

# 经济学视角下农业水资源生产率研究进展

杨鑫 穆月英\*

(中国农业大学 经济管理学院,北京 100083)

**摘要** 为厘清中国农业水资源的研究现状和方向,探究农业水资源生产率概念区别、评价方法和提高路径,采用文献综述的研究方法,对已有研究进行系统性总结和梳理。结果表明:第一,农业水资源生产率的经济学含义为,在相同的技术水平和产出下,投入单位农业水资源量的经济产出,故需要控制相关变量的影响下,才能在不同个体间直接比较;第二,经济学评价方法包括全要素生产率指数法、前沿面模型法和演绎类方法等,前沿面模型法中,全要素农业水资源生产效率可以更加全面的评价农业水资源生产率;演绎类方法中,水文模型与可计算一般均衡模型结合的复合模型可以综合多学科的研究优势;第三,农业水资源生产率的直接路径包括农业水资源开发、灌溉节水技术扩散,间接路径包括市场化政策、农户节水激励和农业水资源管理组织,明确多种路径间的相互作用是制定综合管理模式的关键。因此,农业水资源生产率的经济学研究需要在综合框架下开展,包括明确研究目标、加强学科间合作、制定区域差异化提升策略等。

**关键词** 农业水资源管理; 农业水资源生产率; 评价方法; 提高路径

中图分类号 F062.1 文章编号 1007-4333(2020)04-0144-10 文献标志码 A

## Research progress on agricultural water resource productivity under the perspective of economy

YANG Xin, MU Yueying\*

(College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** Basing on the method of literature review to systematically summarize and sort out literatures, this study analyzes the status and trend of agricultural water resources' research in China, and explores the concept difference, evaluation method and paths of improving agricultural water resources productivity. The results show that: Firstly, the agricultural water resource productivity is defined conceptually as economic output per unit of agricultural water resource under the same economic environment and technical conditions, which requires to control effect of other factors so that can be directly compared among different units. Secondly, economics evaluation methods mainly include total factor productivity indices, frontier model methods and deductive methods. Especially, in the frontier model methods, agricultural water resource productivity can be more comprehensively evaluated by total-factor agricultural water resource efficiency. In the deductive methods, the compound model combined with hydrological model and computational general equilibrium model can synthesize multidisciplinary advantages. Finally, in terms of improving paths, the direct paths include agricultural water resource development and irrigation water-saving technology diffusion. The indirect paths include market-oriented policies, farmers' water-saving incentives and agricultural water resource management organizations. It is the key to establish integrated management mode to make clear the interaction between multiple paths. In conclusion, economic researches on agricultural water resource productivity need to be studied under comprehensive framework in the future, including defining research objectives, strengthening

收稿日期: 2019-09-18

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(18ZDA074)

第一作者: 杨鑫, 博士研究生, E-mail: yangxinxin@cau.edu.cn

通讯作者: 穆月英, 教授, 主要从事农业经济与政策研究, E-mail: yueyingmu@cau.edu.cn

interdisciplinary cooperation and formulating promotion strategies on regional differentiation.

**Keywords** agricultural water resource management; agricultural water resource productivity; evaluation methods; improvement paths

农业水资源生产率是平衡粮食安全和农业水资源可持续利用的重要工具。在世界范围内,农业是主要的水资源消耗部门,农业用水占全球总用水量的70%,一些不发达国家达到85%以上。当前农业水资源供需矛盾愈加突出,快速减少的灌溉用水量将对粮食生产能力产生严重影响。然而,中国单方灌溉水的粮食产量为1.1 kg,远低于先进国家的2.5~3.0 kg<sup>[1]</sup>,大幅提高农业水资源生产率成为中国农业发展的长期任务。鉴于农业生产和水资源可持续利用的重要意义,农业水资源生产率得到了广泛关注,已取得了丰富的研究结果。尽管自然学科领域的许多文献对农业水资源利用评价指标进行了综述,但缺乏经济学视角下对农业水资源生产率的评价方法和提高路径的总结。因此,本研究首先梳理经济学视角下农业水资源生产率概念,然后从评价方法和提高路径2个方面综述农业水资源生产率的经济学研究,以期对农业生产、水资源管理、可持续发展等研究提供参考。

## 1 农业水资源生产率的定义

### 1.1 农业水资源

狭义上,水资源指可被人类开发利用的淡水资源,包括可更新的地表水和地下水资源,农业水资源指以灌溉形式被利用的地表水、地下水和其他水资源。经济学研究中常用狭义农业水资源概念,即种植业中以灌溉形式被利用的地表水、地下水和其他水资源。

为更好评价农业水资源利用,需要明确研究尺度。农业水资源利用时间尺度可用时、天、月、年等衡量,空间尺度常用田间、灌区或流域等。明确研究尺度的原因主要是:第一,在农业水资源量核算方面,存在回归水的重复利用现象<sup>[2]</sup>,不同尺度水资源量核算有差异;第二,在农业产出测算方面,不同尺度的农业产出内涵差异较大;第三,灌溉系统各要素的时空异质性导致不同尺度的非线性特征,大尺度与同等倍数的小尺度研究结果不具有可比性<sup>[3]</sup>;第四,不同尺度涉及的利益相关主体存在差异。Molden等<sup>[4]</sup>提出了水平衡框架,从水循环系统的角度较为详细地描述了水资源在某一区域转化和消耗

过程。

在经济学中,研究尺度主要指微观和宏观,前者主要研究消费者、农户、厂商等单个经济单位的行为及资源配置,后者主要研究社会范围内的经济运作方式以实现社会福利最大化。结合自然学科和经济学的尺度概念,可归纳出研究农业水资源的4个尺度:农田、农户、流域和社会尺度,已有经济学研究更关注农户和社会尺度,聚焦于年度变化。

### 1.2 农业水资源生产率的非经济学概念发展

工程学和农学等学科在农业水资源利用领域的文献较多,有必要进行辨别以避免概念混淆。由于学科间研究目标不同,自然学科对农业水资源生产率没有统一的定义,包括灌溉效率、有效灌溉效率、水分利用效率和水分生产率等多种指标。

在工程学领域,灌溉效率指农作物蒸腾消耗水与抽取灌溉水的比值,前者减去有效降雨量得到农作物灌溉耗水量,后者减去输水过程中的损失量得到可用灌溉水。有效灌溉效率指农作物灌溉耗水量与田间净灌溉水量的比值,其中田间净灌溉水量指实际灌入田间的有效水量和末级固定渠道放出的净水量的差值。在农学和植物生理学领域,水分利用效率和水分生产率更多关注农作物产量形成的水生理生化过程,前者指产量或生物量与蒸散量的比值,后者指农业产量或产值与水资源利用量的比值,其中水资源利用量可包括抽取灌溉水、降雨量、实际灌溉水量或蒸腾用水量等。水分生产率概念较为丰富,优势在于水资源类型区分非常精细,农业产出的概念也不断扩大,适合于不同尺度间比较和转换。

自然学科对农业水资源利用的评价指标均在单一要素框架下定义,含义明确且易于理解,但存在以下问题:第一,不同尺度间不同指标转换非常困难;第二,单要素农业水资源生产率提高本身不是农户目标,即使作为目标也无法明确为减少水资源投入还是提高产出;第三,灌溉效率、水分生产率的高低并不反应与水资源有关变化,很有可能需要更多的劳动力,更好的田间管理以及其他额外的投入,无法衡量相关的成本收益变化。因此,2018年国际水资源管理所研究报告提出,从尺度、数据、目标等角度,对水分生产率进行重新思考展<sup>[5]</sup>,以理解农业水资

源有效利用水平提高的真实驱动因素。

### 1.3 农业水资源生产率的经济概念发展

经济学文献中,生产率含义为产出与投入比,包括单要素生产率、全要素生产率及其各类基于非期望产出等修正类型,生产率越高表示农业生产管理水平越高。效率的含义为投入或产出的观测值与最优值的比值,属于无单位量纲,与一个基准比较才能评价某个体生产率是否有提高潜力。传统要素主要包括土地、劳动和资本,20世纪之前水资源并不存在广泛的稀缺性,一般简单计算为资本的一部分。

进入20世纪30年代后,农业水资源利用与管理的成本收益研究在美国兴起,常见的评价指标是成本收益率、内部收益率和净现值等,目的是提高经济效率、区域经济援助评估和收入再分配,本质上没有关注农业水资源的价值<sup>[6]</sup>。随着适合于农业生产的土地不断被开发,农业开发项目需要更全面分析灌溉的成本收益。随后,Young等<sup>[6]</sup>提出残值法计算灌溉水边际经济价值,每单位商品水量给用水者带来的利益增值,将预估的总产出价值减去灌溉水外的其他所有估算的生产成本,近似得到净租金或给出不可定价的生产要素的生产价值。

20世纪70年代初,战后繁荣和中产阶级的财富导致户外娱乐需求的增加,经济学研究者和公众对生态环境的非经济价值认识逐渐清晰。1968年罗马俱乐部成立,并在1970年《人类环境宣言》和1980年《世界自然保护大纲》的基础上,形成1987年“布伦特兰报告”,其中正式提出了可持续发展框架,自然资本概念随之形成。20世纪80年代后,农业水资源生产率的经济学研究开始大量涌现。基于大量文献的讨论,经济学研究一般将农业水资源生产率定义为“一定的经济环境与技术条件下,投入单位农业水资源量的经济产出”,可根据研究目标确定农业水资源和农业产出的具体含义。实际上,农业水资源生产率与水分生产率的计算形式是相同的,均是单位农业水资源的农业产出,重要区别在于3点:

1)农学意义下的水分生产率在一定的作物品种和耕作栽培条件下,可用来直接比较。经济学意义下农业水资源生产率基本是不可直接比较的,需要利用效率指数才能对比,例如2个农户的农业水资源生产率均是 $1\text{ kg/m}^3$ ,但并不能认为二者的农业水资源利用水平相等,需要二者在相同技术水平、相同经济环境和相同种植模式下才能比较。

2)在大多数经济学研究中,农业水资源生产率多关注农户尺度和社会尺度,农业水资源投入指农业灌溉水的引水量,较少考虑回归水或输水渗漏,属于多要素投入生产过程的单一要素生产率。产出范围选择具有一定的主观性,通常为产量或产值,还可以包括非农业产值、生态环境非市场价值、非期望产出、社会福利等。

3)与水分生产率相比,农业水资源生产率对农业水资源投入量的界定相对粗糙,大多关注农户尺度和社会尺度,缺少流域尺度,也较少考虑不同灌溉主体间的相互联系。

## 2 农业水资源生产率的经济评价方法

对农业水资源生产率的经济评价起源于大规模灌溉工程的成本收益分析,经过多年发展,农业水资源生产率的评价方法大致分为3类:全要素生产指数法、前沿面模型法和演绎类方法<sup>[7]</sup>,具有各自的优缺点(表1)。全要素生产指数法侧重于分析农业水资源对农业增长的影响, Frank等<sup>[8]</sup>认为作为稀缺要素的水资源的机会成本并不比劳动、资本等要素的价值低,进而提出全资源生产率概念,将农业水资源纳入到全要素生产率指数中,以更好地分析农业增长。但是,无法专门针对农业水资源开展研究,已逐渐与前沿面方法相融合,所以本研究主要总结前沿面模型法和演绎类方法。

### 2.1 前沿面模型法

前沿面模型法属于多投入和多产出模型,投入可以包括劳动力、资本、自然资源等,产出可以包括产值、副产品、非期望产出、正外部性价值等,一般依据研究问题从多维度进行选择。1957年Farrell<sup>[9]</sup>提出前沿面模型测算技术效率,1979—2005年基于前沿面模型的文章为167篇,其中29篇涉及到了水资源<sup>[10]</sup>,主要基于数据包络分析模型(DEA)和随机前沿生产函数模型(SFA)及其扩展模型,将水资源作为投入要素之一,侧重分析总体技术效率变化。例如,Fraser等<sup>[11]</sup>利用DEA方法,将农业水资源作为投入要素之一分析技术效率,结论是在现有技术水平下,达到最优的效率水平农业水资源投入可以减少六分之一。关于中国的研究结论较为一致,利用省级面板数据测算粮食水资源生产率<sup>[12-13]</sup>得到的结论有2个共同点:全国粮食水资源生产率在时间维度上不断提高,但依旧处于较低水平;粮食水资源生产率的区域差异较大,且有随着时间分化的趋势。

表1 农业水资源生产率的主要经济学评价方法比较

Table 1 Comparison of main economic evaluation methods for agricultural water productivity

评价指标 Evaluation index	全要素生产率指数法 Total factor productivity indices	前沿面模型法 Frontier method	演绎类方法 Deductive method
研究重点 Research emphasis	农业增长	评价农业主体的技术效率	政策分析
农业水资源变量 Variables of agricultural water resources	利用灌溉面积、灌溉水费 等代理变量或水投入量	农户的水资源总投入量	水提取量、水投入量、水消费量 等,较为灵活
投入要素 Input factors	所有农业生产要素	与农业主体相关的投入要素	所有资源和要素
产出类型 Output type	所有农业生产产出	所有市场化的产出	所有类型产出
空间尺度 Spatial scale	国家或地区	农户尺度或流域尺度	全尺度均适合
时间尺度 Time scale	每年	多年或生长季	多尺度及预测
数据来源 Data sources	测算或搜集的宏观数据, 数据收集工作量较少	微观调研的截面和面板数 据,数据收集工作量较多	数据收集和参数校准工作量最 多,需要通过调研、水文试验、 气象资料等多渠道收集
政策含义 Policy implications	无法直接分析与农业水 资源相关的政策变动	可以评价农业节水技术和 管理知识推广的效果	可分析农业水资源分配和宏观 制度变迁的影响
代表性方法 Representational methods	Malmquist 指数、Tomqvist 指数和 Fisher 指数等	主要为 DEA 和 SFA 模型	包括扣除非水成本法,数学规 划法,水文与经济模型,水资源 CGE 模型等

利用农户调研数据测算粮食水资源生产率得到的结论:一方面是农业水资源生产率平均水平较低,具有较大的提升空间;另一方面是不同类型农户的农业水资源生产率存在较大差异。在农户个体差异化方面,对规模化<sup>[14]</sup>、产业化<sup>[15]</sup>、收敛化<sup>[16]</sup>等不同水平的农户灌溉效率均有研究。

不过,在前沿面模型中,将农业水资源作为生产要素之一时,总体技术效率并不完全等于农业水资源生产率变化。Karagiannis 等<sup>[17]</sup>利用 SFA 评价农业水资源生产率时,强调不同于工程学的灌溉效率,文中指标是基于农业水资源的技术效率,即“在现有技术水平和投入产出水平下理论可行的农业水资源最小值与实际使用的农业水资源的比值”。在此基础上,Hu 等<sup>[18]</sup>基于投入导向型 DEA 模型明确提出了全要素水资源效率,用于针对性地评价农业水资源生产率。相关研究进一步利用 SFA-Malmquist 或 DEA-Malmquist 方法证明了技术进步对于农业水资源生产率的积极影响<sup>[19]</sup>。具体地,马海良等<sup>[20]</sup>发现全国技术进步和技术效率增长会改善水资源利

用效率;张雄化等<sup>[21]</sup>发现全国粮食水资源生产率稳步提高,全要素水资源效率下经济效率明显高于生态效率和环境效率。

## 2.2 演绎类方法

演绎类方法在农业和灌溉经济学文献中被广泛应用,与前沿面模型和全要素测算框架法的归纳法不同,研究思路是从一般到特殊。从已有文献看,演绎法具体包括扣除非水成本法、数学规划法、水文与经济模型和一般可计算均衡模型<sup>[7]</sup>,支持从田间到社会全尺度的研究,适合于政策评估和项目规划。

扣除非水成本法也被称为作物核算法,本质是已知生产函数、所有的要素投入量和除水资源以外的要素价格,根据克拉克-威克斯蒂德产量耗尽定理,计算生产总价值中水资源的贡献,相当于得到水资源的经济价值<sup>[22]</sup>。该方法存在数据限制、成本核算、风险识别、价格定量等限制,但为其他演绎法提供了基础。

数学规划法可细分为线性规划法、一般数学规

划法、动态规划法,其中一般数学规划法的核心是利用实证数学规划,可保证模型基期最优值与实际观察值相一致,使模型应用不受基期标定条件的约束,能包含更多制度、农户行为等细节;动态规划法主要考虑净收入和风险损失的平衡问题,适合于不确定性条件下农业水资源生产率研究。

水文与经济模型考虑水文结构和利益相关主体<sup>[23]</sup>,在水资源投入量计算和复杂的水资源物理转化过程识别方面更加精确,融合了多学科的研究优势,适合于分析资本密集型的农田灌溉技术下灌溉效率提高效果。水文与经济学模型属于经济学意义上的局部均衡,可进一步将其扩展为水文模型与一般可计算均衡模型组成的复合模型,融合水文循环、农业水资源供给和消费等,以形成从农户尺度到社会尺度的反馈系统,可进行灌溉水管理<sup>[24]</sup>、地下和地上水联合分析<sup>[25]</sup>、农业水资源政策模拟<sup>[26]</sup>等研究。

### 3 经济学视角下农业水资源生产率的提高路径

提高农业水资源生产率的思路包含供给管理和需求管理,世界各国政府从实际出发,倾向于将二者结合制度政策工具更丰富的综合管理模式<sup>[27]</sup>。从供给管理出发,政府主要任务是开发水资源满足农作物灌溉需求,期望利用稳定灌溉条件提高农作物产出,属于农业水资源生产率提高的基础条件;从需求管理出发,政府根据可供水量确定社会经济的发展规模,社会经济的用水量不能超过可供水量,其中可供水量确定以追求水资源的代际均衡和永续利用为控制原则。实际上,供给管理和需求管理共同的主要政策目标之一为提高农业水资源生产率<sup>[28]</sup>。由于2种管理模式具有较多的交叉内容,本研究从农业水资源生产率定义出发进行文献梳理,将能直接影响农业产出和农业水资源量投入的方式为直接路径,否则为间接路径(表2)。

表2 农业水资源生产率主要提高路径对比

Table 2 Brief comparison of main path for increasing agricultural water productivity

路径 Path	分类 Category	优点 Advantage	缺点 Disadvantage	
直接路径 Direct paths	水利工程建设	田间水利工程提高有效灌溉系数;区域调水工程增加灌溉稳定性。	建设、协调和维护成本过高,而区域调水成本过高使得保证农业生产并不处于优先位置。	
	项目建设 收集雨水和再生水灌溉	扩大灌溉用水来源,减少水资源浪费和污染。	建造集雨设施、污水收集和费用较高,国内再生水灌溉技术尚不成熟,公众在食品安全方面有所顾虑。	
间接路径 Indirect paths	技术进步 灌溉节水技术扩散	提高农业水资源生产率的根本方式,还有减少农户劳动强度,提高肥料利用率等效果。	造价和维护成本过高,使用意愿和最终结果受到规模、推广模式、人力资本等因素影响,并且存在灌溉水增加的回弹效应。	
	市场导向 政策	灌溉总量控制	最有市场效率的调控方式,可根据不同农户的边际成本形成不同的价格,属于完全价格歧视。	划定水权与核算灌溉定额成本极高,市场交易成本也较高,无法划定地下水水权。
		农业水价改革	次优的市场调控方式,采取单一定价或两部定价方式,可以形成一级或二级价格歧视。	必须安装计量设施,需要建立可接受的缴费机制,而且定价过高可能会降低农户收入。
	生态补偿 制度设计	农户节水激励	属于成本较低的公共政策工具,主要是激励农户的环境友好型行为,包括休耕、节水技术应用等。	农业资产专业性过高,种植模式调整会对农户收入产生负面影响,生态补贴标准难以确定。
农村水资源管理组织		村民自治协调灌溉矛盾,可进行更加公平、灵活的水资源分配,是对市场调节的有效制度补充。	存在名义组织情况,部分农村用水协会无法有效运行。	

### 3.1 直接路径

1) 农业水资源开发。农业水资源开发提高农业水资源生产率的作用路径较为直接,主要是扩大农业灌溉水来源和减少输水损失,需要进行项目评估以确定可行性。建设农田水利工程通过引水渠道的硬化防止运输过程中的渗漏,总体上社区型节水技术的推广和应用主要依赖政府部门或农民用水协会<sup>[29]</sup>。在扩大农业水资源来源方面,跨区域调水对农业灌溉和生态环境具有明显的改善效果,但造价过于高昂,属于应对极端农业生态退化的方案<sup>[30]</sup>。雨水资源化、微咸水以及海水淡化和废水再利用是可能的农业水资源增加方向,可缓解地表径流和水资源压力<sup>[31]</sup>,但仍要以技术成本降低为基础。

2) 灌溉节水技术扩散。节水技术进步是提高农业水资源生产率的根本途径,农业灌溉节水技术主要包括:农艺节水技术和工程节水技术。农艺节水技术指通过种植结构调整、耕作制度、抗旱育种等途径的实现增产和节水的效果,还需要提高农作物关键生长期灌溉管理水平和增加其他水资源以外的其他要素投入<sup>[32]</sup>。工程节水技术可以在有灌溉条件的地区,通过改善灌溉设施并结合相关管理策略提升农业水资源生产率<sup>[33]</sup>。

灌溉节水技术扩散是灌溉节水技术进步的微观基础,包括技术认知、技术采用、技术推荐、技术退出等,但已有研究大多关注农业灌溉节水技术采用的影响。其中,粮食生产补贴、收购价格、水资源短缺度、城镇化、气候变化等是农艺节水技术的主要影响因素<sup>[34]</sup>,农户特征、农业种植结构、兼业程度、水价对采用工程灌溉节水技术具有重要影响<sup>[35]</sup>。最新研究开始关注与信贷约束、社会网络等因素,主要结果为信贷约束对节水技术采用具有抑制作用<sup>[36]</sup>,而社会网络具有积极促进作用<sup>[37]</sup>。

目前,节水技术扩散的前沿研究集中在2方面:第一,在不确定性方面,Cai等<sup>[38]</sup>利用基于情景分析的二阶段随机程序模型分析降雨的不确定性;Schoengold等<sup>[39]</sup>发现在灌溉水价不确定性越小,农户更倾向于接受节水灌溉技术,但是受到作物类型和土地质量影响。第二,在节水技术相互影响方面,Moreno等<sup>[40]</sup>运用了嵌套logit模型对种植结构变化和节水灌溉技术采用相互关联的过程。此外,有研究从不同节水技术管理出发对农艺节水技术和工程节水技术采用进行统一论述<sup>[41]</sup>,但还需要深入讨论技术间替代关系。

### 3.2 间接路径

1) 市场化政策。农业水资源流动性、规模性明

显,还有吸收各种废弃物和污染物的涵容性、上下游序贯利用的特点,显然只依靠市场机制无法合理配置水资源<sup>[42]</sup>。因此,政府政策对农业水资源的管理可以弥补市场力量的不足,最初基于命令与管制方法进行调控,然而监管成本极高,经济学家提倡市场化的管理措施,即限额交易制度和庇古税。

限额交易体系是基于科斯定理提出的政策工具,核心为产权制度,通过直接分配或者发放固定数量的取水许可证,然后允许买卖水权。由于理论限额交易体系可以针对每一个农业用水者形成最低保留价,属于最优经济效率的政策手段。世界各国水权交易的重要内容就是农业水权转移,即把农业水资源在生产者之间交易从农业有偿转移到非农业部门,在此情况下农民将有动力节水以提高收入<sup>[43]</sup>。当前国内已有文献已经深入测算农业水资源价值和水权交易的标准<sup>[44]</sup>,但发现中国农户间缺乏水权交易条件,即水权明确、农业用水计量化<sup>[45]</sup>。

征收庇古税的核心为推动征收农业水资源税反映水资源的真实价格,从而减少种植户的不合理灌溉行为。不过,理论上农业水价改革只有做到完全价格歧视才能实现与数量控制相同的效果,否则会出现一定的福利损失,成为经济效率意义上的“次优”策略<sup>[46]</sup>,但具有实施成本较低、可操作性强等优点,更符合中国保障粮食安全的目标<sup>[47]</sup>。2017年出台的《扩大水资源税改革试点实施办法》中规定,水资源税实行从量计征,对超过规定限额的农业生产取水按年征收水资源税,本质上属于农业水资源的“两部制定价”价格。值得注意的是,农业水价改革实际操作中会存在明显的“阈值现象”,即过低水价不仅无法影响农民用水行为,而且会增加成本从而降低收入。因此,农业水价改革需要在充分考虑农民收入和节水目标,否则会遭到小农户的抵制<sup>[48]</sup>。

2) 农户节水激励。农户节水激励是利用休耕项目参与、节水意识培养、节水技术采用等方式鼓励农户减少生产用水,或者被国外研究称为“志愿形式”的政策调控<sup>[49]</sup>。农户节水激励的理论基础是生态环境资本,主要包括自然资源总量、环境质量与自净能力、生态系统的使用价值以及能为未来产出使用价值的潜力等内容。

对采用节水技术或调整粮食种植结构的农户进行生态补偿,可以刺激其经济动机。在节水技术补偿方面,刘军弟等<sup>[50]</sup>提出符合帕累托改进的补贴标准应不小于农户采纳节水灌溉技术的成本支出。冯

颖等<sup>[51]</sup>提出由消费者剩余变化及生产者剩余变化分别占社会总福利变化的比重,制定消费者及生产者对农业节水项目的投资付费标准以及补偿标准。在种植模式补偿方面,政府进行生态补偿的模式可以分为2类,对指定作物播种面积进行补贴,如小麦在华北地下水<sup>[52]</sup>,或者对休耕行为进行补贴<sup>[53]</sup>。总体上,先测算农业水资源生态价值,再讨论利用生态收入替代部分农业收入。

3) 农业水资源管理组织。村民参与式农业水资源管理组织在国外发达国家和发展中国家经过广泛的实践,主要作用是协调用水矛盾、组织水利工程建设、征收灌溉水费等。大量实证分析认为用水协会调动农户参与管理的积极性,有利于渠系设施的维护、维修和改造,也有利于保障设施效用的发挥<sup>[54]</sup>。不过,农民用水协会的运行依然困难,存在科层化、缺乏激励和名义性改革的问题<sup>[55]</sup>,且不同农户参与协会的意愿和满意度都不相同。为提高农民用水协会的运行效率,政府需要引导社会资金进入、充分动员用水户直接参与排灌工程管理、建立利益补偿机制等<sup>[56]</sup>。

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

1) 工程学和农学下的灌溉效率和水分生产率,

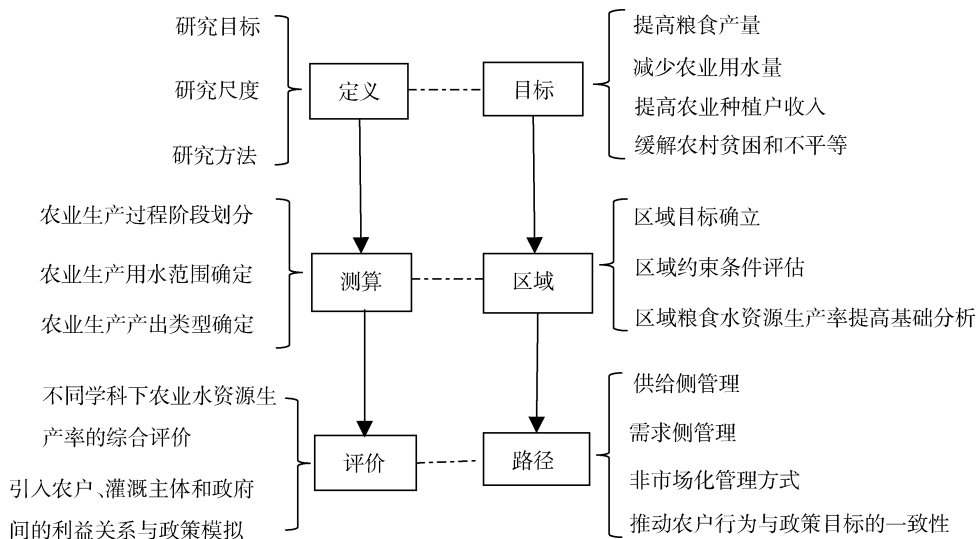


图1 农业水资源生产率综合研究框架

Fig. 1 Comprehensive research framework of agricultural water resources productivity

1) 关于农业水资源生产率研究应先明确具体目标。由于传统经济学研究目标有效用最大化、利润最大化和社会福利最大化,农业水资源生产率提高的目的包括提高农业产量、减少农业用水量、提高农

属于单要素指标,同尺度便于直接比较;经济学下的农业水资源生产率等,本质属于全要素框架指标,需要进一步计算效率才可以评价。经济学评价方法方面,主要包括全要素生产率指数法、前沿面模型法和演绎类方法。前沿面模型法中,全要素农业水资源生产效率可以更加全面的评价农业水资源生产率;演绎类方法中,水文模型与可计算一般均衡模型结合的复合模型具有综合多学科的研究优势。

2) 农业水资源生产率的提高路径主要包括农业水资源开发、灌溉节水技术扩散、市场化政策、农户节水激励和农业水资源管理组织等。当前,推广节水灌溉技术和市场化管理具有明显效果,政府围绕2种途径开展了一系列改革。不过,没有任何单一的提高路径是万能的,都存在不同的长处和短处。因此,明确不同路径间的相互作用是制定综合管理模式的关键,结合政策、市场和社会多种力量推动农业水资源生产率提高。

### 4.2 展望

从经济学视角出发,为应对更加严峻的粮食安全和水资源可持续利用形势,农业水资源生产率的研究需要在综合框架(图1)下逐步深化,不仅是为推进农业可持续发展和乡村振兴,更是要形成农业水资源管理的中国模式。

业种植户收入、缓解农村贫困和不平等,明确目标是建立区域农业水资源管理机制的重要基础。此外,在农业领域,从长尺度和大空间上评价农业水资源生产率时,始终要从多维度展开,才能得出更符合

实际和可持续发展的结论。

2) 未来以经济学为主体的研究, 应结合农学、植物生理学等多学科优势。在综合研究框架和不同尺度下, 发展大型复合模型, 对农业水资源生产率进行测算、评价和研究。通过提高对农业水资源测算的精确性、对农业水资源自然循环的认知程度, 针对不同区域发展情况形成合理的农业水资源生产率提升政策体系。

3) 对农业水资源生产率的研究模式应调整为“自下而上”, 即根据我国农村现实条件形成合理的水资源可持续利用理论, 还要侧重于农业节水技术扩散机制分析。一方面, 明确农户约束条件下分析生产用水、技术应用、社会化服务组织服务采用等行为, 进而对现有农业水资源管理体系和农业节水技术推广模式进行调整。另一方面, 分析不同地区节水技术推广主体应是市场还是政府, 推动二者之间的协调和反馈, 避免节水技术农户扩散机制完善后反而缺少高质量的工程和农业技术供给。

## 参考文献 References

- [1] 康绍忠. 水安全与粮食安全[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(8): 880-885  
Kang S Z. Towards water and food security in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2014, 22(8): 880-885 (in Chinese)
- [2] 董斌, 崔远来, 李远华. 水稻灌区节水灌溉的尺度效应[J]. 水科学进展, 2005, 16(6): 833-839  
Dong B, Cui Y L, Li Y H. Scale effect of water saving in rice based irrigation system[J]. *Advances in Water Science*, 2005, 16(6): 833-839 (in Chinese)
- [3] 陈皓锐, 黄介生, 伍靖伟, 杨金忠. 灌溉用水效率尺度效应研究评述[J]. 水科学进展, 2011, 22(6): 872-880  
Chen H R, Huang J S, Wu J W, Yang J Z. Review of scale effect on the irrigation water use efficiency[J]. *Advances in Water Science*, 2011, 22(6): 872-880 (in Chinese)
- [4] Molden D, Sakthivadivel R. Water accounting to assess use and productivity of water[J]. *International Journal of Water Resources Development*, 1999, 15(1-2): 55-71
- [5] Giordano M, Turrall H, Scheierling S M, Treguer D O, Mccornick P. *Beyond 'More Crop Per Drop': Evolving Thinking on Agricultural Water Productivity*[M]. Washington DC: The World Bank, 2017
- [6] Young R A, Haveman R H. Economics of water resources: A survey[M]. In: *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*. Amsterdam: Elsevier, 1985: 465-529
- [7] Scheierling S M, Tréguer D O. *Beyond Crop Per Drop: Assessing Agricultural Water Productivity and Efficiency in a Maturing Water Economy*[M]. Washington, DC: The World Bank, 2018
- [8] Gollop F M, Swinand G P. From total factor to total resource productivity: An application to agriculture[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1998, 80(3): 577-583
- [9] Farrell M J. The measurement of productive efficiency[J]. *Journal of the Royal Statistical Society*, 1957, 120(3): 253-281
- [10] Bravo-Ureta B E, Daniel S, Lopez V H M, Maripani J F, Thiam A, Rivas T. Technical efficiency in farming: A meta-regression analysis[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2007, 27(1): 57-72
- [11] Fraser I, Cordina D. An application of data envelopment analysis to irrigated dairy farms in Northern Victoria, Australia[J]. *Agricultural Systems*, 1999, 59(3): 267-282
- [12] Kaneko S, Tabaka K, Toyota T, Managi S. Water efficiency of agricultural production in China: Regional comparison from 1999 to 2002[J]. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 2004(3/4): 231-251
- [13] 黎红梅, 陈惠敏. 中国粮食技术效率与灌溉用水效率交互影响: 基于省区面板数据的 SFA-SEM 分析[J]. 系统工程, 2013, 31(5): 117-122  
Li H M, Chen H M. The interaction effect on grain technical efficiency and irrigation efficiency[J]. *Systems Engineering*, 2013, 31(5): 117-122 (in Chinese)
- [14] 刘七军, 李昭楠. 不同规模农户生产技术效率及灌溉用水效率差异研究: 基于内陆干旱区农户微观调查数据[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(10): 1375-1381  
Liu Q J, Li Z N. Differences in farmer production technical efficiency and irrigation water use efficiency from household micro-data analysis in northwest inland arid regions of China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(10): 1375-1381 (in Chinese)
- [15] 夏莲, 石晓平, 冯淑怡, 曲福田. 农业产业化背景下农户水资源利用效率影响因素分析: 基于甘肃省民乐县的实证分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(12): 111-118  
Xia L, Shi X P, Feng S Y, Qu F T. Differences in farmer production technical efficiency and irrigation water use efficiency from household micro-data analysis in northwest inland arid regions of China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 23(12): 111-118 (in Chinese)
- [16] 宋春晓, 马恒运, 黄季焜, 王金霞. 气候变化和农户适应性对小麦灌溉效率影响: 基于中东部 5 省小麦主产区的实证研究[J]. 农业技术经济, 2014(2): 4-16  
Song C X, Ma H Y, Huang J K, Wang J X. Farmer's adaptation to climate change and its impact on wheat irrigation efficiency based on the research of major wheat producing areas of five provinces in eastern China[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2014(2): 4-16 (in Chinese)
- [17] Karagiannis G, Tzouvelekas V, Xepapadeas A. Measuring irrigation water efficiency with a stochastic production frontier[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2003, 26(1): 57-72



- [18] Hu J, Wang S, Yeh F. Total-factor water efficiency of regions in China[J]. *Resources Policy*, 2006, 31(4): 217-230
- [19] 刘渝, 王焱. 农业水资源利用效率分析: 全要素水资源调整目标比率的应用[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2012(6): 26-30  
Liu Y, Wang J. Analysis on utilization efficiency of agricultural water resources based on water adjustment target ratio[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2012(6): 26-30 (in Chinese)
- [20] 马海良, 黄德春, 张继国, 田泽. 中国近年来水资源利用效率的省际差异: 技术进步还是技术效率[J]. 资源科学, 2012, 34(5): 794-801  
Ma H L, Huang D C, Zhang J G, Tian Z. Provincial differences of China's water use efficiency in recent years: Technological progress or technical efficiency[J]. *Resources Science*, 2012, 34(5): 794-801 (in Chinese)
- [21] 张雄化, 钟若愚. 灌溉水资源效率、空间溢出与影响因素[J]. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2015, 14(4): 20-28  
Zhang X H, Zhong R Y. Empirical research on the efficiency, spatial spillover and impact factors of irrigation[J]. *Journal of South Agricultural University: Social Science Edition*, 2015, 14(4): 20-28 (in Chinese)
- [22] Young R A. *Determining the Economic Value of Water: Concepts and Methods* [M]. Washington DC: Resources for the Future, 2005
- [23] Booker J F, Howitt R E, Michelsen A M, Young R A. Economics and the modeling of water resources and policies [J]. *Natural Resource Modeling*, 2012, 25(1): 168-218
- [24] Roe T, Dinar A, Tsur Y, Diao X S. Feedback links between economy-wide and farm-level policies; With application to irrigation water management in Morocco[J]. *Journal of Policy Modeling*, 2005, 27(8): 905-928
- [25] Luckmann J. Special issue on economy-wide models of water development and management[J]. *Water Economics and Policy*, 2016, 2(4): 1602203
- [26] 王克强, 邓光耀, 刘红梅. 基于多区域 CGE 模型的中国农业用水效率和水资源税政策模拟研究[J]. 财经研究, 2015, 41(3): 40-52  
Wang K Q, Deng G Y, Liu H M. Water utilization efficiency in agriculture and policy simulation of water resources tax in China based on multi-regional CGE model[J]. *Journal of Finance and Economics*, 2015, 41(3): 40-52 (in Chinese)
- [27] 李原园, 曹建廷, 黄火键, 邢子强. 国际上水资源综合管理进展[J]. 水科学进展, 2018, 29(1): 127-137  
Li Y Y, Cao J T, Huang H J, Xing Z Q. International progresses in integrated water resources management[J]. *Advances in Water Science*, 2018, 29(1): 127-137 (in Chinese)
- [28] Hanjra M A, Qureshi M E. Global water crisis and future food security in an era of climate change[J]. *Food Policy*, 2010, 35(5): 365-377
- [29] 刘亚克, 王金霞, 李玉敏, 张丽娟. 农业节水技术的采用及影响因素[J]. 自然资源学报, 2011, 26(6): 932-942  
Liu Y K, Wang J X, Li Y M, Zhang L J. Study on the adoption and determinants of agricultural water saving technologies[J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(6): 932-942 (in Chinese)
- [30] 罗吉, 戈华清. 论我国跨区域调水环境补偿制度的构建[J]. 中国软科学, 2003(3): 105-109  
Luo J, Ge H Q. Establishment of compensation system for the environment in interregional water transfer in China[J]. *China Soft Science*, 2003(3): 105-109 (in Chinese)
- [31] Assouline S, Russo D, Silber A, Or D. Balancing water scarcity and quality for sustainable irrigated agriculture[J]. *Water Resources Research*, 2015, 51(5): 3419-3436
- [32] Fang Q X, Ma L, Green T R, Yu Q, Wang T D, Ahuja L R. Water resources and water use efficiency in the North China Plain: Current status and agronomic management options [J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(8): 1102-1116
- [33] 刘渝, 张俊飏, 杜江. 农业灌溉投资与灌溉用水的替代弹性分析[J]. 财经论丛, 2009(5): 1-5  
Liu Y, Zhang J B, Du J. Analysis of substitute relation between farmland irrigation water and irrigation investment in China[J]. *Collected Essays on Finance and Economics*, 2009(5): 1-5 (in Chinese)
- [34] 刘克春. 粮食生产补贴政策对农户粮食种植决策行为的影响与作用机理分析: 以江西省为例[J]. 中国农村经济, 2010(2): 12-21  
Liu K C. An analysis of the mechanism how government's subsidization policies to grain production influences farmers' households' decision-making for grain planting taking Jiangxi Province[J]. *Chinese Rural Economy*, 2010(2): 12-21 (in Chinese)
- [35] 许朗, 刘金金. 农户节水灌溉技术选择行为的影响因素分析: 基于山东省蒙阴县的调查数据[J]. 中国农村观察, 2013(6): 45-51, 93  
Xu L, Liu J J. Study on influencing factors of farmers choice behavior for water-saving irrigation techniques based on survey data from Mengyin, Shangdong Province[J]. *China Rural Survey*, 2013(6): 45-51, 93 (in Chinese)
- [36] 贾蕊, 陆迁. 信贷约束、社会资本与节水灌溉技术采用: 以甘肃张掖为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(5): 54-62  
Jia R, Lu Q. Credit constraints, social capital and the adoption of water-saving irrigation technology based on the survey in Zhangye of Gansu Province [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(5): 54-62 (in Chinese)
- [37] 乔丹, 陆迁, 徐涛. 社会网络、推广服务与农户节水灌溉技术采用: 以甘肃省民勤县为例[J]. 资源科学, 2017, 39(3): 441-450  
Qiao D, Lu Q, Xu T. Social network, extension service and farmers water-saving irrigation technology adoption in Minqin County[J]. *Resources Science*, 2017, 39(3): 441-450 (in Chinese)
- [38] Cai X M, Rosegrant M W. Irrigation technology choices under hydrologic uncertainty: A case study from Maipo river basin, Chile [J]. *Water Resources Research*, 2004, 40(4): 1149-1155
- [39] Schoengold K, Sunding D L. The impact of water price uncertainty

- on the adoption of precision irrigation systems[J]. *Agricultural Economics*, 2014, 45(6): 729-743
- [40] Moreno G, Sunding D L. Joint estimation of technology adoption and land allocation with implications for the design of conservation policy[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2005, 87(4): 1009-1019
- [41] Blanke A, Rozelle S, Lohmar B, Wang J X, Huang J K. Water saving technology and saving water in China[J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 87(2): 139-150
- [42] Sun S X, Sesmero J P, Schoengold K. The role of common pool problems in irrigation inefficiency: A case study in groundwater pumping in Mexico[J]. *Agricultural Economics*, 2016, 47(1): 117-127
- [43] Howe C W, Lazo J K, Weber K R. The economic impacts of agriculture-to-urban water transfers on the area of origin: A case study of the Arkansas river valley in Colorado[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1990, 72(5): 1200-1204
- [44] 代小平, 陈菁, 褚琳琳, 陈丹, 方茜, 张晓红. 农业水权转让补偿额综合测算方法研究[J]. *节水灌溉*, 2010(10): 66-71  
Dai X P, Chen J, Chu L L, Chen D, Fang Q, Zhang X H. Study on comprehensive method for calculating compensation amount of agricultural water rights transfer[J]. *Water Saving Irrigation*, 2010(10): 66-71 (in Chinese)
- [45] 王学渊, 韩洪云. 农业水权转移的条件及其影响因素: 基于国外研究的综述[J]. *中国地质大学学报: 社会科学版*, 2008(2): 66-71  
Wang X Y, Han H Y. Conditions and influential factors for agricultural water rights transfer: A survey in view of overseas research[J]. *Journal of China University of Geosciences: Social Sciences Edition*, 2008, 8(2): 66-71 (in Chinese)
- [46] Weitzman M L. Prices V S quantities[J]. *The Review of Economic Studies*, 1974, 41(4): 477-491
- [47] 易福金, 肖蓉, 王金霞. 计量水价、定额管理还是按亩收费: 海河流域农业用水政策探究[J]. *中国农村观察*, 2019(1): 33-50  
Yi F J, Xiao R, Wang J X. Water price, quota or irrigated area tax? An examination of agricultural water policies in Haihe river basin[J]. *China Rural Survey*, 2019(1): 33-50 (in Chinese)
- [48] Hu X J, Xiong Y C, Li Y J, Wang J X, Li F M, Wang H Y, Li L L. Integrated water resources management and water users' associations in the arid region of northwest China: A case study of farmers' perceptions[J]. *Journal of Environmental Management*, 2014(145): 162-169
- [49] Alberini A, Segerson K. Assessing voluntary programs to improve environmental quality[J]. *Environmental & Resource Economics*, 2002, 22(1-2): 157-184
- [50] 刘军弟, 霍学喜, 黄玉祥, 韩文霆. 基于农户受偿意愿的节水灌溉补贴标准研究[J]. *农业技术经济*, 2012(11): 29-40  
Liu J D, Huo X X, Huang Y X, Han W T. Study on water-saving irrigation subsidy standards based in farmers' willingness to accept for compensation[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2012(11): 29-40 (in Chinese)
- [51] 冯颖, 姚顺波, 李晟. 基于 EDM 的农业节水技术补偿[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(4): 705-712  
Feng Y, Yao S B, Li S. Agricultural water conservation compensation standard based on EDM method[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(4): 705-712 (in Chinese)
- [52] 王学, 李秀彬, 辛良杰, 谈明洪, 李升发, 王仁靖. 华北地下水超采区冬小麦退耕的生态补偿问题探讨[J]. *地理学报*, 2016, 71(5): 829-839  
Wang X, Li X B, Xin L J, Tan M H, Li S F, Wang R J. Ecological compensation for winter wheat abandonment in groundwater over-exploited areas in the North China Plain[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(5): 829-839 (in Chinese)
- [53] 李国平, 石涵予. 退耕还林生态补偿标准、农户行为选择及损益[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(5): 152-161  
Li G P, Shi H Y. The payment of grain to green project, the behavior choice of peasants and their gains and losses[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(5): 152-161 (in Chinese)
- [54] 孔祥智, 史冰清. 农户参加用水者协会意愿的影响因素分析: 基于广西横县的农户调查数据[J]. *中国农村经济*, 2008(10): 22-33  
Kong X Z, Shi B Q. An analysis of the determinants to farmers' households willingness of participation in water users' association: Based on survey data from farmers' households in Hengxian County of Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. *Chinese Rural Economy*, 2008(10): 22-33 (in Chinese)
- [55] 王金霞, 黄季焜, Rozelle S. 激励机制、农民参与和节水效应: 黄河流域灌区水管理制度改革的实证研究[J]. *中国软科学*, 2004(11): 8-14  
Wang J X, Huang J K, Rozelle S. Incentive, participation of farmers and water savings: Empirical research on the reform of water management institution in the irrigation districts of the Yellow River Basin[J]. *China Soft Science*, 2004(11): 8-14 (in Chinese)
- [56] 翁辰, 何勇, 张兵. 农民排灌协会在农业生产中的作用分析: 基于江苏省农民排灌协会项目区 152 户农户的调查[J]. *资源科学*, 2014, 36(5): 963-970  
Weng C, He Y, Zhang B. Cognition of irrigation water-saving techniques, adoption intensity and income effects in Gansu, China[J]. *Resources Science*, 2014, 36(5): 963-970 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春