

山西农田生态系统碳源/汇时空差异分析

王 静^{1a,2}, 冯永忠^{1b,2}, 杨改河^{1b,2}, 陈 兵³

(1 西北农林科技大学 a 资源环境学院, b 农学院, 陕西 杨凌 712100; 2 陕西省循环农业工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100;
3 石河子大学 新疆兵团绿洲生态农业重点开放实验室, 新疆 石河子 832003)

【摘要】 **【目的】**分析山西省农业碳循环过程, 为该省的农作物布局, 以及利用农业结构调整固碳减排提供科学依据。**【方法】**运用山西省 11 个地区 2000—2006 年作物产量、种植面积、农业投入等统计数据, 对山西省各地区农田生态系统部分碳源/汇进行了分析。**【结果】**(1) 山西省农田生态系统碳吸收总量从 2000 年以来呈现波动增加趋势, 碳吸收总量从 2000 年的 2 010 万 t 增加到 2003 年的 2 330 万 t, 上升近 11%, 但从 20 世纪初期以后开始呈现下降趋势, 从 2003 年的 2 330 万 t 下降到 2006 年的 2 230 万 t; 2006 年运城和临汾主要以小麦碳吸收为主, 其余各市都以玉米碳吸收为主, 其中玉米的碳吸收量和单位面积碳吸收量呈增长趋势, 稻谷、高粱的碳吸收量和单位面积碳吸收量呈明显下降趋势。(2) 山西省农田生态系统碳排放总量从 2000 年以来呈逐渐增加趋势, 增长了 8.8%; 估算的 3 种主要碳排放途径中, 肥料生产导致的间接碳排放所占比例较大, 增速较快, 增长近 13%, 农业机械生产和灌溉过程碳排放变化不大; 2006 年山西晋城和运城的碳排放量最高, 都达到了碳排放总量的 22%, 单位面积碳排放量也呈逐年增加趋势。(3) 山西省农田主要碳吸收量大于主要途径碳排放量。**【结论】**山西省农田作物具有较大的碳吸收功能, 其中小麦和玉米的农田碳吸收功能较强, 但其碳排放的增速也很明显, 说明山西省农业投入的增加和机械化程度的提高, 削弱了农田生态系统的碳汇功能。

【关键词】 山西省; 农田生态系统; 碳吸收; 碳排放; 时空差异

【中图分类号】 S181

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)01-0195-06

Temporospatial variation analysis of carbon source/sink of farm land ecosystem in Shanxi

WANG Jing^{1a,2}, FENG Yong-zhong^{1b,2}, YANG Gai-he^{1b,2}, CHEN Bing³

(1 a College of Resource and Environment, b College of Agronomy, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2 The Research Center for Recycling Agricultural Engineering Technology of Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China;
3 Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Corps, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

Abstract: **【Objective】** The study analyzed agricultural carbon cycle process of Shanxi, which can provide scientific basis for crop layout and for fixing carbon and reducing discharge by using agricultural structure adjustment in Shanxi. **【Method】** Based on the statistic data of crop yield, planting area and agricultural input in the period from 2000 to 2006, carbon sources and sinks of each farmland ecosystem in Shanxi were abaktzed. **【Result】** (1) Farmland total carbon absorption of Shanxi showed a gradual rise trend and increased nearly 11% during the 10 years; wheat is the main carbon absorption crop in citys of Yuncheng and Linfeng, while corn in other regions; carbon absorption and unit area carbon absorption of rice showed a trend of gradual increase which is exactly contrary to corn and sorghum. (2) Farmland total carbon emissions of Shanxi gradually increased and rose nearly 8.8% during the 15 years; of the three main ways of estimated carbon emissions, the increase rate(13%) of the indirect carbon emission caused by fertilizer produc-

* [收稿日期] 2009-04-22

[基金项目] 山西省气象科学基金项目; 西北农林科技大学科研专项(07ZR022)

[作者简介] 王 静(1981—), 女, 新疆石河子人, 硕士, 主要从事生态学研究。E-mail: jing108@126.com

[通信作者] 冯永忠(1972—), 男, 甘肃渭源人, 副教授, 主要从事资源与环境生态研究。

tion was higher and the speed was faster, however, carbon emissions of farm machinery production and irrigation process changed little; compared with carbon emissions in each area of Shanxi in 2006, carbon emissions were the highest in Jincheng and Yuncheng, which all reached 22% of total carbon emissions; and meanwhile, unit area carbon emissions gradually increased from 2000 to 2006. (3) From the comparison of farmland carbon absorptions and emissions of Shanxi, carbon absorptions were more than carbon emissions. 【Conclusion】 Farmland crops have larger carbon absorption ability in Shanxi, and farmland carbon absorption ability of corn and wheat is relatively stronger, however, carbon emissions increase is very obvious. The results also show that the increase in agricultural input and the improvement of mechanized of Shanxi weaken the carbon absorption ability of farmland ecosystems

Key words: Shanxi Province; farmland ecosystem; carbon absorption; carbon emission; timespace difference

工业革命以来,人类活动向大气排放了大量的温室气体,且各种温室气体的浓度呈显著增加趋势。据报道,自 1850 年以来,全球平均气温增加了 $0.3 \sim 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1],早在 1991 年,全球大气中仅 CO_2 浓度就达到 $355\text{ }\mu\text{mol/mol}$ ^[2],较工业革命前增加了近 25%,而且高于 16 万年以来的任何时期^[3]。为减少全球温室气体的排放,1997 年签订的京都协议对发达国家温室气体年排放限量和具体时间表做出了规定,并对发展中国家做了具体的要求和规定以及需要履行的义务^[4]。目前,所排放的 CO_2 估计有约 25% 来自土地利用的变化^[5]。另据报道,20 世纪 90 年代初全球土地面积近 40% 转化为耕地或永久牧场,而这种转变很大程度上是以牺牲森林和草地为代价实现的^[6],从而导致生态系统的退化,使其作为 CO_2 汇的功能在大幅度削弱。研究发现,由于土壤呼吸,每年向大气释放含 $(1.6 \pm 1.0)\text{ Pg C}$ 的 CO_2 ^[7]。之后,各国进一步加强了对碳循环和碳收支问题的研究,目前碳循环已成为全球变化研究的重点领域。从现在的研究结果来看,碳失汇^[8]最有可能存在于陆地生态系统中^[9-10],但有关中国陆地生态系统的碳汇问题仅在个别文献^[10-11]中提到,有关农田生态系统碳循环的研究尤为薄弱。目前,对农田碳循环的研究多集中在稻田甲烷^[12-13]、土壤碳^[14]等方面,而关于农田生态系统碳源/汇功能的综合估算和评价方面的研究很少。由于山西特殊的自然条件、能源经济结构和布局,其生态环境问题较为严重。为此,本研究以 2000—2006 年山西省作物产量、种植面积、农业投入等统计数据为基础,对山西省农田生态系统碳源/汇强度时空差异进行估算分析,以提供更精确的农业源排放清单,系统了解山西农业碳循环过程,以期对山西省农作物布局,以及利用农业结构调整固碳减排提供科学依据。

1 研究区概况

山西地处温带大陆性季风气候区,四季分明,冬寒夏热,气温的年较差和日较差均大。日照仅次于西藏和西北一些地区,积温有效性高。全年平均气温 $4 \sim 14\text{ }^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 $42.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (运城),极端最低气温 $-44.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (五台山顶)。全省降水量常年在 $400 \sim 650\text{ mm}$,由东南向西北递减,山区较多,盆地较少。由于山西特殊的自然条件、能源经济结构和布局,本试验选取山西省 11 个地区(太原、大同、阳泉、长治、晋城、朔州、晋中、运城、吕梁、临汾、忻州)的农田生态系统作为研究对象,其基本代表了山西农业生产区不同的生态系统类型,且各地区农作物种植结构差异明显。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2000—2006 年山西省 11 个地区各种农作物产量,种植面积和灌溉、施肥、农业机械等农业投入统计数据,来自山西省年鉴和统计资料,由山西省气象局提供。

2.2 研究方法

本研究对碳吸收和碳排放采用分别估算的方法。参考赵荣钦等^[15]的估算方法仅对部分碳源/汇进行了估算,具体方法如下。

作物生育期碳吸收量(C_i)估算公式为:

$$C_i = \sum_i C_d, \quad (1)$$

式中: i 为第 i 种农作物种类; C_d 为某种作物全生育期对碳的吸收量, $C_d = C_f D_w = C_f Y_w / H_o$; C_f 为作物合成单位有机质干质量所吸收的碳; D_w 为生物产量; Y_w 为经济产量; H_o 为经济系数。

中国主要农作物部分碳排放量(E_i)(本研究仅

考虑 3 种主要的间接碳排放途径)估算公式为:

$$E_i = E_f + E_m + E_i. \quad (2)$$

式中: E_f 、 E_m 和 E_i 分别为肥料生产、农业机械生产和灌溉过程中产生的碳排放。各种碳排放计算公式为:

$$E_f = G_f \cdot A, \quad (3)$$

式中: G_f 为化肥使用量; A 为转换系数, $A = 857.54$ kg/Mg。

$$E_m = A_m \cdot B + W_m \cdot C, \quad (4)$$

式中: A_m 为农作物种植面积; W_m 为农业机械总动力; B 、 C 为转换系数, $B = 16.47$ kg/hm², $C = 0.18$ kg/kW。

$$E_i = A_i \cdot D, \quad (5)$$

式中: A_i 为灌溉面积; D 为转换系数, $D = 266.48$ kg/hm²。

3 结果与分析

3.1 山西省农田生态系统碳吸收量的变化

3.1.1 2006 年各市农田生态系统碳吸收量的变化

由表 1 可以看出,2006 年山西省各市农作物生育期总碳吸收中,运城和临汾较多,分别占总碳吸收的 18%和 16%;阳泉最少,仅占 1.8%。2006 年山西省各市不同农作物碳吸收量存在很大差异,其中运城和临汾主要以小麦碳吸收为主,分别占各地区总碳吸收的 54%和 47%,其次是玉米,分别为 41%和 43%;其余各市均以玉米碳吸收为主,其中阳泉、长治、忻州、大同、朔州所占的比例较大,玉米碳吸收分别占各地区碳总吸收量的 92%,88%,87%,85%,85%,这主要是农作物种植结构的差异造成的。

表 1 2006 年山西省各市主要农作物生育期碳吸收量的比较

地区 Area	小麦 Wheat	玉米 Corn	谷子 Millet	高粱 Sorghum	稻谷 Rice	油料 Peanuts	棉花 Cotton	大豆 Soybean	马铃薯 Potato	合计 Total
太原 Taiyuan	3.85	24.6	0.92	1.21	—	0.31	0.05	0.59	0.52	31.97
大同 Datong	—	68.89	3.21	0.35	0.23	2.47	—	1.73	3.98	80.63
阳泉 Yangquan	0.17	21.15	1.28	0.01	—	0.07	—	0.12	0.28	23.08
长治 Changzhi	11.43	136.82	0.12	0.94	0.36	1.05	—	2.13	3.47	155.96
晋城 Jincheng	29.56	54.06	3.65	1.34	—	1.38	0.18	10.77	0.93	101.87
朔州 Shuozhou	0.13	67.45	1.5	0.31	0.05	4.12	—	1.7	4.04	79.25
晋中 Jinzhong	11.95	113.68	6.52	3.72	—	2.43	0.14	6.35	2.71	147.50
运城 Yuncheng	126	94.55	0.89	0.09	—	2.65	4.91	3.33	0.05	232.47
忻州 Xinzhou	0.12	104.61	4.11	0.98	0.10	4.24	—	2.03	4.63	120.72
临汾 Linfeng	95.38	85.55	6.14	0.68	—	4.17	3.38	3.72	1.47	200.49
吕梁 Lüliang	9.35	53.41	4.34	1.41	—	3.33	0.05	5.62	3.69	81.20
合计 Total	287.94	824.77	32.68	11.04	0.74	26.22	8.71	38.09	25.77	1 255.22

3.1.2 农田生态系统碳吸收量和单位面积碳吸收量的时空变化 由图 1 可知,玉米的碳吸收量明显高于其他作物,并呈现逐年增加趋势,从 2000 年的 417.63 万 t 增加到 2006 年的 762.40 万 t,增幅为 45%;稻谷的碳吸收量呈明显降低趋势,从 2000 年的 3.02 万 t 下降到 2006 年的 0.76 万 t,降低了 75%,高粱和油料分别降低了 61%,57%;小麦和大豆的碳吸收量变化不大,小麦在 260 万~311 万 t 波动,而大豆在 29 万~48 万 t 波动。

由图 2 可以看出,山西省各年份农田生态系统的单位面积碳吸收量,除棉花、玉米和小麦呈现增加趋势外,其余作物均呈降低趋势。其中稻谷、高粱降低较明显,稻谷从 2000 年的 6.65 t/hm² 下降到 2006 年的 4.30 t/hm²,下降了 35%;高粱从 2000 年的 5.67 t/hm² 下降到 2006 年的 4.01 t/hm²,下降了 29%;小麦增长最快,从 2000 年的 2.91 t/hm² 增

加到 4.17 t/hm²,上升了近 43%,其余作物均在 0.9~2.5 t/hm² 波动。主要原因是自 20 世纪 90 年代以来,随着山西经济发展和各种气象因素的影响,稻谷、高粱的耕地面积明显减少,小麦、玉米的种植面积明显增加。

3.1.3 农田生态系统总碳吸收量的时空变化 将各个年份的所有农作物的碳吸收量相加,得到各个年份农田生态系统碳吸收总量,结果见图 3。由图 3 可以看出,自 2000 年以来,山西省各年份农田生态系统碳吸收总量整体呈现波动增加的趋势,碳吸收总量从 2000 年的 2 010 万 t 增加到 2003 年的 2 330 万 t,上升近 11%;但从 20 世纪初期以后开始呈现下降趋势,从 2003 年的 2 330 万 t 下降到 2006 年的 2 230 万 t。表明 20 世纪初期以来,山西省农作物种植面积显著降低,导致农作物生育期碳吸收总量减少。

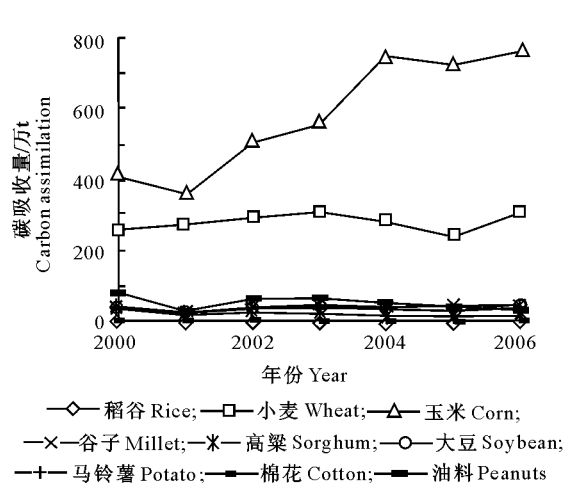


图 1 山西省各年份农田生态系统碳吸收量的比较
Fig. 1 Comparison of carbon assimilation of farmland ecosystem every year in Shanxi

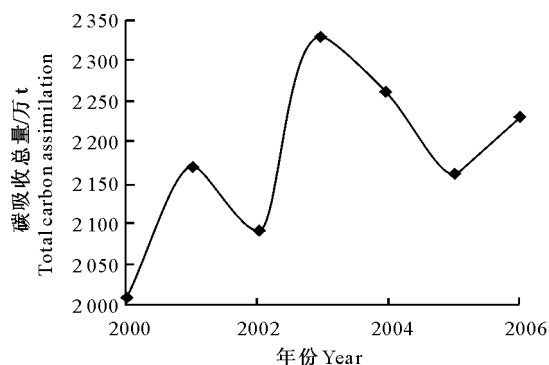


图 3 山西省各年份农田生态系统碳吸收总量的变化趋势
Fig. 3 Changes in total carbon assimilation of farmland ecosystem every year in Shanxi

3.2 山西省农田生态系统碳排放量的变化

3.2.1 2006 年各市农田生态系统主要途径碳排放

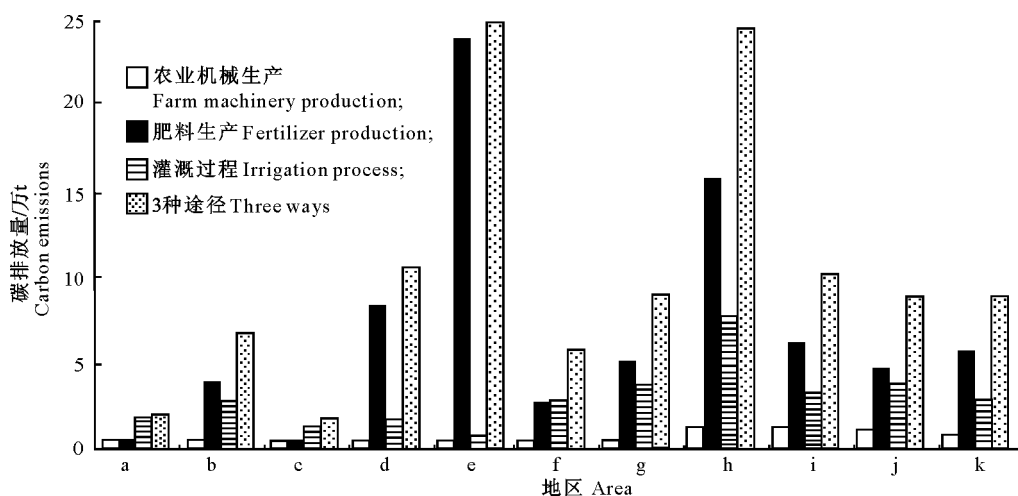


图 4 2006 年山西省各地区农田生态系统 3 种途径碳排放量的变化
a. 太原 b. 大同; c. 阳泉; d. 长治; e. 晋城; f. 朔州; g. 晋中; h. 运城; i. 忻州; j. 临汾; k. 吕梁

Fig. 4 Changes of the three carbon emission way in Shanxi in 2006

a. Taiyuan; b. Datong; c. Yangquan; d. Changzhi; e. Jincheng; f. Shuozhou; g. Jinzhong; h. Yuncheng; i. Xinzhou; j. Linfen; k. Lüliang

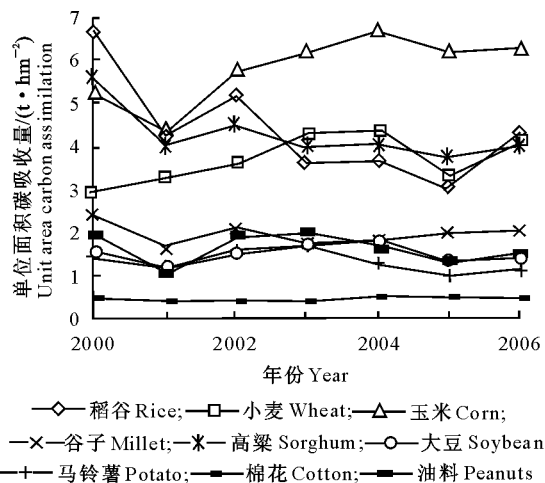


图 2 山西省各年份农田生态系统单位面积碳吸收量的比较
Fig. 2 Comparison of unit area carbon assimilation every year in Shanxi

量的变化 山西省各市 2006 年肥料生产、农业机械生产和灌溉过程带来的碳排放量计算结果见图 4。由图 4 可知, 3 种主要碳排放途径中, 肥料生产所占比例较大, 达到了总碳排放的 68%, 其次是灌溉过程, 为总碳排放的 27%; 农业机械生产碳排放量最少, 为 6.37 万 t。

由图 4 可见, 晋城和运城的碳排放量最高, 分别为 24.66 万, 24.36 万 t, 这主要是由于近几年两地区的发展较快, 耕地和灌溉面积有所增加, 有较高的农业投入, 而这些农业投入间接释放了大量的碳; 其次是忻州、长治。从 3 种途径碳排放量比较得出, 除太原灌溉过程碳排放量最高外, 其余地区都是肥料生产碳排放量最多。

3.2.2 农田生态系统主要途径和单位面积碳排放量的时空变化 由图5(左)可知,山西省农田生态系统的3种途径碳排放量由2000年的110.57万t上升至2006年的120.39万t,增长了8.8%,基本上呈逐年增加趋势,其中肥料生产碳排放量增加明显,由2000年的74.52万t增至2006年的84.28万t,增长近13%,农业机械生产碳排放量呈微弱增加趋势,由2000年的6.56万t增至2006年的6.99万t,仅增加了0.43万t,但是灌溉过程碳排放量呈逐

年降低趋势。说明随着山西省经济的发展和机械化水平的提高,虽然维持了较高的作物产量,但也带来了负面影响;灌溉方式的改进使得灌溉过程碳排放量有所降低,但由于农业肥料生产和使用量的大幅增长,导致山西省碳排放总量基本呈上升趋势。山西省主要途径单位面积碳排放量也基本呈上升趋势(图5右),由2000年的0.273 t/hm²增至2006年的0.313 t/hm²,增幅为15%,说明种植面积减少的同时,更多的农业投入会释放更多的碳。

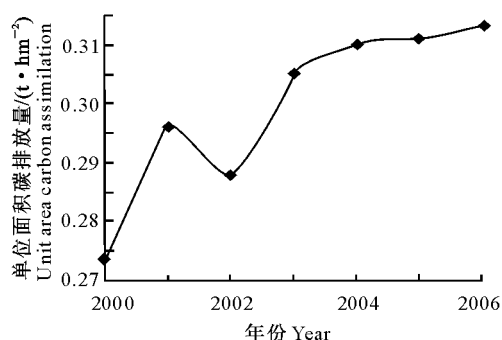
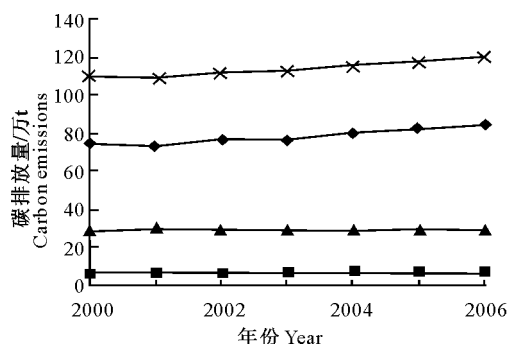


图5 山西省各年份农田生态系统主要途径碳排放量和单位面积碳排放量的变化

—◆—肥料生产;—■—农业机械生产;—▲—灌溉过程;—×—3种途径

Fig. 5 Changes in the main farmland ecosystems and unit area carbon emission every year in Shanxi

—◆—Fertilizer production used;—■—Farm machinery production;—▲—Irrigation process;—×—Three ways

3.3 山西省农田生态系统碳吸收和碳排放总量的比较

1)从总量上来看,山西省农田生态系统碳吸收总量大于主要途径碳排放量。2006年农田碳吸收和主要途径碳排放总量分别为2230万和120.39万t,二者之比接近于19:1。尽管本研究仅考虑了部分碳排放,但仍可看出山西省农田作物具有较大的碳吸收功能。

2)从时间过程来看,山西省农田碳吸收在20世纪初期增长了近11%,到20世纪初期以后明显下降,而农田碳排放在近10年内增长了8.8%,所以整体而言,碳吸收的增长速度要大于碳排放的,这反映了碳吸收和碳排放的不平衡。

3)从地区差别来看,在各地碳吸收和排放总量中,运城、晋城碳排放和吸收总量都较大,这反映了农业人工投入的增加,尽管维持了较高的作物产量,但同时也造成了更多的碳排放。

4)从碳汇能力来看,2000—2006年,各作物生态系统平均每年碳吸收量依次为玉米>小麦>油料>谷子>大豆>马铃薯>高粱>棉花>稻谷,其中玉米的生态系统碳吸收功能较明显,并且呈逐年增长趋势,平均每年的碳吸收量为584万t;其次是小麦,为283.15万t;稻谷的生态系统碳吸收量最低,平均每年

为1.50万t。由此说明山西适合大量播种玉米和小麦为一体的主要农业种植模式,其余作物采取套种或间作的方式,以此为目标达到固碳的目的。

4 结论与讨论

1)2000—2006年,山西省农田生态系统碳吸收总量在20世纪初期增长了近11%,到20世纪初期以后明显下降。这表明山西自改革开放以来,农作物产量极大提高,从而实现了大量的碳固存。伴随着农作物产量的提高,玉米的碳吸收量和单位面积碳吸收量均呈明显增长趋势,稻谷、高粱的碳吸收量和单位面积碳吸收量均呈明显下降趋势。小麦和大豆的碳吸收量变化不大,小麦在260万~311万t波动,而大豆在29万~48万t波动。自20世纪初以后,总碳吸收呈明显下降趋势,说明在这个阶段随着大量农用地转为非农用地,农作物种植面积减少,使作物的生物产量有所下降;另外,农业能源和化肥的使用也使农田生态系统间接排放了大量的碳。

2)2000—2006年,山西省农田生态系统碳排放量呈增长趋势,碳排放总量由2000年的110.57万t上升至2006年的120.39万t,增长了8.8%,估算的3种主要碳排放途径中,肥料生产导致的间接碳排放所占比例较大,且增速较快,增长近13%。

2006 年各地区碳排放量以晋城和运城最高,分别为 24.66 万和 24.36 万 t,均达到了总碳排放量的 22%。单位面积碳排放量也呈逐年增加趋势,基本上保持在 $0.2 \sim 0.3 \text{ t/hm}^2$,这表明尽管单位面积作物产量逐年增加,但随着单位面积农业投入的增加,农业发展及农业产量的提高越来越依赖于农业投入,这同时也造成了更多的碳释放。

3)通过对山西省农田碳吸收和主要途径碳排放的分析可知,碳吸收大于主要途径碳排放,说明农田作物具有较强的碳吸收功能,其中小麦和玉米的生态系统碳吸收功能均较强,应充分发挥其固碳的优势,为农田生态系统固碳提供有力保证。但碳排放的增速明显超过了碳吸收,并且随着农业投入的增加和机械化程度的提高,这一趋势会进一步加剧。

本研究仅是对山西省农田生态系统碳源/汇的估算,是以统计资料为主,而且只是对部分碳源/汇进行了估算,其中工业过程和土壤呼吸也会造成大量碳排放,对农田生态系统也有一定影响,因此难免会存在一定的误差。在以后的研究过程中,应深入探讨农田特别是农田土壤碳循环的机理,对不同地域农田生态系统进行长期定位观测,评价不同条件和可能因素对碳吸收和排放的影响,提高估算的精度;同时,应加强遥感技术在碳动态监测中的应用,以便在可行范围内对农田碳循环进行分析。

[参考文献]

- [1] Houghton J T. Climate change 1995: The science of climate change, published for IPCC, in collaboration with the World Meteorological Organization and the United Nations Environment Programme [M]. UK: Cambridge University Press, 1996: 4-15.
- [2] Houghton J T, Jenkins G J, Ephraïm J J. Climate change: The IPCC scientific assessment [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 1990: 1-15.
- [3] 刘允芬. 农业生态系统碳循环研究 [J]. 自然资源学报, 1995, 11(1): 1-8.
Liu Y F. Study of agricultural ecosystem carbon cycle [J]. Journal of Natural Resources, 1995, 11(1): 1-8. (in Chinese)
- [4] 方精云. 全球生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 246-257.
Fang J Y. Global ecology [M]. Beijing: Publishing House of Higher Education, 2000: 246-257. (in Chinese)
- [5] Houghton J T, Collander B A, Varney S K, et al. IPCC climate change 1992: The supplementary report to the IPCC scientific assessment [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992: 25-56.
- [6] 世界资源研究所, 联合国环境规划署, 联合国开发计划署, 等. 世界资源报告 (1998—1999) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999: 229-245.
- World Resources Institute, United Nations Environment Program, United Nations Development Program, et al. World resources report (1998—1999) [M]. Beijing: China Environment Science Press, 1999: 229-245. (in Chinese)
- [7] 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.
Li K R. Land-use change and net greenhouse gas emissions and the carbon cycle of terrestrial ecosystems [M]. Beijing: Meteorological Press, 2000: 250. (in Chinese)
- [8] 李玉强, 赵哈林, 陈银萍. 陆地生态系统碳源与碳汇及其影响机制研究进展 [J]. 生态学杂志, 2005, 24(1): 37-42.
Li Y Q, Zhao H L, Chen Y P. Terrestrial ecosystem carbon sources and carbon sinks and its impact on the progress of mechanisms [J]. Journal of Ecology, 2005, 24(1): 37-42. (in Chinese)
- [9] 尉海东, 马祥庆, 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.
Wei H D, Ma X Q, Liu A Q, et al. Forest ecosystem carbon cycle research [J]. Journal of the Chinese Eco-agriculture, 2007, 15(2): 188-192. (in Chinese)
- [10] 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.
Xu X F, Tian H Q, Wan S Q. Climate warming on terrestrial ecosystem carbon cycle of effect [J]. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(2): 175-188. (in Chinese)
- [11] 赵风华, 于贵瑞. 陆地生态系统碳-水耦合机制初探 [J]. 地理科学进展, 2008, 27(1): 32-38.
Zhao F H, Yu G R. Terrestrial ecosystem carbon-water of the coupling mechanism [J]. Progress in Geographical, 2008, 27(1): 32-38. (in Chinese)
- [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固碳研究的进展与问题 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 901-914.
Pan G X, Li L Q, Zheng J F, et al. Soil carbon cycle research and carbon sequestration in China paddy soil and the issue of the progress of the study [J]. Journal of Soil, 2008, 45(5): 901-914. (in Chinese)
- [13] 柳铮铮, 曾从盛, 钟春棋, 等. 酸沉降对泥炭地甲烷排放和碳循环的影响 [J]. 生态学杂志, 2008, 27(10): 1799-1805.
Liu Z Z, Zeng C S, Zhong C Q, et al. Acid deposition on peatland methane emissions and the impact of the carbon cycle [J]. Journal of Ecology, 2008, 27(10): 1799-1805. (in Chinese)
- [14] 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.
Yang X M, Zhang X P, Fang H J. Agricultural soil carbon sequestration to reduce global warming of contributions [J]. Geographical Science, 2003, 23(1): 101-106. (in Chinese)
- [15] 赵荣钦, 秦明周. 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.
Zhao R Q, Qin M Z. China coastal areas part of agro-ecosystem carbon source/sink differences in time and space [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2007, 23(2): 1-6. (in Chinese)