

张掖市农田生态系统碳源/汇时空分布特征

师银芳, 赵军

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: [目的] 探究农田生态系统的碳源/汇状况, 为绿洲农田生态系统农作物类型及其种植模式研究提供参考。[方法] 利用 2001—2010 年张掖市主要农作物产量、耕地面积、农作物播种面积及农业投入等数据, 根据农田碳吸收、碳排放模型估算各县区农田生态系统的碳吸收、碳排放及碳汇, 并分析其时空分布特征。[结果] 张掖市各县区碳吸收、碳排放、碳汇强度存在明显的时空差异; 同一农作物的碳吸收强度仅与单产量有关, 且成正比; 经济作物中棉花的单位面积变化量对碳吸收的贡献率最大, 粮食作物中大豆的贡献率最大。碳排放量是化肥施用量、农作物种植面积、农业机械总动力及灌溉面积的一次函数, 化肥施用量的单位变化量对碳排放的贡献率最大, 碳排放量呈逐年增加的趋势; 灌溉面积次之, 且逐年有降低的趋势; 农业机械碳排放所占比例较小, 低于碳排放总量的 5%。[结论] 近 10 a 来张掖市农田生态系统碳吸收总量整体上呈显著增加趋势, 碳排放总量呈减小趋势, 表明张掖市农田生态系统具有较强的碳汇能力。

关键词: 农田生态系统; 碳源; 碳汇; 时空特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)04-0283-05

中图分类号: S181

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.049

Spatiotemporal Variation Characteristics of Carbon Source and Sink of Farmland Ecosystem in Zhangye City

SHI Yinfang, ZHAO Jun

(College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: [Objective] The carbon source and sink of farmland ecosystem were illustrated to provide a reference for the crop types and cropping patterns of oasis farmland. [Methods] Based on the collected data of main crop production, arable land, crop cultivated area and agricultural inputs data in Zhangye City during 2001—2010, the carbon absorption, carbon emissions and carbon sinks of farmland ecosystem of each county were estimated using models of agricultural carbon sequestration, and carbon emission, and the temporal and spatial distribution of these indices were analyzed. [Results] There were obvious temporal and spatial differences in carbon absorption, carbon emission and carbon sink. The carbon absorption intensity was found only positively relevant to crop yield per unit area. The per unit change of cotton among the economic crops, and the soybean among grain crops had the maximum contributions to carbon absorption. The total carbon emission was a function of the chemical fertilizers, crop cultivated area, the total power of agricultural machinery and irrigation area. The unit volume change of chemical fertilizers had the maximum contribution rate to carbon emissions, and the carbon emissions showed an increasing trend. The contribution of irrigated area followed and it had a decreasing trend year by year. Agricultural machinery had the minimal proportional contribution, with a less than 5% of total carbon emissions. [Conclusion] In recent 10 years, the total carbon absorption showed a significant increasing trend, while the carbon emissions showed a decreasing trend, all of which indicated that the farmland ecosystem of Zhangye City had a strong capacity of carbon sink.

Keywords: farmland ecosystem; carbon source; carbon sink; spatiotemporal variation

全球变化正逐渐改变陆地生态系统固有的自然过程, 进而威胁到人类生存环境及社会经济的可持续发展^[1]。气候变化导致动植物生境变化, 进而影响物

种分布及其生态系统过程^[2-3]。而农田生态系统是陆地生态系统的重要组成部分, 随着我国经济的快速发展, 人类活动与自然环境之间相互作用的复杂性日益

收稿日期: 2014-06-20

修回日期: 2014-07-07

资助项目: 国家自然科学基金项目“面向黑河流域生态—水文过程集成研究的数据整理与服务”(91025001)

第一作者: 师银芳(1985—), 女(汉族), 甘肃省靖远县人, 博士研究生, 研究方向为环境遥感与 GIS 应用。E-mail: amandasyf@126.com。

受到关注,如何提高农业生态系统的可持续性已成为重要的研究课题^[4]。农田生态系统是巨大的碳库,其碳储量占全球陆地碳储量的 10% 以上^[5]。因此,准确合理地估算农田生态系统的碳排放和碳吸收,不仅对制定合理的农业减排措施和适应措施具有重要意义,而且为农业碳减排的合理评价提供科学的参考依据。近年来,国内外学者对不同尺度不同区域的农田生态系统碳源汇进行了大量研究,La^[6]从全球尺度研究了全球耕地的固碳潜力以及农田土壤的固碳能力;刘允芬、鲁春霞等^[7-8]对全国农田生态系统的碳循环过程和碳汇功能进行了研究,认为农用地生态系统对温室气体的减排潜力巨大;赵荣钦等^[9]从流域尺度研究发现中国沿海地区农田生态系统的碳吸收大于碳排放;袁再健、王静等^[10-11]从省级尺度上研究了农田生态系统的碳吸收与排放认为各省碳吸收总量呈波动增加态势,碳排放总量呈逐年上升的趋势;钱晓雍、祁兴芬等^[12-13]从市级尺度上分析了农田生态系统的碳汇,分析了不同农作物及区域的碳吸收和排放特征。综上可知,大部分碳源、汇的研究基于全球、国家级、省级尺度,地级市、县域及绿洲农田生态系统碳源、汇研究相对较少。因此,为了更全面地了解农田生态系统的碳汇状况,在众多学者的研究基础上,以张掖市为例,分析农田生态系统碳源/汇的时空差异,以及不同作物的碳汇强度,为较大尺度农田生态系统碳汇的遥感估算的进一步研究提供验证数据,对绿洲农田生态系统农作物类型及其的种植模式提供参考依据,研究结果对保持农田生态系统物种的多样性与稳定性具有重要意义。

1 研究区概况

张掖市位于中国甘肃省西北部,河西走廊中段,地理坐标为东经 97°20′—102°12′,北纬 37°28′—39°57′。

东靠武威、金昌市,西至嘉峪关、酒泉市,南与青海省接壤,北和内蒙古自治区毗邻,属温带大陆性干旱气候。冬寒夏暖,四季分明,日照时间长,光热资源充足,年平均气温 7℃ 左右,年平均降水量约 130 mm。张掖市现辖甘州区、临泽县、高台县、山丹县、民乐县、肃南县 6 个区县,总面积约 4.10×10⁴ km²。张掖地区有黑河水灌溉,地势平坦,土壤肥沃,物产丰饶,盛产小麦、玉米、水稻、油菜、胡麻等农作物,为全国重点建设的 12 个商品粮基地之一。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2001—2010 年张掖市 6 个县各种农作物产量、播种面积、耕地面积和灌溉、施肥、农业机械等农业相关的统计数据,所有数据来源于张掖市统计年鉴统计资料。张掖市行政边界来源于国家基础地理信息中心。

2.2 研究方法

碳吸收主要根据农作物的经济系数、碳吸收率及作物产量数据;碳排放包括农田化肥施用、农业机械使用、灌溉过程、地膜及农药的使用等带来的碳排放。碳吸收、排放及碳汇的计算方法^[10,14]为:

(1) 农田碳吸收。

$$C_a = \sum_i C_d \quad (1)$$

$$C_d = C_f D_w = C_f Y_w / H = k Y_w \quad (2)$$

式中: C_a ——农田作物碳吸收量(t); i ——第 i 中作物类型; C_d ——每种作物全生育期对碳的吸收量(t); C_f ——作物合成有机质所需要吸收的碳(碳吸收率); D_w ——生物产量(t); Y_w ——经济产量; H ——经济系数(经济产量与生物学产量之比); k ——碳吸收率与经济系数的比值,主要农作物碳吸收率与经济系数^[15-16]的比值详见表 1。

表 1 主要农作物的碳吸收与经济系数比值

粮食作物	水稻	小麦	玉米	谷子	大豆	薯类	其他
k 值	0.921	1.213	1.177	1.125	1.324	0.604	1.125
经济作物	棉花	油菜籽	葵花籽	甜菜	烟草	蔬菜	水果
k 值	4.500	1.800	1.500	0.582	0.818	0.845	0.818

注: k 为碳吸收率与经济系数的比值。

(2) 农田碳排放。农田生态系统碳排放量(E_a)主要考虑农田化肥施用、农业机械使用和灌溉过程带来的碳排放 3 种主要的间接碳排放途径,其估算公式为:

$$E_a = E_f + E_m + E_i \quad (3)$$

式中: E_a ——农田碳排放量(t); E_f , E_m , E_i ——农田化肥施用、农业机械使用和灌溉过程带来的碳排放

(t),其估算公式^[17]为:

$$E_f = G_f \cdot A / 1\ 000 \quad (4)$$

$$E_m = (A_m \cdot B / 1\ 000) + (W_m \cdot C / 1\ 000) \quad (5)$$

$$E_i = A_i \cdot D / 1\ 000 \quad (6)$$

式中: G_f ——化肥施用量(t); A_m ——农作物种植面积(hm²); W_m ——农业机械总动力(kw); A_i ——灌

溉面积(hm^2); A, B, C, D ——转换系数,其值分别为 857.54 kg/t , 16.47 kg/hm^2 , 0.18 kg/kW , 266.48 kg/hm^2 。

(3) 碳汇。碳汇(N_c)是指研究区域农田生态系统的净碳吸收量(t),其计算公式为:

$$N_c = C_a - E_a \quad (7)$$

3 结果与分析

3.1 张掖市农田生态系统碳吸收、碳排放及碳汇总量时间变化

利用统计数据,分别计算张掖市农田生态系统碳吸收、碳排放及碳汇总量,结果如图 1 所示。由图 1 可知,整体而言,2001—2010 年张掖市农田生态系统碳吸收总量整体上呈显著增加趋势,碳排放总量呈减小趋势。就碳吸收总量而言,自 21 世纪以来,张掖市碳吸收总量从 2001 年的 $5.80 \times 10^6 \text{ t}$ 增加到 2010 年的 $1.00 \times 10^7 \text{ t}$,增幅为 72.4%。尤其 2003 年碳吸收明显增加,比上年增加了 $1.70 \times 10^6 \text{ t}$ 。近 10 a 来,张掖市耕地面积整体呈增加趋势,且随着耕作条件的改善以及有机农家肥的使用,提高了农作物单位面积产量,使得农作物生育期的碳吸收总量也不断提高。从碳排放看,近 10 a,张掖市碳排放总量呈波动性变化,2001—2004 年,张掖市碳排放呈显著增加趋势,2004 年碳排放总量达到最大,为 $1.20 \times 10^5 \text{ t}$;2004 年以后碳排放总量呈减少趋势,2010 年碳排放量最小,为 $1.00 \times 10^5 \text{ t}$,与 2004 年相比,减小了 16.5%。这主要是由于近年来“绿色”春耕的兴起、化肥的有效施用、有效的灌溉措施以及耕作方式的改变。碳汇总量与碳吸收总量的年际变化趋势相似,但碳汇总量具有更显著的增加趋势。2004 年以前增加趋势比较明显,碳汇增量为 $4.10 \times 10^6 \text{ t}$,增加幅度为 71.8%;2004 年后呈波动性增加趋势,2010 年碳汇总量达到最大,为 $1.10 \times 10^7 \text{ t}$,说明张掖市农田生态系统具有较强的碳汇能力。

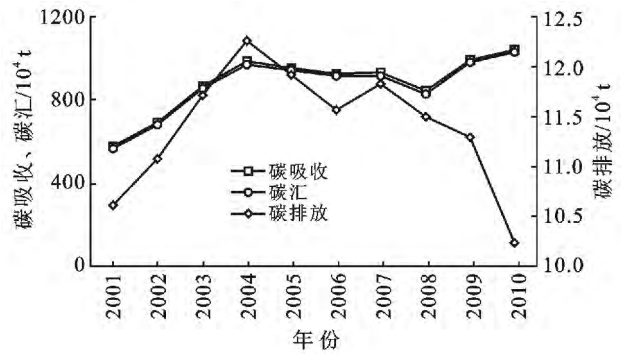


图 1 张掖市 2001—2010 年碳吸收、碳排放及碳汇的年际变化

3.2 张掖市各县区农田生态系统年均碳吸收、碳排放及碳汇强度空间分布

为了进一步度量碳吸收、碳排放及碳汇能力,根据各地区碳吸收、碳排放及碳汇总量以及耕地面积,得到各区域农田生态系统的年均碳吸收、排放强度及碳汇强度空间分布图(图 2)。从图 2 可知,张掖市碳吸收、碳排放及碳汇强度存在明显的区域差异,从碳吸收角度而言,碳吸收强度变化范围最大,碳吸收强度最大的为高台县,甘州区次之,山丹县最小;肃南县耕地面积远小于其他县区,碳吸收强度远大于民乐县和山丹县,表明肃南县单位面积的碳吸收能力较大。从碳排放强度看,近 10 a 整个张掖市各县区年均碳排放强度均小于 1 t/hm^2 ,年均碳排放强度最大的为临泽县,其值为 0.92 t/hm^2 ,年均碳排放总量 $1.70 \times 10^4 \text{ t}$ 。从碳汇强度看,张掖市各县区年均碳汇强度的极差值为 121.1 t/hm^2 ,其中高台县和甘州区的年均碳汇强度较大,其年碳汇总量分别为 2.70×10^6 和 $4.00 \times 10^6 \text{ t}$;山丹县的碳汇强度最小,仅为 5.20 t/hm^2 ,年均碳汇总量为 $2.07 \times 10^6 \text{ t}$;肃南县年均碳汇总量仅 $1.00 \times 10^5 \text{ t}$,这主要是由于肃南县所占的耕地面积较少,仅占整个张掖市耕地面积的 2.7% 左右。

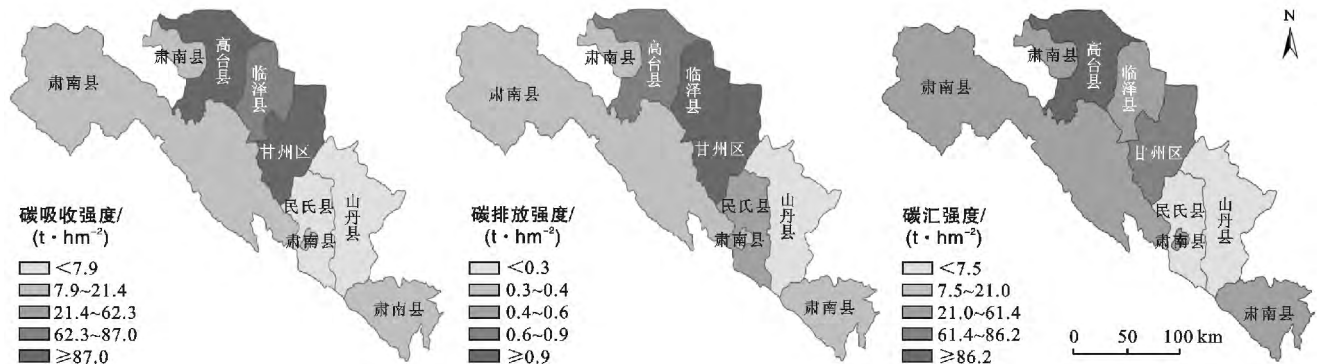


图 2 张掖市农田生态系统年均碳吸收、碳排放及碳汇强度空间分布

3.3 农田生态系统的碳吸收、碳排放及碳汇强度的时间变化

为了进一步分析各县区碳吸收、碳排放及碳汇强度的年际变化,分别统计 2001—2010 年各县区碳吸收、碳排放及碳汇强度,结果如图 3 所示。从图 3 可知,近 10 a 碳吸收强度除甘州区呈略微减少趋势外,其他各县均呈增加趋势。高台县碳吸收强度变化尤为显著,以每年 $10.26 \text{ t}/\text{hm}^2$ 增加;2001—2004 年呈跨越式增长,2004—2008 年基本呈稳定状态,这主要是由于高台县经济作物碳吸收总量明显增加引起的。肃南县碳吸收强度的年增长率为 $3.86 \text{ t}/\text{hm}^2$,2003—2007 年碳吸收强度迅速增加,于 2007 年达到最大值,其值为 $39.4 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。与其他县区相比,山丹县碳吸收强度最小,但近 10 a 有明显的增长趋势,其年增长率为 $0.63 \text{ t}/\text{hm}^2$,这主要是由于农业机械的投入,化肥施用量的增加以及灌溉条件的改善提高了单位面积农作物的碳吸收。从图 3 可知,2001—2010 年

民乐县和山丹县碳排放强度呈轻微的增加趋势,其他各县区碳排放强度均呈显著的减少趋势,其大小依次为:临泽县($0.047 \text{ t}/\text{hm}^2$)>高台县($0.036 \text{ t}/\text{hm}^2$)>张掖市($0.014 \text{ t}/\text{hm}^2$)>肃南县($0.010 \text{ t}/\text{hm}^2$)>甘州区($0.008 \text{ t}/\text{hm}^2$),这主要是由于灌溉条件的改善、单位面积的化肥施用量减少共同作用的结果。从图 3 可知,近 10 a 来,甘州区、高台县、临泽县的碳汇强度均大于张掖市的,其他县区均小于张掖市的碳汇强度。山丹县的碳汇强度最小,仍呈增加趋势,这是由于山丹县的碳吸收强度的增加趋势远大于碳排放强度的增加趋势。

综上所述,近 10 a 来,除甘州区外,其他各县区碳吸收、碳汇强度均呈增加趋势;甘州区、高台县、临泽县的年碳吸收及年碳汇强度均大于张掖市的;2001—2010 年民乐县和山丹县碳排放强度呈轻微的增加趋势,其他各县区碳排放强度均呈现出显著的减少趋势。

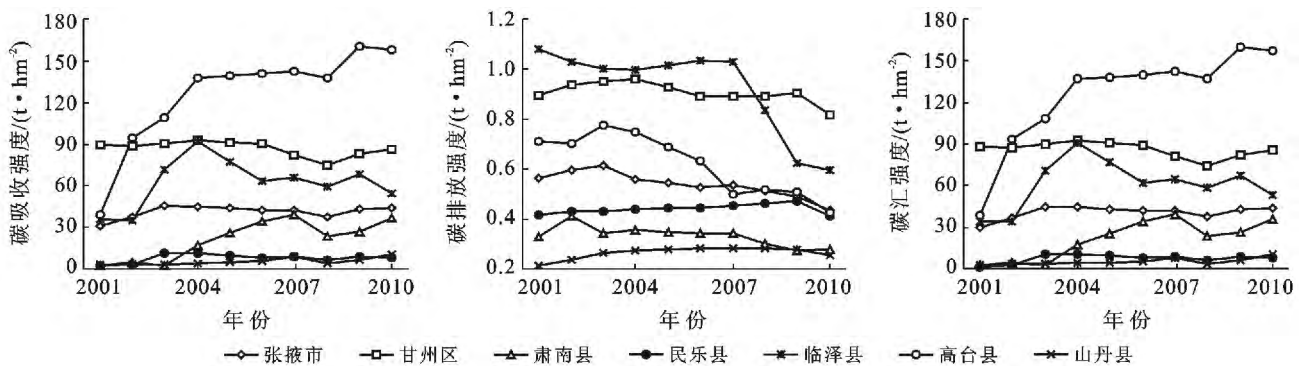


图 3 张掖地区农田生态系统碳吸收强度、碳排放强度和碳汇强度年际变化

3.4 农田生态系统主要途径的碳排放分析

化肥施用、农业机械和灌溉过程是农田碳排放的 3 种主要途径。分别统计 2001—2010 年张掖市的不同途径的碳排放量,结果如图 4 所示。从图 4 可知,整体而言,农田化肥施用带来的碳排放所占比例最大,并呈现逐年增加的趋势;局部而言,2001—2004 年增加趋势比较明显,之后呈下降趋势,这主要是由于春耕时节有机农用肥的施用及肥料配比及施用方式的改变引起的。灌溉过程带来的碳排放占碳排放总量的 30%左右,且逐年呈略微降低的趋势,主要是因为灌溉方式的改变和各种节水措施的实施;其中 2010 年灌溉面积的减少,使得碳排放量迅速减少。农业机械碳排放所占比例较小,不到 5%。因此,可以通过增加有机肥施用量,以及改变肥料的施用方式及秸秆还田,如玉米地可采用免耕及有效配方的施肥方式等措施,从而降低农田生态系统碳排放量。

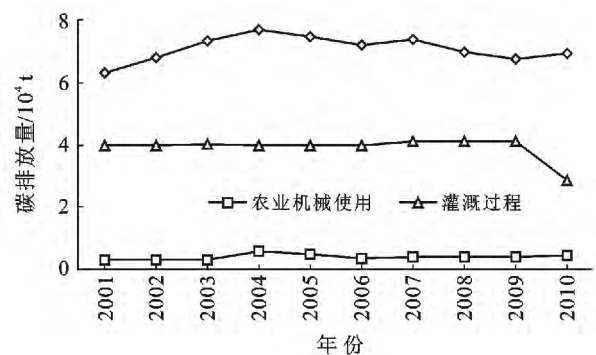


图 4 张掖地区农田生态系统主要途径碳排放量年际变化

4 结论与讨论

(1) 2001—2010 年张掖市农田生态系统碳吸收总量整体上呈显著增加趋势,碳排放总量呈减小趋势;碳汇总量与碳吸收总量的年际变化趋势相似,但碳汇总量具有更显著的增加趋势,即张掖市农田生态

系统具有较强的碳汇功能。各区县碳排放、碳吸收及碳汇强度存在明显的区域差异。张掖市农田生态系统3种途径碳排放所占碳排放总量的比例存在明显的差异,大小依次为:农田化肥施用>灌溉过程>农业机械使用。

(2) 根据碳吸收计算模型,农作物的碳吸收率与经济系数的比值是一个常数,因此,同一种农作物单位面积的碳吸收量仅与该农作物单产量有关,且呈正比;经济作物中棉花的单位面积变化量对碳吸收的贡献率最大;粮食作物中大豆的贡献率最大。碳排放量是化肥施用量、农作物种植面积、农业机械总动力及灌溉面积的一次函数,化肥施用量的单位变化量对碳排放的贡献率最大,灌溉面积次之。综上,如何提高农作物单位面积的产量,合理有效施用化肥农药及灌溉措施的改善对提高碳汇显得尤为重要。

(3) 本研究仅用以行政区划单元为基础的统计数据,对县区的农田生态系统的碳源/汇进行估算,并未考虑土壤呼吸带来的碳排放以及气候、地形等因素对农田生态系统碳汇的影响。借助遥感手段,准确获得像元尺度农田生态系统碳汇的空间分布,对农作物品种的选取、农药和化肥的使用量以及合理灌溉具有重要的指导意义,对农业整体素质和综合能力的提升具有重要意义,为发展低碳、环境友好型农业提供基础。

[参 考 文 献]

- [1] 叶笃正,符淙斌,董文杰. 全球变化科学进展与未来趋势[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 467-469.
- [2] Emanuel W R, Shugart H H, Stevenson M P. Climatic change and the broad scale distribution of terrestrial ecosystems complexes[J]. ClimChange, 1985, 7(1): 29-43.
- [3] Rik L, Bas E. Another reason for concern: Regional and global impacts on ecosystems for different levels of climate change[J]. Glob Environment Change, 2004, 14(3): 219-228.
- [4] 张洁瑕,郝晋珉,段瑞娟,等. 黄淮海平原农业生态系统演替及其可持续性的能值评估[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 102-108.
- [5] Paustian K, Andren O, Janzen H, et al. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions[J]. Soil Use and Management, 1997, 13(4): 230-244.
- [6] Lal R. Carbon sequestration in dry land[J]. Annual Arid Zone, 2000, 39(1): 1-10.
- [7] 刘允芬. 农业生态系统碳循环研究[J]. 自然资源学报, 1995, 10(1): 1-8.
- [8] 鲁春霞,谢高地,肖玉,等. 我国农田生态系统碳蓄积及其变化特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 35-37.
- [9] 赵荣钦,秦周明. 中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(2): 1-6, 11.
- [10] 袁再健,张京京,付亚男. 河北省农田生态系统碳源/汇时空变化及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2012, 32(6): 206-210.
- [11] 王静,冯永忠,杨改河,等. 山西农田生态系统碳源/汇时空差异分析[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2010, 38(1): 195-200.
- [12] 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.
- [13] 祁兴芬. 基于低碳经济的山东省德州市农田生态系统碳汇估算[J]. 水土保持通报, 2013, 33(1): 157-161.
- [14] 邢海虹. 陕南地区农田生态系统碳源/汇时空差异[J]. 陕西理工学院学报:自然科学版, 2013, 29(1): 67-72.
- [15] 王修兰. 二氧化碳、气候变化与农业[M]. 北京:气象出版社, 1996: 53-59.
- [16] 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: 260-261.
- [17] 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.