

浙江省农业系统碳源、碳汇现状评估分析

张大东¹, 张社梅², 黄伟²

(1. 浙江省农业区划办公室, 浙江省农业区划学会, 杭州 310025;

2. 浙江省农业科学院农村发展研究所, 杭州 310021)

【摘要】通过搭建农业系统碳源、碳汇评估的框架, 该文定量分析了 2000~2009 年来浙江农业系统碳汇、碳源的主要构成及其变动趋势, 研究表明:浙江农业系统总体呈碳增汇趋势, 林地、农地是碳吸收的主要构成, 而化肥及农用柴油用量的大幅上升是碳排量增加的主要原因。

【关键词】浙江; 低碳农业; 碳源碳汇; 评估

面对全球气候变暖对人类生存和发展带来的严峻挑战, 以低能耗、低污染、低排放为特征的低碳经济逐步成为全球关注的热点。在 2009 年年底的哥本哈根会议上, 中国提出到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%~45%, 作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。为了达到这个目标, 准确确定陆地生态系统碳汇、碳源机制是其中一个关键^[1]。

低碳农业作为低碳经济的有机组成部分, 其发展对于提高农业的综合竞争力, 减少区域温室气体排放, 促进国民经济可持续发展均有着重要的现实意义。浙江是经济大省、资源小省, 目前正处于工业化、城市化的快速发展期, 资源能耗大, 节能减排任务重。为此, 省委省政府已经做出了发展低碳经济、建设生态文明的重大部署, 其中就农业方面, 突出强调了发展循环农业, 推动农业向着低投入、低排放、低消耗的发展方式转变的战略思路。在全省全面推动低碳经济建设的大背景下, 如何尽快、有效的降低农业生产过程中的碳排放, 找出影响农业系统碳源、碳汇的主要因素, 为采取有针对性的措施提供决策参考就成为一项重要议题。然而从相关文献的查阅情况来看, 尽管国内外研究对碳源、碳汇比较关注, 但对农业系统碳汇、碳源的研究还不是很多。正是在这样的背景下, 该研究以浙江省为例, 通过搭建农业系统碳源碳汇评估的框架, 考察了近 10 年来浙江全省以及 69 个县市区农业系统碳汇、碳源的主要构成及其变动趋势, 为农业系统减排增汇提供思路和方法。

1 浙江省区域农业生态系统碳源、碳汇评估方法

1.1 测算边界的界定

由于农业在本质上是一个依赖太阳辐射、土地、大气和水等来自自然的初级资源来转化食品的过程, 因此, 在碳问题上具有碳汇和碳源^①双重特征。农业的碳吸收功能主要是通过绿色植物的光合作用实现, 作物(含所有为人类提供碳水化合物化合物的植物)是吸收和固定大气中二氧化碳的主要动力。农业碳排放功能的实现途径多种多样^[2]。首先, 农业生产中投入的生物能和工业能。生物能如种子、种苗、种畜和有机肥等, 与温室气体排放关联度不大, 工业能如化肥、农药、农用薄膜、机械等, 其生产、制造与使用过程都离不开电力、石油等能源的使用, 是农业参与温室气体排放的大户;其次, 毁林、林地转化为非林地等引起的二氧化碳释放;第三, 养殖业中的碳排放, 包括动物粪便、畜禽肠道发酵释放出大量的氨, 以及渔业养殖中的机械能耗等;第四,

收稿日期: 2011-0-0 张大东为调研员、副理事长 张社梅为副研究员 黄伟为助理研究员

①当生态系统固定的碳量大于排放的碳量时, 该系统就成为大气二氧化碳的汇, 简称碳汇;反之, 则为碳源。一般农业碳汇的指标是固碳量;农业碳源国际上通用的是排放二氧化碳或者二氧化碳当量

各类农业废弃物的处理、管理和利用过程必须耗用能源造成大量的碳排放。

根据以上分析，研究将浙江农业生态系统碳汇边界界定为：农地、林地、园地三大农业系统土壤及地表覆盖物固碳量的总和（因浙江草地面积较小，因此这里没有计算在内）。将农业生态系统碳源边界界定为：农业生产用电、用油等能源消耗碳排放、农业投入品制造及其使用中的碳排放、农作物生产过程的碳排放、畜禽饲养中的碳排放以及农业有机废弃物燃烧或者处理中的碳排放等。

1.2 评估思路及数据来源

对农业系统碳源、碳汇评估的基本思路是先测算整个系统的碳吸收量和碳排放量，两者大小进行比较即可做出评估。根据以上对测算边界的界定，以及大量文献的查阅和梳理，文章搭建了农业系统碳源、碳汇测度的框架，详见表 1。

表 1 浙江省农业系统碳源、碳汇评估框架

测算思路		备注
碳吸收		
(1) 农地固碳	农地土壤固碳 + 农地植被固碳 = 耕地面积 × 平均土壤固碳潜力指数 ^[3] + 粮食作物固碳量 ^[4] + 经济作物固碳量 ^[4]	粮食作物主要包括：水稻、小麦、玉米、大豆、薯类 经济作物包括：油菜、蔬菜、糖料等
(2) 园地固碳	(园地土壤固碳系数 ^[5] + 植被固碳系数 ^[6,7]) × 园地面积	园类主要包括：果园、茶园、桑园
(3) 林地固碳	林地生物总量 ^[8,9] × 林地面积 × 转换系数 (0.12)	林地主要包括森林和竹林
碳排放		
(1) 农业能源排放	(1) 农业用油碳排放 = 总柴油使用量 × 柴油二氧化碳排放系数 / 柴油密度；(2) 农业用电碳排放 = 总电量 × 二氧化碳排放系数	农用柴油燃烧主要排放二氧化碳、一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物和颗粒污染物等，是一种直接排放。电力应用本身不排放二氧化碳，但由于我国主要是火力发电，无形中消耗了煤炭能源，因此，农业用电实际上是二氧化碳的间接排放
(2) 农业工业投入品碳排放	(生产阶段二氧化碳排量 / 每 t + 运输阶段二氧化碳排量 / 每 t + 使用阶段二氧化碳排量 / 每吨) × 投入品使用量	农业工业投入品主要包括：农药、化肥、农膜
(3) 农作物生产碳排放	主要是稻田甲烷排放，计算公式为： $CH_4_{i,j,k} = (EF_{i,j,k} \cdot t_{i,j,k} \cdot A_{i,j,k} \cdot 10^6)$ EF _{i,j,k} 为在 i, j 和 k 条件下稻田的甲烷日排放因子，kg/hm ² /日；为在 i, j 和 k 条件下的水稻种植期，日；在 i, j 和 k 条件下水稻年收获面积，hm ² /年；i, j, k 分别代表不同的生态系统、水分状况和有机添加量，以及其它可以引起水稻 CH ₄ 排放变化的条件等	在估算浙江省稻田甲烷排放量时，EF 取值为 1.8kg/hm ² /日；t 取值分别为：早稻（生育天数 80-90 天）；单季稻（生育天数 100-110 天）；连作晚稻（生育天数 80-90 天）；A 为播种面积取统计数据
(4) 畜禽饲养碳排放	(1) 畜禽废弃物年甲烷排放量 = GWP _{CH₄} × McF × 密度 × Vs × Bo × N × 365 / 10 ⁷ 。Vs 为某一给定牲畜群中每头牲畜日挥发性固体排泄量；Bo 为由动物种类、日粮水平决定的废弃物最高甲烷释放量；Mcf 为甲烷转化因子；N 为牲畜数量 (2) 牲畜肠道发酵甲烷释放量 = 头数 × 排放因子	畜禽废弃物年甲烷排放量的测算主要以生猪为主。牲畜肠道发酵甲烷释放量的测算主要包括生猪、牛、羊
(5) 农作物秸秆燃烧碳排放	秸秆燃烧二氧化碳排放量 = Σ (Pe × Re × Be × DMe × Ce) × 44 / 12。P 为作物的产量 (万 t)；R 为秸秆 / 作物比率；B 为秸秆燃烧的百分率 (%)；DM 为干物质含量 (%)；C 为碳的含量 (Ct / DMt)	秸秆种类主要包括：水稻、小麦、玉米、薯类、油料、糖料

以上农业系统碳源、碳汇测算中，涉及的统计指标包括：耕地、园地、林地面积，农作物播种面积，畜禽饲养规模，化肥、

农药、农膜使用量, 农业柴油、电使用量等等。除了林地面积以外, 其余统计数据均可从历年的《浙江省统计年鉴》、《浙江省农业统计资料》中可直接获得。各市林地面积参照全省 2004 年发布的统一数据 (浙政办发(2004)119 号)。相关的折算指标包括土壤固碳系数、作物生物产量、作物经济系数、森林生物总量、油电碳排放系数、畜禽排放因子、秸秆干物质含量等等, 这些数据主要来自于 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南以及公开发表的学术论文。

2 浙江省农业生态系统碳汇、碳源总体评估

根据以上测算的办法和指标, 该文测算了 2000~2009 年浙江省农业系统碳吸收量、碳排放量, 具体见表 2。

表 2 2000~2009 年浙江省农业系统碳汇、碳源测算结果 万 t

项目/年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
碳吸收										
耕地	2 761	2 806	2 835	2 703	2 702	2 663	2 688	2 575	2 617	2 638
园地	300	311	325	335	343	351	355	371	375	418
林地	2 670	2 670	2 670	2 670	2 763	2 786	2 806	2 789	2 816	2 854
碳吸收合计	5 731	5 786	5 831	5 708	5 808	5 800	5 850	5 735	5 808	5 910
碳排放										
农业能源										
农用柴油	508	571	571	571	605	608	618	629	599	596
农业用电	143	143	143	145	144	109	109	123	121	123
农业投入品										
化肥	1 063	1 070	1 089	1 071	1 106	1 117	1 114	1 100	1 102	1 109
农药	90	91	88	85	87	91	91	90	91	90
农膜	31	35	38	42	43	44	47	48	51	53
稻田排放	587	504	451	384	401	403	391	377	371	370
畜禽饲养										
畜禽废弃物	377	386	374	372	370	398	329	341	382	403
牲畜肠道	92	94	95	95	94	89	60	57	59	60
秸秆燃烧	603	537	478	403	425	408	441	395	396	402
碳排放合计	3 495	3 432	3 328	3 168	3 275	3 267	3 200	3 159	3 172	3 206
碳增汇	2 236	2 354	2 503	2 540	2 533	2 533	2 650	2 576	2 637	2 704

2.1 浙江省农业系统的碳吸收总量呈波动上升的态势, 林地碳吸收占比最大

从表 2 列出的结果可知, 浙江省农业系统碳吸收量呈波动上升的趋势。2000~2009 年碳汇总量增加了 180 万 t, 增长率为 3.1%。从碳吸收的构成看, 耕地和林地是碳汇的主要来源, 要占到总吸收量的 93%左右。但耕地碳吸收量呈逐年减少的态势 (表 2), 由 2000 年的 2761 万 t 减少到 2009 年的 2638 万 t, 减少了 123 万 t, 减幅为 4.5%。耕地碳吸收量减少的主要原因是耕地面积的大幅减少以及水稻复种指数和产量的下降, 二者这期间减少幅度分别为 0.6%、32%。林地碳汇量呈缓慢递增的趋势, 近 10 年的增幅为 6.9%, 这与我省森林面积尤其是竹林面积的缓慢增加有关。园地碳汇量不大, 但却呈较快增长的趋势, 近 10 年增长率达到 3.9%, 其主要原因是浙江省近年来果品和茶叶产业发展势头良好, 带动了果园和茶园面积的扩大。因此, 可初步判断: 浙江省实施农业增汇措施, 必须挖掘果园、林地的碳汇潜力, 同时, 要高度重视耕地碳汇能力的下降问题。

2.2 浙江省农业系统碳排放量呈逐年递减的趋势, 化肥和农用柴油碳排放量较大

从表 2、表 3 的计算结果可知, 浙江省农业系统碳排放量呈逐步下降的趋势。2000~2009 年碳源总量减少了 289 万 t, 减幅为 8.26%。从碳源结构看, 化肥施用是碳排放的主要来源, 要占到碳排放总量的 34%~39%;其次是农业用油, 约占总排放量的 18%左右, 稻田甲烷排放、秸秆燃烧、畜禽废弃物三者碳排放占比均约在 12%左右;农业生产用电、农药、农膜和牲畜肠道等排放源

占比不大, 合计约占 10%。从近 10 年各种碳源量的变动趋势来看, 逐年递增的主要是农业生产能耗和农业投入品, 尤其是农用柴油、农膜排放量增幅较大, 达到了 17%、72%; 碳排放递减的包括: 稻田甲烷排放、畜禽肠道发酵、秸秆焚烧、农业用电等, 减幅分别为 36%、34%、33%、14%。畜禽废弃物、农药排放的变动幅度较小。这一方面说明随着主要粮食作物种植面积的缩减, 其对应的部分投入品以及农田系统的碳排在减少。另一方面也说明农业生产方式转变在加快, 农业机械、农业设施的推广应用在提高, 实施节能减排措施要重点予以考虑。

表 3 浙江省农业系统碳源构成 %

类别	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
农业能源										
农用柴油	14.54	16.64	17.17	18.03	18.47	18.62	19.32	19.92	18.88	18.58
农业用电	4.10	4.18	4.29	4.58	4.40	3.34	3.42	3.89	3.83	3.85
农业投入品										
化肥	30.42	31.18	32.73	33.81	33.77	34.19	34.81	34.82	34.74	34.59
农药	2.58	2.67	2.65	2.69	2.67	2.77	2.86	2.84	2.86	2.82
农膜	0.89	1.01	1.15	1.31	1.30	1.34	1.45	1.53	1.61	1.66
稻田排放	16.79	14.70	13.54	12.12	12.24	12.33	12.21	11.93	11.70	11.53
畜禽饲养										
畜禽废弃物	10.78	11.24	11.24	11.74	11.28	12.19	10.29	10.80	12.03	12.56
牲畜肠道	2.64	2.75	2.87	2.99	2.88	2.71	1.87	1.80	1.87	1.88
秸秆燃烧	17.27	15.63	14.36	12.72	12.97	12.50	13.77	12.49	12.48	12.53
合计	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

利用测算的全省农业系统碳排放量与农业 GDP 数据, 测算了农业系统碳排放强度。结果表明每单位农业 GDP 产值能耗所产生的 CO₂ 量呈递减趋势, 从 2000 年的 5.54t/万元下降到 2.76t/万元, 下降了近一半, 具体测算果见表 4。

表 4 全省农业系统碳排放强度 亿元、万 t、t/万元

年份	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
农业 GDP	631	660	685	718	814	893	925	986	1 096	1 163
碳排放	3 495	3 432	3 328	3 168	3 275	3 267	3 200	3 159	3 172	3 206
碳排放强度	5.54	5.20	4.86	4.41	4.02	3.66	3.46	3.20	2.89	2.76

2.3 浙江省农业系统总体上碳吸收量大于碳排放量, 呈碳增汇趋势

将全省农业系统碳吸收量、碳排放量相减, 得到二氧化碳的净增汇量。从表 3 的结果来看, 浙江省近 10 年来, 农业系统农地、园地、林地等对二氧化碳的吸收量要大于农业活动排放的二氧化碳量, 平均每年净吸收量在 2236 万~2704 万 t 之间。从变动趋势来看, 全省农业系统二氧化碳的净吸收量在逐年增大, 2009 年二氧化碳净吸收量为 2704 万 t, 较 2000 年增长了 20.9%。浙江省农业系统碳增汇量的实现, 为全省低碳经济、生态文明建设做出了积极的贡献, 也为实施地区之间、产业之间的碳交易提供了新的空间。

3 浙江省农业系统碳汇、碳源区域变动情况分析

3.1 全省 69 个县市区农业系统碳吸收情况

根据前述测算办法和指标, 分别对 2000 年、2009 年全省 69 个县、市、区农业系统碳吸收情况进行测算。各县市区农业系

统碳吸收情况见图 2、图 3。通过比较和分析发现:碳汇量较低的县市区如洞头县、嵊泗县、岱山县、玉环县等,基本处于海岛县,耕地面积少、农作物产量低,公益林面积也相对较少。农业系统碳汇量较大的县市区表现出耕地面积大、作物产量水平高、森林面积大等特点,如淳安县公益林面积达到 1.29 万 hm^2 ,排在全省县市区公益林面积之首,杭州市区粮食作物产量、蔬菜作物产量均排在全省之首。

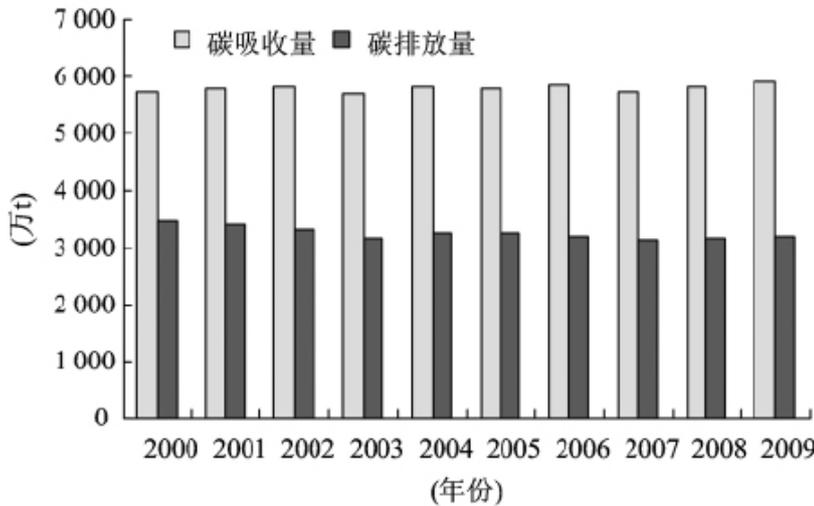


图 1 2000 ~ 2009 年全省农业系统碳源碳汇变动趋势

与 2000 年相比较,到 2009 年,农业系统碳汇量增加的县市区有 48 个,其中,增加超过 10 万 t 县、市、区有 12 个。碳汇量减少的县、市、区有 21 个,其中,减少幅度超过 10 万 t 的有 6 个,分别是金华市区、绍兴市区、瑞安市、温岭市、杭州市区和宁波市区,基本上都处于经济发达的地级市市区或者沿海经济发达县市,这些地方在城市化、工业化快速推进过程中,耕地面积大幅减少,粮食、蔬菜等农作物播种面积下降、产量下滑,对农业系统碳汇功能的发挥影响较大。

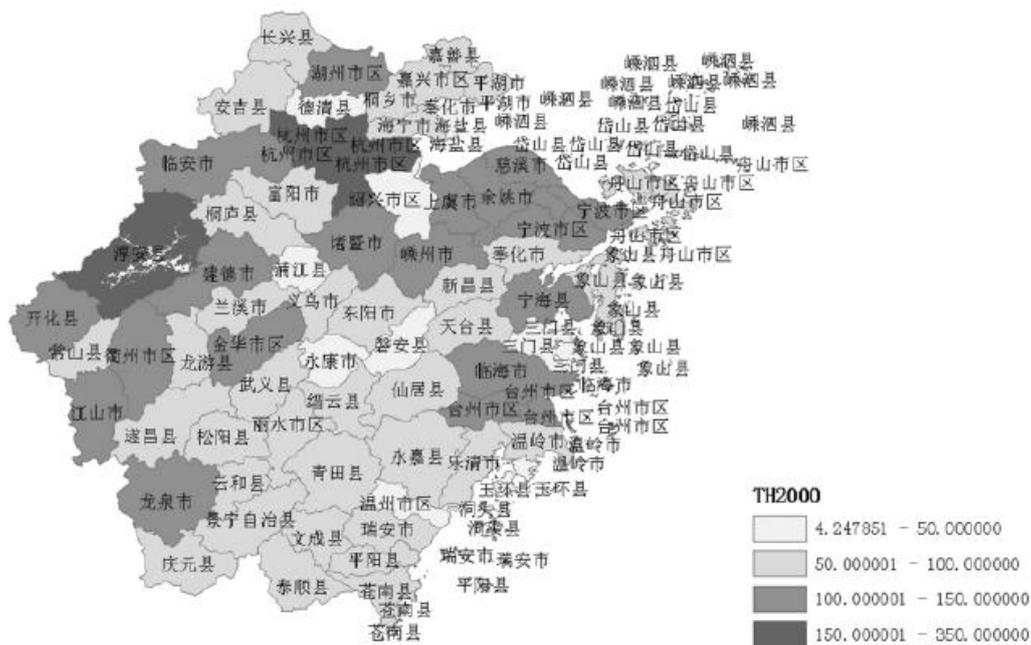


图 2 2000 年 69 个县市区农业系统碳吸收情况

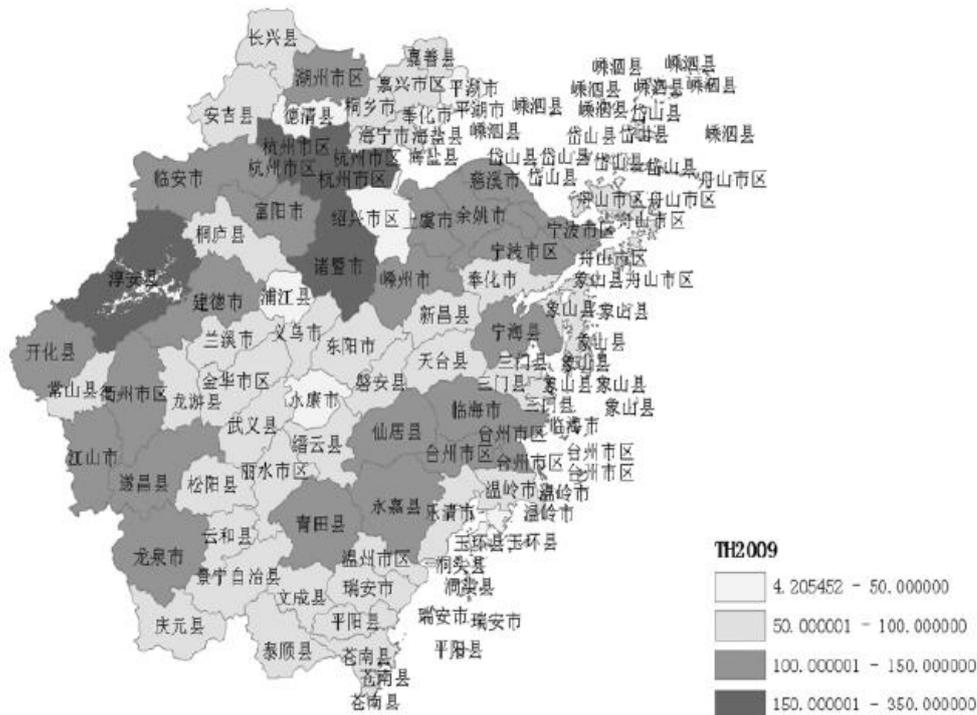


图3 2009年69个县市区农业系统碳吸收情况

3.2 全省69个县市区农业系统碳排放变动情况

根据前述测算办法和指标，分别对2000年、2009年全省69个县市区农业系统碳排放情况进行测算。各县市区农业系统碳排放情况见图4、图5。

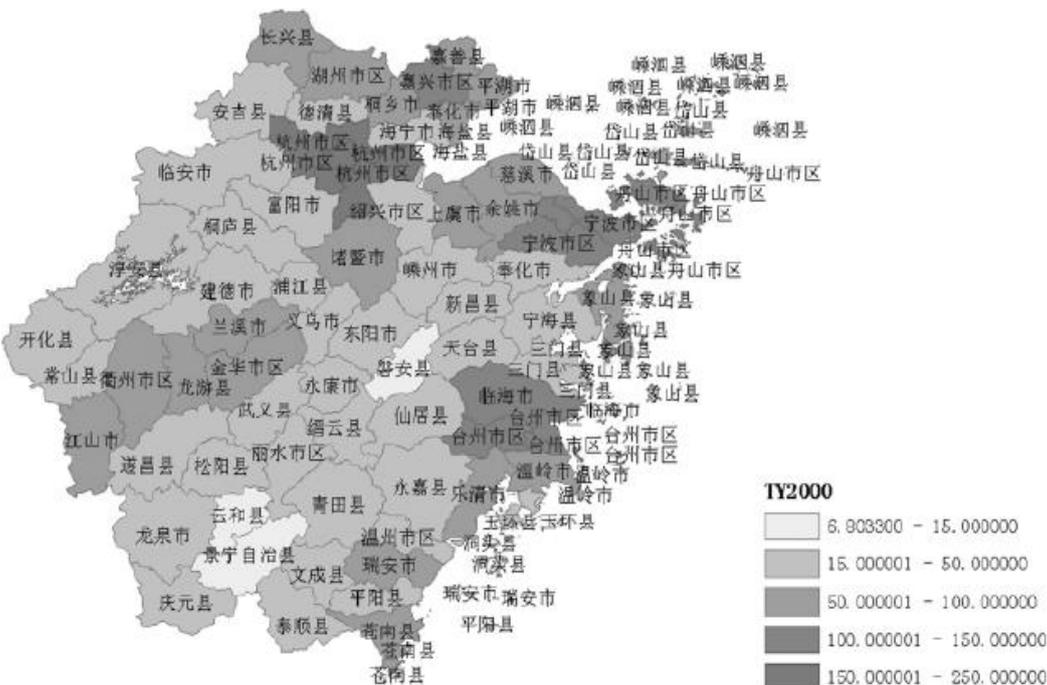


图4 2000年69个县市区农业系统碳排放情况

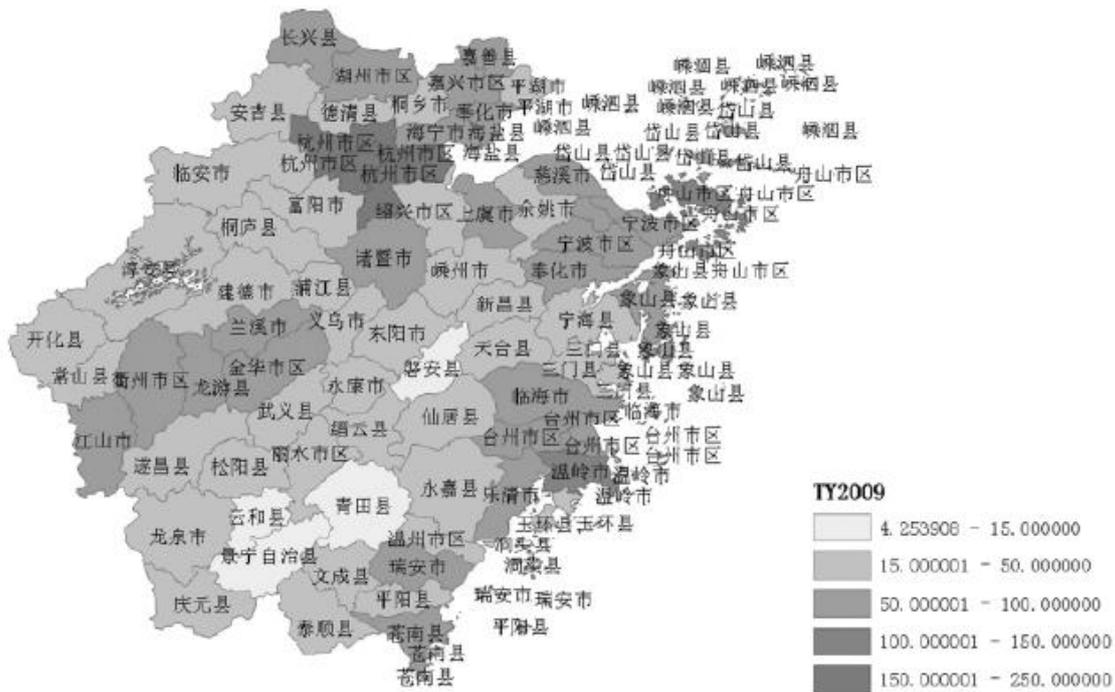


图 5 2009 年 69 个县市区农业系统碳排放情况

表 5 部分县市区农业系统碳排结构比较

万 t

地区	年份	农用柴油	农业用电	农业投入品	稻田排放	生猪排泄物	肠道发酵	秸秆焚烧
奉化市	2000	8.3	1.9	12.9	7.6	2.0	0.7	6.2
奉化市	2009	25.5	1.7	24.8	4.0	3.3	0.6	3.3
增减变化		17.2	-0.2	11.9	-3.6	1.3	-0.1	-2.9
衢州市区	2000	0.8	0.8	25.1	11.1	13.3	3.2	10.5
衢州市区	2009	1.0	0.5	38.4	8.1	29.2	2.5	8.3
增减变化		0.2	-0.3	13.3	-3.0	15.9	-0.7	-2.2
温岭市	2000	16.1	3.9	31.5	14.9	5.7	1.0	15.4
温岭市	2009	57.1	3.6	26.5	6.8	4.2	0.5	8.1
增减变化		41.0	-0.3	-5.0	-8.1	-1.5	-0.5	-7.3
上虞市	2000	0.7	2.5	29.5	12.4	4.2	0.9	14.6
上虞市	2009	1.0	2.3	44.0	11.1	7.4	0.9	12.5
增减变化		0.3	-0.2	14.5	-1.3	3.2	0.0	-2.1
宁波市区	2000	7.1	8.7	59.3	26.5	11.0	2.3	24.5
宁波市区	2009	4.8	8.6	40.8	11.0	8.9	1.1	11.3
增减变化		-2.3	-0.1	-18.5	-15.5	-2.1	-1.2	-13.2
杭州市区	2000	3.1	14.9	81.4	31.2	24.7	4.8	37.6
杭州市区	2009	3.6	8.3	77.1	17.7	28.2	2.9	21.2
增减变化		0.5	-6.6	-4.3	-13.5	3.5	-1.9	-16.4
平湖市	2000	0.5	2.3	29.7	11.7	18.9	2.9	14.1
平湖市	2009	0.8	2.3	12.0	9.0	13.6	0.9	11.1
增减变化		0.3	0.0	-17.7	-2.7	-5.3	-2.0	-3.0

从全省农业系统近 10 年来二氧化碳排放量的变动趋势来看，碳排放加剧的县市区有 20 个，其中，奉化市、衢州市区、温

岭市、上虞市、桐庐县、海宁市等县市区年二氧化碳排放增加量超过了 10 万 t，农用柴油以及化肥、农药、农膜用量的大幅上升是增加的主要原因，衢州市区主要是受到畜禽废气物排放量增加较大。农业系统碳排放下降的县市区有 49 个，其中宁波市区、杭州市区、平湖市、临海市等地碳排放减少幅度较大，达到 20 万 t 以上。这主要有两种原因，一方面是农业生产空间不断被压缩，水稻播种面积不断减少，粮食产量下滑，并带来农药、化肥、农膜等农资用量的大幅下滑，从而减少了二氧化碳的排放。另一方面，随着浙江省高效生态农业的推进，测土施肥配方、病虫害绿色防控等节约型技术措施的实施，推进了农资的科学使用和合理利用，从而减少了二氧化碳排放。通过数据对比(表 5)，发现第二种原因占据主要地位，因为农业用能、投入品增加所增加的二氧化碳排放量总体上要大于稻田下降、作物秸秆减少所减少的二氧化碳排放量。

4 测算结果比较与分析

4.1 对浙江省农业系统碳源碳汇的总体判断

随着人们对气候变暖问题以及低碳经济的日益关注，农业系统碳储量及碳汇问题的研究正在逐年增多，但对其究竟是碳源或者碳汇问题还存在争议。我国学者刘允芬通过研究发现，农业生态系统是碳汇而非碳源^[10]，而方精云等则认为，森林、草原、灌木从表现出显著的碳汇，由于作物的收获期较短，农作物生物量的碳汇效果并不明显^[8]。但总体上看，如果把土壤碳库计算在内，农田生态系统的确是巨大的碳汇^[11]。该研究结果表明，如把林业碳汇计算在内，浙江省农业生态系统总体上表现为碳汇趋势，即碳吸收大于碳排放；如不计算林业碳汇，农业生态系统在 2005 年之前表现为碳源状态，2005 年之后总体上表现为碳汇。

4.2 与已有研究的比较

从已有的研究来看，对农业系统碳源碳汇的测度还比较宏观、分散，已有学者的研究主要集中在：一是对水稻、畜禽、秸秆焚烧等专业领域的碳排放量估算，对农用能源消耗未计入或者划入别的部分进行核算，这并不能反映农业系统碳排放的全貌；二是对农田土壤固碳能力、农田生态系统碳汇碳源、陆地生态系统植被碳汇等领域的研究^[3, 11, 12]，对某一地区或者国家范围内农业碳源、碳汇进行系统测度的研究还比较少。研究测算结果表明：农业系统温室气体排放中，生产过程中的用能、工业投入品是农业温室气体主要来源，稻田排放、牲畜肠道发酵等农业种植、养殖本身所产生的温室气体排放量并不大。与已有研究相比较，该研究更为全面地考察了全省各县市区农业系统的碳源、碳汇结构以及变动趋势，试图更为细致地识别影响区域低碳农业发展的主要因素，为有针对性地提出低碳农业发展的策略和技术组合提供参考。

5 结语

文章在对农业系统碳源、碳汇测算办法进行梳理的基础上，系统评估了 2000~2009 年浙江全省及 69 个县市区农业碳源、碳汇变动趋势，得出以下基本结论：(1)浙江省农业系统总体上碳吸收量大于碳排放量，即总体上呈碳增汇趋势。(2)从碳吸收情况来看，浙江省农业系统碳吸收总量呈波动上升态势，林地碳吸收占比最大；从碳排放情况来看，碳排放量呈逐年递减的趋势，化肥和农用柴油碳排放量较大。(3)从 69 个县市区碳吸收情况来看，耕地面积大、作物产量高、森林面积大的地区，农业碳吸收功能发挥较好，而从碳汇变动趋势来看，处于经济发达的地级市市区或者沿海经济发达县市近 10 年来由于耕地面积大幅减少，粮食、蔬菜等农作物播种面积下降、产量下滑，对农业系统碳汇功能的发挥影响较大。(4)从 69 个县市区碳排放情况来看，近 10 年来部分县市区农业系统碳排放量增加主要是由于农用柴油以及化肥、农药、农膜用量的大幅上升，部分县市区 CO₂ 排放量下降则主要是因为稻田面积下降、作物秸秆减少所致。在讨论了浙江农业系统碳源碳汇的变动趋势之后，从如何促进低碳农业的发展角度，仍有很多具体的问题需要研究解决，例如低碳农业的发展路径、低碳农业的技术支撑体系构件，等等，这些也是下一步需要继续深入探讨的问题。

参考文献：

-
- [1] 匡耀求, 欧阳婷萍, 邹毅, 等. 广东省碳源碳汇现状评估及增加碳汇潜力分析. 中国人口资源与环境, 2010, 20(12)
- [2] 漆雁斌, 陈卫洪. 低碳农业发展影响因素的回归分析. 农村经济, 2010(2)
- [3] 韩冰, 王效科, 逯非, 等. 中国农田土壤生态系统固碳现状与潜力. 生态学报, 2008, 28(2)
- [4] 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. 北京:气象出版社, 2002:260~261
- [5] 吴志丹, 王义祥, 翁伯琦, 等. 福州地区 7 年生柑橘果园生态系统的碳氮储量. 福建农林大学学报(自然科学版), 2008, 37(3)
- [6] 黄毅斌, 王义祥, 翁伯琦. 果-草生态模式的土壤固碳潜力. 全国低碳农业研讨会, 2010. 6, 北京
- [7] 姜培坤, 徐秋芳, 杨芳. 雷竹土壤水溶性有机碳及其与重金属的关系. 浙江林学院学报 2003, 20(1)
- [8] 方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算. 中国科学(D 辑), 2007, 37(6)
- [9] 周国模、吴家森、姜培坤. 不同管理模式对毛竹林碳贮量的影响. 北京林业大学学报, 2006, 28(6)
- [10] 刘允芬. 中国农业系统碳汇功能. 农业环境保护, 1998, 17(5)
- [11] 赵荣钦, 刘英, 丁明磊, 等. 河南省农田生态系统碳源/汇研究. 河南农业科学, 2010(7)
- [12] 罗怀良. 川中丘陵地区近 55 年来农田生态系统植被碳储量动态研究—以四川省盐亭县为例. 自然资源学报, 2009, 24(2)