

# 皖江城市带农田生态系统碳排放动态研究

谷家川<sup>1</sup>, 查良松<sup>1,2\*</sup>

(1. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241003; 2. 安徽师范大学 GIS 重点实验室, 安徽 芜湖 241003)

**摘要:** 基于化肥、农药、农膜、农业灌溉、农地翻耕、农机运用、农作物收割后残留根系分解 7 个主要碳源, 测算皖江城市带 1991~2010 年农业碳排放量。结果表明: 研究区农业碳排放总量从 1991 年的 273 万 t 增加到 2010 年的 535 万 t, 年均增长率为 10.35%, 同时 2010 年其排放量约占安徽省碳总排放量的 4.43%。1991~2010 年研究区人均农业碳排放年均增幅 2.6%, 农业碳排放密度年均增幅 5.84%, 碳排放强度年均降幅 376.9 t/亿元。研究区农业碳排放以农作物收割后残留根系分解为主(占总排放量的 59.87%), 且化肥碳排放比重年均增长最快达 16.18%。各市农业碳排放量六安最大, 安庆较大, 铜陵最小, 其中平均增幅最大为六安 2.98 万 t/a, 最小为铜陵 0.09 万 t/a; 碳排放强度最大为六安, 较大为滁州, 最小为铜陵, 平均降幅最大为滁州 647.74 t/(亿元·a), 最小为铜陵 197.60 t/(亿元·a); 人均农业碳排放量最大为滁州, 最小为铜陵, 人均增加量最大为六安 4.60 kg/a, 最小为合肥 0.39 kg/a; 碳排放密度年均增幅最大为芜湖 8.36%, 最小为马鞍山 3.45%。最后根据该区农业碳源的构成特点和动态特征, 为其降低农业碳排放提出一些建议。

**关键词:** 农业碳排放; 碳排放强度; 农业碳源; 结构特征; 皖江城市带

**中图分类号:** X511; S181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-8227(2013)01-0081-07

近几十年来, 人类对化石燃料的无节制使用以及非持久性土地利用直接或间接导致大气中 CO<sub>2</sub> 浓度增高, 对气候的暖化产生了一定性的影响, 从而引起以气候变暖为特征的一系列生态环境问题, 受到国际社会的高度重视与广泛关注<sup>[1~3]</sup>。目前, 世界各国都在加强对碳循环和碳收支问题的研究, 而如何充分发挥各碳库的碳汇功能来减缓气候变暖成为研究的热点。但从当前结果来看, 国内学者对陆地生态系统中的草地生态系统<sup>[4~6]</sup>和森林生态系统<sup>[7~9]</sup>碳库研究较多, 并证明其是全球碳库的重要组成部分<sup>[10]</sup>, 可是对于陆地生态系统中的农田生态系统碳循环的研究则较为薄弱。农田生态系统是陆地生态系统的重要组成部分, 也是人类活动最频繁、与人类关系最为密切、对自然环境影响最明显的系统, 还是重要的大气碳源和碳汇<sup>[11]</sup>。农作物多为一年生植物, 周期短, 而且化肥、农药、农膜的使用带有个主观性, 其使用量的多少因人而异; 此外, 农业灌溉面积的大小因天气而定, 如天气干旱灌溉的面积就大, 而风调雨顺时灌溉面积相对较少, 甚至

无需灌溉。因此, 农业碳源具有显著的不确定性和受人类活动强烈影响的特点。据研究, 农业温室气体排放总量为 6.21 亿 t CO<sub>2</sub> 当量, 占全国排放总量的 17%<sup>[12]</sup>。1990~2005 年农业源温室气体排放增长了 14%, 相当于平均每年排放  $4.9 \times 10^7$  t CO<sub>2</sub><sup>[11]</sup>。至今关于农田碳循环的研究多集中在稻田甲烷<sup>[13,14]</sup>、土壤碳<sup>[15~17]</sup>、农田碳汇<sup>[2,10,11]</sup>等方面, 而对农田生态系统碳源的综合估算与评价方面的研究则很少。安徽省是我国农业大省, 而皖江城市带又是安徽省重要的农业生产区域, 农田在地表覆盖中占很大比例, 并且农业又是典型的“高能耗、高物耗、高排放和高污染”四位一体的高碳农业发展模式。因此, 皖江城市带农田生态系统对大气 CO<sub>2</sub> 浓度的影响是不可忽视的。分析和了解皖江城市带农业碳排放的现状、特征、结构及其时空规律, 有助于提供皖江城市带更精确的农业源碳排放清单, 系统了解农业碳循环过程; 有助于转变其农业发展方式, 实现农业可持续发展; 有助于制定科学合理的农业管理措施, 并可为减排政策等方面提供较强的理论支撑。

收稿日期: 2012-03-15; 修回日期: 2012-04-12

基金项目: 国家软科学项目(2011GXQ4D052); 安徽省软科学项目(11020503071); 国家自然科学基金项目(41271545)

作者简介: 谷家川(1985~), 男, 安徽省泗县人, 硕士研究生, 主要从事模型设计与 GIS 应用方面研究。E-mail: gujiachuan@126.com

\* 通讯作者 E-mail: chaliangs@sina.com

## 1 资料与研究方法

### 1.1 数据来源

皖江城市带指的是长江流域安徽段两岸地区的合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、池州、滁州、宣城 8 个地级市,以及巢湖市(县级市)、六安市的金安区和舒城县(本文研究区包含整个六安市)。采用 1991~2010 年皖江城市带各地市历年化肥施用量、地膜的使用量、农业机械总动力、GDP、人口数量等数据,这些数据均来自 1992~2011 年的《安徽统计年鉴》,其中翻耕数据以当年皖江各市农作物实际播种面积减去其耕地面积的 2 倍为准,农业灌溉则以当年皖江各市实际灌溉面积为准。各市数据采用的是安徽省 2011 年 7 月份之前的行政区划,巢湖市的数据包括市区、庐江县、无为县、和县、含山县。

### 1.2 研究方法

估算农业碳排放的碳源主要有 7 个种类:一是化肥使用过程中所导致的碳排放;二是农药使用过程中所引起的碳排放;三是农作物收割后残留根系分解所导致的碳排放;四是灌溉过程间接耗费的化石燃料所形成的释放碳;五是农膜使用过程中所导致的碳排放;六是农地翻耕破坏土壤有机碳库,致使大量有机碳流失到空中所形成的碳排放;七是由于农业机械运用而直接或间接消耗化石燃料(柴油、电力等)所产生的碳排放。7 种主要农业碳排放的估算公式为:

$$E = \sum_{i=1}^6 E_i + F = \sum_{i=1}^6 T_i \times \partial_i + (A \times B + C \times D) \quad (1)$$

$$G = E/H \quad (2)$$

$$K = E/V \quad (3)$$

式中:  $E$  为农田生态系统的碳排放总量;  $E_i$  为第  $i$  种类型的碳排放量;  $T_i$  为第  $i$  种碳源的使用量,或残留根系的碳储量;  $\partial_i$  为第  $i$  个碳源的碳排放系数;  $F$  为农业机械运用所产生的碳排放量;  $A$  为农作物种植面积;  $C$  为农业机械总动力;  $B$ 、 $D$  为农业机械碳源的碳排放系数;  $G$  为农田生态系统的碳排放强度;  $H$  为国内生产总值,即 GDP;  $K$  为人均农业碳排放量;  $V$  为人口数量。根据有关研究,农业碳源的碳排放系数可以归结为表 1。

## 2 结果与分析

### 2.1 研究区农业碳排放总体特征

根据已给出的农业碳排放测算公式、农业各种

碳源的碳排放系数表 1、研究区的人口数量、耕地面积、GDP 等相关数据,测算 1991~2010 年研究区农业的碳排放总量、碳排放强度、人均碳排放量、碳排放密度及变化趋势分别如图 1、图 2、图 3 所示。

表 1 农业各种碳源的碳排放系数<sup>[1,11,12,17~22]</sup>

Tab. 1 Coefficient of Agriculture Carbon Emission

农地利用的 碳源种类	碳排放系数	农地利用的 碳源种类	碳排放系数
化肥	0.895 6 kg/kg	农膜	5.18 kg/kg
农药	4.934 1 kg/kg	农作物根系分解	0.25 kg/kg
农业机械 B	16.47 kg/hm <sup>2</sup>	农地翻耕	319 kg/km <sup>2</sup>
农业机械 D	0.18 kg/kW	农业灌溉	266.48 kg/hm <sup>2</sup>

### 2.1.1 研究区农业的碳排放总量及其占农业吸收碳的比例分析

分析图 1 可知,研究区农业碳排放量由 1991 年的 273 万 t 增加到 2010 年的 535 万 t,碳排放总量有一定的波动,但总体呈增长态势,年平均增加量为 13.1 万 t,平均增幅率为 10.35%,最高年份农业碳排放量与最低年份相差 263 万 t。与此同时,2010 年研究区农业碳排放量占安徽省碳总排放量的 4.43%;2003 年之前除 1996 年、1997 年和 1998 年,其余都低于 20 年的平均值,之后都高于 20 年平均值;研究区农业碳排放可以分为 3 个阶段,1997 年之前为第一个阶段,1998~2003 为第二个阶段,2004~2010 年为第三个阶段。第一阶段增长比较快,年平均增幅为 26.67%;第二阶段碳排放量呈减少趋势,年平均减幅为 12%;第三阶段增幅较缓,年平均增幅为 10.42%。究其原因主要是:1997 年以前,研究区农业主要为“高能耗、高物耗、高排放和高污染”四位一体的高碳农业发展模式;1998~2003 年农业发展模式有所改变,以节能环保为主;2004~2010 年由于经济的快速发展,农民生活水平提高,农业机械成为主流,致使消耗大量的化石燃料,导致碳排放量增加。

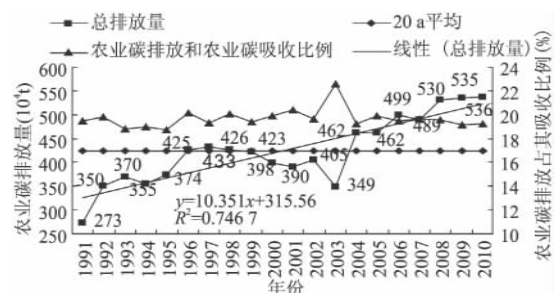


图 1 皖江城市带农业碳排放量

Fig. 1 Variation of Carbon Emission Through the Major Paths in the Farm Land Ecosystem of the Wan Jiang City Belt

另外,研究区农业碳排放总量虽然在不断增加,但是其占农业碳吸收的比例总体趋势在减小,说明农业碳吸收越来越大;1991~2005年,研究区农业碳排放总量占农业碳吸收的比例表现为增加-减小-增加的趋势,2003年农业碳排放总量占农业碳吸收的比例最大为22.57%,2005年之后,农业碳排放总量占农业碳吸收的比例表现为逐渐减少趋势。

### 2.1.2 研究区农业的碳排放强度、人均碳排放量和碳排放密度分析

农业碳排放强度是衡量单位 GDP 农业碳排放量的指标,可以反映其在经济发展的同时对减缓气候变化的贡献,在某种程度上农业碳排放强度下降率可反映农业能源利用及相应碳排放的经济效益提高程度。排放强度越小,表明单位产值的碳排放负荷越低;反之,则说明排放负荷越高,单位碳排放的效益越差。分析图 2 可知,研究区农业碳排放强度由 1991 年的 8 174.2 t/亿元降至 2010 年的 636.6 t/亿元,呈持续下降态势,年均降幅 376.9 t/亿元,同时 2010 年农业碳排放强度占安徽省碳排放强度的 5.7%,这说明研究区农业单位产值碳排放负荷逐年下降。另外,研究区农业碳排放强度下降态势大致呈幂指数衰减特征,模拟公式见图 2。利用模拟公式可以预测出未来数年研究区农业碳排放强度值,会越来越小,这说明研究区农业碳排放的减排效率还存在较大的提升空间。人均农业碳排放量指某地区农业能源消费所产生的碳排放总量除以该地区人口数,反映出不同地区人口对有限排放空间的占有程度,是国际上进行减排谈判使用的重要指标依据之一。分析图 2 可知,研究区农业人均碳排放量由 1991 年的 86 kg/人增加到 2010 年的 164 kg/人,人均增加 4 kg/a,年均增幅 2.6%,同时 2010 年农业人均碳排放量占安徽省人均碳排放量的 9.65%。

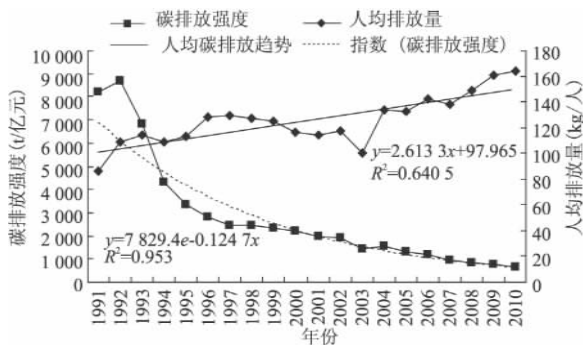


图 2 皖江城市带农业碳排放强度、人均碳排放量

Fig. 2 Agriculture Carbon Emissions Intensity and Per Capita Carbon Emissions in the Wan Jiang City Belt

农业碳排放密度是农业碳排放量与耕地面积的比,是反映区域单位面积碳排放量的指标。分析图 3 可以看出,研究区农业碳排放密度处于“上升—下降—上升”的三阶段变化趋势,总体呈上升趋势,年均增幅 5.84%。其中,1991 年碳排密度最低仅为 1.28 t/hm<sup>2</sup>,随后几年一直呈现上升趋势,并且上升幅度较大,1996 年突破 2 t/hm<sup>2</sup> 达到 2.03 t/hm<sup>2</sup>,2000 年则骤然下降了 403 kg,为 1.6 t/hm<sup>2</sup>,2004 年后增长有变缓趋势,2010 年达到历史最高值为 2.64 t/hm<sup>2</sup>。

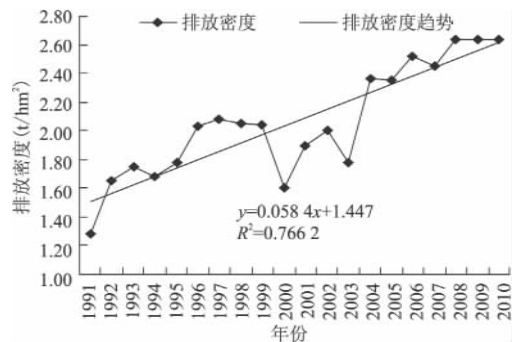


图 3 皖江城市带农业碳排放密度

Fig. 3 Agriculture Carbon Emissions Density of the Wan Jiang City Belt

### 2.1.3 研究区农业的碳排放结构分析

通过对皖江城市带 20 a 来农业碳排放构成的分析(图 4)可知,该研究区农业碳排放构成以农作物收割后残留根系分解为主(占农业碳排放量的 59.871 2%)。各种方式农业碳排放占总排放的比重由大到小依次是:根系分解(59.871 2%)、化肥(28.049 5%)、农药(4.997 2%)、农膜(3.061 2%)、农业灌溉(2.292 7%)、农业机械(1.715 9%)、农地翻耕(0.012 3%)。根系分解在农业碳排放所占的比重十分突出是研究区农业种植面积大、农田管理不科学等原因所致。各种农业碳排放量占农业碳排放总量的比重变化趋势见表 2,可知化肥碳排放所占的比重增加趋势最大为 16.18%。

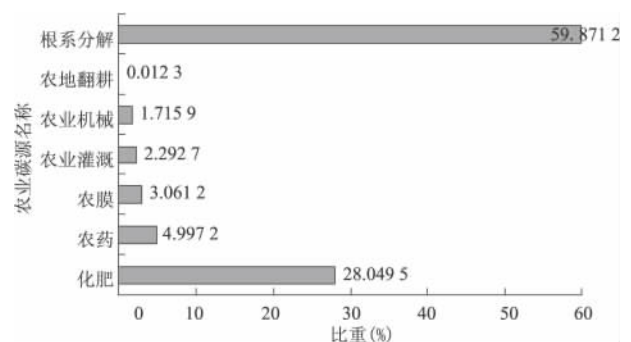


图 4 皖江城市带农业碳排放比例

Fig. 4 Agriculture Carbon Emissions Proportion of the Wan Jiang City Belt

表 2 1991~2010 年皖江城市带各种农业  
碳排放比例趋势模型分析

Tab. 2 Agriculture Carbon Emissions Ratio Trend Model  
Analysis of the Wan Jiang City Belt Between 1991 and 2010

排放源	趋势模型	R <sup>2</sup>
化肥	$Y = 0.1618x + 26.35$	0.1055
农药	$Y = 0.1094x + 3.8486$	0.6409
农膜	$Y = -0.0037x + 3.1001$	0.1005
根系分解	$Y = -0.1995x + 61.966$	0.1058
农业灌溉	$Y = -0.0368x + 2.6789$	0.0218
农业机械	$Y = -0.0323x + 2.0552$	0.5947
农地翻耕	$Y = 0.0011x + 0.0004$	0.6062

## 2.2 研究区农业碳排放区域特征

根据已给出的农业碳排放测算公式、农业各种碳源的碳排放系数(表 1)、各市的 GDP、人口数、耕地面积等,测算 1991~2010 年研究区各市农业的碳排放总量、碳排放密度、碳排放强度、人均碳排放量等变化分别如图 5、图 6、图 7、图 8 所示。

### 2.2.1 研究区各市农业的碳排放总量、碳排放密度分析

分析图 5 可知,研究区各市农业碳排放量六安最大,安庆、滁州、合肥较大,最小是铜陵;六安、安庆碳排放总量有一定的波动,其余各市都较平稳,但各市总体都呈持续增长态势;其中年均增幅从大到小依次为六安 2.98 万 t、安庆 1.91 万 t、滁州 1.86 万 t、巢湖 1.14 万 t、合肥 0.90 万 t、芜湖 0.56 万 t、池州 0.20 万 t、马鞍山 0.17 万 t、铜陵 0.09 万 t;平均每年农业碳排放量增幅最大的是最小的 33 倍多。

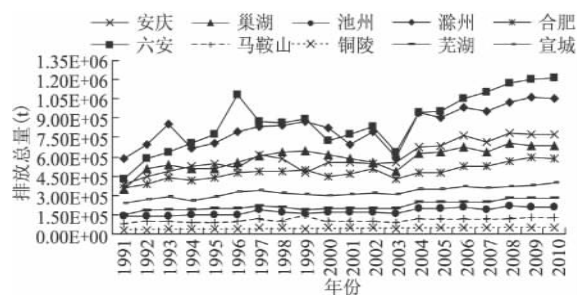


图 5 皖江城市带各市农业碳排放量

Fig. 5 Agricultural Carbon Emissions in Various  
Cities of the Wan Jiang City Belt

分析图 6 可知,研究区各市农业碳排放密度处于“上升—下降—上升”的三阶段变化趋势,波动性较大,各市总体都呈上升趋势,增幅最大为芜湖、安庆,最小为马鞍山;平均每年增幅从大到小分别为芜湖 8.36%、六安 7.42%、合肥 6.83%、安庆 6.03%、

池州 5.84%、滁州 5.29%、铜陵 4.44%、巢湖 3.99%、马鞍山 3.45%,其中增幅最大的芜湖是增幅最小的马鞍山的 2.4 倍,由此可见各市的碳密度变化存在着明显的区域差异。

### 2.2.2 研究区各市农业的碳排放强度、人均碳排放量分析

分析图 7 可知,各市农业碳排放强度最大为六安,较大为滁州,最小为铜陵。各市整体都呈幂指数递减,这说明各市农业碳排放的减排效率还存在较大的提升空间,尤其是六安、滁州、巢湖;各市农业碳排放强度 1991~2010 年年均降幅从大到小分别为滁州 647.74 t/亿元、合肥 434.95 t/亿元、池州 405.08 t/亿元、宣城 383.45 t/亿元、马鞍山 351.80 t/亿元、芜湖 330.15 t/亿元、巢湖 328.75 t/亿元、安庆 283.24 t/亿元、六安 233.87 t/亿元、铜陵 197.60 t/亿元。

在各市人口逐年增加的背景下,分析图 8 可知,各市人均农业碳排放却都呈增加趋势,这说明各市的农业碳排放量的增加速度非常快;各市人均农业碳排放除滁州、六安外变化都比较平稳;各市人均农业碳排放量最大为滁州,最小为铜陵,其中各市人均农业碳排放量人均每年增加趋势从大到小分别为六安 4.60 kg、滁州 3.52 kg、安庆 3.13 kg、池州 2.72 kg、巢湖 2.68 kg、宣城 2.47 kg、芜湖 1.92 kg、铜陵 0.78 kg、马鞍山 0.51 kg、合肥 0.39 kg,其中人均每年增加趋势最大的六安是最小的合肥 11.8 倍。

### 2.2.3 研究区各市农业的碳排放结构分析

通过对研究区各市 20 a 来农业碳排放构成进行分析可知,研究区各市农业碳排放构成以农作物收割后残留根系分解为主(占农业碳排放量的 60%左右),其次为施用化肥排放(占农业碳排放量的 30%左右),其余各种方式农业碳排放量占总排放量的 10%左右;各市的各种方式农业碳排放量占总排放量的比重和研究区总体各种方式农业碳排放量占总排放量的比重大体一致,从大到小依次是:根系分解、化肥、农药、农膜、农业灌溉、农业机械、农地翻耕。

## 3 政策建议

(1) 发展低碳农业,提高农户减排的积极性和主动性

皖江城市带各市要以发展低碳农业为指导,摒弃“高能耗、高物耗、高排放和高污染”四位一体的高

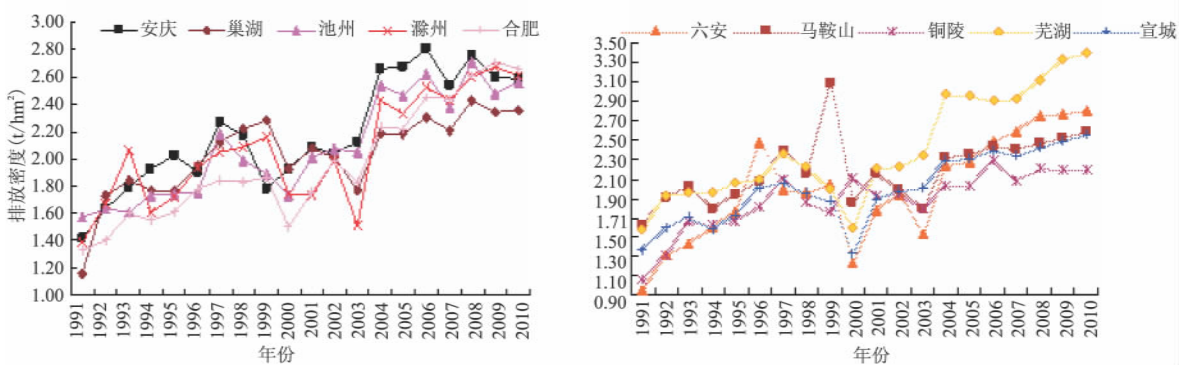


图 6 皖江城市带各市农业碳排放密度

Fig. 6 Agricultural Carbon Emissions Density in Various Cities of the Wan Jiang City Belt

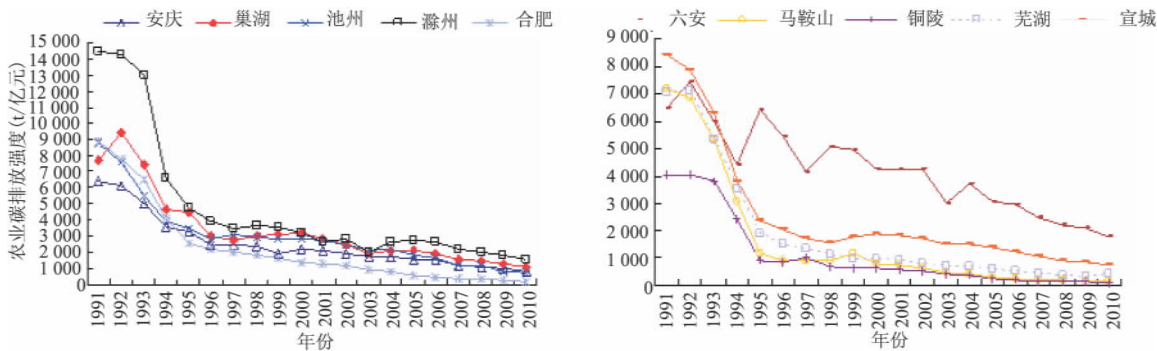


图 7 皖江城市带各市农业碳排放强度

Fig. 7 Agricultural Carbon Emissions Intensity in Various Cities of the Wan Jiang City Belt

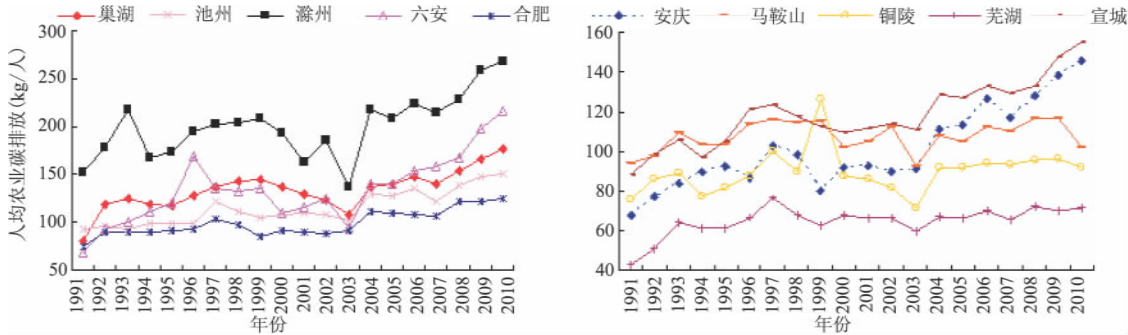


图 8 皖江城市带各市农业人均碳排放量

Fig. 8 Agricultural Per Capita Carbon Emissions in Various Cities of the Wan Jiang City Belt

碳农业发展模式,向集约农业、生态农业、循环农业、低碳农业发展模式转变,进而实现农业的可持续发展;政府可以尝试建立起一套完善的低碳农业生态补偿技术体系,实行资金稳定、管理规范、保障有力的运转机制,激励广大农民参与低碳农业的积极性和主动性。具体措施:发展低碳农业扶持政策,在贷款发放、信息咨询等方面提供支持;鼓励农民增施有机肥、种植绿肥、秸秆还田,减少农药、化肥、农膜等使用量,以奖补试点减少农业的碳排放;政府农业行政管理部门可以与农民签定低碳农业协议,只要农

民能够提供“可核证的排放消减量和农业碳汇增强量”,就按照减排和增汇额度付与一定的补偿,还可以在芜湖、合肥、安庆、滁州等条件具备的地区发展沼气工程,促进秸秆利用、作物根系和生活能源减排,还可能增加有机肥的总量。

(2)调整耕作制度,优化农业产业结构

农田生态系统土壤有机碳储量的变化是输入土壤的光合固碳速率与土壤有机碳分解速率之间平衡的一个数学函数,过度翻耕可以导致局地的土壤有机碳含量显著下降以至丧失<sup>[23]</sup>;然而传统的翻耕会



改变土壤通气性,增强微生物活动,破坏土壤的团聚体结构,使土壤有机碳失去保护,加速分解。采取少耕、免耕措施可以降低土壤有机碳的侵蚀,延长土壤中秸秆等有机质的循环周期,增加有机碳蓄积量。六安、滁州、安庆、巢湖主要以种植业为主,种植面积大,田块面积较小,因此可以实行少耕、免耕种植,既减少了土壤有机碳的流失,又减少了农机使用过程中的碳排放;产业结构的优化升级也有助于推进农业碳减排,当前皖江城市带江北各市农业产业结构仍以种植业为主,林业、渔业发展水平相对滞后。因此要鼓励农业结构由单一种植向林业、渔业的多元化转变,进而减少农业碳排放,并结合皖江区域特点,如宣城、池州、芜湖湖泊较多且林业和茶园面积比较大,在条件准许的情况下还可以发展渔业和进一步加大发展经济林、茶园等低碳排放产业,既能起到增加碳汇、保护生态环境的作用,还能减少土壤耕作造成的土壤有机碳流失。

### (3)降低农资使用强度,着力提高其利用效率

农业生产资料利用效率的提升有助于实现农地碳减排。要提高粮食的单位产量,化肥、农药、农膜仍然是农业生产的投入品。但是我们可以通过提高农业生产资料利用效率,降低其使用量来减少农业碳排放。如皖江城市带江北各市易发生干旱,江南各市雨水较多但病虫害较普遍。因此可针对不同的区域特点种植不同的改良作物品种,如具有对高温、干旱等极端气候及病虫害有抗性的品种,确保在新的生态环境中农牧产量不断提高,扩大碳的吸收存储等,减少农药、农膜使用的次数和数量,提高农药利用率;同时进一步加大有机肥的使用力度、减少化肥的使用量及提高化肥使用效率,降低单位农业产出的能耗,从源头上减少农业碳排放。

### (4)鼓励使用节能机械,减少农业机械使用

淘汰落后、高耗能的农业机械,推广使用先进节油减排的柴油机,降低燃油消耗;在有条件的情况下,政府加大节能机械购机补贴、实施以旧换新和提供免息或低息贷款等优惠鼓励农民淘汰落后、高耗能的农业机械;加大农田水利建设,使其能够在干旱的时候实行引水灌溉及在固定作业场地更多使用电动机,减少农业机械使用;整合资源,使用联合作业等先进的机械化农艺技术,提高农机服务组织化程度,降低农业机械配置数量,提高农业机械利用率,达到节约能源、减少碳排放的目的。

### (5)实施科学的农田管理技术

土壤有机碳动态变化不但受自然因素如温度、

降水和植被类型的影响,而且很大程度上受施肥、秸秆还田、免耕和灌溉等农业耕作管理措施的影响。在目前的种植模式下,通过现有农田管理措施的改善来增加土壤固碳效应的空间已经很小,农田土壤进一步固碳的潜力有限。要想进一步提高农田土壤固碳的能力,必须实施科学的农田管理技术,减少农作物收割后残留根系分解的  $\text{CO}_2$  外排,进一步提高农田土壤对其农作物收割后残留根系分解的  $\text{CO}_2$  吸收固碳能力<sup>[24,25]</sup>,如科学灌溉、合理施肥等。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 韩冰,王效科,欧阳志云.中国东北地区农田生态系统中碳库的分布格局及其变化[J].土壤通报,2004,35(4):401-407.
- [3] 卢娜,曲福田,冯淑怡.中国农田生态系统碳净吸收重心移动及其原因[J].中国人口·资源与环境,2011,21(5):119-125.
- [4] 吴琴,尧波,朱丽丽,等.鄱阳湖典型苔草湿地生物量季节变化及固碳功能评价[J].长江流域资源与环境,2012,21(2):215-219.
- [5] 方一平,秦大河,丁永建.草地生态系统人工干预对经济福利的影响——以黄河源区为例[J].长江流域资源与环境,2010,19(9):1099-1105.
- [6] 常瑞英,唐海萍.草原固碳量估算方法及其敏感性分析[J].植物生态学报,2008,32(4):810-814.
- [7] 张林,王礼茂,王睿博.长江中上游防护林体系森林植被碳储量及固碳潜力估算[J].长江流域资源与环境,2009,18(2):111-115.
- [8] 方精云,陈安平,赵淑清,等.中国森林生物量的估算:对 Fang 等 Science 一文(Science,2001,291:2320-2322)的若干说明[J].植物生态学报,2002,26(2):243-249.
- [9] 张林,王礼茂,王睿博.长江中上游防护林体系森林植被碳储量及固碳潜力估算[J].长江流域资源与环境,2009,18(2):11-115.
- [10] 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[J].自然资源学报,2009,24(2):251-258.
- [11] 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.
- [12] 李波,张俊飏,李海鹏.中国农业碳排放与经济发展的实证研究[J].干旱区资源与环境,2011,25(12):8-13.
- [13] SASS R L, FISHER F M, WANG Y B, et al. Methane emission from rice fields: The effect of floodwater management[J]. Global Biogeochem Cycles, 1992, 6: 249-262.
- [14] 徐华,蔡祖聪,李小平.种稻土壤  $\text{CH}_4$  排放规律的研究[J].土壤与环境,1999,8(3):193-197.
- [15] 童成立,吴金水,向万胜,等.长江中游稻田土壤有机碳计算机

- 模拟[J]. 长江流域资源与环境, 2002, 11(3): 229-233.
- [16] 陈亮中, 谢宝元, 肖文发, 等. 三峡库区主要森林植被类型土壤有机碳储量研究[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(5): 640-643
- [17] 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 保护性耕作对农田生态系统净碳排放量的影响[J]. 生态学杂志, 2007, 26(12): 2035-2039.
- [18] 王静, 冯永, 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(自然科学版), 2010, 38(1): 195-200.
- [19] 王桂波, 南灵. 陕西省耕地利用碳源/汇时空差异分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(02): 245-249.
- [20] 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, 11.
- [21] 王小彬, 王燕, 代快, 等. 旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4638-4652.
- [22] 邓祥征, 赵永宏, 战金艳, 等. 农田碳汇估算模型与应用研究述评[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(35): 17649-17652, 17691.
- [23] 赵荣钦. 农田生态系统碳源\_汇的时空差异及增汇技术研究[D]. 南京: 河海大学硕士研究生论文, 2004.
- [24] 唐海明, 汤文光, 肖小平, 等. 中国农田固碳减排发展现状及其战略对策[J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1755-1759.
- [25] 谷家川, 奎良松. 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.

## DYNAMIC RESEARCH ON CARBON EMISSIONS OF FARMLAND ECOLOGICAL SYSTEM OF THE WAN JIANG CITY BELT

GU Jia-chuan<sup>1</sup>, ZHA Liang-song<sup>1,2</sup>

(1. College of National Territorial Resource & Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241003, China;

2. Anhui Normal University GIS Key Laboratory, Wuhu 241003, China)

**Abstract:** The carbon emissions from agricultural ecosystem of the Wan Jiang City Belt from 1991 to 2010 was calculated based on seven main kinds of agricultural carbon sources including fertilizers, pesticides, agricultural films, agricultural irrigation, farmland tillage, agricultural machinery and the decomposition of roots after the harvest of the crops. The result showed that the carbon emissions from the farmland of the research area from 1991 to 2010 increased from 2.73 to 5.35 million ton with an average annual growth rate of 10.35%, meanwhile the carbon emissions accounted for 4.43% of the total amount of Anhui province in 2010. The carbon emissions from the farmland per capital and the density of carbon emissions had an average growth rate of 2.6% and 5.84% respectively during 1991-2010, while the carbon emission intensity decreased 376.9 t/(10<sup>8</sup> Yuan · a). The decomposition of the residual roots of the crops after harvest which accounted for 59.87% was the main composition of the carbon emissions from farmland in the research area, simultaneously carbon emissions from fertilizers increased the most with an average growth rate of 16.18%. Among all the cities of the research area, the maximum of carbon emissions from farmland was in Lu'an and the average growth was  $2.98 \times 10^4$  t/a, followed by Anqing, and the minimum was in Tongling with the least growth of 900 t/a. The maximum of carbon emission intensity was in Lu'an, secondly in Chuzhou with the largest decrease of 647.74 t/(10<sup>8</sup> Yuan · a), while the minimum was in Tongling with the least decrease of 197.60 t/(10<sup>8</sup> Yuan · a). The maximum of carbon emissions from farmland per capital was in Chuzhou, but the minimum was in Tongling. The maximum of the increased amount per capital was in Lu'an which was 4.60 kg/a, while the minimum was in Hefei which was 0.39 kg/a. The maximum of the average growth rate of carbon emission density was 8.36% in Wuhu, while the minimum was 3.45% in Ma'anshan. Finally, some suggestions were put forward to reduce the carbon emissions from farmland according to the characters of the formation and dynamics of agricultural carbon sources in the research area.

**Key words:** agricultural carbon emissions; carbon emission intensity; agricultural carbon source; structure; the Wan Jiang City Belt