



同济大学可持续发展与新型城镇化智库
TONGJI UNIVERSITY SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND NEW-TYPE URBANIZATION THINK-TANK

中国农业用水及其 影响因素研究



田园宏 著

Research of China's Agricultural Water
Utilization and Its Influential Factors

同济大学出版社



诸大建 管理学博士，同济大学特聘教授，博士生导师。同济大学可持续发展与管理研究所所长，同济大学可持续发展与新型城镇化智库主任，公共管理系主任，同济大学学术委员会副主任。享受国务院特殊津贴。主要研究可持续发展与绿色经济、城市与区域发展等。兼任瑞士达沃斯《世界经济论坛》全球议程理事会城市化、可持续性治理、循环经济等委员会的理事，国家哲学社会科学规划管理学组专家，教育部社会科学委员会管理学部委员，建设部可持续发展与资源环境专家委员会委员，上海市政府决策咨询特聘专家，*Ecological Economics*、*International Journal of Public Management*、*Environmental Policy and Governance*等SCI、SSCI杂志的国际编委。

可持续性科学与管理丛书

诸大建 主编



同济大学可持续发展与新型城镇化智库

TONGJI UNIVERSITY SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND NEW TYPE URBANIZATION THINK TANK

中国农业用水及其影响因素研究



田园宏 著

Research of China's Agricultural Water Utilization and Its Influential Factors



同济大学出版社

TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书以生态经济学理论为基础,运用水足迹、计量经济模型、系统动力学等方法深入研究了中国农业用水量及其影响因素。测算了中国农业用水量,评价了城镇化对中国农业用水的影响及其作用机理,为未来城镇化进程下改善农业用水状况、提升用水效率提出了对策思路。

本书适用于从事农业水资源管理、城市治理、可持续发展等领域的研究者,对从事政府事务和公共管理的专业人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

中国农业用水及其影响因素研究/田园宏著. —上海:
同济大学出版社,2017.7

ISBN 978-7-5608-7099-1

I. ①中… II. ①田… III. ①农田水利—影响因素—
研究—中国—1978—2010 IV. ①S279.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 135651 号

可持续性科学与管理丛书

中国农业用水及其影响因素研究

田园宏 著

责任编辑 沈志宏 陈红梅 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店
印 刷 上海同济印刷厂有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 9.5
印 数 1—1100
字 数 237 000
版 次 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-7099-1

定 价 39.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

本书获得以下课题项目资助

上海市哲学社会科学规划课题青年项目

“长三角跨界水污染合作治理政策机制构建”(项目编号:2016ECK001)

中国国家留学基金委

“国家建设高水平大学公派研究生出国留学项目”(项目编号:201206260043)

主 编 序

从 1992 年联合国在里约举行环境与发展世界峰会提出可持续发展战略,到现在已经有 20 多年;同济大学从 1995 年成立国内高校第一个可持续发展研究中心,到 2015 年成立可持续发展与新型城镇化智库也有了 20 年。国内外同行大多同意,可持续性科学的理论与方法是可持续发展学术研究和政策研究的前沿。过去 20 年来,在研究可持续发展的具体问题和发展战略的同时,我一直在思考和研究可持续性科学与管理理论问题,初步形成了以下有自己研究特色并且可以与国际同行沟通的初步但是系统的想法。

(1) 关于可持续性科学是发展与管理的整合(两个半球的理论与方法)

从 1992 年开始,在研究技术社会形态理论和政策的时候,就感觉到了将发展与管理整合起来研究的魅力。当时提出了“技术-发展”半球与“管理-体制”半球的两个半球的研究框架,用这个视角发现了中国当前发展的特殊属性。而这是单纯研究“技术-发展”的角度得不到的,也是单纯研究“管理-体制”的角度得不到的。1999—2002 年开始从这个角度研究撰写可持续发展的城市管理的著作,就提出没有发展作为研究对象的管理是空洞的,没有管理作为行动保障的发展研究是盲目的,在有关城市发展与宏观管理的学术对话中显示了某种优势。把发展与管理整合的概念作为中心原则,用以指导所从事的宏观政策与管理研究。20 年来参加了许许多多的学术活动,一直感到有一种综合致胜的感觉。

(2) 关于可持续性科学与管理对象维度(三个圆圈的理论与方法)

虽然有了两个半球的研究视角,但是最初有关“技术-发展”半球的思考却是空泛的,很大程度上是只考虑了经济方面的内容。但是 1994—1995 年到澳大利亚访问研究,系统地接触到可持续发展的理论以后就变得丰满了。现在形成的体系化的认识主要包括:发展应该从单一的经济方面进入到经济、社会、环境三个方面,这是增长与发展的区别;三者相互之间不是简单加和的并列关系(弱可持续性观点),而是环境包含社会、社会包含经济的包含关系(强可持续性观点);不论是世界还是中国、区域还是城市,好的发展应该是在生态承载能力内的福利提高,福利是受益、生态是成本,因此可以运用 DEA 等相关方法。用这些认识指导低碳经济、循环经济、城市质量等研究,可以深刻而通俗地认为,绿色经济是经济增长与资源环境脱钩的经济,而绿色发展就是人类发展与生态足迹脱钩的发展。

(3) 关于可持续性科学与管理的主体维度(界面合作的理论与方法)

最初的时候,有关“管理-体制”半球的思考也是空泛的,很长时间停留在政府与市场二元对立的方面。1999年开始研究面向可持续发展的治理问题,对于主体问题的思考就越来越丰满了。现在形成的体系化的认识主要包括:发展管理的主体应该从单一的政府机制进入到政府、企业、社会组织三种机制,其中社会组织是发展管理的第三种力量;三种组织在可持续发展中不仅要分工专攻,而且要合作治理,因此需要研究政府、企业、社会组织交界面上的新兴管理模式,其中政府与政府合作、政府与企业、政府与社会合作均是有新意的管理模式。这些思想后来在有关城市基础设施供给、政府公共服务绩效评估的研究中得到了很好的运用。

(4) 关于可持续性科学与管理的过程维度(因果结合的理论与方法)

1999年在城市发展和管理的研究中,提出有结果导向和原因导向的两种思维,曾经单一地强调原因导向管理在过程研究中具有重要意义。现在觉得需要在运用可持续发展的PSR分析方法进行深化。这里P(Pressure)表示问题产生的原因;S(State)表示问题的当前状态;R(Response)表示解决问题的对策,或者是针对状态的对策(SR),或者是针对原因的对策(PR)。按照PSR的分析方法,易于发现对待问题不外乎四种态度,从而提出针对性解决方案。在公共服务中,从PSR模型可以提出政府绩效=结果/投入 $\times$ 投入=结果/产出 $\times$ 产出/投入 $\times$ 投入的研究思路,从原因的角度分别评估基于公众的结果、基于生产者的产出、基于安排者投入三个方面。这样就可以把世界银行的三个主体互动模型与绩效评估结合起来,形成有系统性的状态导向应急政策和治本导向战略对策。这些思想后来在上海和“长三角”公共交通服务绩效的研究中得到了很好的运用。

幸运的是,以上自己有关可持续性科学与管理的理论思考,在我们的研究团队中得到了认同,成为我们研究可持续发展各种具体问题和战略问题的的工作范式,指导了我们多年研究工作的深化和拓展。组织出版本丛书,目的是汇集我们在这方面的理论探索和应用性成果,呈现我们在可持续发展研究及其理论问题上的某种中国学派特色,希望我们的努力符合国际可持续发展的研究方向。

是为序。

诸大建

2015年2月2日 同济大学

Contents

目录

主编序

前 言

第 1 章 绪论	012
1.1 研究背景与研究意义	012
1.1.1 研究背景	012
1.1.2 研究意义	013
1.2 研究问题与研究内容	014
1.2.1 研究问题的提出	014
1.2.2 研究内容	015
1.3 研究思路和研究方法	018
1.3.1 研究思路	018
1.3.2 研究方法	019
第 2 章 文献综述	021
2.1 水足迹与虚拟水研究述评	021
2.1.1 水足迹和虚拟水的联系	021
2.1.2 水足迹和虚拟水的区别	022
2.1.3 水足迹研究	022
2.2 城市化与农业水资源生产率研究述评	024
2.2.1 水资源生产率研究述评	024
2.2.2 城市化对农业用水的影响研究述评	026
2.3 系统动力学模拟水资源管理的研究述评	030
2.3.1 系统动力学研究	030
2.3.2 系统动力学在水资源领域的研究	031
2.4 中国农业水资源政策研究述评	032
2.4.1 农业水量和农业水价政策	032
2.4.2 农业用水科技创新政策	034
2.4.3 农业水污染防治政策	035
2.4.4 农业水足迹贸易政策	036

2.5	文献研究述评	037
第 3 章	中国主要粮食作物的水足迹值:1978—2010	039
3.1	问题的提出	039
3.2	计算方法及数据描述性统计	040
3.2.1	计算的粮食作物和计算软件	040
3.2.2	水足迹值的计算方法	041
3.2.3	数据来源及统计	044
3.3	不同范围内的水足迹值计算	046
3.3.1	全国层面水足迹总消费量	046
3.3.2	国内生产水足迹值	047
3.3.3	国际贸易绿水和蓝水足迹比例	050
3.4	水足迹增长的影响	051
3.4.1	水足迹与耕地面积、人口和农业 GDP 的比值	051
3.4.2	水足迹增长与地区水稀缺	051
3.4.3	城市化与粮食需求量	053
3.5	结论与讨论	054
第 4 章	城市化对农业用水资源生产率的驱动机制研究	055
4.1	问题的提出	055
4.2	城市化和农业用水的若干特征	056
4.2.1	城市化率的特征	056
4.2.2	城市污水处理率的特征	057
4.2.3	农业用水量的特征	058
4.2.4	农业水资源生产率的特征	058
4.2.5	城市化与农业水资源生产率的特征	059
4.3	模型的建立及检验结果	060
4.3.1	模型的建立	060
4.3.2	模型检验及结果	063
4.4	结论与进一步的研究方向	067

Contents

目录

第 5 章 城市化驱动下的中国农业用水量系统动力学模型	069
5.1 问题的提出	069
5.2 模型结构	071
5.2.1 模型的整体结构	071
5.2.2 5 个子模型结构	072
5.3 模型假设与参数设定	079
5.3.1 数据来源	079
5.3.2 参数设定	081
5.4 模拟结果与分析	116
5.4.1 城市化中各因素对农业用水的驱动作用	116
5.4.2 子模型中的一些发现	122
5.5 结论与讨论	126
第 6 章 情景模拟与政策建议	127
6.1 问题的提出	127
6.2 情景模拟	128
6.2.1 情景描述与参数设定	129
6.2.2 情景模拟结果	131
6.3 政策建议	134
6.3.1 融入社会资本	134
6.3.2 进行农业水价改革	134
6.3.3 引入公众参与体制	135
6.4 结论	135
第 7 章 研究结论与展望	137
7.1 研究结论	137
7.2 研究的创新点	138
7.3 研究的不足与展望	139
参考文献	140
后记	146

表目录

表 4-1	反映城市化进程的指标与反应农业用水指标相关性的初步验证结果	60
表 4-2	中国农业水资源生产率模型中的控制变量	61
表 4-3	变量统计性描述	63
表 4-4	农业水资源生产率影响因素检验初步回归结果	64
表 4-5	基于城市化率不同分位点的农业水资源生产率回归	66
表 5-1	非农业经济产出解释变量统计性描述	76
表 5-2	非农业经济产出 CD 函数回归结果	76
表 6-1	情景模拟中各子模型所对应的政策名称	128

图目录

图 1-1	5 种主要粮食作物用水量在粮食产业用水总量中的占比	16
图 1-2	城市化与中国农业水资源生产率的关系研究内容	16
图 1-3	城市化与中国农业用水模型	17
图 1-4	研究的技术路线图	20
图 3-1	中国 5 种主要粮食作物产量(1978—2010)	44
图 3-2	中国 5 种主要粮食作物净进口数量(1978—2010)	45
图 3-3	中国 5 种主要粮食作物净消费量(1978—2010)	46
图 3-4	中国 5 种主要粮食作物水足迹数量(1978—2010)	47
图 3-5	各省份 5 种主要粮食作物绿水和蓝水平均足迹(1978—2010)	48
图 3-6	5 种主要粮食作物国内生产平均蓝水足迹(1978—2010)	49
图 3-7	5 种主要粮食作物国内生产绿水与蓝水足迹之比(1978—2010)	49
图 3-8	进口绿水与蓝水净值在总耗水量占比中的比值(1978—2010)	50
图 3-9	单位水足迹值的农业 GDP 值(1978—2010)	52
图 3-10	中国各省份 5 种主要粮食作物的蓝水与绿水消耗量之比(1978—2010) ...	52
图 4-1	2004—2010 年中国城市化率	56
图 4-2	2004—2010 年中国城市污水处理率	57
图 4-3	2004—2010 年中国农业用水在总用水量中的占比	58
图 4-4	2010 年中国各省份区域内农业水资源生产率	59
图 4-5	2004—2010 年中国城市化率与单位农业水资源生产率关系图	59
图 5-1	城市化与中国农业用水模型	71
图 5-2	农业经济模型	72
图 5-3	非农业经济模型	72
图 5-4	土地子模型	73
图 5-5	人口子模型	74
图 5-6	非农业经济子模型	75
图 5-7	粮食生产子模型	77
图 5-8	水资源子模型	78
图 5-9	从保留地到耕地的转换比例	83
图 5-10	城市土地投入带来的效应	84
图 5-11	城市人口出生率与时间关系图	86

图 5-12	城市人口死亡率与时间关系图	87
图 5-13	农村人口出生率与时间关系图	87
图 5-14	农村人口死亡率与时间关系图	88
图 5-15	城市化率与城乡收入比关系图	90
图 5-16	逆城市化率与城乡收入倒数比关系图	90
图 5-17	农村劳动力比率与时间关系图	91
图 5-18	城市劳动力比率与时间关系图	92
图 5-19	农村人均粮食需求量时间关系图	93
图 5-20	城市粮食需求量时间关系图	94
图 5-21	粮食净进口量与时间关系图	94
图 5-22	粮食需求对农业生产率的作用效果图	95
图 5-23	粮食供需比对粮价的影响效用	96
图 5-24	标准粮食价格与时间关系图	97
图 5-25	农业投资比例与时间关系图	99
图 5-26	农业土地投资与劳动力减少比例	101
图 5-27	农村劳动力的可获得性与粮食产出	102
图 5-28	农业投资对产出的作用效应	103
图 5-29	农业土地投资对农业产出的作用效应	104
图 5-30	实际农业水利投资与标准农业水利投资之比和农业灌溉效应	106
图 5-31	隐含的农业灌溉面积	107
图 5-32	非农业经济投资的经济产出效应	108
图 5-33	城市劳动力投入的效应	109
图 5-34	单位产量粮食需水量与灌溉耕地面积关系图	110
图 5-35	农业丰水与粮食产出的关系图	111
图 5-36	农业投资与 1978 年的农业投资之比与增加供水能力的效应	113
图 5-37	水利设施的使用产生的效用图	114
图 5-38	城市化进程下农业用水各指标模拟结果(1978—2010)	117
图 5-39	无农村人口迁移时农业用水各指标模拟结果(1978—2010)	117
图 5-40	无农村土地流转时农业用水各指标模拟结果(1978—2010)	119
图 5-41	农业固定投资为常数时农业用水各指标模拟结果(1978—2010)	120
图 5-42	无粮食进口时各指标模拟结果(1978—2010)	121

图 5-43 非农业经济增长(1978—2010)	123
图 5-44 各种因素对粮食生产的影响效果(1978—2010)	124
图 5-45 农业用水的供应与需求(1978—2010)	125
图 6-1 4 万亿元水利投资政策下的农业用水与粮食生产(1978—2030)	132

前言

中国农业耗水占全国用水总量的 60%，GDP 产量只占全国总量的 10%；在当前由水污染与水稀缺引起的水资源危机背景下，农业面临提高水资源生产率的压力。农业生产关系着粮食安全，用水量不能无限制减少；但是目前的快速城市化进程对水资源的需求不仅使农业用水要为其让步，而且城市中未达标处理的水排放造成农村水生态系统的破坏，降低了农业水资源生产率。因此，本书在计算农业用水总量的基础上，针对城市化对农业用水的影响机制及作用路径进行了探讨。

首先，核算了 1978—2010 年间中国 5 种主要粮食作物（水稻、玉米、小麦、大豆和高粱）的蓝水（农作物生产过程中消耗的地表水和地下水的总量）和绿水（农作物生产过程中蒸腾的雨水资源量）足迹值。计算了在此期间 5 种粮食作物的贸易水足迹值、每个省份中 5 种粮食作物的水足迹值、每种作物的水足迹占比、5 种粮食作物绿水与蓝水足迹比例。分析了单位耕地面积、人口和 GDP 的 5 种主要粮食作物的单位水足迹值，发现水足迹效率提升，但是水足迹总量却因为粮食产量上升而增加。

其次，构建面板回归模型，分析了城市化对农业水资源生产率的影响和驱动机理。回归结果表明，城市化率与农业用水量没有相关性，但是与农业水资源生产率正相关。与城市化率相比，城市污水处理率更能解释农业水资源生产率的变动，并且这种影响带有地区异质性。进口农产品进口量增大，使进口农业水资源量所占比重增大，因而当前的农业用水量无法反映中国在农产品上的实际水资源消耗量。

第三，构建了系统动力学模型，从多因果维度模拟了城市化对农业用水量的影响。将联系城市与农村的因素归入土地、人口、非农业经济、粮食生产和水资源 5 个子模型中，它们分别从水资源供应、水资源需求、水资源供应与需求、水资源需求、水资源供应的层面上影响农业用水，其中农业水利投资能最大限度地提升农业用水效率。

第四，运用系统动力学模型，检验了涉及城市化和农业用水几项政策的实施所产生的效果。结果表明，4 万亿元水利投资政策和绿水战略在节约农业用水量、增产粮食方面作用效果明显；从政策可操作性看，4 万亿元水利投资更易实施——因为引入社会资本、改革农业水价和建立公众用水监督机制，都将增加农业水利投资的资金来源。

综上所述，本书的研究聚焦在农业用水量和农业水资源生产率上，并且这项研究紧

紧依托了中国的快速城市化国情。它计算了 1978—2010 年长达 33 年时间跨度内主要粮食作物的水足迹值,分别从单因果与多因果角度建立模型探讨城市化和农业用水相关政策的实施对农业用水的影响,是对中国农业用水的系统性实证分析。

书中不足或错漏之处,敬请读者批评指正。