

陕西省农田生态系统碳源/汇研究

康苗苗, 肖玲, 余菲, 纪芙蓉, 朱燕

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710062)

摘要:以2000—2009年陕西省各市(区)农作物产量、耕地面积及农业投入等相关统计数据为依据,对陕西省农田生态系统碳源/汇进行了测算,分析了陕西省碳源/汇时空变化特征。结果表明:2000—2009年,陕西省农田生态系统碳吸收、碳排放及其单位面积碳吸收和碳排放均呈增加趋势,碳吸收明显大于碳排放,说明陕西省农田生态系统具有较强的碳汇功能;其中果蔬作物碳吸收比例上升明显,化肥施用带来的间接碳排放成为主要的碳排放源;2000—2009年陕西省农田生态系统的净碳汇量在波动中呈增长趋势,此外,农田生态系统的净碳汇量表现出与其自然地理状况相吻合的特征,即关中平原地区净碳汇量大于秦巴山地和陕北高原。

关键词:陕西省;农田生态系统;碳吸收;碳排放;净碳汇

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2011)05-0630-07

Research on carbon source and sink of farmland ecosystem in Shaanxi Province

KANG Miao-miao, XIAO Ling, YU Fei, JI Fu-rong, ZHU Yan

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Based on the statistical data of crop yields, cultivated areas and agricultural inputs of Shaanxi Province from 2000 to 2009, the amounts of carbon sequestration and emission of the farmland ecosystem in Shaanxi were calculated, and the spatial-temporal variations of carbon sequestration and emission were analyzed. The results show that: the amounts of total carbon sequestration, total carbon emission, carbon sequestration per unit area and emission per unit area all show a rising trend from 2000 to 2009. Carbon sequestration is much more than carbon emission, which means the farmland ecosystem is a strong carbon sink; the carbon sequestration proportion of fruit-vegetable crops show remarkable increasing, and carbon emitted from fertilizer using has been the most important carbon emission source. The net carbon sink size of farmland ecosystem in Shaanxi presents a raising curve with fluctuation from 2000 to 2009. Besides, the net carbon sink size in Guanzhong Plain is larger than that in Qin-ba Mountain and Shaanbei Plateau, which consistent with the physical geography status.

Key words: Shaanxi Province; farmland ecosystem; carbon sequestration; carbon emission; net carbon sink

大气中温室气体体积分数增加导致的全球气温升高,引起了世界各国政府和科学家的共同关注,已成为全球生态环境研究中的一个热点领域(于洪贤和李友华,2010)。人类活动引起温室气体的大量排放是气候变暖的主要原因(IPCC, Working Group III, 2006)。农业是重要的温室气体排放源,据估计,农业源排放的CO₂和CH₄分别占人为温室气体

排放量的21%~25%和57%(林而达,2001)。同时,全球农田也是巨大的碳库,其碳储量达170 Pg,占全球陆地碳储量的10%以上(Paustian et al, 1997)。所以,准确估算农业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的意义,而且能为合理评价农业碳减排的义务和责任提供依据(IPCC, 2006)。目前对农田生态系统的

收稿日期:2011-08-26

基金项目:陕西省社科基金“陕西省碳足迹与绿色发展模式研究”(11E056)

通讯作者:康苗苗, E-mail: kangmiaomiao291545@163.com

碳源/汇的研究主要集中在农田土壤碳的研究(Lal and Bruce, 1999; 杨学明等, 2003; 赵荣钦等, 2004; 韩冰等, 2005; 韩冰等, 2008; 金琳等, 2008), 而对农业生产过程中的碳源/汇的研究相对薄弱。因此, 本研究通过对 2000—2009 年陕西省农田生态系统主要农作物碳吸收量和主要农业生产活动碳排放量的估算, 分析了陕西省农田生态系统碳源/汇的时空格局, 以提供更准确的农业源排放清单, 为陕西省农业产业结构调整和农业生产固碳减排提供科学依据。

1 研究区概况

陕西省位于我国内陆腹地, 地处东经 $105^{\circ}29' \sim 111^{\circ}15'$, 北纬 $31^{\circ}42' \sim 39^{\circ}35'$, 总面积 20.56 万平方千米。全省地域南北长、东西窄, 南北长约 870 千米, 东西宽 200 ~ 500 千米, 地势南北高、中间低, 有高原、平原、山地和盆地等多种地形。从北到南可以分为陕北高原、关中平原、秦巴山地 3 个地貌区。其中耕地总面积 480 万公顷, 占总面积的 23.3%。陕西境内气候差异很大, 由北向南渐次过度为温带、暖温带和北亚热带。年平均降水量 576.9 毫米, 年平均气温 13.0°C , 无霜期 218 天左右。本研究以陕西省 11 个地市区(关中的西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南和杨凌农业高新技术产业示范区, 陕北的延安、榆林, 陕南的汉中、安康、商洛)的农田生态系统作为研究对象, 其基本代表了陕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 数据来源与方法

2.1 数据来源

采用的 2000—2009 年陕西省 11 个地市区主要

农作物的产量、播种面积、耕地面积及各地区农业机械总动力、化肥施用量和灌溉面积等数据均来自《陕西省统计年鉴》。

2.2 计算方法

本研究对碳吸收和碳排放采用分别估算的方法。其中碳吸收主要是指农作物生产过程中的碳吸收, 即作物生育期碳吸收。碳排放主要是从不同的碳排放途径进行估算(本研究仅考虑了农业机械生产、化肥生产和灌溉过程 3 种主要的间接碳排放途径), 参考了赵荣钦和秦明周(2007)的估算方法, 其具体估算方法如下:

作物生育期碳吸收(C_t)估算公式为:

$$C_t = \sum_i C_d, \text{ 其中 } C_d = C_f \times D_w = C_f \times Y_w / H_i \quad (1)$$

式中 i 为第 i 种农作物类型, C_d 为某种作物全生育期对碳的吸收量, C_f 为作物合成单位有机质干物质所吸收的碳, D_w 为生物产量, Y_w 为经济产量, H_i 为经济系数。陕西省主要农作物经济系数 H_i 和碳吸收率见表 1(王修兰, 1996; 李克让, 2002)。

部分碳排放(E_t)估算公式为:

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

式中 E_f 、 E_m 、 E_i 分别为农田化肥施用、农业机械使用和灌溉过程带来的碳排放。 $E_f = G_f \times A$, $E_m = A_m \times B + W_m \times C$, $E_i = A_i \times D$; 其中: G_f 为化肥施用量, A_m 为农作物种植面积, W_m 为农业机械总动力, A_i 为灌溉面积; A 、 B 、 C 、 D 是转化系数, 分别为 $857.54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $16.47 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $0.18 \text{ kg} \cdot \text{kw}^{-1}$ 、 $266.48 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (West and Marland, 2002)。

农田生态系统净碳汇的计算模型:

$$N_c = C_t - E_t \quad (3)$$

式中 N_c 、 C_t 、 E_t 分别表示净碳汇、作物在全生育期的碳吸收量和三种途径的碳排放量。

表 1 主要农作物经济系数(H_i) 碳吸收率(C_f)

Table 1 Economic factor of major crops (H_i) and carbon absorption rate (C_f)

作物类型	粮食作物				经济作物					果蔬作物	
	小麦	稻谷	玉米	大豆	棉花	油菜	花生	甜菜	烟草	水果	蔬菜
H_i	0.40	0.45	0.40	0.34	0.10	0.25	0.43	0.41	0.55	1.75	9.50
C_f	0.4853	0.4144	0.4709	0.4500	0.4500	0.4500	0.4500	0.7000	0.4500	0.4500	0.4500

3 结果与分析

3.1 陕西省农田生态系统碳吸收的时空变化分析

3.1.1 陕西省农田生态系统碳吸收总量的变化

2000—2009 年陕西省农田生态系统碳吸收总

量整体呈波动增加的趋势(图 1), 碳吸收总量由 2000 年的 1261.06 万吨增加到 2009 年的 1698.20 万吨, 上升了 34.66%。其中, 粮食作物的碳吸收量从 1054.19 万吨增加到 1198.95 万吨, 增幅为 13.73%; 经济作物碳吸收量从 68.71 万吨增加到

117.22 万吨,增幅为 70.60%;果蔬作物碳吸收量从 138.16 万吨增加到 382.02 万吨,增幅为 176.50%。单位面积碳吸收量从 2000 年的 $4.05 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 上升到 2009 年的 $5.94 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,增幅为 46.67%。虽然全省的耕地面积有小幅的减少,但农作物单位面积产量提高,农作物生育期的碳吸收量也在不断提高,使农田生态系统的碳吸收量逐步提高。此外,陕西省农田生态系统碳吸收比例也发生了一

定变化,粮食作物碳吸收比例基本保持不变,而经济作物和果蔬作物碳吸收比例有一定的提高,其中果蔬作物的碳吸收比例从 5.45% 升高到 22.50%。这与陕西省作为水果大省以及近几年陕西省加大蔬菜产业的发展力度使其产量和生产效率不断提高相对应,也反映出随着人民生活水平的不断提高,对果蔬农产品需求量的不断增加。

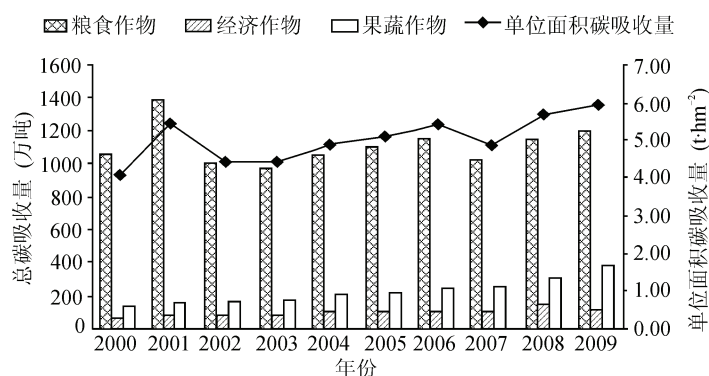


图1 2000—2009 年陕西省农田生态系统碳吸收变化

Fig. 1 Carbon sequestration changes in farmland ecosystem in Shaanxi, from 2000 to 2009

3.1.2 2009 年各市(区)农田生态系统碳吸收量的变化

由图 2 可以看出,2009 年各市(区)农作物生育期碳吸收总量存在很大差异,最大和最小的分别为渭南市(359.01 万吨)和杨凌区(6.99 万吨),渭南市的碳吸收总量占 2009 年碳吸收总量的 21.14%,而杨凌区仅占 0.41%,碳吸收总量的差别主要是因为不同地区农作物种植面积的不同和种植结构的差异造成的。2009 年各地区单位面积碳吸收量最大的杨凌($11.18 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)为最小的榆林

($1.68 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)的 6.65 倍。说明这两地农作物单位面积的产量存在巨大差异。这与两地的自然地理状况及气候的差异和农业发展状况相关。榆林地处黄土高原和毛乌素沙漠交界处,该地区水土流失严重,土地相对贫瘠,而且干旱、冰雹、霜冻等自然灾害频发,致使农作物产量很低。杨凌地处陕西省主要粮棉生产基地的关中地区,这里农业自然条件优越,地势平坦,土壤肥沃,渠道纵横,除此之外,杨凌作为国家农业高新技术产业示范区,农业发展的现代化程度高于其他地区,在农作物的生育期接受更科

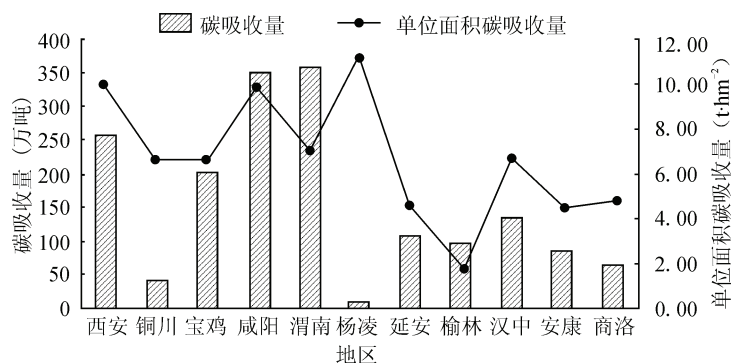


图2 2009 年陕西省各市(区)碳吸收量变化

Fig. 2 Carbon sequestration changes in different cities (districts) of Shaanxi in 2009

学的管理,使得这一地区农作物单位面积产量远高于其他地区。各地市碳吸收量的构成也不同,关中地区的西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南、杨凌以小麦和玉米碳吸收为主,分别占2009年碳吸收总量的42.64%和29.27%,延安以水果碳吸收为主,汉中则以水稻碳吸收为主,其余地区都以玉米碳吸收为主。邢燕燕和张艳芳(2011)研究了1999—2008年陕西省农用地的碳汇效应,结果表明陕西省农作物吸收CO₂主要以小麦和玉米为主,此外稻谷也具有较强的碳汇能力,这与本研究的结论基本一致,即陕西省农田生态系统主要以小麦和玉米碳吸收为主,同时也说明不同作物种植面积和产量的差别会导致农作物碳吸收构成的差异。

3.2 陕西省农田生态系统碳排放时空变化分析

3.2.1 陕西省农田生态系统碳排放总量变化

随着对农业投入的增加,陕西省农田生态系统的碳排放量呈逐年增长的趋势(图3),从2000年的

146.44万吨上升到2009年的193.62万吨,涨幅为32.22%,年均增长3.22%。其中肥料生产和灌溉碳排放量增加明显,肥料生产的碳排放量由2000年的112.25万吨上升到2009年的151.01万吨,涨幅为34.53%,年均增幅为3.45%;灌溉碳排放量由2000年的26.46万吨上升到2009年的35.16万吨,涨幅为32.8%,年均增幅为3.28%;农业机械生产的碳排放量最低,保持在较低水平,基本保持平衡态。由图4可以看出,陕西省农田生态系统3种途径的碳排放比例几乎没有变化,不同排放途径所占比例大小为肥料生产>灌溉过程>农业机械生产。单位面积碳排放量从2000年的0.47 t·hm⁻²上升到2009年的0.68 t·hm⁻²,增幅为44.68%,这说明随着化肥施用和农业机械等农业投入的增加,农业领域的碳排放强度也在逐年提高,但其增幅略小于单位面积碳吸收量的增幅,说明陕西省的农田生态系统具有一定的碳增汇潜力。

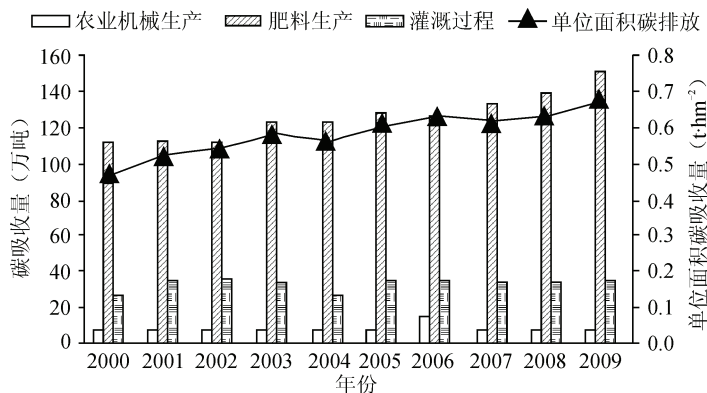


图3 2000—2009年陕西省农田生态系统碳排放量变化

Fig. 3 Carbon emission changes in farmland ecosystem in Shaanxi, from 2000 to 2009

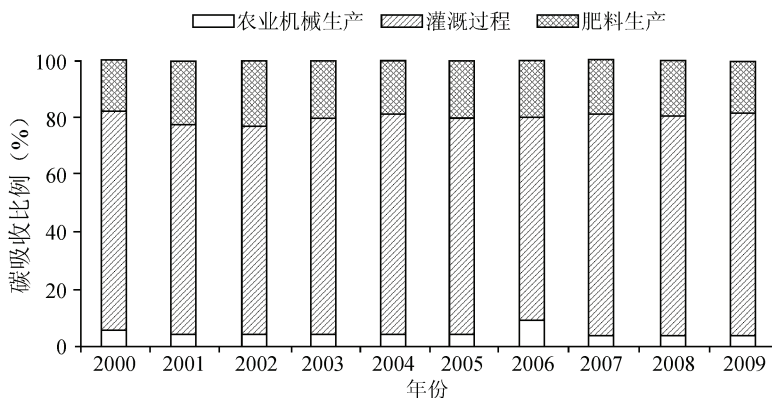


图4 2000—2009年3种途径碳排放比例的变化

Fig. 4 Proportion changes of the three ways to carbon emissions from 2000 to 2009

3.2.2 2009年各市(区)农田生态系统碳排放量的变化

分析图5可知,2009年碳排放量最大的渭南(43.62万吨)和最小的杨凌(0.68万吨),分别占当年碳排放总量的22.53%和0.53%。其中肥料生产占碳排放量的比例最大,占总排放量的78%,其次是灌溉过程,为总碳排放的18.1%,农业机械碳排放量最少,为7.46万吨。渭南和咸阳的排放量较高,主要是

由于农业现代化的发展作为陕西主要粮棉基地的咸阳、渭南两市耕地面积和灌溉面积有所增加,农业投入特别是化肥施用量的大幅增加,化肥使用带来的间接碳排放成为农田生态系统的主要碳排放源。2009年单位面积碳排放量最大和最小的分别为杨凌区($1.08 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)和榆林($0.28 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)。2000—2009年,碳排放总量增幅最大的是渭南市,从34.35万吨上涨到43.62万吨,涨幅为26.99%。

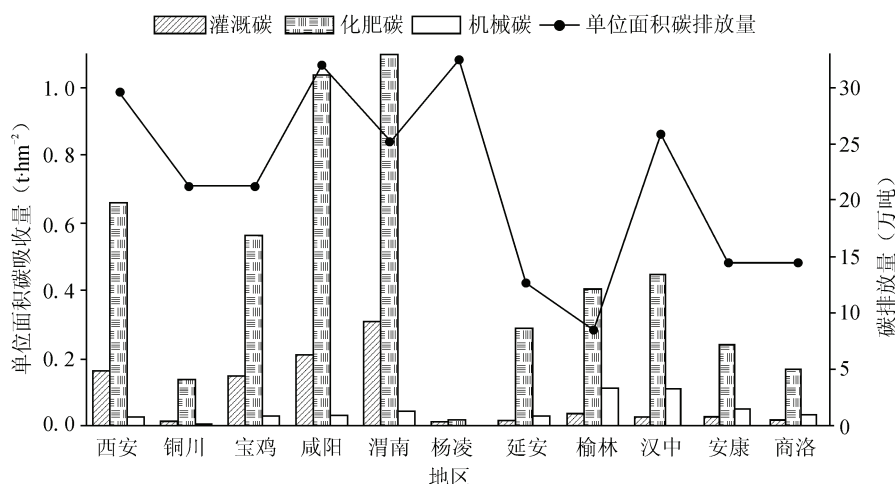


图5 2009年陕西省各市(区)总碳排放量和单位面积碳排放量的变化

Fig. 5 Changes of total carbon emission and carbon emission per unit area in different cities (districts) of Shaanxi in 2009

3.3 陕西省农田生态系统净碳汇时空变化分析

3.3.1 陕西省农田生态系统净碳汇总量的变化

陕西省农田生态系统净碳汇在2000—2009年变化波动较大,总体呈增长趋势(图6)。全省农田生态系统净碳汇量从2000年的1114.62万吨增长到2009年的1504.54万吨,涨幅为34.98%;单位面积净碳汇量从2000年的 $3.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 上升到2009年的 $5.26 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,涨幅为56.98%。这与碳吸收的增长幅度相当,表明农田生态系统的碳汇量主要与农作物生育期碳吸收量的大小有关。

3.3.2 2000—2009年各市(区)农田生态系统净碳汇的变化

2000—2009年陕西省各市(区)农田生态系统的净碳汇量呈现出以下特征(图7):(1)2000—2002年除延安、榆林、安康、商洛地区的净碳汇量呈明显上升趋势外,其余各地区的净碳汇量基本保持在平衡状态。(2)2003年的净碳汇量最低(1067.16万吨),主要因为这一年宝鸡地区农作物种植面积的减少和旱灾的发生导致该地区农作物产量减少;在

后续几年中,除个别年份个别地区外,全省净碳汇量呈总体上升趋势。2007年咸阳市净碳汇量达到全省最大值,主要是在全省11个地市(区)中咸阳的水果碳吸收量为全省最高;渭南市2007年的净碳汇量有明显的减少,主要是由于该地区小麦、玉米产量的减少和化肥施用量的增加,使该地区当年碳吸收量减少而碳排放量增加,致使渭南市2007年净碳汇量降低。(3)不同区域的净碳汇变化程度不同,2000—2009年净碳汇涨幅最大的是榆林市,从36.09万吨上涨到96.26万吨,涨幅为167%,最小的汉中市涨幅为5.98%,而商洛市的净碳汇量呈现出略微下降趋势,从2000年的65.33万吨减少到2009年的63.18万吨,减少了2.15万吨。榆林市净碳汇量增加是因为近年来陕北地区采取各种有效措施减少水土流失且榆林市因地制宜发展特色农业。净碳汇量表现出关中地区>陕南地区>陕北地区的趋势,这和陕西省的地形特征和地理环境相吻合。

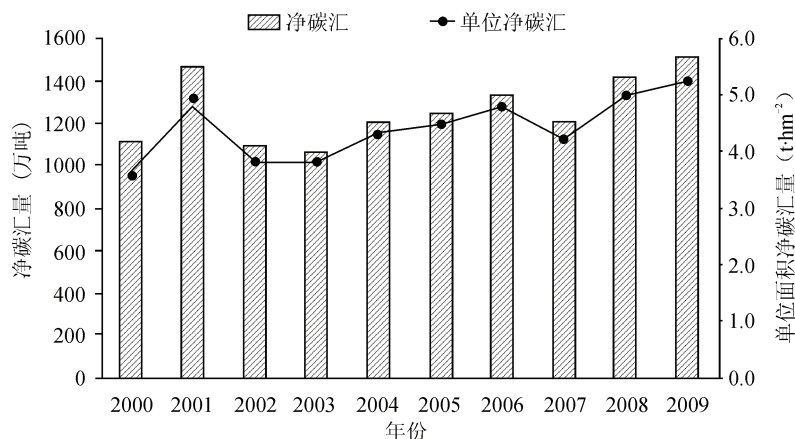


图6 2000—2009年陕西省农田生态系统净碳汇量变化

Fig. 6 Changes of the net carbon sink size of farmland ecosystem in Shaanxi from 2000 to 2009

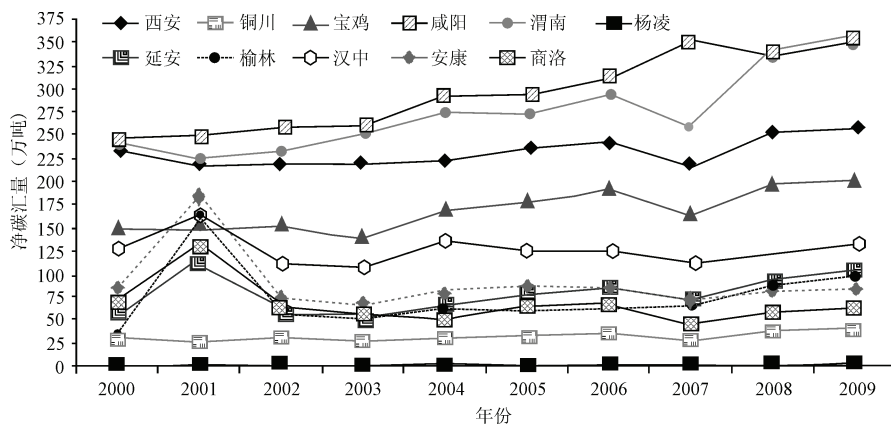


图7 2000—2009年陕西省各市(区)净碳汇量变化

Fig. 7 Changes of the net carbon sink size of different cities (districts) in Shaanxi from 2000 to 2009

4 结论与讨论

(1) 2000—2009年陕西省农田生态系统碳吸收总量整体呈上升趋势,其中粮食作物的碳吸收量基本没有变化,经济作物的碳吸收量有微弱增长,果蔬作物的碳吸收量有明显增长,其在碳吸收总量中所占的比例由2000年的5.54%增长到2009年的22.50%。2009年各地区碳吸收量最高的渭南为390.01万吨,最低的杨凌区为6.99万吨,单位面积碳吸收量最大的杨凌区为最小的榆林市的6.65倍,说明杨凌区单位面积农作物的产量远高于榆林。

(2) 2000—2009年陕西省农田生态系统碳排放量呈缓慢增长趋势,从2000年的146.44万吨增长到2009年的193.62万吨,增幅为32.22%。其中化肥施用导致的间接碳排放量最大,约占总排放量的77%;农业机械过程的碳排放量最低,保持较低水

平,基本持平衡态。2009年各地区碳排放量最高的渭南为43.62万吨,达到了总碳排放量的22.53%。单位面积碳排放量也呈逐年增加趋势,增幅为44.68%,这表明尽管单位面积作物产量逐年增加,但单位面积化肥施用和农业机械等农业投入的增加,农田生态系统单位面积碳排放量也在逐年增加,其增长速度和碳吸收的增长速度不相上下。

(3) 2000—2009年陕西省农田生态系统的净碳汇量呈波动性增长趋势,表明碳吸收明显大于碳排放,陕西省农田生态系统具有较强的碳汇能力,净碳汇量表现出明显的时空差异。

王桂波和南灵(2011)对陕西省耕地利用碳源/汇时空差异的研究表明,陕西省耕地的碳源/汇能力整体在不断增强,而且三大区域内部也表现为碳汇能力的增强,陕西省耕地利用存在一定的碳汇优势;韩冰等(2005,2008)利用农业地球化学生物

模型(DNDC)对各省农田土壤碳库的饱和水平和不同耕作方式下农田土壤固碳潜力进行了估算,分析结果表明陕西省农田土壤碳库饱和水平较低,在科学的耕作方式下有一定的固碳潜力。以上学者对陕西省耕地碳汇的研究证实了本研究的结论,即陕西省农田生态系统具有较强的碳汇能力。

本研究仅是利用统计资料对陕西省农田生态系统部分碳源汇进行了估算,在计算过程中由于部分数据的缺失,没有将涉及碳吸收的所有作物和涉及碳排放的所有农业生产活动计算在内,因此其中难免存在一定的误差。但从总体上来说,本研究基本上反映了陕西省农田生态系统的碳源/汇时空变化格局。此外,在碳排放计算过程中的转化系数是参照国外相关研究进行的,对其在陕西地区的适应性没有得到验证,所以在以后的研究中应对我国不同区域的农田生态系统进行长期定位监测,尽早获得我国自己的各类排放系数,以提高计算的精度,此外,应并探索有效的农田生态系统碳增汇和减排措施,使其应用于农业生产实践,为我国发展低碳农业提供有力保障。

参考文献

- 韩冰,王效科,逯非,等. 2008. 中国农田土壤生态系统固碳现状和潜力[J]. *生态学报*, 28(2): 612-619.
- 韩冰,王效科,欧阳志云. 2005. 中国农田生态系统土壤碳库的饱和水平及其固碳潜力[J]. *农村生态环境*, 21(4): 6-11.
- 金琳,李玉娥,高清竹,等. 2008. 中国农田管理土壤的碳汇估算[J]. *中国农业科学*, 41(3): 734-743.
- 李克让. 2002. 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, 260-261.
- 林而达. 2001. 气候变化与农业可持续发展[M]. 北京:北京出版社, 1-32.
- 王桂波,南灵. 2011. 陕西省耕地利用碳源/汇时空差异分析[C]. 十一五农业环境研究回顾与展组——第四届全国农业环境科学学术研讨会,中国内蒙古呼和浩特.
- 王修兰. 1996. 二氧化碳、气候变化与农业[M]. 北京:气象出版社, 53-59.
- 杨学明,张晓平,方华军. 2003. 农业土壤固碳对缓解全球变暖的意义[J]. *地理科学*, 23(1): 101-106.
- 邢燕燕,张艳芳. 2011. 农用地碳汇效应估算及时空变化特征分析——以陕西省为例[J]. *干旱地区农业研究*, 29(3): 203-208 + 259.
- 于洪贤,李友华. 2010. 生物碳汇类型的特性研究[J]. *经济研究导刊*, (5): 244-245.
- 赵荣钦,黄爱民,秦明周,等. 2004. 中国农田生态系统碳增汇/减排技术研究进展[J]. *河南大学学报(自然科学版)*, 34(1): 60-65.
- 赵荣钦,秦明周. 2007. 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*, 23(2): 1-6.
- IPCC, Working Group III. 2006. Greenhouse gas mitigation in agriculture[R]. Fourth Assessment Report, 4-8.
- IPCC. 2006. Volume 4: Agriculture, forestry and other land uses (AFOLU). 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories[S]. IPCC/IGES, Hayama, Japan, 5-6.
- Lal R, Bruce J P. 1999. The potential of world crop land soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect[J]. *Environmental Science & Policy*, 2(2): 177-185.
- Paustian K, Andr  n O, Janzen H H, et al. 1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions[J]. *Soil Use and Management*, 13(S4): 230-244.
- West T O, Marland G. 2002. 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*, 91(1-3): 217-232.