

引用格式:徐涛,姚柳杨,乔丹,等.节水灌溉技术社会生态效益评估——以石羊河下游民勤县为例[J].资源科学,2016,38(10):1925-1934. [Xu T, Yao L Y, Qiao D, et al. Social and ecological benefits evaluation of water-saving irrigation technology adoption in Minqin County[J]. *Resources Science*, 2016, 38(10): 1925-1934]. DOI: 10.18402/resci.2016.10.10

# 节水灌溉技术社会生态效益评估 ——以石羊河下游民勤县为例

徐 涛,姚柳杨,乔 丹,陆 迁,颜 俨,赵敏娟

(西北农林科技大学经济管理学院/应用经济研究中心,杨凌 712100)

**摘 要:**节水灌溉技术的社会生态效益评估是相关政策制定的重要参考依据。本文以甘肃省石羊河下游民勤县为例,基于选择实验法构建了节水灌溉技术的效益评估框架,并通过问卷设计、选择实验调研和 Mixed Logit 模型估计,测算了技术采用效益。结果显示,民勤县居民已经形成了一定的社会生态认知,以期通过相应的治理措施来保障区域生态环境的稳定;城镇居民平均每户愿意为当地社会生态环境的改善支付 657.21 元/年,高于农村居民的 587.06 元/年;未来 10 年,民勤县实施节水灌溉技术的社会生态效益总量为 3.946 亿元,单位播种面积的节水效益总量为 7674 元/hm<sup>2</sup>。此外,本文还进一步探讨了运用选择实验法量化节水灌溉技术采用效益的优势与不足,并指出了进一步研究中需要重点关注的一些问题。

**关键词:**节水灌溉技术;社会生态效益;非市场价值;选择实验法;Mixed Logit 模型;民勤县

DOI: 10.18402/resci.2016.10.10

## 1 引言

中国现阶段农业体系面临着两方面的挑战:一是灌溉用水占总用水量的 63.5%,而有效利用系数仅为 0.53,与发达国家的 0.70~0.80 尚有较大差距<sup>[1]</sup>;二是农业发展面临价格封顶、成本抬升、资源环境约束等多重压力,使得传统农业亟需向资源节约、环境友好的现代农业转变<sup>[2]</sup>。实施节水灌溉技术不仅能够提高水资源利用效率、缓解水资源危机,还能在节约化肥、农药和人力投入量,改善生产条件,提高产量和质量等方面发挥作用,对于区域生态安全和社会经济可持续发展具有重要意义<sup>[3-7]</sup>。从节水灌溉技术采用效益的类别而言,既有市场化收益(如节约水费、增产提质等直接经济效益);也有非市场化收益(如生态安全、粮食安全等间接社会生态效益)。科学地量化上述收益,并将其纳入到相关政策制定中,可有效提高推广政策的合理性与可持续性<sup>[8,9]</sup>。

随着节水灌溉的战略地位日益突出,其对区域可持续发展所产生的社会和生态影响逐渐引起学者的关注和重视。2005 年前后,吴景社、雷波、Hussain、叶春兰等运用定性方法对节水灌溉技术的经济、社会与环境效益进行了评价<sup>[10-13]</sup>,但定性分析并不能明确上述效益的具体价值量。此后,有学者开始尝试运用定量分析方法测算节水灌溉技术的经济效益,如李全新提出,基于水资源用于生态环境建设所产生的价值量来估测节水效益(例如,在确定单位面积林木生长需水量的基础上,根据森林资源的使用价值和生态价值估算节约水量的总价值)<sup>[14]</sup>。褚琳琳从经济、环境、社会三方面构建了节水灌溉技术的综合效益评估指标体系,并采用市场价值法对各项指标进行货币化计量<sup>[15]</sup>。冯颖等从福利经济学的理论出发,运用 EDM (Equilibrium Displacement Modeling) 法分析了采用节水灌溉技术时的农产品市场均衡,进而结合社会剩余变动量

收稿日期:2016-05-03;修订日期:2016-07-30

基金项目:国家社会科学基金重大项目(15ZDA052);国家自然科学基金项目(71373209)。

作者简介:徐涛,男,河南淮阳县人,博士生,资源经济与环境管理方向。E-mail: xutao\_2013@outlook.com

通讯作者:赵敏娟, E-mail: minjuan.zhao@nwsuaf.edu.cn

化技术的社会经济效益<sup>[16]</sup>。已有研究揭示了实施节水灌溉技术的多重重要性,并从既有市场价格出发对节水效益进行了定量分析,但对节水灌溉技术的非市场效益,如粮食安全、面源污染控制等方面的社会效益,以及环境保护与恢复、休闲娱乐、沙尘天气防控等方面的生态效益,仍研究不足。

基于此,本文以位于西北典型干旱半干旱农业区的甘肃省民勤县为例,采用非市场价值评估方法——选择实验法(Choice Experiment, CE),量化节水灌溉技术的社会生态效益。CE通过建立假想市场测度受访者对特定生态产品的支付意愿(Willingness To Pay, WTP),从而揭示其非市场价值<sup>[17]</sup>。目前,CE已被广泛应用于市场营销、环境产品评价、旅游资源管理、公共政策制定等诸多领域,并被公认为是最具前景的非市场价值评估方法<sup>[18-20]</sup>。国内基于CE的研究尚处于起步阶段<sup>[21, 22]</sup>,而将CE应用于节水灌溉技术效益评估的研究还尚未见到。本文应用CE测算非市场效益,是在明确节水灌溉技术采用与社会生态环境改善间对应关系的基础上,为受访者提供由社会生态指标组合而成的备选方案,因此更为直观,同时也降低了由于受访者对节水灌溉技术效益认识(如受访者很难理解技术采用与生态保护之间的量化关系)不足所带来的测量偏差。

## 2 节水灌溉技术效益评估框架

### 2.1 效益评估思路

根据 Hanley 等提出的 CE 实施步骤,本文构建了节水灌溉技术采用的社会生态效益评估框架<sup>[23]</sup>,

如图 1 所示:

(1)收集流域水资源量与生态环境状况的历史数据,结合已有研究成果及专家咨询,明确节水灌溉技术采用的直接影响,包括用水量的节约、化肥农药利用率的提高、农作物品质的提升等。

(2)探明这些直接影响所能够带来的社会 and 生态效益,即节水灌溉技术采用所带来的最终效果。

(3)基于节水灌溉技术采用的效果分析及相关专家建议,构建科学合理的价值评估指标体系。

(4)在焦点小组访谈(Focus Group)的基础上进一步完善指标的选取及描述,使之更易于被受访者理解。

(5)基于随机效用理论和正交试验(Orthogonal Experimental)设计 CE 问卷,并通过入户一对一访问,获得受访者的支付意愿数据。

(6)运用 Mixed Logit 模型估计,测算节水灌溉技术采用效益。

本文节水灌溉技术效益评估指标是建立在确定节水灌溉技术采用与社会生态效益之间量化影响关系的基础上,结合生态学和社会学专家的意见,选取具有代表性及居民最为关注的指标。为保证评估指标的科学性、全面性,同时又能够被受访者充分理解,本文通过焦点小组访谈、专家咨询及预调研对评估指标进行了完善,并使其能够充分反映节水灌溉技术所带来的社会生态效益。

### 2.2 计量模型

CE 的理论基础是随机效用论,其基本假定是理

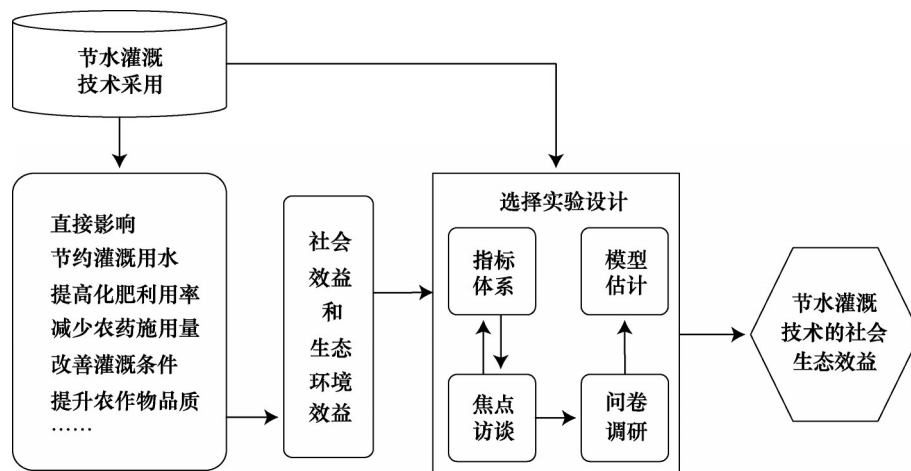


图 1 节水灌溉技术采用的社会生态效益评估框架

Figure 1 The benefits evaluation framework of water-saving irrigation

2016年10月

性个体会选择效用最大的备选项<sup>[24, 25]</sup>。因此,可以将选择问题转化为效用比较问题,以效用的最大化来表示受访者对选择集中最优方案的选择,并通过构造随机效用函数和参数估计揭示受访者福利变动。本文采用Mixed Logit模型估计效用函数,受访者 $n$ 在社会生态情景 $t$ 下的效用 $U_{nt}$ 可表示为<sup>[26]</sup>:

$$U_{nt} = \alpha_n ASC_{nt} + \beta_n X_{nt} + \gamma_n WTP_{nt} + \theta_n ASC_{nt} Z_{nt} + \varepsilon_{nt} \quad (1)$$

式中 $ASC$ (Alternative Specific Constant)为备择常数,用于表示无治理措施时的基准效用; $ASC_{nt}$ 和 $WTP_{nt}$ 分别表示社会生态情景 $t$ 的指标矩阵和所需支付的成本; $\alpha_n$ 、 $\beta_n$ 和 $\gamma_n$ 是各属性指标的系数均值,反映个体 $n$ 对相应指标的偏好程度; $Z_{nt}$ 是受访者家庭特征变量,包括家庭成员的年龄和受教育程度,以及家庭收入、家庭规模和信息化程度; $ASC_{nt} Z_{nt}$ 是备择常数与家庭特征变量的交叉项,反应受访者家庭特征对其选择无措施方案的影响; $\theta_n$ 为其系数; $\varepsilon_{nt}$ 为不可观察项,通常假定效用函数的误差项服从类型I的极值分布(即Gumbel分布)。Mixed Logit模型不同于一般形式的Logit模型,模型中的各指标的系数可以被设定为一个分布,而不局限于固定值,因此可以揭示受访者对不同指标偏好的变异性,也更加贴近现实情况。

那么,个体 $n$ 在所有 $T$ 个情境中选择社会生态情景 $t$ 而不选择其它情景的概率为:

$$P_{nt} = \frac{\exp(\alpha_n ASC_{nt} + \beta_n X_{nt} + \gamma_n WTP_{nt})}{\sum_t \exp(\alpha_n ASC_{nt} + \beta_n X_{nt} + \gamma_n WTP_{nt})} \quad (2)$$

进一步,通过仿真似然估计得出上述偏好方程中相关系数的均值与标准差<sup>[27]</sup>,并根据相关公式计算受访者补偿剩余(Compensation Surplus, CS),公

式如下<sup>[26, 28]</sup>:

$$CS_t = \frac{1}{\gamma_n} [(\alpha_n + \beta_n X_{n0}) - \beta_n X_{nt}] = \frac{1}{\gamma_n} (V_0 - V_t) \quad (3)$$

式中 $CS_t$ 为居民对特定情景 $t$ 的总体支付意愿; $\gamma_n$ 为支付意愿的系数均值; $X_{n0}$ 是无治理措施时评估指标 $X$ 的水平值; $X_{nt}$ 是通过特定治理措施达到情景 $t$ 后评估指标 $X$ 的水平值; $V_0$ 是无治理措施时的社会生态状况, $V_t$ 是通过特定治理措施达到情景 $t$ 后的社会生态状况。

### 3 研究区概况、研究方法与数据来源

#### 3.1 研究区概况

民勤县地处甘肃省河西走廊东北部,石羊河流域下游,面积16 316km<sup>2</sup>,2014年常住人口24.11万,该区属温带大陆性干旱气候,东、西、北三面被腾格里和巴丹吉林两大沙漠环绕,年均降雨量仅128mm,而蒸发量则高达2623mm。民勤境内水资源十分短缺,石羊河是唯一的地表水源,是典型的绿洲灌溉农业区。在过去的几十年,过度抽取地下水、开荒等不合理的经济活动,导致民勤地下水环境恶化、土地荒漠化加剧,并成为中国北方地区沙尘暴起源地之一<sup>[29-31]</sup>。

#### 3.2 指标体系

基于前文效益评估框架,文献整理、实地走访、专家咨询和焦点小组访谈,本文以2016-2026年为治理期,构建节水灌溉技术效益评估指标体系,共包含地下水位、流域水质、耕地质量和农产品质量安全程度4个社会生态指标,及1个支付意愿指标(见表1)。

(1)地下水位。民勤县总用水量3.403亿m<sup>3</sup>(地下水占25.21%),农业用水占69.6%(2014年),过度

表1 效益评估的指标、含意及水平

Table 1 Indicators and indicator levels

评估指标	含意	水平值
地下水位	地下水位的回升可以提高植被覆盖率、降低沙尘暴发生频率、改善流域自然景观和休闲娱乐条件,保障流域生态安全	33m*; 24m; 20m
流域水质	良好的水质是居民生活和动植物生存的重要保障	劣V类*; V类; IV类
耕地质量	良好的耕地质量能够保障农业生产和农田生态功能的发挥	降低*; 保持现状
农产品质量安全程度	民勤县生产的农产品,其品质和安全程度	维持现状*; 改善
支付意愿	2016-2026年,您家每年愿意为各方案支付的金额	0元; 150元; 300元; 450元

注:\*表示10年后不采取任何保护措施的情况下所能达到的水平值状态(而非现状水平),非\*号表示10年后在采取不同程度保护措施的情况下所能达到的水平值状态。



开采已导致民勤地下水位急剧下降,同时也带来了一系列生态问题。由于现代节水灌溉技术可根据作物需水情况精准灌溉,并最大限度减少地表蒸发(如膜下滴灌技、垄膜沟灌等),节水率高达20%~50%。此外,管道输水、小管出流、渠道衬砌等农业综合节水技术的应用,也能切实提高水资源利用率。因此,高效节水灌溉技术的大范围推广将能有效缓解民勤地下水超采问题,并有效遏制地下水位下降,甚至可以通过纯河水灌溉使地下水位得到回升。地下水位的稳定与回升能为下游旱生植物生存环境带来改观,从而降低沙尘暴发生频率,保障区域生态安全<sup>[3,32,33]</sup>。结合民勤现状及相关领域专家意见,这一指标设定了3个水平值,其含意为:若无治理措施,10年后平均地下水位将下降至33m;若采取措施则能维持现在的24m或回升至20m(其余指标含意类似,不再赘述)。

(2)流域水质。一方面,部分节水技术可借助灌溉水将化肥直接运送到作物根系附近的土壤中(如易溶肥料可通过滴灌设备进行施肥),大大提高肥料利用率,从而减少施肥量;另一方面,地膜覆盖可有效控制杂草生长、减少病虫害发生,因而能够降低农药的使用量(如膜下滴灌技术可节约20%左右的化肥和农药使用量)。因此,节水灌溉技术可以在缓解农业面源污染,改善地表和地下水水质方面发挥作用<sup>[6,34-36]</sup>。

(3)耕地质量。一方面,可灌溉条件是评价耕地质量的重要因素,节水灌溉技术能够在水量不变的情况下增加可灌溉面积(或提升灌溉效果);另一方面,由于节水灌溉技术水流强度小于土壤的入渗速度,因而不会形成地表径流,可改善旱区耕地因采用传统漫灌方式带来的土壤板结问题<sup>[5]</sup>。

(4)农产品质量安全程度。一方面,现代节水灌溉技术能够适时适量地向作物根区供水供肥,灌溉施肥更加均匀,同时地膜覆盖能够很好地调节温度和湿度,改善作物生长的微气候环境,因而具有明显的增产提质效果<sup>[4,37]</sup>;另一方面,通过降低化肥、农药的施用量及病虫害的发生,能够更好地保障农产品安全<sup>[34,35]</sup>。

(5)支付意愿。2016-2026年,受访家庭每年需要为各方案支付的金额。由于改善社会生态环境

需要相应的治理措施,因此需要受访者承担一些必要的成本。这些成本并不一定以现金形式呈现,它可能通过水价、食品价格以及付费的生态休闲场所等多种形式反映到家庭生活成本上。结合民勤县居民消费现状及预调研时对受访者支付意愿的初步统计,设置了4个水平值,具体含意为:若受访者选择无措施方案,则无需付费;若受访者选择有治理措施的方案,则需相应地付费150元、300元或450元。

### 3.3 实验设计

选择实验设计是将不同水平的社会生态指标组合成直观的备选方案及选择集。根据已有研究经验,每份CE问卷为受访者提供3个选择集(每3个选择集为一组实验),每个选择集中包含3个备选方案<sup>[38]</sup>。表2展示了一个选择集,“方案0”是在政策缺失条件下目标年各项社会生态指标的水平值;“方案1”和“方案2”是在不同政策(不同侧重点和强度)下目标年各项社会生态指标的水平值。由表1可知,可能的备选方案有144(即 $3^2 \times 2^2 \times 4$ )个,可能的选择集有10 153(即 $C_{143}^3$ )个,因此无法对全部的备选方案进行选择实验,需要优选部分具有代表性的选择集<sup>[39]</sup>。

表2 选择实验调研中的一个选择集

Table 2 An example of choice sets in choice experiments

评估指标	方案0 (不采取措施)	方案1 (改善1)	方案2 (改善2)
地下水位	33m	33m	20m
流域水质	劣V类	V类	V类
耕地质量	降低	降低	保持现状
农产品质量安全程度	变差	改善	变差
您家每年愿意为此付费	0元	300元	300元
受访者的选择	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

本文使用选择实验设计软件“Ngene 1.1.1”进行正交实验设计,并根据隐含价格最小化原则生成12组36个选择集,并进一步对存在占优策略的选择集进行调整<sup>[40]</sup>,其有效性检验结果为D-error为0.0403,A-error为0.0448。通过上述正交实验设计,最终,本文得到12个版本的调研问卷(每个版本的问卷均包含3个选择集)。实地调研时,随机抽取某一版本的问卷,并要求受访者结合自身情况进行3

2016年10月

次独立的选择。

最后,结合预调研效果,对社会生态指标表述进一步优化,确保调研问卷能够被受访者准确无误地理解。此外,正式调研之前课题组对调研员进行了专项培训,讲解实验操作过程,说明调研中需要注意的事项,并要求调研员在受访者进行方案选择之前,为其介绍各项指标及不同水平值所代表的含意。

### 3.4 数据说明

课题组于2015年12月对民勤县城乡居民进行了抽样调研,共获得有效问卷598份:城镇居民266份,覆盖了县城主要街道,其中十字街以东92份(占比34.59%,下同),十字街以西43份(16.17%),十字街以南73份(27.44%),十字街以北58份(21.80%);农村332份,抽取了位于湖区的红沙梁乡和东湖镇,位于环河片区的大滩乡和双茨科乡,以及位于坝区的薛百乡、大坝乡和苏武乡,覆盖了具有不同地形、土质、主要农作物和地下水位的乡镇,并根据各乡镇人口及经济状况分别抽取3~4个行政村,其中红沙梁乡59份(17.77%),东湖镇57份(17.17%),大滩乡38份(11.45%),双茨科乡37份(11.14%),薛百乡47份(14.16%),苏武乡45份(13.55%),大坝乡49份(14.76%)。

由表3描述统计结果可知,除耕地质量外城镇

居民组的社会生态指标均值均在中间值以上,而农村居民组的各指标均值均在中间值以下;从支付意愿的均值来看,城镇居民组要高于农村居民组;从受访者家庭特征来看,农村家庭的平均年龄高于城镇受访者,而城镇家庭的平均受教育年限、家庭收入、家庭规模和网络使用率要高于农村受访者。

## 4 模型估计与效益核算

### 4.1 结果及分析

本文运用Stata 12.0软件,通过500次Halton抽样对Mixed Logit模型进行仿真似然估计,结果如表4所示。模型中具体的参数设定如下:将社会生态指标的系数设定为服从正态分布的随机参数,即 $\beta_n \sim N(\mu_n, \sigma_n^2)$ ,从而得到其均值和标准差的估计结果;将ASC、支付意愿和交叉项的系数 $\alpha_n$ 、 $\gamma_n$ 和 $\theta_n$ 设定为固定参数,从而得到其均值的估计结果<sup>[26,39,41,42]</sup>。此外,由于中国城乡居民在生态意识和支付能力等方面存在较大差异性<sup>[21]</sup>,为满足同一样本内的随机参数假定,本文将城镇和农村居民分别进行估计。

从模型整体拟合效果来看,卡方统计量均显著,表明两组模型均具有统计学意义上的显著性。在随机参数中,社会生态指标的均值显著为正,表明地下水位的回升、流域水质的改善、耕地质量及农产品质量安全程度的提高均能够提升受访者的效用水平。固定参数中,支付意愿的均值显著为

表3 变量描述统计

Table 3 Variables descriptive statistics

变量		城镇( <i>n</i> =266)		农村( <i>n</i> =332)	
		均值	标准差	均值	标准差
评估指标	地下水位	0.038	0.837	-0.072	0.866
	流域水质	0.050	0.838	-0.120	0.868
	耕地质量	-0.575	0.495	-0.636	0.482
	农产品质量安全程度	0.544	0.498	0.405	0.491
	支付意愿/元	249.309	142.759	198.946	161.468
家庭特征	年龄/年	40.643	11.454	49.633	8.482
	受教育年限/年	11.515	3.467	7.294	2.983
	家庭收入/万元	4.726	2.508	4.349	2.687
	家庭规模/人	3.940	1.186	3.783	1.360
	是否使用网络	0.820	0.385	0.337	0.474

注:(1)地下水位“33m”、“24m”、“20m”分别赋值为-1、0、1;(2)流域水质“劣V类”、“V类”、“IV类”分别赋值为-1、0、1;(3)耕地质量“降低”、“保持现状”分别赋值为-1、0;(4)农产品质量安全“维持现状”、“改善”分别赋值为0、1;(5)由于实地调研模拟了家庭决策过程,鼓励主要家庭成员间的交流和讨论,因此家庭特征变量统计的是主要家庭成员的年龄和受教育年限的均值,而非户主特征。

表4 Mixed Logit 模型估计结果

Table 4 Results of mixed logit model

变量		城镇(n=266)		农村(n=322)	
		系数	标准误差	系数	标准误差
随机参数的均值	地下水位	1.481***	0.289	4.722***	1.287
	流域水质	1.293***	0.285	2.896***	0.808
	耕地质量	0.575*	0.317	2.550***	0.938
	农产品质量安全	2.365***	0.489	3.410***	0.954
固定参数的均值	支付意愿	-0.010***	0.002	-0.030***	0.008
	ASC	2.018	2.372	3.603	4.756
交叉项的均值	ASC×年龄	-0.038	0.031	0.027	0.065
	ASC×受教育年限	-0.033	0.090	-0.097	0.181
	ASC×家庭收入	0.231*	0.119	-0.525***	0.204
	ASC×家庭规模	-0.328	0.256	-0.105	0.383
	ASC×是否使用网络	-1.748**	0.841	-2.364*	1.386
随机参数的标准差	地下水位	1.445***	0.347	4.898***	1.342
	流域水质	1.992***	0.400	4.783***	1.384
	耕地质量	2.607***	0.584	6.662***	1.779
	农产品质量安全	3.434***	0.721	6.066***	1.698
LR chi2(4)		141.850		406.730	
Log likelihood		-593.097***		-713.876***	

注：\*、\*\*、\*\*\*分别代表10%、5%、1%的显著水平。

负,表明增加支出会降低受访者的效用水平,因此可以认为受访者倾向于通过支付较少的资金获得更好的社会生态环境,这与理论预期相符;城镇居民组和农村居民组ASC项的均值均不显著,表明城乡居民并不拒绝无治理措施的“方案0”。此外,各评估指标的系数均值反映了受访者对不同福利指标的相对偏好程度,例如:城镇居民组中地下水位和耕地质量的系数均值分别为1.481和0.575,意味着其他条件不变情况下,地下水位提升一个单位(如:从33m到24m)对城镇居民福利的影响约为耕地质量提升一个单位(从“降低”到“保持现状”)的2.58倍。

从受访者家庭特征变量的影响来看,两组受访者的年龄、受教育年限和家庭规模与ASC的交叉项系数均不显著,表明这些因素并不影响受访者的方案选择;农村居民收入水平的系数显著为负,表明收入越高的农村居民选择“0方案”的可能性越低,而城镇居民则反之,这一结果与谭永忠等关于基本农田非市场价值评估的研究略有不同<sup>[43]</sup>,具体原因还有待更加深入地探讨;两组样本中“是否使用网络”的系数均显著为负,表明互联网应用增加了受

访者拒绝“0方案”的可能性,这可能与受访者在网络使用过程中环保意识受到强化有关。

从随机参数的标准差看,4个社会生态指标均通过了1%水平显著性检验,表明受访者对这些社会生态指标的偏好存在显著的异质性,具有随机特征。这一结果也体现了Mixed Logit模型的优势,相对于传统的Logit模型放宽了“无关备择选项的独立性(Independence of Irrelevant Alternatives, IIA)”假定,能够揭示不同个体选择中存在异质性,更贴近现实<sup>[44]</sup>。

## 4.2 社会经济效益核算

补偿剩余反映了特定生态情景下,流域内每个家庭平均每年的支付意愿,是节水灌溉技术采用所带来的全部非市场价值的增加量。那么,假设在民勤全县范围内推广节水灌溉技术,10年后社会生态指标能够达到最优状态,即地下水位回升至“20m”、流域水质改善为“Ⅳ类”、耕地质量能够“保持现状”、农产品质量安全“改善”。则根据表4以及公式(3)计算得到,此后10年城镇居民平均每年愿意为此支付657.21元,农村居民平均每年愿意为此支付587.06元。若折现率采用一年期基准存款利率



2016年10月

1.5%,则城镇居民2016–2026年总的补偿剩余为6151.83元/户,农村居民未来10年总的补偿剩余为5495.19元/户。根据《中国县域统计年鉴(2013)》<sup>[45]</sup>数据,2012年年末,民勤县城镇和乡村户数分别为12 998户和57 266户,则民勤县实施节水灌溉技术的社会生态效益总额为3.946亿元。进一步,以民勤县农作物播种面积51 426.67hm<sup>2</sup>计算,得到单位面积的节水效益总量为7674元/hm<sup>2</sup>。

## 5 结论与讨论

### 5.1 结论

本文以石羊河下游民勤县为例,基于选择实验法构建效益评估指标体系,并通过问卷设计、实地调研和模型估计,测算了节水灌溉技术的社会生态效益,主要结论如下:

Mixed Logit模型估计结果表明,民勤县居民已经形成了一定的社会生态认知,并希望通过相应的治理措施来保障区域生态环境的稳定,从而提升自身效用水平;城乡居民估计结果对比表明,两组居民对各评估指标存在偏好差异,但与预期假设一致,原因可能在于城乡居民生态认知和支付能力的不同;城镇居民平均补偿剩余高于农村居民,表明城镇居民改善当前社会生态状况的意愿要更为强烈;未来10年,如果民勤县通过节水灌溉技术实施使社会生态环境改善到本文选择实验设定的最优状态,能够为区域内居民带来的社会生态效益总量为3.946亿元,单位面积的效益总量为7674元/hm<sup>2</sup>,这一研究结果对石羊河下游地区节水灌溉技术补贴政策及生态保护与恢复政策的制定具有实证参考意义。

### 5.2 讨论

虽然相比于其他方法,CE不仅为生态产品的非市场价值量化提供了可行途径,同时在降低测量偏差、获取更多的偏好信息等方面也能发挥优势。而且,由于CE调研为受访者提供了权衡各评估指标的机会,也使其在处理多指标方案时显得更加灵活。但是,将CE应用于节水效益的量化,仍存在值得深入探究之处:

(1)由于民勤县耕地细碎化与盐碱化问题严重,使得膜下滴灌等高效节水技术在该地区的推广面临适应性问题,实践中仍有诸多不足之处需要改

善,但这很可能会对技术实施的实际效果造成影响。因此,CE指标选取和水平值的确定还需要进一步优化,使设计情景能够更加真实精确地反映生态环境的变化,从而保障测算结果的准确性。

(2)由于选择实验调研要求受访者在假设的市场情景下做出选择,而无需真实地进行支付,因而存在高估节水效益的可能。因此,将更为有效的误差控制方法引入到问卷设计和实地调研中,避免受访者因假设情景而高估自己的支付意愿,是今后需要重点关注的问题。

(3)民勤县作为中国沙尘暴的主要策源地之一,其生态环境的改善也会影响到周边更大范围的地区,因此,民勤县以外居民获得的社会生态收益也应当被纳入到效益核算中,这也是未来研究需要进一步展开的内容。

**致谢:**感谢 Robert Johnston 教授 (Clark University)、民勤县水务局、调研团队在问卷设计和调研过程中给予的帮助。

## 参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国水利部. 2014年中国水资源公报[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2015. [The Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. China Water Resources Bulletin 2010 [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2015.]
- [2] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于加快转变农业发展方式的意见[EB/OL]. (2015-08-07)[2016-05-03]. [http://www.gov.cn/jzhengce/content/2015-08/07/content\\_10057.htm](http://www.gov.cn/jzhengce/content/2015-08/07/content_10057.htm). [General Office of the State Council of the People's Republic of China. The Opinions of General Office of the State Council about Accelerating the Transformation of Agricultural Development Mode[EB/OL]. (2015-08-07)[2016-05-03]. [http://www.gov.cn/jzhengce/content/2015-08/07/content\\_10057.htm](http://www.gov.cn/jzhengce/content/2015-08/07/content_10057.htm).]
- [3] 陈亮, 马金辉, 冯兆东, 等. 基于GIS和统计的民勤绿洲地下水位模拟[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2009, 45(6): 21–27. [Chen L, Ma J H, Feng Z D, et al. Using GIS and statistics to simulate spatial-temporal changes in groundwater level in Minqin Oasis[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2009, 45(6): 21–27.]
- [4] 王洪源, 李光永. 滴灌模式和灌水下限对甜瓜耗水量和产量的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 47–51. [Wang H Y, Li G Y. Effect of drip irrigation mode and water floor on water con-

- sumption and yield of sweet melon[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(5): 47-51.]
- [5] 靳姗姗. 干旱地区膜下滴灌条件下水盐运移规律及防治盐碱化的研究[D]. 西安: 长安大学, 2011. [Jin S S. Study on Water and Salt Transport Features and Salinity Control under the Condition of Drip Irrigation in Arid Area[D]. Xi'an: Chang'an University, 2011.]
- [6] 邢英英, 张富仓, 吴立峰, 等. 基于番茄产量品质水肥利用效率确定适宜滴灌灌水施肥量[J]. 农业工程学报, 2015, 31(S1): 110-121. [Xing Y Y, Zhang F C, Wu L F, et al. Determination of optimal amount of irrigation and fertilizer under drip fertigated system based on tomato yield, quality, water and fertilizer use efficiency[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(S1): 110-121.]
- [7] 袁寿其, 李红, 王新坤. 中国节水灌溉装备发展现状、问题、趋势与建议[J]. 排灌机械工程学报, 2015, 33(1): 78-92. [Yuan S Q, Li H, Wang X K. Status, problems, trends and suggestions for water-saving irrigation equipment in China[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2015, 33(1): 78-92.]
- [8] Lant C L, Ruhl J B, Kraft S E. The tragedy of ecosystem services [J]. *Social Science Electronic Publishing*, 2009, 58(10): 969-974.
- [9] 褚琳琳. 节水灌溉综合效益价值评估与补偿机制研究进展[J]. 节水灌溉, 2015, (1): 96-99. [Chu L L. Advances in research on value evaluation of comprehensive benefits and compensation mechanism of water-saving agriculture[J]. *Water Saving Irrigation*, 2015, (1): 96-99.]
- [10] 吴景社. 区域节水灌溉综合效益评价方法与应用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2003. [Wu J S. Evaluation of Comprehensive Irrigation on a Regional Scale: Effects of Water-Saving Methods and Application[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2003]
- [11] 雷波. 我国北方旱作区旱作节水农业综合效益评价研究-以山西寿阳为例[D]. 北京: 农业资源与农业区划研究所, 2005. [Lei B. Research on Multi-Effect Appraisalment of Dryland Water-Saving Agriculture in North China[D]. Beijing: Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, 2005.]
- [12] Hussain I. Direct and indirect benefits and potential disbenefits of irrigation: Evidence and lessons[J]. *Irrigation and Drainage*, 2007, 56(2-3): 179-194.
- [13] 叶春兰, 王宏伟. 草地节水灌溉工程综合效益评价方法研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2008, 29(1): 72-77. [Ye C L, Wang H W. Research on the evaluation method of the benefit of grassland ecological protection of water-saving irrigation projects[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2008, 29(1): 72-77.]
- [14] 李全新. 西北农业节水生态补偿机制研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009. [Li Q X. Study on Eco-Compensation Mechanism for Agriculture Water-Saving in the Northwest[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009.]
- [15] 褚琳琳. 节水农业综合效益分析[J]. 水利经济, 2011, 29(2): 22-25. [Chu L L. Comprehensive benefits of water saving agriculture [J]. *Journal of Economics of Water Resources*, 2011, 29(2): 22-25.]
- [16] 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.]
- [17] Adamowicz W, Boxall P, Williams M, et al. Stated preference approaches for measuring passive use values: Choice experiments and contingent valuation[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1998, 80(1): 64-75.
- [18] Beharry-Borg N, Scarpa R. Valuing quality changes in Caribbean coastal waters for heterogeneous beach visitors[J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(5): 1124-1139.
- [19] Doherty E, Campbell D. Demand for Improved Food Safety and Quality: A Cross-Regional Comparison[R]. Coventry: 85th Annual Conference of the Agricultural Economics Society, 2011.
- [20] Stithou M, Hynes S, Hanley N, et al. Estimating the value of achieving 'good ecological status' in the Boyne River catchment in Ireland using choice experiments[J]. *The Economic and Social Review*, 2013, 43(3): 397-422.
- [21] 史恒通, 赵敏娟. 基于选择试验模型的生态系统服务支付意愿差异及全价值评估-以渭河流域为例[J]. 资源科学, 2015, 37(2): 351-359. [Shi H T, Zhao M J. Willingness to pay differences across ecosystem services and total economic valuation based on choice experiments approach[J]. *Resources Science*, 2015, 37(2): 351-359.]
- [22] 王尔大, 李莉, 韦健华. 基于选择实验法的国家森林公园资源和管理属性经济价值评价[J]. 资源科学, 2015, 37(1): 193-200. [Wang E D, Li L, Wei J H. Economic value evaluation of resources and management attributes for forest parks using choice experiments[J]. *Resources Science*, 2015, 37(1): 193-200.]
- [23] Hanley N, Hanley R E, Adamowicz V. Using choice experiments to value the environment[J]. *Environmental and Resource Economics*, 1998, 11(3-4): 413-428.
- [24] Mcfadden D. Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior[A]. Zarembka P. *Frontiers in Econometrics*[M]. New York: Academic Press, 1973.
- [25] Hensher D, Shore N, Train K. Households' willingness to pay for water service attributes[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2005, 32(4): 509-531.
- [26] Hensher D A, Greene W H. The mixed logit model: The state of



2016年10月

- practice[J]. *Transportation*, 2003, 30(2): 133-176.
- [27] Train K E. Discrete Choice Methods with Simulation[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [28] Morrison M, Bennett J, Blamey R, *et al.* Choice modeling and tests of benefit transfer[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2002, 84(1): 161-170.
- [29] 任珩, 赵成章, 安丽涓. 基于突变级数法的民勤绿洲水资源管理政策绩效评价[J]. *资源科学*, 2014, 36(5): 922-928. [Ren H, Zhao C Z, An L J. Performance evaluation of water management policy for Minqin Oasis using the catastrophe progression method [J]. *Resources Science*, 2014, 36(5): 922-928.]
- [30] 乔丹, 陆迁, 徐涛. 农村小型水利设施合作供给意愿影响因素分析-基于多群组结构方程模型[J]. *农村经济*, 2016, (3): 99-104. [Qiao D, Lu Q, Xu T. Farmers' willingness of scale water conservancy facilities supply in rural areas[J]. *Rural Economy*, 2016, (3): 99-104.]
- [31] 徐涛, 赵敏娟, 姚柳杨, 等. 农业生产经营形式选择: 规模、组织与效率-以西北旱区石羊河流域农户为例[J]. *农业技术经济*, 2016, (2): 23-31. [Xu T, Zhao M J, Yao L Y, *et al.* Form selecting of agricultural production and operation: Scale, organization and efficiency[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2016, (2): 23-31.]
- [32] 彭致功, 刘钰, 许迪, 等. 农业节水措施对地下水涵养的作用及其敏感性分析[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(7): 36-41. [Peng Z G, Liu Y, Xu D, *et al.* Effect of agricultural water-saving measures on the quantity of groundwater extraction and recharge and its sensitivity[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(7): 36-41.]
- [33] 李江, 毛晓敏, 刘易. 基于景观单元的黑河中游地下水位变化研究[J]. *灌溉排水学报*, 2014, 33(Z1): 266-272. [Li J, Mao X M, Liu Y. Variation of groundwater in middle reaches of Heihe River basin on the landscape unit[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2014, 33(Z1): 266-272.]
- [34] 尚海庆, 王振. 地膜覆盖封闭除草剂药害的研究[J]. *农药*, 2010, 49(5): 375-377. [Shang H Q, Wang Z. Research on the chemical damage of mulching plastic cover seal weeding[J]. *Agrochemicals*, 2010, 49(5): 375-377.]
- [35] 郭庆人. 膜下滴灌水稻栽培技术对降低甲烷气体排放以及化肥、农药施用污染的探讨[J]. *作物研究*, 2012, 26(3): 278-281. [Guo Q R. Discussion on reducing pollution induced by methane, fertilizer and pesticide in rice with drip irrigation under mulch film [J]. *Crop Research*, 2012, 26(3): 278-281.]
- [36] 陈剑, 张泽, Yunger J A, 等. 滴灌精准施肥装置棉田施氮配肥能力研究[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(12): 62-68. [Chen J, Zhang Z, John A Y, *et al.* Distribution and application of urea with precision fertilization device of drip irrigation in cotton fields[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(12): 62-68.]
- [37] 张彦群, 王建东, 龚时宏, 等. 滴灌条件下冬小麦施氮增产的光合生理响应[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(6): 170-177. [Zhang Y Q, Wang J D, Gong S H, *et al.* Photosynthetic response of yield enhancement by nitrogen fertilization in winter wheat fields with drip irrigation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(6): 170-177.]
- [38] Kuhfeld W F. Marketing Research Methods in SAS: Experimental Design, Choice, Conjoint, and Graphical Techniques[R]. Cary, NC: SAS-Institute TS-722, 2005.
- [39] Duke J M, Borchers A M, Johnston R J, *et al.* Sustainable agricultural management contracts: Using choice experiments to estimate the benefits of land preservation and conservation practices[J]. *Ecological Economics*, 2012, 74(7): 95-103.
- [40] Johnston R J, Duke J M. Willingness to pay for agricultural land preservation and policy process attributes: Does the method matter?[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2007, 89(4): 1098-1115.
- [41] Johnston R J, Bergstrom J C. Valuing farmland protection: Do empirical results and policy guidance depend on the econometric fine print?[J]. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 2011, 33(4): 639-660.
- [42] Johnston R J, Schultz E T, Segerson K, *et al.* Enhancing the content validity of stated preference valuation: The structure and function of ecological indicators[J]. *Land Economics*, 2012, 88(1): 102-120.
- [43] 谭永忠, 陈佳, 王庆日, 等. 基于选择试验模型的基本农田非市场价值评估-以浙江省德清县为例[J]. *自然资源学报*, 2012, (11): 1981-1994. [Tan Y Z, Chen J, Wang Q R, *et al.* Estimation of non-market value of prime farmland based on choice experiment model[J]. *Journal of Natural Resources*, 2012, (11): 1981-1994.]
- [44] 樊辉, 赵敏娟. 自然资源非市场价值评估的选择实验法: 原理及应用分析[J]. *资源科学*, 2013, 35(7): 1347-1354. [Fan H, Zhao M J. Choice experiments for natural resource non-market evaluation[J]. *Resources Science*, 2013, 35(7): 1347-1354.]
- [45] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国县域统计年鉴(2013) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2013. [Rural Social and Economic Investigation Department of National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China County Statistical Yearbook 2013[M]. Beijing: China Statistics Press, 2013.]

## Social and ecological benefits evaluation of water-saving irrigation technology adoption in Minqin County

XU Tao, YAO Liuyang, QIAO Dan, LU Qian, YAN Yan, ZHAO Minjuan

(Applied Economic Research Center, College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** An effective way to improve policy sustainability and rationality is via scientifically quantifying non-market social-ecological benefits brought by water-saving irrigation technology. Here, we take Minqin county, downstream of the Shiyang River, as an example, and designed and implemented choice experiments based on a benefit evaluation framework and index system. We then estimated the social-ecological benefits of technology water-saving irrigation adoption using a mixed logit model. The results show that residents of Minqin have formed the cognition of ecological protection, and they expect to take necessary measures to ensure the stability of the ecology and environment. The average willingness to pay for urban households is 657.21 CNY/year, and the average willingness to pay for rural household is 587.06 CNY/year, under the assumption that the ideal level of socio-ecological indicators can be reached through water-saving irrigation technology adoption in the next 10 years. We calculated that water-saving irrigation technology adoption could bring 394.6 million CNY of social-ecological benefits for county residents in the next 10 years, and total the benefits per unit area of farmland is 7674 CNY in Minqin. We point out that choice experiment methods have advantages of reducing measurement bias, acquiring more preference information, and also dealing with multi-index questionnaires more flexibly. However, in terms of selecting evaluation indicators, setting indicator levels, and measuring social-ecological benefits of a wider range of residents in the surrounding areas, more thorough work is needed.

**Key words:** water-saving irrigation technology; social-ecological benefits; non-market value; choice experiment; Mixed Logit model; Minqin County