

林秀群, 葛 颖. 中国西南地区农田生态系统碳源/汇时空差异研究[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(5): 1088-1093.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.05.021

中国西南地区农田生态系统碳源/汇时空差异研究

林秀群, 葛 颖

(昆明理工大学管理与经济学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 为了中国西南地区农业与环境协调发展, 本研究根据 2004–2013 年相关农田生产投入以及主要农作物产量估算和分析了西南地区 5 个省市自治区农田生态系统碳排放和碳吸收。结果表明西南地区农田碳吸收总量、碳吸收强度明显高于碳排放总量、碳排放强度, 但与 2004 年相比, 2013 年碳排放总量、碳排放强度的增幅分别是碳吸收总量、碳吸收强度增幅的 2.4 倍和 7.7 倍。西南地区农田碳排放总量和碳排放强度基本上逐年增加, 而碳吸收总量和碳吸收强度总体呈增长趋势, 波动较大。西南地区农田碳排放量最多的农田生产投入是化肥, 碳吸收量最多的农作物是水稻。西南各省市自治区之间农田碳排放量、碳排放强度、碳吸收量、碳吸收强度都有明显的差异, 2013 年碳排放量和碳吸收量从高到低均是四川、云南、贵州、重庆和西藏, 2013 年碳排放强度和碳吸收强度从高到低均是西藏、云南、四川、重庆和贵州。

关键词: 西南地区; 农田生态系统; 碳源; 碳汇

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2016)05-1088-06

Temporal-spatial variation of carbon source-sink of farmland ecosystem in the Southwestern China

LIN Xiu-qun, GE Ying

(College of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: For coordinating the development of agriculture and environment in Southwestern China, based on the agricultural production inputs and main crops yields from 2004 to 2013, the carbon emission and carbon absorption of the farmland ecosystems in the 5 Southwestern provinces, municipality and autonomous region were estimated and analyzed. Conclusions are reached as follows. The total amounts and intensity of carbon absorption of the farmland ecosystem were significantly higher than the total amounts and intensity of carbon emission in the Southwestern region. Compared to 2004, the growths of total amounts and intensity of carbon emission were respectively 2.4 times and 7.7 times the growths of total amounts and intensity of carbon absorption in 2013. The total amounts and intensity of carbon emission of the farmland ecosystem substantially increased year by year, while the total amounts and intensity of carbon absorption showed over-all upward trend and large fluctuation. Chemical fertilizer emitted the largest amounts of carbon, and rice absorbed the greatest amounts of carbon. Significant temporal-spatial variation was observed in the amounts and intensity of carbon emission and

absorption of the farmland eco-systems in the Southwestern provinces. The amounts of carbon emission and absorption in the region took the order of Sichuan>Yunnan>Guizhou>Chongqing>Tibet in 2013, and the intensity of carbon emission and absorption followed the order of Tibet>Yunnan>Sichuan>Chongqing>Guizhou in 2013.

Key words: Southwestern region; farmland ecosystem; carbon source; carbon sink

收稿日期: 2016-02-23

基金项目: 国家自然科学基金(71263030、71463034); 昆明理工大学管理与经济学院重点领域科研支撑计划项目(QY2015028)

作者简介: 林秀群(1969-), 女, 湖南新宁人, 硕士, 副教授, 主要从事可持续发展研究。(Tel) 13987158101; (E-mail) linxiuqun123@163.com

通讯作者: 葛 颖, (Tel) 15284417955; (E-mail) Geyingwell@163.com

全球变暖已经成为全世界关注的焦点,其原因主要是大气中温室气体尤其是 CO_2 浓度过高造成的。要降低大气中 CO_2 的浓度,需要减少碳源,增加碳汇,大气中约 20% 的 CO_2 来自农业活动及其相关过程^[1-2]。农田生态系统是陆地生态系统的重要组成部分,全球农田生态系统是一个巨大的碳库,其碳存量达 170 Pg, 占全球陆地碳存量的 10% 以上^[3], 是重要的碳源和碳汇,因此,研究农田生态系统的碳源和碳汇具有重要的意义。目前,国内外学者对农田生态系统碳源和碳汇的研究主要围绕农田土壤固碳,对农田碳源和碳汇综合分析和评价较少。Cole 和 Lal 等分别估算了全球农田和农田土壤的固碳潜力^[4-5]。Kindler 发现农田土壤会损失大量的碳^[6]。Wang 等研究发现弗吉尼亚谷部分地区的农田生态系统慢慢由碳源变成了碳汇^[7]。国内农田生态系统碳源、碳汇研究,多集中在沿海地区、东部地区、西北地区碳排放量、碳吸收量的区域特征或时空特征^[8-11],而对西南地区农田生态系统的研究较少。本研究拟对西南地区农田生态系统的碳排放量、碳吸收量进行估算,分析其时空差异,以探索一条适合西南地区农业碳减排的道路。

1 材料与方法

1.1 研究区概况和数据来源

西南地区(重庆、四川、贵州、云南和西藏)位于 $21^{\circ}08' \sim 36^{\circ}53' \text{N}$, $97^{\circ}31' \sim 110^{\circ}12' \text{E}$, 地处中国西南部,是国家的重要生态屏障,总面积约 $2.50 \times 10^8 \text{ km}^2$, 地形地貌十分复杂,气候类型多样,土壤类型丰富。其农田存在以下特点:(1)旱地多于水田,云南、贵州、重庆旱地占耕地面积的比值分别为 75.9%、72.0%、59.9%;(2) 2° 以上坡耕地占比高,云南、贵州、四川、重庆 2° 以上坡耕地占耕地面积的比值分别为 85.17%、94.90%、89.17% 和 96.80%,其中 25° 以上坡耕地占耕地面积的比值分别为 14.54%、17.90%、7.32% 和 22.50%;(3)耕地分布海拔高,中国沿海地区耕地最高海拔为 500 ~ 1 000 m,中部地区耕地海拔为 800 ~ 1 200 m,云贵高原耕地海拔为 1 500 ~ 2 200 m,西藏耕地海拔为 3 500 ~ 4 000 m。云南、贵州、西藏地区耕地的复种指数分别为 90%、96% 和 64%,明显低于全中国平均水平(120%),这是因为这些地区多高原山地,水土流失比较严重,土层薄,土壤肥力低,加上高海拔使

得霜冻、低温等灾害对农业影响较大。

研究的数据主要参考 2005-2014 年《中国农村统计年鉴》、《重庆统计年鉴》、《四川统计年鉴》、《贵州统计年鉴》、《云南统计年鉴》和《西藏统计年鉴》。

1.2 方法

碳源是向大气中排放 CO_2 的活动、过程,碳汇是吸收大气中 CO_2 的活动、过程。提高农田生态系统农作物产量是生物学家及农业工作者努力追求的目标,然而,化肥、农膜、农药、机械等的投入以及灌溉、翻耕等生产方式的采用,虽然提高了农作物产量、光合作用固碳量,却增加了农田生态系统的碳排放。因此,研究农田生态系统需从碳源和碳汇两个方面进行。

1.2.1 农田生态系统碳排放估算方法 碳排放量有西南地区农田生态系统碳排放总量和西南地区各省市自治区农田生态系统碳排放量之分。前者是后者的和,后者则是西南地区各省市自治区农作物种植过程中主要碳源释放的碳的和。碳源主要包括:农用化肥生产和使用、农膜生产和使用、农药生产和使用、农用柴油使用、农业灌溉、农业机械使用等。其中,农业灌溉和机械使用的碳排放主要是指灌溉过程和机械使用过程电能消耗产生的碳。碳排放强度有西南地区和各省市自治区之分,即西南地区和各省市自治区单位时间单位面积农田生态系统的碳排放量。各省市自治区农田碳排放量和碳排放强度的计算公式见式(1)和(2):

$$C_e = \sum_i A_i \alpha_i \quad (1)$$

$$P_c = \frac{C_e}{S} \quad (2)$$

式中, C_e : 区域农田生态系统的碳排放量 (10^4 t); A_i : 区域农田生产过程第 i 种投入的使用量,包括农用化肥使用量、农膜使用量、农药使用量、农用柴油使用量 (10^4 t)、有效灌溉面积、主要农作物播种面积 (10^4 hm^2)、农业机械总动力 (10^4 kW); α_i : 区域农田生产过程第 i 种投入所对应的碳排放系数,见表 1^[12-13]; P_c : 碳排放强度 (t/hm^2); S : 主要农作物播种面积。

1.2.2 农田生态系统碳吸收估算方法 碳吸收量有西南地区农田生态系统碳吸收总量和西南地区各省市自治区农田生态系统碳吸收量之分。前者是后

者的和,而后者是西南地区各省市自治区农作物全生育期经过光合作用所形成的净初级生产力的和。由于农作物固碳是作物整体,故引入经济系数(收获产量比生物产量);不同农作物收获部分的含水量差距大,故引入含水系数。中国主要农作物的碳吸收率、含水系数、经济系数见表 2^[14-16],西南地区各省市自治区主要农作物有玉米、小麦、水稻、油菜、花生、薯类、豆类、蔬菜、甘蔗、烟叶和其他粮食作物。碳吸收强度有西南地区西南地区各省市自治区之分,即西南地区西南地区各省市自治区单位时间单位面积农田生态系统的碳吸收量。西南地区各省

市自治区农田碳吸收量和碳吸收强度的计算公式为:

$$C_a = \sum_j \frac{Y_j \times C_j \times (1 - W_j)}{M_j} \quad (3)$$

$$X_c = \frac{C_a}{S} \quad (4)$$

式中, C_a :区域农田生态系统碳吸收量(10^4 t); Y_j :第 j 种农作物的收获产量(10^4 t); C_j 、 W_j 、 M_j :第 j 种农作物的碳吸收率、收获部分含水系数、经济系数; X_c :碳吸收强度(t/hm^2)。

表 1 农田生产投入的碳排放系数

Table 1 Carbon emission coefficients of agricultural production inputs

项目	化肥 (kg/kg)	农膜 (kg/kg)	农药 (kg/kg)	柴油 (kg/kg)	灌溉 (kg/hm ²)	播种面积 (kg/hm ²)	机械总动力 (kg/kW)
碳排放系数	0.895 6	5.18	4.934 1	0.592 7	266.48	16.47	0.18

表 2 中国主要农作物的碳吸收率(C_j)、含水系数(W_j)、经济系数(M_j)

Table 2 Carbon absorption rate (C_j), moisture coefficient (W_j), and economic coefficient (M_j) of main crops in China

农作物	碳吸收率	含水系数	经济系数	农作物	碳吸收率	含水系数	经济系数
玉米	0.471	0.13	0.40	薯类	0.423	0.70	0.70
小麦	0.485	0.12	0.40	豆类	0.450	0.13	0.34
水稻	0.414	0.12	0.45	其他粮食作物	0.450	0.12	0.40
油菜	0.450	0.10	0.25	蔬菜	0.450	0.90	0.60
花生	0.450	0.10	0.43	甘蔗	0.450	0.50	0.50
棉花	0.450	0.08	0.10	烟叶	0.450	0.15	0.55

2 结果与分析

2.1 西南地区农田生态系统碳排放的时空差异

西南地区农田生态系统碳排放总量逐年增加,2004 年碳排放总量为 855.49×10^4 t,2013 年碳排放总量达到 $1\,145.22 \times 10^4$ t,增幅接近 34%;碳排放强度呈现增长趋势,从 2004 年的 0.39 t/hm² 增加到 2013 年的 0.48 t/hm²,增幅为 23%(表 3),原因是近年来农业现代化和机械化的发展,使农田生产投入增加。由表 3 可知,在西南地区农田碳排放总量中,2004–2013 年所占比例最高的农田生产投入是化肥,占比为 52%~54%,其次是灌溉和农膜,分别为 14%~17% 和 12%~15%。

从区域上来看,西南各省市自治区农田生态系

统的碳排放量和碳排放强度有明显的差异(图 1)。2004–2013 年西南各省市自治区农田生产投入产生的碳排放量都呈上升趋势,碳排放量最多的是四川,其农田碳排放量从 2004 年的 366.36×10^4 t 增加到 2013 年的 433.62×10^4 t,增幅为 18%;其次是云南,其农田碳排放量从 2004 年的 244.13×10^4 t 增加到 2013 年的 382.90×10^4 t,增幅近 57%;贵州与重庆农田的碳排放量非常接近,2013 年分别为 157.97×10^4 t 和 154.15×10^4 t,与 2004 年碳排放量相比,增幅分别是 39% 和 26%;碳排放量最少的是西藏,其农田碳排放量从 2004 年的 9.38×10^4 t 增加到 2013 年的 16.58×10^4 t,由于西藏农田的碳排放量基数小,增幅高达 77%。2013 年四川农田的碳排放量是西藏的 26 倍,因为四川主要农作物的总产量远远高于西

藏,其 2013 年主要农作物的总产量是西藏的 45 倍。2004-2013 年西南各省市自治区农田的碳排放强度也都呈上升趋势,2013 年碳排放强度从高到低分别是西藏、云南、四川、重庆和贵州。西藏农田的碳排放强度从 2004 年的 0.43 t/hm^2 增加到 2013 年的 0.74 t/hm^2 ,增幅高达 72%,这是因为西藏海拔高,其农作物常年遭受低温和霜冻等自然灾害,需要更

多的农田生产投入以保证农作物产量。2013 年云南、四川、重庆农田的碳排放强度分别为 0.58 t/hm^2 、 0.47 t/hm^2 、 0.47 t/hm^2 ,比 2004 年分别增加了 29%、9%、24%,贵州农田的碳排放强度从 2004 年的 0.27 t/hm^2 增加到 2013 年的 0.33 t/hm^2 ,增幅为 22%。

表 3 2004-2013 年西南农田生态系统碳排放量和碳排放强度

Table 3 Amounts and intensity of carbon emission of the farmland ecosystem in 2004-2013 in Southwestern China

年份	碳排放量($\times 10^4 \text{ t}$)						碳排放强度(t/hm^2)
	化肥	农膜	灌溉	农药	柴油	农机	
2004	454.29	105.26	144.87	56.34	58.01	36.72	0.39
2005	469.52	112.19	146.18	57.71	67.92	37.47	0.40
2006	486.95	116.38	146.79	60.34	66.62	35.59	0.44
2007	508.22	120.96	148.88	62.96	64.43	35.72	0.45
2008	525.06	133.26	155.64	68.45	66.45	37.07	0.45
2009	538.96	140.99	160.12	69.00	72.32	38.16	0.46
2010	551.32	141.67	165.11	70.65	79.30	38.88	0.46
2011	578.71	152.61	169.87	71.98	87.18	39.74	0.48
2012	593.26	162.79	162.02	74.25	93.47	40.72	0.48
2013	599.88	168.94	163.03	72.84	98.92	41.61	0.48

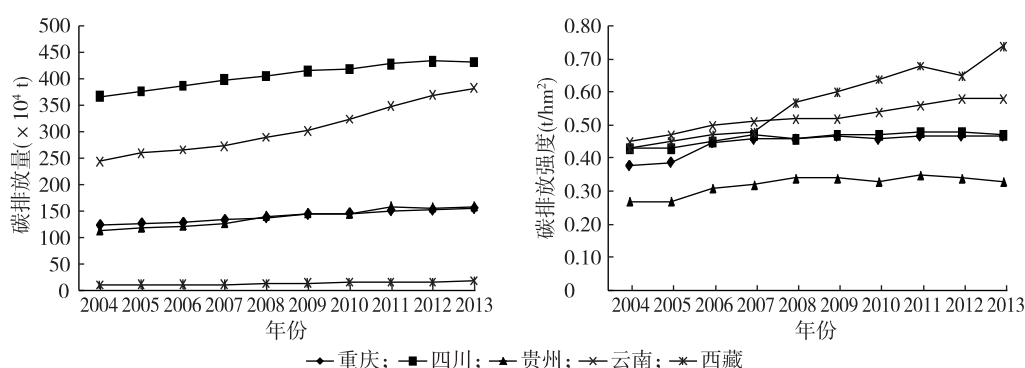


图 1 2004-2013 年西南各省市自治区农田生态系统碳排放量和碳排放强度

Fig.1 Amounts and intensity of carbon emission of the farmland ecosystems in 2004-2013 in the Southwestern provinces

2.2 西南地区农田生态系统碳吸收的时空差异

西南地区农田生态系统碳吸收总量呈增长趋势,2004 年碳吸收总量为 $7\,536.04 \times 10^4 \text{ t}$,2013 年碳吸收总量为 $8\,601.35 \times 10^4 \text{ t}$,增幅为 14%;碳吸收强度总体呈增长趋势,从 2004 年的 3.47 t/hm^2 增加到 2013 年的 3.57 t/hm^2 ,增幅为 3%(表 4)。由表 4 可知,除水

稻、小麦和其他粮食作物的碳吸收量呈下降趋势外,其余主要农作物的碳吸收量都呈增长趋势。在西南地区农田碳吸收总量中,所占比例最高的农作物是水稻,其碳吸收量占比从 2004 年的 34% 减少到 2013 年的 29%,其次是玉米和甘蔗,它们的碳吸收量占比从 2004 年的 21%、11% 增加到 2013 年的 24%、12%。

表4 2004-2013年西南农田生态系统碳吸收量和碳吸收强度

Table 4 Amounts and intensity of carbon absorption of the farmland ecosystem in 2004-2013 in the Southwestern provinces

年份	碳吸收量(×10 ⁴ t)												碳吸收强度 (t/hm ²)
	稻谷	小麦	玉米	豆类	薯类	其他粮食作物	花生	油菜籽	烟叶	甘蔗	蔬菜	总量	
2004	2 547.17	766.85	1 584.17	304.80	207.64	222.66	78.12	488.44	87.78	860.46	387.95	7 536.04	3.47
2005	2 547.73	759.18	1 648.50	336.11	212.25	207.31	79.86	505.78	99.56	732.42	409.39	7 538.09	3.41
2006	2 201.54	699.74	1 608.35	298.80	164.35	143.46	52.99	437.70	97.29	739.76	400.58	6 844.56	3.27
2007	2 389.46	723.85	1 735.78	299.61	185.20	162.86	60.68	422.77	95.07	752.08	419.73	7 247.09	3.46
2008	2 517.53	679.37	1 850.12	351.32	193.88	136.53	73.61	497.34	109.56	944.09	470.90	7 824.25	3.61
2009	2 527.08	679.03	1 882.90	356.72	204.45	132.76	77.99	564.48	115.91	868.99	508.32	7 918.63	3.55
2010	2 504.59	606.81	1 999.48	286.37	200.84	141.37	80.34	523.05	118.85	858.71	542.48	7 862.89	3.47
2011	2 423.79	696.33	1 847.35	333.69	207.47	176.91	80.98	614.77	121.14	918.84	572.38	7 993.65	3.46
2012	2 494.86	683.74	2 051.41	338.77	216.48	162.17	86.20	644.40	133.55	1 010.28	614.09	8 435.95	3.57
2013	2 495.52	652.04	2 105.39	342.67	226.34	188.60	87.90	652.77	129.26	1 068.05	652.81	8 601.35	3.57

从区域上来看,西南各省市自治区农田生态系统碳吸收量和碳吸收强度有明显的差异(图2)。2004-2013年,贵州农田主要农作物碳吸收量呈下降趋势,其余省市自治区都呈上升趋势,且西藏主要农作物碳吸收量上升趋势较平稳。在西南地区里,碳吸收量最多的是四川,其农田碳吸收量从2004年的 $3\,134.34 \times 10^4$ t增加到2013年的 $3\,520.20 \times 10^4$ t,增幅为12%;其次是云南、贵州和重庆,2013年农田碳吸收量分别为 $2\,822.21 \times 10^4$ t、 $1\,114.69 \times 10^4$ t和 $1\,031.90 \times 10^4$ t,比2004年分别增加了29%、-3%和6%;碳吸收量最少的是西藏,其农田碳吸收量从2004年的 105.75×10^4 t增加到2013年的 112.35×10^4 t,增幅为6%。贵州农田碳吸收量减少的根本原因是农作物种植结构变化和耕地面积减少,使2013年水稻、小麦、玉米和豆类产量之和比2004年减少

了 191.60×10^4 t。2004-2013年,贵州农田碳吸收强度呈下降趋势,重庆、四川、云南和西藏农田碳吸收强度均呈上升趋势。2013年农田碳吸收强度从高到低分别是西藏、云南、四川、重庆和贵州,分别为 $5.01 \text{ t}/\text{hm}^2$ 、 $4.26 \text{ t}/\text{hm}^2$ 、 $3.85 \text{ t}/\text{hm}^2$ 、 $3.17 \text{ t}/\text{hm}^2$ 和 $2.32 \text{ t}/\text{hm}^2$,比2004年的碳吸收强度,增幅分别为4%、7%、6%、4%和-14%。

3 讨论

2004-2013年西南地区农田生态系统碳排放总量和排放强度基本上逐年增加,变化范围分别为 $855.49 \times 10^4 \sim 1\,145.22 \times 10^4$ t, $0.39 \sim 0.48 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。在碳排放总量中,占比前三的农田生产投入是化肥、灌溉和农膜。西南各省市自治区之间农田碳排放量和排放强度有明显的差异,2013年碳排放量从高到低

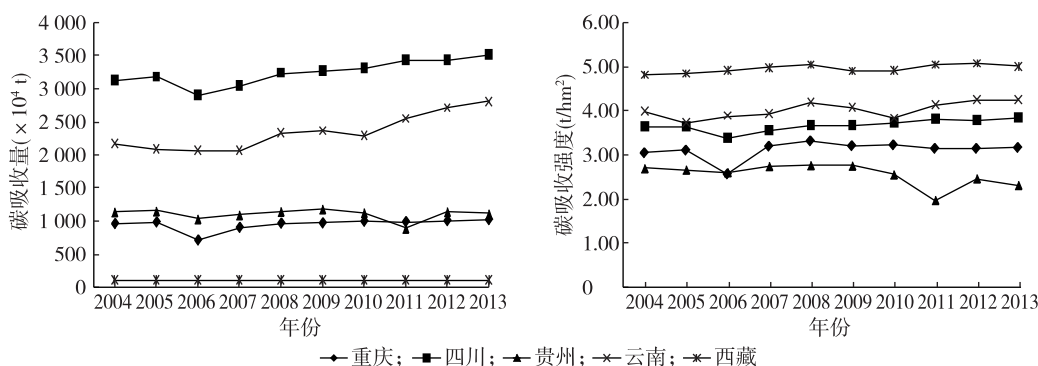


图2 2004-2013年西南各省市自治区农田生态系统碳吸收量和碳吸收强度

Fig.2 Amounts and intensity of carbon absorption of the farmland ecosystems in 2004-2013 in the Southwestern provinces

是四川、云南、贵州、重庆和西藏,2013年碳排放强度从高到低分别是西藏、云南、四川、重庆和贵州。

2004–2013年西南地区农田生态系统碳吸收总量和吸收强度总体呈增长趋势,变化范围分别为 $6\,844.56 \times 10^4 \sim 8\,601.35 \times 10^4 \text{ t}$, $3.27 \sim 3.57 \text{ t/hm}^2$ 。在碳吸收总量中,占比前三的农作物是水稻、玉米和甘蔗。西南各省市自治区之间农田碳吸收量和吸收强度有明显的差异,除贵州农田碳吸收量和吸收强度呈下降趋势外,其余都呈上升趋势,2013年碳吸收量从高到低分别是西藏、云南、四川、重庆和贵州。

2004–2013年西南地区农田生态系统碳吸收总量、吸收强度明显高于碳排放总量、排放强度,表明西南地区农田具有较强的固碳能力。但与2004年相比,2013年碳排放总量的增幅(34%)是碳吸收总量增幅(14%)的2.4倍,西南地区农田碳排放强度的增幅(23%)是碳吸收强度增幅(3%)的7.7倍。究其原因,是因为近年来耕地面积不断减少,农作物种植结构发生变化,以及农田生产投入的大量增加。

西南各省市自治区农田生态系统碳吸收量明显高于碳排放量,这表明西南各省市自治区农田具有较强的固碳能力,与周陶等、肖厚军等^[17-18]的研究结果相似。但与段华平等^[8]的研究结果存在差异:第一是西南各省市自治区农田生态系统的碳排放量和碳吸收量与其不同,本研究选取了更为全面的碳源和碳汇,并且在计算农作物碳吸收量时使用了含水系数,这与韩召迎等^[14]的研究方法相同;第二是西南各省市自治区农田生态系统碳排放强度和碳吸收强度与其不同,由于部分耕地存在复种,本研究认为使用主要农作物的播种面积比耕地面积更为准确,这与罗广芳等^[19]的研究方法相同。说明本研究结果能基本反映西南地区农田生态系统碳排放和碳吸收的时空差异,但本研究未计算土壤呼吸产生的碳排放和土壤碳吸收,并且碳排放系数没有根据研究区域实际情况进行修正,在一定程度上会影响估算的准确性,这也将是我们今后的研究重点。

参考文献:

- [1] IPCC. Working Group [J]. Greenhouse gas mitigation in agriculture [R]. Fourth Assessment Report, 2006: 4-8.
- [2] 方阳阳,王凤杰,兰鹏.基于无线传感器网络的森林碳汇地面监测系统的设计[J].山东农业科学,2015,47(1):115-118,134.
- [3] LAL R, KIMBLE J M, FOLLET R F, et al. The potential of US crop land to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect [M]. Chelsea, MI: Sleeping Bear Press, 1998: 128.
- [4] COLE C V. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emission [C]. // WATSON R T, ZINYOWERA M C, MOSS R H, et al. Climate change 1995-impacts, adaptations and mitigation of climate change: intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 1-27.
- [5] LAL R, BRUCE J P. The potential of world crop land soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect [J]. Environmental Science & Policy, 1999, 2(2): 177-185.
- [6] KINDLER R, SIEMENS J. Dissolved carbon leaching from soil is a crucial component of the net ecosystem carbon balance [J]. Global Change Biology, 2011, 17(2): 1167-1185.
- [7] WANG J, EPSTEIN H. Estimating carbon source-sink transition during secondary succession in a Virginia valley [J]. Plant and soil, 2012, 362(1/2): 135-147.
- [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] 李艳春,王成己,叶菁,等.福建省农田生态系统碳源/汇时空变化及其影响因素分析[J].福建农业学报,2014,29(11):1098-1103.
- [10] 钱晓雍.上海农田生态系统影响因素分析[J].农业环境科学学报,2011,30(7):1460-1467.
- [11] 师银芳,赵军.张掖市农田生态系统碳源/汇时空分布特征[J].水土保持通报,2015,35(4):283-287.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [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] 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.
- [16] 谷家川,查良松.皖江城市带农作物碳储量动态变化研究[J].长江流域资源与环境,2012,21(12):1507-1513.
- [17] 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.
- [18] 肖厚军,秦松,何佳芳,等.贵州主要作物固碳现状和潜力估算[J].农业环境与发展,2012,29(2):20-23.
- [19] 罗广芳,张建军,饶永恒,等.武安市农田生态系统碳源与碳汇研究[J].河南农业科学,2015,44(5):81-86.

(责任编辑:姜华珏)