

## 潍坊市农田生态系统碳源(碳汇)及其碳足迹变化

杨皓然<sup>1</sup>, 宋戈<sup>1,2\*</sup>, 杨光<sup>1</sup>, 张雪<sup>1</sup>, 周春风<sup>1</sup>

(1. 东北农业大学资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 东北大学土地管理研究所, 辽宁 沈阳 110819)

**摘要:**以山东省潍坊市为研究区,以种植面积、农作物产量及农业投入等相关数据为基础,定量测算2003—2012年潍坊市农田生态系统的碳源(碳汇),分析期间碳足迹的变化。结果表明:1) 2003—2012年,潍坊市农田生态系统碳吸收总量小于碳排放总量,二者的比例为1:7.4,碳排放强度增长率从0.055%减少到0.048%,碳吸收强度增长率从1.18%增加到1.98%。10年间农田生态系统碳吸收量和碳排放量分别增长了10.69%和7.02%,碳吸收增长率高于碳排放增长率,农田系统具有较强的碳汇功能。2) 蔬菜是主要的碳汇,占比为73.31%,6种碳排放途径中,农田灌溉是主要的碳源,占比为87.32%。3) 农田生态系统碳足迹从2003年的38.990万hm<sup>2</sup>减少到2012年38.769万hm<sup>2</sup>,碳足迹平均占生态生产性土地面积的1.456%,比例较低。10年间碳足迹强度均值为0.14hm<sup>2</sup>/万元,2003—2012年潍坊市农田生态系统每增加1万元的产值可以制造0.14hm<sup>2</sup>的碳足迹。

**关键词:** 农田生态系统; 碳源; 碳汇; 碳足迹; 潍坊市

中图分类号: S181

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2015)01-0082-07

## Variation of carbon source (sink) and carbon footprint at farmland ecosystem in Weifang

Yang Haoran<sup>1</sup>, Song Ge<sup>1,2\*</sup>, Yang Guang<sup>1</sup>, Zhang Xue<sup>1</sup>, Zhou Chunfeng<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Institute of Land Management, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

**Abstract:** By taken Weifang city as a research area, the variation of carbon source/sink and carbon footprint from 2003 to 2012 at parts of farmland ecosystem in Weifang were quantitatively measured on the basis of terrestrial data including planting area, crop yield and agricultural input. The results showed that 1) Total carbon absorption in the farmland ecosystem was worse than that of emission during the year from 2003 to 2012, with a ratio of 1:7.4, and the growth rate of carbon emission intensity reduced from 0.055% to 0.048%, the growth rate of carbon absorption strength, while, increased from 1.18% to 1.98%, which indicated that the farmland system had stronger function of carbon sinks; carbon absorption and carbon emission in the farmland ecosystem increased by 10.69% and 7.02% respectively during the 10 years, and the absorption rate was higher than that of emission; 2) Vegetable, as the main carbon sink, was accounted for more than 73.31% in the total sinks, while, irrigation, as the main carbon source amongst the six kinds of carbon emission approaches, was accounted for 87.32%; 3) Carbon footprint in the farmland ecosystem reduced from 389 900 hectare in 2003 to 387 690 hectare in 2012, with a lower proportion of 1.456% amongst the ecological productive land areas. The average value of ICF was 0.14 hectare per 10 000 RMB, which meant that 0.14 hectare carbon footprint could be produced on the basis of 10 000 RMB output value in the farmland ecosystem.

**Keywords:** farmland ecosystem; carbon source; carbon sink; carbon footprint; Weifang

近年来,气候变暖已成为全球各环境组织共同关注的热点问题<sup>[1]</sup>。控制 CO<sub>2</sub> 等温室气体排放已成为国际领域的科学议题。削减碳排放的区域来源,增加区域碳汇是减少温室气体的重要手段<sup>[2]</sup>。对陆地生态系统碳汇策略的研究已成为碳循环研究领域的一个热点<sup>[3]</sup>。农田生态系统是陆地生态系统的重要组成部分,也是主要的大气碳源(碳汇)<sup>[4]</sup>,因此,定量分析地区生态系统碳源(碳汇)差异变化是碳循环的重要研究课题,也是研究区域碳循环机理的首要前提。碳源(碳汇)方面的研究主要是对全球不同区域不同历史时期陆地碳收支状况进行综合分析<sup>[5-7]</sup>。国内的相关研究主要是针对城市和工业,对陆地生态系统的碳源(碳汇)问题的研究较少<sup>[8-9]</sup>,对农田系统碳循环的研究主要是针对土壤碳<sup>[10]</sup>、稻田甲烷<sup>[11-12]</sup>等方面,缺乏对土壤、农田以及湿地等生态系统的估算和评价。主要研究方法为遥感、GIS 技术手段以及大气反演模型和生态系统碳循环模型<sup>[13]</sup>、农作物产量的统计数据以及农作物相关参数法<sup>[14]</sup>、土壤固碳速率法<sup>[15]</sup>、土壤碳汇系数法<sup>[16]</sup>、Crop-C 模型和 Soil-C 模型结合法模拟土壤动态变化<sup>[17]</sup>等。关于碳足迹的研究,国外主要是关于碳足迹的计算评价、减少碳足迹的方法与对策<sup>[18]</sup>以及对碳足迹的数学模型<sup>[19]</sup>进行比较分析等;国内主要是关于碳足迹的影响力和感应力<sup>[20]</sup>、碳足迹的影响因素<sup>[21]</sup>、人均碳足迹和碳足迹产值<sup>[22]</sup>及碳足迹核算<sup>[23]</sup>等,国内碳足迹研究仍处于起步阶段。国内关于农田生态系统碳源(碳汇)变化的研究相对较少,从农田生态系统碳排放途径角度研究碳源(碳汇)变化的研究很少,且研究的时间序列相对较短;研究范围多为全球、全国及省级大城市,具体到地级市农田生态系统碳源(碳汇)的研究相对较少。笔者以中国重要的蔬菜生产基地山东潍坊市为研究区,对农作物碳吸收状况、农业生产过程中碳排放状况及其碳足迹进行估算分析,以期在小区域尺度上充分了解农田生态系统碳源(碳汇)状况,为潍坊市农田生态系统增汇减源和降低碳足迹提供参考。

## 1 研究区概况

潍坊市地处北纬 35°41'~37°26',东经 108°10'~120°01',位居山东半岛中部,属暖温带季风大陆性气候,四季分明,光照充沛,物产资源丰富。潍坊市土地总面积 161.43 万 hm<sup>2</sup>,耕地面积 78.39 万 hm<sup>2</sup>,耕地占潍坊市土地总面积的 48.56%;全市总人口 921.61 万人,农业人口 160.22 万人,占总人口的 17.38%。潍坊市耕地面积广阔,水资源丰富,具备大力发展农业的天然优势。全市主要种植蔬菜、玉米、小麦、花生等,农业产值 4 077 742 万元,位居全省首位,拥有全国著名的 2 个蔬菜基地,为中国北方大型蔬菜生产地之一。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

研究数据主要来源于《山东省农业统计年报》(2003—2012 年)、《山东省统计年鉴》(2003—2012 年)、潍坊市国民经济和社会统计公报(2012 年)和潍坊市统计部门的相关报表。

### 2.2 农田生态系统碳吸收估算方法

农田生态系统主要以农作物全生育期对碳的吸收作为主要的碳汇类型。根据农作物的产量值、碳吸收率和经济系数对碳吸收量进行计算<sup>[24]</sup>。

$$C_t = \sum_i C_d = \sum_i C_f D_w = \sum_i C_f Y_w / H_i。$$

公式中: $i$  为农作物的种类; $C_t$  为农田生态系统所有农作物全生育期碳吸收量; $C_d$  为  $i$  类农作物全生育期对碳的吸收量; $C_f$  为第  $i$  类农作物光合作用合成单位质量干物质所要吸收的碳; $D_w$  为生物产量; $Y_w$  为第  $i$  类农作物的经济产量; $H_i$  为第  $i$  类农作物的经济系数。借鉴学者研究<sup>[24]</sup>,中国主要的农作物经济系数  $H_i$  和碳吸收率  $C_f$  的经验数据见表 1。

表 1 中国主要农作物的经济系数和碳吸收率

Table 1 Economic coefficient and carbon absorption of major crops in China

农作物	经济系数	碳吸收率	农作物	经济系数	碳吸收率
玉米	0.400	0.471	其他粮食作物	0.400	0.450
高粱	0.350	0.450	甜菜	0.700	0.407
水稻	0.450	0.414	烟草	0.550	0.450
小麦	0.400	0.485	棉花	0.100	0.450
谷子	0.400	0.450	蔬菜	0.300	0.450
薯类	0.700	0.423	油菜	0.250	0.450
大豆	0.350	0.450	花生	0.430	0.450

### 2.3 农田生态系统碳排放估算方法

农田经营过程中的碳源类型主要为农田的经营生产投入而导致的碳排放,其中包括农业灌溉、农业机械使用、农药的生产与使用、化肥的生产与使用、农膜的生产与使用、农业柴油的生产与使用和由翻耕导致农田碳库动态变化的碳排放。本研究仅对前6种主要的碳排放途径进行碳排放估算,其估算公式为  $E_t = E_f + E_m + E_s + E_i + E_e + E_p$ , 其中,  $E_f = G_f \times a$ ;  $E_m = (A_m \times b) + (W_m \times c)$ ;  $E_s = G_s \times d$ ;  $E_i = G_i \times e$ ;  $E_e = G_e \times f$ ;  $E_p = G_p \times g$ 。式中,  $E_t$ 、 $E_f$ 、 $E_m$ 、 $E_s$ 、 $E_i$ 、 $E_e$ 、 $E_p$  分别为农田生态系统碳排放量、化肥生产和使用过程中产生的碳排放量、农膜生产和使用过程中的碳排放量、农业机械使用柴油产生的碳排放量、农业灌溉产生的碳排放量、农业机械运输用电产生的碳排放量、农药生产和使用过程中产生的碳排放量。 $G_f$  表示化肥使用量;  $A_m$  表示农作物种植面积;  $W_m$  表示农业机械总动力;  $G_s$  表示农用柴油使用量;  $G_i$  表示农业灌溉面积;  $G_e$  表示农膜使用面积;  $G_p$  表示农药使用量。 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$ 、 $g$  为转换系数,数值分别为 0.895 6 kg/kg、16.47 kg/hm<sup>2</sup>、0.18 kg/kW、0.592 7 kg/kg、266.48 kg/hm<sup>2</sup>、5.18 kg/kg、4.934 1 kg/kg<sup>[25-26]</sup>。

### 2.4 农田生态碳足迹与碳足迹强度的计算

碳足迹概念的提出建立在生态足迹的概念基础之上,表示全生命周期内某种产品或服务系统的碳排放总量,或者是在某一特定活动的过程中,活动主体直接和间接碳排放量的测度,与 CO<sub>2</sub> 等价表示。

$CF = E_t \times \frac{1}{NEPa}$ 。  $NEPa = C_i / S = \sum C_d / S$ 。式中:

$CF$  表示碳足迹;  $E_t$  表示农田生态系统的碳排放量;  $NEPa$  表示主要农作物的固碳能力,表征 1 年内 1 hm<sup>2</sup> 植被的碳吸收量;  $S$  表示耕地面积。基于碳足迹总量的核算,碳足迹与耕地面积的比值可以表征农田生态系统单位面积碳足迹。本研究主要是对农田生态系统的碳足迹进行分析,结合农田的生产实际,将公式调整为  $ICF = CF/P$ 。公式中,  $ICF$  为碳足迹强度;  $CF$  为碳足迹;  $P$  为农田种植业总产值。

## 3 结果与分析

### 3.1 潍坊市农田生态系统的碳吸收量变化

#### 3.1.1 碳吸收总量的时间变化

由图 1 可见,农田生态系统碳吸收总量总体呈上升趋势,碳吸收总量从 2003 年的 2 125.10 万 t 增加到 2012 年的 2 352.19 万 t,净增量为 227.1 万 t,年均增加 22.71 万 t。农作物碳吸收总量的变化分为 2 个阶段:第一阶段是 2003—2005 年,为碳吸收总量减少期,由 2003 年的 2 125.1 万 t 减少到 2005 年的 2 093.2 万 t,同比增长速率从 1.18% 变为 -2.65%,表明潍坊市快速城市化发展导致农作物种植面积减少,总产量减少,从而碳吸收量减少;第二阶段是 2006—2012 年,为碳吸收总量快速增长期,碳吸收总量从 2006 年的 1 996.5 万 t 增加到 2012 年的 2 352.2 万 t,年均增长呈直线上升,且在 2011 年达到峰值,随着政府迁屯并点等措施的大面积实施,土地集约利用程度大大提高,同时,农作物的种植面积不断增多,农作物碳吸收水平也逐渐提高,农田生态系统的碳汇功能显著。

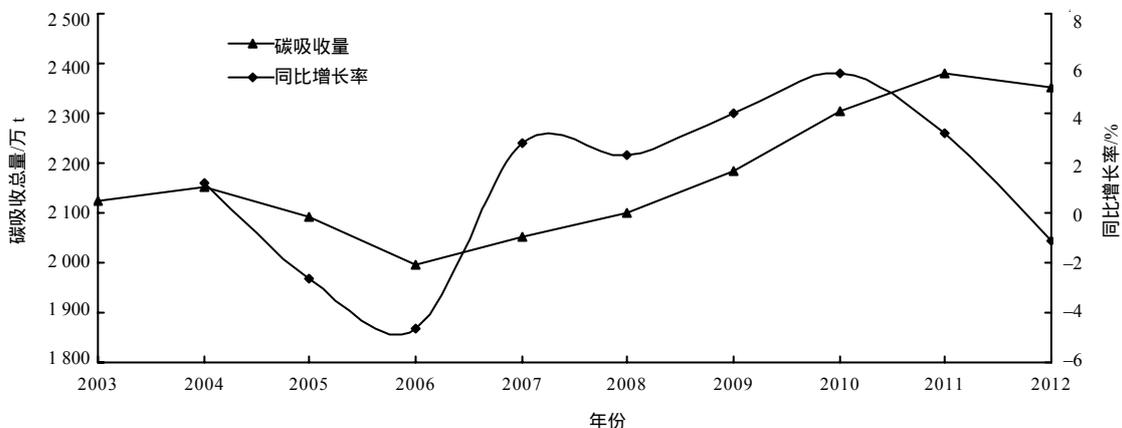


图 1 2003—2012 年潍坊市农田生态系统碳吸收总量及同比增长率

Fig.1 Total carbon absorption and year-on-year growth rate from 2003 to 2012 at farmland ecosystem in Weifang

### 3.1.2 不同农作物碳吸收总量的变化

由表 2 可知,蔬菜、玉米和小麦对农田生态系统碳吸收的贡献较大,占碳吸收总量的比分别为 73.31%、12.31%和 11.68%。作为全国重要的蔬菜生产基地,潍坊市 10 年间蔬菜单位面积产量逐年增加,碳吸收量呈下降趋势,从 2003 年的 1740.03 万 t 减少到 2012 年的 1 695.00 万 t,增幅为 - 45.03 万 t。其主要原因是粮食作物的经济效益较低,越来越多的农户将种植对象由经济效益低的粮食作

物转为经济效益较高的蔬菜等经济作物;其次,蔬菜的经济系数较小,蔬菜的总量较大,碳吸收量也偏大。玉米和小麦的碳吸收量分别从 2003 年的 170.52 万 t、147.60 万 t 增加到 2012 年的 313.92 万 t、285.29 万 t,增幅较小;主要经济作物花生和棉花的种植面积相对较少,10 年间总吸收量分别为 273.20 万 t 和 225.69 万 t,其余 6 种主要农作物的碳吸收量相对较低,总的碳吸收量仅占农作物碳吸收总量的 2.66%。

表 2 2003—2012 年潍坊市农田系统不同农作物的碳吸收总量

Table 2 Carbon absorption of crops from the year 2003 to 2012 at farmland system in Weifang

农作物	碳吸收总量/万 t									
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
小麦	147.60	158.98	238.80	263.77	281.39	281.39	291.72	293.49	297.60	285.29
玉米	170.52	206.66	241.92	234.65	264.52	287.57	314.10	314.31	327.02	313.92
高粱	0.92	0.84	0.59	0.46	0.49	0.43	0.33	0.27	0.22	0.07
谷子	1.52	1.51	1.21	0.98	0.96	1.13	1.14	1.10	1.05	0.87
薯类	6.04	5.84	4.98	4.22	4.18	4.84	4.96	4.43	4.24	3.70
大豆	9.07	8.80	7.42	6.06	5.30	5.30	4.17	3.82	3.16	2.49
棉花	20.80	23.22	21.93	20.75	23.24	23.22	24.65	23.02	22.72	22.17
油菜	0.18	0.27	0.17	0.13	0.11	0.09	0.11	0.09	0.07	0.60
花生	25.70	26.48	25.25	24.88	31.42	31.31	28.20	28.19	26.19	25.49
烟草	2.72	2.01	1.67	2.13	2.60	2.37	3.47	1.46	2.42	3.12
蔬菜	1 740.03	1 715.58	1 549.27	1 438.49	1 437.66	1 461.99	1 510.35	1 634.76	1 694.36	1 695.00
总量	2 125.10	2 150.18	2 093.21	1 996.52	2 051.86	2 099.63	2 183.20	2 305.05	2 379.04	2 352.19

近年来,耕地面积不断减少,单位耕地面积的碳吸收强度总体呈上升趋势,潍坊市农田生态系统 2003、2004、2005、2006、2007、2008、2009、2010、2011、2012 的碳吸收强度分别为 27.14、27.46、26.76、25.58、26.19、26.78、27.85、29.40、30.35、30.41 t/hm<sup>2</sup>,呈增加趋势,其增长趋势与其碳吸收量的增长趋势基本一致,都在 2005 年出现拐点,这主要是由于 2005 年干旱缺水造成了潍坊市农作物大幅减产,从而影响了碳吸收量。

## 3.2 潍坊市农田生态系统的碳排放量变化

### 3.2.1 碳排放量的时间变化

由图 2 可见,2003—2012 年潍坊市农田生态系统的碳排放量总体呈现逐渐递增的趋势,碳排放总量从 2003 年的 15 744.39 万 t 增至 2012 年的 16 604.80 万 t,净增加 860.41 万 t,年均增加 86.04 万

t,年均增长率为 0.60%。10 年间变化分为 2 个阶段:第一阶段是 2003—2006 年,为碳排放总量缓慢增长阶段;第二阶段是 2007—2012 年,为碳排放总量迅速增长阶段。2003—2006 年受到干旱少雨的影响,农作物的单产有所减少;2007—2012 年潍坊市加大了对农业的投入,提高了农业机械化水平和服务质量,潍坊市农作物总产量平稳增长,碳排放量呈现出逐渐增加的趋势。2003—2012 年潍坊市农田生态系统的碳排放强度与碳排放总量呈现出较为一致的变化趋势。随着农业投入的增加,农业产业快速发展,碳排放强度从 2003 年的 201.09 t/hm<sup>2</sup> 增加到 2006 年的 203.39 t/hm<sup>2</sup>,增加了 2.30 t/hm<sup>2</sup>,但 2007 年有所下降,潍坊市农村产业的调整,促进了农业生产的发展,碳排放强度为 202.15 t/hm<sup>2</sup>;2008—2012 年碳排放强度逐渐增加,从 204.45 t/hm<sup>2</sup> 增加到 211.82 t/hm<sup>2</sup>,年均增量 6.75 t/hm<sup>2</sup>。

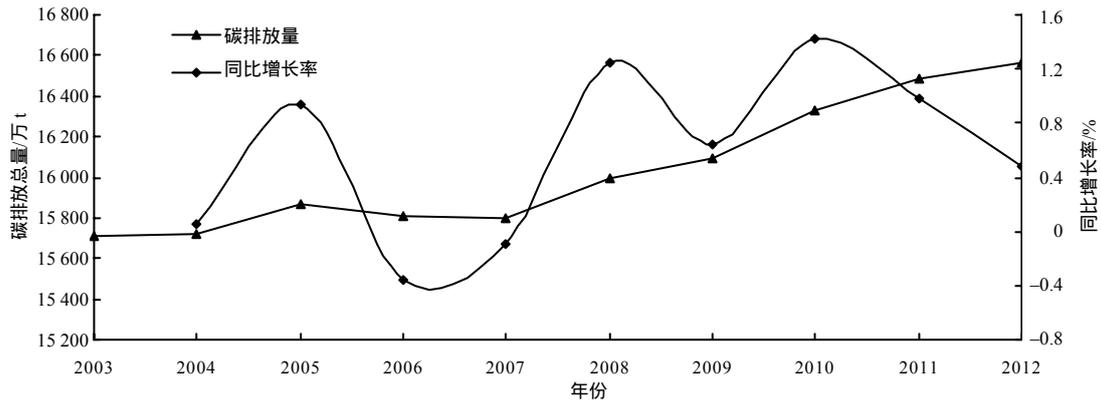


图 2 2003—2012 年潍坊市农田生态系统的碳排放总量及同比增长率

Fig.2 Total carbon emission and year-on-year growth rate from 2003 to 2012 farmland at ecosystem in Weifang

### 3.2.2 农田生态系统碳排放途径的变化

由表 3 可见, 2003—2012 年农业灌溉的碳排放量所占比例最大, 且 2012 年农业灌溉碳排放量占碳排放总量的 86.48%, 耕地有效灌溉面积逐年增加, 导致农业灌溉引起的碳排放量呈逐年上升趋势; 其次, 农机、化肥的碳排放比例分别占 12.24% 和 0.32%, 而农药的碳排放所占比例最小, 仅为 0.06%。各种碳排放途径所产生的碳排放量呈现出不同的增长趋势, 农药、化肥和农膜都出现先增后减的趋势, 这是因为 2006 年之前农民在提高单产的同时增加了对农药和化肥的使用量。潍坊市 2007 年以来打造绿色种植产业链, 提倡有机、绿色、无公害栽培, 大力发展有机农业、绿色无污染、无公害食品, 种植

面积不断增加, 且农药和化肥的使用量也逐渐减少, 进而农药和化肥的碳排放量出现了减少趋势。研究期间, 柴油碳排放量呈现逐年下降的趋势, 10 年减少了 3.64 万 t, 其主要原因是潍坊市近几年柴油价格不断上涨, 导致农业机械运输作业成本增加, 农民负担增大, 严重降低了农民对农业机械的投入热情, 从而导致农用柴油使用量减少, 生产和使用农业柴油的碳排放量也随之减少。2003 年潍坊市碳排放强度为 201.09 t/hm<sup>2</sup>, 2012 年增加到 211.82 t/hm<sup>2</sup>, 净增量 10.73 t/hm<sup>2</sup>。虽然潍坊市农作物的单产逐年增加, 但随着单位面积农业投入的不断增加, 碳排放量也不断增加。

表 3 2003—2012 年潍坊市农田生态系统的碳排放量和碳排放强度

Table 3 Carbon emissions and carbon emission intensity during 2003 and 2012 at farmland ecosystem in Weifang

年份	各种途径的碳排放量/万 t						碳排放总量/万 t	碳排放强度/(t·hm <sup>-2</sup> )
	化肥	农机	灌溉	农膜	农药	柴油		
2003	46.91	1 682.18	13 957.69	35.45	8.83	13.33	15 744.39	201.09
2004	48.90	1 721.69	13 925.18	36.45	9.33	13.28	15 754.83	201.20
2005	51.22	1 911.86	13 879.61	38.62	9.67	13.88	15 904.86	203.31
2006	54.51	1 964.53	13 767.16	42.02	9.66	13.29	15 851.17	203.39
2007	55.09	1 952.92	13 762.23	42.97	9.42	13.04	15 835.67	202.15
2008	48.56	2 009.39	13 914.52	35.80	8.53	10.36	16 027.16	204.45
2009	52.03	2 048.23	13 974.74	38.44	8.74	10.11	16 132.29	205.80
2010	52.18	2 080.40	14 173.80	39.51	8.08	10.21	16 364.18	208.75
2011	51.43	2 113.01	14 302.25	40.66	8.04	9.88	16 524.61	210.80
2012	50.53	2 135.37	14 360.61	40.00	7.94	9.69	16 604.80	211.82

### 3.3 潍坊市农田生态系统的碳排放/吸收净值

10 年间潍坊市碳吸收总量和碳排放总量分别达 21 735.98 万 t 和 160 743.96 万 t, 碳吸收总量与碳排放总量的比为 1 : 7.4, 说明潍坊市农田生态系

统的碳排放量明显高于碳吸收量, 年均碳排放净值 13 900.8 万 t。潍坊市 10 年间碳吸收量和碳排放量的变化趋势基本一致, 均在 2005 年之后呈增长趋势, 碳排放强度增长率从 0.055% 减少到 0.048%,

碳吸收强度增长率从 1.18% 增加到 1.98%。农田生态系统既具有碳源功能,也具有碳汇功能,农业生产技术水平的不断提高,农作物单位产量的迅速增加,产生大量碳固存,导致农田生态系统碳汇增加,碳吸收强度的增长明显高于碳排放强度的增长,说明潍坊市农田生态系统仍具有较强的碳汇功能,但是碳排放总量远远超过了碳吸收总量,这种形势不容乐观。

#### 3.4 潍坊市农田生态系统的碳足迹分析

由表 4 可见,从时间过程分析,2003 年碳足迹 38.990 万  $\text{hm}^2$ ,2012 年碳足迹为 38.769 万  $\text{hm}^2$ ,减少了 0.221 万  $\text{hm}^2$ ,整体呈递减趋势,但在 2007 年出现起伏。潍坊市作为全国重要的蔬菜生产基地,虽然投入了大量的农药、化肥等,增加了农田生态系统的碳排放量,但由于农作物种植面积大,农作物产量持续增加,蔬菜的产量尤其较高,这大大增加了农田生态系统的碳吸收量,从而导致碳足迹呈下降趋势。潍坊市农田生态系统碳足迹平均占生态生产性土地面积的比例(1.456%)较低,说明潍坊市农田生态系统仍然处于碳生态盈余状态。

表 4 2003—2012 年潍坊市农田生态系统的碳足迹及碳足迹强度

Table 4 Carbon footprint and its intensity from 2003 to 2012 at farmland ecosystem in Weifang

年份	碳足迹/万 $\text{hm}^2$	碳足迹强度/ $(\text{hm}^2 \cdot \text{万元})^{-1}$
2003	38.990	0.214
2004	38.977	0.191
2005	38.931	0.175
2006	38.903	0.162
2007	38.954	0.151
2008	38.888	0.130
2009	38.880	0.117
2010	38.877	0.105
2011	38.854	0.100
2012	38.769	0.101

2003—2012 年潍坊市碳足迹强度呈逐年下降的趋势,2011 年出现最低值 0.100  $\text{hm}^2/\text{万元}$ 。总体而言,潍坊市的碳足迹强度值较低(碳足迹强度值越高,能源利用效率越低,碳足迹效益越低),2003—2012 年的均值为 0.14  $\text{hm}^2/\text{万元}$ ,表示潍坊市农田生态系统每增加 1 万元的产值可以制造 0.14  $\text{hm}^2$  的碳足迹。

## 4 结论与讨论

对 2003—2012 年潍坊市农田生态系统碳源(碳汇)进行估算后得到如下结论:

1) 从总量看,农田碳源明显大于碳汇,10 年碳吸收总量和碳排放总量分别为 21 735.98 万 t 和 160 743.96 万 t,二者之比为 1:7.4。碳排放强度增长率从 0.055% 减少到 0.048%,碳吸收强度增长率从 1.18% 增加到 1.98%,可以看出潍坊市农田生态系统的农作物具有较大的碳汇功能。

2) 从时间看,潍坊市农田生态系统碳吸收量和碳排放量在 10 年内分别增长 10.69% 和 7.02%,尤其是在 2005 年以后,碳吸收量和碳排放量均出现明显增长,且碳吸收量的增长率高于碳排放量的增长率。农业机械化程度的提高和农田灌溉面积的增多,农田生态系统碳排放量相对增多;科技的进步、粮食单产的增加,碳吸收量增长迅速,有效减少了研究区温室气体的排放,缓解了对气候的影响。

3) 2003—2012 年潍坊市农田生态系统的碳吸收总量和吸收强度呈增加趋势;蔬菜、玉米和小麦为主要的碳吸收作物。碳排放过程中,农业灌溉过程碳排放量占比最大,农药使用的碳排放量比重最小。可见,在推行生态农业、精品农业,提高复种以及选育优良品种的同时,应提高农作物单位面积产量;在保证农业投入和机械化程度的前提下,调整耕作和灌溉制度,增施有机肥,采用免耕、少耕等技术,精确灌溉,发展绿色能源,提高农产品的质量,提升农业生产和农业综合生产能力,保持并提高农田生态系统碳汇能力,是降低农田生态系统碳排放的有效途径。

4) 2003—2012 年潍坊市农田生态碳足迹从 2003 年的 38.990 万  $\text{hm}^2$  减少到 2012 年 38.769 万  $\text{hm}^2$ ,10 年间农田生态系统碳足迹平均占生态生产性土地面积的 1.456%,比例较低,农田生态系统处于碳生态盈余的状态,可以部分补充潍坊市社会经济发展和工业生产带来的碳赤字;碳足迹强度较低,10 年间碳足迹强度均值为 0.14  $\text{hm}^2/\text{万元}$ ,潍坊市农田生态系统每增加 1 万元的产值可以制造 0.14  $\text{hm}^2$  的碳足迹。

本研究中以潍坊市主要农作物的碳吸收量和主要农业生产的碳排放为测算基础,对潍坊市农田生态系统碳源(碳汇)及其碳足迹的变化情况进行了

估算,估算结果与实际情况基本相符。农田生态系统碳源(碳汇)变化涉及的因素众多,综合考虑农业生产活动产生的碳排放以及农作物和土壤呼吸对碳排放量的影响,是今后研究的重点和方向。

#### 参考文献:

- [1] 赵先超,朱翔,周跃云.湖南省不同土地利用方式的碳排放效应及时空格局分析[J].环境科学学报,2013,33(3):941-949.
- [2] 种葡宁.中国在耗竭世界资源吗——兼论可持续发展问题[J].现代经济探讨,2006(2):5-8.
- [3] 陶波,葛全胜,李克让,等.陆地生态系统碳循环研究进展[J].地理研究,2001,20(5):564-575.
- [4] 邵伟.低碳经济:中国经济发展面临的新课题[J].金融经济,2009(2):15-18.
- [5] Paustian K,Andren O,Janzen H,et al.Agricultural soil as a C sink to offset CO<sub>2</sub> emission[J].Soil Use and Management,1997,13(4):230-244.
- [6] Lal R,Bruce J P.The Potential of world cropland soils to Sequester sand mitigate the greenhouse effect[J].Environmental Science & Policy,1999,2(2):177-185.
- [7] Lal R,Komble J M,Follett R F,et al.The Potential of US Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect[M].Chelsea,M I: Sleeping Bear Press Inc,1998:128.
- [8] 尉海东,马详庆,刘爱琴,等.森林生态系统碳循环研究进展[J].中国生态农业学报,2007,15(2):188-192.
- [9] 徐小锋,田汉勤,万师强.气候变暖对陆地生态系统碳循环的影响[J].植物生态学报,2007,31(2):175-188.
- [10] 延晓冬,赵俊芳.基于个体的中国森林生态系统碳收支模型 FORCCHN 及模型验证[J].生态学报,2007,27(7):2684-2694.
- [11] 杨学明,张晓平,方华军.农业土壤固碳对缓解全球变暖的贡献[J].地理科学,2003,23(1):101-106.
- [12] 潘根兴,李恋卿,郑聚锋,等.土壤碳循环研究及中国稻田土壤碳研究的进展与问题[J].土壤学报,2008,45(5):901-914.
- [13] 朴世龙,方精云,黄耀.中国陆地生态系统碳收支[J].中国基础科学-研究进展,2010(2):20-22.
- [14] 赵荣钦,秦明周.农田生态系统碳源(碳汇)的时空差异及增汇技术研究[J].河南大学学报:自然科学版,2004,34(1):60-65.
- [15] 刘杨,于东升,史学正,等.不同蔬菜种植方式对土壤固碳速率的影响[J].生态学报,2012,32(9):2953-2959.
- [16] 韩冰,王效科.中国草地土壤生态系统固碳现状和潜力[J].生态学报,2008:28(2):612-618.
- [17] 赵荣钦,秦明周.中国沿海地区农田生态系统部分碳源(碳汇)时空差异[J].生态与农村环境学报,2007,23(2):1-6.
- [18] Brown M.Twelve metropolitan carbon footprints: A preliminary comparative global assessment[J].Energy Policy,2010,38(9):4856-4869.
- [19] Kenny T,Gray N F.Comparative performance of six carbon footprint models for use in Ireland[J].Environmental Impact Assessment Review,2009,29(1):1-6.
- [20] 赖力,黄贤金,刘伟良.基于投入产出技术的区域生态足迹调整分析——以2002年江苏为例[J].生态学报,2006,26(4):1285-1292.
- [21] 阎晓,涂建军,武京涛,等.重庆市经济发展与碳足迹的相关分析[J].西南师范大学学报:自然科学版,2012,37(6):167-173.
- [22] 郭运功.特大城市温室气体排放量测算与排放特征分析——以上海为例[D].上海:华东师范大学,2009.
- [23] 黄贤金,葛杨,叶堂林,等.循环经济学[M].南京:东南大学出版社,2009:147-159.
- [24] 李克让.土地利用变化和温室气体净排放与陆地生态系统碳循环[M].北京:气象出版社,2000:250.
- [25] 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备的影响[J].资源科学,2011,33(10):1932-1939.
- [26] 齐志勇,王宏燕,王江丽,等.陆地生态系统土壤呼吸的研究进展[J].农业系统科学与综合研究,2003,5(2):116-119.

责任编辑:王赛群  
英文编辑:王 库