



经济管理学术文库·经济类

气候变化与 中国低碳型农业经济

Climate Change and China's Low-carbon
Agricultural Economy

周 力 / 著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

本书得到了如下几项课题资金支持：
国家自然科学基金青年项目“基于纵向协作关系的农户清洁生产行为研究”（编号：）
国家社会科学基金重大项目“环境保护、食品安全与农业生产服务体系研究”（编号
国家社会科学基金重大项目“建设以低碳排放为特征的农业产业体系及农产品消费模
教育部人文社会科学基金项目“畜禽养殖业温室气体减排的生态补偿机制研究”（编



经济管理学术文库·经济类

气候变化与 中国低碳型农业经济

Climate Change and China's Low-carbon
Agricultural Economy

周 力 / 著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

气候变化与中国低碳型农业经济/周力著. —北京: 经济管理出版社, 2013. 11
ISBN 978 - 7 - 5096 - 2716 - 7

I. ①气… II. ①周… III. ①节能—农业经济—经济—模式—研究—中国 IV. ①F320. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 247676 号

组稿编辑: 曹 靖
责任编辑: 曹 靖 赵喜勤
责任印制: 杨国强
责任校对: 张 青

出版发行: 经济管理出版社
(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn
电 话: (010) 51915602
印 刷: 北京京华虎彩印刷有限公司
经 销: 新华书店
开 本: 720mm × 1000mm/16
印 张: 14
字 数: 267 千字
版 次: 2013 年 11 月第 1 版 2013 年 11 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978 - 7 - 5096 - 2716 - 7
定 价: 48.00 元

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

前 言

科学研究表明，气候变化正威胁着全球农业和粮食系统，尤其对发展中国家的农民而言，气候变化会对其营养摄入、劳动生产率、贫困发生率产生一系列影响。中国作为世界上最大的发展中国家，同样对气候变化相当敏感。在过去的一百年中，中国已经历了明显的气候变暖和一些灾难性极端气候，因此，评估气候变化所引起的中国农业产业安全、适应能力、脆弱性、产业组织变迁等问题，对一个养育着全球 22% 人口的世界大国而言显得尤为重要。

另外，应对气候变化的低碳农业发展战略应运而生。现实中，发展低碳农业的阶段、区域及产业分布问题，都值得展开研究。特别从农户视角，判别其低碳农业生产的受偿意愿也具有重大的现实意义。随着市场对肉、蛋、奶类的需求不断上升，中国农业，特别是畜禽养殖业，已成为主要的碳排放产业。据联合国粮农组织估计，仅从生产和养殖环节来看，农业养殖所带来的温室气体排放占全球总量的 18%，而世界观察研究 2009 年公布的《牲畜与气候变化》报告则进一步指出，该排放比重甚至达到了 51%。

基于研究气候变化对农业的影响及其减排问题的重要性，本书分六章展开论述：第一章，区分了粮食作物与油料作物，分析了气候变化对农业产业安全的影响；第二章，区分了温和型气候变化与极端气候事件，研究了农户层面的适应行为；第三章，基于营养摄入、收入动态、劳动生产率、相对贫困等视角，分析了气候变化下的农村脆弱性问题；第四章，分析了气候变化对农业产业组织变迁影响以及产业组织关系对农业低碳生产的影响；第五章，基于温室气体减排视角，分析了低碳农业的环境库兹涅茨曲线特征以及低碳农业生产效率问题；第六章，以沼气建设为例，探讨了低碳农业生产的受偿意愿。

由于编者的水平有限，书中难免有疏漏之处，敬请广大同行和读者指正。

周 力
2013 年 9 月

目 录

第一章 气候变化与农业产业安全	1
第一节 问题的提出	1
第二节 气候变化对粮食作物产业安全的影响	5
第三节 气候变化对油料作物产业安全的影响	14
第四节 本章小结	26
第二章 气候变化与农户适应能力研究	29
第一节 问题的提出	29
第二节 温和型气候变化的适应能力研究	31
第三节 极端气候事件的灾后适应能力研究	48
第四节 本章小结	60
第三章 气候变化与农村脆弱性研究	62
第一节 问题的提出	62
第二节 气候变化、劳动生产率与农户营养摄入	63
第三节 气候变化与中国农村贫困陷阱	77
第四节 本章小结	106
第四章 气候变化与农业产业组织变迁	110
第一节 问题的提出	110
第二节 气候变化对农业产业组织的影响	112
第三节 产业组织变迁对低碳农业生产的影响	118
第四节 本章小结	130



第五章 低碳农业的发展路径与生产效率研究	138
第一节 问题的提出	138
第二节 低碳养殖与经济发展水平的关系研究	140
第三节 畜禽低碳养殖碳排放强度因素分解及影响因素分析	144
第四节 基于低碳约束的农业生产效率研究	153
第五节 本章小结	162
第六章 低碳农业生产的受偿意愿研究	165
第一节 问题的提出	165
第二节 养殖收入对低碳生产意愿的影响	166
第三节 沼气池建设受偿意愿分析	171
第四节 本章小结	180
参考文献	182
后记	215

第一章 气候变化与农业产业安全

第一节 问题的提出

改革开放以来，中国粮食产业区域格局发生了重大变化，历史上长期“南粮北调”的局面已告终，代之而起的是“北粮南调”，一些原来生产条件较差的北方低产地区正逐步崛起，成为新的商品粮生产基地。值得警惕的是，在全球气候变暖的背景下，中国农业气象灾害、水资源短缺、土地退化、农业病虫害的发生程度都可能逐步加剧，这势必增加中国粮食产业可持续增长的风险。若如此，粮食产业向气候条件相对较差的地区集聚，可能会直接影响中国粮食生产的总供给水平，扩大粮食产量的年度间波动，并进一步加剧国内外粮食市场的不稳定性。有学者认为，粮食调进省份不论出于什么原因，对粮食缺口的拉大也不能任其发展，而应当根据本地区实际情况，采取切实有效的政策措施，大力挖掘粮食增产潜力，充分发挥粮食生产优势，逐步提高粮食自给水平。但是，在工业化、城镇化、技术变化等宏观背景下，中国粮食产地转移往往是农户理性的经济决策，是资源优化配置的体现。试问，若以国家粮食总供给稳定增长为目标，中国粮食产地转移过程中，是否存在“个体理性”与“集体理性”的冲突？基于此，本章将重点评估气候变化对粮食种植规模与单位产量的作用机制，进而探讨产地转移对国家粮食总供给的影响，并以农业可持续增长为导向，探索长期的、稳定的粮食政策与战略选择。

中国粮食作物种类多、分布广、地域差异大，主要粮食作物以稻谷、小麦、玉米、高粱、谷子、薯类、大豆等为主。从七大经济地区划分来看，华北、东北、西北的粮食产量不断上升；华东、华南不断下降；华中所占比重变化不大。

中国是世界种稻最早、产稻谷最多的国家。2008年，我国稻谷播种面积为2924万公顷，占粮食作物总播种面积的27.38%。受水资源约束，中国的稻谷产区



主要集中于气温高、降水多的华中和华东地区，如表 1-1 所示。近年来，稻谷生产区域布局发生了显著变化，华东地区产量骤减，占粮食总产量的比重由 1985 年的 30.00% 下降至 2008 年的 23.58%，而东北地区产量剧增，由 1985 年的 3.62% 上升至 2008 年 13.56%。总体看来，稻谷产业集中度有微量下降，前四大产地作物产量占总产量的份额总和（CR₄）由 1985 年的 44.34% 降为 2008 年的 42.66%。

表 1-1 中国各地区粮食生产集聚指数

地区		水 稻				小 麦				玉 米			
		1985 年	1995 年	2005 年	2008 年	1985 年	1995 年	2005 年	2008 年	1985 年	1995 年	2005 年	2008 年
华北	北京	0.15	0.09	0.00	0.00	0.86	0.98	0.27	0.29	1.67	1.19	0.45	0.53
	天津	0.10	0.21	0.07	0.05	0.51	0.64	0.49	0.47	0.86	0.72	0.52	0.51
	河北	0.46	0.49	0.29	0.29	8.78	10.37	11.80	10.87	10.64	10.57	8.57	8.69
	山西	0.03	0.02	0.00	0.00	3.48	2.64	2.08	2.25	3.29	3.60	4.42	4.12
	内蒙古	0.05	0.21	0.34	0.37	1.75	2.57	1.47	1.37	2.50	4.63	7.65	8.50
	合计	0.79	1.02	0.70	0.71	15.38	17.20	16.12	15.24	18.96	20.71	21.61	22.35
东北	辽宁	1.56	1.41	2.31	2.63	0.03	0.62	0.08	0.04	7.02	7.36	8.15	7.17
	吉林	1.09	1.60	2.62	3.02	0.12	0.19	0.03	0.02	12.43	13.20	12.92	12.55
	黑龙江	0.97	2.54	6.21	7.91	3.26	2.65	0.96	0.80	6.45	10.83	7.48	10.98
	合计	3.62	5.55	11.14	13.56	3.42	3.46	1.07	0.86	25.90	31.39	28.55	30.70
华东	上海	0.91	0.86	0.47	0.47	0.26	0.23	0.10	0.16	0.06	0.04	0.02	0.01
	江苏	9.72	9.71	9.45	9.23	9.78	8.73	7.48	8.88	3.47	2.42	1.25	1.22
	浙江	8.05	6.58	3.57	3.44	1.07	0.53	0.22	0.19	0.21	0.13	0.19	0.07
	安徽	6.90	6.86	6.93	7.21	7.14	6.84	8.29	10.38	1.03	2.43	1.90	1.73
	福建	4.04	3.91	2.92	2.65	0.21	0.18	0.02	0.01	0.00	0.06	0.09	0.08
	山东	0.37	0.49	0.53	0.58	17.64	20.16	18.48	18.09	14.69	13.78	12.45	11.38
	合计	30.00	28.41	23.87	23.58	36.09	36.68	34.59	37.71	19.47	18.85	15.91	14.49
华中	江西	8.75	8.03	9.23	9.70	0.12	0.07	0.03	0.02	0.02	0.08	0.04	0.04
	河南	1.34	1.60	1.99	2.31	18.02	17.16	26.45	27.13	8.42	8.55	9.31	9.73
	湖北	9.32	9.34	8.50	7.99	4.07	3.56	2.14	2.93	1.81	1.34	1.40	1.36
	湖南	13.87	13.16	12.72	13.17	0.34	0.27	0.14	0.03	0.32	0.35	0.96	0.77
	合计	33.30	32.13	32.44	33.18	22.56	21.06	28.76	30.10	10.56	10.32	11.72	11.91

续表

地区		水 稻				小 麦				玉 米			
		1985 年	1995 年	2005 年	2008 年	1985 年	1995 年	2005 年	2008 年	1985 年	1995 年	2005 年	2008 年
华南	广东	9.26	7.94	6.19	5.23	0.09	0.07	0.02	0.00	0.11	0.20	0.44	0.38
	广西	5.85	6.80	6.47	5.77	0.01	0.03	0.02	0.00	1.44	1.39	1.52	1.25
	海南	0.00	0.87	0.61	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.04	0.04
	合计	15.11	15.62	13.27	11.75	0.10	0.09	0.04	0.01	1.55	1.61	2.00	1.67
西南	四川	11.43	11.33	11.23	10.56	7.38	7.15	5.19	4.31	9.06	5.62	5.84	5.32
	贵州	1.92	2.30	2.62	2.40	0.35	1.05	0.75	0.38	2.47	2.13	2.47	2.36
	云南	2.87	2.76	3.58	3.24	0.73	1.35	1.10	0.74	3.90	3.03	3.22	3.19
	西藏	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.24	0.26	0.23	0.01	0.01	0.01	0.01
	合计	16.22	16.39	17.43	16.20	8.59	9.79	7.30	5.66	15.43	10.79	11.55	10.89
西北	陕西	0.52	0.35	0.49	0.43	4.99	4.01	4.12	3.48	4.57	2.52	3.30	2.91
	甘肃	0.01	0.03	0.02	0.02	3.71	2.49	2.72	2.38	1.17	1.12	1.78	1.60
	青海	0.00	0.00	0.00	0.00	0.74	0.68	0.40	0.37	0.00	0.00	0.01	0.01
	宁夏	0.25	0.25	0.34	0.35	0.69	0.68	0.81	0.57	0.22	0.54	0.87	0.90
	新疆	0.18	0.26	0.30	0.21	3.71	3.85	4.07	3.61	2.18	2.13	2.70	2.56
	合计	0.96	0.88	1.15	1.01	13.85	11.72	12.12	10.42	8.14	6.32	8.66	7.99

中国小麦生产遍布全国，以黄淮海平原及长江流域最多。目前，小麦产区主要集中于华东地区和华北地区，近年来华中地区产量迅速增加，由 1985 年的 22.56% 上升至 2008 年的 30.10%。2008 年，小麦主产区排名前 4 名的省份为河南（27.13%）、山东（18.09%）、河北（10.87%）、安徽（10.38%）。近期，河南、安徽等地区小麦产量显著提升，中国小麦产业格局变迁主要表现为产地集聚，CR₄ 由 1985 年的 54.52% 上升至 2008 年的 66.47%。

中国玉米产区主要集中于东北、华北地区，近几年，东北地区生产份额由 1985 年的 25.90% 上升至 2008 年的 30.70%，华北地区由 1985 年的 18.96% 上升至 2008 年的 22.35%。2008 年，玉米主产区排名前 4 名的省份为吉林（12.55%）、山东（11.38%）、黑龙江（10.98%）、河南（9.73%）。中国玉米产业转移现象也比较明显，山东、四川等地区产量逐步下降，内蒙古、黑龙江等地区产量不断上升，总体看来，玉米产业集聚水平有微量下降，CR₄ 由 1985 年的 46.82% 变化为 2008 年的 44.64%。



如表 1-2 所示, 中国降水量较丰沛的地区为华南、华中、华东等区域, 降水量较少的区域为西北、华北、东北地区。气温较高的为华南、华中、华东等地区, 气温较低的为东北、西北、华北地区。综合看来, 华南、华中、华东、西南地区的气温较高、降水量较多; 东北、西北、华北地区的气温较低、降水较少。

表 1-2 中国气候及自然灾害统计值 (1985 ~ 2008 年)

地区		平均降水量 (毫米)		平均温度 (℃)		水灾成灾面积 (万公顷)		旱灾成灾面积 (万公顷)	
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
华北	北京	550.61	169.28	12.97	0.53	0.25	0.46	2.06	2.82
	天津	514.85	118.26	12.95	0.39	0.26	0.82	3.29	5.11
	河北	521.24	169.13	13.92	0.67	10.68	23.77	62.32	66.74
	山西	419.02	101.43	10.48	0.67	5.30	9.78	52.78	58.77
	内蒙古	394.34	117.23	6.80	3.20	12.50	21.42	82.35	80.48
东北	辽宁	687.73	134.39	8.61	0.51	9.71	17.74	44.76	51.84
	吉林	578.67	114.86	6.28	0.77	11.25	15.25	53.37	72.20
	黑龙江	527.81	115.56	4.96	0.85	23.74	37.85	73.97	91.91
华东	上海	1205.13	234.00	16.81	0.70	0.51	1.27	0.31	1.47
	江苏	1073.35	275.16	15.98	0.68	19.06	33.82	17.13	29.00
	浙江	1414.60	222.89	17.04	0.67	8.77	9.96	5.06	8.01
	安徽	988.99	233.30	16.29	0.62	37.35	46.51	31.23	53.54
	福建	1390.70	308.87	20.29	0.47	6.78	7.70	4.89	8.53
	山东	706.15	191.74	14.84	0.50	19.02	23.52	52.74	73.22
华中	江西	1612.05	318.93	18.04	0.50	26.49	40.99	13.91	22.11
	河南	624.32	150.28	14.76	0.67	28.51	51.09	48.24	54.83
	湖北	1295.95	258.05	17.27	0.76	44.98	48.72	35.05	46.31
	湖南	1431.95	231.57	17.41	0.62	42.59	48.56	25.93	28.79
华南	广东	1787.45	332.66	22.46	0.46	11.77	13.16	8.85	12.41
	广西	1313.87	292.70	21.85	0.48	19.69	21.15	18.77	19.05
	海南	1673.53	396.90	24.59	0.52	1.98	3.31	3.17	4.22
西南	四川	864.87	179.70	16.52	0.59	37.46	36.86	52.20	65.31
	贵州	1090.09	151.26	15.13	0.75	11.66	12.20	10.88	10.31
	云南	1010.71	207.76	15.60	0.63	11.46	10.58	21.70	27.64
	西藏	469.30	89.48	8.57	0.60	0.45	0.61	0.19	0.45

续表

地区		平均降水量（毫米）		平均温度（℃）		水灾成灾面积（万公顷）		旱灾成灾面积（万公顷）	
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
西北	陕西	537.21	128.42	14.35	0.79	10.46	12.72	46.22	44.72
	甘肃	349.62	192.03	10.20	0.96	4.92	4.71	45.94	42.27
	青海	407.28	67.69	6.15	0.56	0.85	1.09	5.97	8.57
	宁夏	187.18	52.75	9.60	0.68	1.25	1.42	10.06	10.85
	新疆	301.20	73.86	7.39	0.84	2.94	3.87	13.65	15.51

中国是世界上自然灾害最为严重的国家之一，古人有“三岁一饥，六岁一衰，十二岁一荒”之说，可见灾害种类多，受灾面积广，成灾比例大。中国巨大的粮食灾损主要是由自然灾害造成的，并且中国的自然灾害极为频繁，已成为影响农业稳定发展的一个重要因素。

1985 年以来，中国水灾最为严重的地区集中于华中地区，最大规模的水灾发生于 2003 年 7 月的夏季淮河流域，仅河南、安徽、江苏三省农作物受灾面积就达到 390.5 万公顷（绝收 79.8 万公顷）。中国旱灾主要发生于内蒙古、黑龙江、河北等省（区），1985 年以来，最大规模的旱灾发生于 2007 年的黑龙江，当年夏季，黑龙江省气温异常偏高，仅次于 2000 年（居历史第二位），降水异常偏少（为有气象记录以来最少的一年），全省 13 个地市 64 个县（市）均不同程度受灾，受旱面积达 712.89 万公顷，直接经济损失 164.46 亿元。

第二节 气候变化对粮食作物
产业安全的影响

粮食产量是种植面积与单位产量的乘积，本研究将基于产业集聚理论与投入产出原理，分别分析气候变化对粮食种植面积与单位产量的影响机制，以期为稳定粮食供给提供政策佐证。

一、粮食种植规模的影响因素分析

粮食增长中心的转移具有双重性，一方面受自然条件和生态条件的制约，转移的范围有一定的空间和时间界限，但随着现代科技的进步，如塑料薄膜的应用、耕作制度的改革、新品种的推广等，这种界限在一定程度上可以改变；另一方面受价

格、成本、利润等因素的推动,转移存在趋向低成本或高利润地区的现象。粮食产地格局变迁的影响因素既有农业内部因素也有农业外部因素。以水稻为例,各区域水稻生产相对于替代作物净收益的差异是导致不同区域水稻生产布局变化的直接原因,而在部分地区资源约束条件、制度改革等因素也起到显著作用。随着经济的发展、农民非农就业机会不断增加和非农收入及其所占比重不断提高,农民种粮的机会成本不断增加。此外,学界也开始关注气候变化等自然因素的相应影响。

基于此,本研究依据产业集聚理论,构建了粮食种植规模的影响因素模型,因变量确定为粮食种植面积,自变量中包含以下几个方面的影响因素:①传统生产要素(劳动力、农业机械、化肥等);②气候等自然资源(降雨量、日照、气温、水灾、旱灾等);③经济结构(经济作物比重、畜牧业比重、城市化率);④区域差异(有效灌溉率、交通便利条件等)。具体变量设定见下文的表1-3,计量模型见式(1.1):

$$\begin{aligned} \log(scale) = & c_1 + a_1 \log(labor) + a_2 \log(machine) + a_3 \log(fertilizer) + \\ & a_4 \log(rainfall) + a_5 \log(sunshine) + a_6 \log(temperature) + \\ & a_7 \log(flood) + a_8 \log(drought) + a_9 \log(cashcrop) + \\ & a_{10} \log(livestock) + a_{11} \log(city) + a_{12} \log(irrigation) + \\ & a_{13} \log(traffic) + a_{14} \log(region) + e_1 \end{aligned} \quad (1.1)$$

二、粮食单产的影响因素分析

在产地转移背景下,本节将进一步分析气候变化与自然灾害对粮食单产的影响。中国粮食单产的影响因素可归纳为作物品种改良及耕作栽培技术、化肥施用量、农业机械、粮食播种面积的变化、农业气象灾害和粮食价格。实际上,粮食单产的差异反映了自然资源、农业投入、科技进步的差异,除了劳动力、土地、资产等传统生产要素之外,许多学者逐步意识到气候资源以及自然灾害的影响。中国粮食生产的波动性在很大程度上受制于受灾状况,并具有显著的区域差异。

在现有文献中,多数学者采用线性模型研究了生产要素对单产的贡献,但是生产要素对单产的影响可能是非线性的。以温度为例,气温对粮食单产的影响可能是呈现一条开口向下的抛物线关系,过低或过高的温度都不利于粮食生长,温度对粮食单产的贡献可能存在一个最佳区间,此外,劳动力、农业机械、降水、日照等生产要素对粮食单产的影响也可能是非线性的。基于此,本书依据C-D函数构建了粮食单产的影响因素模型。其中,笔者认为自然灾害对粮食单产的影响,应该仍然呈线性关系,具体变量见下文的表1-3,计量模型见式(1.2):

$$\log(ayield) = c_2 + a_1 \log(labor) + a_2 \log(labor)^2 + a_3 \log(machine) +$$

$$\begin{aligned} &a_4 \log(machine)^2 + a_5 \log(fertilizer) + a_6 \log(fertilizer)^2 + \\ &a_7 \log(rainfall) + a_8 \log(rainfall)^2 + a_9 \log(sunshine) + \\ &a_{10} \log(sunshine)^2 + a_{11} \log(temperature) + a_{12} \log(temperature)^2 + \\ &a_{13} \log(flood) + a_{14} \log(drought) + \varepsilon_2 \end{aligned} \tag{1.2}$$

三、产地转移对粮食生产的影响分析

本节将分析产地转移对全国粮食生产的影响，并以含有分布滞后项的面板数据模型来分析自然灾害对粮食产量的长期影响。式（1.3）表达了一个简要的分布滞后模型，其中， Y 表示被解释变量， X 表示解释变量， t 为时期， i 为滞后期， b 和 ε 分别表示常数和残差：

$$Y_t = b + \sum_{j=2}^n \sum_{i=0}^{t-1} \frac{a_j}{(i+1)^j} X_{t-i} + \sum_{j=2}^n \sum_{i=t}^{\infty} \frac{a_j}{(i+1)^j} X_{t-i} + \cdots + \varepsilon_t \tag{1.3}$$

式（1.3）中时期数 t 大于 8 的时候， $\sum_{j=2}^n \sum_{i=t}^{\infty} \frac{a_j}{(i+1)^j} X_{t-i}$ 接近于零，可被忽略，进一步展开可得到：

$$\begin{aligned} Y_t = &b + a_2(X_t + \frac{1}{2^2}X_{t-1} + \frac{1}{3^2}X_{t-2} + \cdots + \frac{1}{t^2}X_1) + \cdots + a_n(X_t + \frac{1}{2^n}X_{t-1} + \frac{1}{3^n}X_{t-2} + \cdots + \\ &\frac{1}{t^n}X_1) + \varepsilon_t \end{aligned} \tag{1.4}$$

式（1.4）的括号内表示解释变量的不同阶数的分布滞后项。陆铭等（2005）在使用含分布滞后项的联立方程时，对分布滞后项的阶数选择处理如下，他们将 $n=5$ 作为分析的起点，并根据分布滞后项的显著性 P 值一个一个地去掉最不显著的分布滞后项，直到最高阶的分布滞后项都在至少 10% 水平上显著为止，本书将借鉴此方法展开相应分析。

四、变量设定

表 1-3 变量设定

变量	定 义	单位
ayield	各省或直辖市的粮食单产：作物产量除以其播种面积	kg/hm ²
scale	各省或直辖市的粮食种植面积：作物播种面积	10 ³ hm ²
labor	各省或直辖市的单位农业人口密度：农业人口除以粮食播种面积	人/hm ²
machine	各省或直辖市的单位农业机械动力：农业机械总动力除以粮食播种面积	kW/hm ²
fertilizer	各省或直辖市的单位化肥施用量：化肥总施用量除以粮食播种面积	kg/hm ²
rainfall	各省或直辖市的全年降水量	mm



续表

变量	定 义	单位
sunshine	各省或直辖市的全年日照时数	h
temperature	各省或直辖市的年平均气温	℃
flood	各省或直辖市的水灾程度：水灾成灾面积占播种面积比重	%
drought	各省或直辖市的旱灾程度：旱灾成灾面积占播种面积比重	%
cashcrop	各省或直辖市的经济作物水平：非粮食作物占农作物播种面积比重	%
livestock	各省或直辖市的畜牧业水平：牧业占农林牧副渔总产值比重	%
city	各省或直辖市的城市化率：城市人口占总人口比重	%
irrigation	各省或直辖市的有效灌溉率：有效灌溉面积除以粮食播种面积	%
traffic	各省或直辖市的交通条件：单位面积上的铁路营业里程	km/万 km ²
region	区域分布的虚拟变量组，共涉及七大区域，其中，华北地区为基准变量。华北（North China）包括：北京、天津、河北、山西、内蒙古；东北（Northeast）包括：辽宁、吉林、黑龙江；华东（East China）包括：上海、江苏、浙江、安徽、福建、山东；华中（Centre China）包括：江西、河南、湖北、湖南；华南（South China）包括：广东、广西、海南；西南（Southwest）包括：四川、贵州、云南、西藏；西北（Northwest）包括：陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆	

五、估计结果

（一）粮食种植规模的影响因素分析

估计结果显示（见表 1-4），中国稻谷产业主要分布于降雨量较多、气温较高、旱灾较少的区域；小麦和玉米产业主要分布于降雨量较少、气温较低的地区。

表 1-4 粮食种植面积及单位产量的影响因素分析

变量	log(scale)			log(ayield)		
	稻谷	小麦	玉米	稻谷	小麦	玉米
Constant	5. 0398 *** (4. 9709)	14. 9470 *** (9. 6936)	10. 7796 *** (7. 6205)	3. 6893 (1. 2532)	- 1. 7138 (- 0. 6502)	15. 5889 *** (5. 7123)
log(labor)	- 1. 3753 *** (- 7. 0711)	- 0. 4352 (- 1. 4370)	- 0. 4942 * (- 1. 8304)	- 0. 2296 * (- 1. 9432)	- 0. 2109 * (- 1. 9070)	0. 0010 (0. 0093)
log(labor) ²	—	—	—	0. 1937 ** (2. 4137)	0. 1444 * (1. 9420)	- 0. 0612 (0. 7702)

续表

变量	log(<i>scale</i>)			log(<i>ayield</i>)		
	稻谷	小麦	玉米	稻谷	小麦	玉米
log(<i>machine</i>)	-0.3033 * (-1.8605)	0.1907 (0.8469)	-0.8180 *** (-3.8513)	0.2354 *** (2.9297)	0.0526 (0.7228)	0.1683 ** (2.4706)
log(<i>machine</i>) ²	—	—	—	-0.1248 *** (-2.8396)	0.0189 (0.4787)	-0.0626 (-1.4057)
log(<i>fertilizer</i>)	0.1414 (0.7265)	1.7315 *** (5.8678)	1.9791 *** (7.3340)	0.3581 (1.3958)	0.1404 (0.6263)	-0.6724 ** (-2.3262)
log(<i>fertilizer</i>) ²	—	—	—	-0.0316 (-0.6000)	-0.0124 (-0.2668)	0.1886 *** (3.2383)
log(<i>rainfall</i>)	0.4034 *** (2.9434)	-1.1568 *** (-5.8934)	-1.2528 *** (-6.7549)	0.7386 *** (2.6598)	0.4442 * (1.7400)	0.5465 ** (2.0800)
log(<i>rainfall</i>) ²	—	—	—	-0.1166 ** (-2.3602)	-0.0780 * (-1.7106)	-0.0998 ** (-2.1619)
log(<i>sunshine</i>)	-1.6074 *** (-7.5863)	-1.1730 *** (-3.6672)	-0.5872 ** (-1.9869)	-1.5705 (-0.8521)	2.2736 (1.3720)	-8.2522 *** (-4.7005)
log(<i>sunshine</i>) ²	—	—	—	0.2429 (0.8503)	-0.3440 (-1.3391)	1.2686 *** (4.6233)
log(<i>temperature</i>)	1.8853 *** (5.7342)	-2.8387 *** (-5.9359)	-1.9260 *** (-4.3892)	1.6456 *** (3.0308)	0.9844 ** (2.0619)	3.0354 *** (7.8157)
log(<i>temperature</i>) ²	—	—	—	-0.8451 *** (-2.8068)	-0.4286 * (-1.6945)	-1.8000 *** (-9.4260)
log(<i>flood</i>)	0.0238 (0.6348)	0.0203 (0.3679)	0.0788 (1.5290)	-0.0162 ** (-2.3317)	-0.0148 ** (-2.3865)	0.0057 (0.6710)
log(<i>drought</i>)	-0.1108 *** (-3.0940)	0.0210 (0.3958)	0.0979 ** (1.9722)	0.0052 (0.7758)	-0.0171 *** (-2.8461)	0.0038 (0.4594)
log(<i>cashcrop</i>)	-0.4356 * (-1.8826)	-2.1590 *** (-6.0994)	-2.4276 *** (-7.5129)	—	—	—
log(<i>livestock</i>)	0.3842 *** (3.1285)	-0.3768 ** (-2.1872)	-0.3968 ** (-2.4560)	—	—	—
log(<i>city</i>)	-0.6022 *** (-3.8870)	-1.2149 *** (-5.1667)	-1.7174 *** (-7.9556)	—	—	—



续表

变量	log(<i>scale</i>)			log(<i>ayield</i>)		
	稻谷	小麦	玉米	稻谷	小麦	玉米
log(<i>irrigation</i>)	1. 0486 *** (6. 4746)	-0. 2963 (-1. 2408)	0. 8167 *** (3. 7210)	—	—	—
log(<i>traffic</i>)	-0. 5521 *** (-5. 3438)	-0. 1254 (-0. 8255)	0. 3375 ** (2. 3738)	—	—	—
Region (North China = 0)	—	—	—	—	—	—
Northeast	1. 6268 *** (14. 1385)	-1. 5883 *** (-9. 2101)	-0. 2669 * (-1. 6614)	—	—	—
East China	0. 8106 *** (9. 4482)	0. 4968 *** (3. 9637)	-0. 1607 (-1. 3643)	—	—	—
Centre China	1. 0431 *** (10. 8796)	0. 5788 *** (4. 1312)	-0. 0003 (-0. 0023)	—	—	—
South China	0. 6992 *** (5. 3039)	-0. 5800 *** (-2. 9851)	0. 2904 (1. 5951)	—	—	—
Southwest	0. 7450 *** (6. 8270)	0. 5096 *** (3. 1410)	0. 6044 *** (3. 9813)	—	—	—
Northwest	-0. 0215 (-0. 2789)	-0. 3672 *** (-3. 3653)	-0. 8146 *** (-7. 8862)	—	—	—
Cross fixed effects	No	No	No	Yes	Yes	Yes
Period fixed effects	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
调整的 R ²	0. 8347	0. 5660	0. 5403	0. 6044	0. 9037	0. 7426
F 值	70. 6227 (0. 0000)	19. 1612 (0. 0000)	17. 4570 (0. 0000)	14. 7262 (0. 0000)	86. 0538 (0. 0000)	36. 5063 (0. 0000)

注：括号内为 t 值，*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 的水平上显著。

现阶段，中国粮食产业转移的主导因素是三大经济结构因素：粮食作物与经济作物、种植业与畜牧业、农业与非农业的成本收益比较，而气候变化因素仅处于附属地位。总体看来，中国粮食作物主要向农业人口密度低、农业机械化水平高、有效灌溉率高、经济作物与畜牧业相对欠发达、城市化水平较低的经济落后地区转移。

研究表明，中国小麦产业向河南与安徽地区集聚，既符合经济特征又符合自

然特征；稻谷产业向东北地区转移，虽然符合经济特征，但是由于东北地区降雨量较少、气温较低，可能并不利于粮食水稻生产；此外，玉米产业向内蒙古与黑龙江地区转移，基本符合经济与气候特征，但是由于内蒙古地区旱灾相对严重，可能对玉米产业构成消极影响。

（二）粮食单产的影响因素分析

若粮食产业逐步向气候条件差、自然灾害频发的地区转移，是否会对粮食单产构成消极影响？估计结果表明：

（1）降雨量。变量 $\log(rainfall)$ 在稻米单产模型中，其一次项在 1% 的水平上显著为正，估计参数为 0.7386，二次项在 5% 的水平上显著为负，估计参数为 -0.1166；在小麦单产模型中，其一次项在 10% 的水平上显著为正，估计参数为 0.4442，二次项在 10% 的水平上显著为负，估计参数为 -0.0780；在玉米单产模型中，其一次项在 5% 的水平上显著为正，估计参数为 0.5465，二次项在 5% 的水平上显著为负，估计参数为 -0.0998。可见，降水量对稻谷、小麦及玉米单产的贡献皆呈现了一条开口向下的抛物线，将自然对数值还原成原值后，最适宜稻谷、小麦及玉米生产的年降水量分别约为 1470 毫米、700 毫米、550 毫米，过多或过少的降水量都不适宜粮食生长。

目前，华中地区稻谷生产集聚水平最高，2008 年占 33.18%，华中地区除了河南之外，湖南、江西、湖北等地区年降水量都比较丰沛，皆在 1470 毫米的估计拐点左右，从降水量来看，这种产地转移是比较适宜的。但是，稻谷产地向东北地区转移将不利于稻谷生产，东北地区年降水量为 600 毫米左右，其降水远不能满足稻谷生产的用水需求，这种产地转移会导致稻谷单产减少。另外，小麦生产主要集中于河南、山东等地区，这两个省份的年降水量分别为 700 毫米左右，非常适宜小麦生产，因此，河南小麦生产的产地集聚将有利于小麦单产的提升。再次，玉米生产主要集中于东北地区，该地区年降水量为 600 毫米左右，与玉米单产模型中 550 毫米的年降水量拐点非常临近。

总体看来，降水量的区域差异与三大粮食主产区分布比较吻合，有利于粮食单产增加。从产地转移趋势来看，河南省小麦的产地集聚对小麦单产影响不大，但是，东北地区的水稻增加以及黑龙江省的玉米增加，可能导致相应作物单位面积产量下降。

（2）气温。变量 $\log(temperature)$ 在稻谷模型中，其一次项在 1% 的水平上显著为正，估计参数为 1.6456，二次项在 1% 的水平上显著为负，估计参数为 -0.8451；在小麦模型中，其一次项在 5% 的水平上显著为正，估计参数为 0.9844，二次项在 10% 的水平上显著为负，估计参数为 -0.4286；在玉米模型中，其一次项在 1% 的水平上显著为正，估计参数为 3.0354，二次项在 1% 的水平上显著为负，