

华北地下水超采区农户节水灌溉技术认知分析 ——以河北省张家口市沽源县为例

罗文哲^{1,2}, 蒋艳灵³, 王秀峰⁴, 刘华先^{1,2}, 陈远生¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 中国城市规划设计研究院, 北京 100044; 4. 沽源县水务局, 张家口 076550)

摘要: 目前我国华北地区面临严重的地下水超采问题, 在地下水超采综合治理行动方案中明确提出要加强农业节水, 调整农业种植结构。农户节水灌溉技术认知与农业节水效果密不可分, 本文以河北省张家口市沽源县 269 份农户调查为样本, 采用结构方程模型探索农户节水灌溉技术认知的内在机理。结果显示: 农户个人特征、家庭生产特征、政策宣传特征和农户水资源稀缺性认知的路径系数分别为 0.186、0.157、0.469 和 0.200。表明节水灌溉技术补助、培训和参观高效节水示范区对提升农户节水灌溉技术认知的效果显著。因此, 在依靠政府技术支持的基础上, 发现农户节水灌溉技术认知差异, 制定完善的节水灌溉技术宣传推广体系, 有利于提高华北地区农户采用节水灌溉技术的积极性。

关键词: 地下水超采; 节水灌溉技术; 农户认知; 结构方程模型

华北平原是我国主要粮食产区之一, 生产了超过全国 1/4 的粮食, 而该地区农业水资源占有量仅为 5006 m³/hm², 远低于全国平均值 6213 m³/hm²^[1]。长期持续的农业灌溉用水导致地下水过度开采, 由此引发的地表下沉、地下水枯竭等生态问题约束着华北乃至全国的可持续发展。为了缓解水资源短缺对农业生产的制约, 我国在《全国农业可持续发展规划(2015-2030 年)》中明确指出要节约高效用水, 保障农业用水安全, 提出到 2020 年农田灌溉有效利用系数达到 0.55, 但仍与发达国家 0.7~0.8 的水平^[2]有较大差距。因此, 推广节水灌溉技术, 加快农业高效节水体系的建设是提高我国农业水资源利用率、摆脱缺水危机和保障粮食安全的必然选择^[3]。但是, 节水灌溉技术的推广和应用不仅依靠技术本身和政府主导, 更取决于农户的行为响应^[4], 农户对灌溉方式的选择受到经济利益的驱动, 并且对节水灌溉技术的认知程度直接影响其对灌溉方式的选择、农业用水效率和环境效益。

为探究如何推动节水灌溉技术的使用, 国内外学者从不同角度做了大量研究。Schuck 等^[5]发现田地规模、灌溉水的可获得性和租地制影响农户对灌溉技术的选择; Dridi 等^[6]研究认为合理的水价和政府补贴有利于农户对节水技术的采用; Carey 等^[7]分析了水资源稀缺程度对农户行为选择的影响, 在考虑未来干旱程度的随机性和经济激励因素不确定性的基础上, 发现水资源短缺地区推广节水灌溉技术难度更大。上述研究表明

收稿日期: 2019-05-10; 修订日期: 2019-08-04

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0401408)

作者简介: 罗文哲(1995-), 女, 河北张家口人, 博士研究生, 研究方向为资源管理和水资源评价。

E-mail: lwznau@163.com

通讯作者: 陈远生(1962-), 男, 安徽怀宁人, 研究员, 研究方向为水资源评价和管理, 区域可持续发展。

E-mail: chenys@igsnrr.ac.cn

农户的家庭生产特征、政府政策特征和水资源稀缺度感知对农户节水灌溉技术的采用有不同程度的影响。近几年国内学者也对我国不同地区节水灌溉技术使用情况进行了深入分析^[8-11]，许朗等^[3]利用条件价值法和Logistic模型分析蒙阴县农户对节水灌溉技术的支付意愿，发现农户年龄、文化程度、耕地面积和技术预期效果影响农户最终对灌溉技术的选择；李俊睿等^[12]以河北省石津灌区为例，认为增加农户收入、良好的社会文化环境和完善农田水利灌溉设施有利于农户采用节水灌溉技术；国亮等^[13]的研究表明农户认知是节水灌溉技术扩散的基本环节，农户对节水灌溉技术认知的欠缺直接影响农户参与选择的积极性，并且农户的主观能动性对节水灌溉技术的推广起着不可替代的直接作用，而农户对节水灌溉技术认知的研究属于主观研究，仍需更细致的探索。

河北省是华北平原地区地下水超采最严重的省份，2014年中央一号文件提出先期在河北省开展地下水超采综合治理试点工作，2016年又发布了河北省地下水超采综合治理试点种植结构调整和农艺节水相关项目的实施方案。所以，研究河北省节水灌溉技术的推广和农户节水灌溉技术认知对华北地区地下水超采综合治理有重要意义。自发展高效节水农业以来，张家口市沽源县以绿色生态持续发展为目标，大力推广节水灌溉技术，提高农业水资源利用率，到2017年底农业高效节水面积达25万亩，不仅促进农业增效、农民增收，更有效地减少农业灌溉用水。以沽源县为例，研究农户节水灌溉技术的认知问题，可在吸取发展高效节水农业经验的同时，着眼于华北地区节水灌溉技术的推广，对于到2020年实现地下水的采补基本平衡目标和华北地区水环境持续改善有重要意义。

综上，本文采用结构方程模型（SEM），探索不同因素对农户节水灌溉技术认知的影响及其内在机理，从而了解农村节水灌溉技术使用和推广现状，旨在揭示农户采用节水灌溉技术的内在关系，为政府促进节水灌溉技术的推广提出合理建议。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究区概况

沽源县位于河北省张家口市东北部，地处内蒙古高原，俗称坝上地区。全县总面积3589 km²，辖14个乡镇，总人口22.45万人，农业人口19.13万人，占总人口85%。地势南高北低，东南部坝头一带山高坡陡，海拔介于1700~2100 m之间，中部山低坡缓，地形开阔平坦。沽源县属于典型大陆季风性干旱、半干旱气候，年均气温2.4℃，年均降水量398.2 mm，主要集中在6-9月，降水量时空分布不均，地域年际之间差异较大，在生产灌溉上存在严重水资源供需矛盾，是典型的水资源匮乏地区。由于受自然因素影响，全县以种植小麦、莜麦、亚麻和土豆等粮食作物为主，产值不高且不稳定。作物种植结构调整后，大多数农户开始种植大白菜、生菜、菜花等经济作物，虽然经济收入得到提高，但灌溉用水量大幅增加。基于此，当地政府采取了一系列农业节水政策，采取膜下滴灌和喷灌工程扩大当地节水灌溉面积，减少灌溉用水量，提高农业灌溉用水率。

1.2 研究方法

结构方程模型（Structural Equation Modeling, SEM）兴起于20世纪60年代，是近年统计学三大发展之一^[14]，为难以直接观测的潜变量提供一个可以观测、处理，并将难以避免的误差纳入模型之中的分析工具^[15]，更加适合处理由一系列可测变量构成潜变量的多因素、多结果问题，广泛应用于社会科学研究中。本文所涉及的变量具有无法准

确、直接测量的特点，因此，采用SEM模型为分析工具，具体公式如下：

$$\eta = B\eta + \Gamma\zeta + \zeta \quad (1)$$

$$Y = \Lambda_y\eta + \varepsilon \quad (2)$$

$$X = \Lambda_x\zeta + \sigma \quad (3)$$

式中：式（1）是结构模型，反映潜变量之间的结构关系， η 为内生变量； ζ 为外源潜变量； B 为内生变量之间的相关系数矩阵； Γ 为外源潜变量对内生变量的影响系数矩阵； ζ 为模型中未能解释的部分。式（2）、式（3）是测量模型， X 、 Y 分别为外源潜变量及内生变量的可测变量； Λ_x 、 Λ_y 分别为外源潜变量、内生变量及其可测变量的关联系数矩阵，通过测量模型，可测变量可以反映潜变量。

1.3 数据来源

数据来源于《2016年沽源县国民经济和社会发展统计公报》，其他模型分析数据来源于2017年7月份预调研和8月份正式调研数据。其中，预调研随机抽取2个乡镇的2个村，每个村随机选取25户，为了避免农户对问题理解的偏差，选取每一户中处于家庭决策地位的对象进行一对一调查，发放50份问卷，经筛选后有效回收30份。8月份正式调查随机抽取5个乡镇的10个村，每村同样随机选取25户，共有效回收239份问卷，最终获得269份有效问卷。

本文调查问卷主要包括：（1）农户个人特征，包括性别、年龄、受教育程度、是否为村干部和承受风险能力等。（2）家庭生产特征，包括种植农作物类型、灌溉面积、单位面积灌溉成本、收入和支出等。（3）节水灌溉技术政策宣传特征，包括是否接受节水灌溉技术补助、是否参加节水灌溉技术培训和是否参观高效节水示范区等。（4）农户水资源稀缺性认知，包括水资源总量认知、打井困难度认知、地下水位下降认知等。（5）农户节水灌溉技术认知，包括节水灌溉技术是否重要、节水灌溉技术是否有节省劳动力、节约水资源的效果和技术使用过程是否方便等。

1.4 数据分析与模型构建

1.4.1 数据分析

受访农户以男性为主，占样本的78.44%，年龄以中老年为主，40岁以上占到样本数的89.22%，村干部仅有27户，初中文化水平有143户，占比53.16%，其次为小学水平，有114户。农户每亩地承受500元以下损失的人数最多，其次为500~1000元。在家庭生产特征中，有效灌溉面积在10~20亩农户最多，有107户，占总样本的39.78%，单位面积灌溉成本在100元以下稍多于100元以上，单位面积净收入主要集中在1500~3000元之间，种植经济作物收益相对较好。在政策宣传特征中，农户是否接受节水灌溉技术补助和参加节水灌溉技术培训差异不大，但是没有参观过节水示范区农户达60.59%。在农户水资源稀缺性认知中，仍有55.02%的农户认为当地水资源充足，没听过地下水位下降和打井困难的农户也接近一半，说明农户水资源稀缺性认知普遍较低，有待提高。在农户节水灌溉技术认知中，认为节水灌溉技术有效的超过半数（53.9%），认为接受灌溉技术重要和使用方便的农户均不足50%（表1）。

1.4.2 模型构建

节水灌溉技术能有效利用降水和灌溉水，提高农业用水的有效利用率，是我国农业实现可持续发展的必然选择。而农户对节水灌溉技术的认知程度直接影响农户是否采用该技术，根据现有学者的研究，本文认为农户节水灌溉技术认知机理如下：

表1 样本基本特征
Table 1 Basic characteristics of samples

可测变量	类别	频数	有效比例/%	可测变量	类别	频数	有效比例/%
性别	男	211	78.44	是否接受节水灌溉技术补助	是	124	46.1
	女	58	21.56		否	145	53.9
年龄/岁	[20, 30]	3	1.12	是否参加节水灌溉技术培训	是	123	45.72
	(30, 40]	26	9.66		否	146	54.28
	(40, 50]	125	46.47	是否参观高效节水示范区	是	106	39.41
	50 以上	115	42.75		否	163	60.59
是否为村干部	是	27	10.04	水资源总量	稀缺	121	44.98
	否	242	89.96		充足	148	55.02
受教育程度	小学	114	42.38	打井是否困难	是	153	56.88
	初中	143	53.16		否	116	43.12
	高中	11	4.09	是否听说地下水位下降	是	141	52.42
	大学及以上	1	0.37		否	128	47.58
每亩承受损失/元	500 及以下	95	35.32	节水灌溉技术是否重要	是	123	45.72
	(500, 1000]	87	32.34		否	146	54.28
	(1000, 1500]	77	28.62	节水灌溉技术是否有效	是	145	53.9
	1500 以上	10	3.72		否	124	46.1
有效灌溉面积/亩	(0, 10]	84	31.22	节水灌溉技术使用是否方便	是	127	47.21
	(10, 20]	107	39.78		否	142	52.79
	(20, 30]	55	20.45	单位面积净收入/元	(0, 1500]	38	14.13
	30 以上	23	8.55		(1500, 3000]	204	75.83
单位面积灌溉成本/元	100 及以下	146	54.28		3000 以上	27	10.04
	100 以上	123	45.72				

首先，农户是从事农业生产的主体，农户个人特征的差异影响其对节水灌溉技术的认知，我国学者^[16-18]研究发现性别、年龄、受教育程度、是否为村干部以及每亩地能承受损失的个人特征都对农户节水灌溉技术的认知有直接影响。其次，家庭是我国农业生产最基本的单元，黄玉祥等^[19]的研究发现农户生产特征中种植规模、灌溉水成本等对农户灌溉方式的选择有重要影响。李俊睿等^[12]在河北省石津灌区的研究表明提高农户收入促进其对节水灌溉技术的认知和采用。第三，政府的政策宣传是最有效直接促进农户了解节水灌溉技术的方式，节水灌溉技术补贴是农户在采用新技术中希望获取的^[20]，农技推广服务和社区环境对农户的技术认知有显著的促进作用^[21]，节水灌溉技术的使用培训和高效节水示范区都对农户有不同程度的影响。最后，农户对水资源稀缺性的认知直接影响其是否愿意了解节水灌溉技术，已有研究表明农户对地下水依赖性强^[22]，水资源的短缺迫使农户了解节水灌溉技术^[23]，地下水位下降以及打井困难的直观感受也决定着农户采用节水灌溉技术的程度。

基于以上分析，提出以下假设：

H1：农户个人特征、家庭生产特征、政府宣传特征和农户水资源稀缺性认知对农户节水灌溉技术认知有重要影响。

H2：农户性别、受教育程度、是否为干部、每亩地能承受的损失、家庭有效灌溉面

积、单位面积灌溉成本、单位面积净收入、节水灌溉技术补助、培训、高效节水示范区的参观、地区水资源总量认知、地下水位下降和打井困难度感知均对农户节水灌溉技术认知有显著的正向影响。

H3：农户年龄对农户节水灌溉技术认知有负向影响。

本文提出如图1所示的以农户节水灌溉技术认知为内生潜变量，农户个人特征、家庭生产特征、政策宣传特征和农户水资源稀缺性认知为外源潜变量的假说模型。

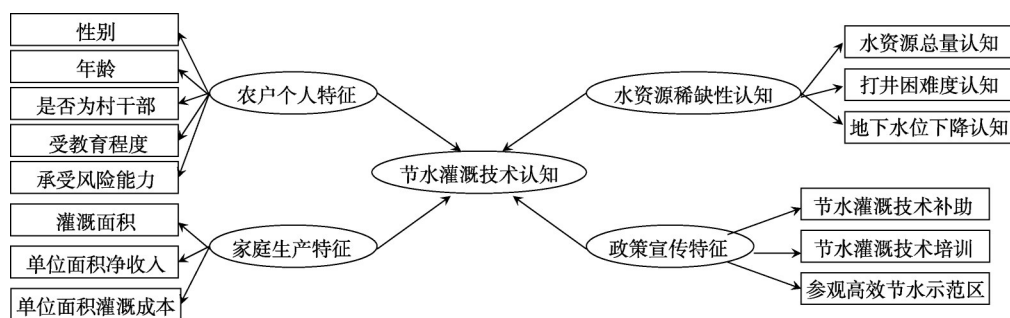


图1 农户节水灌溉技术认知假说模型

Fig. 1 Hypothesis model of farmer cognition on water-saving irrigation technology

2 结果分析

2.1 信度与效度检验

信度检验包括内部一致性信度检验和组合信度检验^[24]。其中，内部一致性信度检验采用克隆巴哈 α 系数，当数值 ≤ 0.35 、 $0.35 \sim 0.7$ 和 ≥ 0.7 时分别对应低信度、一般信度和高信度^[15]。组合信度检验以CR (Composite Reliability) 为衡量指标，一般要求 > 0.7 即可。

采用SPSS 20.0软件对农户个人特征、家庭生产特征、政策宣传特征、农户水资源稀缺性认知和农户节水灌溉技术认知进行信度分析。初次分析后发现农户个人特征的信度并不高，剔除农户个人特征中性别、年龄和是否为村干部这三个可测变量后，剩余变量内部一致性信度较高。根据表2所示结果，农户个人特征潜变量、政策宣传特征潜变量和农户水资源稀缺性认识潜变量的克隆巴哈 α 系数分别为0.827、0.71和0.802，均 > 0.7 ，农户家庭生产特征潜变量的克隆巴哈 α 系数为0.678，信度一般，但在剔除一些可测变量后，问卷整体内部一致性信度增高。各个可测变量的CR值在0.709~0.869之间，均 > 0.7 ，通过组合信度检验。

效度检验要求样本数据能够做因子分析，平均方差抽取量AVE值 > 0.5 。KMO值均 > 0.5 ，sig值均 < 0.5 ，通过Bartlett球体检验，适合做因子分析。各个潜变量的AVE值，除了政策宣传特征略低于0.5以外，其余均 > 0.5 ，说明可测变量对潜变量的解释较好，通过效度检验。

2.2 模型拟合及适配度检验

为验证结构方程模型是否适用于本研究，选取增值适配度指数和简约适配度指数对农户节水灌溉技术认知模型进行检验。运用AMO 21.0软件运行后，初步拟合指标不够理想，根据模型路径系数与修正指数^[25]，增加农户个人特征、家庭生产特征和政策宣传特征对农户水资源稀缺性认知影响的路径，同时增加农户个人特征、家庭生产特征和政

表2 信度与效度分析结果

Table 2 Reliability and validity analysis results

潜变量	可测变量	克朗巴哈 α 系数	KMO	Bartlett 球形 检验(sig)	因子共 同成分	累计方差 解释/%	组合 信度	平均方差抽 取量 AVE
农户个人特征	受教育程度	0.827	0.5	237.763(0.000)	0.884	88.413	0.869	0.769
	承受风险能力				0.884			
家庭生产特征	灌溉面积	0.678	0.674	280.532(0.000)	0.700	71.417	0.819	0.610
	单位面积净收入				0.822			
	单位灌溉成本				0.621			
政策宣传特征	节水灌溉技术补助	0.71	0.668	150.803(0.000)	0.605	63.328	0.709	0.449
	节水灌溉技术培训				0.685			
	参观高效节水示范区				0.611			
水资源稀缺性认知	水资源总量认知	0.802	0.665	281.509(0.000)	0.807	71.757	0.812	0.595
	打井困难度认知				0.735			
	地下水位下降认知				0.611			
节水灌溉技术认知	节水灌溉技术重要性	0.853	0.678	402.050(0.000)	0.798	77.422	0.787	0.563
	节水灌溉技术有效性				0.666			
	节水灌溉技术使用方便性				0.858			

策宣传特征之间的相关关系和其他可测变量残差的相关关系。修正的模型结果见图2，适配度检验结果见表3。从模型适配度检验结果看，各项实际拟合值结果都符合标准值要求，表明修正后的测量模型整体拟合情况较好，结构方程模型适用于研究农户节水灌溉技术认知。

2.3 结果分析

从模型拟合结果看，农户节水技术灌溉认知假说模型中农户性别、年龄和是否为村干部变量在检验中被剔除，其余假设均成立。并且在修正结果中发现农户个人特征、家庭生产特征和政策宣传特征对农户水资源稀缺性认知也有影响，并且之间有相关关系，

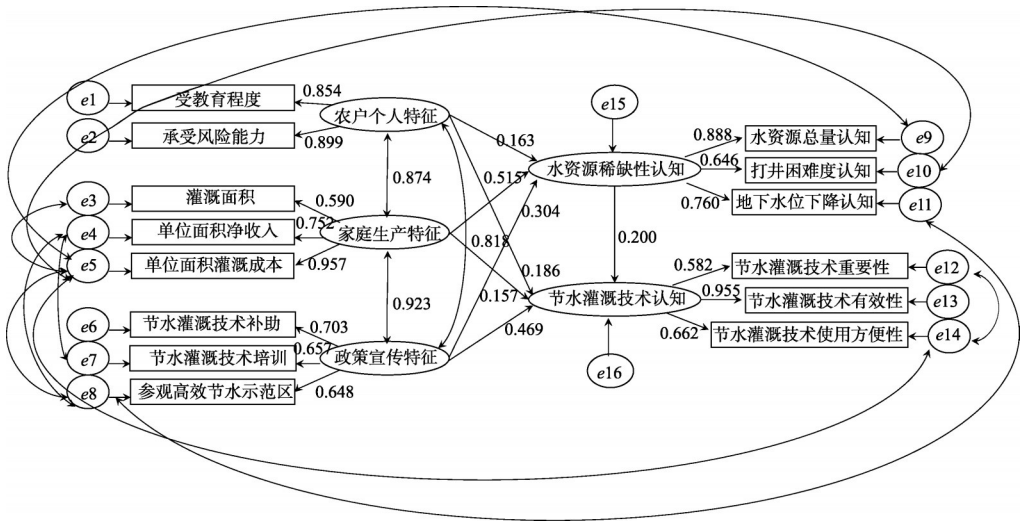


图2 农户节水灌溉技术认知模型结果

Fig. 2 Results diagram of farmer cognition on water-saving irrigation technology model

回归结果如表4。

农户个人特征、家庭生产特征、政策宣传特征和水资源稀缺性认知对农户节水灌溉技术认知的标准化路径系数值分别为0.186、0.157、0.469和0.200，且都通过显著性检验，与已有研究和本文假设结果一致。并且农户个人特征、家庭生产特征和政策宣传特征对农户水资源稀缺性认知影响系数为0.163、0.515和0.304。

2.3.1 农户个人特征对农户水资源稀缺性认知和节水灌溉技术认知的影响

农户个人特征是影响农户水资源稀缺性认知和节水灌溉技术认知的基本要素，其直接路径系数分别为0.163和0.186，表明农户个人特征差异对其水资源稀缺性理解的深度和节水灌溉技术接受的意愿、新技术采用的积极性均有不同程度的影响。

表3 SEM模型整体适配度评价及拟合结果

Table 3 Evaluation index system and fitting results of SEM model

拟合优度指标	指标结果	理想值	说明
增值适配度指数			
<i>NFI</i>	0.969	>0.9	理想
<i>IFI</i>	0.989	>0.9	理想
<i>TLI</i>	0.983	>0.9	理想
<i>CFI</i>	0.989	>0.9	理想
简约适配度指数			
<i>PCFI</i>	0.630	>0.5	理想
<i>PNFI</i>	0.617	>0.5	理想
卡方/自由度	1.523	<2	理想
<i>RMSEA</i>	0.044	<0.05	理想

表4 结构方程模型变量回归结果

Table 4 Results of variable regression of SEM

模型	变量关系	标准化路径/载荷系数	是否显著
结构模型	农户个人特征→农户节水灌溉技术认知	0.186	显著
	家庭生产特征→农户节水灌溉技术认知	0.157	显著
	政策宣传特征→农户节水灌溉技术认知	0.469	显著
	水资源稀缺性认知→农户节水灌溉技术认知	0.200	显著
	农户个人特征→水资源稀缺性认知	0.163	显著
	家庭生产特征→水资源稀缺性认知	0.515	显著
	政策宣传特征→水资源稀缺性认知	0.304	显著
测量模型	受教育程度←个人特征	0.854	显著
	承受风险能力←个人特征	0.899	显著
	有效灌溉面积←生产特征	0.590	显著
	单位面积净收入←生产特征	0.752	显著
	单位面积灌溉成本←生产特征	0.957	显著
	是否接受节水灌溉补助←政策宣传	0.703	显著
	是否参观高效节水示范区←政策宣传	0.657	显著
	是否接受节水灌溉技术培训←政策宣传	0.648	显著
	水资源总量认知←水资源稀缺性认知	0.888	显著
	打井困难度认知←水资源稀缺性认知	0.646	显著
	地下水位下降认知←水资源稀缺性认知	0.760	显著
	节水灌溉技术重要性←节水灌溉技术认知	0.582	显著
	节水灌溉技术有效性←节水灌溉技术认知	0.955	显著
	节水灌溉技术使用方便性←节水灌溉技术认知	0.662	显著

在农户个人特征中,受教育程度和承受风险能力的标准化路径系数分别为0.854和0.899。受教育水平高的农户能更深入感受农业种植过程中灌溉用水的变化,对于水资源稀缺程度更加敏感,可以较早感知打井困难程度,重视地下水位下降等问题,并且愿意接受传统技术以外的新技术,对技术本身的重要性、有用性和使用的方便性有更深刻的认知,有利于调动农户对节水灌溉技术使用的积极性。承受风险能力强的农户对节水灌溉技术认知的影响更大,新技术的使用需要节水灌溉设备的支出,每亩地能够承受更大损失的农户愿意投资新技术,在新技术的推广使用过程中起到积极带头作用。因此,在提高农户水资源稀缺性认知和节水灌溉技术认知的过程中,对于受教育程度高和承受风险能力强的农户应重点培养,旨在为地区节水灌溉技术使用培养示范农户,有利于新技术在农村地区的推广。

2.3.2 农户家庭生产特征对农户水资源稀缺性认知和节水灌溉技术认知的影响

农户家庭生产特征是影响农户水资源稀缺性认知和节水灌溉技术认知的主要因素,其直接路径系数分别为0.515和0.157。农户家庭生产特征不仅直接影响节水灌溉技术认知,还通过影响农户水资源稀缺性认知间接影响农户节水灌溉技术认知,其中间接路径系数为0.103,总路径系数达到0.26^①,说明农户家庭生产特征对其水资源稀缺性认知有显著影响,并共同影响其节水灌溉技术认知。农户家庭生产特征的三个观察变量有效灌溉面积、单位面积净收入和单位面积灌溉成本的路径系数分别为0.590、0.752和0.957,其中单位面积灌溉成本影响最大,有效灌溉面积影响最小,进一步解释如下:

在农户家庭生产特征中,有效灌溉面积越大,农户水资源稀缺性认知和节水灌溉技术认知越强。农业生产过程中,农户种植面积越大,农作物总需水量要求越高。种植大户对于当地水资源量的波动较为敏感,打井困难度的提升和地下水超采等一系列问题迫使农户压缩农业灌溉用水,采用节水灌溉技术。因此,家庭有效灌溉面积大的农户对于节水新技术的使用更迫切。

单位面积净收入越大,即农业生产的经济效益越明显,有能力承担节水灌溉设备成本,并且倾向节省劳动力的灌溉方式。因此,对于农业种植收入高的农户,大力推广新型的节水灌溉技术,在保证农业生产的前提下,较低的灌溉劳动强度和较高的农业种植收入是农户灌溉方式选择的出发点。

单位面积灌溉成本是农户作为理性经济人在选择灌溉方式时考虑的首要因素。虽然传统的灌溉技术能够节省灌溉设备的成本,但耗费大量人力成本,较高的人力成本促使农户了解和采用节水灌溉技术。通常,为尽可能降低人力成本,农户自发了解节水灌溉技术的积极性大大提高,偏向选择新型节水灌溉技术。

2.3.3 政策宣传特征对农户水资源稀缺性认知和节水灌溉技术认知的影响

政策宣传特征是影响农户水资源稀缺性认知和节水灌溉技术认知的重要因素,其直接路径系数分别为0.304和0.469,对节水灌溉技术认知的影响远高于其他因素。结果表明良好的政策环境有利于调动农户了解节水灌溉技术的积极性,提高新技术采用率,促

① 农户家庭生产特征对农户节水灌溉技术认知影响的总路径系数(指标化路径系数)=农户家庭生产特征对农户节水灌溉技术认知的直接路径系数+农户家庭生产特征对农户节水灌溉技术认知的间接路径系数,农户家庭生产特征对农户节水灌溉技术认知的间接路径系数=农户家庭生产特征对农户水资源稀缺性认知的直接路径系数×农户水资源稀缺性认知对农户节水灌溉技术认知的直接路径系数。

进新技术在农村地区大面积的推广。

在政策宣传特征中,节水灌溉技术补助、技术培训和参观高效节水示范区的标准化路径系数分别为0.703、0.657和0.648,其中节水灌溉技术补助的影响在0.7以上,表明政府技术补贴是最直接有效增强农户对节水灌溉技术认知的方法,与刘亚克等^[26]在黄河流域、海河流域和薛彩霞等^[27]在陕西的研究结论一致。节水灌溉技术培训是农户全方面了解节水灌溉技术的直接途径,解决农户对新技术疑问和使用方法等问题,技术效果预期直接影响农户对农业生产经济效益和水资源利用生态效益的判断,增强农户对节水灌溉技术的好奇心,加深对新技术的了解意愿和采用意愿。通过参观高效节水示范区,和传统灌溉技术在劳动力强度、水资源耗费量和农业收益的差异显而易见,利于农户调整高耗水、高劳动强度的灌溉方式。在节水灌溉技术推广过程中,国家实施的灌溉技术补贴、提供的技术培训以及高效节水示范区的建立对于提高农户节水灌溉技术认知的效果不可替代。这与实际情况相符,面临新技术采用的问题时,农户受到成本、风险和预计收益等诸多因素影响,良好的政策环境在解决农户疑虑、满足农户预期的情况下,利于农户对节水灌溉技术的认知、学习和采用。

2.3.4 农户水资源稀缺性认知对农户节水灌溉技术认知的影响

农户水资源稀缺性认知对农户节水灌溉技术认知的影响路径系数为0.2,农户水资源稀缺性认知不仅受农户个人特征的影响,还受农户家庭生产特征的制约和政策环境特征的约束。可观察变量水资源总量认知、打井困难度认知和地下水位下降认知的路径系数分别为0.888、0.646和0.760,其中农户水资源总量认知影响最大,而打井困难度认知影响最小。因为农户每年农业生产都需要大量的灌溉用水,根据不同年份用水的方便性以及降雨量变化,对地区水资源总量的感知有明显的变化。而农业灌溉水井的使用年限较长,并且农户无法参与打井过程,对打井困难度的感知相对较弱。在灌溉过程中,地下水位下降的问题和农业生产用水获得难易密切相关,因此地下水超采引起的水位下降不仅影响农业灌溉,也引起农户水资源稀缺性的认知。

研究表明,农户生活用水、农业灌溉用水的可获得性和近年水资源量的变化是影响其水资源稀缺性认知的重要因素,促使农户通过了解节水灌溉新技术的方式解决农业生产用水短缺的问题。因此,在地下水超采地区推广节水灌溉技术势在必行,并且农户对水资源稀缺性的认知更能激发农户对新型节水技术重要性、有效性和使用方便性的认知,进而促使农户对节水灌溉技术的采用。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文通过对河北省张家口市沽源县农户的调研,构建结构方程模型,验证了农户个人特征、家庭生产特征、政策宣传特征和水资源稀缺性认知是影响农户节水灌溉技术认知的驱动因素。数据分析结果表明,尽管有50%左右的农户对节水灌溉技术有一定了解,但农户整体对新型节水灌溉技术的认知缺乏主动性,对水资源稀缺性认知处于被动地位。由于水资源匮乏严重影响农业生产和种植收益,打井困难和地下水位下降等问题才引起农户的重视,但在新型节水灌溉技术的推广过程中更要多角度多方位考虑问题,受教育程度高并且承受风险能力强的农户更愿意了解新技术的特点,有效灌溉面积较大

的农户更倾向选择劳动力强度较小的灌溉方式,根据农户特点,有针对性地推广,树立农业节水模范典型,更能促进农户对节水灌溉方式的了解和采用。在提高农户节水灌溉认知的基础上,政策环境特征促使农户从了解技术到采用技术的转变。地下水超采地区,政策干预是农户节水灌溉技术采用的重要因素,如果缺少政府的资金和技术支持,农户对灌溉方式的选择很难改变,并且参观高效节水示范区在地区节水灌溉技术的推广中发挥积极的作用。节水灌溉技术补助培训和示范区的建立都是在华北其他地下水超采区提高农户节水灌溉技术认知效果显著的政策工具。

3.2 讨论

华北地区水资源状况不容乐观,水资源浪费和地下水超采现象日益严重,农业作为最大的耗水单元,加快农业灌溉方式的转变势在必行。以推广节水灌溉为主的高效农业生产方式是面临的最大挑战,其中探索影响农户节水灌溉技术认知的内在机理是政府今后制定有效推广政策的关键。从目前发展状况看,主要依靠政府技术补助和培训的确能够实现大面积推广节水灌溉技术的阶段目标,但实现在华北地区甚至全国范围内减少农业用水的目的,过度依赖政府资金投入并非长期有效的方式。

因此,发现农户对节水灌溉技术认知的差异能更有针对性地开展节水宣传,打造高效节水农业示范区利于在华北地区树立节水典范。由于不同特征农户对相同水资源现状认知程度和理解存在很大差异,在制定农业节水灌溉技术推广策略时,尽可能地了解基层情况,根据乡镇资源禀赋的差异情况,实施有针对性的鼓励和扶持政策。同时,加强对地下水资源过度利用的监督,引导农户自愿积极考虑农业生产的环境效益和生态环境。

除了提高农户节水灌溉技术认知外,改善华北地区地下水超采现状还需进行多方面研究。科学的农业节水增效整体方案和区域解决方案至关重要,提供先进可实施的关键技术,研发有市场前景的农业抗旱节水品种等高科技产品,积极探索有效的农业节水创新机制,扎实推进农村基层工作,为促进华北农业节水增效,保护地下水资源和改善水资源对农业生产的制约做出积极贡献。

参考文献(References):

- [1] 李祥妹,周龙春. 基于要素成本核算的水资源管理研究. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(12): 39-45. [LI X M, ZHOU C L. Water management research based on factor cost accounting. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(12): 39-45.]
- [2] 刘维哲,唐溧,王西琴,等. 农业灌溉用水经济价值及其影响因素: 基于剩余价值法和陕西关中地区农户调研数据. 自然资源学报, 2019, 34(3): 553-562. [LIU W Z, TANG L, WANG X Q, et al. Estimating economic value of irrigation water and analysis of influencing factors: A case study based on residual value method and farmers' data in Guanzhong area of Shanxi. Journal of Natural Resources, 2019, 34(3): 553-562.]
- [3] 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. 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. China Rural Survey, 2013, (6): 45-51.]
- [4] 聂英,董娜,孔祥露. 基于 Logistic 模型的农户节水技术选择行为研究. 统计与决策, 2015, (10): 92-95. [NIE Y, DONG N, KONG X L. Farmers' behavior of choosing water-saving irrigation technology based on logistic model. Statistics and Decision, 2015, (10): 92-95.]
- [5] SCHUCK E C, FRASIER W M, WEBB R S, et al. Adoption of more technically efficient irrigation system as a drought response. Water Resource Development, 2005, 12: 651-662.
- [6] DRIDI C, KHANNA M. Irrigation technology adoption and gains from water trading under asymmetric information. American Journal of Agricultural Economics, 2005, 87(2): 289-301.
- [7] CAREY M J, ZILBERMAN D. A model of investment under uncertainty: Modern irrigation technology and emerging

- markets in water. *American Journal of Agricultural Economics*, 2002, 84(1): 171-183.
- [8] 刘持博, 韩晓燕, 吕杰. 半干旱地区农民采纳节水灌溉技术意愿及其影响因素分析: 以阜新蒙古族自治县 134 个农户为例. *沈阳农业大学学报: 社会科学版*, 2014, 16(3): 257-261. [LIU C B, HAN X Y, LYU J. Farmers' desire for water saving irrigation technology in semiarid regions: Taking 134 farmer households in Fuxin Mongolian Autonomous county as a case. *Journal of Shenyang Agricultural University: Social Science Edition*, 2014, 16(3): 257-261.]
- [9] 常跟应, 王鹭, 张文侠. 民勤县农民对石羊河流域节水政策及节水效果认知. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(2): 13-19. [CHANG G Y, WANG L, ZHANG W X. Perceptions of peasants in Minqin county for the water conservation policies of Shiyang River Basin and their effects. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(2): 13-19.]
- [10] 乔丹, 陆迁, 徐涛. 社会网络、信息获取与农户节水灌溉技术采用: 以甘肃省民勤县为例. *南京农业大学学报: 社会科学版*, 2017, 17(4): 147-155, 160. [QIAO D, LU Q, XU T. Social networks, information acquisition and water-saving irrigation technology adoption: An empirical analysis from Minqin county, Gansu province. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2017, 17(4): 147-155, 160.]
- [11] 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. *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. *Resources Science*, 2018, 40(7): 1418-1428.]
- [12] 李俊睿, 王西琴, 王雨濛. 农户参与灌溉的行为研究: 以河北省石津灌区为例. *农业技术经济*, 2018, (5): 66-76. [LI J R, WANG X Q, WANG Y M. Farmers' participation in irrigation in Shijin Irrigation Area of Hebei province. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2018, (5): 66-76.]
- [13] 国亮, 侯军歧. 农业节水灌溉技术扩散过程中的影响因素分析. *西安电子科技大学学报: 社会科学版*, 2011, 21(1): 50-55. [GUO L, HOU J Q. Influential factors of diffusion progress about agriculture water-saving irrigation technology. *Journal of Xidian University: Social Science Edition*, 2011, 21(1): 50-55.]
- [14] 武文杰, 刘志林, 张文忠. 基于结构方程模型的北京居民用地价格影响因素评价. *地理学报*, 2010, 65(6): 676-684. [WU W J, LIU Z L, ZHANG W Z. Determinants of residential land price: Structure equation model analysis using land leasing parcel data in Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(6): 676-684.]
- [15] 吴林海, 侯博, 高申荣. 基于结构方程模型的分散农户农药残留认知与主要影响因素分析. *中国农村经济*, 2011, (3): 35-48. [WU L H, HOU B, GAO S R. Analysis of pesticide residues cognition and main influencing factors of dispersed farmers based on structural equation model. *Chinese Rural Economy*, 2011, (3): 35-48.]
- [16] 刘晓敏, 王慧军. 河北省农户采用农艺节水技术意愿影响因素的实证分析. *节水灌溉*, 2010, (3): 55-59. [LIU X M, WANG H J. Factors affecting farmers' willingness to adopt wheat/maize micro-sprinkling irrigation and water-saving technology in Hebei province. *Water Saving Irrigation*, 2010, (3): 55-59.]
- [17] 王昱, 赵廷红, 李波, 等. 西北内陆干旱地区农户采用节水灌溉技术意愿影响因素分析: 以黑河中游地区为例. *节水灌溉*, 2012, (11): 50-54. [WANG Y, ZHAO T H, LI B, et al. Affecting factors of farmers' willingness to adopt water-saving technology in northwest arid region of China. *Water Saving Irrigation*, 2012, (11): 50-54.]
- [18] 左喆瑜. 华北地下水超采区农户对现代节水灌溉技术的支付意愿: 基于对山东省德州市宁津县的条件价值调查. *农业技术经济*, 2016, (6): 32-46. [ZUO Z Y. Farmers' willingness to pay for modern water-saving irrigation technology in groundwater over-exploitation areas in North China: Based on contingent valuation method in Dezhou Ningjin of Shandong province. *Journal of Agrotechnical Economics* 2016, (6): 32-46.]
- [19] 黄玉祥, 韩文霆, 周龙, 等. 农户节水灌溉技术认知及其影响因素分析. *农业工程学报*, 2012, 28(18): 113-120. [HUANG Y X, HAN W T, ZHOU L, et al. Farmer cognition on water-saving irrigation technology and its influencing factors analysis. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(18): 113-120.]
- [20] 徐涛, 赵敏娟, 乔丹, 等. 外部性视角下的节水灌溉技术补偿标准核算: 基于选择实验法. *自然资源学报*, 2018, 33(7): 1116-1128. [XU T, ZHAO M J, QIAO D, et al. Assessing the compensation standard of water-saving irrigation technology from perspective of external benefits based on choice experiment. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(7): 1116-1128.]
- [21] 乔丹, 陆迁, 徐涛. 社会网络、推广服务于农户节水灌溉技术采用: 以甘肃省民勤县为例. *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. *Resources Science*, 2017, 39(3): 441-450.]
- [22] 李颖, 孔德帅, 吴乐, 等. 农业水价改革情景中农户的节水意愿: 基于河北省地下水超采区的实地调研. *节水灌溉*, 2017, (2): 99-102, 105. [LI Y, KONG D S, WU L, et al. Farmers' willingness to save water on the assumption that agricultural water pricing reform is applied. *Water Saving Irrigation*, 2017, (2): 99-102, 105.]
- [23] 郭格, 陆迁, 李玉贝. 外部冲击、社会网络对农户节水灌溉技术采用的影响: 基于甘肃张掖的调查数据. *干旱区资源*

- 与环境, 2017, 31(12): 33-38. [GUO G, LU Q, LI Y B. Influence of exogenous shocks and network on farmers' water-saving irrigation technology adoption: Based on the investigation of the Zhangye, Gansu. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(12): 33-38.]
- [24] 王海涛, 王凯. 养猪户安全生产决策行为影响因素分析: 基于多群组结构方程模型的实证研究. *中国农村经济*, 2012, (11): 21-30, 43. [WANG H T, WANG K. Influence of pig production safety decision-making behavior: Based on multi-group structural equation model. *Chinese Rural Economy*, 2012, (11): 21-30, 43.]
- [25] 史春云, 孙勇, 张宏磊, 等. 基于结构方程模型的自驾游客满意度研究. *地理研究*, 2014, 33(4): 751-761. [SHI C Y, SUN Y, ZHANG H L, et al. Study on the self-drive tourists' satisfaction based on structural equation model. *Geographical Research*, 2014, 33(4): 751-761.]
- [26] 刘亚克, 王金霞, 李玉敏, 等. 农业节水技术的采用及影像因素. *自然资源学报*, 2011, 26(6): 932-942. [LIU Y K, WANG J X, LI Y M, et al. Study on the adoption and determinants of agricultural water saving technologies. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(6): 932-942.]
- [27] 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. *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. *Resources Science*, 2018, 40(7): 1418-1428.]

Farmer cognition on water-saving irrigation technology analysis in groundwater overmining area of North China: A case study of Guyuan county, Zhangjiakou city, Hebei province

LUO Wen-zhe^{1,2}, JIANG Yan-ling³, WANG Xiu-feng⁴, LIU Hua-xian^{1,2}, CHEN Yuan-sheng¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. China Academy of Urban Planning and Design, Beijing 100044, China; 4. Guyuan County Water Authority, Zhangjiakou 076550, Hebei, China)

Abstract: At present, North China faces serious groundwater overmining problem. In the action plan of comprehensive control of groundwater overmining in North China, it is clearly proposed to strengthen agricultural water saving, and adjust the structure of agricultural planting. Farmers' cognition of water saving irrigation technology is closely related to water saving effect. This paper takes the survey of 269 farmers in Guyuan county, Zhangjiakou city, Hebei province as a sample, uses structural equation model to explore intrinsic mechanism of farmers' cognition of water saving irrigation technology. Results show that, the path of personal characteristics of farmers, characteristics of household production, characteristics of policy advocacy, farmer cognition of water resources scarcity are 0.186, 0.157, 0.469 and 0.200. respectively. It is indicated that water saving irrigation technology subsidy, technical training and visiting high efficiency water saving demonstration area are effective in improving farmers' cognition of water saving irrigation technology. Therefore, on the basis of reliance on government technical financial support, we should find out the farmers' cognition differences in water saving irrigation techniques, and perfect the publicity system of water saving irrigation technology so as to enhance farmers' enthusiasm to use water saving irrigation technology in North China.

Keywords: groundwater overmining; water-saving irrigation technology; farmer cognition; structural equation model