

# 江苏省农田生态系统碳源/汇、碳足迹动态变化

许萍萍, 赵言文, 陈颢明, 段晓芳, 陈方园, 王程

(南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** [目的] 了解江苏省农田生态系统近年来碳源碳汇的基本演变趋势, 识别江苏省农业发展过程中的重要碳排放源, 指导江苏农业低碳化发展。[方法] 利用模型对农田碳排放量、碳吸收量及碳足迹进行测算, 并对其动态变化进行分析。[结果] ①江苏省农田生态系统碳排放总量总体趋向于增加, 2001 年江苏省碳排放量为  $4.44 \times 10^6$  t, 2016 年碳排放量为  $4.60 \times 10^6$  t, 增幅为 3.4%, 化肥为碳排放的主要贡献因子。碳排放强度总体表现为下降趋势, 各阶段碳排放强度均低于  $1 \text{ t/hm}^2$ 。②碳吸收量总体呈现增加趋势, 2001—2016 年农作物总碳吸收量增加了  $3.57 \times 10^7$  t, 年均复合增长率约为 2.2%, 单位面积碳吸收量呈整体增加趋势。园艺作物的碳吸收量明显高于粮食作物和经济作物。③农田生态系统碳足迹总体呈现降低趋势, 存在较大的生态盈余。[结论] ①2001—2016 年江苏省农田生态系统的碳吸收量明显高于碳排放量, 具有良好的固碳能力, 农田生态系统呈现碳汇; ②农业投入物品对碳排放的影响程度不同, 化肥是影响农业碳排放的最关键因子。

**关键词:** 农田生态系统; 碳源/汇; 碳足迹; 动态变化; 江苏省

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2018)05-0238-06

**中图分类号:** S19

**文献参数:** 许萍萍, 赵言文, 陈颢明, 等. 江苏省农田生态系统碳源/汇、碳足迹动态变化[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 238-243. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.05.038. Xu Pingping, Zhao Yanwen, Chen Haoming, et al. Dynamic change of carbon source sink and carbon footprint of farmland ecosystem in Jiangsu Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(5): 238-243.

## Dynamic Change of Carbon Source / Sink and Carbon Footprint of Farmland Ecosystem in Jiangsu Province

XU Pingping, ZHAO Yanwen, CHEN Haoming, DUAN Xiaofang, CHEN Fangyuan, WANG Cheng  
(College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

**Abstract:** [Objective] To understand the basic evolutionary trend of carbon sources / sinks of farmland ecosystem of Jiangsu Province in recent years and identify the important sources of carbon emission in the process of agricultural development, in order to guide the development of low carbon agriculture. [Methods] The carbon estimation model was used to estimate the quantities of carbon emission, carbon uptake and carbon footprint, respectively. And the dynamic changes of the carbon footprint were analyzed. [Results] ① The total carbon emissions of farmland ecosystem tended to increase. The carbon emissions in 2016 ( $4.60 \times 10^6$  t) were increased by 3.4% compared to 2001 ( $4.44 \times 10^6$  t), and fertilizer was the main contributor to carbon emission. The intensity of the carbon emission showed a decline trend, and it was lower than  $1 \text{ t/hm}^2$  at all stages. ② The carbon uptake showed an increasing trend. From 2001 to 2016, it increased by  $3.57 \times 10^7$  t, the annual compound growth rate was about 2.2%, and the carbon uptake per unit area showed an overall increase trend. The carbon uptake of horticultural crops was significantly higher than that of food crops and

收稿日期: 2018-04-11

修回日期: 2018-05-22

资助项目: 国家自然科学基金重点项目“农村发展中生态环境管理研究”(70833001)

第一作者: 许萍萍(1994—), 女(汉族), 山东省德州市人, 硕士研究生, 研究方向为生态农业、环境规划与环境影响评价。E-mail: 543980166@qq.com。

通讯作者: 赵言文(1965—), 男(汉族), 江苏省徐州市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持、环境生态学、环境影响评价研究。E-mail: ywzhao@njau.edu.cn。

cash crops. ③ The carbon footprint of farmland ecosystems showed a declining trend, and there was a large ecological surplus. [Conclusion] ① The quantities of carbon absorption of farmland ecosystem was significantly higher than carbon emission from 2001 to 2016, which showed that the farmland ecosystem had good carbon sequestration capacity and could be used as the carbon sink. ② The impact of agricultural inputs on carbon emission was different, and the fertilizer was the most critical factor affecting agricultural carbon emissions.

**Keywords:** farmland ecosystem; carbon source / sink; carbon footprint; dynamic changes; Jiangsu Province

工业革命以来,人类向大气中排放的温室气体不断增加,导致全球变暖等气候问题越来越显著<sup>[1]</sup>。在全球温室气体排放总量中,约有13.5%来自农业<sup>[2]</sup>,农业活动及其相关过程产生的温室气体中约有20%的CO<sub>2</sub>,70%的CH<sub>4</sub>,90%的N<sub>2</sub>O<sup>[3]</sup>。农田生态系统是人类进行农业生产活动的主要场所,也是陆地生态系统的重要组成部分。有研究表明陆地生态系统是最重要的碳排放的来源之一<sup>[4-6]</sup>,作为陆地生态系统的—个关键子系统,农田生态系统对陆地生态系统碳排放具有较大的贡献,是重要的大气碳源和碳汇。

在此背景下,很多学者<sup>[7-16]</sup>对农田生态系统的碳源、碳汇问题进行了研究。其中杨皓然等<sup>[10]</sup>利用估算模型对山东省潍坊市的农田生态系统碳源碳汇的变动和影响因素进行了分析;李甜甜等<sup>[11]</sup>对江苏省农田生态系统的碳源碳汇的分布特征和影响因素进行了研究,此外还有王梁等<sup>[9]</sup>、孟成民等<sup>[15]</sup>学者都对农田生态系统的统碳源碳汇问题进行了研究。

江苏省作为中国重要的农业大省,农业生产水平不断提高,在农业生产过程中碳排放问题一直制约农田生态系统的可持续发展,近年来江苏省出台了一系列有利于农业的低碳农业发展的政策,总体来看都产生了一定的生态效益。为探索识别江苏省农田生态系统低碳化发展现状,本研究从区域层面的角度出发,以江苏省农田生态系统的统计数据为基础,结合前人的研究,对农田生态系统的碳源/汇、碳足迹进行研究,分析了江苏省近16 a以来碳排放和碳吸收的变化趋势和主要影响因素。本研究将为江苏省发展低碳农业发展提供参考信息,也将为今后更好地了解农田生态系统碳循环的规律提供科学依据,对促进农田生态系统的良性发展具有重要意义。从长远来看,对江苏省农田生态系统的碳源和碳汇的研究能够为其他地区提供借鉴意义,也有利于中国节能减排工作的进展,还能为保护生态环境提供理论基础。

## 1 研究区概况

江苏省位于中国东部沿海,东经116°18′—121°57′,

北纬30°45′—35°20′,是中国综合发展水平最高的省份之一。江苏省属东亚季风气候区,处在亚热带和暖温带的气候过渡地带,全省土地面积 $1.07 \times 10^5$  km<sup>2</sup>,至2016年全省耕地面积达 $7.68 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,占全国农作物种植总面积4.61%,其中粮食作物、油料作物、蔬菜瓜果种植面积分别占农作物种植总面积的70.77%,5.71%,20.68%,粮食作物主要以种植小麦、稻谷为主,农林牧渔总产值达 $7.23 \times 10^{11}$ 元,其中种植业 $3.71 \times 10^{11}$ 元,占农林牧渔总产值的51.34%<sup>[17]</sup>。在近几年发展江苏省农业现代化水平不断提升,农业发展正在朝着新的方向前进。

## 2 数据来源和研究方法

### 2.1 数据来源

本研究中所利用的数据主要来源于《江苏省统计年鉴》《中国农村统计年鉴》中2001—2016年的数据,包括了化肥施用量、农药施用量、农膜和农用柴油用量、农作物机耕面积、各类农作物播种面积和经济产量等指标。

### 2.2 研究方法

2.2.1 碳源、碳汇和碳足迹的概念 碳源和碳汇问题简单地说就是碳的流量问题,也就是碳在大气、海洋和陆地生态系统(包括植物和土壤等)3个碳库之间进行的连续交换的问题,碳源是指向大气圈释放碳的通量、过程或系统;碳汇则理解为从大气圈中清除碳的通量、系统、过程或机制<sup>[18]</sup>。碳足迹这个概念来源于生态足迹,生态足迹的概念由Wackernagel<sup>[19]</sup>提出。目前对碳足迹主要有2种定义<sup>[20-21]</sup>:一是指某种活动引起的直接或间接的CO<sub>2</sub>排放量或温室气体转化的CO<sub>2</sub>等价物排放量,即碳排放量(t);二是指使用化石燃料排放的CO<sub>2</sub>所需的生产性土地面积,即碳排放的占地面积(hm<sup>2</sup>)。本研究将“农田碳足迹”定义为吸收农田生产投入引起的直接或间接的化石燃料燃烧排放的CO<sub>2</sub>所需的生产性土地面积(hm<sup>2</sup>)。

2.2.2 碳排放源的计算方法 本研究汇总了以往部分学者<sup>[22-23]</sup>对碳排放源的分类,把农田生态系统的碳排放源按农业资源投入和农业生产活动分类,主要包

括化肥、农药、农膜、农用柴油、土地翻耕和农业有效灌溉面积。

本文对江苏省农业系统的碳排放核算采用估算模型<sup>[10]</sup>,估算模型如下:

$$T = \sum T_i = \sum E_i \times \delta_i \quad (1)$$

式中: $T$ ——农业系统的总碳排放量(t);  $T_i$ ——第  $i$  类碳排放源的碳排放量(t);  $E_i$ ——第  $i$  类碳排放源的数量(t);  $\delta_i$ ——第  $i$  类碳排放源的碳排放系数。

农业碳排放源的碳排放系数主要来自 IPCC 等机构公布的数据<sup>[21]</sup>。这里将 6 类碳排放源的碳排放系数归纳如表 1 所示。

表 1 江苏省农业碳排放源系数

碳排放源	相应指标	排放系数	系数来源
化肥	化肥施用量	0.895 6	ORNL
农药	农药施用量	4.934 1	ORNL
农膜	农用薄膜使用量	5.180 0	IREEA
农业机械	农用柴油使用量	0.592 7	IPCC
土壤翻耕	机耕面积	312.600 0	IACAU
水稻种植	有效灌溉面积	4 225 0	IPCC

2.2.3 碳汇的计算方法 农田生态系统净碳汇是,农田中农作物全生育期过程中的碳吸收量与农业投入所产生的碳排放量的差值。净碳汇一般用  $N_i$  表示,当净碳汇  $N_i$  大于 0 时,表示农田生态系统呈现碳汇状态;反之,当净碳汇  $N_i$  小于 0 时,表示农田生态系统呈现碳源。其计算<sup>[9]</sup>公式如下,公式中计算系数见表 2。

$$C_i = \sum C_d = \sum C_f D_w = \sum C_f Y_w (1 - W_i) / H_i \quad (2)$$

式中: $i$ ——第  $i$  种农作物;  $C_i$ ——农田系统的总碳吸收量(t);  $C_d$ ——第  $i$  类作物全生育期的碳吸收量(t);  $C_f$ ——第  $i$  类作物合成单位质量干物质需要吸收的碳(t);  $D_w$ ——生物产量;  $Y$ ——第  $i$  类农作物的经济产量;  $W_i$ ——作物的含水率;  $H_i$ ——第  $i$  类农作物的经济系数。

净碳汇( $N_i$ )是农田中农作物全生育期过程中的碳吸收量与农业投入所产生的碳排放量的差值。 $N_i > 0$  时,表示农田生态系统呈现碳汇状态; $N_i < 0$  时,表示农田生态系统呈现碳源状态。其计算公式如下:

$$N_i = C_i - E_i \quad (3)$$

式中: $N_i$ ——农田生态系统的净碳汇(t);  $C_i$ ——碳吸收量(t);  $E_i$ ——碳排放量(t)。

2.2.4 碳足迹的计算方法 本研究碳足迹估算依据段华平<sup>[8]</sup>等人的计算方法,计算公式为:

$$C_{EF} = E_i / N_{EP} \quad N_{EP} = C_i / S \quad (4)$$

式中: $C_{EF}$ ——农田生态系统碳足迹;  $E_i$ ——农田投

入碳排放总量(t);  $N_{EP}$ ——农田生态系统单位面积的碳吸收能力[t/(hm<sup>2</sup> · a)];  $C_i$ ——碳吸收量(hm<sup>2</sup>);  $S$ ——作物种植总面积(hm<sup>2</sup>)。

表 2 中国主要农作物的经济系数、含水率和碳吸收率

作物类型	主要农作物	经济系数	碳吸收率	含水率
粮食作物	水稻	0.414 4	0.45	0.12
	小麦	0.485 3	0.40	0.12
	玉米	0.470 9	0.40	0.13
	薯类	0.422 6	0.65	0.70
	大豆	0.450 0	0.35	0.13
	谷子	0.450 0	0.50	0.14
	高粱	0.450 0	0.35	0.14
	其他粮食作物	0.446 3	0.35	0.12
园艺作物	蔬菜	0.450 0	0.65	0.90
	水果	0.090 0	0.70	0.90
经济作物	棉花	0.450 0	0.10	0.08
	花生	0.450 0	0.43	0.10
	油菜籽	0.450 0	0.25	0.10
	甘蔗	0.450 0	0.50	0.50
	烟草	0.450 0	0.55	0.16
	芝麻	0.450 0	0.145	0.12

## 3 结果与分析

### 3.1 江苏省农田生态系统碳排放动态分析

由表 3 可以看出,江苏农田生态系统碳排放总量总体趋向于增加,2001 年江苏省碳排放量  $4.44 \times 10^6$  t,2016 年碳排放量  $4.60 \times 10^6$  t,增幅为 3.4%。根据近 16 a 据碳排放总量的变化趋势,将碳排放总量按照量的多少分为 3 个阶段进行讨论分析,第一阶段为 2001—2003 年,此阶段碳排放呈现减少趋势,主要是由化肥、农药施用量减少造成的;第 2 阶段为 2004—2010 年,碳排量随农膜、农药和柴油的使用量的增加总体呈现快速增加趋势;第 3 阶段为 2011—2016 年,此阶段碳排放量总体呈现下降趋势,主要是因为这一阶段江苏省推广使用有机肥等农业政策使化肥施用量降低导致的。

碳排放强度总体表现为下降趋势,各阶段碳排放强度均低于 1 t/hm<sup>2</sup>,在段华平的研究中,中国农田生态系统的碳排放强度在 2001—2009 年为 0.54~0.71 t/hm<sup>2</sup>,与之对比,发现江苏省农田生态系统的碳排放水平处于全国碳排放水平之内。本研究将江苏省农田碳排放强度分为 2 个阶段分析:第 1 阶段,2001—2006 年,碳排放强度随着农业投入的增加而增大;第 2 阶段,2007—2016 年,碳排放强度随播种面积的增加而减小。但总体来说江苏省农田生态系统碳排放水平较低。

表 3 江苏省农田生态系统碳排放量和碳排放强度

年份	碳排放量/10 <sup>4</sup> t						总计	碳排放强度/ (t · hm <sup>-2</sup> )
	化肥	农膜	柴油	农药	机耕	有效灌溉		
2001	302.71	34.24	20.29	44.52	1.28	16.48	444.43	0.571
2002	302.29	35.64	21.12	44.92	1.26	16.42	443.16	0.568
2003	299.73	36.10	21.40	45.25	1.22	16.23	441.90	0.575
2004	301.64	36.47	21.61	45.94	1.20	16.22	447.01	0.583
2005	305.23	37.30	22.11	46.68	1.23	16.13	457.53	0.599
2006	306.30	38.90	23.06	48.16	1.22	16.21	459.45	0.622
2007	306.32	41.65	24.68	47.79	1.21	16.17	460.90	0.622
2008	305.18	44.24	26.22	49.72	1.66	16.13	463.21	0.617
2009	308.09	48.85	28.95	54.45	1.72	16.11	474.75	0.628
2010	305.50	51.90	30.76	57.78	1.73	16.14	477.50	0.627
2011	302.01	55.12	32.67	59.25	1.76	16.13	476.94	0.622
2012	296.39	58.33	34.57	61.03	1.83	15.65	474.52	0.618
2013	292.70	60.50	35.86	63.30	1.86	16.00	474.42	0.617
2014	289.83	62.06	36.78	63.69	1.91	16.44	473.14	0.616
2015	286.58	58.64	34.75	64.36	1.90	16.70	466.71	0.603
2016	279.89	59.00	34.97	64.43	1.86	17.13	459.91	0.599

图 1 显示,在所有的农业碳排放源中,化肥碳排放量对总碳排放量的贡献最大,贡献率约为 64.77%,其余依次为柴油、农膜、农药、灌溉和机耕,碳排放贡献率分别为 11.65%,10.26%,9.46%,3.52% 和 0.34%。在 2001—2016 年化肥和农药产生的碳排放量总体呈现降低的趋势,这主要是与江苏省近几年推广使用有机肥和生物、物理防治病虫害有关;农膜、农用柴油、机耕和灌溉产生的碳排放量整体有增加趋势,但增幅不大,较为平稳,这与江苏省农业现代化水平不断提高有关。

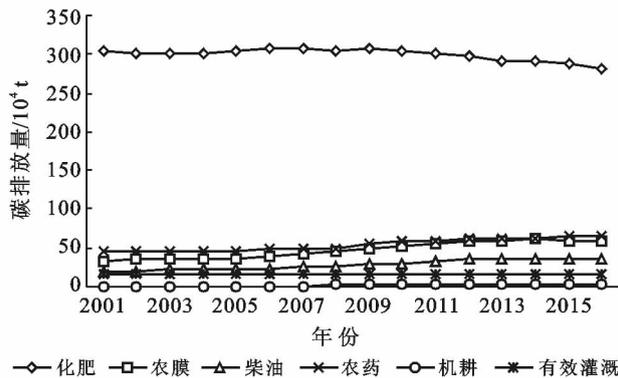


图 1 2001—2016 年江苏省农田生态系统各类碳排放源碳排放情况

### 3.2 江苏省农田生态系统碳吸收动态变化分析

由表 4 可知,江苏省农田生态系统碳吸收量总体呈现增加趋势,2001—2016 年农作物总碳吸收量增加了  $3.57 \times 10^7$  t,年均复合增长率约为 2.2%。本研究将碳吸收总量的变化分为 2 个阶段进行讨论分析:

第一阶段为 2001—2008 年,碳吸收总量波动变化,除 2003,2007 年外其余年份碳吸收总量均为增长趋势,这一阶段各年份碳吸收总量小于  $1.00 \times 10^8$  t。2003 年碳吸收量减少主要是因为播种面积和粮食、园艺作物产量降低导致作物全生育期碳吸收量减少导致的,2007 年则主要与播种面积和园艺作物产量减少相关;第二阶段为 2009—2016 年,这一阶段碳吸收量呈现逐年增加趋势,各年份碳吸收总量均大于  $10^8$  t,这主要与江苏省种植结构改变和农业生产技术变化有关。

表 4 2001—2016 年江苏省主要农作物碳吸收量及碳吸收强度

年份	粮食作物	经济作物	园艺作物	总计/ 10 <sup>4</sup> t	单位面积
					碳吸收量/ (t · hm <sup>-2</sup> )
2001	3 311.04	588.93	5 397.30	9 297.27	11.77
2002	3 263.29	519.67	5 991.35	9 774.31	12.34
2003	2 812.45	479.83	5 638.06	8 930.34	11.43
2004	2 958.19	628.01	5 571.94	9 158.14	11.92
2005	3 461.10	510.93	5 458.98	9 431.01	12.15
2006	3 709.02	531.17	5 539.72	9 779.91	13.02
2007	3 798.20	396.74	5 030.61	9 225.55	12.26
2008	3 889.13	397.01	5 374.64	9 660.78	12.67
2009	3 937.78	387.06	5 818.40	10 143.24	13.22
2010	3 923.27	410.83	6 895.37	11 229.47	13.90
2011	3 980.47	349.89	6 943.13	11 273.49	14.51
2012	4 037.44	344.08	7 543.08	11 924.60	15.38
2013	4 083.85	345.59	7 926.05	12 355.49	15.88
2014	4 184.92	317.33	8 203.07	12 705.32	16.33
2015	4 261.00	291.11	8 472.55	13 024.66	16.60
2016	4 144.16	250.06	8 467.59	12 861.81	16.53

农田生态系统近 16 a 单位面积碳吸收量呈整体增加趋势。在第一阶段,2001—2008 年单位面积碳吸收量呈现波动变化,变化范围为 11~14 t/hm<sup>2</sup>,第一阶段单位面积碳吸收能力相对较低,主要是因为粮食作物和园艺作物产量较低使作物生育期吸收的碳较少。第二阶段,2009—2016 年单位面积碳吸收量总体为增加趋势,并在 13~17 t/hm<sup>2</sup> 之间波动,表明随着农作物单位面积产量的提高,农田生态系统的碳吸收强度也在稳步提高。

图 2 显示,可以看出在 3 类农作物中,园艺作物的碳吸收量明显高于粮食作物和经济作物,且园艺作物碳吸收量的年变化幅度相对较大,但总体呈现显著增加的趋势。2001—2016 年,园艺作物的碳吸收量由  $5.40 \times 10^8$  t 增长到了  $8.50 \times 10^8$  t,增加量分别为  $3.03 \times 10^7$  t,年均复合增长率 0.3%;粮食作物的碳吸收量 2001 年为  $3.30 \times 10^8$  t,到 2016 年碳吸收量为  $4.10 \times 10^8$  t,增加量分别为  $8.33 \times 10^6$  t,年均复合增长率 0.3%,粮食作物和园艺作物的碳吸收量都有一定程度的增长,增加量分别为  $8.33 \times 10^6$  和  $3.030 \times 10^7$  t,年均复合增长率分别为 0.2% 和 0.3%,经济作物的碳吸收量则呈现下降趋势,减少了  $3.39 \times 10^6$  t,年均复合增长率约为 -0.56%。

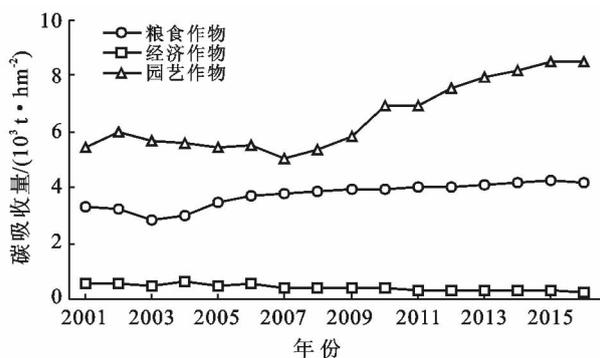


图 2 2001—2016 年江苏省农田生态系统不同作物碳吸收量变化趋势

### 3.3 江苏省农田生态系统碳足迹动态分析

如图 3 所示,2001—2016 年江苏省农田生态系统碳足迹总体呈现不断下降趋势。2001 年生态碳足迹为  $3.90 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,2016 年生态碳足迹为  $3.32 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>,碳足迹减少  $5.81 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,降幅为 17.53%,农田生态系统生态碳足迹约占同期播种面积的 4%~6%。

农田生态系统的碳足迹均小于同期耕地面积,表明江苏省的农田生态系统呈现碳生态盈余状态,因此可用来补充部分工业和生活的碳生态赤字。单位面积碳足迹为逐年下降趋势,且均小于 0.06 hm<sup>2</sup>/hm<sup>2</sup>,

低于段华平<sup>[8]</sup>计算的全国范围的单位面积碳足迹,表明江苏省农田低碳化水平较好。

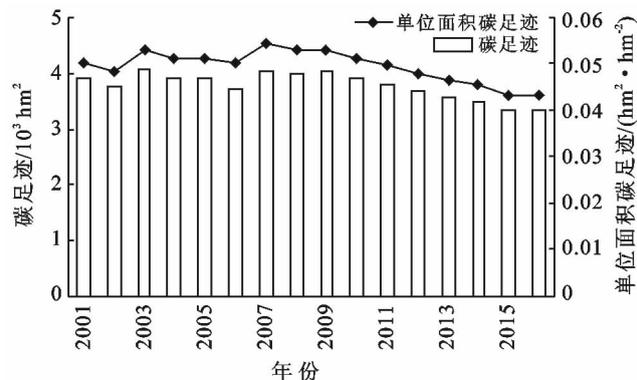


图 3 2001—2016 年江苏省农田生态系统碳足迹及碳足迹强度变化

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

化肥是农田生态系统碳排放的主要贡献因子,施用化肥产生的碳排放量占到总碳排放量的 64.77%,虽然 2001—2016 年化肥施用量呈现一定的下降趋势,但与其它排放源相比化肥仍是最大的碳排放源,化肥在生产和使用过程中会产生 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O,一般来讲,每产 1 t 的氮肥大约需要耗费  $9.20 \times 10^4$  kJ 的热量,相当于 3 t 标煤大概要产 6 tCO<sub>2</sub>;随着江苏省农业现代化的不断发展,农业机械化水平不断提高,拥有的农业机械数量不断增加,导致农业柴油使用量增加,柴油在使用燃烧过程中会产生二氧化碳等温室气体;农膜和农药在生产过程中会消耗化石能源,排放二氧化碳等温室气体,进入到环境中,也会对环境造成影响;灌溉对农田碳排放的影响主要表现在 3 个方面:土壤水分、灌溉量、灌溉频率与灌溉方式,在一定的土壤水分范围内,农田 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 等气体的通量与土壤水分具有相关性,灌溉量与灌溉频率对土壤呼吸产生影响,进而会增加土壤的碳排放强度;耕作过程中会改变土壤的孔隙连续状况、机械强度、气热通量等特性,对土壤碳循环产生影响,免耕处理 CO<sub>2</sub> 排放量明显低于翻耕处理,因为翻耕加速了土壤有机质的分解速度,导致农田 CO<sub>2</sub> 排放量显著增加,同时翻耕次数越多对土壤的扰动会越大,土壤通透性越好,对土壤呼吸的影响就越大,对 CO<sub>2</sub> 产生通量的影响就越显著。

农田生态系统的作物产量对碳吸收量影响显著,因为在农作物生长过程中,能够通过光合作用将二氧化碳固定在其体内,农作物的固碳量随着作物产量的

增加而增加;作物的种类会造成光合速率的差异,从而影响到作物的碳吸收速率。 $C_4$ 植物与 $C_3$ 植物相比, $CO_2$ 补偿点低得多,在较低浓度达到较高的光合同化能力,光照较强的环境中,产量较高,可充分利用光能,且 $C_4$ 植物比 $C_3$ 植物更能适应高温、光照强烈和干旱的环境。

#### 4.2 结论

本研究通过对农田系统碳源、碳汇和碳足迹的测算,对比分析江苏省农田生态系统碳排放、碳吸收、碳汇和碳足迹后得出以下结论:江苏省农田系统碳吸收量明显高于碳排放量,具备较强的碳汇能力;碳吸收量及碳汇量在时间序列上呈现出增加的趋势,园艺作物对碳吸收量的贡献最大,其余依次为粮食作物和经济作物;碳排放量及碳排放强度逐年增长,增势稳定,增幅较小,在主要的农业碳排放源中以化肥对碳排放的贡献最大;碳足迹及单位面积碳足迹强度呈现降低趋势,碳足迹小于同期耕地面积,表现出较大的碳生态盈余,可为本地区工业发展和社会生活碳生态赤字提供绿色补偿,对于保护环境、促进生态建设具有重要意义。同时,本研究对影响农田生态系统碳排放和碳吸收的主要因素进行了简单的分析,有利于指导我们为发展低碳农业提供途径。

#### [参 考 文 献]

- [1] Iii F S C, Matson P A, Mooney H A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology[M]. New York: Springer, 2011.
- [2] 徐威威,马晓旭.江苏省低碳农业发展的SWOT分析[J].经济研究导刊,2011(12):188-190.
- [3] Bouwman A F. Soils and the Greenhouse Effect[M]. Chichester, England: John Wiley & Sons,1990.
- [4] 方精云,朴世龙,赵淑清.  $CO_2$  失汇与北半球中高纬度陆地生态系统的碳汇[J].植物生态学报,2001,25(5):594-602.
- [5] 王效科,白艳莹,欧阳志云,等.全球碳循环中的失汇及其形成的原因[J].生态学报,2002,22(1):94-103.
- [6] Foody G M, Palubinskas G, Lucas R M, et al. Identifying terrestrial carbon sinks: Classification of successional stages in regenerating tropical forest from landsat TM data[J]. Remote Sens. Environ, 1996,55:205-216.
- [7] 张京京.河北省农田生态系统碳循环时空变化及其效益研究[D].石家庄:河北科技大学,2012.
- [8] 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.
- [9] 王梁,赵杰,陈守越.山东省农田生态系统碳源、碳汇及其碳足迹变化分析[J].中国农业大学学报,2016,21(7):133-141.
- [10] 杨皓然,宋戈,杨光,等.潍坊市农田生态系统碳源(碳汇)及其碳足迹变化[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2015,41(1):82-88.
- [11] 李甜甜.江苏省农田碳源、碳汇分布特征及影响因素分析[D].南昌:江西财经大学,2017.
- [12] 张鹏岩,何坚坚,庞博,等.农田生态系统碳足迹时空变化:以河南省为例[J].应用生态学报,2017,28(9):3050-3060.
- [13] 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.
- [14] 张婷,蔡海生,张学玲.基于碳足迹的江西省农田生态系统碳源/汇时空差异[J].长江流域资源与环境,2014,23(6):767-773.
- [15] 孟成民,王建武.广东省农田生态系统碳足迹时空差异分析[J].广东农业科学,2014,41(9):174-178.
- [16] 韩召迎,孟亚利,刘丽平,等.基于区域土地利用变化的能源碳足迹改进算法及应用[J].农业工程学报,2012,28(9):190-195.
- [17] 江苏省统计局.江苏省国民经济和社会发展公报[R].2017.
- [18] 耿元波,董云社,孟维奇.陆地碳循环研究进展[J].地理科学进展,2000,19(4):297-306.
- [19] Wackernagel M. Ecological economics forum: Why sustainability analyses must include biophysical assessments[J]. Ecological Economics, 1999,29(1):13-15.
- [20] Wiedmann T, Minx J. A definition of 'carbon footprint'[R]. ISA UK Research & Consulting, 2007.
- [21] BSI. Guide to PAS 2050: How to assess the carbon footprint of goods and services[M]. London: British Standards,2008.
- [22] 黄景裕.鄱阳湖生态经济区农业碳收支与碳效率的时空分异[D].南昌:江西师范大学,2015.
- [23] 王亚.吉林省农业碳排放的效率评价研究[D].辽宁:吉林大学,2015.