

# 节水灌溉技术采用及其增产效应评估 ——以延津县 318 户胡萝卜种植户为例

蔡荣 汪紫钰 刘婷

(南京财经大学 粮食安全与战略研究中心,南京 210003)

**摘要** 为了加快节水灌溉技术推广和普及,采用内生转换回归模型分析农户节水灌溉技术采用行为,并评估节水灌溉技术的增产效应,结果表明,节水灌溉技术的增产效应十分显著,能够使农户每  $\text{hm}^2$  胡萝卜产量增加约 7 961 kg,相当于单产水平的 21%。户主受教育程度、家庭在外务工人员数和技术采用经历对农户节水灌溉技术采用行为影响显著;生产规模大、参与产销合作的农户也会更倾向于采用节水灌溉技术。根据研究结论,本研究最后提出了 4 点政策建议:1)努力提升农户受教育程度;2)积极推进耕地适度规模经营;3)大力推广产销合作模式;4)加强节水灌溉技术推广力度。

**关键词** 节水灌溉技术; 效应评估; 内生转换回归; 采用行为

中图分类号 F321.1

文章编号 1007-4333(2018)12-0166-10

文献标志码 A

## Impact of drip irrigation technique on agricultural yield: Evidence from 318 carrot producers in Yanjin County

CAI Rong, WANG Ziyu, LIU Ting

(Center for Food Security and Strategic Studies, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210003, China)

**Abstract** Rapid population growth and multiple competing demands for water (i. e., drinking, industrial uses) have contributed to irrigation water scarcity in many Asian developing countries including China. In order to solve the problem of increasing water scarcity caused by the food demand of a rapidly growing population, more efficient water management practices-water-saving technologies-are needed. A water-saving technology of drip irrigation approach was developed for vegetable cultivation in China. This impact of drip irrigation technique in carrot production in Yanjin County was evaluated. Endogenous Switching Regression (ESR) was applied to analyze the farm-level survey data. The results of the impact analysis using ESR indicated that drip irrigation had a significant positive impact on crop yield and increased yield by 7 961 kg per  $\text{hm}^2$ , account for 21% of the average production. The educational level of the head of the household, the number of household members working outside and the experience of adopting technique had a significant impact on the adoption of drip irrigation technique. Farms with larger production capacity and participating in producing-marketing cooperation were more likely to adopt drip irrigation technique. Based on this study, four countermeasures were put forwarded at the end of this study: 1) Strive to improve farmers' educational level; 2) Advance appropriate scale management actively; 3) Popularize producing-marketing cooperation; 4) Promote water-saving irrigation technique increasingly.

**Keywords** water-saving irrigation technique; impact assessment; endogenous switching regression; adoption behavior

收稿日期: 2018-03-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(71203044);江苏高校哲学社会科学基金一般项目(2015SJB140);2018 年国家重点研发计划子课题(2018YFD0401405);江苏高校优势学科项目建设工程(PAPD)及江苏省"青蓝工程"优秀青年骨干教师项目资助(2016)

第一作者: 蔡荣,副教授,主要从事农业资源管理、农村发展等方面研究,E-mail:xiaopg918@126.com

水资源严重紧缺及分布不平衡与农业用水需求之间的矛盾一直备受关注,成为制约我国农业现代化和农民持续增收的重要因素。但同时,我国农业灌溉用水的利用效率却又十分低下,2012年全国农业灌溉用水利用系数仅为0.52,与发达国家相比尚有0.2~0.4的差距,进一步加剧了农业灌溉用水需求与供给失衡的矛盾<sup>[1]</sup>。面对水资源严重紧缺和农业用水效率低下的双重胁迫,积极推广节水灌溉技术、高效利用水资源成为了当前我国农业摆脱缺水危机和推进农业现代化的必然选择。与传统灌溉相比,节水灌溉技术具有提高水资源利用效率、降低干旱损失、改善生态环境和实现农业转型等多重功能。然而,由于长期重视工程技术而轻视田间节水灌溉技术,造成节水灌溉技术没有被农户广为采用,以喷滴灌和微灌技术为主的现代灌溉技术占推广面积的比重逐年下降<sup>[2]</sup>。为了改变这一局面,2017年中央“一号文件”明确指出“大力普及喷灌、滴灌等节水灌溉技术,加大水肥一体化等农艺节水推广力度”。

那么,农户对节水灌溉技术的采用决策受哪些因素影响?采用节水灌溉技术是否会增加作物产量?如何采用正确的激励措施促进农户采用该技术?从已有研究来看,国内不少学者对农户采用节水灌溉技术的决策机理开展了调查与分析<sup>[3-7]</sup>,揭示了农户特征、耕地特征、灌溉费用、社会网络、推广服务等多种因素的影响,也有个别学者对农户采用节水灌溉技术的效果进行了定量评估,涉及经济效益和生态效益两个层面<sup>[8-9]</sup>。综合来看,在已有的实证分析中,基本上都是以粮食作物的节水灌溉技术为分析对象,忽视了对经济作物节水灌溉技术采用及其影响的考察,并且在评估节水灌溉技术的效果时,未能纠正样本选择性偏误问题,直接将节水灌溉技术采用决策作为外生变量处理,分析结果存在高估或低估的风险。本研究以延津县胡萝卜高效节水灌溉技术(滴灌带)为例,采用内生转换回归模型分析农户节水灌溉技术采用行为,并评估节水灌溉技术的增产效应,旨在深入理解农户采用节水灌溉技术的行为机理,为加快节水灌溉技术在我国推广提供实证支撑。

## 1 样本调查及描述性统计

### 1.1 样本调查

胡萝卜起源于中亚和地中海地区,距今已有2000多年的栽培历史。元朝末年,胡萝卜开始传入我国,在南北方均有栽培。胡萝卜具有很高的营养

价值,既可以提高机体防癌能力,也具有抗氧化和延缓衰老的功效,享有“小人参”的美誉。据农业部统计,我国胡萝卜栽培面积约48万 $\text{hm}^2$ ,占世界栽培面积的40%,年产量908万t,占世界总产量的32%,是当之无愧的胡萝卜生产大国;在地理分布上,胡萝卜栽培面积最大的3个省依次为河南、山东和河北。在河南,延津县作为最重要的胡萝卜栽培区域,种植历史悠久,质量上乘,其生产出的胡萝卜曾在明朝万历年间被列为贡品而名扬海内外。近年来,延津县胡萝卜产区先后获得了“河南省无公害农产品产地”、“河南省科普示范生产基地”、“河南省农业标准化种植示范基地”等称号,并且“延津胡萝卜”也是河南省农业系统继“延津小麦”之后获得的第二个国家级地理标志农产品称号。

在胡萝卜生长期进行适时合理灌溉是提高产量和保障品质的基本要求。近年来,随着农村土地经营权流转市场的发展,规模经营主体日渐增多,一些生产规模较大的农户率先引进了滴灌带技术,这对周边农户选择该项技术也起到了良好的示范效应。滴灌带技术是一种利用低压输水系统,通过塑料管道将水肥输送到植物根系的一种局部灌溉方式。较传统灌溉方式而言,采用滴管带进行滴灌既能减少水肥、农药的施用量以及病虫害的发生,又可明显改善产品的品质。因此,越来越多的农户开始采用该项技术。

本研究所使用数据资料来自课题组2017年1—2月在河南省最大的胡萝卜主产区(延津)所开展的农户问卷调查。出于调研便利及成本节约的考虑,选择了该县胡萝卜种植比较集中的小潭乡作为本次问卷调查的目标区域,全面搜集了农户以下方面的信息:1)户主特征及家庭特征;2)胡萝卜生产投入要素(如肥料、劳动、种子、农药、灌溉设施等使用情况);3)胡萝卜产量及土壤质量信息;4)农技服务、组织模式及销售渠道;5)节水灌溉技术采用行为。调查采取分层抽样的方式进行。首先,根据小潭乡农业局提供的所辖各村的胡萝卜种植情况,选择生产规模较大的4个村作为被调查村庄(冯庄村、东里七村、西里七村和小吴村);然后,课题组对各村内部所有胡萝卜种植户进行问卷调查。最终,共走访调查了363个胡萝卜种植户,剔除本研究分析所需信息不全及失真的问卷,剩余有效问卷318份,占87.6%。样本分布情况如下:小吴村90户,占28.3%;西里七村83户,占26.1%;东里七村70户,占22%;冯

庄村 75 户,占 23.6%。

## 1.2 描述性统计

根据调查统计,受访户户主年龄介于 25~78 岁,平均约 50 岁,受教育程度相对较低,有 210 户为初中学历,占 66.0%,小学学历占 23.6%。家庭人口平均 4.3 人,其中,每户 65 岁以上和 15 岁以下的成员数平均为 1.4 人,在外打工(每年在外打工不少于 6 个月)平均 1.1 人,兼业化趋势明显。家庭年均收入主要集中在 9 万元以下,多数属于中低收入水平,其中介于 3 万~6 万元的约占 40%,3 万元以

下的约占 20%。胡萝卜生产规模最小的 0.06 hm<sup>2</sup>,最大的 36 hm<sup>2</sup>,平均 0.97 hm<sup>2</sup>,生产规模的分布以 0.33~1.33 hm<sup>2</sup> 之间的为主,占 72.0%。土壤质量以中等和好为主,只有 3.1%的受访农户表示土壤质量为劣等。从事胡萝卜种植的年限平均约 23 年。只有 35.8%的农户接受过农技指导,在遇到种植管理的困惑时,多数农户仍习惯于将农资销售商或者邻居作为咨询对象。有 89 户农户拥有节水灌溉技术采用经历,占 8.0%。有 213 户受访农户与合作社或企业签订产销合作协议,占 67.0%(表 1)。

表 1 农户特征分布

Table 1 Distribution of the surveyed carrot farmers

变量 Variable	户数 Number	比例/% Percentage	变量 Variable	户数 Number	比例/% Percentage		
年龄,岁 Age	≤45	107	33.6	产销合作协议 Marketing Agreement	是	213	67.0
	>45~55	102	32.1		否	105	33.0
	>55~65	65	20.4	生产规模, hm <sup>2</sup> Farm size	<0.33	58	18.2
	>65	44	13.8		0.33~0.67	126	39.6
受教育程度 Education	小学	75	23.6		0.67~1.33	103	32.4
家庭人口数 Family size	初中	210	66.0	≥1.33	31	9.8	
	高中	33	10.4	土壤质量 Land quality	劣	10	3.1
	1~3	91	28.6		中	182	57.3
4~5	145	45.6	好		126	39.6	
>65 和 ≤15 岁 人数 The number of old and children	≥6	82	25.8	农技指导 Technical guidance	有	114	35.8
	≤1	169	53.1		没有	204	64.2
	2	99	31.1	种植经验,年 Experience	<10	15	4.7
	3	38	11.9		≥10~20	147	46.2
≥4	12	3.9	≥20		156	49.1	
在外打工人数 The number of migrant workers	0	92	28.9	家庭年均总收入, 万元 Annual income	<3	62	19.5
	1~2	201	63.2		3~6	126	39.6
技术采用经历 Technology adoption experience	≥3	25	7.9		6~9	60	18.9
	有	25	7.9		9~12	43	13.5
	没有	293	92.1	≥12	27	8.5	

根据表 2,有 88 户采用了节水灌溉技术(滴灌带),占 27.7%。胡萝卜平均单产为 43 590 kg/hm<sup>2</sup>、肥料投入平均为 1 207 元/hm<sup>2</sup>、农药投入平均为 738 元/hm<sup>2</sup>、种子投入平均为 1 207 元/hm<sup>2</sup>。对比节水灌溉技术采用户和未采用户的平均单产发现,前者比后者要高出 2 471 kg/hm<sup>2</sup>。本研究初步推断,节水灌溉技术对作物单产存在促进作用。由表

2 还可发现,节水灌溉技术能够促使农户选择优良品种,种子投入费用在两组农户之间差异显著,采用户比未采用户多了约 596 元/hm<sup>2</sup>(经调查发现,采用户和未采用户的每 hm<sup>2</sup> 胡萝卜种子用量差异不显著)。另外,肥料投入和农药投入在采用户和未采用户之间的差异较小,表明节水灌溉技术的采用并未对化学品生产要素投入水平产生显著影响。

表 2 作物单产和要素投入  
Table 2 Crop yield and inputs per hm<sup>2</sup>

指标 Index	全部受访户(318 户) Number of all	采用户(88 户) Number of adoption	未采用户(230 户) Number of non-adoption	均值差异检验 Mean difference test
单产水平/(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	43 590 (471)	45 386 (924)	42 915 (540)	2 471 t=2.36***
种子投入/(元/hm <sup>2</sup> ) Seed input	1 207 (47)	1 639 (111)	1 043 (44)	596 t=6.03***
肥料投入/(元/hm <sup>2</sup> ) Fertilizer input	2 121 (35)	2 119 (53)	2 122 (44)	-3 t=0.03
农药投入/(元/hm <sup>2</sup> ) Pesticide input	738 (23)	765 (29)	728 (30)	37 t=0.72

注：\*\*\* 表示均值差异在 1% 的水平显著；括号中为标准差。

Notes \*\*\* Significance at 1% level; Numbers in parentheses are standard deviation

## 2 分析框架及识别策略

### 2.1 分析框架

借鉴相关研究成果,本研究基于随机效用分析框架刻画农户技术采用行为<sup>[10-11]</sup>。农户以效用最大化为目标,决定是否采用节水灌溉技术是一个采用和不采用两种状态之效用的比较过程。假设  $P^*$  表示节水灌溉技术采用者 ( $U_{iA}$ ) 和非采用者 ( $U_{iN}$ ) 的效用(一般用预期净收益衡量),如果  $P^* = U_{iA} - U_{iN} > 0$ ,那么农户就将做出采用的决策。对研究者而言,采用者的  $U_{iA}$  具有可观测性,但  $U_{iN}$  不可观测,类似地,非采用者的  $U_{iN}$  具有可观测性, $U_{iA}$  却不可观测。所幸的是,非采用者对  $U_{iN}$ 、采用者对  $U_{iA}$  都能给出一个相对准确的判断。因此,农户节水灌溉技术的采用决策可以表示为基于一组可观测因素的示性函数:

$$P_i = Z_i\alpha + \epsilon_i, P_i = \begin{cases} 1 & \text{当 } P_i^* > 0 \\ 0 & \text{当 } P_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $P$  为取 0 或 1 的哑变量,  $P = 1$  表示采用节水灌溉技术,  $P = 0$  表示未采用节水灌溉技术。  $\alpha$  表示待估计参数;  $Z$  表示影响农户节水灌溉技术采用行为的一组协变量,包括农户特征、耕种特征和外部环境等因素<sup>[6,12]</sup>;  $\epsilon$  表示随机误差项。

与传统灌溉方式相比,滴灌带这一节水灌溉技术不仅有助于节约灌溉用水量,也能够保障作物在各个生长期得到适时灌溉,从而具有提升作物产量和改善产品品质的作用。假设作物产量是节水灌溉技术采用行为  $P$  和一组解释变量  $X$  的线性函数:

$$Y_i = \gamma X_i + \delta P_i + \mu_i \quad (2)$$

式中:  $Y$  表示作物单产(kg/hm<sup>2</sup>),  $P$  表示是否采用节水灌溉技术,  $\gamma$  和  $\delta$  表示待估计参数,  $\mu$  表示随机误差项。据此,参数  $\delta$  就代表节水灌溉技术对作物产量的影响。但是,如果  $\delta$  是节水灌溉技术对作物产量的真实影响,则必须确保样本农户是在采用组和非采用组之间随机分配,否则估计结果将有偏<sup>[13]</sup>。

### 2.2 识别策略

为了对采用节水灌溉技术的增产效应进行准确评估,本研究使用内生转换回归模型(ESR)。与普通最小二乘法(OLS)和倾向值匹配估计法(PSM)相比,内生转换回归模型(ESR)不仅可以消除可观测变量造成的样本选择偏误,也可以缓解不可观测因素(如遗漏变量)引起的内生性或样本选择偏误问题,因而分析结果具有无偏性。该方法的第一步使用 Probit 模型分析农户节水灌溉技术采用决策,并计算逆米尔斯比值;第二步使用 OLS 估计方法分析加入选择偏差校正项(即逆米尔斯比值)时采用户和未采用户作物产量和一组解释变量之间的关系,即:

$$\begin{cases} y_{1i} = \beta_1 X_{1i} + \lambda_1 \sigma_{\epsilon 1} + \omega_1, & P = 1 \\ y_{0i} = \beta_0 X_{0i} + \lambda_0 \sigma_{\epsilon 0} + \omega_0, & P = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $y_1$  表示采用户作物产量,  $y_0$  表示未采用户作物产量;  $X_1$  和  $X_0$  表示影响作物产量的一组外生变量;  $\beta_1$  和  $\beta_0$  表示待估计参数;  $\omega_1$  和  $\omega_0$  表示随机扰动项。需要说明的是,选择性偏误项  $\lambda_1$  和  $\lambda_0$  以及协方差  $\sigma_{\epsilon 1} = \text{cov}(\epsilon, \mu_1)$ 、 $\sigma_{\epsilon 0} = \text{cov}(\epsilon, \mu_0)$  是经第一步 Probit 模型估计得到,其中  $\epsilon$  表示 Probit 模型的随

机误差项,  $\mu_1$  和  $\mu_0$  表示两类决策状态之下未加入选择性偏误修正项的农户作物产量方程的随机误差项。

本研究采用完全信息极大似然估计(FIML)方法对第一步 Probit 模型和第二步状态方程(式(3))进行联立估计,从而克服了分开估计导致异方差的不足。根据唐利群等<sup>[11]</sup>、Shiferaw 等<sup>[14]</sup>研究,为了使模型更好地识别,要求农户节水灌溉技术采用决策方程中的  $Z$  变量必须包含至少一个工具变量不在  $X$  中出现。本研究选择的工具变量包括:与合作社或企业是否签订产销合作协议、技术采用经历(即上一年度是否采用滴灌带)。需要指出,通过估计作物产量的期望值,即可评估采用节水灌溉技术对农户作物产量的影响。对于采用者,其作物产量期望

值方程可分别表达为:

$$E(y_{1i} | P = 1; X) = \beta_1 X_{1i} + \lambda_1 \sigma_{\varepsilon 1} \quad (4)$$

类似地,对于同一个采用者,如果不采用节水灌溉技术,那么其作物产量期望值方程为:

$$E(y_{0i} | P = 1; X) = \beta_0 X_{1i} + \lambda_0 \sigma_{\varepsilon 0} \quad (5)$$

因此,根据是否采用节水灌溉技术而引起的作物产量差异即可视为采用者和非采用者之间的产量差异。具体而言,对于采用者而言,方程(4)和(5)之差被称为处理组的平均处理效应(ATT),表达为:

$$\begin{aligned} \text{ATT} &= E(y_{1i} | P = 1; X) - E(y_{0i} | P = 1; X) \\ &= (\beta_1 - \beta_0) X_{1i} + \lambda_1 (\sigma_{\varepsilon 1} - \sigma_{\varepsilon 0}) \quad (6) \end{aligned}$$

### 2.3 变量说明

上述模型所使用的变量定义如表 3 所示:

表 3 变量定义

Table 3 Descriptive statistics of the variables

变量 Variables	变量描述 Description of variables	均值(标准差) Mean(standard deviation)
作物产量 Yield	胡萝卜单位面积产量, kg/hm <sup>2</sup>	43 590(471)
技术采用 Adoption behavior	是否采用节水灌溉技术:是=1;否=0	0.28(0.44)
年龄 Age	周岁	50.17(11.40)
受教育程度 Education	接受正规教育的年限,年	7.28(2.46)
家庭人口总数 Family size	人	4.31(1.67)
>65岁和≤15岁人数 Number of old and children	人	1.43(1.12)
在外务工人员人数 Number of migrant workers	人	1.11(0.93)
家庭年均收入,万元 Annual income	<3=1;3~6=2;6~9=3; 9~12=4;≥12=5	2.52(1.19)
生产规模 Farm size	胡萝卜生产规模, hm <sup>2</sup>	0.97(0.35)
种植经验 Experience	年	23.09(9.37)
土壤质量 Land quality	劣等=1;中等=2;优等=3	2.36(0.54)
农家肥使用 Farm Manure	不使用=0;使用=1	0.15(0.36)
宽带接入 Broadband use	接受过=1;未接受过=0	0.35(0.48)
农技指导 Technical guidance	元/hm <sup>2</sup>	1207(47.12)
种子投入 Seed	元/hm <sup>2</sup>	2 121(35.36)
肥料投入 Fertilizer	元/hm <sup>2</sup>	738(23.20)
农药投入 Chemical	上一年是否采用节水灌溉技术:是=1;否=0	0.08(0.26)
技术采用经历 Technology adoption experience	与合作社或企业签订产销合作协议:是=1;否=0	0.33(0.47)

### 3 计量分析结果与讨论

#### 3.1 计量分析结果

在采用内生转换回归模型(ESR)进行估计之前,先验证工具变量是否有效。过度识别检验结果显示,卡方值为0.39,结果接受“所有工具变量均外生”的原假设( $P$ 值为0.531),满足工具变量与扰动项不相关的要求;稳健 $F$ 统计量为17.36(超过阈值10),结果拒绝“工具变量与内生变量不相关”的原假设( $P$ 值为0.000);沃尔德检验证实可以在5%的置信水平拒绝存在“弱工具变量”的原假设(最小特征值20.83大于临界值19.93);另外,通过对作物产量对工具变量及其他变量进行回归,结果也拒绝了存在“弱工具变量”的原假设( $F$ 统计量为1.27, $P$

值为0.260)。因此,可以认为本研究选取的工具变量有效。表4为内生转换回归模型(ESR)的参数估计结果。模型残差独立性联合检验卡方值(3.42)在10%的水平显著,拒绝了两个模型残差相互独立的原假设,表明对式(1)和(2)需要进行联立估计,否则得到的评估效应将会有偏。相关系数检验也进一步给予了证实,其中的 $\rho_2$ 系数负向显著,表明对控制组样本(未采用户)的选择存在正向选择偏误(注:在内生转换回归模型中,选择方程与结果方程的相关系数为正表示存在负向选择偏误,相关系数为负则表示存在正向选择偏误。),也就是说,作物产量较高的农户更倾向于不采用节水灌溉技术,忽视这一偏误将导致平均处理效应(ATT)的低估。

在技术采用方程中,受教育程度、在外务工人

表4 节水灌溉技术采用行为的参数估计及不同状态下作物单产的影响因素情况

Table 4 Coefficients for estimating whether or not a farmer takes the measure of drip irrigation and the carrot yield

解释变量 Explanatory variables	技术采用方程 Adoption equation		作物单产方程(控制组) Yield equation(control)		作物单产方程(处理组) Yield equation(treatment)	
	系数(标准误)	Z值	系数(标准误)	Z值	系数(标准误)	Z值
年龄 Age	0.01(0.02)	0.51	-25.35(80.10)	-0.32	204.30(129.75)	1.57
受教育程度 Education	0.13(0.05)	2.32**	-321.00(238.35)	-1.35	24.75(366.15)	0.07
家庭人口总数 Family size	0.83(0.27)	1.08	1 361.10(463.05)	2.94***	-876.60(125.61)	-0.47
>65岁和≤15岁人数 The number of old and children	0.00(0.15)	0.00	-1 319.25(610.50)	-2.16**	1 165.95(940.95)	1.24
在外务工人 Number of migrant workers	-0.32(0.16)	-2.02**	-1 719.90(652.35)	-2.64***	-638.85(1111.20)	-0.57
家庭年均收入 Annual income	0.03(0.09)	0.32	444.15(417.45)	1.06	-586.20(690.60)	-0.85
生产规模 Farm size	0.08(0.02)	3.33***	-267.15(136.95)	-1.95*	-9.45(13.80)	-0.69
种植经验 Experience	-0.00(0.02)	-0.07	-55.50(91.95)	-0.61	102.30(156.45)	0.65
土壤质量 Land quality	0.04(0.28)	1.31	446.10(928.50)	0.48	100.05(105.35)	0.06
农家肥使用 Farm Manure	0.39(0.34)	1.13	720.75(95.89)	0.50	-594.45(151.03)	-0.26
宽带接入 Broadband use	0.16(0.11)	1.38	820.20(77.73)	0.70	171.90(59.70)	0.19
农技指导 Technical guidance	0.37(0.23)	0.16	3 300.45(81.85)	2.69***	3 141.17(92.01)	1.59
种子投入 Seed	0.15(0.15)	2.03**	30.15(11.85)	2.55**	28.65(13.53)	2.13**
肥料投入 Fertilizer	0.12(0.08)	0.55	18.00(12.95)	1.39	34.89(27.35)	1.27
农药投入 Chemical	-0.15(0.15)	-1.15	32.48(17.77)	1.82*	190.20(49.35)	3.85***
技术采用经历 Technology adoption experience	1.12(0.40)	2.77***				
产销合作协议 Marketing Agreement	0.77(0.24)	3.17***				
	$\rho_1 = 0.201(0.240)$		残差独立性联合检验:		对数似然值 = -2489.83	
	$\rho_2 = -0.380(0.245) *$		卡方值 = 3.42 *		观测值 = 318	

数、生产规模、种子投入、技术采用经历和产销合作协议等因素通过了显著性检验,直接影响农户节水灌溉技术采用行为。其中,户主受教育程度和生产规模显著正向影响农户节水灌溉技术采用。一方面,受教育程度越高的农户越容易理解新技术的潜在收益及其采用要点,从而也就更倾向于接受新技术<sup>[1,15]</sup>;另一方面,生产规模越大,采用节水灌溉技术的单位成本越低,产生的效益越大,很容易形成规模效应,相反,如果生产规模较小,不能形成规模效应,节水灌溉技术的潜在收益就很难被意识到,农户采用激励自然不高<sup>[6]</sup>。在外务工人数量显著负向影响农户节水灌溉技术采用。一般而言,在外务工人数量与家庭非农收入两者高度正相关,当家庭非农收入上升时,农户对农业收入的依赖性会降低,从而对农业生产投资的积极性也随之下降。Rejusus等<sup>[12]</sup>在其研究中就证实了这一观点,非农收入会抑制农户对节水灌溉技术的采用激励。种子投入也会正向显著影响农户节水灌溉技术采用。单位面积种子投入较高的农户通常都采用了耐寒耐湿的优质杂交品种,这类品种在生长过程中对灌溉的要求较高,得不到及时灌溉就会影响其优良品质的发挥,因此也就决定了其与节水灌溉技术之间的互补性。另外,技术采用经历和产销合作这2个工具变量对农户采用节水灌溉技术的影响高度显著,完全符合预期。在样本地区,滴灌带(节水灌溉技术)的主管和支管一般可连续使用3—4年,每年只需对毛管进行更换,故上一年度采用节水灌溉技术的农户极有可能在下一年度继续采用该项技术;参与产销合作的农户更倾向于采用节水灌溉技术,这是因为产销合作中所包含的质量激励条款能够对生产行为产生纠偏和引导作用,以往研究也有类似发现<sup>[16]</sup>。

与预期一致,作物单产方程中的家庭人口总数正向显著影响作物单产, $>65$ 岁和 $\leq 15$ 岁人数、在外务工人数量负向显著影响作物单产。在其他条件保持不变时,家庭人口总数越多,农业劳动力个数也越多,越有利于提高作物单产水平,这一点与现有的研究结论基本一致<sup>[11]</sup>。与此相对应,家庭中 $>65$ 岁和 $\leq 15$ 岁人数、在外务工人数量越多,意味着在相同条件下农业劳动力个数越少,从而越不利于提高作物单产水平;并且,在外务工人数量越多的农户,农业生产很可能以粗放式经营为主,作物单产很难得到提高。在种植特征中,生产规模对作物单产有显著负

向影响,即胡萝卜生产规模越大,其单产水平越低,在边际效应上,生产规模每扩大 $1\text{ hm}^2$ ,单产水平减少约约 $267\text{ kg}$ ,相当于平均单产水平的 $0.6\%$ 。值得注意的是,上述因素对作物单产的显著影响仅限于未采用节水灌溉技术的农户,对于采用了节水灌溉技术的农户,显著关系将不复存在。接受农技指导对节水灌溉技术采用户和未采用户作物单产都存在正向显著影响,且与未接受农技指导的农户相比,接受农技指导的农户作物单产平均要高出 $3\ 141\sim 3\ 300\text{ kg}$ 。在生产要素投入中,种子投入和农药投入对节水灌溉技术采用户和未采用户作物单产均有显著正向影响,但肥料投入对两类农户作物单产的影响均不显著,这个发现与以往研究得出的存在普遍过度施肥的现象一致<sup>[11,17]</sup>。

表5给出了作物单产期望值处理效应ATT的估计结果。很显然,对于节水灌溉技术采用者,作物单产期望值要比反事实情形下(不采用)的平均水平显著高出 $7\ 961.1\text{ kg}$ ,相当于增产 $21.27\%$ 。为了与将技术采用行为作为外生变量时的平均处理效应ATT进行比较,笔者进一步采用外生转换回归模型(Exogenous switching regression)评估采用节水灌溉技术的增产效应<sup>[18]</sup>,结果显示,采用户作物单产期望值比反事实情形(不采用)的平均水平显著高出 $1\ 460.85\text{ kg/hm}^2$ ,这一数值足足较内生转换回归模型(ESR)估计得到的ATT低了约 $6\ 500\text{ kg/hm}^2$ ,这也进一步证实了前文指出的忽略样本选择偏误将会造成平均处理效应(ATT)低估的结论。节水灌溉技术之所以能够促进作物增产,本研究认为主要原因有4点:一是水资源是农业生产中必不可少的生产要素,节水灌溉技术保证了作物在早期得到及时的灌溉,有利于作物生长,并且与漫灌方式相比,这也避免了作物根系因长期浸水所产生的负面效应;二是在单位面积肥料投入量既定的情况下,节水灌溉技术能够促进肥料实际利用率提升,减少了漫灌方式下的肥料有效成分流失,从而使作物产量增加;三是节水灌溉技术也节约了所需投入的劳动力,节省的劳动力可以用于农田管理的其他方面(如病虫害防治),这对作物产量也可能起到增加的作用;四是节水灌溉技术的使用有利于农户选择高产优质品种(见表2),这是因为高产优质品种的性能发挥在很大程度上取决于作物能否得到及时合理的灌溉。

表 5 采用节水灌溉技术的增产效应

Table 5 Impacts of drop irrigation on carrot yield for adopters

kg/hm<sup>2</sup>

估计策略 Estimation strategy	采用 Adoption	未采用 Non-adoption	平均处理效应 ATT	T 值 T value
内生转换回归 Endogenous switching regression	45 389.10	37 428.00	7 961.10	4.32***
外生转换回归 Exogenous switching regression	44 644.20	43 183.35	1 460.85	1.34*

### 3.2 进一步讨论

前面已述,只有 88 户受访农户在胡萝卜生产过程中采用了节水灌溉技术,所占比例不足样本总数的 1/3。然而,计量分析结果表明,采用节水灌溉技术能够使胡萝卜每 hm<sup>2</sup> 增产 7 961.1 kg,按照最近 3 年农户销售胡萝卜的平均价格 0.8 元/kg 计算,相当于每 hm<sup>2</sup> 增收约 6 369 元。既然如此,究竟是什么原因制约了农户对节水灌溉技术的采用呢?以往研究认为,造成农户新技术采用进程迟缓的原因大致归为 5 类:一是采用该项新技术的净收益为负;二是投资成本过高,超出农户禀赋决定的承受范围;三是受新技术传播信息的约束,农户尚不知晓新技术的存在;四是缺乏提供该项新技术的市场主体;五是其他禀赋因素所带来的理性决策<sup>[19]</sup>。笔者从实地调查了解到,采用滴灌带技术的投资成本并不高,总投资约 4 500 元/hm<sup>2</sup>(包括主管 1 500 元和滴管 3 000 元),其中滴管需要每年更换 1 次,主管可 3 年更换 1 次,由此看出,滴灌带技术的采用成本远低于采用收益,并且,4 500 元/hm<sup>2</sup> 的投资金额对当地农户来讲也不算高,完全在经济承受范围之内。另外,本研究研究所获取的样本分布在 4 个村庄,每个村庄都有农户较早采用了滴管带技术,并且在镇域范围之内也有多家市场供应商提供该项技术,故而因信息传播滞后或联系不上供应商等约束造成农户未采用该技术的观点显然不能成立。事实上,根据本研究计量分析结果,农户未采用节水灌溉技术的主要原因是受教育程度不高、倾向选择在外务工和生产规模较小等因素综合作用的结果,特别是倾向在外务工和生产规模较小的农户,受近年来胡萝卜市场销售行情不稳定的影响,越来越倾向于选择在外务工获取非农收入,或者选择撂荒或调整种植结构,最终造成投资节水灌溉技术的激励不足。

### 4 结论及启示

农户是否采用节水灌溉技术对提高我国农业灌溉用水效率、缓解水资源短缺形势十分重要。基于河南省延津县胡萝卜种植户问卷调查数据,本研究利用纠正样本选择性偏误的内生转换回归模型(ESR)对农户节水灌溉技术采用行为及其增产效应进行了实证分析。结果表明,样本地区农户采用节水灌溉技术(滴灌带)的作物增产效应十分显著,平均而言,节水灌溉技术使农户作物单产增加了约 7 961 kg/hm<sup>2</sup>,相当于作物平均单产水平的 21%。研究还发现,户主受教育程度、家庭在外务工人员数和技术采用经历对农户节水灌溉技术采用行为影响显著;生产规模大、参与产销合作的农户也会更倾向于采用节水灌溉技术。

上述研究结论具有如下 4 点政策启示:第一,提升农户受教育程度是有效推广田间节水灌溉技术的重要措施。这是因为,受教育程度越高,农户不仅越有能力掌握节水灌溉技术的采用要点,同时也越有可能意识到与该技术采用有关的潜在收益,这将在很大程度上降低技术推广障碍。在具体措施上,一方面需要坚持和完善我国农村义务教育,发展农村继续教育体系,加强农民技能培训,提升农民素质,另一方面鼓励受教育程度高的大学生返乡从事农业创业,通过农地流转等多种途径代替受教育程度偏低的农户进行农业生产。第二,适度规模经营是农户节水灌溉技术采用激励得以提升的前提条件。经济学认为,经济激励是诱导农户转变生产经营方式的关键途径,节水灌溉技术的推广也不例外。很显然,生产规模一旦扩大,不论是出于灌溉成本的考虑,还是对技术投资回报率的权衡,采用节水灌溉技术都将成为农户的理性选择。毋庸置疑,过小的土地规模经营是我国农业现代化进程中一根软肋。



在政策选择上,土地规模经营既要考虑效率,更要考虑公平,既要考虑整体水平的提高,也要考虑区域之间的差异。第三,发展以产品质量升级为核心的产销合作模式对促进节水灌溉技术扩散也具有积极意义。产销合作能够帮助农户更好地进入市场,促进农户增收,这一观点早已得到各界普遍认同。然而,经常被忽略的是,除了上述功能,行之有效的产销合作在事实上还能够对农户采用新的生产技术起到促进作用。从下一步实践走向来看,不仅需要继续加大农户与合作社之间的横向合作,而且应该进一步规范农户与企业间的纵向协作关系,深化落实以农产品质量升级为核心的农业供给侧结构性改革。最后,应进一步完善农技推广服务体系建设,加强节水灌溉技术推广力度。实证结果表明,农技推广工作对作物增产成效显著,但节水灌溉技术推广力度仍显不够。为此,为此,农业部门应大力提供对节水灌溉技术的推广与技术指导服务,定时指派技术专家到田间指导,减少农户采用节水灌溉技术的顾虑和约束,从而提高农户对节水灌溉技术的采用率。

## 参考文献 References

- [1] 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[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. Analyzing the determinants of farmers' adoption of agricultural water-saving technique[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Science*, 2015,15(4):62-69(in Chinese)
- [2] 周玉玺,周霞,宋欣. 影响农户农业节水技术采用水平差异的因素分析[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(3):37-43  
Zhou Y X, Zhou X, Song X. Analyzing the determinants of farmers' adopting different of agricultural water-saving irrigation technique[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014,28(3):37-43(in Chinese)
- [3] 廖西元,王磊,王志刚,阮刘青,胡慧英,方福平,陈庆根. 稻农采用节水技术影响因素的实证分析[J]. 中国农村经济,2006(12):13-19  
Liao X Y, Wang L, Wang Z G, Ruan L Q, Hu H Y, Fang F P, Chen Q G. The empirical analysis of the determinants impacting rice farmers' adoption of water-saving technique[J]. *Chinese Rural Economy*, 2006(12):13-19(in Chinese)
- [4] 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. Analyzing the determinants of Chinese farmers' adoption behavior of water-saving irrigation technique[J]. *Chinese Rural Economy*, 2008(4):44-54(in Chinese)
- [5] 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]. *Natural Resources Journal*, 2011,26(6):932-942(in Chinese)
- [6] 许朗,刘金金. 农户节水灌溉技术选择行为的影响因素分析[J]. 中国农村观察,2013(6):45-51  
Xu L, Liu J J. Analyzing the determinants of farmers' adoption of water-saving irrigation technique[J]. *China Rural Survey*, 2013(6):45-51(in Chinese)
- [7] 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[J]. 资源科学,2017,39(3):441-450  
Qiao D, Lu Q, Xu T. Social network, extension service and farmers' adoption of water-saving irrigation technique[J]. *Resources Science*, 2017,39(3):441-450(in Chinese)
- [8] 吕杰,金雪,韩晓燕. 农户采纳节水灌溉的经济及技术评价研究[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(10):151-157  
Lv J, Jin X, Han X Y. Study on economic and technical benefits evaluation of farmers' adoption of water-saving irrigation [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016,30(10):151-157(in Chinese)
- [9] 徐涛,姚柳杨,乔丹,陆迁,颜俨,赵敏娟. 节水灌溉技术社会生态效益评估[J]. 资源科学,2016,38(10):1925-1934  
Xu T, Yao L Y, Qiao D, Lu Q, Yan Y, Zhao M J. Social and ecological benefits evaluation of adopting water-saving irrigation technique. [J]. *Resources Science*, 2016, 38(10):1925-1934(in Chinese)
- [10] Khonje M, Manda J, Alene A. Analysis of adoption and impacts of improved maize varieties in eastern Zambia[J]. *World Development*, 2015,66(2):695-706
- [11] 唐利群,周洁红,于晓华. 采用保护性耕作对减少水稻产量损失的实证分析[J]. 自然资源学报,2017,32(6):1016-1028  
Tang L Q, Zhou J H, Yu X H. The empirical analysis of adopting conservation tillage on reduction in rice yield loss [J]. *Natural Resources Journal*, 2017, 32(6):1016-1028(in Chinese)
- [12] Rejesus R, Palis G, Rodriguez D. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: evidence from rice producers in the Philippines [J]. *Food Policy*, 2011,36(2):280-288
- [13] Faltermeier L, Abdulai A. The impact of water conservation and intensification technologies: empirical evidence for rice farmers in Ghana[J]. *Agricultural Economics*, 2009,40(3):365-379
- [14] Shiferaw B, Kassie M, Jaleta M. Adoption of improved wheat varieties and impacts on household food security in Ethiopia[J]. *Food Policy*, 2014,44(5):272-284

- [15] 李丰. 稻农节水灌溉技术采用行为分析[J]. 农业技术经济, 2015(11):53-61  
Li F. Analyzing the rice farmers' adoption of water-saving irrigation technique[J]. *Journal of Agrotechnical*, 2015(11): 53-61(in Chinese)
- [16] 蔡荣. 合同生产模式与农户肥料施用结构[J]. 农业技术经济, 2011(3): 41-51  
Cai R. Incentive contract and farmers' fertilization application structure[J]. *Journal of Agrotechnical*, 2011(3): 41-51(in Chinese)
- [17] 张海鑫, 杨钢桥. 耕地细碎化及其对粮食生产技术效率的影响[J]. 资源科学, 2012, 34(5):903-910  
Zhang H X, Yang G Q. Land fragmentation and the impact on technical efficiency of food production [J]. *Resources Science*, 2012, 34(5):903-910(in Chinese)
- [18] Kassie M, Ndiritu S W, Stage J. What determines gender inequality in household food security in Kenya? Application of exogenous switching treatment regression [J]. *World Development*, 2014, 56(1):153-171
- [19] Kathage J, Kassie M, Shiferaw B, Qaim M. Big constraints or small returns? Explaining nonadoption of hybrid maize in Tanzania[J]. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 2015, 38(1):113-131

责任编辑：王岩