

2013年度浙江省科协育才工程资助项目

我国低碳现代农业发展研究

——基于碳足迹核算和 适用性低碳技术应用的视角

Study on China's low-carbon modern
agriculture development

—From views of carbon footprint
calculation and applicable mitigation technology application

米松华◎著

 中国农业出版社

我国作为世界最大的农业生产国，无论是农业源温室气体排放的比重，还是甲烷和氧化亚氮两大农业源温室气体排放占各自总量的比重均居全球最高

2013 年度浙江省科协育才工程资助项目

我国低碳现代农业 发展研究

——基于碳足迹核算和适用性低碳技术应用的视角

**Study on China's low-carbon modern
agriculture development**

—From views of carbon footprint calculation and
applicable mitigation technology application

米松华 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

我国低碳现代农业发展研究：基于碳足迹核算和适用性低碳技术应用的视角 / 米松华著. —北京：中国农业出版社，2013.10

ISBN 978-7-109-18351-3

I. ①我… II. ①米… III. ①节能-农业发展-研究-中国 IV. ①F323

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 217863 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 姚 红

北京中科印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行
2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月北京第 1 次印刷

开本：700mm×1000mm 1/16 印张：16

字数：320 千字 印数：1~1 000 册

定价：40.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误，请向出版社发行部调换)

序 言

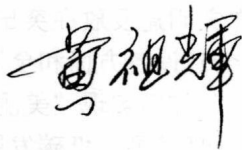
气候变化是当今国际社会普遍关注的全球性问题，也是人类面临的最为严峻的全球环境问题之一。以低能耗、低污染、低排放为基础的低碳经济，已成为转变经济增长方式和应对气候变化的根本出路。低碳农业是低碳经济的主要组成部分，一方面，相对工业系统，农业自身内在具有自然再生产和社会再生产高度结合的特性，农业碳源碳汇双重特征使低碳农业比低碳经济具有更丰富的内容，农业可以通过“促汇抑源”双重措施在低碳经济中发挥作用；另一方面，我国现代农业向低碳转型已迫在眉睫，一是高能耗现代农业发展模式与农业面源污染交织在一起，化学投入品过量施用导致的空气、水体、土壤立体交叉污染已从源头上威胁到食品安全；二是受工业投入品“能源化”影响，农业陷入高成本和政府高补贴的恶性循环。然而在新近的低碳经济发展方案中农业并没有受到重视，这在很大程度上是由于低碳农业发展既需要投入减排、过程减排、增产减排等多种途径的农业减排技术等应用基础科学的支撑；亦需要社会科学、经济学和农业科学多学科结合的实际研究，可以说，只有通过耕作制度、减排技术、管理措施的协同控制，政府、农户和相关组织的协同推进，才能达到减排和适应、减排和粮食安全、减排和多种正外部效益协同发展，而多学科协同创新的思想和初步尝试正是本书的一大特色。

长期以来，我国政府一直重视可持续发展问题，2009年中央提出坚持可持续发展四大战略措施：建设资源节约型社会、建设环境友好型社会、发展循环经济、发展低碳经济。党的十八大报告也指出：“把生态文明建设放在突出地位，融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程，努力建设美丽中国，实现中华民族永续发展。”如何实现“美丽中国”，报告也给出了答案：着力推进绿色发展、循环发展、低碳发展。低碳现代农业是在应对全球气候变化中应运而生的现代农业发展模式，而这种全新模式所带动的则是“低碳

农业经济”的发展，是一种全新的以低能耗和低污染为基础的绿色农业经济。我国正处在传统农业向现代农业转变的关键时期，低碳现代农业的发展将提高能源及农业投入品的利用效率，通过能源结构清洁化对现代石油农业的低碳化改造，提高农业碳生产力，为农业经济和农民增收带来新的发展机会和可持续性的农业系统环境。可以说，低碳现代农业是贯彻科学发展观、转变农业增长方式、减轻资源与环境压力、解决农业污染和保障食品安全的一场革命，是建立资源节约型和环境友好型社会的根本途径，是实现生态文明和农业可持续发展的最佳选择之一。本书提出将农业现代化建立在低碳经济的发展模式上，将是国家农业发展方式理论和实践上的重大创新。

弟子米松华一直从事农业资源与环境和农业可持续发展的研究，在科研工作中踏实认真、勤于思索、大胆创新。作为一位青年科研人员，米松华博士由于具有林业经济和生态学的研究背景，攻读博士学位期间一直致力于低碳农业研究，以博士生身份拿到国家社科基金资助和获得国务院教育部博士研究生学术新人奖。该专著是她这几年核心研究成果，贡献主要体现在构建了低碳现代农业分析框架，完成了低碳农业内涵体系、发展判别、技术应用（含技术筛选和技术采纳）三项重要的基础工作；创新点体现在碳足迹理论向全生命周期核算的拓展、卡亚一波特恒等式的修正、德尔菲法进行跨学科专家适用性技术的筛选、计数模型对一揽子减排技术采纳及其影响因素的分析等方面；尤其在农业碳足迹核算、适用性农业减排技术筛选和采纳、高碳农业生产方式向低碳生产方式转化边际减排成本方面具有开拓意义。农业与气候变化耦合关系明显，也正是因此，低碳农业问题研究难度极大（政治上未达成一致，自然科学还存在不确定性），其中涉及了农学、生态学等多学科交叉，相信读者能感受到作者对农业与气候变化这一难点问题的决心和努力，提供了国内该新兴领域一份颇具竞争力的学术专著。这本著作是米松华学术生涯的开端，希望她在未来的学术道路上继续努力，不断进取，在农业资源与环境和农业可持续发展领域取得更大的成就。

浙江大学中国农村发展研究院院长、
博士生导师



2013年7月于浙大紫金港

摘 要

气候变化是当今人类面临的最为严峻的全球环境问题。农业生产与气候变化耦合关系明显,一方面在高能耗的石油农业生产模式下,农业已成为温室气体的第二大重要来源;另一方面气候变化将导致生产潜力与农业资源有效供给的矛盾,给农业生产带来很大的不确定性。中国作为世界最大的农业生产国,无论是农业源温室气体排放占总排放的比重,还是甲烷和氧化亚氮两大农业源温室气体排放占各自总量的比重均居全球最高。中国农业活动基数大、增长快,如不采取相应的减排措施,农业活动相关的温室气体排放量还会增大;且以“机械化+化学化=农业现代化”为特征的发展模式所带来的土壤、水体、空气等立体交叉污染和食品不安全等负外部性也将日益严重。因此,研究我国低碳型现代农业发展问题,不仅在理论上有意义,而且在实践上可以为我国农业减排技术推广和低碳农业发展提供指导。

目前国内外学者已对低碳农业发展问题进行了不少研究,取得了初步成果。但从研究侧重来看,主要体现在重适应轻减排、重宏观轻微观、重技术轻推广,尤其是对微观农户减排技术采纳系统实证研究的尚不多见。基于此,本研究主要应用系统论中的协同理论和经济学中的外部性理论,结合已有低碳农业国内外研究成果和现代农业理论推导,首先,界定了由概念群、核心要素、衡量指标组成的低碳农业内涵体系,并构建了低碳现代农业分析逻辑框架;其次,应用碳足迹理论采用全生命周期法对全国和各省区农业温室气体排放进行系统核算并对影响因素进行逐年分解分析;再次,利用德尔菲专家评价法筛选出农业源温室气体减排适用性技术和管理措施,并以此为基础,运用微观计量技术以稻田种植为例,对稻农减排技术采纳意愿以及一体

化减排技术采纳数量影响因素进行实证分析；最后，通过典型案例研究，对低碳农业发展中技术、组织、政策耦合进行深度挖掘，并对水稻种植不同技术组合的排放效果、成本—收益、边际减排成本进行了定量比较分析。基于以上的理论和实证研究，提出了我国低碳型现代农业发展的若干政策建议。全书研究内容主要分五大部分：

第一部分是导论和文献综述部分，包括第1、2、3章的内容。主要界定本书研究边界、研究背景和意义、所用理论和方法、研究思路和框架、创新点和不足。鉴于本研究属应用对策类研究，综述部分在对研究文献进行理论综述的基础上，还介绍了国内外低碳农业发展实践。从已有文献研究内容和研究方法方面，国外已形成以自然科学“田野实验”为主要研究方法和以经济学为主的社会科学“各类模型”为主要研究方法的研究内容以及与之匹配的研究方法的一体化分析框架。国内研究主要集中在低碳农业内涵、发展模式和路径、必要性和制约分析、政策与机制设计的定性研究方面。从国内外发展实践方面，国外侧重农业适应和减缓气候变化国家战略及农业碳源碳汇核算标准的制定，农业减排增汇补贴和碳市场交易已进入实施阶段。我国侧重依托国际项目合作进行农业适应气候变化实践和试行碳排放交易以及依托中国绿色碳基金开展自愿市场的碳汇交易（主要是林业方面），关于低碳农业方面还处在概念性和基础性研究上，没有明确的实施方案。综观国内外的研究，目前多数侧重宏观层面，对微观主体的研究明显欠缺，尤其是基于具有适用性和经济性减排技术基础上的农户减排行为研究以及典型案例研究亟需加强。

第二部分是低碳现代农业分析框架的构建，包括第4章内容。在系统梳理现代农业发展阶段、现代农业内涵、现代农业发展模式基础上，试图把握现代农业发展阶段、内涵拓展、主导模式，从而得出低碳现代农业是现代农业全面实现阶段的具体发展模式之一的观点。在综合了已有研究和理论推导的基础上提出由基本定义、概念群、核心要素、衡量指标构成的低碳现代农业内涵体系，并将低碳农业与相关发展模式进行比较分析；构建了由基础工作、发展路径、政策体系组成的低碳农业分析逻辑框架，而本研究实证分析部分主要是验证发展判别和技术应用两项基础工作。

第三部分是宏观层面实证分析部分,包括第5章内容。已有的IPCC农业源温室气体排放清单没有将农用能源和农资投入品隐含碳以及农业废弃物碳排放纳入核算体系,严重低估了农业生产活动对气候变化的影响,从而造成减排措施上的缺失。本章应用碳足迹理论和分层生命周期评价法对我国及各省、自治区、直辖市1995—2010年间农业碳足迹总量和碳足迹强度进行了全面核算并揭示其时空分布特征,进一步应用拓展的卡亚—波特恒等式运用完全分解法从内在机理上识别影响国家以及区域层面农业碳足迹排放量的驱动因素,从而结合总量核算和驱动因素时间序列分析,从宏观上完成对分析框架中低碳现代农业发展判别实证研究并提出区域分异视角下的低碳农业发展模式。

第四部分是微观层面实证分析部分,包括第6、7、8章内容。首先,基于“增产减排或至少是稳产减排”的农业(户)生产需要,在全面汇整农业源温室气体减排技术和管理措施的基础上,应用修正式德尔菲法,分农田氧化亚氮减排、稻田甲烷减排、畜牧业温室气体减排技术三个专题,筛选出“确定性强、可行性强、减排潜力大、对产量有增产或稳产影响、农户易于采纳”的农业适用性减排技术“最终清单”;然后,以水稻为例,分别应用二元选择模型和计数模型对稻农稻田甲烷减排技术采纳意愿和采纳数量影响因素进行了实证研究;最后,以江苏省姜堰市沈高镇河横村为研究案例,深度挖掘低碳农业发展中技术、组织、政策耦合经验,并对水稻种植不同技术组合排放效果、成本收益、基准模式向目标模式转化的边际减排成本进行了比较分析。从而从微观层面完成对分析框架中低碳现代农业技术应用的实证研究。

第五部分是结论与政策建议,包括第9章内容。宏观实证研究结果表明,我国1995—2010年间农业碳足迹整体处于阶段性上升态势,年均增长率为0.67%,可划分为快速增长期、缓慢增长期、增速反弹回升期、增速放缓期四个阶段;农业碳足迹强度呈现下降趋势,年均降幅达4.19%。从碳足迹层级结构分析,除农业源排放表现为下降趋势外,农用能源、农资隐含碳、农业废弃物所产生的温室气体排放都不同程度呈现增长态势。能源碳强度效应和单位产量能源强度效应分别是我国农业温室气体减排和排放的主要驱动因素。微观实证研究结果表明,农田适用性减排技术侧重养分管理和耕作制度;稻田适

用性减排技术侧重水分管理和品种筛选；畜牧业适用性减排技术侧重饲料管理和粪便管理。提高农户对气候变化的认知能显著提高减排技术的采纳意愿，通过科技示范户对减排技术的试验示范能显著提高减排技术采纳数量，农业技术推广服务、信贷的可获得性、农田水利基础设施三个因素则同时显著影响采纳意愿和采纳数量。通过边际减排成本确定每亩或减排单位二氧化碳当量的补贴或碳交易价格，能够推进区域农业生产模式从基准模式向目标模式转变。基于这些研究结论，提出我国低碳现代农业发展的若干对策建议。

关键词：低碳农业；农业减排；农业碳足迹；现代农业

Abstract

Climate change is the most serious global environmental problems. On one hand, agriculture sector has become the second most important sources of greenhouse gases (GHGs) with the oil-agriculture model. On the other hand, climate change will lead to the contradiction between the production potential and the agricultural resources supply, bringing great uncertainty in agriculture outputs. As the largest agriculture production country, China has taken the first rank not only on the proportion of agricultural GHGs emissions of total emissions, also with two major agricultural sources of GHGs (CH_4 and N_2O) emissions amounting to the most parts. If agricultural production continues in a similar linear mode as today, the GHGs emissions relative agriculture impact on global climate change will increase. Meanwhile, cross-pollution with soil, air, water and negative externalities such as food insecurity will become increasingly serious with modern agricultural development mode characterized by mechanization and chemicalization. Therefore, the study of low-carbon modern agriculture mode is meaningful not only in theory but also in practice, which can provide guidance for China's agricultural mitigation technology extension and implementation of low-carbon agriculture mode.

Academic world has carried out a research on low-carbon agriculture and achieved initial fruit. From the view of research points, research topics mainly reflected in adaptation but neglecting mitigation, macro-scale aspects but neglecting micro-scale, mitigation technology but neglecting extension services, especially empirical analysis on farmers' mitigation technology adoption was still rare. In

this book, firstly, we develop a connotation framework composed by a concept group, core elements and measure indicators. Secondly, we calculate China's agricultural carbon emissions with carbon footprint theory and life cycle approach (LCA) and decompose the influencing factors. Thirdly, we employ Delphi method to the applicability screening of mitigation technologies and management practices of GHGs emissions from agriculture sector. Taking paddy as an example, we examine empirically the determinants of mitigation technology adoption willing and the number of technology packages. Finally, we excavate the coupling relationship between technology and organization, as well as policies during the implementation of low-carbon agriculture mode, meanwhile, a quantitative comparative analysis is applied to emission effect of different rice cultivation, cost-benefit, marginal abatement costs through a typical case study. Based on the theoretical and empirical research, some policy suggestions on China's low-carbon modern agriculture development are proposed. The book is organized as five parts:

The first part is "Introduction" and "Literature review", including the chapter 1, 2 and 3. Chapter 1 describes the boundary of this study, the background and significance, framework and methodology, innovation and insufficient. Literature review section introduces theoretical reviews and practices at home and abroad. From research topics and methods, literatures abroad have formed the integrated analytical framework of natural science matching with field experiments and social science (mainly economics) matching with various models. Domestic literatures focus on low-carbon agriculture connotation, mode and road, necessity and constraints, policy and mechanism design. From practices at home and abroad, practices abroad focus on formulation national strategy for adaptation and mitigation and GHGs inventory of agricultural carbon sources and sinks. Agricultural mitigation subsidies and carbon tradable market have entered the implementation phase. China focuses on carrying out cooperation, such as adaptation to climate change dependent on international projects, and trying out carbon emissions trading, as well as carrying out the voluntary market carbon credits relying on

the China Green Carbon Fund. Overview of domestic and foreign research, the majority research focus on the macro-scale, it is lack of behavioral analysis from farmers' aspects based on the applicability and economic mitigation technology packages.

In the second part, we develop a connotation system and an analytical framework of low-carbon modern agriculture, including chapter 4. This chapter sums up theories of agricultural development stages, connotation of modern agriculture and its development mode, to try to grasp the stage of modern agriculture, the connotation development, dominant modes. Then we draw a conclusion that low-carbon modern agriculture is one of specific agriculture development modes during the realization stage of modern agriculture. We present the modern agriculture connotation system including four components: the definition, related definition, core elements, and measure indicators based on reviews and theoretical deductions. Furthermore, we compare low-carbon agriculture with relative agriculture development modes such as ecological agriculture, circular agriculture and organic agriculture. Then we construct an analytical framework of low-carbon modern agriculture including a foundation work, development path, policy system, and the empirical analysis in this book mainly test two foundation works: development judgement and technology application.

The third part including chapter 5 is a macro-scale empirical study. For IPCC GHGs emissions inventory in agricultural sector does not take agricultural energy and embodied carbon in agricultural inputs as well as agricultural waste into the accounting system, this accounting method seriously underestimates the impacts of the agricultural production activities on climate change, resulting in mitigation measures deviation. We account the total agricultural production GHGs emissions with tiered life cycle assessment (TLCA) and carbon footprint intensity of the whole nation and regions in China from 1995 to 2010, and then reveal its spatial-temporal characteristics. We use complete decomposition method evaluating the contribution of all the driving factors through transformation of Kaya-Porter identical equation, putting forward to low-carbon agricultural development modes in view of regional differentiation based on total accounting and time series analysis.

The fourth part including chapter 6, 7, 8 is a micro-scale empirical study. First of all, an initial long list of mitigation measures is obtained based on a literature review and expert interview, then the Modified Delphi method is used to explore expert opinions from interdisciplinary sphere, and a final short list of agricultural mitigation applicability technologies is screened. A final short list of three topics and eighteen measures is drawn up in light of mechanism and measure certainty, technically feasibility, abatement potential, increase or stability in yield, practices easily adopted by farmers. Secondly, we employ the binary logit model and count data model to model socioeconomic, institutional and environmental factors influencing the adoption willing and the number of technology packages from paddy CH₄ mitigation technology. Finally, the study takes He-Heng village which is located in Jiangsu province as a case study, excavating the experience of rice cultivation technology, organization, policies during the implementation of low-carbon agriculture, comparing the emissions effects, cost-benefit, marginal abatement costs with different paddy cultivation portfolio selection.

In the fifth part including chapter 9, the results and policy implications are generated. The macro empirical results indicate that agricultural carbon emissions have been in the gradual upward trend since 1995, which can be divided into four periods: rapid growth period, slow growth period, growth rate rebound period and slowing-down period. The average annual growth rate of agricultural carbon emissions is 0.67%, while that of carbon footprint intensity decrease is 4.19% annually. The tiered structure of carbon footprint analysis shows that agricultural source emissions are on the downward trend, while agricultural energy, embodied carbon in agricultural inputs, agricultural waste emissions are in the upward trend. Energy carbon intensity and energy intensity of unit yield are the main driving factors of agricultural GHGs mitigation and emissions respectively. The econometric results indicate that enhancing farmers' awareness of climate change can significantly improve mitigation technology adoption willing, the mitigation technology demonstration from demonstration households can

significantly increase the number of mitigation technology adoption, while agricultural extension services, credit availability, construction or rehabilitation of irrigation infrastructure significantly affect the adoption willing and the number of technology packages. Subsidies or carbon trading price of CO₂-eq per acre or emission reduction units determined by marginal abatement costs can promote regional agricultural production mode converting from the base model to the target model. Our research results make us possible to generate some policy implications.

Key words: Low-carbon agriculture; agriculture GHGs mitigation; Agricultural carbon footprint; Modern agriculture

目 录

序言

摘要

Abstract

第 1 章 导论	1
1.1 相关概念和研究对象界定	1
1.1.1 碳源与碳汇	1
1.1.2 农业源温室气体	2
1.1.3 农业碳足迹边界界定	3
1.2 研究背景和问题提出	4
1.2.1 气候变化与低碳经济	4
1.2.2 低碳经济与低碳农业	5
1.2.3 已有研究与本研究落脚点	7
1.3 研究的目的和意义	9
1.3.1 研究的目的	9
1.3.2 研究的意义	9
1.4 研究思路与内容结构安排	9
1.4.1 研究的基本思路	9
1.4.2 内容结构的安排	10
1.5 研究所用的理论与方法	12
1.5.1 所用的理论	12
1.5.2 所用的方法	14
1.6 研究可能的创新与不足	16
1.6.1 本研究可能的创新之处	16
1.6.2 本研究的不足和有待进一步研究之处	17

第2章 低碳农业研究文献综述	18
2.1 低碳农业问题文献检索情况	18
2.1.1 低碳农业问题英文文献检索情况	18
2.1.2 低碳农业问题中文文献检索情况	21
2.2 国外低碳农业研究文献综述	24
2.2.1 农业源温室气体来源测度和减排机理研究	24
2.2.2 农业源温室气体数量和结构特征核算研究	25
2.2.3 农业减排技术路径和减排措施经济分析研究	27
2.2.4 农业减排和适应气候变化协同机制研究	30
2.2.5 农业源温室气体减排政策设计研究	31
2.3 我国低碳农业研究文献综述	33
2.3.1 农业源温室气体减排自然科学领域研究	34
2.3.2 低碳农业内涵相关研究	34
2.3.3 农业生产碳排放及影响因素分解研究	36
2.3.4 低碳农业必要性和制约因素研究	38
2.3.5 低碳农业发展路径和发展模式研究	40
2.3.6 低碳农业发展政策与机制设计研究	41
2.4 国内外低碳农业研究文献评述	44
第3章 低碳农业发展概况综述	46
3.1 国外低碳农业发展概况	46
3.1.1 国外低碳农业发展实践概况	46
3.1.2 国外低碳农业发展相关政策	49
3.2 国内低碳农业发展概况	51
3.2.1 国内低碳农业发展实践概况	51
3.2.2 国内低碳农业发展相关政策	54
3.3 国内外低碳农业发展评述	55
第4章 低碳现代农业分析框架的构建	57
4.1 现代农业发展理论及其演变	57
4.1.1 现代农业发展阶段理论及其演变	57
4.1.2 现代农业内涵及其演变	59
4.1.3 现代农业发展模式及其演变	61
4.2 低碳现代农业内涵体系	62

4.2.1 低碳现代农业的内涵阐释	62
4.2.2 低碳现代农业的核心要素	64
4.2.3 低碳现代农业的衡量指标	66
4.2.4 与相关发展模式异同比较	68
4.3 低碳现代农业分析框架	71
4.3.1 低碳现代农业分析框架的构建	71
4.3.2 低碳现代农业分析框架的说明	71
4.4 本章小结	73
第5章 我国低碳农业发展判别	75
5.1 我国农业碳足迹核算及时空特征判别	75
5.1.1 碳足迹核算方法与数据来源	75
5.1.2 我国农业碳足迹的时序特征判别	79
5.1.3 我国农业碳足迹的区域差异判别	84
5.2 我国农业碳足迹影响因素判别	90
5.2.1 模型构建与数据来源	90
5.2.2 实证结果与分析	93
5.3 主要结论	98
第6章 适用性低碳农业技术的筛选分析	100
6.1 指标和方法	100
6.1.1 适用性及其指标	100
6.1.2 德尔菲法概述	101
6.2 流程步骤	101
6.2.1 准备阶段	102
6.2.2 问卷设计及调查过程	103
6.3 问卷处理过程及结果分析	104
6.3.1 农田氧化亚氮减排技术清单及筛选	104
6.3.2 稻田甲烷减排技术清单及筛选	109
6.3.3 畜牧业减排技术清单及筛选	111
6.3.4 农业源温室气体减排技术体系及其释义	113
6.4 基本结论	115
第7章 农户适用性低碳技术的采纳研究	116
7.1 研究方法 with 模型设定	117