

田志会, 刘瑞涵. 基于京津冀一体化的农田生态系统碳足迹年际变化规律研究[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(2): 167-173.

TIAN Zhi-hui, LIU Rui-han. Inter-annual Variations of the Carbon Footprint in Beijing Tianjin and Hebei Agro-ecosystem[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2018, 35(2): 167-173.

基于京津冀一体化的农田生态系统 碳足迹年际变化规律研究

田志会^{1,2,3}, 刘瑞涵^{4*}

(1.北京农学院园林学院, 北京 102206; 2.城乡生态环境北京实验室, 北京 100083; 3.北京林果业生态环境功能提升协同创新中心, 北京 102206; 4.北京农学院经管学院, 北京 102206)

摘要: 基于京津冀一体化背景下, 以农田生态系统作为研究对象, 对 2005—2014 年农田生态系统的碳汇、碳源、碳足迹的年际变化进行了研究, 为京津冀一体化的规划和产业布局提供理论依据。结果表明: 京津冀地区农田生态系统的碳汇功能呈下降趋势, 近 10 年降幅为 6.6%, 年均固碳量为 485.5 万 $t \cdot a^{-1}$, 碳汇功能的主要决定因素是粮食作物中玉米与小麦的经济产量及种植面积。京津冀地区农田生态系统碳排放量年均 727.8 万 $t \cdot a^{-1}$, 基本上呈现出逐年降低的趋势, 碳排放量的主要决定因素为农业化学品中氮素化肥的施用量。京津冀地区农田生态系统碳足迹年均均为 161.2 万 $hm^2 \cdot a^{-1}$, 呈现出逐年减少趋势, 处于碳生态盈余状态。

关键词: 京津冀; 农田生态系统; 碳足迹; 碳源; 碳汇

中图分类号: S181

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2018)02-0167-07

doi: 10.13254/j.jare.2017.0222

Inter-annual Variations of the Carbon Footprint in Beijing Tianjin and Hebei Agro-ecosystem

TIAN Zhi-hui^{1,2,3}, LIU Rui-han^{4*}

(1. Department of Landscape Design & Forestry, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing 100083, China; 3. Beijing Collaborative Innovation Center for Eco-environmental Improvement with Forestry and Fruit Trees, Beijing 102206, China; 4. Department of Economics and Management, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China)

Abstract: Based on the integration of Beijing, Tianjin and Hebei, we investigated inter-annual changes in carbon footprint from 2005 to 2014 in the agro-ecosystem of suburban Beijing Tianjin and Hebei. Our findings indicated that: (1) Carbon sink decreased 6.6 percent annually. The average annual carbon storage amount was 4 855 000 tons, with food crops constituting the highest proportion; (2) Carbon emission in the system showed a gradually decreasing trend, with agricultural chemicals as significant contributors. The annual average carbon emission was 7 278 000 tons in the Beijing Tianjin and Hebei farmland ecosystem. The largest amount of carbon emissions came from agricultural chemicals, nitrogen (from fertilizer) was the biggest contributor; (3) The average carbon footprint was 1 612 000 hm^2 in the Beijing Tianjin and Hebei farmland ecosystem and showed a decreasing trend along with an ecological surplus of carbon.

Keywords: Beijing Tianjin and Hebei; agro-ecosystem; carbon footprint; carbon source; carbon sinks

收稿日期: 2017-09-05 录用日期: 2017-10-09

基金项目: “粮经作物产业技术体系北京市创新团队”建设专项(BAIC09-2018); 科技创新服务能力建设-城乡生态环境北京实验室建设专项(PXM2017_014207_000037); 科技创新服务能力建设-科研基地建设-林果业生态环境功能提升协同创新中心(2011 协同创新中心)(市级)项目(PXM2017_014207_000024)

作者简介: 田志会(1968—), 女, 天津宝坻人, 博士, 副教授, 主要从事生态学方面的研究工作。E-mail: tzhui@126.com

* 通信作者: 刘瑞涵 E-mail: ruihanliu@163.com

全球气候变暖已经成为国际社会的焦点,其中 CO_2 是一种重要的温室气体,其贡献率可达 55%,农田生态系统中农作物因光合作用具有强大的固定 CO_2 的能力,是陆地生态系统碳库重要组成部分之一,但农田生态系统的开放属性,在农业生产活动中又伴随着大量的物质与能量的输入,如化肥、农药等农用化学品的施用以及在农田耕作、灌溉和加工等过程中农业机械的大量使用,因此,农田生态系统又成为碳源,其对全球变暖的贡献为 20%^[1],前人对农田生态系统碳源/汇的研究做了较多工作^[2-7]。利用碳足迹可综合表征农田生态系统的碳流变化^[3,7-10],目前成为一个重要研究方向。碳足迹的概念由生态足迹衍生而来,农田碳足迹是指人类在农田上进行生产活动形成的碳流量^[9],即吸收农田生产性投入而引起的直接或间接化石燃料燃烧所排放的 CO_2 量所需要的生产性土地面积。有关农田生态系统碳足迹的研究国内外学者开展了大量的工作。韩召迎等^[8]以江苏省为例,进行了农田生态系统碳足迹的时空变化研究。刘巽浩等^[9]等对近 10 年来国内外农田生态系统碳足迹研究成果进行了综述。张婷等^[10]从碳足迹的角度对江西省农田生态系统碳源/汇时空差异进行了研究。成功等^[3]运用碳足迹的方法对小麦秸秆及其生物质炭添加对农田生态系统净碳汇的影响进行了研究。

京津冀地区北起燕山山脉,西到太行山区,东至渤海之滨,南拒华北平原,京津冀在地质、地貌、气候、土壤以及生物群落等方面是一个完整的地域系统。当前区域总人口已超过 1 亿人,面临着生态环境持续恶化、城镇体系发展失衡、区域与城乡发展差距不断扩大等突出问题。中共中央政治局 2015 年 4 月 30 日召开会议,通过了《京津冀协同发展规划纲要》,京津冀协同发展的出发点是北京功能疏解和非首都核心功能转移,同时津冀两地借力发展,在这一过程中,必然伴随着剧烈的土地利用覆被变化,对农田生态系统产生深刻的影响。本文以京津冀农田生态系统作为研究对象,在前人研究的基础上,对近 10 年来京津冀农田生态系统碳足迹的变化规律进行研究,以期京津冀地区可持续健康发展以及产业结构布局提供理

论依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

2005—2014 年北京市、天津市和河北省的农作物产量、播种面积、农业机械总动力、有效灌溉面积、农药使用量、化肥使用量、农用塑料薄膜使用量及农用柴油使用量等农业统计数据均来自于各年份的《中国统计年鉴》。2005—2014 年北京市、天津市和河北省的机耕面积、机收面积、机播面积、耕地面积分别来自于各年份的《北京统计年鉴》、《天津统计年鉴》和《河北经济年鉴》。

1.2 农田生态系统固碳量的计算

农田生态系统固定 CO_2 物质质量的计算,主要依据的是植物光合作用固碳原理,利用农田生态系统生物量的数据,估算农田生态系统固定 CO_2 的物质质量,这是目前估算生态系统固定 CO_2 的物质质量普遍的方法,农田生态系统生物量的计算,采用作物经济产量与经济系数比值而得到。计算方法如下:

$$A_c = C_i \cdot Y_i \cdot (1 - W_i) / HI_i \quad (1)$$

式中: i 为作物种类; A_c 为农田生态系统固碳量, $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$; Y_i 为作物的经济产量, $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$; W_i 为作物经济产量部分的含水量, %; HI_i 为作物经济系数; C_i 为碳吸收率,作物合成单位有机干物质所吸收的碳; W_i 、 HI_i 、 C_i 见表 1^[3-6,8,10-11]。

1.3 农田生态系统碳排放量的计算

农田生态系统的碳排放可归结为三大类:(1)农用化学品使用,主要包括化肥、农药和农膜;(2)农业生产燃料动力,主要包括农用机械用电、农产品加工用电和农用机械柴油消耗的间接碳排放量;(3)农田耕作、灌溉。计算方法如下:

$$\text{TCE} = \sum Q_k \cdot \gamma_k \quad (2)$$

式中:TCE 为农田生态系统的碳排放量, $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$; k 为各项生产性投入; Q_k 为各项生产性投入的数量值(主要包括:氮、磷、钾、复合肥用量,农药用量,农膜用量,农机柴油用量 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$;机耕、机收、机播面积、灌溉面积, $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$;农业机械总动力, $\text{kW} \cdot \text{a}^{-1}$ 。); γ_k 为各项投入的

表 1 主要农作物的经济系数、经济产量中的含水率、碳吸收率

Table 1 Economic coefficient water content of economic yield and C absorption rate of major crops

指标	稻谷	冬小麦	玉米	薯类	大豆	棉花	油料	药材	蔬菜	瓜类及草莓
经济系数	0.5	0.5	0.53	0.75	0.3	0.4	0.45	0.4	1	0.7
作物经济产量的含水率/%	12	12.5	13.5	13.3	12.5	8.3	9	15	90	90
碳吸收率	0.414	0.485	0.471	0.423	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45

碳排放系数,农田生态系统碳排放系数见表 2^[5,8,12-14]。

1.4 农田生态系统碳足迹的计算

农田生态系统的碳足迹为农田生态系统碳排放量与单位面积农田固碳量的比值,当农田碳足迹大于区域生态承载力(耕地面积)时,表现为碳生态赤字;反之,当农田碳足迹小于区域生态承载力(耕地面积)时,则表现为碳生态盈余,其碳盈余量为耕地面积与农田碳足迹面积的差值^[8]。

2 结果与分析

2.1 京津冀一体化背景下农田生态系统碳汇功能分析

2.1.1 京津冀农田生态系统碳汇功能的年际变化分析

京津冀农田生态系统碳汇功能年际变化(图1),京津冀农田生态系统年均固碳量为 485.5 万 t·a⁻¹,其中 2011 年固碳量最高为 519.2 万 t·a⁻¹。2014 年京津冀农田生态系统的固碳量比 2005 年降低 6.6%,北京市与河北省农田生态系统固碳量近 10 年均呈降低趋势,其中北京降低最多,与 2005 年相比降低 36.7%,河北省降低 6.6%,天津市农田生态系统固碳量近 10 年呈增加趋势,与 2005 年相比,固碳量增加 14.8%。

2.1.2 京津冀农田生态系统单位面积固碳量分析

北京市农田生态系统单位耕地面积和单位播种面积固碳量都是最高的(图2),近 10 年平均值分别为:4.6 t·hm⁻²·a⁻¹ 和 3.43 t·hm⁻²·a⁻¹,其单位耕地面积固碳量分别为天津市和河北省的 1.29 倍和 12.07 倍,

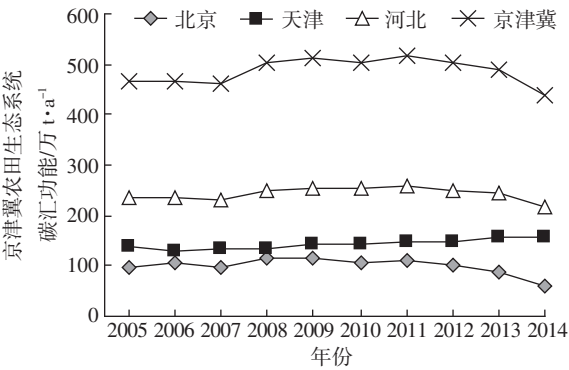


图 1 2005—2014 年京津冀农田生态系统碳汇功能
Figure 1 Carbon sequestration function of farmland ecosystem in Beijing Tianjin and Hebei from 2005 to 2014

单位播种面积固碳量分别为天津市和河北省的 1.1 倍和 12.31 倍,京津冀农田生态系统单位耕地面积和单位播种面积的固碳量近 10 年平均值分别为 0.7 t·hm⁻²·a⁻¹ 和 0.51 t·hm⁻²·a⁻¹。

2.1.3 京津冀农田生态系统农作物碳汇作用分析

由表 3 可知,在京津冀农田生态系统中粮食作物碳汇作用最大,粮食作物近 10 年固碳量平均占比为 80.2%,其次为蔬菜,经济作物的碳汇作用最小。粮食作物近 10 年的固碳量总体呈上升趋势,2014 年粮食作物的固碳量比 2005 年增加了 26.83%,其固碳量已由 2005 年的 2 228.5 万 t 上升到 2014 年的 2 826.4 万 t。

表 2 农田生态系统碳排放系数
Table 2 Carbon emission coefficient of farmland ecosystem

碳排放系数	化肥/kg·t ⁻¹				农药/ kg·kg ⁻¹	农膜/ kg·kg ⁻¹	农机柴油/ kg·kg ⁻¹	农业灌溉/ kg·hm ⁻²	农业机械总动力/ kg·kW ⁻¹ ·h ⁻¹	机耕、机播、机收/ kg·hm ⁻²
	氮肥	磷肥	钾肥	复合肥						
	1 740	165.09	120.28	380.97	4.93	5.18	0.592 7	20.476	0.18	16.47

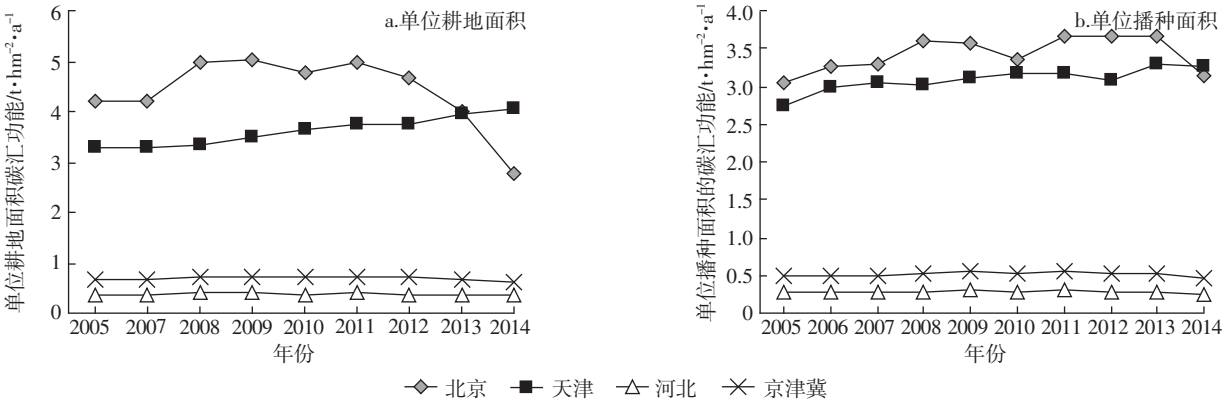


图 2 京津冀农田生态系统单位面积碳汇功能的年际变化

Figure 2 Interannual variability of carbon sinks of farmland ecosystem in Beijing Tianjin and Hebei

京津冀地区各类粮食作物的固碳量也表现出明显差异,其比例分布情况见表 4,在粮食作物中玉米的固碳量最高,其次为小麦,其占比分别为 49.9%和 44.4%,玉米和小麦固碳量之和已经占京津冀地区粮食作物总固碳量的 94.3%。

2.2 京津冀一体化背景下农田生态系统碳源分析

2.2.1 京津冀农田生态系统碳排放量的年际变化分析

京津冀农田生态系统碳排放量呈逐年降低趋势(图 3),2005 年碳排放量为 782.3 万 $t \cdot a^{-1}$,到 2014 年碳排放量已降低到 704.1 万 $t \cdot a^{-1}$,近 10 年京津冀农田生态系统的碳排放量降低了 10%,京津冀农田生态系统碳排放量平均为 727.8 万 $t \cdot a^{-1}$ 。

2.2.2 京津冀农田生态系统单位面积碳排放量分析

京津冀农田生态系统单位面积碳排放量从单位耕地面积碳排放量和单位播种面积碳排放量两个角度进行分析,单位耕地面积的碳排放量近 10 年的平均值为 1.02 $t \cdot hm^{-2}$,呈逐年降低趋势(图 4a),2014 年京津冀农田生态系统单位耕地面积的碳排放量比 2005 年降低了 11.2%。从区域分布看,北京市农田生态系统单位耕地面积碳排放量虽然呈逐年降低趋势,但仍高于天津市和河北省,北京市、天津市以及河北省近 10 年单位耕地面积碳排放量的平均值分别为:1.18、1.10 $t \cdot hm^{-2}$ 和 1.01 $t \cdot hm^{-2}$ 。

图 4b 为京津冀农田生态系统单位播种面积的碳排放量的年际变化,可知 2012 年之前农田生态系统单位播种面积的碳排放量的顺序为天津>北京>河北

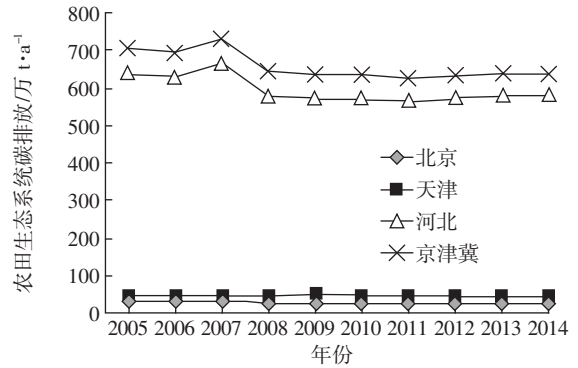


图 3 京津冀农田生态系统碳排放量的年际变化

Figure 3 Interannual variation of carbon emissions from farmland ecosystem in Beijing-Tianjin-Hebei Region

省,但 2012 年以后北京市农田生态系统单位播种面积的碳排放量上升,成为碳排放量最多的地区,河北省农田生态系统单位播种面积的碳排放量,历年均低于北京市和天津市并呈逐年降低的趋势。近 10 年来京津冀地区农田生态系统单位播种面积的碳排放量呈逐年降低趋势,其平均值为 0.77 $t \cdot hm^{-2}$ 。

2.2.3 京津冀农田生态系统碳源的分析

京津冀农田生态系统的碳源主要包括:农用化学品的施用、农业生产过程中发生的燃料以及动力碳排放和农田耕作和灌溉,其中,农用化学品的施用导致的碳排放量最多,约占碳排放量的 65.1%,其次为农业生产过程中发生的燃料以及动力碳排放,约占碳排放量的 29.9%,农田耕作和灌溉导致的碳排放量最

表 3 2005—2014 年京津冀各类作物固碳量比例分布(%)

Table 3 Distribution of carbon sequestration ratio of various crops in Beijing-Tianjin-Hebei Region from 2005 to 2014(%)

农作物	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	均值
粮食作物	78.9	79.7	79.8	79.4	81.4	80.5	81.0	80.6	80.3	80.0	80.2
经济作物	10.1	10.3	10.1	10.6	8.3	9.0	8.7	8.9	9.4	9.3	9.5
蔬菜	11.0	10.0	10.0	10.0	10.3	10.5	10.4	10.5	10.4	10.7	10.4

表 4 2005—2014 年京津冀地区各类粮食作物固碳量比例分布(%)

Table 4 Distribution of carbon sequestration ratio of various food crops in Beijing-Tianjin-Hebei Region from 2005 to 2014(%)

粮食作物	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	平均
小麦	46.6	45.2	44.3	44.5	44.6	43.8	42.7	43.7	43.7	45.1	44.4
玉米	45.9	48.4	50.2	49.7	50.5	50.9	51.9	50.8	50.9	49.6	49.9
谷子	1.4	1.3	1.1	1	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2
高粱	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
其他谷物	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.6	0.6	0.5	0.3
豆类	3.4	2.8	2.5	2.6	2	1.9	1.9	1.7	1.5	1.7	2.2
薯类	2.1	2	1.7	2	1.5	1.9	1.9	2	2	1.8	1.9

低,为5%。从年际变化看,2007年碳排放量最高,为807.8万t,但总体呈现出逐年降低的趋势,2005年的碳排放量为782.3万t,到2014年已降低到704.1万t,降低幅度达10.0%。

在各类农业化学品中,碳排放量贡献最大的是化肥的施用(表5),近10年各类农用化学品碳排放量贡献率分别为:化肥:74.3%,农药:9.6%,农用塑料薄膜16.1%。从变化趋势来看,农药和农用塑料薄膜的碳排放占比呈逐年增加的趋势,而化肥的碳排放量占比呈现出逐年降低的趋势,虽然如此,但化肥的施用导致的碳排放量仍然处于绝对地位。

在各类化肥的碳排放量中(表6),氮肥碳排放占比最大,其次是复合肥,近10年碳排放占比分布分别为:氮肥占85.1%,复合肥占11.4%,磷肥占2.5%,钾肥仅占1.0%。从各类化肥的碳排放量的变化趋势可知,氮肥的碳排放量呈逐年降低的趋势,已经由2005

年的303.6万t降低到2014年的289.9万t,降幅为4.5%;复合肥的碳排放量呈逐年增加的趋势,已由2004年的33.2万t增加到2015年的46.6万t,增幅达40.4%。

2.3 京津冀一体化背景下农田生态系统碳足迹

京津冀地区农田生态系统的碳足迹年均为161.2万 $\text{hm}^2\cdot\text{a}^{-1}$,呈现出逐年减少状态(图5),碳足迹已经由2005年的195.4万 $\text{hm}^2\cdot\text{a}^{-1}$ 降低到2014年的145.3万 $\text{hm}^2\cdot\text{a}^{-1}$,降幅达25.6%,京津冀地区农田生态系统的碳足迹占同期耕地面积的比重同样呈现下降的趋势,由2005年的27.7%降低到2014年的20.3%,其意义为:当2005年京津冀地区农业生产的碳排放量需要其27.7%的耕地面积进行消化,而到2014年仅需要20.3%的耕地面积就可消化农业生产的碳排放量。京津冀地区农田生态系统碳足迹小于区域生态承载力(耕地面积),为生态盈余状态,且生态盈余量是逐

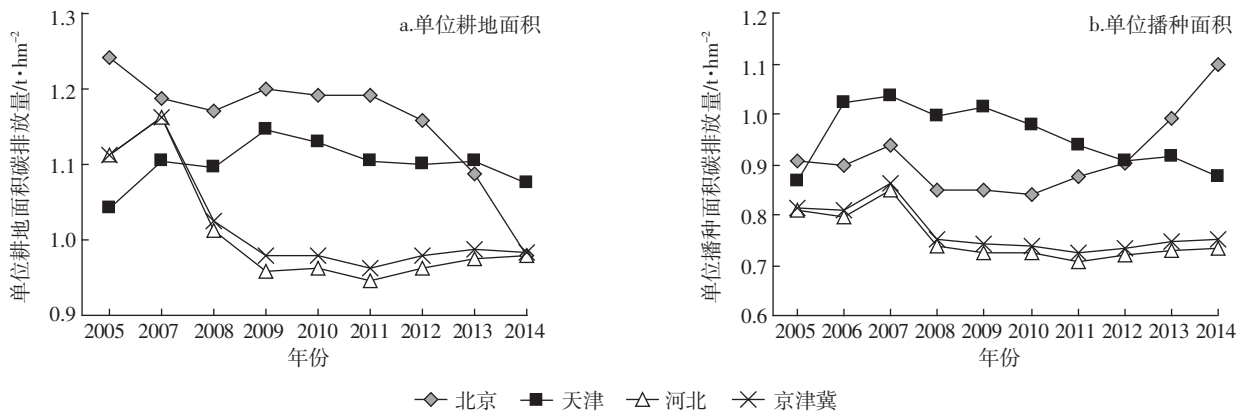


图4 京津冀农田生态系统单位面积碳排放量的年际变化
Figure 4 Interannual variability of carbon emissions from farmland ecosystem in Beijing-Tianjin-Hebei Region

表5 2005—2014年京津冀农田生态系统各类农业化学品的碳排放比例(%)

农业化学品	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	平均
化肥	75.3	75.5	75.2	74.6	74.3	74.6	74.2	73.9	72.9	72.9	74.3
农药	9.5	9.5	9.5	9.8	9.8	9.6	9.4	9.6	9.7	9.6	9.6
农用塑料薄膜	15.2	15	15.4	15.7	15.9	15.8	16.4	16.5	17.4	17.5	16.1

表6 2005—2014年京津冀农田生态系统不同化肥种类的碳排放比例(%)

化肥	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	平均
氮肥	87	86.9	86.4	85.8	85.4	84.8	84.4	83.9	83.6	83.2	85.1
磷肥	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5
钾肥	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1
复合肥	9.5	9.7	10.2	10.7	11.1	11.7	12.2	12.7	13	13.4	11.4

年增加的(图5)。其生态盈余量已经由2005年的508.9万 $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,增加到2014年的569.3万 $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,增幅为11.9%。

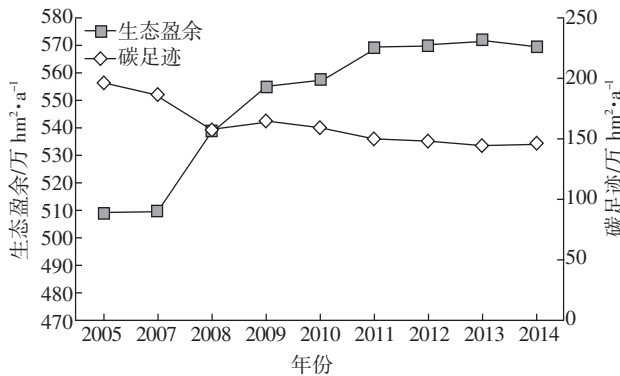


图5 京津冀农田生态系统碳足迹以及生态盈余量的年际变化
Figure 5 Interannual variation of carbon footprint and ecological surplus in Beijing-Tianjin-Hebei farmland ecosystem

京津冀三省市农田生态系统碳足迹的年际变化见图6,北京市农田生态系统的碳足迹最低,多年平均为6.05万 $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,其次为天津市,为18.19万 $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,最高为河北省,为141.65万 $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,近10年来北京市与天津市的碳足迹变化较小,河北省碳足迹呈逐年降低趋势,2014年的碳足迹较2005年降低27.5%,降幅较大,但是与北京市和天津市比较,河北省碳足迹仍然较大。

3 讨论

本文采用全环式^[9]路径的方法对京津冀农田生态系统的碳足迹的年际变化进行了研究。此方法可更确切地体现出农田生态系统在碳源与碳汇的作用。但本文在对农田生态系统中固碳量和碳排放量的估算也存在一些不确定性因素。

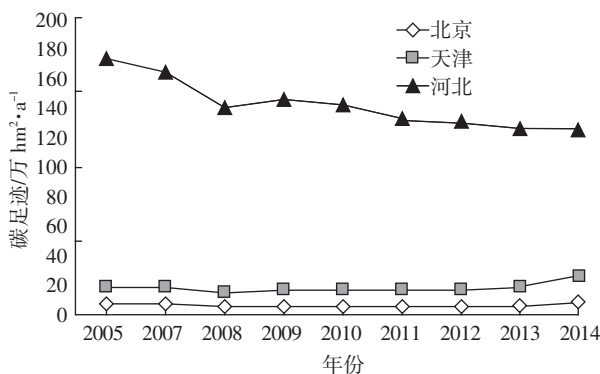


图6 京津冀三省市农田生态系统碳足迹的年际变化
Figure 6 Interannual variation of carbon footprint in farmland ecosystems in Beijing, Tianjin City and Hebei Province

在计算农田生态系统固碳量时,利用传统的生物量计算方法,即农作物经济产量和经济系数的比值,虽经济系数稳定性较强,但天津、北京、河北省之间存在较大科技水平的差异,采用同一经济系数计算3个区域的生物量会产生一定误差。研究结果表明,农田生态系统单位耕地面积和单位播种面积的固碳量,北京市2004—2012年均值分别为5.03 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和3.60 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[7],上海市2009年分别为8.01 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和4.00 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[5],本文的研究结果为:北京、天津、河北分别为4.40、3.42、3.61 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和3.08、0.38、0.51 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,可见,北京、上海以及天津三市因其先进的科技水平,研究结果较为近似。

农田生态系统碳排放量的计算,各投入项的碳排放系数本文均采用定值,但农田生态系统因作物种类、生育期的不同投入项会产生相应的变化,导致碳排放量估算的不确定性的增加。在我国目前缺少农田各投入项的碳排放系数研究的情况下,为减少碳排放量的估算的不确定性,使其更接近实际水平,本文中氮肥的碳排放系数采用逯飞等^[13]的1740 $\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$,此系数更接近我国实际情况;灌溉碳排放系数采用田云等^[14]的20.476 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,通过对碳排放系数的修正,可使农田生态系统碳排放量的估算更接近真实水平。本文针对京津冀农田生态系统碳足迹研究结果与江苏省1995—2009年农田生态系统碳足迹136.8万~175.6万 $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ ^[8]接近,研究结果具有一定的可信度。

4 结论

(1)京津冀地区农田生态系统的碳汇功能呈下降趋势,其单位耕地面积和单位播种面积的固碳量分别为0.7 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和0.51 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。其中,粮食作物碳汇功能最大。在粮食作物中,玉米的碳汇功能最大,其次为小麦,玉米和小麦的固碳量之和已占京津冀地区粮食作物总固碳量的94.3%。

(2)京津冀地区农田生态系统碳排放量呈逐年降低趋势,其单位耕地面积和单位播种面积的碳排放量,分别为1.02 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 和0.77 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。农用化学品的施用导致的碳排放量最多,呈逐年增加的趋势,但增幅较小,为3.3%。农用化学品中,化肥碳排放量占比最高,其次是农用塑料薄膜。化肥中的氮肥碳排放占比最大,其次是复合肥,氮肥的碳排放量呈逐年降低的趋势,而复合肥的碳排放量呈逐年增加的趋势。

(3)2005—2014年京津冀地区农田生态系统碳

足迹年均为 $161.2 \text{ 万 hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$, 呈逐年减少趋势, 农田生态系统处于生态盈余状态, 且生态盈余量是逐年增加的。北京市碳足迹最小, 其次为天津市, 河北省最大, 2005—2014 年碳足迹均值分别为 6.05 万、18.19 万 $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 和 141.65 万 $\text{hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$, 北京市和天津市农田生态系统碳足迹变化较小, 而河北省呈逐年降低趋势。

参考文献:

- [1] 林而达. 气候变化与农业可持续发展[M]. 北京: 北京出版社, 2001: 1-50.
LIN Er-da. Climate change and sustainable development of agriculture [M]. Beijing: Beijing Publishing House, 2001: 1-50. (in Chinese)
- [2] 于贵瑞, 何念鹏, 王秋凤, 等. 中国生态系统碳收支及碳汇功能[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 3-21.
YU Gui-rui, HE Nian-peng, WANG Qiu-feng et al. Carbon budget and carbon sink of ecosystems in China[M]. Beijing: Science Press, 2013: 3-21. (in Chinese)
- [3] 成 功, 张阿凤, 王旭东, 等. 运用“碳足迹”的方法评估小麦秸秆及其生物质炭添加对农田生态系统净碳汇的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(3): 604-612.
CHENG Gong, ZHANG A-feng, WANG Xu-dong, et al. Assessment of wheat straw and its biochar effects on carbon sink in agricultural ecosystems using "carbon footprint" method[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(3): 604-612. (in Chinese)
- [4] 李 俊, 于 强, 孙晓敏. 华北平原农田生态系统碳交换及其环境调控机制[J]. 中国科学. D 辑: 地球科学, 2006, 36(增刊): 210-223.
LI Jun, YU Qian, SUN Xiao-min. The North China plain farmland ecosystem carbon exchange and environmental regulation[J]. *Chinese Science Series. D: Earth Sciences*, 2006, 36(Suppl.): 210-223. (in Chinese)
- [5] 钱晓雍. 上海农田生态系统碳源汇时空格局及其影响因素分析[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7): 1460-1467.
QIAN Xiao-yong. Spatial-temporal variation and impact factor of carbon source and sink of farmland ecosystem in Shanghai, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(7): 1460-1467. (in Chinese)
- [6] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J]. 中国科学, D 辑, 地球科学, 2007, 37(6): 804-812.
FANG Jing-yun, GUO Zhao-di, PU Shi-long. Estimation of terrestrial vegetation carbon sequestration of China in 1981—2000[J]. *Chinese Science Series. D: Earth Sciences*, 2007, 37(6): 804-812. (in Chinese)
- [7] 田志会, 马晓燕, 刘瑞涵. 北京市农田生态系统碳足迹及碳生态效率的年际变化研究[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(6): 603-612.
TIAN Zhi-hui, MA Xiao-yan, LIU Rui-han. Study on inter-annual variations of the carbon footprint in Beijing Tianjin and Hebei agro-ecosystem[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2015, 32(6): 603-612. (in Chinese)
- [8] 韩召迎, 孟亚利, 周治国, 等. 区域农田生态系统碳足迹时空差异分析[J]. 农业环境科学学报 2012, 31(5): 1034-1041.
HAN Zhao-ying, MENG Ya-li, ZHOU Zhi-guo et al. Temporal and spatial difference in carbon footprint of regional farmland ecosystem[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(5): 1034-1041. (in Chinese)
- [9] 刘翼浩, 徐文修, 李增嘉, 等. 农田生态系统碳足迹法: 误区、改进与应用[J]. 中国农业资源与区划, 2013, 34(6): 1-11.
LIU Xing-hao, XU Wen-xiu, LI Zeng-jia, et al. The misstep, improvement and application of carbon footprint methodology in farmland ecosystem[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2013, 34(6): 1-11. (in Chinese)
- [10] 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): 767-775.
ZHANG Ting, CAI Hai-sheng, ZHANG Xue-ling. Spatial-temporal dynamics of farmland ecosystem carbon source/sink based on carbon footprint in Jiangxi Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(6): 767-775.
- [11] 刘子凡, 黄 洁编著. 作物栽培学总论[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 56-57.
LIU Zi-Fan, HUANG Jie. Crop cultivation science pandect[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2007: 56-57. (in Chinese)
- [12] 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: 217-232.
- [13] 逯 非, 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.
LU Fei, WANG Xiao-ke, HAN Bing, et al. Assessment on the availability of nitrogen fertilization in improving carbon sequestration potential of China's cropland soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(10): 2239-2250. (in Chinese)
- [14] 田 云, 李 波, 张俊飏. 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, 11(1): 59-63.
TIAN Yun, LI Bo, ZHANG Jun-biao. Research on stage characteristics and factor decomposition of agricultural land carbon emission in China [J]. *Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*, 2011, 11(1): 59-63 (in Chinese)