

引用格式:张哲晰,穆月英,侯玲玲,等.环渤海地区滴灌的资源与经济效应:政府与农户目标一致性检验[J].资源科学,2019,41(8):1400-1415.[Zhang Z X, Mu Y Y, Hou L L, et al. Resource and economic effects of drip irrigation in the Bohai Rim area: Consistency of goals of the government and farmers[J]. Resources Science, 2019, 41(8): 1400-1415.] DOI: 10.18402/resci.2019.08.02

# 环渤海地区滴灌的资源与经济效应

## ——政府与农户目标一致性检验

张哲晰<sup>1,2</sup>,穆月英<sup>1</sup>,侯玲玲<sup>3</sup>,杨鑫<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学经济管理学院,北京 100083;

2. 农业农村部农村经济研究中心,北京 100810;

3. 北京大学现代农学院,北京大学中国农业政策研究中心,北京 100871)

**摘要:**水资源是关系农村社会经济发展、农民增收的重要因素。本文从协调政府与农民关于增效与增收的目标出发,以2017年中国环渤海设施蔬菜主产地蔬菜专业村357个蔬菜种植户调研数据为例,运用联立方程组模型及条件混合过程(CMP)、倾向得分匹配方法(PSM)与工具变量分位数(IVQR)方法,对滴灌技术推广的约束因素与增效增收能力进行分析,探索促进中国农业可持续发展的路径。研究结果表明:①水资源稀缺程度较高的蔬菜主产地,种植年限较短,但家庭资本充裕且对节水知识了解程度越高的蔬菜种植户更倾向于采用滴灌技术;②滴灌技术具有明显的增效增收作用,蔬菜种植户采用滴灌技术后,每吨灌溉水产出可增加17.16 kg蔬菜,增收45.90元,具有推广的长效动力;③滴灌技术的产出与经济效应存在“马太效应”,对于生产条件好的农户而言,滴灌技术的产出与经济效应更加明显;④技术供给层面的灌溉制度设计不健全、设备工程设计与质量较差、培训与售后服务不足,农户技术应用层面的专业知识与技术缺乏、与现代农业对接能力弱,以及政府层面的补贴不够科学、到位是影响农户滴灌技术采用积极性的重要因素,需要加以注意,此外,灌溉水价的适当提高,将有助于加快田间节水技术的推广。

**关键词:**蔬菜;主产地;滴灌;资源效应;经济效应;CMP;IVQR;环渤海地区

DOI: 10.18402/resci.2019.08.02

## 1 引言

水资源短缺成为约束中国的城镇化、工业化与农业可持续发展的重要因素。从用水结构看,占全国用水62.3%的农业用水是第一“用水大户”,其中灌溉用水占农业用水的90%左右,是农业用水的主要部分<sup>[1,2]</sup>。近年来全国农田灌溉用水有效利用系数得到提升,由2011年的0.51提高到2017年的0.54。但是,国家提出的目标是2030年农田灌溉水有效利用系数提高到0.6以上<sup>[3]</sup>、2020年高效用水技术覆盖率达到50%<sup>[4]</sup>、节水灌溉工程面积占全国有

效灌溉面积80%以上<sup>[5]</sup>等,可见现实中农业用水效率与国家的目标之间仍有差距。

蔬菜是中国农业生产中仅次于粮食的第二大作物,同时,伴随蔬菜产业的发展,其空间格局不断调整,形成了一批专业化程度较高的蔬菜产地<sup>[6]</sup>。但是,蔬菜产地生产集中度高、粗放经营的发展模式,导致灌溉水利用效率较低,甚至形成了蔬菜与粮食作物“抢水”的局面,对当地资源、生态环境与可持续发展形成了较高的压力与挑战。而蔬菜生产在推动农业种植结构调整、稳定“菜篮子”供应、

收稿日期:2018-05-28;修订日期:2019-05-18

基金项目:国家社会科学基金重大项目(18ZDA074)。

作者简介:张哲晰,女,吉林省吉林市人,博士,研究方向为农业经济理论与政策。E-mail: cauzzx1991@cau.edu.cn

通讯作者:穆月英,女,山西大同人,教授,博士生导师,研究方向为农业经济理论与政策。E-mail: yueyingmu@cau.edu.cn

2019年8月

提高农民收入等方面作出了重要贡献,具有不容动摇的地位。因此,在自然约束压力与市场需求推力的双重促进下,供给侧结构性改革对蔬菜产业发展提出了新要求:应逐步由粗犷扩张型发展模式向以改进质量,提高效率和效益为主要内涵的发展模式转变。总体来看,提高蔬菜的水资源生产效率迫在眉睫。

近年,遵循提高农业水资源利用率的目标,政府不断加大节水技术研发与推广的投资力度、实施节水补贴政策、鼓励蔬菜种植户采用现代节水灌溉技术<sup>[7]</sup>。其中,重点推广的节水灌溉技术是实验过程中节水效果最好的滴灌<sup>[8]</sup>,推广的主要对象之一便是小农户,原因在于在今后很长一段时间内,小农户仍是承载中国农业生产主要任务的主体,在此国情下,农业要实现产出高效、资源节约、环境友好,必须要使小农户与农业现代化衔接。但实践中发现,尽管政府付出了巨大的努力,农户在滴灌技术采用过程中存在着采用率低、弃用率高等现象,与政府目标背道而驰。对此,既有关于农户滴灌技术采用影响因素的研究不断丰富,并可主要划分为以下几方面:①农户特征,如户主性别、年龄、文化程度、风险态度、对水资源知识及相关节水技术的了解程度、家庭经济状况与兼业程度<sup>[9-11]</sup>;②农业种植特征,如土地经营规模、地块细碎化程度<sup>[9,11]</sup>;③自然环境特征,如水资源稀缺程度、农业用水价格<sup>[9]</sup>;④政府支持<sup>[9,12]</sup>;⑤滴灌装备,如装备设计、种类、质量、安装与使用过程中存在的问题等<sup>[13,14]</sup>。然而,现有研究主要是站在政府的视角考察滴灌技术推广的作用机制,对于农户滴灌技术采用的微观基础——增收需求有所忽略。

目前农户的技术选择权已经较为独立,经济报酬成为影响农户农业节水技术采用的最大因素<sup>[15]</sup>。但是在利润最大化的目标下,水资源短缺相比于土地资源稀缺等其他更大的约束并不受到农民的关注。原因在于只有当水资源稀缺压力“转化到”农民身上,如水价调整或补贴<sup>[16]</sup>,或节水技术能够显著提高农户净收益时,才会影响农户的技术采用决策。因此,本文从实践出发,兼顾资源与经济,对滴灌技术采用如何影响农户的水资源利用率与净收

益进行理论分析与实证检验:通过考察滴灌技术的资源与经济效益(滴灌技术采用的资源效应具体指采用滴灌技术后,农户灌溉水生产率的提高幅度;滴灌技术采用的经济效益具体指采用滴灌技术后,农户净利润的提高幅度),探索滴灌技术是否具有采用的内生长效机制,即滴灌技术能否提高灌溉水生产率并影响农户净收益,实现增效增收,实现政府与农户目标的统一。

既有文献表明,滴灌相比于漫灌能够明显减少水资源的蒸发损耗,并提高约10%~20%的蒸腾量,对提高作物单产有重要贡献,即滴灌可以通过提高水分利用效率来实现用水量的节约与产量增加的双赢局面<sup>[17-20]</sup>。同时,当地自然资源与气候条件、基础设施建设情况、农户是否接受过与节约水资源相关的培训,以及其田间管理能力等,也会与滴灌技术相互作用,影响滴灌技术效果的发挥<sup>[21-23]</sup>。而既有文献在研究方法选取方面,主要集中于描述性分析、线性回归模型,或数据包络分析等计量方法<sup>[18,19,22]</sup>,对本文有重要的启示意义。但其在以下3个方面仍有待完善:第一,既有文献将滴灌技术采用外生化纳入农业产出模型中,导致农户滴灌技术采用与农产品产出之间由于可能存在的共同不可观测影响因素,如农民自身管理能力与技术水平、农民之间存在的无形社会网络关系等,产生内生性问题而造成研究结论的不准确,并缺乏进一步对滴灌技术对农户经济收益作用效果的检验;第二,既有文献缺乏对滴灌技术作用于异质性生产主体效果的检验,不利于充分发掘滴灌技术的资源与经济效益潜力;第三,既有文献所依托的数据存在着覆盖范围较小(往往以特定省份、县域数据为例)、数据代表性不足等问题。

综上所述,本文从以下几个方面对既有文献进行拓展:首先,就研究对象而言,基于环渤海设施蔬菜主产地蔬菜专业村农户微观数据,以提高研究的覆盖范围和代表性;其次,就研究内容而言,在蔬菜主产地迅速发展的背景下,检验滴灌技术是否有协调政府与农户目标的基础能力,系统考察农户滴灌技术采用成因及其资源与经济效益,探索实现增效增收的实践方案;最后,就研究方法而言,运用条件

混合过程估计方法对农户滴灌技术采用及其资源与经济效应进行联合估计以规避内生性问题,并运用倾向得分匹配方法与分位数方法对滴灌技术的资源与经济效应进行稳健性和异质性检验。

## 2 理论模型

按照检验滴灌技术的资源与经济效应的研究目的,首先进行理论框架构建,明晰灌溉水生产率是反映政府与农户目标一致性指标的含义,并进一步分析滴灌是否能促进灌溉水生产率与灌溉水净收益的提高。在此基础上,选择计量方法展开检验,并纠正可能存在的由于农户非随机采用滴灌技术导致的偏差,以保证结果的稳健性。

### 2.1 政府与农户目标的理论分析

农户是农业水资源的直接利用者,农户受目标引导而产生的用水行为是影响水资源可持续利用的根本因素。农户目标研究起源于20世纪20年代俄国经济学家恰亚诺夫的小农经济模型,随着舒尔茨的推动,在60年代后迅速发展,形成了组织与生产学派、理性小农学派和历史学派<sup>[24]</sup>,并将农户目标汇总为利润最大化、风险最小化、效用最大化等。对于从事设施蔬菜种植的小农户而言,由于其生产规模较小以及受自然风险的影响有限,并且没有多余的时间进行非农工作,其种植决策更符合舒尔茨的“理性农户”观点,即农户会在利润最大化的目标下采取使其蔬菜生产净收益最大化的技术,故构建农户技术采用的利润最大化方程如下:

$$\text{Max } \Pi = P \cdot Q - \sum_{i=1}^n C_i \quad (1)$$

式中: $\Pi$ 为代表性农户蔬菜生产净利润; $P$ 为蔬菜销售价格; $Q$ 为蔬菜产量; $C_i$ 为蔬菜第*i*种生产要素投入成本,主要包括种苗投入(*Seed*)、肥料投入(*Tfer*)、农膜投入(*Nm*)、农药投入(*Pes*)、以及灌溉水投入(*Wprice*); $n$ 为生产要素的种类,本文中为5。

对于政府而言,实现社会福利最大化是其根本目的,包括水资源可持续利用、农业发展、粮食安全等。在本文中,政府推广滴灌技术的目的是充分利用灌溉水资源,在节水的同时稳定产量,即最终落脚于提高灌溉水生产率。据此,对农户的利润最大化目标方程进行改造,即在式(1)等式两侧除以灌

溉水量,如式(2)所示:

$$\text{Max } r = P \cdot WP - \sum_{i=1}^n c_i \quad (2)$$

式中: $r$ 为农户单位灌溉水蔬菜生产净利润,即单位灌溉水消耗获得的蔬菜净利润,作为滴灌技术采用的经济效应指标;结合Molden<sup>[25]</sup>的研究,定义 $WP$ 为灌溉水生产率,即单位灌溉水消耗获得的蔬菜产量,作为滴灌技术采用的资源效应指标, $c_i$ 为灌溉水量标准化后的生产要素投入成本。由式(2)可知,灌溉水生产率是影响农户收益的最主要途径,而其同时也是反映水资源充分利用与稳定产出的指标,即 $WP$ 是统一政府与农户目标的关键。

### 2.2 灌溉水生产率的影响机制分析

反映农户与政府目标一致性的关键指标灌溉水生产率,其影响因素结合前述分析与既有研究,可归纳为技术采用、农户特征、自然环境与生产投入等3方面,具体而言,构建农户灌溉水生产率影响因素方程:

$$\begin{aligned} WP = & \beta_0 + \beta_1 Drip + \beta_2 Gen + \beta_3 Age + \beta_4 Vyear + \\ & \beta_5 Edu + \beta_6 Comm + \beta_7 Spe + \beta_8 Rare + \\ & \beta_9 Fer + \beta_{10} Ofer + \varepsilon \end{aligned} \quad (3)$$

变量定义及理论分析如下:

#### (1) 技术采用

*Drip*为本文的关键变量,表示农户是否采用滴灌技术,1=采用,0=不采用。滴灌技术的优势在于,水顺着滴孔直达作物根部,使土壤始终保持疏松以及最佳含水状态,对于温度和湿度具有良好的调节功能,通过提高光合作用效率实现灌溉水生产率的提升。理论上讲,滴灌技术亦相当于一种生产要素,是对稀缺水资源要素的替代<sup>[9]</sup>,可在不减少产量的条件下降低灌溉水的使用。

#### (2) 农户特征

*Gen*为户主性别,男性户主往往具有视野更开阔、决策能力更强等特征,在资源配置能力与水平上可能会强于女性户主;*Age*与*Vyear*分别为户主年龄及其蔬菜种植年限,年龄越大的户主通过多年种植经验的积累,生产专业化水平越高、资源利用能力越强<sup>[26]</sup>,有利于用水效率的提高;*Edu*为户主受教育年限,受教育年限的提高有利于增强农户对新技术的采用能力与市场感知能力<sup>[27,28]</sup>,能够促进灌溉



2019年8月

水生产率的提高;*Comm*为农户与其他种菜能手交流种菜技术的频次,一般而言,小农户由于风险规避能力较弱,在采用新技术或田间管理手段时更倾向于通过观察或询问的方式从其他农户处获得经验,以避免利润上的风险<sup>[29]</sup>。同时,当某项技术在特定区域内采用人数较多时,农民更倾向于通过外部学习而非自我尝试获得经验<sup>[30]</sup>。因此,在蔬菜产地,农户更可能通过和其他种菜能手交流来提高产出与资源利用率,本研究采用李克特五点量表对此进行衡量,其中1表示很少,5表示非常多;*Spe*为农户家庭农业生产专业化程度,用家庭农业收入占总收入的比重表示,农户专注于农业生产、将大量精力投入于农业种植过程将会提高效率<sup>[31]</sup>,带来灌溉水生产率的提高。

### (3) 自然环境与生产投入

*Rare*为农民对当地水资源稀缺程度的评价,反映当地水资源禀赋情况。水资源短缺是限制蔬菜产出的重要问题,缺水将影响蔬菜生长的各个阶段,特别是抑制光合作用与蒸腾作用过程,降低蔬菜产量<sup>[32]</sup>,本文采用李克特五点量表对此进行测量,其中1表示不严重,2表示不太严重,3表示一般,4表示比较严重,5表示非常严重;*Fer*与*Ofer*分别为农户种菜过程中的化肥与有机肥投入,研究表明,作物生长过程中适当营养素的补充也会提高灌溉水生产率<sup>[33]</sup>,但化肥也存在肥效持续时间短、养分单一、容易造成土壤板结等问题,一定程度上有碍于灌溉水生产率的提高。

## 2.3 农户滴灌技术采用的影响机制分析

关于农户节水技术采用影响因素的研究已较为丰富<sup>[34-36]</sup>,故结合既有研究,构建本文的关键变量——滴灌技术采用的影响因素方程:

$$Drip = \alpha_0 + \alpha_1 Rare + \alpha_2 Know + \alpha_3 Gen + \alpha_4 Age + \alpha_5 Vyear + \alpha_6 Edu + \alpha_7 Ati + \alpha_8 Tinc + \alpha_9 Lab + \alpha_{10} Num + \alpha_{11} Chan + \alpha_{12} Sub + \alpha_{13} Agg + \mu \quad (4)$$

由于*Drip*为0-1二元变量,故估计式(4)时选取适用于该类因变量的二元选择模型的Probit函数形式。变量定义及理论分析如下:

### (1) 认知水平与风险态度

*Rare*含义同上,速水等<sup>[37]</sup>的研究表明,要素禀赋

是诱致农业技术变迁的重要因素,农业技术会向稀缺资源节约方向发展,当水资源稀缺程度高,农户又认识到缺水对蔬菜生产的影响时<sup>[35,38]</sup>,农户会为发展蔬菜生产、获取更多的收入而采用滴灌技术;*Know*反映农户对滴灌技术的认知程度,由于滴灌技术具有固定成本投资高、技术难度大等特点,农户对滴灌技术越了解并且意识到滴灌技术对自身收益的影响时,将越倾向于采用滴灌技术<sup>[9,11]</sup>,本文采用李克特五点量表对此进行衡量,其中1表示完全不了解,5表示非常了解;*Ati*为户主对新技术的风险态度,农户的风险态度将从两个方面影响农户滴灌技术采用:一方面,滴灌具有最基本的降低干旱风险损失的功能,因此农户采用滴灌技术的意愿随着风险偏好程度增加而降低<sup>[10]</sup>;另一方面,滴灌亦能够通过改善水资源利用率与施肥水平而提高蔬菜的产量与品质,使对技术持开放态度的农户更愿意尝试<sup>[36,39]</sup>,因此,农户风险态度对其滴灌技术采用可能会形成互为反方向的影响,本文将农户风险态度划分为3个层次:1表示风险偏好,2表示风险中性,3表示风险厌恶。

### (2) 农户特征

*Tinc*为农户家庭年农业收入,一方面,较高的农业收入意味着农户对农业生产越倚重,其节水积极性越高<sup>[36]</sup>;另一方面,滴灌设备费用昂贵,对农户家庭资产充裕程度有较高的要求,更富有的农户更有实力购买滴灌设备。*Lab*为农户家庭从事蔬菜生产的劳动力数,滴灌由于能够节省农户灌溉劳动投入,对于劳动人口不足而资金相对充足的农户而言,运用滴灌设备来缓解劳动投入的稀缺是比较好的替代方式<sup>[40]</sup>;*Num*为农户家庭温室大棚个数,滴灌技术在一定程度上具有规模效应的特性<sup>[15]</sup>,土地细碎化程度过高可能影响滴灌规模经济的实现,影响农户购买设备的积极性,本文参考王格玲等<sup>[36]</sup>的方法,将农户家庭温室大棚数作为土地细碎化的替代指标;此外,本文也假设户主为男性、更年轻且受教育程度较高与农户滴灌技术采用呈正相关关系。

### (3) 社会环境

*Chan*是农户获得农业水资源管理和利用知识的渠道,农户掌握节水技术信息的多少以及渠道是

影响其节水技术采用的重要因素,目前,中国农户技术获取呈现多元化状态,自我摸索、社会网络以及利用农技人员是常见的几种渠道<sup>[35,36]</sup>,通常来讲,外界培训能更有效地提高农户的专业知识与技能,降低其新技术采用风险,因此对促进农户滴灌技术采用效果更加明显,但政府技术推广服务往往存在难以适应农户多样化技术需求的问题,抑制了推广效率<sup>[35]</sup>,本文将农户技术获得渠道归类为3种:0表示完全没有;1表示自学(包括自学、观察周围农户、观看电视报纸);2表示外界培训(包括村委会宣传、推销节水设备销售员介绍)。Sub为政府是否为农户提供了滴灌技术补贴,主要指政府是否资助农户安装滴灌设备,一般而言,政府补贴会提高农户滴灌技术采用概率<sup>[41]</sup>,但是当政府补贴与农户需求不契合时,则会浪费公共资源;Agg为农户所在专业村的产业集聚程度,用菜地面积占村总耕地面积的比重来衡量,相关研究表明,随着用水主体数量的增加以及主体间更多的互动,主体间水资源分配问题将越来越复杂,需要考虑利益相关者的成本、收益及分布变化,一般情况下,单个主体与集体利益之间呈现互相协调状态,即总供水量不足时,单个主体将通过节约用水达到次优以满足整体需要<sup>[42]</sup>,因此,对于耗水量大的蔬菜主产地而言,农户更有动力考虑到整体环境而进行水资源节约。

本文的创新点之一是将农户的滴灌技术采用行为内生化的,其含义为只有农户采用滴灌技术才能将潜在的生产力转化为实际生产力,方能有效地利用水资源,故构建联立方程组,如式(5)所示:

$$\begin{cases} Drip = \alpha_0 + \alpha_1 Rare + \alpha_2 Know + \alpha_3 Gen + \alpha_4 Age + \\ \alpha_5 Vyear + \alpha_6 Edu + \alpha_7 Ati + \alpha_8 Tinc + \alpha_9 Lab + \\ \alpha_{10} Num + \alpha_{11} Chan + \alpha_{12} Sub + \alpha_{13} Agg \\ WP = \beta_0 + \beta_1 Drip + \beta_2 Gen + \beta_3 Age + \beta_4 Vyear + \beta_5 Edu + \\ \beta_6 Comm + \beta_7 Spe + \beta_8 Rare + \beta_9 Fer + \beta_{10} Ofer \\ r = \gamma_0 + \gamma_1 P + \gamma_2 WP + \gamma_3 Seed + \gamma_4 Tfer + \gamma_5 Nm + \\ \gamma_6 Pes + \gamma_7 Wprice \end{cases} \quad (5)$$

### 3 研究方法与数据

#### 3.1 估计方法

##### 3.1.1 条件混合过程估计方法

若多个方程之间具有某种联系,对这些方程同

时进行联合估计会提高估计效率,似不相关回归方法(Seemingly Unrelated Regress, SUR)是常用的对多方程系统模型进行回归估计的方法。但该方法的基本假定为各方程变量之间没有内在联系,即各方程之间不能存在递归关系,仅各方程的扰动项之间存在相关性,并且方程组内的方程形式要具有一致性。对此,本文运用Roodman<sup>[43]</sup>提出的条件混合过程(Conditional Mixed Process, CMP)估计方法完成测算。该方法是以似不相关回归为基础,通过构建递归方程组,基于极大似然估计方法对多阶段回归模型进行估计。本文联立方程组的方程之间存在递归关系,故较之于SUR方法, CMP方法具有适用于多种模型、多阶段的混合过程估计的优势,满足本文将二元变量Probit方程与连续变量线性回归方程进行联合估计的要求。

##### 3.1.2 倾向得分匹配方法

本文运用倾向得分匹配方法(Propensity Score Matching, PSM)对滴灌技术采用是否会影响农户灌溉水生产率及灌溉水净收益进行稳健性检验。PSM方法是通过控制一系列实验组与对照组的相关特征,即控制既定可观测特征条件下,基于条件概率(倾向得分)匹配实验组和对照组的一种方法,在找到类似实验组的反事实的基础上,比较实验组和对照组的结果变量差异,进而得到平均处理效应(Average Treatment Effect on the Treated, ATT)。本文将农户所处的家庭、生产、自然与社会环境作为测算倾向得分的指标,并运用核配法以0.01为带宽进行匹配,以获得相对真实的滴灌技术对于灌溉水生产率及灌溉水净收益的作用效果,并进行平衡性检验。

##### 3.1.3 工具变量分位数方法

对于异质性农户群体而言,由于在采用滴灌技术前的技术条件不同,在全要素框架下,通过滴灌技术所获得的资源与经济效益必然有所差异。若不加以区分,得到的结果将不能准确反映滴灌技术对灌溉水生产率与灌溉水净收益的影响,即不能准确检验滴灌技术对于满足不同农户群体与政府目标的有效性,不利于细化关于滴灌技术推广的支持政策。因此,本文亦将对滴灌技术对不同用水效率

2019年8月

农户群体的作用效果进行异质性检验。

Koenker等<sup>[44]</sup>提出的分位数回归方法(Quantile Regression, QR)拥有能够估计不同被解释变量分位数下回归系数估计的功能,且具有放松分布假设、适合具有异方差性的模型,以及估计结果更稳健等优势,比较符合本文探索滴灌技术对不同用水效率农户灌溉水资源与经济效应的异质性作用效果的目的。在关键变量为外生变量时,标准分位数回归方法是适用的,但是滴灌技术采用与灌溉水生产率之间可能存在着共同影响因素,甚至有相互作用关系,将使传统分位数回归方法估计得到的参数不具有—致性,甚至具有较大的偏差。Chernozhukov等<sup>[45]</sup>开创的带有工具变量的分位数回归模型(Instrument Variable Quantile Regression, IVQR)建立在QR方法的基础上,既具备QR的优点,又兼具解决关键变量存在内生性问题的能力。参考胡伦等<sup>[40]</sup>的研究,本文将样本农户所在镇是否推广滴灌技术作为农户滴灌技术采用的工具变量。政府大力推广滴灌技术有利于农民滴灌技术的采用,即政府推广与内生变量农户滴灌技术采用存在正相关关系,而政府推广是一个政策性的外生变量,与微观农户主体本身的灌溉水生产率关系不大,因此很大程度上缓解了内生性问题,是比较合适的工具变量。

### 3.2 数据来源与描述性分析

#### 3.2.1 数据来源

北京、河北、辽宁位于环渤海设施蔬菜优势产区,集中了《全国蔬菜产业发展规划(2011—2020年)》<sup>[7]</sup>中94个蔬菜主产区,是保障北方蔬菜供给的重要组成部分。同时,随着经济增长与社会发展,京冀辽不仅受到水资源缺乏的困扰,其水资源开发比例更是超过了40%的可持续利用临界水平,导致近年频繁出现河水断流、地下水漏斗等严重的生态环境问题,因此,提高上述地区蔬菜灌溉水生产率是农业发展的重要任务。不过,京冀辽的水资源禀赋、社会与经济发展水平存在一定的差异(表1),具体到蔬菜生产表现为政府节水补贴力度、产业集聚程度与技术水平等,在后文中将加以控制。

本文调研样本的选取运用了分层抽样方式,首先,对3省市蔬菜主产区进行随机抽样,然后进行蔬

表1 2016年3省(市)水资源与社会经济发展水平

Table 1 Water resource and socioeconomic development level of Beijing, Hebei and Liaoning provinces in 2016

项目	单位	北京市	河北省	辽宁省
常住人口	万人	2173	7470	4378
耕地面积	万hm <sup>2</sup>	21.63	652.05	497.45
GDP	万亿元	2.49	3.18	2.22
第一产业增加值	亿元	129.6	3492.8	2173.1
地下水资源量	亿m <sup>3</sup>	21.1	120.9	133.7
人均水资源量	m <sup>3</sup> /人	161.6	757.1	279.7
样本数	户	115	81	161

数据来源:《中国环境统计年鉴》(2017)<sup>[46]</sup>、《中国金融年鉴》(2017)<sup>[47]</sup>、《中国统计摘要》(2018)<sup>[48]</sup>。

菜专业村发展情况抽样调查,所调查的村庄蔬菜品种以黄瓜、番茄、甜(辣)椒等果类蔬菜为主。2017年,以课题为依托,对抽样专业村的蔬菜种植户展开问卷调研,内容包括蔬菜种植成本收益、技术采用、农户特征等信息,收集有效样本357份,其中北京115份、河北81份和辽宁161份。

#### 3.2.2 变量说明与描述性统计

表2为对文中变量进行分类汇总基础上的变量及均值描述统计情况,分为灌溉水投入产出情况、生产投入、户主及农户家庭条件,以及自然、市场与社会环境4部分。将样本农户分为采用滴灌技术和未采用滴灌技术两组进行对比分析可知:从滴灌技术对灌溉水投入的影响效应来看,滴灌组灌溉水投入明显少于非滴灌组。从滴灌技术对灌溉水产出的影响效应来看,滴灌组单位灌溉水蔬菜产出比非滴灌组高17.80 kg/t,换言之,滴灌组每千克蔬菜产出耗水0.022 t,而非滴灌组每千克蔬菜产出耗水0.037 t,增效效果明显,滴灌组单位灌溉水净利润也比非滴灌组高55.36元/t,显示出滴灌技术对政府增效目标与农民经济目标的双重满足效果。但是,表中滴灌技术对灌溉水投入、产出的影响是在各要素综合作用的影响下形成的,滴灌技术对灌溉水生产率、灌溉水净收益的影响仍需要进一步通过计量方法细致衡量。从生产投入来看,滴灌组较之于非滴灌组在资本要素投入上更加密集,特别是在种苗投入方面,可能是影响水产出的重要因素。从户主及农户家庭条件来看,滴灌组的优势在于年轻化,对滴灌技术更了解且资本储备更充裕,而非滴灌组的



表2 变量说明及描述统计(均值)

Table 2 Variable description and descriptive statistics (mean)

变量类型	变量名称	参数表示	单位	滴灌组	非滴灌组	
灌溉水投入产出情况	灌溉水量	<i>Water</i>	t	708.30	924.00	
	灌溉水生产率	<i>WP</i>	kg/t	45.00	27.20	
	灌溉水净利润	<i>r</i>	元/t	94.89	39.53	
生产投入	种苗投入	<i>Seed</i>	元/t	9.90	4.24	
	农膜投入	<i>Nm</i>	元/t	6.71	3.85	
	农药投入	<i>Pes</i>	元/t	8.05	2.51	
	肥料投入	<i>Tfer</i>	元/t	16.84	9.90	
	化肥投入	<i>Fer</i>	元	2064.08	2388.28	
	有机肥投入	<i>Ofer</i>	元	1575.15	1552.14	
	户主及农户家庭条件	性别	<i>Gen</i>	0=女;1=男	0.93	0.92
年龄		<i>Age</i>	岁	51.25	52.20	
蔬菜种植年限		<i>Vyear</i>	年	16.28	18.54	
受教育年限		<i>Edu</i>	年	8.57	8.58	
风险态度		<i>Ati</i>	—	2.01	1.92	
滴灌技术了解程度		<i>Know</i>	—	4.46	4.14	
水资源信息技术来源		<i>Chan</i>	—	1.14	1.11	
交流频率		<i>Comm</i>	—	3.45	3.53	
家庭劳动力数		<i>Lab</i>	人	2.02	2.00	
家庭年收入		<i>Tinc</i>	万元	7.48	6.05	
温室大棚数		<i>Num</i>	个	2.58	2.84	
专业化生产		<i>Spe</i>	%	85.14	85.25	
自然、市场 与社会环境		水稀缺度	<i>Rare</i>	—	2.72	2.42
		灌溉水价	<i>Wprice</i>	元/度	0.65	0.67
		蔬菜价格	<i>P</i>	元/kg	0.83	0.67
	受政府补贴农户比例	<i>Sub</i>	%	3.61	6.80	
	产业集聚程度	<i>Agg</i>	%	41.60	37.71	

注:本文对灌溉水量的测算主要参考王晓东等<sup>[49]</sup>、李娜<sup>[50]</sup>、沈波等<sup>[51]</sup>的研究,限于篇幅,不再赘述。

优势则在于种植经验更丰富,在户主性别比例、受教育年限、水资源信息技术来源、家庭劳动力数、对新技术的风险态度以及专业化程度上,两组农户差别并不显著,总体而言,滴灌组农户从特征上来看是当前的“中坚农户”。从自然、市场与社会环境来看,滴灌组所在区域比非滴灌组所在区域水稀缺程度略微严重,但都处于一般水平。滴灌组与非滴灌组农户均面临着较低的水价,但滴灌组由于蔬菜品质更好而获得更高的市场价格,此外,滴灌组农户所在区域蔬菜生产集聚程度较高,各个生产主体之间可能有着更复杂的社会关系。值得注意的是,对于非滴灌组中的部分农户,尽管政府提供了滴灌设备支持,仍弃之不用,这主要是受到设备不配套、操

作繁琐等因素的影响。

## 4 结果与分析

### 4.1 政府与农户目标一致性检验结果

表3汇报了基于CMP方法对方程组(5)进行回归的参数估计结果,并与通过最小二乘方法(Ordinary Least Squares, OLS)获得的结果进行对照。总体来看,基于两种方法获得的参数估计结果在方向与显著性上较为相似。但是,CMP方法由于具有有效解决多个方程之间关联性问题、提高联合估计方程效率的优势,在结果上更加稳健。基于此,本文主要对运用CMP方法获得的参数估计结果进行分析。

通过农户滴灌技术采用影响因素方程可知,当

2019年8月

表3 基于CMP/OLS方法的联立方程组参数估计结果

Table 3 Parameter estimation results of simultaneous equations based on conditional mixed process (CMP) / ordinary least squares (OLS) method

方程名称	变量名称	CMP方法		OLS方法	
		回归系数	标准误	回归系数	标准误
农户滴灌技术	<i>Rare</i>	0.095*	0.049	0.097**	0.049
采用方程	<i>Gen</i>	0.157	0.256	0.146	0.257
(1)	<i>Age</i>	0.002	0.009	0.002	0.009
	<i>Vyear</i>	-0.015*	0.009	-0.015*	0.009
	<i>Edu</i>	-0.006	0.032	-0.007	0.032
	<i>Ati</i>	0.071	0.091	0.055	0.096
	<i>Know</i>	0.209***	0.068	0.198***	0.071
	<i>Chan</i>	0.011	0.162	0.024	0.170
	<i>Lab</i>	-0.011	0.107	0.001	0.112
	<i>Tinc</i>	3.68E-06**	1.65E-06	4.21E-06**	1.68E-06
	<i>Num</i>	-0.063*	0.037	-0.072*	0.038
	<i>Sub</i>	-0.442	0.315	-0.333	0.323
	<i>Agg</i>	0.004	0.003	0.004	0.003
	<i>_cons</i>	-1.463**	0.741	-1.502**	0.745
灌溉水	<i>Drip</i>	17.158*	9.701	16.188***	5.335
生产率方程	<i>Rare</i>	1.685	2.058	2.962	1.879
(2)	<i>Gen</i>	11.339	10.011	11.790	9.920
	<i>Age</i>	-0.287	0.335	-0.323	0.328
	<i>Vyear</i>	0.036	0.419	-0.092	0.324
	<i>Edu</i>	1.444	1.221	1.184	1.203
	<i>Comm</i>	5.142**	2.142	5.261***	2.044
	<i>Fer</i>	-0.002*	0.001	-0.002*	0.001
	<i>Ofer</i>	0.0002	0.002	0.0005	0.002
	<i>Spe</i>	27.218**	12.890	21.548*	13.002
	<i>_cons</i>	-12.053	25.602	-15.859	25.698
灌溉水	<i>WP</i>	2.675***	0.346	2.466***	0.083
净收益方程	<i>P</i>	73.834***	6.440	74.411***	6.479
(3)	<i>Wprice</i>	-30.690***	9.000	-30.494***	9.104
	<i>Seed</i>	1.671***	0.272	1.691***	0.274
	<i>Tfer</i>	-0.103	0.249	-0.132	0.246
	<i>Nm</i>	-3.915***	0.708	-3.892***	0.715
	<i>Pes</i>	-0.019	0.105	-0.024	0.106
	<i>_cons</i>	-54.048***	14.930	-47.049***	8.778
独立性检验	<i>/atanrho_12</i>	-0.167	0.212		
	<i>/atanrho_13</i>	0.011	0.096		
	<i>/atanrho_23</i>	-0.188	0.275		

注:\*\*\*、\*\*、\*分别代表在1%、5%和10%的水平下显著,下表同。

地水资源稀缺程度在10%的显著性水平上正向作用于农户滴灌技术采用概率,与许朗等<sup>[34]</sup>、乔丹等<sup>[35]</sup>、王格玲等<sup>[36]</sup>的研究一致。水资源稀缺将增加农户生产过程中的约束,农户有动机通过滴灌技术减少灌

溉水的无效消耗、提高灌溉水利用率以保障生产顺利进行。户主对滴灌技术的了解程度在1%的显著性水平上正向作用于其滴灌技术采用概率。在调研过程中,农民普遍反映滴灌技术存在水肥配比失



调、设备控制不畅以及技术指导薄弱等问题,同时滴灌设备亦对当地自然条件(如温度等)比较敏感,使经济实力弱、管理能力与知识水平有限的农户不敢轻易尝试。因此,提高农户对滴灌技术的了解程度有利于增加其滴灌技术采用概率。家庭年农业收入在5%的显著性水平上正向作用于农户滴灌技术采用概率,符合本文预期,但影响幅度微弱,可能的原因是:一方面,滴灌设备一次性投入费用较高导致农户家庭收入的增加对其购买能力的影响有限;另一方面,滴灌设备的获得渠道有限,从国内市场来看,中国滴灌设备研发机构不多、产品品种少、系列配套化水平低,导致可供选择的余地不大<sup>[13]</sup>,削弱了农户家庭收入对滴灌技术采用的影响程度。户主种植经验则在10%的显著水平上负向作用于农户滴灌技术采用概率,一般而言,户主种植经验越丰富,对当地自然条件的了解与适应程度越强,资源配置优势越突出,生产效率越高,因而抑制了其采取如滴灌等复杂的节水技术的动力。值得关注的是,政府补贴对农户滴灌技术采用的影响并不显著,结合表2的分析,表明政府有必要因地制宜地推广符合农户需要的技术并进行跟进,以防出现技术用不上、用不好、浪费公共资源等问题,同时,中国滴灌技术采用效果与国外相比存在一定的差距,意味着政府与市场功能的发挥尚有很大空间。产业集聚程度对农户滴灌技术采用也不产生显著影响。诚如前文所述,共享水资源的主体之间存在着密不可分的利益关系,特别是在专业村社会人际关系复杂的背景下,农户会感知到集体需求与个人需求之间的关系而有意识地调整灌溉水量,但是,农户的感知存在“近邻”的遵从效应<sup>[52]</sup>,即附近采用滴灌技术的人越多,农户采用该技术的可能性越大,而在村庄中,农户采用滴灌技术的比例有限,因此,推广滴灌技术还要进一步激发示范户的带动作用。

通过灌溉水生产率影响因素方程可知,在控制其他要素的影响下,关键变量滴灌技术通过了5%的显著性水平检验,农户采用滴灌技术会提高单位灌溉水蔬菜产出17.16 kg/t,表现出明显的资源效应。农户间技术交流频率在5%的显著性水平上正向作用于灌溉水生产率,经验交流将促进农户更好

地掌握蔬菜生产相关技术,有利于提高劳作效率,带来灌溉水生产率的提高。化肥施用通过了10%的显著性水平检验,并负向作用于灌溉水生产率,符合本文预期。相关研究表明,当前中国化肥实际施用量已经超过了经济意义上<sup>[53]</sup>与技术意义上<sup>[54]</sup>的最优施用量,水肥配比失衡,借鉴中国粮食产业的化肥施用的水环境安全阈值223 kg/hm<sup>2</sup>可知<sup>[55]</sup>,由于化肥的相对过量施用,不仅对生态环境造成了恶性影响,更会降低灌溉水生产率,不利于主产地蔬菜可持续生产。农户的专业化生产在5%的显著性水平上促进灌溉水生产率的提高,主要是从充分发掘产地资源禀赋优势、拥有专业基础设施以及实行标准化生产等方面提高生产效率,从而促进灌溉水生产率的提高。

结合灌溉水生产率影响因素方程中滴灌技术采用变量与灌溉水净收益影响因素方程中灌溉水生产率变量的参数估计结果进行测算,得到滴灌技术采用的经济效应:采用滴灌技术将增加农户单位灌溉水收益45.90元/t,验证了滴灌技术本身具有内生长效采用机制。具体分析灌溉水净收益影响因素方程可知,灌溉水生产率、蔬菜价格、种苗投入均通过了1%水平的显著性检验,并正向作用于灌溉水净收益,而其他要素成本的增加,如灌溉水价提高、农膜投入增加则在1%的显著性水平上负向作用于灌溉水净收益。其中,蔬菜价格仍是影响农民收入的最根本因素,稳定农户价格预期对于保障农户日常生活、引导农户生产行为具有重要意义。优质种苗也是提高农户灌溉水净收益的重要影响因素,优质品种在产量、品质以及生育期等方面部分或全部对蔬菜生产造成影响,影响农民蔬菜产量与收入。此外,灌溉水价的适当提高,即将水资源稀缺压力“转化到”农民身上,将有助于加快田间节水技术(如滴灌技术)的推广<sup>[9]</sup>,而滴灌技术一定程度上会在提高蔬菜的综合品质的同时使产量处于较高水平<sup>[56]</sup>,如果市场能够实现优质优价,将有利于实现农户收益增加。

#### 4.2 政府与农户目标一致性的稳健性检验结果

运用能够纠正样本自选择问题的PSM方法,图1显示了以核匹配法匹配前后的滴管组与非滴管组

2019年8月

农户倾向得分的共同取值范围,匹配范围越大意味着采用滴灌技术与未采用滴灌技术农户的倾向得分取值范围有相同的部分越多,越能提高匹配质量。可以直观地看出,大多数观测值均在共同取值范围内(Common Support),故在进行倾向得分匹配时仅损失少量样本,估计结果具有可信度。此外,经过平衡性检验,大多数协变量的标准化偏差缩小,较好地平衡了数据。

由表4可知,滴灌技术采用的灌溉水生产率ATT估计值(资源效应)为19.846,通过了1%水平的显著性检验,表明滴灌技术采用会使单位灌溉水多产出19.846 kg蔬菜。滴灌技术采用的灌溉水净收益ATT估计值(经济效应)为59.128,通过了1%水平的显著性检验,表明滴灌技术采用会使单位灌溉水多收益59.128元/t。两者结果与CMP方法的结果接

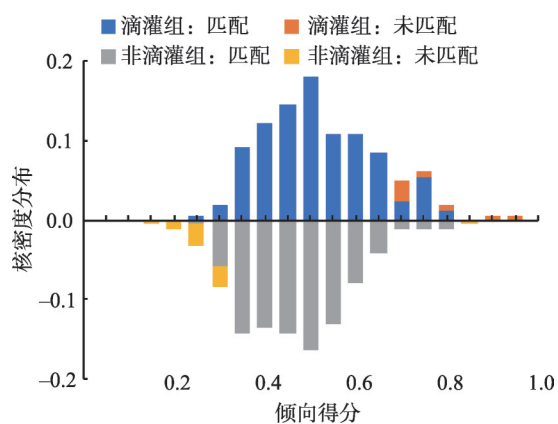


图1 倾向得分的共同取值范围

Figure 1 Common support of propensity scores

近,表明基于PSM的稳健性检验支持了滴灌技术兼顾政府与农民目标的结论。

#### 4.3 政府与农户目标一致性的异质性检验结果

表5展示了基于IVQR方法对滴灌技术对农户灌溉水生产率与灌溉水净收益异质性影响的结果,分别取25%、50%、75%分位点进行考察可知,滴灌技术对农户灌溉水生产率与灌溉水净收益的影响存在“马太效应”,即对于灌溉水生产率有优势的农户而言,其采用滴灌技术会进一步促进其灌溉水生产率的提高,并且提高的幅度更大,继而使收益增加明显。这是由于农户家庭间在资源禀赋、资本存量、文化素质、技术水平、社会关系等方面的差异导致了其灌溉水配置能力原本便存在着差别,而本身具有优势的农户在采用滴灌技术后,由于在经济基础、技术掌握方面更有优势,因此能更充分地发挥滴灌技术的功效,使灌溉水生产率进一步提高。这意味着,低灌溉水生产率农户是实现蔬菜产地节水、增效、增收的重点帮扶对象,政府有必要制定多元化节水技术配套推广服务。

值得注意的是,对节水技术的推广不仅体现在农户技术采用率的提高,还表现在长期使用率和实际效果的提高。既有关于滴灌技术对单位灌溉水果类蔬菜产出影响的实验研究中,滴灌较之于漫灌单位灌溉水产量要高出数倍<sup>[57-60]</sup>,但是,在现实市场环境与生产过程中,滴灌技术优势发挥障碍重重:一方面,在滴灌技术供给层面,存在灌溉制度设计

表4 基于PSM方法的滴灌技术处理效应结果

Table 4 Treatment effect of drip irrigation based on propensity score matching (PSM) method

变量名称	处理类型	滴灌组	非滴灌组	差值	标准误
灌溉水生产率	Unmatched	45.002	27.205	17.797***	5.336
	ATT	45.580	25.734	19.846***	6.129
灌溉水净收益	Unmatched	94.890	39.532	55.358***	14.363
	ATT	97.420	38.292	59.128***	16.412

表5 滴灌技术产出与经济效应的分位数检验

Table 5 Output and economic impacts of drip irrigation technique tested by the instrumental variable quantile regression (IVQR) method

变量名称	25%分位点		50%分位点		75%分位点	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
灌溉水生产率	12.373**	6.216	16.384**	6.492	66.522***	24.870
灌溉水净收益	22.270***	1.084	33.541***	1.777***	182.578***	5.876

不健全,因地、因作物品种适宜性弱,滴灌设备特别是关键设备如首部枢纽、自动控制设备设计不合理、生产质量参差不齐,辅助设备如滴灌带质量差,实际安装勘察不到位、工程质量不达标,对农户的技术培训和售后服务与评估缺乏等问题;另一方面,在农户对滴灌技术应用层面,大部分农户缺乏专业知识、凭经验操作设备,与先进的农艺、农机技术结合不紧密,缺乏对设备的保养意识与能力,与现代农业如计算机对接不足,不合理使用滴灌肥、水肥配比不适当<sup>[7,8,61,62]</sup>;此外,政府层面也存在着补贴不科学、不到位等问题<sup>[63]</sup>。

在本文中,滴灌对单位灌溉水的增产功效仅为70%左右,与实验研究结论存在一定差距,这也是抑制农户滴灌技术长期持续采用积极性的重要原因。究其根本,调研样本中反映滴灌技术应用过程中存在问题的占79.50%,其中水压不够占22.64%,化肥无法溶解占16.36%,冬天水温太低占3.14%,无法做到定时定量占1.89%,其他占55.97%(主要集中在设备易损坏、移动不便),导致农户对滴灌技术采用存在畏难情绪,对滴灌技术的节水、增效、增收的优势感知不明显,节水技术推广将是一项长期性、现实性的问题。由此观之,滴灌技术有效推广中,技术指导、因地制宜、设备优质与售后服务是重要的影响因素。

## 5 结论与政策启示

### 5.1 结论

本文基于2017年对灌溉水资源紧缺的环渤海设施蔬菜主产地中北京、河北、辽宁3省市蔬菜专业村的357个蔬菜种植户调研数据,运用联立方程组模型及CMP、PSM与IVQR方法,对滴灌技术的资源与经济效应进行考察,探索滴灌技术的增效增收能力与滴灌技术推广前景,以实现协调政府与农民关于增效与增收目标,促进农户采用,并持续采用滴灌技术,主要研究结论概括如下:

(1)在水资源稀缺程度较高的蔬菜主产地,种植经验较浅,但家庭资本充裕且对节水知识了解程度更高的蔬菜种植户更倾向于采用滴灌技术。

(2)调研数据表明,滴灌组每千克蔬菜产出耗水0.022 t,而非滴灌组每千克蔬菜产出耗水0.037 t,

同时,滴灌组单位灌溉水净利润比非滴灌组高55.36元/t,增效增收作用明显。而综合控制相关变量影响,基于计量方法的回归估计结果表明,蔬菜种植户采用滴灌技术将提高单位灌溉水产出17.16 kg/t蔬菜(资源效应),增加产值45.90元/t(经济效应),为稳定产品供给、保障农民收入作出重要贡献,是符合政府与农民增收增收双重目标的重要手段,具有自我推广的内生动力。

(3)滴灌技术的资源及经济效应存在“马太效应”,对于具有比较优势的高灌溉水生产率农户而言,滴灌技术的增效、增收幅度更加明显。同时,在现行市场与生产环境下,在滴灌技术供给层面的灌溉制度设计不健全、设备工程设计与质量较差、培训与售后服务不足,在滴灌技术应用层面的缺乏专业知识与技术、与现代农业对接能力弱,以及政府层面的补贴不够科学、到位等问题,是抑制滴灌技术增效增收优势发挥的主要障碍,这严重影响了农户采用滴灌技术的积极性

(4)蔬菜价格、优质种苗投入显著正向影响农户单位灌溉水净收益。此外灌溉水价的适当提高,即将水资源稀缺压力“转化到”农民身上,则将有助于加快田间节水技术的推广。

### 5.2 政策启示

围绕促进滴灌的资源与经济效应发挥,可以提出以下几点启示:

(1)继续推动滴灌技术推广体系的建设与完善。滴灌技术在农户的实际应用过程中与实验研究的效果存在较大差距,这与政府、研发机构、企业、农户等各个层面都有密不可分的关系,因此,不仅要在事前,充分激发政府与企业等多元社会主体对滴灌的技术研发、标准设计、产品生产与技术推广各个环节参与的积极性、树立责任感,更要在事后,强化滴灌技术推广服务队的指导能力、提高售后服务水平、拓宽农户获取水资源知识的渠道,以有针对性地解决农民在滴灌技术采用过程中存在的各种问题,特别是增强对低用水效率农户的支持与服务,促进滴灌等节水技术增效、增收优势的发挥。

(2)针对蔬菜主产地专业村农户,政府应因地制宜地展开滴灌技术补贴。主要是通过降低农户



2019年8月

滴灌技术采用的经济约束,满足农户对滴灌技术的需求,以防出现技术用不上、用不好、浪费公共资源等问题。同时,推动主产地农户规模化经营,提高滴灌的规模经济,并充分发挥示范户的带动作用。

(3)动态监管蔬菜主产地的产品和水资源价格。当出现异常的蔬菜价格波动时,应及时掌握主产地蔬菜供求变化情况,以期调节价格波动的频率和幅度在合理范围,稳定生产者预期,保障蔬菜供给与农民生活。另一方面,合理调整农用水价,改善水资源配置水平,提高用水效率,推动水资源可持续利用。

### 参考文献(References):

- [1] 《中国水利年鉴》编纂委员会. 中国水利年鉴[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2018. [Codification Committee of "Yearbook of China Water Resources". Yearbook of China Water Resources[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2018.]
- [2] 中华人民共和国水利部. 2011年中国水资源公报[EB/OL]. (2011-12-31) [2018-05-28]. [http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/201612/t20161222\\_776051.html](http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/201612/t20161222_776051.html). [Ministry of Water Resources the People's Republic of China. China Water Resources Bulletin [EB/OL]. (2011-12-31) [2018-05-28]. [http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/201612/t20161222\\_776051.html](http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/201612/t20161222_776051.html).]
- [3] 农业部, 国家发展改革委, 科技部, 等. 全国农业可持续发展规划(2015-2030年)[EB/OL]. (2015-05-28) [2018-05-28]. [http://jiuban.moa.gov.cn/sjzz/jgs/cfc/yw/201505/t20150528\\_4620635.htm](http://jiuban.moa.gov.cn/sjzz/jgs/cfc/yw/201505/t20150528_4620635.htm). [Ministry of Agriculture, National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology, et al. National Plan for Sustainable Agricultural Development from 2015 to 2030 [EB/OL]. (2015-05-28) [2018-05-28]. [http://jiuban.moa.gov.cn/sjzz/jgs/cfc/yw/201505/t20150528\\_4620635.htm](http://jiuban.moa.gov.cn/sjzz/jgs/cfc/yw/201505/t20150528_4620635.htm).]
- [4] 国务院办公厅. 国家农业节水纲要(2012-2020年)[EB/OL]. (2012-11-26) [2018-05-28]. <http://www.jsgg.com.cn/Index/Display.asp?NewsID=16824>. [General Office of the State Council. National Outline for Agricultural Water Saving from 2012 to 2020 [EB/OL]. (2012-11-26) [2018-05-28]. <http://www.jsgg.com.cn/Index/Display.asp?NewsID=16824>.]
- [5] 中国灌溉排水发展中心. 全国节水灌溉规划[EB/OL]. (2009-09-22) [2018-05-28]. <http://www.jsgg.com.cn/Index/Display.asp?NewsID=12193>. [China Irrigation and Drainage Development Center. National Plan of Water Saving Irrigation [EB/OL]. (2009-09-22) [2018-05-28]. <http://www.jsgg.com.cn/Index/Display.asp?NewsID=12193>.]
- [6] 吴舒, 穆月英. 蔬菜产业集聚与产业成长的区域差异性研究: 基于PVAR模型[J]. 哈尔滨工业大学学报(社会科学版), 2016, 18(2): 133-140. [Wu S, Mu Y Y. Vegetable industrial agglomeration and industrial growth with regional comparison: Based on PVAR model[J]. Journal of Harbin Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2016, 18(2): 133-140.]
- [7] 国家发展改革委, 农业部. 全国蔬菜产业发展规划(2011-2020年)[EB/OL]. (2012-02-27) [2018-05-28]. [http://www.gov.cn/zw-gk/2012-02/27/content\\_2077494.htm](http://www.gov.cn/zw-gk/2012-02/27/content_2077494.htm). [National Development and Reform Commission, Ministry of Agriculture. National Vegetable Industry Development Plan from 2011 to 2020 [EB/OL]. (2012-02-27) [2018-05-28]. [http://www.gov.cn/zw-gk/2012-02/27/content\\_2077494.htm](http://www.gov.cn/zw-gk/2012-02/27/content_2077494.htm).]
- [8] 梁书民, 于智媛. 我国水资源的农业开发潜力评价及对策[J]. 农业经济问题, 2016, 37(9): 61-70. [Liang S M, Yu Z Y. The evaluation of the development potential of agricultural land and water resources in China and countermeasures[J]. Issues in Agricultural Economy, 2016, 37(9): 61-70.]
- [9] 刘红梅, 王克强, 黄智俊. 影响中国农户采用节水灌溉技术行为的因素分析[J]. 中国农村经济, 2008, (4): 44-54. [Liu H M, Wang K Q, Huang Z J. Demonstration research on peasant's learning the skill of water saving irrigation in China[J]. Chinese Rural Economy, 2008, (4): 44-54.]
- [10] 贺志武, 胡伦, 陆迁. 农户风险偏好、风险认知对节水灌溉技术采用意愿的影响[J]. 资源科学, 2018, 40(4): 797-808. [He Z W, Hu L, Lu Q. Influence of farmer's risk preference and risk perception on water-saving irrigation technology adoption[J]. Resources Science, 2018, 40(4): 797-808.]
- [11] 黄腾, 赵佳佳, 魏娟, 等. 节水灌溉技术认知、采用强度与收入效应: 基于甘肃省微观农户数据的实证分析[J]. 资源科学, 2018, 40(2): 347-358. [Huang T, Zhao J J, Wei J, et al. Cognition of irrigation water-saving techniques, adoption intensity and income effects in Gansu, China[J]. Resources Science, 2018, 40(2): 347-358.]
- [12] 薛彩霞, 黄玉祥, 韩文霆. 政府补贴、采用效果对农户节水灌溉技术持续采用行为的影响研究[J]. 资源科学, 2018, 40(7): 1418-1428. [Xue C X, Huang Y X, Han W T. Influence of government subsidies and adoption effect on continuous adoption behavior of water-saving irrigation technology by farmers[J]. Resources Science, 2018, 40(7): 1418-1428.]
- [13] 吴洪忠, 何月红. 枸杞节水滴灌过程中存在的问题及建议[J]. 乡村科技, 2016, (8): 75-75. [Wu H Z, He Y H. Problems and suggestions in water-saving drip irrigation of lycium[J]. Rural Technology, 2016, (8): 75-75.]
- [14] 尹飞虎. 节水农业及滴灌水肥一体化技术的发展现状及应用前景[J]. 中国农垦, 2018, (6): 30-32. [Yin F H. Development status

- and application prospect of water-saving agriculture and drip irrigation-fertilizer integration technology[J]. *China State Farm*, 2018, (6): 30-32.]
- [15] 康跃虎. 加快微灌技术推广应用和健康发展的对策和建议[J]. *科技促进发展*, 2012, (1): 31-39. [Kang Y H. Strategies and suggestions for accelerating healthy development of micro-irrigation techniques[J]. *Science & Technology for Development*, 2012, (1): 31-39.]
- [16] 牛坤玉, 吴健. 农业灌溉水价对农户用水量影响的经济分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(9): 59-64. [Niu K Y, Wu J. Economic analysis of impact of irrigation water price on farmers' water-using consumption[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(9): 59-64.]
- [17] Luquet D, Vidal A, Smith M, et al. 'More crop per drop': How to make it acceptable for farmers?[J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 76(2): 108-119.
- [18] 金雪, 韩晓燕, 吕杰. 节水灌溉产量贡献及要素利用效率研究[J]. *农业技术经济*, 2017, (5): 37-45. [Jin X, Han X Y, Lv J. Research on contribution of water saving irrigation production and factor utilization efficiency[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2017, (5): 37-45.]
- [19] 刘双双, 韩凤鸣, 蔡安宁, 等. 区域差异下农业用水效率对农业用水量的影响[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(12): 2099-2110. [Liu S S, Han F M, Cai A N, et al. Influence of agricultural water use efficiency on agricultural water consumption in consideration of regional differences[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(12): 2099-2110.]
- [20] 魏永霞, 马瑛瑛, 刘慧, 等. 调亏灌溉下滴灌玉米植株与土壤水分及节水增产效应[J]. *农业机械学报*, 2018, 49(3): 252-260. [Wei Y X, Ma Y Y, Liu H, et al. Effects of soil water, plant, water saving and yield increasing of maize under regulated deficit drip irrigation[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018, 49(3): 252-260.]
- [21] 耿献辉, 张晓恒, 宋玉兰. 农业灌溉水效率及其影响因素实证分析: 基于随机前沿生产函数和新疆棉农调研数据[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(6): 934-943. [Geng X H, Zhang X H, Song Y L. Measurement of irrigation water efficiency and analysis of influential factors: An empirical study based on stochastic production frontier and cotton farmers' data in Xinjiang[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(6): 934-943.]
- [22] 任丽丽, 高立英, 蒋宏飞. 滴灌技术推广的经济效益及可持续性因素: 以中德合作“中国华北地区集约化农业环境战略项目”为例[J]. *农村经济*, 2007, (12): 90-93. [Ren L L, Gao L Y, Jiang H F. The economic benefits and sustainable factors of drip irrigation technology promotion: Taking Sino-German cooperation as an example "intensive agricultural environment strategy in north China"[J]. *Rural Economy*, 2007, (12): 90-93.]
- [23] 黄昌硕, 耿雷华, 陈晓燕. 农业用水效率影响因素及机理分析[J]. *长江科学院院报*, 2018, 35(1): 82-85. [Huang C S, Geng L H, Chen X Y. Influential factors and mechanism of agricultural water use efficiency[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2018, 35(1): 82-85.]
- [24] 翁贞林. 农户理论与应用研究进展与述评[J]. *农业经济问题*, 2008, (8): 93-100. [Weng Z L. Progress of the rural household theory and application research and review[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2008, (8): 93-100.]
- [25] Molden D, Oweis T, Steduto P, et al. Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 528-535.
- [26] 王欢, 穆月英. 基于农户视角的我国蔬菜生产资源配置评价: 兼对三阶段DEA模型的修正[J]. *中国农业大学学报*, 2014, 19(6): 221-231. [Wang H, Mu Y Y. Study on vegetable production resource allocation in China based on micro-perspective of farmers: With modification of three-stage DEA model[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2014, 19(6): 221-231.]
- [27] 陈美球, 袁东波, 邝佛缘, 等. 农户分化、代际差异对生态耕种采纳度的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(2): 79-86. [Chen M Q, Yuan D B, Kuang F Y, et al. Household differentiation, generational difference and ecological farming adoption[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(2): 79-86.]
- [28] 何学松, 孔荣. 互联网使用、市场意识与农民收入: 来自陕西908户农户调查的经验证据[J]. *干旱区资源与环境*, 2019, 33(4): 55-60. [He X S, Kong R. Internet usage, market awareness and farmer's income: Evidence from 908 rural household questionnaires in Shaanxi Province[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, 33(4): 55-60.]
- [29] Foster A D, Rosenzweig M R. Microeconomics of technology adoption[J]. *Annual Review of Economics*, 2010, 2: 395-424.
- [30] Bandiera O, Rasul I. Social networks and technology adoption in northern Mozambique[J]. *Economic Journal*, 2006, 116(514): 869-902.
- [31] 刘可, 齐振宏, 黄炜虹, 等. 资本禀赋异质性对农户生态生产行为的影响研究: 基于水平和结构的双重视角分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(2): 87-96. [Liu K, Qi Z H, Huang W H, et al. Research on the influence of capital endowment heterogeneity on farmers' ecological production: Analysis from horizontal and structural perspectives[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(2): 87-96.]
- [32] 张宪法, 于贤昌, 张凌云, 等. 水分对蔬菜生长动态和生理活动

2019年8月

- 的影响[J]. 中国蔬菜, 2000, (4): 51-53. [Zhang X F, Yu X C, Zhang L Y, et al. Effect of water on growth dynamics and physiological activities of vegetables[J]. China Vegetables, 2000, (4): 51-53.]
- [33] Twomlow S, Riches C, O'Neill D, et al. Sustainable dryland smallholder farming in Sub-Saharan Africa[J]. Annals of Arid Zone, 1999, 38(2): 93-135.
- [34] 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. [Xu L, Liu J J. Study on influencing factors of farmers choice behavior for water-saving irrigation techniques: Based on survey data from Mengyin, Shandong Province[J]. China Rural Survey, 2013, (6): 45-51.]
- [35] 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].
- [36] 王格玲, 陆迁. 社会网络影响农户技术采用倒U型关系的检验: 以甘肃省民勤县节水灌溉技术采用为例[J]. 农业技术经济, 2015, (10): 92-106. [Wang G L, Lu Q. Social network influences utilizing inverted U-shaped relationships for farmers' technology: A case study of water-saving irrigation technology in Minqin County, Gansu Province[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2015, (10): 92-106.]
- [37] 速水佑次郎, 弗农·拉坦. 农业发展的国际分析[M]. 郭熙保, 张进铭, 译. 北京: 中国社会科学出版社, 2000. [Hayami Y, Ruttan V W. Agricultural Development: An International Perspective[M]. Guo X B, Zhang J M, Tran.. Beijing: China Social Sciences Publishing House, 2000.]
- [38] 王昕, 陆迁. 水资源稀缺性感知影响农户地下水利用效率的路径分析: 基于华北井灌区1168份调查数据的实证[J]. 资源科学, 2019, 41(1): 87-97. [Wang X, Lu Q. Path characterization of water resources scarcity perception's effects on farmers' groundwater usage efficiency: Empirical study based on 1168 survey data of well-irrigated district in North China[J]. Resources Science, 2019, 41(1): 87-97.]
- [39] 赵佳佳, 刘天军, 魏娟. 风险态度影响苹果安全生产行为吗: 基于苹果主产区的农户实验数据[J]. 农业技术经济, 2017, (4): 95-105. [Zhao J J, Liu T J, Wei J. Do risk attitudes affect apple's safe production practices: Based on farmers' experimental data in major apple production areas[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2017, (4): 95-105.]
- [40] 胡伦, 陆迁. 干旱风险冲击下节水灌溉技术采用的减贫效应: 以甘肃省张掖市为例[J]. 资源科学, 2018, 40(2): 417-426. [Hu L, Lu Q. Poverty reduction effects of water-saving irrigation technology adoption under drought risk in Zhangye, Gansu[J]. Resources Science, 2018, 40(2): 417-426.]
- [41] 韩一军, 李雪, 付文阁. 麦农采用农业节水技术的影响因素分析: 基于北方干旱缺水地区的调查[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2015, 15(4): 62-69. [Han Y J, Li X, Fu W G. Influencing factors on water-saving technologies adoption by wheat producers based on an investigation in water shortage areas of northern China[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Services Edition), 2015, 15(4): 62-69.]
- [42] Geerts S, Raes D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(9): 1275-1284.
- [43] Roodman D. Fitting fully observed recursive mixed-process model with CMP[J]. The Stata Journal, 2011, 11(2): 159-206.
- [44] Koenker R, Bassett G. Regression quantiles[J]. Econometrica, 1978, 46(1):33-50.
- [45] Chernozhukov V, Hansen C. The effects of 401(K) participation on the wealth distribution: An Instrumental quantile regression analysis[J]. Review of Economics & Statistics, 2004, 86(3): 735-751.
- [46] 国家统计局, 生态环境部. 中国环境统计年鉴(2017)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018. [National Bureau of Statistics, Ministry of Ecology and Environment. China Statistical Yearbook on Environment[M]. Beijing: China statistics Press, 2018.]
- [47] 《中国金融年鉴》编辑部. 中国金融年鉴(2017)[M]. 北京: 中国金融出版社, 2018. [Almanac of China's Finance and Banking Editorial Office. Almanac of China's Finance and Banking Yearbook [M]. Beijing: China Financial Publishing House, 2018.]
- [48] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计摘要[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018. [National Bureau of Statistics. A Statistical Survey of China[M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.]
- [49] 王晓东, 薛伟, 马长明, 等. 基于农业灌溉用水量计量的水电转换系数研究[J]. 北京水务, 2014, (6): 26-29. [Wang X D, Xue W, Ma C M, et al. Study on water-electricity conversion coefficient based on agricultural irrigation water metering[J]. Beijing Water, 2014, (6): 26-29.]
- [50] 李娜. 关于农业灌溉用水量计量方法的探讨[J]. 水科学与工程技 术, 2014, (6): 69-71. [Li N. Research on water measurement in agricultural irrigation[J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2014, (6): 69-71.]
- [51] 沈波, 吉庆丰, 张玉建, 等. 农业灌溉用水量计量方法研究[J]. 江苏水利, 2017, (4): 13-17. [Shen B, Ji Q F, Zhang Y J, et al. Study on measurement method of agricultural irrigation water[J]. Jiangsu Water Resources, 2017, (4): 13-17.]
- [52] 郭格, 陆迁. 基于TAM的内在感知对影响农户不同节水灌溉技术采用的研究: 以甘肃张掖市为例[J]. 中国农业资源与区划,



- 2018, 39(7): 129–136. [Guo G, Lu Q. The effect of tam-based inner perception on farmers' different water-saving irrigation techniques adoption: A case study in Zhangye, Gansu[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(7): 129–136.]
- [53] 刘成, 杨雪, 周晓时, 等. 中国化肥投入对油菜成本效率的影响[J]. 资源科学, 2018, 40(12): 2487–2495. [Liu C, Yang X, Zhou X S, et al. Impact of fertilizer input on cost efficiency of rapeseed in China[J]. Resources Science, 2018, 40(12): 2487–2495.]
- [54] 张灿强, 王莉, 华春林, 等. 中国主要粮食生产的化肥削减潜力及其碳减排效应[J]. 资源科学, 2016, 38(4): 790–797. [Zhang C Q, Wang L, Hua C L, et al. Potentialities of fertilizer reduction for grain produce and effects on carbon emissions[J]. Resources Science, 2016, 38(4): 790–797.]
- [55] 王奇, 詹贤达, 王会. 我国粮食安全与水环境安全之间的关系初探: 基于粮食产量与化肥施用的定量关系[J]. 中国农业资源与区划, 2013, 34(1): 81–86. [Wang Q, Zhan X D, Wang H. The relationship between food and water environment security in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2013, 34(1): 81–86.]
- [56] 李波, 邢经伟, 姚名泽, 等. 深埋秸秆量和滴灌量对温室番茄品质、产量及IWUE的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2019, 50(1): 51–59. [Li B, Xing J W, Yao M Z, et al. Effects of the amounts of deep-buried straw and drip irrigation on quality, yield and IWUE of tomato in greenhouse[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2019, 50(1): 51–59.]
- [57] 刘明池, 刘向莉. 不同灌溉方式对番茄生长和产量的影响[J]. 华北农学报, 2005, 20(1): 93–95. [Liu M C, Liu X L. Effect of different irrigation methods on plant growth and yield of tomato[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2005, 20(1): 93–95.]
- [58] 李晶晶, 王铁良, 李波, 等. 不同灌溉方式对日光温室青椒生长及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(1): 110–112. [Li J J, Wang T L, Li B, et al. Effect of different irrigation methods on plant growth of pepper in greenhouse[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(1): 110–112.]
- [59] 杜社妮, 白岗栓, 梁银丽. 灌溉方式对黄瓜生长、产量及水分利用效率的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2010, 36(4): 433–439. [Du S N, Bai G S, Liang Y L. Effects of irrigation methods on cucumber growth yield and water use efficiency[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences), 2010, 36(4): 433–439.]
- [60] 周永香, 崔永恒. 不同灌溉方式对日光温室茄子产量的影响[J]. 蔬菜, 2012, (7): 60–61. [Zhou Y X, Cui Y H. Effects of different irrigation methods on eggplant yield in sunlight greenhouse[J]. Vegetables, 2012, (7): 60–61.]
- [61] 刘莉, 琪琪格, 李勇. 新疆地区滴灌水肥一体化应用推广的影响因素研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(17): 190–192. [Liu L, Qi Q G, Li Y. Study on factors affecting the application of drip irrigation water and fertilizer integration in Xinjiang area[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(17): 190–192.]
- [62] 马楠. 农田水利滴灌技术的应用与实施要点[J]. 南方农业, 2018, 12(3): 143–145. [Ma N. Application and implementing points of drip irrigation technology for farmland water conservancy [J]. South China Agricultural, 2018, 12(3): 143–145.]
- [63] 徐涛, 赵敏娟, 乔丹, 等. 农户偏好与“两型技术”补贴政策设计[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2018, 18(4): 109–118. [Xu T, Zhao M J, Qiao D, et al. Subsidy policy design of two oriented technology based on farmer households' preference[J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2018, 18(4): 109–118.]

# Resource and economic effects of drip irrigation in the Bohai Rim area: Consistency of goals of the government and farmers

ZHANG Zhexi<sup>1,2</sup>, MU Yueying<sup>1</sup>, HOU Lingling<sup>3</sup>, YANG Xin<sup>1</sup>

(1. College of Economics and Management of China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Research Center for Rural Economy, Beijing 100810, China; 3. School of Advanced Agricultural Sciences of Peking University, China Center for Agricultural Policy, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Water resources are an important factor that affects rural social and economic development and farmers' income. This study starts from the goal of coordinating the government and farmers on efficiency and income, based on the survey data of 357 vegetable growers of the main vegetable production area in the Bohai Rim in 2017, applied the simultaneous equations model (SEM), conditional mixture process (CMP), propensity score matching (PSM), and instrumental variable quantile regression (IVQR) to investigate the efficiency and income increase ability of drip irrigation technology and the constraints of promotion effect at the micro level, to explore the path to promote sustainable development of China's agriculture. The results show that: (1) In the main production areas facing severe water scarcity, households with fewer years of planting, abundant capital, and higher level of knowledge on water saving tend to adopt drip irrigation technology; (2) Drip irrigation technology has significant effects on increasing production efficiency and income. The output of unit irrigation water and income on average increase by 17.16 kg/t of vegetables and 45.90 yuan/t for farmers who adopt the drip irrigation technology, which provides long-term incentives for its broader adoption; (3) The output and economic effects of drip irrigation technology have a "Matthew effect," which means that farmers with better production conditions benefit more from the technology; (4) Imperfect design of irrigation system, poor design and quality of equipment engineering, inadequate training and after-sales service, lack of professional knowledge and technology of farmers, weak ability to practice modern agriculture, and poorly designed subsidies of the government are important factors affecting the enthusiasm of farmers to adopt drip irrigation technology. Furthermore, proper increase of irrigation water price will help speed up the popularization of field water-saving technology.

**Key words:** vegetable; main production area; drip irrigation; resource effect; economic effect; CMP; IVQR; the Bohai Rim area