

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.12.013

# 农田生态系统碳足迹特征及低碳发展探讨

——以重庆酉阳县种植业为例<sup>①</sup>

唐 廉<sup>1</sup>, 谢世友<sup>1,2</sup>

1. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715;

2. 西南大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715

**摘要:** 利用 2004 年—2014 年酉阳县种植业生产投入、产出等数据, 采用碳足迹模型方法, 选定主要要素的排放系数和碳吸收率, 分析农作物种植中碳吸收、排放的情况. 结果表明: ① 酉阳县种植业的碳生态承载力未超负荷, 固碳能力稳步上升, 年平均增长率 2.9%. ② 酉阳县种植业的固碳能力和单位碳足迹产值效益提升主要得益于作物种植结构调整, 说明发展低碳农业符合社会经济发展的要求. ③ 秸秆焚烧带来巨大碳排量以及不断增加的化学物质消耗, 加剧了农业面源污染风险.

**关键词:** 碳足迹; 碳排放; 种植业; 低碳发展; 酉阳县

**中图分类号:** X71; S181

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2016)12-0076-07

20 世纪中期以来, 由气候变暖引起的相关效应已经成为全球性环境问题. 大气 CO<sub>2</sub> 浓度持续升高, 对气候变暖产生了显著的影响, 由此碳循环、碳排放、低碳发展成为二十世纪末学术界研究的热点. 碳足迹是指对某种活动引起的(或某种产品生命周期内积累的)直接或间接的 CO<sub>2</sub> 排放量的度量<sup>[1]</sup>, 它可以从多个尺度探讨人类活动导致的碳排放过程, 从而为各尺度低碳减排措施提供多种视角, 其研究方法优于其他碳排放研究方法<sup>[2]</sup>. 农田生态系统碳足迹及其变化在全球碳循环中起着重要作用, 对该系统内种植业的碳吸收/排放进行分析, 有助于深化该系统在陆地生态系统碳循环中的地位, 为农业低碳化发展提供理论和实际参考.

目前, 国内外学者从多角度对碳足迹进行了研究. 如 Anjali Dubey 等<sup>[3]</sup>从农业生态系统各碳排放源的角度确定排放系数, 计算中国、美国、印度、巴基斯坦等地区的农业生态系统各组分能耗和碳排放量; Tristram O. West 等<sup>[4]</sup>从种植业的每个环节入手探讨直接和间接碳排放量, 得到单位化肥、农药、种子使用量的能源消耗和碳排放; Sovacool, Hertwich 等人<sup>[5-6]</sup>从国家、城市角度开展碳足迹研究, 利用模型计算碳足迹并提出减排建议. 国内方精云等<sup>[7]</sup>、揣小伟等<sup>[8]</sup>对土地利用结构变化对碳足迹的长尺度影响进行了探讨, 并分别计算国内 50 年间的碳吸收量变化, 江苏省 20 年间的碳储量; 赵荣钦等<sup>[9]</sup>对中国不同产业空间的碳排放强度和碳足迹进行了分析; 王占彪等<sup>[10]</sup>从低碳农业发展角度对华北平原作物的碳足迹进行了分析; 岳立<sup>[11]</sup>对甘肃省 1993 年—2010 年的农业碳足迹进行了研究, 认为化学物质投入是影响碳足迹的主要因素; 邵技新<sup>[12]</sup>对贵州毕节岩溶山区 2010 年的农业碳足迹进行了对比研究, 认为调整农业结构、发展生态农业有助于增强农作物碳汇能力. 这些研究内容涉及碳排放强度变化、碳排放空间分布和结构特征、碳足迹影响因素等. 本研究以重庆酉阳县为案例区, 探讨农田生态系统碳足迹特征, 以为重庆酉阳县低

① 收稿日期: 2015-11-03

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2011BAC09B01, 2006BAC01A16); 重庆市自然科学基金重点项目(CSTC2009BA0002).

作者简介: 唐 廉(1990-), 男, 湖南邵阳人, 硕士研究生, 主要从事应用地理与旅游地理的研究.

通信作者: 谢世友, 教授, 博士研究生导师.

碳农业的发展提供理论依据。

## 1 研究区概况、数据来源及研究方法

### 1.1 研究区概况及数据来源

酉阳县位于重庆市东南部,东经  $108^{\circ}18'25''$ — $109^{\circ}19'02''$ 、北纬  $28^{\circ}19'28''$ — $29^{\circ}24'18''$  之间,地处沅江上游与乌江中下游,湖北、湖南、贵州 3 省市结合部。幅员面积  $5\,173\text{ km}^2$ ,东西宽  $98.3\text{ km}$ ,南北长  $119.7\text{ km}$ 。地势中部高、东西两侧低。土地利用结构中耕地占首位,其次为林地和荒草地。耕地分散,人均面积  $0.14\text{ hm}^2$ ,主要类型有水田、旱地、荒地。全区石漠化现象明显,石漠化面积占全区总面积  $32\%$ 。本研究涉及的种植业化学物质投入、耕地面积、农作物经济产量数据以及农业总产值均来自 2004 年—2014 年的《酉阳统计年鉴》、酉阳县年度统计公报以及其他相关报表。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 种植业碳源估算

种植业碳排放主要来源于种植期间的化学物质投入以及能源消耗所致的碳排放<sup>[13]</sup>。本研究引用相关研究的碳排放系数估算农业投入要素导致的碳排放量。化肥(氮肥、磷肥、钾肥)、农膜、农药是农业活动碳源的三大主要来源。能源消耗主要包括用电量以及农用柴油机械使用所致的碳排放,因能源消耗主要体现为农业灌溉和耕作,为保持排放系数计算统一,本研究将能源消耗转换为灌溉耗能和耕作耗能;同时,种植业碳排放还包括作物收获后秸秆燃烧的碳元素排放量。农业投入导致的碳总排放量与各类碳源关系为:

$$E = \sum e_i = \sum K_i \times V_i \quad (1)$$

式中:  $E$  为总碳排放量;  $e_i$  为各类碳源碳排放量;  $K_i$  为各碳排放源的量;  $V_i$  为各碳排放源的排放系数。其中化肥、农膜、农药、灌溉耗能、耕作耗能参考国内外学者的研究成果,具体见表 1。对于化肥投入,由于目前中国大部分农村地区仍然使用标准复合肥,因此将氮肥、磷肥、钾肥使用量折算为化肥总使用量的  $1/3$  计算。先分别测算氮肥、磷肥、钾肥的碳排放量,再相加得到化肥总碳排放量<sup>[13]</sup>。

表 1 酉阳县种植业碳源及排放系数

来 源	碳排放系数	参 考 来 源
农药碳排放	4.93	West <sup>[4]</sup> , 揣小伟 <sup>[8]</sup>
农膜碳排放	5.18	West <sup>[4]</sup> , 揣小伟 <sup>[8]</sup>
氮肥间接碳排放	1.74	逯非等 <sup>[19]</sup>
氮肥直接碳排放(氧化亚氮)	0.005 6	周铁军等 <sup>[20]</sup>
磷肥碳排放	0.20	Anjali Dubey 等 <sup>[3]</sup>
钾肥碳排放	0.15	Anjali Dubey 等 <sup>[3]</sup>
灌溉耗能碳排放/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	20.476	Anjali Dubey 等 <sup>[3]</sup> , 韩召迎等 <sup>[14]</sup> , 田云等 <sup>[15]</sup>
耕作耗能碳排放/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	21.24	罗敬东等 <sup>[16]</sup> , 牛海生等 <sup>[17]</sup> , LAL R. <sup>[18]</sup>

氮肥的碳排放主要包括 2 部分:一为生产运输过程中产生的间接碳排放;二为氮肥施用氧化亚氮排放所产生碳排放当量,计算公式分别为

$$X_1 = U \times i \quad (2)$$

$$X_2 = U \times f \times 44/28 \times 298 \times 12/44 \quad (3)$$

式中:  $U$  为区域氮肥纯用量;  $i$  为氮肥间接碳排放系数;  $f$  为氮肥氧化亚氮排放系数。氧化亚氮和氮气分子质量比, 298 为 100 年水平下净全球变暖潜势,  $12/44$  为碳和二氧化碳质量比。对于灌溉耗能,因为国内此方面实验数据较少,国内多数学者主要参考国外权威学者的灌溉耗能参数,并在考虑中国平均火电系数下对参数作了一定程度的修改,因此为便于研究地区横向比较,本研究灌溉耗能参数引用韩召迎<sup>[14]</sup>、田云<sup>[15]</sup>等人修正后的数据;对于耕作耗能,成人每天完成的犁地、耕种、收获面积为  $0.13\text{ hm}^2$ <sup>[16]</sup>,每日碳排放量为  $0.24\text{ kg}$ <sup>[17]</sup>,即耕作一公顷土地需要排放的  $\text{CO}_2$  量为  $1.84\text{ kg}$ 。近年来国家大力补贴农户购买农业机械,以 2006 年为例,酉阳全县拥有中型联合收割机 2 台,拖拉机 462 台,微耕机 1 193 台,播种

机 22 台. 酉阳县境内地形起伏大, 多低山丘陵, 可以认为其所使用的农业机械多为用于犁地的微型机械. 为便于统计, 以占用数量最多的微耕机进行耕作耗能的估算. 微耕机的耗油量为  $20.64 \text{ kg/hm}^2$ , 柴油的碳排放系数  $0.94 \text{ kg/kg}^{[18]}$ , 据此可知微耕机耕作一公顷土地排放的  $\text{CO}_2$  量  $19.4 \text{ kg}$ , 因此总耕作耗能为  $21.24 \text{ kg/hm}^2$ .

### 1.2.2 种植业碳汇估算

作物生长期内进行光合作用时只能吸收一定质量的碳, 因此作物生长期的碳吸收量可以通过农作物收获时的经济产量及其经济系数推算, 计算公式如下:

$$G_T = \sum G_i \times T_w / H \quad (4)$$

式中:  $G_T$  为所有农作物的碳吸收量;  $G_i$  为  $i$  类作物光合作用合成单位质量干物质所需要吸收的碳;  $T_w$  为  $i$  类作物的经济产量;  $H$  为  $i$  类作物的经济系数. 中国主要农作物碳吸收率和经济系数参考文献<sup>[14,21]</sup>见表 2.

农作物收获后秸秆通常有还田、焚烧和充作饲料 3 种利用方式. 其中焚烧会将其中的碳元素直接释放到大气中, 因此总碳排放量应当为秸秆焚烧的碳排放量与化学物质投入和能源消耗的碳排放量之和<sup>[13]</sup>. 农作物秸秆量计算公式为:

$$J_s = T_w \times N_g \times f \quad (5)$$

式中:  $J_s$  为农作物秸秆量;  $N_g$  为作物  $i$  的草谷比;  $f$  为作物  $i$  的秸秆收集系数. 主要农作物草谷比和秸秆收集系数参见文献<sup>[22-23]</sup>, 农作物秸秆燃烧率设定为  $0.4^{[24]}$ , 主要农作物秸秆含碳量平均值为  $m(C) = 0.24^{[25]}$ , 因此农作物秸秆燃烧的碳排放量为

$$E_s = J_s \times 0.4 \times 0.24 \quad (6)$$

式中:  $E_s$  为农作物秸秆燃烧的碳排放量 ( $\text{Kg}$ ). 种植业总碳排放量  $C$  即为化学物质投入、能源消耗碳排放量加上秸秆焚烧碳排放量

$$C = E + E_s \quad (7)$$

种植业碳足迹反映区域作物固碳能力, 计算公式为:

$$CEF = C / NEP \quad NEP = G_T / S \quad (8)$$

式中:  $CEF$  为碳足迹;  $NEP$  表示农作物固碳能力;  $C$  为碳排放总量;  $S$  为耕地面积;  $G_T$  为农作物碳吸收总量. 若  $CEF - S < 0$ , 说明碳足迹盈余; 若  $CEF - S > 0$ , 说明碳足迹赤字.

表 2 中国主要农作物经济系数、碳吸收比、草谷比、秸秆收集系数

品名	稻谷	玉米	小麦	大豆	薯类	其他粮食作物	油料	蔬菜	瓜果	其他经济作物
经济系数 <sup>[22-23]</sup>	0.45	0.4	0.4	0.35	0.7	0.4	0.3	0.6	0.7	0.42
碳吸收率 <sup>[22-23]</sup>	0.41	0.47	0.49	0.45	0.42	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
草谷比 <sup>[22]</sup>	1.00	1.1	1.3	1.6	0.8	1.2	2.0	/	/	/
秸秆收集系数 <sup>[13]</sup>	1.00	0.91	0.89	0.95	0.95	0.91	0.86	/	/	/

## 2 结果与分析

### 2.1 酉阳县种植业固碳动态特征及分析

酉阳县 2004 年碳吸收量总计为 461 502 t, 2014 年增至 620 494 t, 增量 16 万 t, 年平均增长率为 3%. 各碳吸收源出现不同程度的变化, 其中以水果的年均增长率最高, 达 16.9%; 蔬菜的碳吸收量由 2004 年的 93 380 t 增至 2014 年 209 850 t, 年均增长率 8.4%, 呈明显上升趋势, 2014 年占碳吸收比例为 34%, 居于碳吸收首位; 第三为油料, 2014 年相比于 2004 年增长了 12 345 t, 年均增长率 3.6%; 第四为烤烟, 年均增长率 2.7%. 稻谷作为主粮其碳吸收量呈波动变化, 2013 年出现最低值, 玉米的碳吸收量长期居于主导地位, 呈稳步上升趋势, 其变化对总量影响极大; 而其他粮食作物则出现负增长, 10 年间减幅值为 16 480 t, 年均负增长率为 8.9%, 豆类、薯类呈低速增长趋势. 2014 年各要素的碳吸收量, 玉米占比 22%, 较 2004 年下降了 3%; 2014 年蔬菜占比, 为 34%, 较 2004 年上升了 14%; 其他粮食作物下降了 4%. 粮食作物的碳吸收量年均增长率为 5%, 经济作物碳吸收量年均增长率为 7.5%, 可见, 种植结构已经偏向经济作物.

出现以上变化的第一个原因是酉阳县在社会经济发展中,调整种植结构,农户根据市场需求种植水果、蔬菜、油料、烤烟等高效益作物,产量连年升高;第二个原因为蔬菜等作物经济系数小,生物产量大,碳吸收总量也大,稻谷本身是南方的主要粮食作物,但由于经济效益较低及其他因素,水稻产量一直处于徘徊状态,而酉阳位于山地丘陵区,山区面积大,玉米仍然是主要适宜种植品种,产量稳步上升,由 2004 年的 9.75 万 t 上升到 2014 年的 11.55 万 t,碳吸收量基数大并且持续稳步增长.豆类作物受国际种业公司冲击,价格趋低,种植量增速平缓.薯类需求由于人类饮食结构改善、外出务工人员增多、农户饲养牛羊数量减少等原因趋于稳定.

由于产业结构变动引起的耕地面积的波动变化,种植业的固碳能力逐年上升,由 2004 年的  $3.36 \text{ t/hm}^2$  上升至 2014 年的  $4.5 \text{ t/hm}^2$ ,年均增长率 2.9%,单位面积的固碳能力变化趋势与种植业的固碳能力保持一致.各年度种植业碳吸收各要素动态特征参见图 1.

## 2.2 酉阳县种植业释碳动态特征及分析

由图 2 可知,2004 年酉阳县种植业碳排放量总计为 62 375 t,其中化学物质投入和能源消耗的碳排放量为 29 615 t,占比 48%,秸秆 35 896 t,占比 52%,10 年间秸秆焚烧碳排放量一直趋于稳定,未有较大变动.可见,秸秆焚烧对碳排放的动态变化影响较小,对总量影响大.2014 年碳排放量为 73 917 t,相较 2004 年增长了 7 405 t,年平均增长率 1.13%,化学物质投入年平均增长率 1.4%,能源消耗增幅不明显.

在化学和能源消耗中,化学物质碳排放量占比 78.3%,能源消耗占比 21.7%,排放比约为 3.6:1,10 年间变动趋势在 1%以内.投入种植业的化学物质中,以氮肥排放占比最大,为 63%,在碳排放总量中平均占比 38%,其次为灌溉耗能 10 年平均占比 9%,耕作耗能 10 年平均占比 4.2%,灌溉耗能和耕作耗能 10 年波动幅度在 1%以内,钾肥在总排放量中占比最小.变幅最大的是农膜投入和农药投入,2004 年,农膜投入碳排放的占比为 3.7%,农药投入为 9.6%,2014 年农膜投入达到了 13%,农药投入跌至 4%,其中农膜投入碳排放量 10 年平均增长率为 10.9%,农药为 -7.4%,两者变化呈明显反相关.

导致了以上结果的原因有:① 与区域土壤特定性质和化肥作用密不可分.酉阳县红壤广布,土质较差,肥力较低,需多种化肥弥补低下的自然肥力,提高作物种植效益.② 酉阳县多山地,需要水泵、抽水机等电力设备往高地引水灌溉,耗能较多.③ 目前我国大部分低山丘陵地区农业仍以传统人工耕作为主,人类活动也是碳排放的一大因素.④ 由于政府政策引导,种植业结构调整以及绿色食品的观念倡导,大棚蔬菜等商品基地的建设使得农膜投入不断加大,农药使用不断缩减.⑤ 秸秆焚烧所带来的碳排放量基数巨大,明显提高了种植业碳排放量,造成资源浪费,大气污染.

总体而言,酉阳县的总碳排放量维持在 7~8 万 t 之间,变化幅度小,2004 年为最低值 62 375 t,2012 年为最大值 75 692 t.各年度各碳排放各要素动态特征参见图 2.

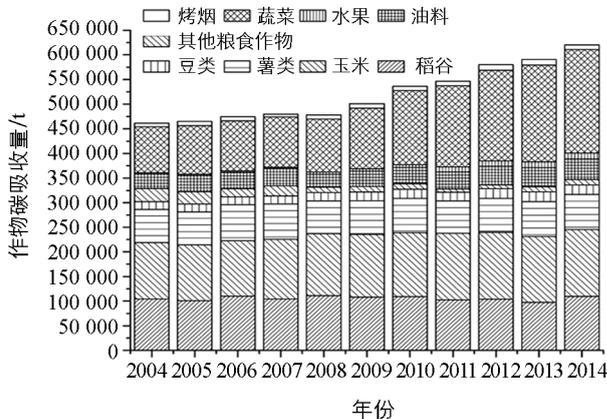


图 1 酉阳县种植业碳吸收要素变化趋势

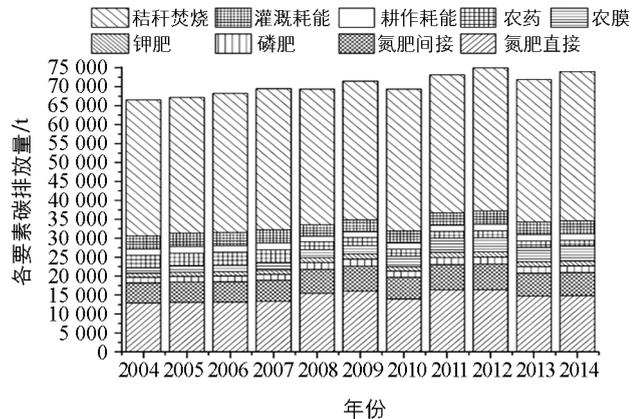


图 2 酉阳县种植业碳排放要素变化趋势

## 2.3 酉阳县种植业碳足迹动态特征及分析

由表 3 可知,酉阳县农业处于碳盈余状态,碳排放量小于碳吸收量,两者比值从 2004 年的 1:6.5 上升到 2014 年的 1:8.7.结合图 4 可知,酉阳县种植业总碳吸收值不断上升,从 2004 年的 461 502 t 上升到

2014 年的 620 493 t, 年平均增长率 3.1%, 碳足迹占耕地比例不断下降, 从 2004 年的 14.2% 不断下降至 2014 年的 11.81%。同时, 2009 年—2011 年, 碳足迹占耕地面积出现了波动变化, 由 14.23% 至 12.91%, 再至 13.34%, 究其原因, 2010 年水果、蔬菜产量增加, 碳吸收强度增加, 而化肥施用量连年减少, 导致 2010 年碳吸收量迅速增多; 2011 年, 其他粮食作物减产 5 000 余 t, 农膜、化肥投入增多, 碳吸收量和碳排放量回归平衡状态。经计算, 酉阳县 2004 年—2014 年平均碳足迹占耕地比例为 13.6%, 耕地面积足够容纳化学和能源消耗所产生的碳排放, 且需求量连年降低, 能够补充酉阳的碳生态赤字, 对区域可持续发展有着积极的作用。同时, 单位碳足迹产值效益可以反映种植业各要素投入效率和单位土地效益的高低, 2004 年单位公顷碳足迹产生 3.98 万元农业产值, 2014 年为 10.97 万元农业产值, 年均增长率为 10.2%, 说明酉阳种植业要素投入效率和单位土地效益明显, 政策引导和市场经济自发驱动下的种植业结构调整取得了显著的效果。

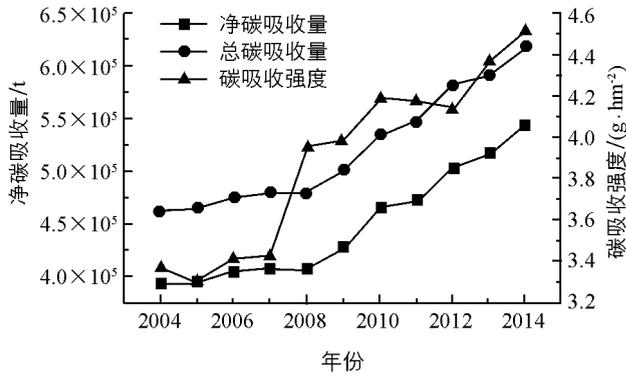


图 3 各年度总碳吸收量、净碳吸收量以及碳吸收强度

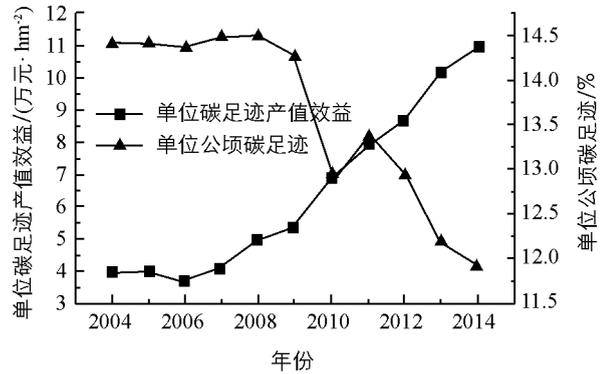


图 4 单位碳足迹及其效益

表 3 碳足迹与单位面积碳足迹产值效益

年份	碳生态承载力 (耕地面积)/(万 $\text{hm}^2$ )	碳足迹/ 万 $\text{hm}^2$	生态盈余/ $\text{hm}^2$	单位面积 碳足迹/%	单位碳足迹农业 产值效益/(万元· $\text{hm}^{-2}$ )
2004	13.72	1.97	11.75	14.4	3.98
2005	14.11	2.03	11.81	14.4	4.04
2006	13.92	2.01	11.91	14.3	3.66
2007	14.03	2.02	12.01	14.5	4.07
2008	12.1	1.77	10.33	14.51	4.95
2009	12.6	1.81	10.79	14.26	5.31
2010	12.8	1.64	11.16	12.93	6.84
2011	13.07	1.74	11.33	13.37	7.92
2012	14.04	1.82	12.22	12.92	8.65
2013	13.53	1.66	11.87	12.17	10.16
2014	13.8	1.63	12.15	11.91	10.97

## 3 结果与讨论

### 3.1 结论

酉阳县碳吸收量和碳排放量总体在增加, 碳吸收量明显大于碳排放量, 碳吸收量年平均增长率 3%, 碳排放量年平均增长率 1.14%。碳吸收中, 水果的年均增长率最大, 达到了 16.9%; 蔬菜的碳吸收量年均增长率为 8.4%, 呈明显上升趋势, 2014 年占碳吸收比例达到 34%, 居于碳吸收首位; 稻谷趋于稳定, 玉米对全县的碳吸收量长期居于主导地位, 仍然是主要适耕品种; 其他粮食作物则出现了负增长, 年均增长率为 -8.9%, 豆类、薯类呈现低速增长趋势。种植业的固碳能力呈逐年上升趋势, 年均增长率 2.9%, 单位面积的固碳能力变化趋势与种植业的固碳能力保持一致。种植业的种植结构偏向经济作物, 导致上述现象的原因主要受当地自然地理条件的影响, 以及社会经济发展水平和国际市场冲击。碳排放中, 秸秆焚烧 10 年间碳排放量一直趋于稳定, 占比 52%, 未有较大变动, 秸秆焚烧对碳排放的动态变化影响较小, 但由于

基数巨大,导致了严重的环境污染和资源浪费.文献[26]曾对秸秆循环利用的途径和方法进行过专题报道,指出秸秆焚烧是产生雾霾并破坏土壤结构的主因.化学物质投入与能源消耗的相对比例为 3.6:1,其中,氮肥 10 年平均占比 38%.碳排放量年平均增长率 1.14%,化学物质投入年平均增长率 1.4%,能源消耗增幅不明显.灌溉耗能和耕作耗能的 10 年波动幅度在 1%以内,钾肥在总排放量中占比最小.变幅最大的是农膜投入和农药投入,农膜投入碳排放量 10 年平均增长率为 10.9%,农药为-7.4%.政策引导、种植业结构调整、绿色观念倡导以及环保意识增强、大棚蔬菜等基地的建设使得农膜投入加大,农药使用缩减.总体而言,酉阳县的总碳排放量变化幅度小,维持在 7~8 万 t 之间.碳吸收强度和单位碳足迹产值效益由于农作物种植结构的调整不断增加.酉阳县种植业处于碳生态盈余状态,表明酉阳县种植业具有较强的固碳能力,与周陶等<sup>[27]</sup>的研究结果相似;碳吸收强度、排放强度的研究结果与段华平等<sup>[28]</sup>相似;单位碳足迹呈波动降低趋势,此结果与岳立等<sup>[11]</sup>的研究结果相似.

农田生态系统的碳吸收量远大于碳排放量,但随着各种碳源要素投入的加大,农业面源污染风险亦在不断增加.因此,优化作物种植结构,提高农业管理水平,科学施肥,增化农村劳动力生态环保观念,尤其是开展秸秆综合循环利用,可以控制面源污染增加的趋势,实现低碳农业可持续发展.

### 参考文献:

- [1] WIEDMANN T, MINX J. A Definition of “Carbon Footprint” [R]. Ecological Economics Research Trends, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA, Chapter 1: 1—11, 2008.
- [2] 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):40—47.
- [3] DUBEY A, LAL A. Carbon Footprint and Sustainability of Agricultural Production Systems in Punjab, India, and Ohio, USA [J]. Journal of Crop Improvement, 2009, 23(4): 332—350.
- [4] 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): 217—232.
- [5] SOVACOOOL B K, Brown M A. Twelve Meetroopolitan Carbon Footprints: A Preliminary Comparative Global Assessment [J]. EnergyPolicy, 2010, 38(9): 4846—4869.
- [6] HERTWICH E G, PETERS G P. Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-linked Analysis [J]. Environmental Science & Technology, 2009, 43(16): 6414—6420.
- [7] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等.1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算 [J]. 中国科学,2007,37(6):804—812.
- [8] 揣小伟,黄贤金,郑泽庆,等.江苏省土地利用变化对陆地生态系统碳储量的影响 [J]. 资源科学,2011,33(10):1932—1939.
- [9] 赵荣钦,黄贤金,钟大洋.中国不同产业空间的碳排放强度与碳足迹分析 [J]. 地理学报,2010,65(9):1048—1057.
- [10] 王占彪,王猛,陈阜.华北平原作物生产碳足迹分析 [J]. 中国农业科学,2015,48(1):83—92.
- [11] 岳立,赵婷.甘肃省农业碳足迹动态变化研究 [J]. 北方经济,2012,9:67—69.
- [12] 邵技新.岩溶山区区域农业碳足迹分析——以毕节地区为例 [J]. 水土保持研究,2012,19(5):210—213.
- [13] 吴金凤,王秀红.1995—2012 年宁夏盐池县种植业碳足迹变化特征 [J]. 资源科学,2015,37(8):1677—1684.
- [14] 韩召迎,孟亚利,徐娇,等.区域农田生态系统碳足迹时空差异分析——以江苏省为案例 [J]. 农业环境科学学报,2012,31(5):1034—1041.
- [15] 田云,李波,张俊彪.我国农地利用碳排放的阶段特征及因素分解研究 [J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2011,1(4):59—63.
- [16] 罗敬东.农机作业与人工作业效率质量比较研究 [J]. 时代农机,2016,43(1):4—6.
- [17] 牛海生,李大平,张娜,等.不同灌溉方式冬小麦农田生态系统碳平衡研究 [J]. 生态环境学报,2014,23(5):749—755.
- [18] LAL R. Carbon Emission from Farm Operations [J]. Environ International, 2004, 30: 981—990.
- [19] 逯飞,王效科,韩冰,等.中国农田施用化学氮肥的固碳潜力及其有效性评价 [J]. 应用生态学报,2008,19(10):2239—2250.
- [20] 周铁军,赵廷宁,孙宝平,等.宁夏盐池县土地利用与景观格局变化研究 [J]. 水土保持学报,2006,20(1):135—138.
- [21] 田云,张俊彪,李波.中国农业碳排放研究:测算、时空比较及脱钩效应 [J]. 地理科学进展,2012,31(11):

1546-1551.

- [22] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [23] 朱建春, 李荣华, 杨香云, 等. 近 30 年来中国农作物秸秆资源量的时空分布 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(4): 139-145.
- [24] 85-913-04-05 攻关课题组. 我国作物秸秆燃烧甲烷、氧化亚氮排放量变化趋势预测(1990-2020) [J]. 农业环境保护, 1995, 14(3): 111-116.
- [25] 刘丽华, 蒋静艳丽, 宗良纲. 农业残留物燃烧温室气体排放清单研究: 以江苏省为例 [J]. 环境科学, 2011, 32(5): 1242-1248.
- [26] 丁兆林. 秸秆“禁烧令”尴尬十六年 [J]. 环球人文地理, 2015, 12(236): 16-40.
- [27] 周 陶, 高 明, 谢德体, 等. 重庆市农田系统碳源/汇特征及碳足迹分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(1): 96-102.
- [28] 段华平, 张 悦, 张建波, 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.

## Analysis on Carbon Footprint of Cropland Ecosystem and Low-Carbon Development ——Case Study of Planting of Youyang County, Chongqing

TANG Lian<sup>1</sup>, XIE Shi-you<sup>1,2</sup>

1. School of Geography Sciences, Southwest University, Chongqing 400715;

2. Key Laboratory of The Three-Gorges Reservoir Region's Eco-Environment of the Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China

**Abstract:** The paper analyzes the distribution and mainly influential factors of small-scale Carbon footprint about Planting in Youyang County, Chongqing, to provide a theoretical support and scientific basis for the development of Low-Carbon agriculture. Based on the data of input and output of Planting, we analyzed the statement of carbon emission and absorption of crops by taking the model of Carbon footprint evaluation and selecting main factors for carbon emission and carbon absorption rates. The results of the study showed that: (1) the ability of Carbon absorption of Planting in Youyang is becoming more better than before, by increasing with a yearly average growth rate of 2.9%, and there is much surplus in the ecological capacity in Youyang cropland. (2) the main factor for promoting the ability of Carbon absorption and the benefits of per unit carbon footprint is to adjust planting structure, it showed that developing low-carbon agriculture meets the demands of Economy process. (3) Straw incineration and still increasing chemical material will aggravate agriculture nonpoint pollution.

**Key words:** carbon footprint; carbon emission; Planting; low-carbon; You Yang County

责任编辑 胡 杨

