



西南大学
SOUTHWEST UNIVERSITY

农林经济管理一流培育学科建设系列丛书(第一辑)
First-class Training Discipline of Agriculture and Forestry Economic Management

A Study on the Impacts of Climate Change
on Rice Production in China

气候变化对中国水稻 生产的影响研究

尹朝静/著

中国财经出版传媒集团



中国财政经济出版社

非
外
借

西南大学农林经济管理一流培育学科建设系列丛书（第一辑）

国家自然科学基金“极端气候下中国水资源对粮食安全影响的风险评估和弹性对策研究”（71461010701）、中央高校基本科研业务费专项资金项目“气候变化对我国水稻生产的影响机理与实证研究”（SWU1709653）资助

气候变化对中国水稻 生产的影响研究

尹朝静 著

中国财经出版传媒集团
中国财政经济出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

气候变化对中国水稻生产的影响研究/尹朝静著. —北京:
中国财政经济出版社, 2018.3

(西南大学农林经济管理一流培育学科建设系列丛书. 第一辑)

ISBN 978 - 7 - 5095 - 8053 - 0

I. ①气… II. ①尹… III. ①气候变化 - 影响 - 水稻
栽培 - 研究 - 中国 IV. ①S511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 027372 号

责任编辑: 杨 骁

责任校对: 徐艳丽

中国财政经济出版社 出版

URL: <http://ckfz.cfeph.cn>

E-mail: cfeph@cfeph.cn

(版权所有 翻印必究)

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮政编码: 100142

营销中心电话: 010 - 88191537

天猫网店: 中国财政经济出版社旗舰店

网址: <https://zgczjjcbs.tmall.com>

北京财经印刷厂印刷 各地新华书店经销

880 × 1230 毫米 32 开 6.625 印张 150 000 字

2018 年 6 月第 1 版 2018 年 6 月北京第 1 次印刷

定价: 36.00 元

ISBN 978 - 7 - 5095 - 8053 - 0

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

本社质量投诉电话: 010 - 88190744

打击盗版举报电话: 010 - 88191661 QQ: 2242791300

前言

受自然因素和人类活动的共同影响，全球气候变暖已成为不争的事实。2014 年政府间气候变化专门委员会（IPCC）第 5 次评估报告再次指出气候变暖是明确无误的，过去的 130 年全球升温 0.85°C ，且从 20 世纪 50 年代开始，极端天气气候事件开始增多，包括干旱、洪涝、高温等灾害，严重威胁着人类的生产和生活。事实上，气候变化对环境、生态和社会经济系统已产生日益严重的影响。农业是受气候变化最为敏感和最为脆弱的领域之一，大量研究证实气候变化对农业生产有着显著影响。中国作为一个农业大国，气候变化对中国农业生产的影响已经逐渐显现。《气候变化与贫困》（2009）中指出，如果不采取适应性措施，到 2030 年，中国种植业生产能力在总体上因气候变暖可能会下降 5%—10%。其中，小麦、水稻和玉米三大粮食作物均以减产为主。到 21 世纪后半期，小麦、水稻、玉米等几种作物的单产将最多下降 24%—37%。

2015 年中国水稻播种面积为 30215.74 千公顷，稻谷总产量达 20822.52 万吨，分列世界第二和世界第一。中国水稻生产的变化不仅会影响国内粮食供给，而且对国内外粮食价格和国际稻米市场也具有重要影响。目前，学术界关于气候变化对粮食安全的研究较多，但是针对具体粮食作物品种尤其是水稻生产影响的研究并不多见，缺乏微观基础，特别是关于气候变化对水稻布局

变迁和生产率影响的研究还很少。在气候变暖和极端气候频繁的背景下,气候变化究竟会对中国水稻生产产生何种实质性影响?这需要进行综合系统研究。例如,气候变化对水稻单产的影响如何?这种影响具体又存在什么样的区域差异?又如,气候变化是否会对水稻播种面积及其表征的生产布局产生影响?气候变化与水稻全要素生产率之间又存在怎样的关系?另外,高温、旱涝等极端气候事件又呈现出怎样的典型特征?其对水稻单产会有怎样的影响?深入研究这些问题不仅有助于提高水稻生产应对气候变化的能力,对保障粮食安全和维护社会稳定也具有重要意义。

基于上述问题,本书以气候变化对中国水稻生产的影响为研究对象,首先,对相关概念进行界定,在进行理论逻辑推理的基础上,提出有待验证的研究假说,然后阐述本书的理论基础,对相关文献进行全面梳理述评。在此基础上,运用线性倾向估计和 Mann-Kendall 检验方法分析我国水稻生长期的典型气候变化特征。其次,将气候因素引入,构建扩展的 C-D 生产函数模型,实证分析生长期气候变化对水稻单产的影响,重点考察气候因素对水稻单产的非线性及区域差异性影响程度。以水稻主产区湖北省为例,采用气温数据和 Logistic 曲线方程构造出高温热害综合指数,在分析该地区水稻生长期高温热害时空变化特征的基础上,建立水稻单产及其影响因素的分层估计模型,重点探讨温度、降水、极端高温等气候因素对湖北水稻单产的影响。然后,利用地理信息系统(GIS)可视化表达 20 世纪 80 年代以来我国水稻生产的空间布局变化,结合微观和宏观两个方面因素,综合考虑自然因素及比较收益、非农就业等社会经济因素,分析气候变化对水稻生产布局变迁的实质影响。接下来,探讨气候变化对水稻全要素生产率的影响机理,分析水稻全要素生产率的时空变动特征,考察降水和气温对水稻全要素生产率的影响。最后,根

据本书研究结论,从“减缓”和“适应”两个方面提出水稻生产应对气候变化的政策建议,以期对我国制定应对气候变化和促进水稻生产可持续发展的政策提供参考依据。通过上述系统研究,本书主要得出以下结论:

(1) 东北、华东、华中、华南和西南地区水稻生长期月平均气温均呈显著上升趋势,且地区间增幅不同;华东、华中和华南地区水稻生长期月平均降水呈增加趋势,而东北和西南地区水稻生长期月平均降水呈下降趋势,但各地区的降水变化趋势均不显著。

(2) 水稻生长期气候变化对大部分地区水稻单产的提高不利。其中,气温上升对华东地区、华中地区、华南地区以及西南地区水稻单产具有负向影响,而对东北地区水稻单产具有显著的正向影响。降水增加对东北地区、华东地区、华中地区以及华南地区水稻单产具有负向影响,而对西南地区水稻单产具有显著的正向影响。

(3) 高温热害对水稻单产表现出显著的负向影响。2003—2011年间湖北省高温热害灾害比较严重,呈现出先降后增的变化趋势。在空间上,高温热害在鄂西地区和江汉平原高温热害相对较轻,但在鄂中和鄂东地区比较严重。

(4) 气候因素与水稻生产布局变迁密切相关,特别是气温在水稻生产布局变迁中起着重要作用。具体来看,东北地区气温上升有利于增加水稻播种面积,而华东地区、华中地区、华南地区和西南地区气温上升导致水稻播种面积减少。另外,降水增加对水稻播种面积的影响并不显著。

(5) 气温上升对水稻全要素生产率具有显著的正向影响,而降水增加对水稻全要素生产率的影响并不显著。具体来看,东北地区气温上升促进了水稻全要素生产率增长,华东地区气温上

升也显著提高了水稻全要素生产率，而华中地区、华南地区和西南地区气温上升对水稻全要素生产率均表现为负向影响。除西南地区外，东北地区、华东地区、华中地区和华南地区降水增加均不利于提高水稻全要素生产率。

综上所述，本书研究发现气候变化对水稻生产的影响具有显著的地区性差异，这种差异性高度依赖于当地的具体自然资源禀赋条件和农业生产条件，也与各地区气候变化的适应能力有关。所以，在制定应对气候变化的政策时一定要因地制宜，因地制宜，具体问题具体分析，针对不同地区的气候特征及自然资源禀赋，采取具有针对性的气候变化应对措施，不能搞“一刀切”，否则会适得其反。具体可从四个方面着手：（1）合理安排水稻种植制度，优化水稻生产布局。一是根据各地区当地水稻种植制度和种植区域的变化情况，因地制宜，科学安排水稻的种植制度。二是根据各区域光热水资源的变化，优化水稻区域布局规划。（2）增加农业科研投入，研发和改良水稻新品种、新技术。增加农业科研投入，积极研发抗旱涝、耐高温、抗病虫害等抗逆新品种，加强开发新农药和实用病虫害防控技术。（3）加强水稻生产管理。更加注重优化灌溉、控制施肥和病虫害防治，增强水稻生产适应气候变化的能力。（4）完善水利设施建设，做好气象灾害防御工作。加强气象灾害预报、预警系统建设及完善水利设施等举措，积极应对气候变化。

本书可能的创新之处主要体现在三个方面：

（1）构造出高温热害综合指数，从理论和实证层面考察了高温热害对水稻单产的影响。本书以高温热害积温和高温持续日数为基础，运用 Logistic 曲线方程构造出高温热害综合指数，对高温热害灾害进行有效数量化。而已有文献在具体量化研究上尚未有效解决这一问题。同时，从理论上探讨了高温热害对水稻单

产的影响机理，在研究高温热害对湖北省水稻单产影响时，采用分层线性模型对影响水稻单产的因素进行估计。这不仅考虑了农户层面的要素投入因素，还可以控制不同地区的社会适应行为因素，将宏观与微观分析结合，从而有效弥补了已有文献没有考虑空间异质性问题的不足，这使得研究结果更为准确和可靠。

(2) 利用历史气候数据和面板数据模型，在控制住社会经济、农业生产技术及政策引导等因素的基础上，实证检验了气候变化与水稻生产布局变迁之间的关系。目前经济学领域研究气候变化与水稻生产布局变迁关系的文献较少，而自然科学领域通常孤立地分析气候因子对水稻种植区域、播种面积的影响，较少考虑社会经济因子对水稻播种面积的影响，缺乏对水稻生产布局变迁影响的系统研究。因此，本书综合自然科学和经济学领域的研究成果，在综合控制自然因素和社会经济因素的情况下，建立面板数据模型，重点考察气候变化与水稻生产布局变迁的关系。相对已有研究文献而言，估计方法更为稳健，研究结论更为可靠。另外，本书引入 GIS 可视化表达这一新的方法，全面考察水稻生产布局变化特征，这相对已有研究而言，可以更加全面地把握水稻生产布局的空间变化趋势。

(3) 从理论层面上分析了气候变化对水稻 TFP 的影响机理，在对水稻 TFP 增长进行系统研究的基础上，采用双向固定效应模型实证检验了气候变化对水稻 TFP 的影响，进一步厘清和认识气候变化在水稻生产中所扮演的角色。目前有文献涉及气候变化与 TFP 关系的研究，但尚未发现有文献具体研究到农业某一作物品种层次，这在很大程度上可以有效丰富该领域的研究。其中，在测算水稻 TFP 时，本书克服了传统当期 DEA 方法因为前沿技术进步率经常小于 1 而产生的“技术退步”悖论。通过引入技术进步“历史记忆”假定和序列 DEA 方法，在引入以前

各期技术的基础上，有效克服了线性规划无解的缺陷以及“技术倒退”的悖论，准确地测度了技术进步。相对已有文献而言，更加具有经济学含义和理论基础。

尹朝静

2017 年 12 月

目 录

第 1 章 导论	(1)
1.1 问题的提出	(1)
1.2 重要概念与研究对象的界定	(6)
1.3 研究目标与研究假说	(9)
1.4 研究方法与数据来源	(14)
1.5 研究思路与研究内容	(16)
1.6 可能的创新与改进方向	(20)
第 2 章 理论基础和文献综述	(23)
2.1 理论基础	(23)
2.2 文献综述	(33)
第 3 章 水稻生长期气候变化特征研究	(51)
3.1 气候变化趋势、突变分析方法及数据说明	(52)
3.2 中国气候变化特征分析	(54)
3.3 水稻主产区气候变化特征分析	(60)
第 4 章 气候变化对水稻单产的影响分析	(76)
4.1 中国水稻单产变化情况	(77)
4.2 模型构建与变量处理	(78)
4.3 气候变化对水稻单产影响模型的估计结果	(83)



4.4	气候变化对水稻单产的边际影响	(91)	
第 5 章 高温热害对水稻单产的影响			
	——以湖北省为例	(93)	
5.1	高温热害强度和分层模型的设定	(94)	
5.2	数据来源和变量说明	(96)	
5.3	研究结果与分析	(100)	
第 6 章 气候变化与中国水稻生产布局变迁			(107)
6.1	中国水稻生产布局变迁	(108)	
6.2	水稻生产布局变化的影响因素分析	(115)	
6.3	模型设定和数据处理	(117)	
6.4	模型估计与结果分析	(120)	
第 7 章 气候变化与水稻全要素生产率增长			(126)
7.1	理论、方法和指标度量	(127)	
7.2	中国水稻全要素生产率增长	(133)	
7.3	水稻全要素生产率增长的气候因素分析	(135)	
第 8 章 结论与研究展望			(143)
8.1	主要结论	(144)	
8.2	水稻生产应对气候变化的对策措施	(150)	
8.3	研究展望	(157)	
参考文献			(159)
附 录			(185)



第1章

导 论

1.1 问题的提出

2014 年政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第 5 次评估报告再次明确指出气候变暖是毋庸置疑的, 过去的 130 年全球升温 0.85°C , 且从 20 世纪 50 年代开始, 极端天气气候事件开始增多 (IPCC, 2014)。最新观测表明, 全球气候仍在持续变暖。2014 年全球地表气温、海表面温度、格陵兰冰盖反照率、南极海冰面积等 7 个方面均打破了历史记录 (Blunden *et al.*, 2015)。2014 年成为有现代气象记录数据以来最为炎热的一年。随着增温幅度和速率的增加, 极端气候灾害事件的发生频率和强度大大增加, 给人民生产和生活造成重大损失。1998 年中国长江中下游爆发特大

洪涝，直接经济损失 1700 多亿元；2005 年卡特里娜飓风成为美国历史上损失最大的自然灾害；2013 年海燕台风造成菲律宾 7000 多人死亡，1600 多万人受灾，400 万人流离失所，成为 2013 年全球遇难人数最多的一次自然灾害。

人类活动对气候系统的影响是明显的，并且这种影响在不断增强。如果任其发展，气候变化将会对人类和自然系统造成严重的、普遍的和不可逆转的影响（IPCC，2014）。国际社会已普遍认识到气候变化会给环境、生态和社会经济系统带来风险，并对人类的生存和发展造成威胁。从 20 世纪 80 年代开始，为应对气候变化带来的不利影响，国际社会密切注视气候变化问题，并付出艰苦努力。1992 年 5 月《联合国气候变化框架公约》（简称《公约》）正式通过，明确指出应对气候变化的最终目标是稳定大气中温室气体的浓度，防止气候系统受人为干扰。《公约》达成之后，国际社会一直积极地进行减缓气候变化的国际合作模式的探索，但未能建立起具体的减缓气候变化全球合作制度性安排。实际上，通过减缓气候变化的行为，能使气候变化的影响保持在可控制的范围内，实现经济社会的可持续发展。直到 1997 年 12 月《京都议定书》（简称《议定书》）通过，才建立了针对发达国家的强制性减缓合作机制，但《议定书》及其“多哈修正案”“坎昆协议”等方案并未能有效解决国际减缓合作的问题，其实施效果并不理想（IPCC，2014）。而 2015 年《公约》第 21 次缔约方会议在达成《巴黎协定》（简称《协定》）后闭幕，为全球应对气候变化带来新的希望。在巴黎气候变化大会上，公约缔约方达成了以《协定》为核心的一系列成果，特别是关于全球如何开展减缓气候变化合作的制度安排。《协定》明确了国家自主减排方式，提出了长期减排路径，并确立了有区别的减排模式。《协定》强调发达国家应带头努力实现全经济范围



的绝对减排目标，认清可持续生活方式在应对气候变化中发挥的重要作用，同时发展中国家应依据各国国情，强化减缓努力，逐步实现全经济范围的绝对减排或限排目标（巢清尘等，2016）。各国政府和国际社会在应对气候变化问题上逐步达成共识，为促进全球可持续发展而共同努力。

当前，我国经济发展面临“双重困境”，不仅受制于资源短缺问题，还面临着严峻的环境污染问题。资源约束和环境破坏已经严重威胁我国实现经济社会的可持续发展。实际上，在经济进入新常态的情况下，如何转变经济发展方式和实现可持续发展是摆在中国经济面前亟待破解的重要课题。在这种背景下，节能减排、发展低碳经济，是转变经济发展方式的必然要求。坚持低碳发展方式，积极应对气候变化，不仅有助于增强中国经济的国际竞争力，也能为国际社会共同应对气候变化、推进全球的可持续发展做出应有贡献。中国正在努力推进生态文明建设，以求实现绿色低碳、气候适应型和可持续发展（王伟光等，2015）。2015年，单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降了38.6%，比2010年下降了21.7%。同年，中国的碳交易市场已经在7个省市全面展开。2014年，科学界推出的“中国蓝碳计划”，更将引领国际前沿和支撑碳交易体系。在气候变化问题日益突出的形势下，中国各级政府和学术界正以更加积极的姿态来应对气候变化，为减缓全球变暖做出了实实在在的贡献。

从哥本哈根到巴黎气候大会，全球气候变化议题吸引了各国政府、社会等各方的广泛注意。其中，学术界全面展开了对全球变暖和极端气候事件的研究，涉及农业、水资源、生态及海岸带等诸多方面的研究。农业是受气候变化影响最为敏感、最为脆弱的领域之一，气候变化对农业生产的影响十分明显。已有研究表明，对于中国来说，气候变化对我国农业生产的影响有利也有

弊,但基本上是以不利影响为主。虽然气候变化改善了中国部分地区的热量资源,却加剧了水资源供需矛盾,导致干旱、洪涝等极端气候事件增加,病虫害等危害加重。矫梅燕等(2014)认为气候变化对中国农业生产的不利影响已经逐渐显现。如果不采取适应性措施,到2030年,中国种植业生产能力在总体上因气候变暖可能会下降5%—10%。其中,小麦、水稻和玉米三大粮食作物均以减产为主。到21世纪后半期,小麦、水稻、玉米等几种作物的单产将最多下降24%—37%(Lin, 2005)。气候变暖和极端性气候事件频繁会对农业生产产生严重影响,容易引发全球对“粮食安全”的担忧(赵建军和蒋远胜,2011)。概括来说,气候变化对粮食生产的影响主要表现在三个方面:第一,粮食生产会变得不稳定,粮食产量波动变大;第二,粮食生产的种植区域和种植制度受到影响;第三,作物管理、病虫害、土壤质量等发生变化,农业生产环境改变,种粮成本增加,影响农业生产效率。

水稻是全球重要的口粮作物,气候变化会对水稻单产、生产布局及生产效率等产生怎样的影响呢?作为世界上最大的水稻生产和消费国,中国的水稻产量及其生产布局的变化不仅会影响国内粮食供给,而且会对国内外粮食价格和国际稻米市场产生深远影响。因而,定量评估气候变化对中国水稻生产的影响,不仅有助于保障我国粮食安全,而且有利于我国水稻生产的可持续发展。据联合国粮食与农业组织(Food and Agriculture Organization, FAO)统计,1984—2014年期间,世界水稻单产从1984年的3226.10kg/ha提高到2014年的4556.90kg/ha,年均增长率1.38%。同时,中国水稻单产从1984年的5372.60kg/ha提高到6815.20kg/ha,年均增长率0.90%。水稻单产的提高受自然因素和社会经济因素的综合影响。不少研究从品种改良、栽培技术、



要素投入等方面对水稻单产增长展开了较深入的研究（朱德峰等，2010；顾铭洪，2010；魏兴华等，2010）。实际上，水稻单产与光、热、水等气候因素密不可分。在全球气候变暖背景下，气候变化会对水稻单产产生怎样的影响？区域间又存在怎样的差异？如果有差异，不同地区水稻单产受气候变化的具体影响是怎样的？据国家统计局统计，2015 年中国实现粮食产量“十二连增”，然而稻谷产量在 2013 年“九连增”后首次降低。其中，稻谷减产的主要原因是 2013 年我国南方中晚稻产区遭遇高温少雨天气，影响到一些地区中晚稻的移栽和结实。气候变暖使高温热害的发生频率和强度增加，高温热害的变化特征是怎样的？又会对水稻单产产生怎样的影响？这些问题均有待进一步研究。

1984—2014 年，世界水稻播种面积从 1.44 亿公顷增加到 1.63 亿公顷，但中国水稻播种面积却从 0.33 亿公顷缩减到 0.30 亿公顷（FAOSTAT）。虽然水稻播种面积的总体变化幅度不大，年均下降率 0.29%，但是各水稻主产区的播种面积变化幅度较大。在全球变暖背景下，北半球中纬度地区热量资源增加，生长期延长，积温带北移，水稻种植制度逐渐改变。气候变化是否会影响各水稻主产区的播种面积？如果会有影响，其具有什么特点？哪种因素在水稻生产布局变迁中起着重要作用？气候因素又会起着怎样的作用？是否会存在区域差异？这些问题仍需要相关的定量研究进行补充。

全球气候变化问题不仅仅是一个环境问题，更是一个发展问题。特别是面临资源短缺和环境破坏的严峻形势下，要实现水稻生产的可持续发展，必须依靠科技进步，提高水稻生产率。那么，在全球气候变暖背景下，水稻生产率的增长情况如何？气候变化是否会影响水稻生产率的提高？气候变化在水稻生产中扮演着怎样的角色？要回答这些问题，有必要厘清气候变化对水稻全

要素生产率的影响机理,也需要实证检验气候变化与水稻全要素生产率之间的关系。

本书基于上述问题而选题,以期强化气候变化问题的研究,提高应对气候变化的能力,为提出促进水稻生产可持续发展和保障粮食安全的对策措施提供参考依据。

1.2 重要概念与研究对象的界定

1.2.1 概念界定

气候变化 (Climate Change) 是指长时期内 (典型为 30 年或更长) 气候状态的变化。气候变化既包括平均值变化,也包括变率变化。《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 定义气候变化为经历相当一段时间,除自然气候变化外由人类活动直接或间接改变全球大气组成所引起的气候变动。而 IPCC 将气候变化定义为气候随时间的变化,既包括自然变率,也包括人类活动的作用。现有关于气候变化对农业生产影响的研究多采用 IPCC 这一定义,本书同样采用这一定义。

农业气象指标是指农业生产对象和农业生产过程中气象条件的要求和反应的定量值。农业气象指标是利用农业气象观测、试验调查资料以及利用农业的和气象的历史资料,进行分析、验证、修正、归纳得出的具体数据值,如平均温度、降水量、相对湿度等指标。已有研究通常采用作物整个生长期或当年 (月度) 的平均温度和降水量这两个指标表示气候条件 (Mendelsohn *et al.*, 1994; Massetti and Mendelsohn, 2011)。但是,这种处理方式并未考虑到气候在平均水平之外的异常分布,Adams *et al.*