

中国低碳农业

经济现状与 发展模式研究

ZHONGGUO DITAN NONGYE

JINGJI XIANZHUANG YU FAZHAN MOSHI YANJIU



在全球倡导低碳经济的背景下
弄清我国低碳农业发展现状
尤其是现代石油农业影响下的农业碳排放量及其时空差异
并探索适合我国各地区的低碳农业经济发展模式是十分必要的

吴乐知 ◎ 著

 中国农业出版社

国家社科基金项目【结题成果】

中国低碳农业经济现状与 发展模式研究

吴乐知 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国低碳农业经济现状与发展模式研究 / 吴乐知
著. —北京: 中国农业出版社, 2017. 12
ISBN 978-7-109-23612-7

I. ①中… II. ①吴… III. ①农业经济—低碳经济—
研究—中国 IV. ①F32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 293531 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 闫保荣 潘洪洋

化学工业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月北京第 1 次印刷

开本: 880mm×1230mm 1/32 印张: 6.375

字数: 175 千字

定价: 35.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

本书受国家社科基金青年项目“中国低碳农业经济现状与发展模式研究(09CJL026)”、湖北省教育厅重点项目“区域农业开发和环境变化对网湖湿地自然保护区的影响研究(D20142502)”、湖北师范大学“湖泊-流域生态环境”创新团队和“资源枯竭城市转型与发展研究中心”湖北省人文社科基地共同资助。

目 录

导论	1
一、研究背景	1
二、研究意义	5
三、研究思路与内容安排	6
四、主要创新点	6
第一章 相关概念、理论基础和研究对象界定	8
第一节 相关概念	8
一、全球增温效应及碳循环	8
二、碳“源”和“汇”	11
三、气候变化与农业发展	13
四、低碳经济与低碳农业	15
第二节 理论基础	17
一、空间尺度与区域差异理论	17
二、农业与可持续发展理论	19
三、农业碳排放与固碳机理	23
第三节 研究对象界定	27
第二章 碳排放、碳足迹计算方法与 低碳农业评估体系	29
第一节 碳库的估算方法与评价研究	29
一、植被碳库的估算	29
二、土壤碳库的估算及其评价	31

第二节 碳排放的计算方法	33
一、能源及工业生产过程碳排放的计算	34
二、土地利用碳排放的计算	35
三、农业碳排放量的计算	37
第三节 碳足迹及其计算方法	43
第四节 低碳农业评估体系	49
第三章 我国农业经济现状及农业碳排放时空差异	53
第一节 我国农业经济发展现状	54
一、国家政策持续支持农业农村发展, 迎来农业 经济发展的黄金时期	55
二、农业经济总体状况良好, 持续增长明显	56
三、农业生产条件大幅改善, 农业发展基础增强	57
四、农业持续增产和农业经济高速发展中的高能耗与高污染	59
第二节 我国农业发展的空间差异	63
一、粮食产量区域差异明显, 区域农业经济发展水平不平衡	63
二、粮食主产区的粮食产量和农业经济发展变化特点	71
第三节 我国农业碳排放量的组成及变化	78
一、我国农地利用碳排放量及其时空差异特点	78
二、我国稻田甲烷碳排放量及其时空差异特点	99
三、我国畜牧业温室气体碳排放量及其时空差异特点	104
第四节 我国农业碳排放总量的变化特点及其原因	117
一、我国农业碳排放总量的变化特点	118
二、相关原因分析和探讨	126
第四章 我国低碳农业经济现状及农业 土壤固碳潜力	130
第一节 我国低碳农业经济发展状况及区域差异	132
一、广义低碳农业经济指数的变化	133
二、农业中种植业的低碳经济水平	139

三、农业中畜牧业的碳生产力水平	147
第二节 基于省级基本单元的我国低碳农业发展	
综合评价	157
一、指标选择和说明	157
二、计算方法和相关结果	162
第三节 我国土壤碳储量的变化及土壤碳汇潜力评估	163
一、资料来源	165
二、数据整理与计算方法	165
三、结果分析	167
第五章 我国低碳农业发展模式现状评述	
及发展趋势	171
第一节 国外低碳农业发展的经验借鉴和思考	172
一、美国和加拿大的低碳农业政策支持体系	172
二、欧盟低碳农业政策概况	175
三、日本和俄罗斯的低碳农业发展战略规划	176
四、国外典型的相关低碳农业模式介绍和评述	177
第二节 我国低碳农业发展模式分析	183
一、我国相关的低碳农业模式案例	184
二、我国不同区域低碳农业发展模式的思考	186
三、我国低碳农业发展的对策和建议	189
参考文献	193

导 论

一、研究背景

全球气候变化及其对人类社会整体系统的影响是如今世界公众及其各科研领域的热门话题，从巴西里约会议上出台的《联合国气候变化框架公约》中首次对气候变化的阐述给世人以极大的触动和震撼，到 5 年后在日本签署的并非完全执行的《京都议定书》，人们对气候变化尤其是全球变暖的认识程度逐步加深，温室气体尤其是碳减排不仅成为各门研究学科的热点，更是成为了公众关注的社会热点问题。2007 年底有关“巴厘路线图”的协议成果，真正标志着各个国家及公众对温室气体碳减排逐步达成共识，为了应对人类共同的气候变化及其影响问题，相互协作、不断深入的国际行动将会越来越多，国际上很多关于发展低碳经济的思路 and 模式将会受到更多的关注和推广，这也必将成为今后一段时间内引领世界各领域发展改革的潮流。哥本哈根世界气候大会被喻为“拯救人类的最后一次机会”的会议，让“低碳经济”成了 2009 年的岁末热词，一时间，所谓低碳系列的词汇——涉及各行业甚至各种日常生活的，纷纷见诸媒体，可以说是蜂拥而至。低碳经济虽然是一个作为引领社会各领域发展的具有前瞻性的新理念，但它到目前为止还没有明确的、严谨的科学定义。

英国人《能源白皮书》中出现的“低碳经济”这一名词可以说是最早将相关的理念和发展方向呈现在大众的视线中，其基本理念中首先是尽量少排放甚至零排放来减少温室效应，同时还需要继续保持获得，其次仍要保持整体经济的持续增长，不得对国家造成经济减退或萧条的全局影响，它将是全球气候变化背景下现代社会经济发展和改革中的一个重要方向。低碳经济要求社会经济发展的同

时实现低碳排放甚至零排放,要求发展绿色洁净、多元化、高效益的可持续能源,它几乎涵盖了国家所有的产业领域。世界上许多发达国家为了应对全球气候变化及其带来的一系列问题,特别针对减少和控制温室气体碳排放都制定了相关的计划、对策甚至国家法规,转向发展低碳工业,进行工业结构调整,以发展清洁、高效能源为新的研究课题与方向。《低碳经济法案》是另外一个发达国家——美国提出的更鲜明的经济低碳转型的规划法规,其中首次把美国在 21 世纪乃至今后一段时间内可能选择的重要性发展转型战略定位为低碳式经济发展模式。2007 年 11 月,英国首相主张建立全球范围内具有低碳排放特色的发展经济新模式,通过大力减少碳排放量并努力提高现有的众多能源利用效率,共同应对已被公众认可和接受的不可回避的全球变暖问题。同年,德国以其著名的汽车产业为比较背景,研究并制定了一系列高技术战略体系改革用于应对气候变化和环境保护,最为突出的部分便是计划其国家低碳产业在 2020 年全方位超过庞大的汽车产业。

提到低碳经济,人们往往只会想到清洁能源与替代产品研究等相关的低碳工业经济,而忽略低碳农业经济。实际上,对于广大的发展中国家而言,尤其是传统的农业大国而言,农业经济支撑起了国家经济的主体部分,因此在考虑低碳经济的构成和来源时应该将低碳农业发展同样作为低碳经济中不可或缺的基础组分,它是隶属于低碳经济整体的,同样可以发挥其碳节能减排的作用而做出贡献。农业生产活动中大量化肥的添加、农药的使用,现代化农机在一系列制造和农业生产环节中对于石油能源和电力资源的直接和间接消耗,以及对于初级农产品的二次、提炼加工和农业污染废弃物等的处理过程都是能耗过程,同样都会排放大量的温室气体。可见,相对于上述一般状态下的现代农业生产过程而言,以低能耗、低污染、低排放为基础的全新的低碳农业经济发展模式一定是未来的发展趋势,它必将进入低碳经济领域并引领和指导农业的可持续发展。发达国家的农业发展早就进入现代化阶段,生态安全与健康环保农产品已经成为主题。虽然欧美等工业发达国家的现代化农业

已有成熟的科学管理模式，但其投入的基础仍然是化肥、农药、除草剂等能耗产品，其机械化耕作也是石油能耗过程。在全球气候变化背景下，国外对于农业温室气体排放和应对措施研究走在世界的前列，特别是对于农业源温室气体的控制措施，自 20 世纪 90 年代就开始推行。英国农业政策规定，耕种了 5 年以上的土地必须实行休耕；欧洲很多国家如荷兰、瑞士等为了减少大型反刍动物的肠道和粪便产生的氧化亚氮和甲烷碳排放量，早就有限制家畜的饲养量的法规出台并一直在实施；瑞典通过制定施肥规程，对肥料的要求是通过缓释形式保证作物充分吸收从而抑制一氧化氮（NO）向大气的排放；这些国家几乎都规定当土地利用类型由耕地变为林地时给予农业补贴。由于农业在发达国家经济发展中的地位远远不及先进的现代工业，因此对于低碳农业的研究仅仅是从农业温室气体减排等单个技术革新方面考虑，而并没有系统地研究低碳农业经济的效益和发展模式，其受到的关注程度很低。

我国对于低碳经济的发展同样有了重大关注和重要举措，当著名的亚太经济合作组织 APEC 领导人会议在 2007 年召开时，我国国家主席胡锦涛明确提出我国要发展低碳经济。时隔一年，在随后我国领导人的高层学习会议中，胡锦涛又明确强调了我国一定要将控制温室气体排放、加强环境保护和资源节约这些国家基本发展方针和政策真正落实到位，尤其是在低碳和循环经济发展领域要真正执行和认真开展。而真正从法律角度为我国切实履行节能减排任务，实施低碳经济发展战略提供保障的是《循环经济促进法》的制定和落实，2009 年正式开始在全国范围内真正执行该项法案。其实，我国政府早在 2006 年就针对节能降耗相关问题提出了具体目标，就是“十一五”期间的单位 GDP 能耗相比上一个五年期需要减少 20%。针对温室气体减排，我国已经开展了一系列技术研究并取得了重要成就。比如截至 2007 年，全国总计已有 1 500 亿千瓦的落后发电容量被淘汰和关闭；关停了 5 200 万吨的落后水泥产能；在有关绿色、清洁的风力发电和更高效率发电设备和装置上进行了大量投资；在新一代生物燃料技术的研究与开发上取得了显著

成效,燃料乙醇的生产逐步推向规模化,生物柴油的开发正取得重大突破。然而,我国对于农业低碳经济的现状和发展模式研究没有任何基础,与农业发展中的低碳相关研究基本上都停留在碳的排放和循环机理与过程研究,比如稻田甲烷排放规律研究,施肥方式和农田管理措施对温室气体排放的影响研究等,大部分研究还处于实验室和田间试验阶段,没有大范围的农业发展低碳模式的推广与应用,而系统地从事农业低碳经济研究更是刚刚起步。

对于现阶段乃至未来农业发展的方向和模式而言,植于低碳经济的理念并在农业发展模式中不断完善并最终加以实现,将会是农业可持续发展研究领域应对全球变化的重要内容。近两年,澳大利亚和英、美等国通过推行少耕免耕土地保护耕作措施以及轮牧等新型农牧业方式对于农业生产活动中的节能减排进行了大量探索,并在相对落后的众多发展中地区和国家寻求碳交易合作。如2007年在我国新疆、四川等省份实施的农业活动中碳减排项目就是美国某公司开展的碳交易项目,该公司为了购买在2006年的大约一半的碳排放量,出资400万美元在中国新疆和四川购买了62万吨的温室气体排放交易量,在我国上述地区实施农业耕作新方式和新技术获得的农业碳减排量相抵消。我国江苏、浙江、福建等省份也在积极开展并寻求农业生产实践中真正的低碳发展项目和措施,也取得了一定的成效。因此,随着农业活动中有关低碳的理念和措施日益深入人心,再加上公众对于其他领域中低碳经济的进一步理解和思考,农业低碳经济的发展关注度正在逐日提升。大力减少农业活动中温室气体碳排放量,积极治理和改善农村生态环境,节约利用有限的农业自然资源,实施和推进农业低碳式发展战略,已经成为世界农业发展的主旋律^①。对于中国这样的农业大国,近30年来农业发展和新农村建设取得的成就世人瞩目,然而在农业现代化进程中面临投入很高但效益和产出相对低下的问题,同时还伴随着自然资

^① 李晓燕. 低碳农业发展研究——以四川为例 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2010.

源的消耗和枯竭、大量人类非理性的活动造成的生态环境退化和严重污染等一系列的瓶颈问题。由此,在低碳经济发展模式正成为世界经济社会发展新趋势的时代背景下,低碳农业逐渐被当前农业经济研究领域所关注并成为新的探究热点。

二、研究意义

对于中国这样的传统农业大国而言,发展低碳农业经济必定是当前我国农业领域在气候变暖这样全球一致的大背景下应对碳减排的重要方面。近 30 年来,我国新型农业发展和新农村建设所取得的成就令全世界惊讶和关注,但在现代农业发展过程中,同样存在大量的能耗过程,不可避免地出现温室气体碳排放增加的现象。因此,在全球倡导发展低碳经济的大背景下,弄清我国低碳农业发展的真实情况和现实问题,探索适合我国以及各大区域的低碳农业经济发展模式是十分必要的。开展这项研究的意义具体体现在两个方面:①理论意义:对于低碳经济的研究,几乎集中在工业领域,特别是先进煤电、核电等重大能源装备制造技术,煤炭、石油和天然气清洁、高效开发和利用技术等方面。因此,在相当长的一段时间内,相对而言低碳农业经济几乎不被认为是低碳经济的重要组成部分,对大多数人来说,还是闻所未闻的新鲜名词,对其专门研究更是少之又少。因此探讨中国低碳农业现状与发展模式丰富了低碳经济的理论内容,把低碳农业相关的社会经济活动有机地联系起来,使低碳农业经济真正成为低碳经济领域的一个重要分支,完善了低碳经济体系,同时也使农业领域的低碳研究朝向系统化迈进了关键一步。②实践意义:通过研究我国低碳农业经济的真实现状及其在不同区域和空间中的变现差异,为国家农业资源利用的低碳式管理、低碳农业产业发展政策制定、碳排放交易项目实施提供决策性指导意见;通过分析和判断低碳农业经济指标,构建单个或综合的指标评价体系,为不同区域低碳农业经济的持续、健康发展作出较科学的判断,并根据各区域的实际情况探索相对合理的农业经济低碳发展模式,进一步促进低碳模式下的农业经济效益增长。

三、研究思路与内容安排

本书综合运用地球表层系统观念,结合生态、地学和环境、经济的相关基础理论和知识,从碳循环的概念、碳源碳汇理论、生态农业理论和低碳经济、低碳农业概念入手,梳理和总结碳排放计算方法、探讨我国相关评价指标体系在低碳农业发展中的运用,以“我国现代化高碳农业发展概况——农业碳排放时空差异研究——区域低碳农业发展差异及评价——低碳农业发展模式及潜力估算——对策建议”为逻辑研究线索,初步形成了我国低碳农业现状及发展模式研究思路。

本书由六个部分组成,包括导论和五章正文。正文第一章,主要介绍碳源、碳汇、农业碳排放过程及来源、低碳经济与农业发展相关基础理论知识与概念;第二章主要介绍碳排放、碳足迹、相关碳库储量的计算方法及低碳农业评估体系构建的相关内容;第三章着重探讨我国农业经济现状与农业碳排放量及其时空差异;第四章主要评价我国低碳农业现状及其区域差异;第五章探讨我国区域低碳农业发展模式和发展潜力,并给出相关对策和建议。

四、主要创新点

本书将低碳农业经济作为独立完整的经济系统进行研究,丰富了低碳经济理论的内容;另外,将地理学中的有关空间尺度分析方法、逐步回归和聚类分析方法引入低碳农业经济发展模式研究,是低碳经济研究领域方法的创新。

另外,在本书中以下几个方面是开展研究的基础和重点:①衡量农业经济发展指标的确定,农业经济发展基本数据资料的获取,是研究农业经济发展现状的重点,也是开展低碳农业经济模式研究的基础。②农业碳源分布和低碳农业资源潜力评估,是开展低碳农业经济模式研究的基础,如何确定农业碳源排放量,是本书研究的技术难点,也是开展碳排放交易项目研究和探讨低碳农业经济模式的基础。③建立评价低碳农业经济发展的指标系统,如何确立关键

影响因素，寻找农业现代化和低碳农业模式的平衡点，建立最佳的低碳农业经济模式，是本书的重点和目标。总之，探索中国低碳农业经济发展模式，提出切实可行、有针对性的措施建议是本研究的最终目的。

通过系统地梳理和研究，本书将从以下三个方面展开进一步的探讨和总结：①各自然区农业经济发展中能源消耗和碳源排放总体特征。②中国现有的低碳农业经济形态，低碳农业经济理念的认知程度，以及它们在各自然区的差异分析。③通过低碳农业经济模式评价指标的建立，特别是低碳农业资源潜力的估算，为发展和推广适合各地区的低碳农业经济模式给出针对性的建议和指导。

第一章 相关概念、理论基础 和研究对象界定

第一节 相关概念

一、全球增温效应及碳循环

1. 温室气体效应与全球碳循环

当今地球表层系统研究领域中的重要议题之一就是全球变暖及其对人类的影响，在全球变化研究中居于中心地位，而且其引发的冰川融化、海水上涨和土地荒漠化进程加剧等全球性变化都将全方位影响甚至改变当前人类的生产、生活格局，对于受其直接影响的陆地生态系统，尤其是农业生态系统内的生产活动和生产方式必将发生改变，而各国政府和公众自然十分关注。如今，全球变暖已经成为不争的事实，变暖的主要元凶便是大气中温室气体浓度的增加，尤其是自工业革命以来的剧增，这些内容早已经被各国政府和相关科研机构耳熟能详，甚至很多公众都能侃侃而谈。从人类社会的工业化开始到 1999 年大约 250 年间，大气层中 CO_2 浓度增加了 33%， CH_4 增加了一倍，氮氧化物大约增长了 15%，而这些温室气体浓度的剧增主要都是由于人类活动中大量煤炭、石油等能源利用，建筑材料水泥的大量生产使用，以及工业化、城市化过程带来的大量土地利用方式的变化（如林地、草地开垦、耕地抛荒、大量农田变为建筑用地等）的结果，均不同程度地对全球变暖起着推动作用（刘江，2001）。IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）（1996）的报告显示：就温室气体中各自对全球变暖的贡献率而言，二氧化碳（ CO_2 ）和甲烷（ CH_4 ）居功至伟，分别占 63.7% 和 19.2%，这也是为什么现在谈到低碳发展时通常必然提

到碳减排，因此全球众多的研究热点问题都围绕此主题展开。

大气中 CO_2 浓度增加必然会引起植物光合和呼吸作用共同决定的初级生产力的变化， CO_2 浓度增加从某种意义上说是可以提高植物根系等地下部分的固碳量 (Hungate, 1997)；然而 CO_2 浓度增加引发的气温升高同样会使植物等的呼吸量增大从而加大了碳排放量，反而会降低整体的碳蓄积量 (Peterson, 1997; Schimel et al., 1994; Lin, 1999)，尤其在寒冷地区 (Chapin, 1995)。可见，温室气体浓度增加对于碳循环的影响是复杂的，需要考虑多方面的变化，因为就全球碳循环本身的各个环节来说，就是互为影响，互相反馈的，而温室气体浓度增加则会给全球碳循环的各个环节都带来不同的影响，因此在温室气体浓度增加后对有关碳循环的研究需要考虑的因素更多。

温室气体浓度变化与碳循环的研究是互相影响、互为反馈的两个方面，其中温室气体浓度的变化首先影响大气碳库变化，继而随着碳素在海-陆-气界面的交换而影响到全球碳素的流动；在碳素循环过程中，特别是在陆地表层这一多圈层的交叉地带，承受了特别多的人类活动带来的干扰和变化，该区域既是 CO_2 的汇，也是 CO_2 的源，因此陆地生态系统的碳吸收或排放行为尤为关键，它将直接决定和影响大气中的碳素气体等浓度变化。

2. 陆地生态系统碳循环

陆地是人类最重要的核心生存区域，陆地生态系统为人类生命和文明不断演化和进步提供最为重要的物质基础和能量来源，因此和人类活动息息相关，相互影响十分强烈。20 世纪以来我们所面临和遭遇的最大的全球环境问题就是全球变暖及其影响，而该问题最主要的影响者就是陆地生态系统中的剧烈的人类活动，尤其是工业革命以来所造成的全球二氧化碳浓度剧增。因此有关碳素在全球尺度下的流动和循环研究，尤其是陆地生态系统碳的流动变化等相关研究更是热点问题，同时由于陆地碳库的变化在碳素平衡中尤其是世界大范围内的收入和支出对比中占有极其重要的地位，因为它会直接影响陆地上空大气中的温室气体碳浓度，会对全球大气 CO_2

含量变化预测提供直接的证据基础；另外，由于陆—气之间的碳交换机制和相关循环过程还有很多未知的难点问题需要进行更深入的探讨和研究，同时上述变化过程均受人类活动的干扰和影响，所以碳素在陆地生态系统中的流动和循环几乎占据了世界气候变化领域研究的主要部分，相当重要。

3. 土壤碳循环

土壤、植物和凋落物中的碳含量共同组成了陆地碳库，其中土壤碳库（1 500Pg^①）是陆地生态系统中最大碳库，是全球大气碳库总量的2倍，因此大气中碳含量的巨大振荡和改变可能就是来自土壤碳库的轻微扰动和微小变化，从而影响温室气体浓度变化。可见，土—气之间有碳素的流动和循环，同时在土—生之间也同样存在碳素的流动和交换，最为明显的就是在生物生长的整个周期过程中与土壤之间的营养物质循环必然包含了碳素，因此土壤的碳循环在陆地生态系统中又显得尤为重要，因为其串联起了气—土—生这一整个交换界面。另一方面，土壤为农业生产活动特别是为粮食生产提供最为基础的营养物质，而在全球气候变化的背景下，农业生产习惯依赖的热量和水分等条件都将发生变化，将会直接导致植物和土壤之间养分的移动和交换平衡，同样会带来土壤碳储量的根本性变化，反过来亦会影响气候变化（陈庆强等，1998）。

与大气温室气体的变化一样，土壤碳库储量也在发生着根本性的变化，尤其是在人类活动的强烈影响下更显突出。比如，在Dick（1998）等人的研究中明确指出，自然植被下的土壤改变为农业土壤利用方式后土壤中储存的碳在短期内会急剧释放到大气中，造成土壤中有有机碳的总蓄积量锐减。这一结果同样在IPCC（2001）的报告中得以体现，报告中首次提到土地利用方式改变带来的碳排放量大概为1.6~1.7Pg/年。另外，农业生产活动极其复杂，其历史悠久，在世界不同国家和不同区域具有属于自己的方式和传统，而农业种植过程中的耕作、施肥、除草、农药施用以及收割等所有

① Pg是计算碳储量和碳排放的常用单位，1Pg=10¹⁵克。