

农业碳排放国内外研究进展

田云^{1,2} 张俊飏^{1,2*}

(1. 华中农业大学 经济管理学院, 武汉 430070;
2. 湖北农村发展研究中心, 武汉 430070)

摘要 在对农业碳排放进行概念性阐述的基础上,重点对当前国内外农业碳排放问题的研究论点及其进展进行归纳、比较和述评,指出了当前研究存在的一些不足:研究视角较为单一,缺少必要的宏观统筹;未能从一个系统的角度探讨农业碳减排的政策手段以及相关的实证检验。列举了4个值得今后探讨的研究视角:1)科学编制广度、精度俱佳的农业碳排放测算体系;2)探讨我国农业碳排放时空演变特征及与经济间的关系;3)基于微观层面分析农户农业碳行为方式;4)减排技术与经济政策紧密衔接,构建适宜于我国的农业碳减排政策体系。

关键词 碳; 碳排放; 农田生态系统; 农村环境

中图分类号 X 511

文章编号 1007-4333(2013)03-0203-06

文献标志码 A

International and domestic research progress on agricultural carbon emission

TIAN Yun^{1,2}, ZHANG Jun-biao^{1,2*}

(1. College of Economics & Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. Hubei Rural Development Research Center, Wuhan 430070, China)

Abstract Based on the conceptual description, the research progress of agricultural carbon emissions obtained in the international and domestic extent in recent years was summarized and some shortcomings were pointed out. Generally the viewing angle of research in this area was limited, and the existed literatures had deficiency in the necessary coordination of macro system and were failed to discuss the policy effect, as well as the correlative empirical test about the agricultural carbon reduction from a system view. Finally, this paper raised four research perspectives for the future: 1) to establish an agricultural carbon emissions calculation system with both superb breadth and accuracy; 2) to explore the relationship between spatial and temporal evolution characteristics of the agricultural carbon emissions and economy; 3) to analyze the agricultural carbon behavior of farmers in the view of the micro-level; 4) to combine technology with economic policy closely to build a policy system of agricultural carbon emission reduction basing on the national situation.

Key words carbon; carbon emission; field ecosystem; rural environment

近年来,随着化肥、农药等农用物质的大量施用,农业活动所引发的碳排放已成为了碳排放的重要组成部分。农业碳排放问题则逐渐成为了越来越多国内外学者、公众和政府关注的热点,尤其在发展中国家,化肥农药等农用物质的低效利用、农地利用

方式的不合理、过牧过垦所带来的植被破坏等都在一定程度上影响了农业生态系统的碳平衡,更加剧了农业系统的碳排放,为此,学术界开展了大量研究。本研究拟从农业碳排放产生机理及特征分析、基于特定视角下的农业碳排放问题研究、农业碳减

收稿日期: 2012-08-17

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(71273105); 湖北省高等学校中优秀中青年科技创新团队(T201219); 中央高校基本科研业务费专项基金(2012RW002)

第一作者: 田云, 博士研究生, E-mail: tianyun1986@163.com

通讯作者: 张俊飏, 教授, 博士生导师, 主要从事农业经济理论与政策, 资源与环境经济研究, E-mail: zhangjb513@126.com

排机制构建与政策研究等3方面对相关文献予以梳理,并在此基础上进行简要述评,希冀能够对丰富相关方面的研究有所帮助。

1 农业碳排放产生机理及特征分析

相比工业碳排放,农业碳排放源头呈现多样性特征:1)农业投入品使用、农业能源耗费、农业废弃物处理等环节带来的碳排放^[1];2)稻田甲烷排放及土壤氧化亚氮的直接排放^[2];3)动物尤其是反刍动物养殖带来的碳排放^[3]。黄祖辉^[4]采用分层投入产出一生命周期评价法,对浙江省农业系统碳足迹进行了研究,分析发现农业碳排放虽然只是总碳足迹的一部分,但隐含在农用能源和农业工业投入品生产过程中的碳排放不容忽视,原因在于农用能源直接和间接碳排放、工业投入品全生命周期碳排放、农业废弃物最终处置是农业温室气体排放最重要的来源渠道,化肥(氮肥)生产、运输、施用过程中引致的碳排放在整个农业系统碳排放中所占比重最大。传统农业形势下我国农业碳排放水平相对较高,约占温室气体排放总量的17%^[5],改革开放以来甚至以平均每年5%的速度持续增长^[6]。

美国科学家 Jane M. F. Johnson^[7]认为,农业碳排放主要源于农业废弃物、肠道发酵、粪便管理、农业能源利用、稻田以及生物燃烧。基于上述碳源,美国环保局(Environmental Protection Agency, EPA)运用层次分析法,测算出美国2008年由农业活动导致的碳(折合成CO₂)排放量约为4.275亿t,其中半数源自农地利用活动,近1/3出自肠道发酵。L. M. Vleeshouwers^[8]则在充分考虑作物(品种、产量、套种模式),气候(温度、降水、蒸发),土壤(碳储存量、含水量)等因素的前提下,构建了相关的计量模型,用于分析与评估农地土壤的碳转移量。此外,土地利用方式的转变也是产生农业碳排放的重要因素^[9]。基于土地利用方式的变化, Ruben N. Lubowski^[10]等就不同土地利用方式下的土壤碳排水平或固碳能力进行了评估。ACIL Tasman Pty Ltd^[11]测算了美国、欧盟、加拿大、印度、新西兰等国农业碳排放的测算,发现不同国家农业碳排放占碳排放总量的比重差异较大,原因可能在于各个国家的农业生产方式不尽相同。

2 基于特定视角下的农业碳排放问题研究

鉴于农业碳排放源头的多样性与复杂性,一些学者选取特定视角对农业碳排放问题展开了较为深入的研究。

1)农地利用与农业碳排放。农用地向非农用地转化、农地利用集约化会增加碳排放,农用地土地利用内部调整(如植树造林、退耕还林还草)、农地利用粗放化则会减少碳排放^[12-13];赵荣钦^[14]以江苏省作为研究对象,进一步证实了农地利用方式的变化与温室气体排放存在重要关系。

2)农田生态系统碳足迹研究。段华平^[15]通过构建农田生态系统碳足迹模型计算了我国各省(市、自治区)农田生态系统碳排放、碳吸收和碳足迹,发现碳排放量、碳排放强度、碳吸收量和碳足迹均呈增加趋势,碳吸收强度表现稳定;钱晓雍^[16]以上海为例,分析了影响农田生态系统碳源汇的主要因素,发现碳吸收与粮食作物和经济作物产量显著正相关,而与果蔬作物产量显著负相关,碳排放与农用化学品投入、燃料动力使用以及耕作灌溉管理均显著正相关。

3)农作物特定种植模式下的碳足迹、碳效益研究。陈琳^[17]通过估算南京郊区5种夏季大棚设施蔬菜各个生产环节投入的碳成本及碳排放强度后发现,不同设施蔬菜单位面积碳排放、单位产量碳排放及单位产值碳排放强度存在显著差异;史磊刚等^[18]在系统评价了华北平原冬小麦-夏玉米两熟种植模式的碳足迹,发现在其碳足迹构成中化肥、电能、柴油、种子、农药分别占总量的61.76%、25.03%、7.44%、4.75%和1.02%,进一步研究表明,氮肥使用量和电能消耗量均与碳足迹呈正相关,种植规模与碳成本呈负相关;卢小宏等^[19]基于投入产出理论及方法,研究了北京地区主要农作物模式的碳投入、产出和碳效益情况;王福军等^[20]则对华北农田不同耕作方式下的固碳效益进行了评价。

4)农业能源消费、农用物质投入与农业碳排放。李国志^[21]对中国农业1981—2007年能源消费排放的二氧化碳进行了测算,发现中国农业碳排放呈现逐年上升趋势,其中超过95%的碳增量源于经济的快速增长;田云等^[22]基于化肥、农药等农资投入角

度,测算了湖北省农业碳排放并进行因素分解,结果表明其农业碳排放量总体呈现上升趋势,其中,效率因素、劳动力因素、产业结构因素对农业碳排放具有较强的抑制作用,而经济因素则推动了湖北省农业碳排放的快速上升。

国外学者对碳排放的研究相对较早,除了对一般性问题的关注之外,在研究视角的选择上还有许多具有重要借鉴价值的做法。

1)关于农场经营模式与农业碳排放。Lal^[23]测算了农场不同耕作方式直接或间接引致的碳排放量,发现常规耕作、精耕或者少耕、免耕所导致的每 hm^2 农地碳施放量分别为35.3、7.9和5.8 kg。Gomierol^[24]研究发现,相比传统农业,单位面积有机农业可实现40%~52%的碳减排。Wise^[25]则认为,单纯依靠生态环境保护、植树造林降低 CO_2 浓度的方式不可取,这样做会影响农业产出,大力研发农作物增产技术比单纯降低大气中 CO_2 浓度更为重要。

2)关于土地利用变化与生态系统碳平衡。Joseph^[26]研究表明,当前利用毁林(草地)垦荒种植农作物提炼生物质能源以替代化石燃料减少碳排放的方式不可行,土地利用变化所释放的碳排放量为生物质能源取代化石燃料所减少碳排放量的17~400倍。Arevalo^[27]研究了加拿大阿尔伯塔省中部地区农业用地转换为杨树混合林后该生态系统碳储量的变化情况,发现将农业用地转换为快速生长的短伐木本作物具有缓解气候变化的作用。鉴于热带生态系统在全球碳循环中所扮演的重要角色,且毁林开垦增加了大量 CO_2 ,Gillian L. Galford^[28]利用历年来所监测的土地利用变化数据,估计了巴西Mato Grosso州1901—2006年净碳平衡情况,并进一步量化了该州近年来的年平均碳排放量,为即将与联合国合作开展的碳减排项目提供了重要数据支撑。

3)关于土壤碳库与生态系统碳平衡。Marland^[29]基于实施背景、经济情况、农业政策、社会组织结构等10大影响因素评估了通过农业土壤碳封存减少大气中温室气体的可行性,发现该模式成功与否主要取决于激励机制的构建以及是否将其全面纳入到农业总体政策框架之中。Lal^[30]研究了

土壤侵蚀与碳排放间的关系,发现土壤侵蚀一方面使得土壤中已库存的大量有机碳释放至大气中,另一方面还影响了整体碳循环。土壤碳浸出损失(leaching losses)对农业系统碳平衡影响显著,Kindler^[31]研究了欧洲地区的森林、草原以及农田溶解的有机碳和无机碳浸出情况,发现碳浸出导致农田土壤净损失的生物性碳总量增加了24%~105%。

3 农业碳减排机制构建与政策问题研究

在减排政策的选择上,以碳税、补贴为标志的经济手段是许多学者的首选。陈红等认为政府在农村环境污染治理方面应更多地利用经济手段和激励机制控制污染量,最终达到农业碳减排目的;范定祥^[32]则基于博弈理论,分析了有限理性农业源各农户之间、农业源农户与非农业源企业之间采取不同策略的群体比例的动态变化以及进化稳定策略的对应条件,认为政府税收、补贴的干预力度和农户减排本身产生的环境收益以及碳排放权交易的有效实施,可以改变农业源的博弈得益矩阵,进而诱导农业源各农户选择碳减排策略;郑恒^[33]建议应通过制定专项规划的方式明确低碳农业的发展目标、政策导向和重点任务,同时完善政策法规保障,通过补贴制度鼓励农民和企业减排,并建立温室气体减量认证标志制度。与此同时,冯孝杰、向平安^[34]等部分学者还针对不同地区的情况,实证检验了不同控碳政策的实施效果。张健^[35]等运用CGE模型研究了碳税对我国各行业的综合影响,其中就农业而言,全面实施碳税将会影响其产出,故我国应在适当经济条件下推行统一碳税。由此可见,是否运用碳税政策推进农业碳减排目前在学术界仍存在一定争议,亟待进一步深入研究。

在减排技术的选择上,董红敏^[36]基于我国农业活动产生的甲烷和氧化亚氮分别占全国甲烷和氧化亚氮排放量的50.15%和92.47%的事实,对一些有助于实现农业碳减排的技术进行了效用评估,发现:大力推行秸秆氨化技术、稻田间歇灌溉技术、发展沼气工程、改进粪便收集和贮存方式、采用长效肥料并缓释肥等措施可分别减少15%~70%的甲烷或者氧化亚氮排放。冯之浚等^[37]从农地资源利用角度

出发,认为应在保护现有碳库和增加固碳作物品种的基础上,加强对农业土地利用方式的管理,以便提升土壤以及森林的固碳和减排潜力。鉴于畜牧生产及水稻种植是产生温室气体甲烷的重要源头,陈卫洪^[38]在定量分析畜牧生产、水稻种植对甲烷排放影响程度的基础上,提出了自己的减碳思路。张军以^[39]以三峡库区为例,科学构建了库区低碳循环生态农业发展的一般模式并结合当地实际情况给出了一些诸如推广免耕法、稻田水旱轮作等新型农业碳减排技术。而增强农民对低碳农业的认识与理解,规范企业和农户的生产行为,对推进农业碳减排也起着至关重要的重要^[40]。除此之外,广泛采用的农业碳减排技术还包括保护性耕作制度^[41]、测土配方施肥技术^[42]、农业废弃物生物黑炭转化还田技术^[43]、循环农业与生态农业发展、更新农业机械及技术^[33]。

国外有关农业碳减排机制构建与政策方面的研究成果比较丰富,对碳进行课税(或者收费)是一些学者公认的实现农业碳减排的政策工具。部分学者认为,管制者对间接测量的碳排放量课税或者对产品以及投入因素课税有助于实现农业碳减排。Shortle 的研究表明,对农场投入物质课税可以限定农场投入数量,而对污染物课税则可限定污染物数量。Tomasi 则认为,激励、税收、补贴三大机制应有有机融合,共同影响农户农业生产决策。税收、补贴制度应依据农业碳排放测量值与期望值之间的偏差程度合理确定。鉴于农业碳排放量难以精确测算,James 建议采用统一的税收和数量标准,对生产中具有负外部性的投入统一征收碳税;对具有正外部性的投入则实施补贴。税费标准、补贴价格的合理与否对农业碳减排的成败与效率有重要影响^[44]。基于上述理论研究,一些学者立足于农业生产实际,展开了一系列实证模拟研究。其中,Helfand 等对投入税与限制投入量两种措施进行了对比后发现,限量措施行政成本较低,但投入税效果更为明显。Barry Ryan^[45]以明尼苏达州为例,得出对农业能源课税有助于提高能源利用效率,减少碳排放的结论。Mark Peters 等^[46]研究发现,针对每吨农业碳排放收取 14 美元的费用,可使美国 2010 年农业碳排放量较 1990 年减少 7%,且对农产品供给与价格

的影响程度均低于 1%。而 Leinen^[47]则基于欧盟农业碳排放特征展开研究,发现课税有利于欧盟农业的可持续发展。

除了征收碳税以外,各国还采取了一系列农业工程与技术措施来推进农业碳减排。其中,农业工程措施主要包括增加农作物栽种密度^[48]、转变土地利用模式、少耕或者免耕、增强土壤吸碳水平^[49]等。而农业科技措施则包括:改变饲料配比,转变牲畜饮食结构^[7];提高粪便管理水平,大力发展有机农业和集约化农业^[50];构建厌氧消化系统,捕捉大气中的 CH₄^[51] 原字符串;生物燃料(主要是秸秆)的可持续利用,逐步取代农业生产所需化石燃料^[52]。除此之外,农业碳交易市场的构建与农业碳排放许可也是实现农业碳减排的重要手段^[53]。

4 简要述评

综上所述,国外关于农业碳排放问题研究主要集中在农业碳发生机理、土地利用变化和土壤碳库以及它们与农业生态系统碳平衡的关系、农业碳减排调控手段理论研究与现实模拟、农业碳减排工程与技术措施的选择与效果评价。国内学者则对农业碳发生机理、农业生产模式与农业碳排放间的关系、农业碳减排政策调控的初步思路、农业碳减排科学技术与工程技术的合理选择等方面进行了初步的探索。总体而言,当前国内外对农业碳排放的研究多基于单一视角,缺乏必要的宏观统筹;同时,也未能从一个系统的角度来研究和探讨农业碳减排的政策手段以及相关的实证检验。

为此,笔者认为,要想进一步丰富农业碳排放问题研究,科学构建农业碳减排机制,可从以下几方面入手,进行系统性和具有价值的研究与探讨:

- 1) 科学编制农业碳排放测算体系,以弥补现有测算方法在广度、精度等方面存在的不足。尤其是在确定碳源因子及其排放系数时,不仅要参考国内外相关研究成果并借鉴 IPCC 等研究机构的观点,还应积极咨询自然科学领域从事碳排放研究的资深专家。

- 2) 探究我国农业碳排放特征、时空演变规律、内生增长因子以及农业碳排放与经济发展之间的关联性,以增进我们的宏观认知。主要包括我国农业碳

排放时序演变规律及影响因素,主体功能区空间差异特征及成因,农业碳排放与农业经济间的短期、长期变动关系分析以及“EKC”验证。

3)分析农户农业生产碳行为方式,为微观层次碳减排政策完善和机制设计提供依据。具体涉及农户农业碳行为方式影响因素的SEM检验,农户农业碳减排技术采用特征及影响因素分析,农户农业生产碳行为方式调整的机制优化设计。

4)注重减碳技术与经济管理及其政策的衔接,构建具有中国特色的农业碳减排政策体系。一方面,明确各碳减排技术的适用性与减排潜力,并结合各主体功能区农业碳排放特征,提出切实可行的减排技术应用推广模式;另一方面,制定合理的农业碳减排政策,并应用CGE模型对不同减排政策效果进行模拟分析;在此基础上,结合国外成功经验,从政策、技术、碳税、碳交易市场建设等方面构建推进我国农业碳减排的政策体系。

参 考 文 献

- [1] 赵其国,钱海燕. 低碳经济与农业发展思考[J]. 生态环境学报, 2009,18(5):1609-1614
- [2] 李迎春,林而达,甄晓林. 农业温室气体清单方法研究最新进展[J]. 地球科学进展,2007,22(10):1076-1080
- [3] 李胜利,金鑫,范学山,等. 反刍动物生产与碳减排措施[J]. 动物营养学报,2010,22(1):2-9
- [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] 赵文晋,李都峰,王宪恩. 低碳农业的发展思路[J]. 环境保护, 2010,24(12):38-39
- [6] 冉光和,王建洪,王定祥. 我国现代农业生产的碳排放变动趋势研究[J]. 农业经济问题,2011(2):32-38
- [7] Johnson J M F. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions[J]. Environmental Pollution, 2007, 150(6):107-124.
- [8] Vleeshouwers L M, Verhagen A. Carbon emission and sequestration by agricultural land use: a model study for Europe[J]. Global Change Biology,2002,8(6):519-530
- [9] Woomer P L, Tieszen L L. Land use change and terrestrial carbon stocks in Senegal[J]. Journal of Arid Environments, 2004,59(3):625-642
- [10] Ruben N L, Andrew J. Plantinga. Land-use change and carbon sinks: econometric estimation of the carbon sequestration supply function[J]. Journal of Environmental Economics and Management,2006,51(2):135-152
- [11] ACIL Tasman Pty Ltd. Agriculture and GHG mitigation policy: Options in addition to the CPRS [M]. New South Wales; Industry & Investment NSW,2009
- [12] 杨庆媛. 土地利用变化与碳循环[J]. 中国土地科学,2010,24(10):7-12
- [13] 曲福田,卢娜,杨淑怡. 土地利用变化对碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(10):76-83
- [14] 赵荣钦,黄贤金. 基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J]. 生态环境学报,2010,29(9):1639-1649
- [15] 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(1):203-208
- [16] 钱晓雍. 上海农田生态系统碳源汇时空格局及其影响因素分析[J]. 农用环境科学学报,2011,30(7):1460-1467
- [17] 陈琳,闫明,潘根兴. 南京地区大棚蔬菜生产的碳足迹调查分析[J]. 农业环境科学学报,2011,30(9):1791-1796
- [18] 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
- [19] 卢小宏,曹晶,史磊刚,等. 北京市主要农作模式的碳效益分析[J]. 中国农业大学学报,2012,17(2):48-53
- [20] 王福军,张明园,张海林,等. 华北农田不同耕作方式的固碳效益评价[J]. 中国农业大学学报,2012,17(4):40-45
- [21] 李国志,李宗植. 中国农业能源消费碳排放因素分解实证分析[J]. 农业技术经济,2010(10):66-72
- [22] 田云,张俊逸,李波. 基于投入角度的农业碳排放时空特征及因素分解研究[J]. 农业现代化研究,2011,32(6):752-755
- [23] Lal R. Carbon emission from farm operations[J]. Environment International,2004,30(7):981-990
- [24] Gomiero T, Paoletti M G., Pimentel D. Energy and environmental issues in organic and conventional agriculture [J]. Critical Reviews in Plant Sciences,2008,27(4):239-254
- [25] Wise M, Calvin K, Thomson A, et al. Implications of limiting CO₂ concentrations for land use and energy[J]. Science,2009, 324(5):1183-1186
- [26] Joseph F, Hill J, David T, et al. Land clearing and the biofuel carbon debt[J]. Science,2008,319:1235-1238
- [27] Arevalo C, Bhatti J S. Land use change effects on ecosystem carbon balance: From agricultural to hybrid poplar plantation [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2011,141:342-349
- [28] Gillian L G, Jerry M M. Historical carbon emissions and uptake from the agricultural frontier of the Brazilian Amazon [J]. Ecological Applications,2011,21(3):750-763
- [29] Marland G, McCarl B A, Schneider U. Soil carbon: Policy and economics[J]. Climatic Change,2001,51(1):101-117
- [30] Lal R. Soil erosion and the global carbon budget [J]. Environment International,2003,29(4):437-450
- [31] Kindler R, Siemens J. Dissolved carbon leaching from soil is a crucial component of the net ecosystem carbon balance [J]. Global Change Biology,2011,17(2):1167-1185
- [32] 范定祥,廖进中. 农业源碳减排的进化博弈分析[J]. 统计与决策,2011(1):40-42
- [33] 郑恒,李跃. 低碳农业发展模式探析[J]. 农业经济问题,2011

- (6):26-29
- [34] 向平安,周燕,黄璜,等.氮肥面源污染控制的绿税激励措施探讨:以洞庭湖区为例[J].中国农业科学,2007,40(2):330-337
- [35] 张健,廖胡,梁钦锋,等.碳税与碳排放权交易对中国各行业的影响[J].现代化工,2009,12(6):77-82
- [36] 董红敏,李玉娥,陶秀萍.中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J].农业工程学报,2008,24(10):269-273
- [37] 冯之浚,周荣,张倩.低碳经济的若干思考[J].中国软科学,2009(12):18-23
- [38] 陈卫洪,漆雁斌.农业产业结构调整对发展低碳农业的影响分析[J].农村经济,2010(8):51-55
- [39] 张军以,苏维词.基于低碳经济的生态农业发展模式与对策探讨:以三峡库区为例[J].农业现代化研究,2011,32(1):82-86
- [40] 张莉侠,曹黎明.中国低碳农业发展现状与对策探讨[J].经济问题探索,2011(11):103-106
- [41] 张海林,孙国峰,陈继庚,等.保护性耕作对农田碳效应影响研究进展[J].中国农业科学,2009,42(12):4275-4281
- [42] 朱筱婧,李晓明,张雪.低碳农业背景下提高肥料利用率的技术途径[J].江苏农业科学,2010(4):15-17
- [43] 潘根兴,张阿凤,邹建文,等.农业废弃物生物黑炭转化还田作为低碳农业途径的探讨[J].生态与农村环境学报,2010,26(4):394-400
- [44] Murray B C. Overview of agricultural and forestry GHG offsets on the US landscape[J]. Choices,2004(3):14-18
- [45] Ryan B, Tiffany D G. Minnesota agricultural energy use and the incidence of a carbon tax [D]. Institute for Local Self Reliance, Minneapolis, Minnesota. April 1998
- [46] Peters M, House R, Lewandowski J, et al. Economic impacts of carbon charges on US agriculture[J]. Climatic Change, 50(4):445-473
- [47] Leinen J. Introducing a European carbon tax: the missing piece in Europe's climate strategy [OR]. [2010-06-05]. <http://www.social-europe.eu>
- [48] Paustian K, Six J, Elliott E T, et al. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils [J]. Biogeochemistry, 2000, 48(1):147-163
- [49] Kragt M E, Pannell D J, Robertson M J, et al. Assessing costs of soil carbon sequestration by crop-livestock farmers in Western Australia[J]. Agricultural Systems, 2012, 112:27-37
- [50] Burney J A, Davis S J, Lobell D B. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification[J]. Pnas, 2010, 107(26):12052-12057
- [51] Bracmort K. Nitrous oxide from agricultural sources: potential role in greenhouse gas emission reduction and ozone recover [J]. Congressional Research Service, 2010(1):1-9
- [52] Steenblik R, Moise E. Counting the carbon emissions from agricultural products: technical complexities and trade implications [OR]. [2010-03-04]. <http://www.agritrade.org>
- [53] Mccarl B A, Schneider U A. US agriculture's role in a greenhouse gas emission mitigation world: An economic perspective[J]. Review of Agricultural Economics, 2000, 22(1):134-159

责任编辑:刘迎春