和生态效率均高于其他 3 个地区; 商洛市紧随其后, 而宝鸡市和安康市相差不大, 安康碳效率略高于宝鸡。因此, 陕西省烟草农业发展需要进一步协调生态效益和经济效益, 在促进农户增产增收的同时强化农户生态意识, 从而有效引导烟草农业的低碳化转变。

表 4 陕西省不同区域典型烟草专业合作社烟草农业碳汇量

Table 4 Carbon sequestration of tobacco agriculture of typical professional cooperatives in different areas of Shaanxi Province kg

项目 Item	宝鸡市陇县 盛大专业合作社 Shengda Tobacco Professional Cooperative in Longxian County, Baoji City	商洛市洛南县 阳光烤烟专业合作社 Yangguang Tobacco Professional Cooperative in Lu- onan County, Shangluo City	安康市汉滨区 新禾丰烤烟专业合 作社 Xinhefeng Tobacco Professional Cooperative in Hanbin District, Ankang City	汉中市南郑县 金叶烤烟专业合作社 Jinye Tobacco Professional Coopera- tive in Nanzheng County, Hanzhong City	合计 Total
土壤固碳量 Soil carbon sequestration	203 347.33	235 339.73	258 122.67	407 920.67	1 104 730.40
每公顷土壤固碳量 Soil carbon sequestration per hectare	1 781.72	1 736.44	1 576.13	1 791.17	1 722.99
植株固碳量 Carbon sequestration from plants	46 602.61	63 768.51	59 902.77	86 854.52	257 128.42
每公顷植株固碳量 Carbon sequestration from plants per hectare	408.33	470.51	365.77	381.38	401.03
合计 Total	249 949.95	299 108.25	318 025.44	494 775.19	1 361 858.82

表 5 陕西省不同区域典型烟草专业合作社烟草农业综合碳效应

Table 5 Comprehensive carbon effect of tobacco agriculture in typical professional cooperatives in different areas of Shaanxi Province

项目 Item	宝鸡市陇县 盛大专业合作社 Shengda Tobacco Professional Co- operative in Longxian County, Baoji City	商洛市洛南县 阳光烤烟专业合作社 Yangguang Tobacco Professional Coopera- tive in Luonan County, Shangluo City	安康市汉滨区 新禾丰烤烟专业 合作社 Xinhefeng Tobacco Professional Coopera- tive in Hanbin District, Ankang City	汉中市南郑县 金叶烤烟专业 合作社 Jinye Tobacco Professional Cooperative in Nanzheng County, Hanzhong City	平均值 Average
碳经济效率 Carbon economy efficiency (¥·kg <sup>-1</sup> )	6.26	7.54	6.76	10.35	7.73
碳生态效率 Carbon ecological efficiency (kg·kg <sup>-1</sup> )	0.33	0.36	0.41	0.54	0.41
碳强度 Carbon intensity (kg·¥ <sup>-1</sup> )	-0.11	-0.08	-0.09	-0.04	-0.08
碳排放密度 Carbon emission density (kg·hm <sup>-2</sup> )	6 715.08	6 073.51	4 739.04	3 998.51	5 019.83
碳汇密度 Carbon sink density (kg·hm <sup>-2</sup> )	2 190.05	2 206.95	1 941.90	2 172.54	2 124.02
净碳汇密度 Net carbon sink density (kg·hm <sup>-2</sup> )	-4 525.04	-3 866.55	-2 797.14	-1 825.96	-2 985.80

从碳强度角度来看,陕西省烟草农业均表现为碳排放,但碳排放强度数值较小。宝鸡碳排放强度最大;汉中碳排放强度最小,虽然碳排放均大于碳汇,但汉中相对碳强度指标最优,表明汉中的烟草农业经济效益和生态效益较好、资源利用率较高,烟草农业发展较为低碳化。

从碳密度角度来看,宝鸡市和商洛市碳排放密度较高,平均每公顷排放 6 715.08 kg C 和 6 073.51 kg C,安康市和汉中市碳排放密度较低;而碳汇密

度中宝鸡和商洛碳汇密度较高,安康和汉中碳汇密度较低;陕西省烟草农业均表现为负的净碳汇密度,从均值来看,汉中市净碳汇密度最小,而宝鸡和商洛的净碳汇密度较高。

综合碳效率、碳强度以及碳密度 3 个指标分析发现,汉中市郑县金叶烤烟专业合作社碳效率、碳强度和碳密度 3 个指标均为最优。在 4 个合作社中,汉中市烟区主要分布于山地地形,烟农居住相对分散,为方便对烟农规范管理而采用网格化管理模式,

将居住较近的烟农分组并设立网格长,方便对烟农提供管理和服务的同时规范烟农化肥农药施用、秸秆燃烧等行为,保护性耕作方式较好地降低了烟农在烟草种植中的碳排放量<sup>[35]</sup>,最终以较少的碳排放量获得了较大的经济效益;此外在合作社领导下设立烟站,以烟草公司+烟站+合作社模式开展管理服务工作,小南海烟站开发的新能源烤房能够对加入合作社的农户形成良好的带动效应;分红模式中汉中合作社按交易量进行分红而其他 3 个合作社均按股份进行分红,按交易量分红的方式能够促进农户的生产积极性并形成良好的激励作用以达到增产增收的目的。商洛市洛南县阳光烤烟专业合作社其碳效率、碳强度以及碳密度略次于汉中,基本达到了陕西省烟草农业碳效益均值水平,该合作社积极探索推广低碳技术,在烟秆回收再利用、生物质燃料烤房等方面采用了较好的技术和方法。宝鸡市陇县盛大专业合作社与安康市汉滨区新禾丰烤烟专业合作社其生态效益和经济效益相比于前两个合作社略低,仍需要在技术和管理模式上寻求创新以促进烟草农业现代化、低碳化发展。

#### 4 结论

本文通过构建烟草农业碳效应分析体系,对调研的陕西省烟草专业合作社 393 户农户在烟草农业种植各个环节产生的碳排放量、碳汇量、碳效率、碳密度以及碳强度等多项碳效应指标进行测算和分析,得到了以下结论:

1)陕西省 393 户烟农种植 641.17 hm<sup>2</sup>烟叶,总碳排放量为 3 276.27 tC,每公顷碳排放量 5.11 tC,户均碳排放量 8.34 tC;总碳汇量 1 361.86 tC,每公顷碳汇量 2.12 tC,户均碳汇量 3.47 tC;总净碳汇量 -1 914.41 tC,每公顷净碳汇量 -2.99 tC,户均净碳汇量 -4.87 tC。陕西省烟草农业总体碳排放量大于碳汇量,呈现负净碳汇效应的特点,其中选取平均每公顷碳效应指标对比分析区域之间差异最为恰当。

2)在碳排放环节中,烟草农业农用能源消耗排放量最大,占碳排放总量的 68.21%,烟叶烘烤能源仍以煤炭为主,煤炭燃烧会导致大量的碳排放产生;其次是农资投入环节,占碳排放总量的 24.88%,主要为粪肥和农膜的使用产生的碳排放,由于控氮增密技术和绿色植保技术在烟草农业上的推广,使其化肥农药所产生的碳排放量较小;农业废弃物处理、农田管理以及农田耕地土壤 N<sub>2</sub>O 排放所产生的碳排放量所占比重较低。汉中和商洛总碳排放量较

大,每公顷碳排放量由大到小依次为:宝鸡、商洛、安康、汉中。基于此,在烟草农业低碳化发展中,要不断探索新型能源,改进烘烤技术,提高能源利用效率以实现清洁烘烤,将农用能源消耗中的烘烤燃料作为降低碳排放的主要环节。

3)在碳汇环节中,土壤固碳量为 1 104.73 tC,占固碳总量的 81.12%,这主要由于烟草农业的农户培训机制较好,低碳技术在烟草农业中推行较快,农户采取保护性耕作技术进行烟草生产,以提高土壤固碳能力;4 个不同区域的合作社中汉中和安康的固碳量较大,宝鸡和商洛较小,每公顷碳汇量商洛、宝鸡、汉中差异不明显,安康略低,其排序依次为商洛、宝鸡、汉中、安康。因此要通过培训等各种方式普及保护性耕作技术等,从而使烟农在烟草农业低碳生产中采取更为低碳的技术和生产方式以降低产生的碳排放量,增加烟草农业固碳能力,提高烟草农业净碳汇量。

4)在综合碳效应方面,陕西省烟草专业合作社中,汉中金叶烤烟专业合作社在碳效率、碳强度和碳密度均为最优,每公顷净碳汇量最大。其管理模式以网格化管理为主设立烟站,并以烟叶交易量为烟农分红,能够优化农户投入结构、提高农资利用效率、改进烟草农业技术和农户耕作方式、规范烟农行为、为烟农提供更加全面周到的服务,以更好地达到烟草农业的碳减排目的,促进烟草农业现代化进程。因此应充分发挥合作社等新型农业经营主体在农业低碳化转型中的作用,利用合作社等经营主体的组织模式,增加对农户的生态环保意识和低碳技术的培训,施行有效的激励措施鼓励农户低碳行为,促进农户低碳生产的积极性和创新性,从点及面以促进烟草农业的低碳化、现代化发展。

本研究将农业碳效应核算体系引入到烟草农业中,构建以微观农户烟草种植过程中生产行为为研究主体的综合碳效应分析体系,明确烟草农业碳排放的产生环节和主要来源,对有针对性地开展温室气体减排工作有一定的参考价值。得出结论与前人研究<sup>[36-38]</sup>相比,相同点在于都认为通过低碳技术的推广和普及等能够有效减少农业碳排放量,提高农业产业碳效应。但本研究在技术进步的角度外,探究了合作经济组织管理模式对碳效应产生的影响,得出优化组织模式也是农业低碳化转变途径之一。与此同时,文章在讨论烟草农业碳循环的整个过程以及生命周期理论在烟草农业的应用两个问题上未进行深入探究,有待进一步更深层次的剖析。

## 参考文献 References

- [1] 胡川, 韦院英, 胡威. 农业政策、技术创新与农业碳排放的关系研究[J]. 农业经济问题, 2018, (9): 66–75  
HU C, WEI Y Y, HU W. Research on the relationship between agricultural policy, technological innovation and agricultural carbon emissions[J]. Issues in Agricultural Economy, 2018, (9): 66–75
- [2] 刘国顺, 李朋彦, 丁松爽, 等. 物联网概述及其在烟草农业中的应用展望[J]. 中国烟草学报, 2018, 24(4): 107–114  
LIU G S, LI P Y, DING S S, et al. Brief description of Internet of Things and its prospective application to tobacco agriculture[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2018, 24(4): 107–114
- [3] 段宁东, 黄云杰. 低碳技术在中国烟草产业应用的成效研究[J]. 中国软科学, 2010, (S2): 115–120  
DUAN N D, HUANG Y J. Research on the effects of the application of low-carbon technologies in China tobacco industry[J]. China Soft Science, 2010, (S2): 115–120
- [4] 黄祖辉, 米松华. 农业碳足迹研究——以浙江省为例[J]. 农业经济问题, 2011, 11(7): 40–47  
HUANG Z H, MI S H. Agricultural sector carbon footprint accounting: A case of Zhejiang, China[J]. Issues in Agricultural Economy, 2011, 11(7): 40–47
- [5] 田云, 张俊彪. 中国农业生产净碳效应分异研究[J]. 自然资源学报, 2013, 28(8): 1298–1309  
TIAN Y, ZHANG J B. Regional differentiation research on net carbon effect of agricultural production in China[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(8): 1298–1309
- [6] 陈儒, 邓悦, 姜志德. 农业生产项目的综合碳效应分析与核算研究——基于陕西西安寨的农户调查数据[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2017, (3): 23–34  
CHEN R, DENG Y, JIANG Z D. Determining and estimating on comprehensive carbon effects of agricultural production projects — based on investigation data of Ansai farmer households in Shaanxi Province[J]. Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2017, (3): 23–34
- [7] 王钰乔, 濮超, 赵鑫, 等. 中国小麦、玉米碳足迹历史动态及未来趋势[J]. 资源科学, 2018, 40(9): 1800–1811  
WANG Y Q, PU C, ZHAO X, et al. Historical dynamics and future trends of carbon footprint of wheat and maize in China[J]. Resources Science, 2018, 40(9): 1800–1811
- [8] 刘勇, 张俊彪, 张露. 基于 DEA-SBM 模型对不同稻作制度下我国水稻生产碳排放效率的分析[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(6): 177–186  
LIU Y, ZHANG J B, ZHANG L. Analysis of carbon emission efficiency of rice in China under different rice planting patterns based on the DEA-SBM model[J]. Journal of China Agricultural University, 2018, 23(6): 177–186
- [9] ALAM M K, BELL R W, BISWAS W K. Increases in soil sequestered carbon under conservation agriculture cropping decrease the estimated greenhouse gas emissions of wetland rice using life cycle assessment[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 224: 72–87
- [10] 宋博, 穆月英. 设施蔬菜生产系统碳足迹研究——以北京市为例[J]. 资源科学, 2015, 37(1): 175–183  
SONG B, MU Y Y. The carbon footprint of facility vegetable production systems in Beijing[J]. Resources Science, 2015, 37(1): 175–183
- [11] 师帅, 李翠霞, 李媚婷. 畜牧业“碳排放”到“碳足迹”核算方法的研究进展[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(6): 34–41  
SHI S, LI C X, LI M T. Review of research from carbon emissions to carbon footprint in livestock husbandry[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(6): 34–41
- [12] VERGÉ X P C, DYER J A, DESJARDINS R L, et al. Greenhouse gas emissions from the Canadian dairy industry in 2001[J]. Agricultural Systems, 2007, 94(7): 683–693
- [13] 孔立, 朱立志. 马铃薯生产的碳排放优势研究——基于农业投入品和LMDI模型的实证分析[J]. 农业技术经济, 2016, (7): 111–121  
KONG L, ZHU L Z. Research on carbon emission advantages of potato production[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2016, (7): 111–121
- [14] 曹志宏, 秦帅, 郝晋珉. 河南省农业生产碳汇的演变趋势及其集聚特征分析[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(9): 1283–1290  
CAO Z H, QIN S, HAO J M. Spatio-temporal evolution and agglomeration characteristics of agricultural production carbon sink in Henan Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(9): 1283–1290
- [15] WEST T O, MARLAND G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2002, 91(1/3): 217–232
- [16] 田云, 张俊彪, 吴贤荣, 等. 中国种植业碳汇盈余动态变化及地区差异分析——基于 31 个省(市、区)2000—2012 年的面板数据[J]. 自然资源学报, 2015, 30(11): 1885–1895  
TIAN Y, ZHANG J B, WU X R, et al. Research on dynamic change and regional differences of China's planting industry carbon sink surplus[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(11): 1885–1895
- [17] 潘根兴, 李恋卿, 张旭辉, 等. 中国土壤有机碳库量与农业土壤碳固定动态的若干问题[J]. 地球科学进展, 2003, 18(4): 609–618  
PAN G X, LI L Q, ZHANG X H, et al. Soil organic carbon storage of china and the sequestration dynamics in agricultural lands[J]. Advance in Earth Science, 2003, 18(4): 609–618
- [18] WEST T O, MARLAND G. Net carbon flux from agriculture: Carbon emissions, carbon sequestration, crop yield, and land-use change[J]. Biogeochemistry, 2003, 63(1): 73–83
- [19] 董文杰, 王皓. 大力推进烟草农业绿色发展[N]. 东方烟草报, 2018-08-16  
TONG W J, WANG H. To give great impetus to the tobacco agricultural green development[N]. East Tobacco News, 2018-08-16
- [20] 尹钰莹, 郝晋珉, 牛灵安, 等. 河北省曲周县农田生态系统碳循环及碳效率研究[J]. 资源科学, 2016, 38(5): 918–928  
YIN Y Y, HAO J M, NIU L A, et al. Carbon cycle and carbon

- efficiency of farmland ecosystems in Quzhou, Hebei Province[J]. Resources Science, 2016, 38(5): 918–928
- [21] 陈舜, 逯非, 王效科. 中国氮磷钾肥制造温室气体排放系数的估算[J]. 生态学报, 2015, 35(19): 6371–6383  
CHEN S, LU F, WANG X K. Estimation of greenhouse gases emission factors for China's nitrogen, phosphate, and potash fertilizers[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(19): 6371–6383
- [22] 胡小康, 黄彬香, 苏芳, 等. 氮肥管理对夏玉米土壤  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放的影响[J]. 中国科学: 化学, 2011, 41(1): 117–128  
HU X K, HUANG B X, SU F, et al. Effects of nitrogen management on methane and nitrous oxide emissions from summer maize soil in North China Plain[J]. Scientia Sinica Chimica, 2011, 41(1): 117–128
- [23] 邓明君, 邓俊杰, 刘佳宇. 中国粮食作物化肥施用的碳排放时空演变与减排潜力[J]. 资源科学, 2016, 38(3): 534–544  
DENG M J, DENG J J, LIU J Y. On the space-time evolution of carbon emissions and reduction potential in Chinese grain crop fertilizer application[J]. Resources Science, 2016, 38(3): 534–544
- [24] 周贝贝, 王一鸣, 林先贵. 不同处理方式的粪肥对水稻生长和温室气体排放的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2016, 22(3): 430–436  
ZHOU B B, WANG Y M, LIN X G. Effects of differently treated manures on rice growth and greenhouse gas emission[J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2016, 22(3): 430–436
- [25] 陈琳, 闫明, 潘根兴. 南京地区大棚蔬菜生产的碳足迹调查分析[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1791–1796  
CHEN L, YAN M, PAN G X. Evaluation of the carbon footprint of greenhouse vegetable production based on questionnaire survey from Nanjing, China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30(9): 1791–1796
- [26] 陈罗焯, 薛领, 雪燕. 中国农业碳生态类型区时空演化分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(S2): 304–308  
CHEN L Y, XUE L, XUE Y. Spatial-temporal difference of China's agricultural carbon ecological patterns[J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(S2): 304–308
- [27] 熊正琴, 邢光熹, 施书莲, 等. 轮作制度对水稻生长季节稻田氧化亚氮排放的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(10): 1761–1764  
XIONG Z Q, XING G X, SHI S L, et al. Effects of cropping systems on nitrous oxide emissions from paddy soils during the rice-growing season[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(10): 1761–1764
- [28] 王智平. 中国农田  $\text{N}_2\text{O}$  排放量的估算[J]. 农村生态环境, 1997, 13(2): 51–55  
WANG Z P. Estimation of nitrous oxide emission of farmland in China[J]. Rural Eco-Environment, 1997, 13(2): 51–55
- [29] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 203–208  
DUAN H P, ZHANG Y, ZHAO J B, et al. Carbon footprint analysis of farmland ecosystem in China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(5): 203–208
- [30] 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 保护性耕作对农田生态系统净碳排放量的影响[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2035–2039  
WU F L, LI L, ZHANG H L, et al. Effects of conservation tillage on net carbon flux from farmland ecosystems[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(12): 2035–2039
- [31] 陈儒, 姜志德, 姚顺波. 低碳农业联合生产的绩效评估及其影响因素分析[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2018, (3): 44–55  
CHEN R, JIANG Z D, YAO S B. Analysis on performance evaluation and influencing factors of low carbon agriculture joint production[J]. Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2018, (3): 44–55
- [32] LIM E D, GUO L P, JU H. Challenges to increasing the soil carbon pool of agro-ecosystems in China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(4): 723–725
- [33] 金琳, 李玉娥, 高清竹, 等. DNDC 模拟中国 20 年农田管理土壤碳变化[J]. 土壤通报, 2010, 41(5): 1081–1085  
JIN L, LI Y E, GAO Q Z, et al. Analysis of the change of soil carbon under cropland management in China between 1981 and 2000 by DNDC[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(5): 1081–1085
- [34] 国家发展和改革委员会应对气候变化司. 中国温室气体清单研究: 2005[M]. 北京: 中国环境出版社, 2014  
National Development and Reform Commission of Climate Change. Research on Greenhouse Gas Emissions Inventory in China: 2005[M]. Beijing: China Environment Press, 2014
- [35] CILLIS D, MAESTRINI B, PEZZUOLO A, et al. Modeling soil organic carbon and carbon dioxide emissions in different tillage systems supported by precision agriculture technologies under current climatic conditions[J]. Soil and Tillage Research, 2018, 183: 51–59
- [36] BELL M J, CLOY J M, REES R M. The true extent of agriculture's contribution to national greenhouse gas emissions[J]. Environmental Science & Policy, 2014, 39: 1–12
- [37] 戴小文, 漆雁斌, 唐宏. 1990—2010 年中国农业隐含碳排放及其驱动因素研究[J]. 资源科学, 2015, 37(8): 1668–1676  
DAI X W, XI Y B, TANG H. Embodied  $\text{CO}_2$  emission calculation and influence factors decomposition in China's agriculture sector[J]. Resources Science, 2015, 37(8): 1668–1676
- [38] HEDIGER W. Modeling GHG emissions and carbon sequestration in Swiss agriculture: An integrated economic approach[J]. International Congress Series, 2006, 1293: 86–95