

# 基于低碳经济的山东省德州市农田 生态系统碳汇估算

祁兴芬

(德州学院 地理系, 山东 德州 253023)

**摘要:** 依据 2001—2010 年农作物产量、耕地面积及农业投入等数据,对山东省德州市农田生态系统的碳汇进行了估算,并分析了其变化情况。结果表明,德州市 2001—2010 年农田生态系统的碳吸收总量呈增加的趋势,且 2004 年以来增加的趋势较明显;小麦、玉米作为主要的粮食作物,碳吸收量明显高于其他农作物,棉花作为主要经济作物,吸收量不高;2001—2010 年,由于德州市发展生态、高效、优质农作物,碳排放呈现先增后减的变化;不同县市由于农业发展方向和发展特色的差异,具有不同的碳排放;在这 3 种途径的碳排放过程中,化肥施用过程中碳排放所占的比例较大,且呈减少的趋势;2001—2010 年德州市碳吸收量为  $6.35 \times 10^7$  t,碳排放总量为  $4.53 \times 10^6$  t,碳吸收量远远大于碳排放量,说明德州市农田生态系统具有较强的碳汇功能。

**关键词:** 农田生态系统; 碳吸收; 碳排放; 碳汇

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)01-0157-05

中图分类号: S157

## Estimation of Carbon Sink in Farmland Ecosystem of Dezhou City in Shandong Province Based on Low-carbon Economy

QI Xing-fen

(Department of Geography, Dezhou University, Dezhou, Shandong 253023, China)

**Abstract:** Carbon absorption and emission in the farmland ecosystem of Dezhou City in Shandong Province were estimated and their changes were analyzed based on the statistical data of crop yield, cultivated land area and agricultural input from 2001 to 2010. The total carbon absorption in the farmland ecosystem showed an increasing trend during 2001—2010 and the increasing trend was obvious after 2004. The carbon absorption of wheat and corn, as the main grain crops, was significantly higher than other crops, and the carbon absorption of cotton, as the main cash crop, was not high. The carbon emission presented the trend from increasing to decreasing due to eco-efficient and high-quality crop development. Different counties had different carbon emissions because of different agricultural development directions and characteristics. The carbon emission of chemical fertilizer contributes a higher percentage in three ways of carbon emissions, which showed a decreasing trend. The carbon absorption was far higher than the carbon emission in Dezhou City from 2001 to 2010. Farmland ecosystem of Dezhou City had an evident carbon sink function.

**Keywords:** farmland ecosystem; carbon absorption; carbon emission; carbon sink

进入 21 世纪,全球气候变化问题成为世界各国共同关注的焦点,节能减排已逐步引起全球的重视,“低碳经济”应时而生,并随之出现了低碳社会、低碳城市、低碳农村和低碳农业等理念<sup>[1-5]</sup>。农业既是全球重要的温室气体排放源,同时又是一个巨大的碳汇,农田生态系统中的碳库是全球碳库中最活跃的部分<sup>[6-8]</sup>,IPCC 第二次评估报告中估计,在未来的 50~

100 a 中农田土壤可以固定 40~80 PgC<sup>[9-10]</sup>。近年来许多学者针对农田生态系统的碳循环及碳汇问题做了大量研究,Lal<sup>[11]</sup>从全球尺度上研究认为全球耕地总的固碳潜力为 0.75~1.0 Pg/a,未来 50~100 a 农田土壤可固碳 40~80 Pg;刘允芬<sup>[12-13]</sup>,鲁春霞等<sup>[14]</sup>从国家尺度上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,认为农业系统具有强大的碳汇

收稿日期:2012-10-12

修回日期:2012-11-17

资助项目:山东省科学技术发展计划研究项目“自然资源胁迫下的山东省节约型社会发展模式研究”(2009rkb578);德州市社会科学规划项目“基于新农村建设的德州市农村生态经济发展模式及对策研究”(10YD17)

作者简介:祁兴芬(1978—),女(汉族),山东省武城市人,硕士,讲师,研究方向为农业自然地理。E-mail:qixfen@163.com。

功能,整个农用地生态系统是一个巨大的碳库,温室气体的减排潜力巨大;赵荣钦等<sup>[15]</sup>从流域尺度研究发现中国沿海地区农田生态系统碳吸收总量为 $2.25 \times 10^8$  t,碳吸收大于碳排放;王静等<sup>[16]</sup>从省级尺度上研究认为山西省农田生态系统的碳吸收 2000 年以来呈波动式增加,碳排放呈现逐渐增加的趋势。

但相关研究工作主要侧重于全球、全国以及省一级的大区域碳蓄积和碳储量研究方面,具体到较小的地级市甚至县域农田生态系统碳状况研究相对较少,尚不能全面了解农田生态系统的碳源/汇状况。为此,以农业发展历史悠久的德州市为例,在借鉴众多学者对农田生态系统碳源/碳汇研究的基础上,从对农作物碳吸收和生产过程中碳排放两个方面着手测算,分析农田生态系统的碳汇功能和强度的时空分布,以在小区域尺度上了解农田碳汇的分布情况,促进资源节约型和环境友好型社会的建设。

## 1 研究区域概况

德州市位于北纬 $36^{\circ}24'$ — $38^{\circ}00'$ ,东经 $115^{\circ}45'$ — $117^{\circ}24'$ ,地处山东省西北部,黄河下游北岸,具显著的大陆季风性气候,四季分明、干湿季明显,光照资源丰富,适宜多种生物生长,物产资源十分丰富。德州市辖 1 区,2 市,8 县,土地总面积 $1.04 \times 10^6$   $\text{hm}^2$ ,总人口 564.2 万人,其中农业人口 403.6 万人,农村居民 451.5 万人。德州市耕地面积广阔,地下水资源丰富,具有发展农业的良好条件。耕地占德州市总面积

的 52%,农村人口占总人口的 80%,是典型的农业大市。全市主要种植小麦、玉米、棉花等,是全国重要的粮食生产基地和优质棉生产基地。全市 11 个县(市、区)中 7 个县被国家授予粮食生产大县的称号,人均粮食居山东首位。

## 2 数据来源与研究方法

以 2002—2011 年德州市农作物产量、种植面积、耕地面积及各地市历年化肥施用量、灌溉面积和农业机械总动力等数据为基础,所有数据主要来源于 2001—2010 年德州市统计年鉴统计资料,部分数据来源于德州市农业、国土资源等部门的资料。

农田生态系统是一个复杂系统,碳循环过程较为复杂,涉及到其子系统之间各种形式的物质循环和迁移<sup>[17]</sup>。本研究对碳吸收和碳排放采用分别估算的方法,建立了农田生态系统碳汇的估算模型,参考赵荣钦等<sup>[7]</sup>的估算方法仅对部分碳源/汇进行了估算,具体方法如下。

(1) 作物生育期碳吸收公式:

$$C_i = \sum_i C_d$$

$$C_d = C_f D_w = C_f Y_w / H_i$$

式中: $i$ ——第  $i$  种农作物的种类; $C_d$ ——某种作物全生育期对碳的吸收量; $C_f$ ——作物合成单位有机质干质量所吸收的碳; $D_w$ ——生物产量; $Y_w$ ——经济产量; $H_i$ ——经济系数。我国主要农作物的经济系数和碳吸收率如表 1 所示。

表 1 我国主要农作物经济系数与碳吸收率<sup>[18]</sup>

项目	小麦	玉米	水稻	高粱	谷子	薯类	大豆	棉花	油菜	花生	烟草
$H_i$	0.400	0.400	0.450	0.350	0.400	0.700	0.350	0.100	0.250	0.430	0.550
$C_f$	0.485	0.471	0.414	0.450	0.450	0.423	0.450	0.450	0.450	0.450	0.450

注: $H_i$ 指农作物经济系数; $C_f$ 指农作物碳吸收率。

(2) 碳排放公式:

$$E_i = E_f + E_m + E_l$$

$$E_f = G_f \times A$$

$$E_m = (A_m \times B) + (W_m \times C)$$

$$E_l = A_l \times D$$

式中: $E_f$ ,  $E_m$  和  $E_l$ ——肥料生产、农业机械生产和灌溉过程中产生的碳排放(t);  $G_f$ ——化肥使用量(kg);  $A_m$ ——农作物种植面积( $\text{hm}^2$ );  $W_m$ ——农业机械总动力(kW);  $A_l$ ——灌溉面积( $\text{hm}^2$ );  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ——转换系数,分别为 0.858 kg/kg, 16.47 kg/ $\text{hm}^2$ , 0.18 kg/kW 和 266.48 kg/ $\text{hm}^2$ <sup>[19]</sup>。

## 3 结果与分析

德州市作为全省的农业大市,主要种植的农作物

有小麦、玉米、棉花、花生、大豆和薯类等(表 2)。从表 2 看出,随着经济的发展和德州市自然条件的影响,2001—2010 年小麦、玉米的种植面积逐年增加的趋势明显,10 a 间小麦、玉米面积的增加量分别是 94.28% 和 98.01%;棉花作为主要的经济作物,种植面积除 2002,2003 年较少外,其他年份变化不大;花生、大豆等几种作物除薯类外,种植面积都是逐渐减少的。

### 3.1 德州市农田生态系统碳吸收量的变化

3.1.1 碳吸收总量及强度的时间变化 从图 1 看出,碳吸收总量由 2001 年  $4.85 \times 10^6$  t 增加到 2003 年的  $5.16 \times 10^6$  t,特别是 2004 年以来碳吸收总量呈明显增加趋势,由 2009 年  $7.55 \times 10^6$  t 增加到 2010 年的  $8.98 \times 10^6$  t,增幅达 18.9%。相应地碳吸收强度也呈急剧增加的趋势,从 2001 年 8.64 t/ $\text{hm}^2$  增加

到 2010 年 17.71 t/hm<sup>2</sup>, 增幅为 105%; 表明推行合村并居工程使得农作物种植面积有所增加的同时德

州市农村机械化水平不断提高, 农作物生育期碳吸收水平不断提升, 农业生态系统的碳汇明显。

表 2 德州市 2001—2010 年农作物的种植面积及变化

hm<sup>2</sup>

项目	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
小麦	335 319	283 466	278 705	262 876	237 628	340 909	409 394	408 096	423 952	457 187
玉米	222 030	226 106	243 003	227 619	275 902	280 571	351 232	365 784	371 313	439 647
水稻	900	700	733	733	667	533	215	441	180	167
高粱	2 927	3 247	2 276	2 939	2 150	2 049	1 833	1 489	1 020	257
谷子	4 044	3 956	4 524	4 028	3 019	38 331	2 594	4 339	814	496
薯类	8 025	6 745	6 577	5 467	5 000	3 996	3 777	3 775	2 727	10 784
大豆	24 645	19 709	17 462	17 513	15 116	11 994	10 629	6 706	5 206	1 923
棉花	136 103	59 978	65 703	196 307	198 751	146 260	131 619	146 243	168 897	156 137
油菜	5 470	5 796	5 041	5 107	1 578	1631	894	713	521	669
花生	15 894	71 365	15 069	12 028	11 423	7 703	6 405	152 925	4 152	3 441

注:数据均来自于德州市统计年鉴(2002—2011 年)。

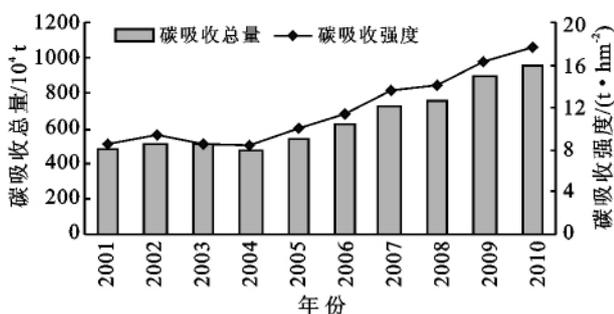


图 1 德州市 2001—2010 年碳吸收总量及吸收强度的变化

3.1.2 各县市的碳吸收区域差异明显 德州市 2010 年不同县市农作物生长发育期碳吸收量和碳吸收强度不同(图 2), 吸收总量最大的是齐河和陵县, 分别是  $1.22 \times 10^6$  t,  $9.95 \times 10^5$  t, 最小的是德城区为  $3.10 \times 10^5$  t。碳吸收强度较大的是陵县、庆云、齐河等几个县市, 其中齐河的碳吸收强度最大, 为  $1.72$  t/hm<sup>2</sup>; 碳吸收强度较小的有武城、夏津、禹城几个县市, 其中武城最小, 仅为  $9.45$  t/hm<sup>2</sup>, 这说明不同县市作物的种植面积及农业投入的差异, 农作物产量高的县市一般来说碳的吸收强度较大。

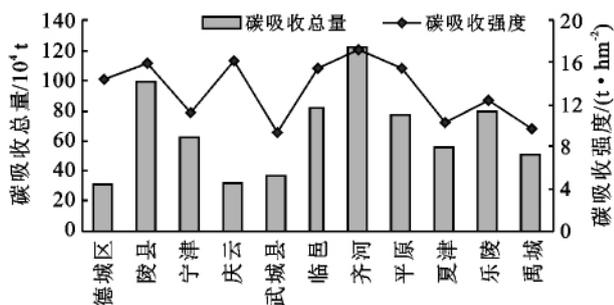


图 2 2010 年德州市各县市碳吸收总量和吸收强度对比

3.1.3 不同农作物碳吸收量的差异 根据作物生育期碳吸收公式计算得出德州市 2001—2010 年主要农作物生育期碳吸收量变化(表 3)。小麦和玉米的碳吸收量明显高于其他农作物, 从 2001 年的  $2.06 \times 10^6$ ,  $1.80 \times 10^6$  t 分别增加到 2010 年  $4.17 \times 10^6$ ,  $4.35 \times 10^6$  t, 增幅明显; 农作物碳吸收量比较大的还有棉花, 总吸收量为  $9.68 \times 10^6$  t; 相对小麦、玉米、棉花, 其他的几种农作物的碳吸收量比较低, 总的吸收量仅占全部农作物吸收量的 2.98%。

### 3.2 德州市农田生态系统碳排放量的变化

3.2.1 碳排放总量及强度的时间变化 2001—2010 年德州市农田生态系统碳排放呈先增后减的变化(图 3)。碳排放量自 2001 年  $4.39 \times 10^5$  t 增加到 2003 年的  $4.54 \times 10^5$  t; 2004 年农田生态系统的碳排放为  $4.09 \times 10^5$  t, 这主要是由于德州市遭受自然灾害的影响, 农作物的单产减少造成的; 从 2004—2008 由于农业投入的增加及农业机械化水平和服务能力的提高, 德州市农业产量稳步增长, 碳排放量呈现增加的趋势(2008 年  $5.04 \times 10^5$  t); 2008—2010 年, 德州市农田生态系统碳排放量呈减少的趋势, 2010 年仅  $4.32 \times 10^5$  t, 这主要是德州市大力调整农业内部种植结构, 发展优质高效农作物的结果。

相对应于碳排放量, 德州市农田生态系的碳排放强度呈现相应的变化, 自 2001 年的  $0.78$  t/hm<sup>2</sup> 增加到增加到 2008 年  $0.94$  t/hm<sup>2</sup>, 而后呈现减少的趋势, 2010 仅为  $0.73$  t/hm<sup>2</sup>, 这说明德州市调整农业结构, 发展生态农业, 碳排放强度有一定程度降低, 促进了农业生产健康发展。

表 3 2001—2010 年德州市主要农作物生育期碳吸收量变化

10<sup>6</sup> t

项目	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	合计
小麦	2.06	2.03	1.91	1.81	1.83	2.54	3.21	3.33	3.49	4.17	26.36
玉米	1.80	1.90	1.71	1.76	2.27	2.33	2.98	3.16	3.29	4.35	25.54
水稻	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
高粱	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.12
谷子	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.32	0.02	0.03	0.01	0.00	0.47
薯类	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.30
大豆	0.08	0.01	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.40
棉花	0.73	1.03	0.81	1.02	1.17	0.91	0.96	0.95	1.13	0.97	9.68
油菜	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13
花生	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.43
合计	4.85	5.14	4.65	4.80	5.44	6.22	7.28	7.55	7.98	9.56	63.47

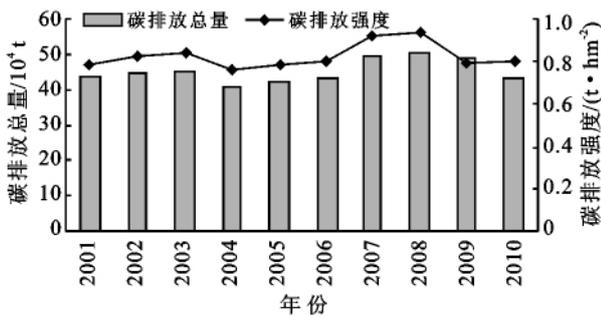


图 3 德州市 2001—2010 年碳排放总量及排放强度的变化

3.2.2 各县市的碳排放区域差异 图 4 为德州市 2010 年各县市碳排放量和排放强度变化,由图 4 可以看出,德州市各县市农田生态系统碳排放总量的区域差异明显,排放量最大的是齐河,为  $6.24 \times 10^4$  t,其次为禹城,为  $5.06 \times 10^4$  t,碳排放最小的是德城区,仅为  $1.11 \times 10^4$  t,这主要是农作物的种植面积和产量的差异造成的。碳的排放强度最大的是禹城,为  $0.99 \text{ t/hm}^2$ ,其次齐河碳排放强度为  $0.87 \text{ t/hm}^2$ ,排放强度最小的是德城区,仅为  $0.51 \text{ t/hm}^2$ ,其次为乐陵,为  $0.61 \text{ t/hm}^2$ ,这表明德州市不同县市在农业发展方向和发展特色上的差异。

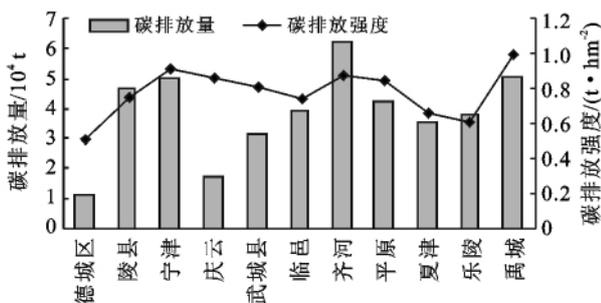


图 4 2010 年德州市各县市碳排放量和排放强度对比

3.2.3 农田生态系统碳排放途径的变化 德州市各年份农田生态系统主要途径碳排放的比较如表 4 所示。从表 4 可以看出,3 种途径碳排放过程中,化肥

施用过程中碳排放所占比例较大,为 68.4%;其次是灌溉过程的碳排放也占有一定的比例,农业机械生产的碳排放所占比例最小,为 3.70%。灌溉过程碳排放量 2001 年为  $1.19 \times 10^5 \text{ t}$ ,2010 年为  $1.35 \times 10^5 \text{ t}$ ,增幅为 13.5%;农用机械过程碳排放量 2001—2010 年增幅为 21.7%,这表明德州市农业基础设施建设和农业机械化水平提高的同时,碳排放量也在增加。化肥施用过程的碳排放量呈现出波动式的变化,由 2001 年  $3.03 \times 10^5 \text{ t}$  增加到 2003 年  $3.15 \times 10^5 \text{ t}$ ;而后几年德州市农业投入逐步增加,2008 年碳排放量为  $3.54 \times 10^5 \text{ t}$ ,从 2009 年到 2010 年呈现下降趋势,2010 年为  $2.76 \times 10^5 \text{ t}$ ,这主要是德州市发展有机农业、绿色食品、无公害食品的结果。

表 4 德州市各年份主要途径碳排放量的变化 10<sup>4</sup> t

年份	化肥施用过程	农用机械过程	灌溉过程	总碳排放
2001	30.33	1.59	11.87	43.79
2002	30.98	1.59	11.90	44.46
2003	31.54	1.59	12.16	45.28
2004	26.85	1.54	12.39	40.77
2005	28.08	1.51	12.62	42.21
2006	30.08	1.60	11.60	43.28
2007	34.27	1.70	13.15	49.12
2008	35.36	1.71	13.13	50.20
2009	34.17	1.76	13.08	49.00
2010	27.58	1.90	13.48	42.96

### 3.3 德州市碳汇(碳吸收与碳排放量差值)分析

3.3.1 德州市碳汇总量分析 从总量上看,德州市碳汇 2001—2010 年呈增加趋势。德州市 2001—2010 年 10 a 碳吸收总量为  $6.35 \times 10^7 \text{ t}$ ,碳排放总量为  $4.52 \times 10^6 \text{ t}$ ,碳吸收总量是碳排放总量的 14 倍,碳吸收量远远大于碳排放量。说明德州市农田生态系统具有较强的碳汇功能。从时间上看,由于农作物种植面积及自然灾害的影响,德州市 2001—2010 年农田生态

系统碳吸收总量的低值在2004年(为 $4.65 \times 10^6$  t),这与碳排放总量的低值刚好一致(2004年碳排放量为 $4.08 \times 10^5$  t)。

3.3.2 德州市碳汇的区域差异分析 根据图2,图4分析,德州市不同县市2010年农田生态系统碳吸收和碳排放量呈现大致相同的波动趋势。齐河的碳排放量最大,同时齐河的碳吸收量也最大,德城区和庆云的碳排放小,碳吸收也少。这表明农田生态吸收碳汇除与农作物的种植面积有关外,与农作物的单位面积产量和农业投入有关,农业投入的增加会相应地提高农作物的产量,从而使农作物碳吸收量得到增加。2010年德州市农田生态系统碳汇强度最大的是齐河,最小的是武城和禹城,说明德州市农业经济区域发展的有一定差异。

### 3.3.3 德州市碳汇能力及碳排放途径差异分析

2001—2010年德州市农田生态系统各种农作物生育期的碳吸收量不同。总的碳吸收量最大的是小麦,2001—2010年小麦的碳吸收总量为 $2.64 \times 10^7$  t,其次是玉米,为 $2.55 \times 10^7$  t,棉花的碳吸收总量为 $9.68 \times 10^6$  t,大豆、谷子、薯类、花生的碳吸收总量比较小,依次为 $4.00 \times 10^5$ , $4.70 \times 10^5$ , $3.00 \times 10^5$ , $4.30 \times 10^5$  t,水稻、高粱、油菜等合计仅为 $2.70 \times 10^5$  t。德州市是全国重要的产棉区之一,由于棉花的种植面积比较小,因此棉花的碳吸收量比较小,从固碳角度,应该加大棉花的种植力度。

由表4可以看出,2001—2010年德州市碳排放呈现波动式变化,农田水利和农业基础设施的建设,增加了碳排放,但近几年德州市大力发展品质农业,强化农产品的质量,减少化肥的使用量,对减少农田生态系统的碳排放增加碳汇起了一定的积极作用。

## 4 结论

德州市2001—2010年农田生态系统的碳吸收总量和吸收强度呈增加的趋势;小麦、玉米碳吸收量高于其他农作物,棉花吸收量不高。碳排放呈现先增后减的变化,不同县市具有不同的碳排放;3种途径碳排放过程中,化肥施用过程中碳排放所占的比例较大。碳吸收量远远大于碳排放量,德州市农田生态系统具有较强的碳汇功能。

德州市为增加农田生态系统的碳汇功能采取的措施:选育推广优良作物品种,减少农药、化肥的使用量,突出重点区域,发展精品农业,提升农业整体素质和综合生产能力,更多地注重基于低碳和生态的环境友好型农业生产技术和推广应用,这些对促进温室气体减排具有的重要意义。

## [参考文献]

- [1] 魏一鸣,刘兰翠.中国能源报告:碳排放研究[M].北京:科学出版社,2008:103-105.
- [2] 庄贵阳.气候变化背景下的中国低碳经济发展之路[J].绿叶,2007,16(8):22-23.
- [3] 孙国茂.山东低碳经济发展战略研究[J].山东经济战略研究,2009,26(8):2-3.
- [4] 邵伟.低碳经济:中国经济发展面临的新课题[J].金融经济,2009,28(2):15-18.
- [5] 中国科学院可持续发展战略研究组.中国可持续发展战略研究报告:探索中国特色的低碳道路[M].北京:科出版社,2009:51-52.
- [6] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等.1981—2000年中国陆地植被碳汇的估算[J].中国科学:D辑,2007,37(6):804-812.
- [7] 韩冰,王效科,欧阳志石.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,2005,21(4):6-11.
- [8] 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].地球科学,2003,23(1):101-106.
- [9] IPCC. IPCC Second Assessment Climate Change[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.
- [10] 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.
- [11] Lal R. Carbon sequestration in dry land [J]. Annual Arid Zone, 2000,39(1):1-10.
- [12] 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.
- [13] 刘允芬.中国农业系统碳汇研究[J].农业环境保护,1998,17(5):197-202.
- [14] 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.
- [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].生态与农村环境报,2007,23(2):1-6.
- [16] 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,2010,38(1):195-201.
- [17] 伍光合,田连恕,胡双熙,等.自然地理学[M].北京:高等教育出版社,2000:331-333.
- [18] 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.
- [19] 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(1/2/3):217-232.