

江苏省水稻生产的碳排放结构特征和影响因素研究

——基于农户生产投入和规模的视角

刘乃栋, 胡浩*, 胡中应 (南京农业大学经济管理学院, 江苏南京 210095)

摘要 基于对江苏省水稻生产农户的实地调研, 运用投入产出法和生命周期法, 对水稻生产的碳排放进行探究, 并借助影响因素回归模型, 探讨影响农户水稻生产碳排放的主要因素。结果表明: ①江苏省农户生产 1 hm² 水稻的碳排放约为 5 110.92 kgCe, 从水稻碳排放结构特征来看, 水稻生产中甲烷排放的比重较大, 包括农用能源(煤炭、柴油、电力)及工业投入品(化肥、农药等)的全生命周期碳排放是水稻温室气体重要的来源; ②家庭劳动力数量的增加并不会减少水稻单位产量的碳排放; ③种植规模对水稻单位产量碳排放的影响显著为负, 且种植规模效益地区差异明显。

关键词 碳排放; 结构特征; 影响因素; 水稻生产

中图分类号 S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)13-04121-04

Research on Structural Characteristics and Affecting Factors of Carbon Emission of Rice Production in Jiangsu Province—Based on Farmers' Production Inputs and Scale

LIU Nai-dong, HU Hao et al (College of Economics and Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095)

Abstract In order to explore the carbon emission of rice production, this paper used the research data of Jiangsu Province and based on input-output method and the life-cycle method, and with the effects regression model to investigate the major factors of the carbon emission of rice production. The conclusions were as follows: Firstly, the carbon emission of 1 hm² of rice of farmers production was estimated to be 5 110.92 kgCe, from the perspective of rice structural characteristics of carbon emission, methane emission of rice production accounts for a large proportion including agricultural energy sources (coal, diesel, electricity) and industrial inputs (fertilizers, pesticides, etc.) of the full life cycle carbon emissions were a significant source of greenhouse gases rice. Secondly, an increase in the number of family labor does not reduce carbon cost. Thirdly, the scale of cultivation displayed a significantly negative with carbon cost, and the regional differences of economies of scale were significant.

Key words Carbon emission; Structural characteristics; Influencing factors; Rice production

农业排放大量的 CH₄ 和 N₂O, 是重要的温室气体排放源。根据 IPCC(政府间气候变化专门委员会)第四次评估报告, 农业源温室气体排放占总的人为温室气体排放量的 13.5%, 其中 CH₄ 排放占人类活动造成的碳排放总量的 50%^[1]。对我国而言, 农业生产正处于依靠大量投入化肥、农药、塑料薄膜、机械作业等方式来增加产量的发展进程中, 相对粗放的高碳基农资投入、低利用率和高残留率的生产方式, 已使农业成为温室气体排放的重要来源^[2]。《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》显示, 中国温室气体排放的 17% 来自农业, 其中 CH₄ 和 N₂O 分别占全国排放总量的 50.15% 和 92.47%。2010 年, 我国政府工作报告明确指出要努力建设以低碳排放为特征的产业体系, 积极参与应对国际合作, 推动全球气候变化新发展。另外, 联合国粮农组织指出, 低碳农业可以抵消 80% 的农业温室气体。在这种背景下, 以“高效率、低能耗、低排放、高碳汇”为特征的低碳农业成为一种全新的现代农业发展模式而备受关注^[3]。

为实现农业低碳化的发展, 前提和基础是要对不同区域农业系统温室气体排放来源、结构特征进行精确核算和深度分析^[4]。国内学者在农业碳排放的测算和结构特征的分析上作了大量的研究, 而对碳排放影响因素的研究则偏重宏观方面。因此, 从微观农户生产投入的视角对碳排放结构进行

分析, 并对影响因素进行研究有一定的创新价值, 其研究结论有一定的政策涵义。

笔者根据江苏省实地调研的微观农户数据, 运用综合投入产出法和生命周期法, 在分析江苏省水稻生产的碳排放结构的基础上, 从农户生产投入和规模的视角, 探讨水稻生产中碳排放的主要影响因素, 为相关政策制定提供一定的理论支持。

1 碳排放测算及分析

1.1 农业碳排放的涵义 农业生产碳排放是指在农业生产过程中, 由人为因素引起的各种直接或间接的碳排放总量以及各个生产环节上排放的分量^[5]。农业生产碳排放包括直接碳排放和间接碳排放, 直接碳排放是指在使用农业机械进行耕地、播种和收获等农业生产的过程中, 柴油消耗产生的碳排放, 同时也包括由于施用氮肥而导致土壤增加的碳排放, 还有在种植水稻过程中, 农田产生的碳排放; 农业间接碳排放是指在生产运输化肥、农药和农膜等农业生产资料过程中, 在农业上游部门的碳排放, 其中也包括灌溉消耗的电能产生的碳排放。

1.2 碳排放计算方法 农业生产的温室气体排放主要指农业生产过程中的甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)和二氧化碳(CO₂)的排放, 该研究在计算农户水稻生产的碳排放时, 主要根据农业生产过程中不同温室气体的排放进行阶段的划分。从现有的研究成果来看, 水稻不仅是中国最主要的 CH₄ 排放源, 而且对全球的 CH₄ 排放也起着重要的作用^[6]。因此, CH₄ 排放成为水稻温室气体排放的重要组成部分。

$$CF_{CH_4} = S \times \delta_{CH_4} \times 25 \times \frac{12}{44} \quad (1)$$

基金项目 国家社科基金重大项目(10ZD&031); 江苏省教育厅高校哲学社会科学重大项目(2010ZDAXM018)。

作者简介 刘乃栋(1990-), 男, 江苏盐城人, 硕士研究生, 研究方向: 农业经济, 低碳经济。* 通讯作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事农业经济、畜牧业经济研究。

收稿日期 2014-04-04

式中, CF_{CH_4} 为水稻甲烷排放折算的碳当量[碳当量(Carbon equivalent, 简称“Ce”)是指一种用作比较不同温室气体排放折算成碳排放的量度单位, 是通过该气体的吨数乘以其温室效应值(GWP)再乘以二氧化碳分子中碳分子的含量即12/44后得出的, 单位为 $kgCe$ 。GWP表示在100年的时间框架内, 各种温室气体的温室效应对应于相同效应的二氧化碳的质量。 CO_2 的GWP值为1; CH_4 的GWP值为25; N_2O 的GWP值为298。该研究所指的碳排放均为折算后的碳当量]; S 表示农户水稻的种植面积; δ_{CH_4} 表示水稻单位面积的 CH_4 排放系数(单位: kg/hm^2); 25表示 CH_4 的温室效应值(GWP); 12/44表示 CO_2 分子中C元素的含量。

水稻田不仅排放大量 CH_4 , 还排放 N_2O , 而农户施用氮肥的数量决定了农田 N_2O 的排放量。

$$CF_{N_2O} = F_N \times \delta_N \times \frac{44}{28} \times 298 \times \frac{12}{44} \quad (2)$$

式中, CF_{N_2O} 为氮肥施用所产生的 N_2O 排放的碳当量; F_N 表示水稻生产过程中氮肥的施用量(折纯量); δ_N 表示氮肥施用引起的农田 N_2O 中N的排放系数($kgN_2O - N/kgN$); 44/28表示 N_2O 分子式中N分子的含量; 298表示 N_2O 的温室效应值(GWP)。

除了 CH_4 和 N_2O 的排放, 根据投入产出法和全生命周期法, 在水稻生产过程中化肥、农药、农膜的生产运输、灌溉电能的消耗、机械柴油的消耗所产生的 CO_2 都应该计入农业生产的碳排放中。

$$CF_{CO_2} = CF_F + CF_P + CF_{PF} + CF_{IR} + CF_D = \sum_i^n T_i \times \delta_i \quad (3)$$

式中, CF_F 、 CF_P 、 CF_{PF} 、 CF_{IR} 分别表示在生产运输化肥、农药、农膜等农业生产资料以及灌溉消耗的电能所产生的间接碳排放; CF_D 表示柴油消耗所产生的直接碳排放; T_i 表示各种生产资料的投入量或能源的消耗量; δ_i 表示生产资料或能源所对应的碳排放系数。

综上, 水稻生产过程中总的碳排放公式如下:

$$CF_t = CF_{CH_4} + CF_{N_2O} + CF_{CO_2} \quad (4)$$

1.3 碳排放参数选择 在碳排放参数的选择上, 主要是参考前人研究的结果, 具体参数见表1。

表1 水稻生产各排放源、排放因子及参考文献

排放源	缩写	排放因子	参考文献
水稻种植 CH_4 排放	CF_{CH_4}	535.5 $kgCH_4/hm^2$	王明星等[7]、闵继胜等[8]
N肥施用 N_2O 排放	CF_{N_2O}	0.003 $kgN_2O - N/kgN$	IPCC[9]
化肥	CF_F	1.74 $kgCe/kgN$ 0.20 $kgCe/kgP$ 0.15 $kgCe/kgK$	逯非等[10] Dubey and Lal[11] Dubey and Lal[11]
农药	CF_P	4.93 $kgCe/kg$	West and Marland[12]
农膜	CF_{PF}	5.18 $kgCe/kg$	李波等[13]
灌溉电能	CF_{IR}	0.25 $kgCe/kwh$	逯非等[10]、夏德建等[14]
机械柴油	CF_D	0.717 $kgCe/L$	BP China[15]

1.4 数据来源 该研究采用2012年作者对江苏省7个地区的实地调研数据, 为了能够全面反应江苏省农户水稻生产的总体情况, 根据地理位置和经济发展水平选取了几个有代

表性的地区: 苏南地区的无锡、常州、镇江; 苏中地区的泰州和南通; 苏北地区的盐城和徐州。调查共完成农户问卷530份, 获得有效问卷497份, 有效率达94%, 其中, 苏南地区回收有效问卷131份, 苏中地区246份, 苏北地区120份。

1.5 水稻生产碳排放结果分析 根据碳排放计算公式和参数, 可以得出江苏省水稻生产的碳排放清单, 结果见表2。

表2 水稻生产碳排放清单

排放源	kgCe/hm ²			
	苏南	苏中	苏北	江苏省
N肥施用 N_2O 排放(CF_{N_2O})	129.60	171.43	177.23	161.80
化肥(CF_F)	612.90	818.25	845.66	770.74
农药(CF_P)	50.62	56.64	34.53	49.71
灌溉电能(CF_{IR})	241.19	348.69	284.93	341.11
机械柴油(CF_D)	378.35	100.70	95.17	136.40
合计	1 412.66	1 495.71	1 437.52	1 459.76

注: 根据调研数据整理, 表中的数据均为均值。在 CH_4 排放方面, 江苏省水稻种植排放 CH_4 约为3 651.16 $kgCe/hm^2$, 但是计算 CH_4 的碳排放因子是与种植规模、地区以及品种有关, 因此, 这部分的碳排放并不是农户生产要素投入造成的, 该研究不加以深究。

由表2可知, 从碳排放总量上来看, 江苏省各地区农户水稻生产的碳排放均值相差并不大, 但是从碳排放结构上来看, 各个排放源的碳排放差异较大且各地区差异明显。在排除了水稻 CH_4 排放的影响后, 江苏省水稻碳排放构成中化肥、农药、电能、柴油分别占总量的63.88%、3.41%、23.37%、9.34%。从水稻各排放源的地区比较来看, 在化肥方面(由于土壤排放 N_2O 是施用氮肥造成的, 因此该部分碳排放可以归入到化肥部分), 苏北的碳排放最高, 苏中次之, 苏南最少, 碳排放表现为从北到南由多到少的趋势; 在机械柴油方面, 苏北的碳排放最少, 苏中其次, 苏南最多, 碳排放呈现从北到南由少到多的规律。可能的原因是受地区经济发展水平的影响。相比于苏中、苏北, 苏南的经济水平较高, 而经济水平越高的地区, 越有利于低碳技术(如测土配方施肥技术)的研发和使用, 测土配方施肥技术的使用提高了肥料利用效率, 减少了肥料投入量, 从而减少了碳排放。这说明了经济发展水平是促进农业生产碳减排的主要影响因素。在机械柴油方面, 可能的原因是苏南农户从事农业生产的劳动力较少且非农收入较高, 而苏北农户从事农业生产的劳动力较充裕。根据诱致性技术变迁理论, 农户在资金充裕的情况下偏向于采用资金密集型农业技术, 农户在劳动力充裕的情况下则倾向于采用劳动密集型农业技术, 因此, 苏南地区的农户倾向于使用机械, 而苏中、苏北地区的农户则倾向于投入劳动力。

2 水稻生产碳排放影响因素分析

2.1 模型与变量 水稻生产的碳排放除了受生产资料投入的影响外, 还受其他“环境”因素的影响。该研究以规模经济理论作为研究农户水稻生产碳排放影响因素的基本理论, 借鉴国内外学者相关方面的研究成果, 将影响农户水稻生产的“环境”因素归纳为用户主特征变量、家庭特征变量、农业经营变量和地域变量4大类。

2.1.1 户主特征变量 该组变量主要指年龄和受教育程

度。一般而言,户主年龄稍小的农户更倾向于采用具有现代技术特征的可持续农业技术^[16],其水稻生产的碳排放会比较少。教育程度越高的户主,其对新型农业技术的需求、学习和接受能力比较高,水稻生产碳排放也会相对较少。

2.1.2 家庭特征变量。该组变量主要指农户劳动力总数和家庭收入状况。就化肥而言,施用有机肥、采用科学水肥技术是一项劳动密集型技术,因此拥有较多劳动力的农户,可能倾向于施用有机肥并采用精准施肥、氮肥深施等提高肥料使用率的技术。同时,拥有较多劳动力的农户考虑其成本收益会倾向于用劳动来替代机械,从而减少碳排放。一般而言,随着家庭收入的增加,农户具有更多的资本进行农业生产资料的投资。然而,在收入一定的条件下,农户的非农收入占总收入的比重越高,其劳动力务农的机会成本越高,农户用劳动来替代机械的可能性就越低。

2.1.3 农业经营变量。该组变量主要指农户耕地规模和地块分散程度。农户耕地规模越大、细碎化程度越低时,越有利于农户采用先进的技术、科学的手段从事生产,碳排放较少。然而,农地细碎化程度高却限制了农业机械的使用,增加了农业机械的跑动距离和掉头回头的几率,柴油消耗量会增加,造成额外的碳排放。

2.1.4 地域变量。为了分析区域间的农户水稻生产碳排放是否存在差异,本文引入地域变量。不同地区经济发展水平的不同,在一定程度上影响了当地农户的水稻生产投入行为。此外,在不同地区,农户水稻生产碳排放的种植规模效益可能会存在差异。

研究粮食生产是否存在规模经济就是分析土地经营规模、细碎化程度对单位生产成本的影响,而为了分析土地经营规模、细碎化程度对水稻生产碳排放的影响,该研究用单位产量的碳排放(碳成本)来替代单位生产成本,并参照许庆等研究粮食生产是否存在规模经济时建立的模型^[17],构建如下基本模型:

$$PC_i = \alpha_{0i} + \alpha_{1i}Age + \alpha_{2i}Edu + \alpha_{3i}Labor + \alpha_{4i}NonA + \alpha_{5i}Land + \alpha_{6i}Reg + \mu_i \quad (5)$$

式中, PC_i 表示第*i*个农户生产水稻的碳成本; Age 代表户主年龄; Edu 代表农户受教育的程度,用在校受教育年数计量; $Labor$ 表示家庭劳动力总数; $NonA$ 表示家庭非农总收入; $Land$ 表示种植面积(hm^2); P 表示地块数目; Reg 代表区域性因素的一组虚拟变量。

2.2 样本描述 根据对江苏省农户的调研数据,对样本的描述性统计分析结果见表3。

统计结果表明,此次调查的农户平均年龄为57.38岁,农村劳动力趋于老年化,受教育的平均年限为7.93年,总体偏低。在家庭特征变量方面,家庭劳动力总数的均值为3.26,家庭非农收入的均值为4.35万元。在农业经营变量方面,江苏省农户户均水稻种植面积为0.327 hm^2 ,地块数量为3.48块,耕地面积偏小且细碎化程度高。

2.3 模型估计结果 基于调研数据,利用Stata12.0统计软件对农户水稻生产碳排放的影响因素进行OLS模型估计,在

进行多重共线性检验和消除异方差影响后,结果见表4。

表3 自变量的描述性统计分析结果

变量类型	变量名称	变量定义	均值	标准差	预期影响
户主特征变量	年龄	岁	57.38	10.40	-
家庭特征变量	受教育程度	年	7.93	3.24	-
家庭特征变量	家庭劳动力总数	16周岁以上的家庭成员数量//人	3.26	1.21	-
农业经营变量	家庭非农总收入	家庭非农年收入//万元	4.349	5.187	+
地区虚拟变量	耕地规模	水稻种植面积// hm^2	0.327	0.656	-
地区虚拟变量	地块分散程度	地块数量//块	3.48	2.79	+
地区虚拟变量	虚拟变量1	1=苏南;0=其他地区	0.26	0.44	?
地区虚拟变量	虚拟变量2	1=苏中;0=其他地区	0.49	0.50	?

注:根据调研数据整理。

表4 变量的OLS模型回归结果

变量	系数	标准差	t	P > t
常数项	0.642 900 5***	0.036 516 9	17.61	0.000
年龄	-0.000 465 3	0.000 476 8	-0.98	0.330
受教育程度	-0.001 811 9	0.001 557 9	-1.16	0.245
家庭劳动力	0.011 724 7***	0.004 211 9	2.78	0.006
非农总收入	-0.000 052 3	0.000 097 5	-0.54	0.592
地块分散程度	-0.000 447 9	0.002 070 6	-0.22	0.829
耕地规模的对数	-0.014 800 2*	0.007 957 0	-1.86	0.063
地区虚拟变量1	0.030 829 0**	0.013 446 2	2.29	0.022
地区虚拟变量2	0.031 728 0***	0.011 971 0	2.65	0.008

注:*、**、***分别代表10%、5%和1%水平上显著。

由表4可知,年龄、受教育程度、非农总收入和地块分散程度对水稻生产碳成本影响不显著,此外,家庭劳动力、耕地规模和地区虚拟变量这些该研究所关心的影响因素对水稻生产碳成本均有显著影响。

第一,耕地规模对水稻生产的碳成本有负向影响,且在10%的水平上显著。说明随着耕地规模的扩大,碳成本越少,与预期相符。原因在于:一方面耕地规模直接影响生产要素的投入,耕地规模的扩大可以减少单位面积化肥、农药和柴油等农业生产资料的投入,产生规模效益;另一方面,耕地规模通过影响农业技术的使用间接影响要素的投入,因为耕地规模越大,越有利于农户采用先进的技术、科学的手段从事农业生产,而垄作免耕技术、灌溉节水技术、施肥技术、病虫害防治技术以及新型农作物育种技术等技术的使用可以有效提高生产要素的利用效率,从而减少要素的投入,实现农业生产的低碳减排。

第二,家庭劳动力总数对水稻生产的碳成本有正向影响,且在1%的水平上显著。这表明,家庭劳动力人数越少的农户,碳成本反而越低,与预期不相符。可能的原因是受社会化服务组织的影响。农户家庭劳动力数量少,农民倾向加入社会化服务组织,因为农业社会化服务组织适应农户需求,为农民提供农资、施肥、植保、插秧、灌溉、机耕、机收、运输等生产服务项目,而农民只进行必要的要素投入及服务,解决了农户家庭劳动力短缺的问题。此外,农民组织化程度的提高一方面可以减少农业生产要素的投入,实现规模效应;另一方面有利于低碳技术的广泛使用,减少碳排放。而

家庭劳动力较多的农户,一方面可以减少机械的使用以及对氮肥的精施、深施,从而减少碳排放,但是相对于社会化服务组织的集中生产和对整个生产过程的技术支持,其碳排放相对较高;另一方面,家庭劳动力数量虽然多,但是投入农业劳动的时间并不多,因为相比于农业收入非农收入较高,这就使得农地粗放经营,碳排放相对较高。

第三,地域变量对水稻生产的碳成本有正向影响,且在1%和5%的水平上显著。不同地区由于经济发展水平的不同导致水稻生产的宏观环境不同,如技术的研发、推广和培训,其在一定程度上影响当地农户的水稻生产行为。从实地调研的情况来看,农业技术培训大多数是对农民施肥的培训,虽然苏南地区农民的培训要多于苏北地区,但随着政府测土配方施肥技术的开展,苏北地区的农民也能通过购买配方肥解决过量施肥问题。在机械方面,由于苏北劳动力价格相对较低,劳动力数量相对充裕,在机械的投入上要远远少于苏南地区,这就使得苏北地区的碳成本要低于苏南地区。

3 结论与政策建议

3.1 结论 该研究基于江苏省苏南、苏中和苏北的7个地区的调研数据,运用投入产出法和生命周期法,计算出江苏省农户水稻生产的碳排放,并从农户生产投入和规模的视角深入分析碳排放结构特征及主要影响因素。得出如下结论:

第一,江苏省农户生产1 hm²水稻的碳排放约为5 110.92 kgCe,从水稻碳排放结构特征来看,水稻生产甲烷排放的比重较大,包括农用能源(煤炭、柴油、电力)及工业投入品(化肥、农药等)的全生命周期碳排放是水稻温室气体重要的来源,在其碳排放构成中化肥、农药、电能、柴油分别占总量(剔除了水稻甲烷排放的影响后)的63.88%、3.41%、23.37%、9.34%。

第二,家庭劳动力总数对水稻生产碳成本的影响显著为正,说明农村劳动力数量的增加,并不会减少农业生产的碳排放,关键在于投入农业生产劳动力的素质,在我国目前农业生产效益很低的情况下,大量精壮劳动力外出打工,农村留下的主要是老弱妇孺,培训难度大,那些比较先进的低碳管理措施很难被实施,而一些简单省时省力的农业耕作措施更容易被采用,从而导致碳排放增加。

第三,种植规模对水稻生产碳成本的影响显著为负,种植规模主要是通过影响农业技术的使用间接影响生产要素的投入,因为种植规模越大越有利于农户采用先进的技术、科学的手段从事生产,提高了水肥等农业生产资料的利用效率,减少了农业生产要素的投入量,从而减少了碳排放。可见种植规模化对实现低碳农业具有重要的作用,但由于种植规模效益同时受地区经济社会条件的影响,在不同地区,效果会存在差异,苏北地区的种植规模效益要明显高于苏南以及苏中地区。

3.2 政策建议 基于上述研究结果,为实现我国农业生产的低碳减排,提出如下政策建议。

3.2.1 提倡适度规模种植。当农户耕地规模越大、细碎化

程度越低时,越有利于农户采用先进的技术、科学的手段进行生产,提高水肥等农业生产资料的利用效率,增加土壤固碳和温室气体减排。此外,种植规模效益受地区经济社会条件的影响,在不同地区,效果会存在差异。因此,政府应因地制宜的推进农村土地流转,提倡农户扩大种植规模,进行适度规模种植,减少农业生产碳排放。

3.2.2 完善农业社会化服务组织。农业社会化服务组织一方面为农民提供农资、施肥、植保、插秧、灌溉、机耕、机收等生产服务项目,实现农业全生产环节的外包,生产环节规模经营,减少碳排放;另一方面,提高农产品市场竞争力,保护农民利益。因此,政府应加强社会化服务组织建设,积极扶持农业专业合作组织发展,规范农业生产方式,逐渐引导农民由传统的高碳生产方式向现代农业的低碳生产方式转变。

3.2.3 加强对农民低碳技术的培训,加大农业政策支持力度,培养新型农民。测土配方施肥、喷灌、滴灌等高效节水节肥技术的使用一方面能够减少水稻生产中CH₄的排放,另一方面能提高农业生产中的化肥和水分等资源的利用效率,从而减少要素投入所产生的碳排放。因此,政府应加强对农民低碳农业知识的宣传普及和低碳农业技术的操作指导,提高劳动力素质,同时应不断加大农业政策支持力度,提高农业经营收益,吸引农村青壮年劳动力回流,培养新型农民。

参考文献

- [1] IPCC. 气候变化2007:综合报告[R]. 2007.
- [2] 马培骞. 农业低碳发展投入政策:有效性和创新路径[J]. 生态经济, 2011(2): 49-53.
- [3] 杜受祜. 低碳农业:潜力巨大的低碳经济领域[J]. 农村经济, 2010(4): 3-5.
- [4] 黄祖辉,米松华. 农业碳足迹研究——以浙江省为例[J]. 农业经济问题, 2011(11): 40-47.
- [5] 史磊刚,陈阜,孔凡磊,等. 华北平原冬小麦-夏玉米种植模式碳足迹研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(9): 93-98.
- [6] 唐红侠,韩丹,赵由才,等. 农林业温室气体减排与控制技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2009: 81-96.
- [7] 王明星,李晶,郑循环. 稻田甲烷排放及产生、转化、输送机理[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 600-610.
- [8] 闵继胜,胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(7): 21-27.
- [9] IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and other Land Use[R]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2006.
- [10] 逯非,王效科,韩冰,等. 中国农田施用化学氮肥的固碳潜力及其有效性评价[J]. 应用生态学报, 2008, 19(10): 2239-2250.
- [11] DUBEY A, LAL R. Carbon Footprint and Sustainability of Agricultural Production Systems in Punjab, India and Ohio, USA[J]. Journal of Crop Improvement, 2009, 23: 332-350.
- [12] WEST T O, MARLAND G. A Synthesis of Carbon Sequestration, Carbon Missions, and Net Carbon Flux in Agriculture: Comparing Tillage Practices in the United States[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2002, 91: 217-232.
- [13] 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.
- [14] 夏德建,任玉珑,史乐峰. 中国煤电能源链的生命周期碳排放系数计量[J]. 统计研究, 2010, 27(8): 82-89.
- [15] BP China. Calculator of carbon emission[EB/OL]. (2007-02-03) [2007-11-03]. <http://www.bp.com/sectiongenericarticle.do?CategoryId=9011336&contentId=7025421>.
- [16] 黄季焜,胡瑞法. 方向东. 农业科研投资的总量分析[J]. 农业科研经济管理, 1998(3): 23-25.
- [17] 许庆,尹荣梁,章辉. 规模经济、规模报酬与农业适度规模经营——基于我国粮食生产的实证研究[J]. 经济研究, 2011(3): 59-71.