

水价政策对灌溉用水及种植收入的影响

刘 莹 黄季焜 王金霞*

摘 要 利用价格杠杆提高农业部门的灌溉用水效率意义重大,但同时也可能对农业种植收入造成负面影响。本文通过建立纳入生产函数的农户多目标决策模型,分析黄河上游农业水价对作物用水及种植收入的影响。研究结果表明,随着水价的上涨,用水量对水价将先后经历无弹性、敏感弹性、最后又恢复低弹性的过程。水价提高将使种植收入持续下降。水价政策与适当的定额补贴政策双管齐下将达到既节约用水又兼顾农户种植收益的双赢结果。

关键词 水价, 种植收入, 多目标决策模型

DOI: 10.13821/j.cnki.ceq.2014.04.08

一、引 言

我国农业灌溉用水受到了来自供给与需求的双重压力。在供给方面,由于人均水资源少、南北分布不均、水污染突出、生态系统退化等问题,水资源短缺已成为社会经济发展的重要制约因素。与此同时,工业和生活用水需求的快速增长与农业灌溉用水形成激烈的竞争,灌溉用水的供给量大为减少。从发达国家的数据来看,随着经济发展,水资源由农业向非农转移的趋势仍将持续,这意味着未来灌溉用水的供给将持续下降。而在需求方面,我国农业生产对灌溉的依赖性极强,大约 65% 的粮食作物和 90% 的蔬菜作物生产在灌溉农田上(国家统计局,2012)¹,因此从粮食安全角度来看,随着中国粮食需求的不断攀升,未来农业灌溉需求将面临更大压力。

灌溉用水的短缺在北方干旱的黄河流域最为严峻。在黄河水资源供给日益短缺的情况下,用水需求却不断增加,年均总耗水量由 20 世纪 50 年代的 122 亿 m³ 增加到 2010 年的 230 亿 m³ (水利部,2010)²。供需矛盾主要体现

* 刘莹,北京航空航天大学经济管理学院;黄季焜、王金霞,中国科学院农业政策研究中心,中国科学院地理科学与资源研究所。通信作者及地址:刘莹,北京市海淀区学院路北京航空航天大学新主楼 A904,100191;电话:13552755872;E-mail: liuying@buaa.edu.cn。本文得到国家自然科学基金(71103013,71333013,71161140351,71203235)、教育部人文社科基金(YWF-12-JRJC-001)资助。感谢中国科学院农业政策研究中心其他科研人员和学生调查过程中的帮助。文责自负。

¹ 中华人民共和国国家统计局,《中国统计年鉴》,中国统计出版社,2012 年。

² 中华人民共和国水利部,《中国水资源公报》,中国水利水电出版社,2010 年。

为两方面的冲突。其一是农业部门和其他部门的冲突。50年代黄河流域农业用水量占全部耗水量的97%，然而由于受到工业和生活用水的挤压，这一比例在2010年降低到68%（水利部，2010）。其二是流域上下游之间的冲突。上游地区由于占有地理优势，在某种程度上享有用水优先权，其耗水量一直远高于中下游地区，例如位于下游的河南省农田灌溉亩均用水量不到位于上游宁夏回族自治区的1/6。因此当整个流域水资源出现问题时，上游地区常常被指责用水太多，并被强烈要求减少水资源配给量（王金霞等，2005）³。

面对水资源短缺问题，政府所采取的应对措施是利用政策工具提高水资源分配效率。鉴于在水资源供给管理改革方面，改革的步伐非常缓慢，解决水资源短缺的根本出路在于从供给管理转变到需求管理。需求管理的政策工具包括水权交易和水价政策。水权交易是近年来兴起的一种促进水资源有效分配的政策工具，然而由于涉及产权的初始分配，实施起来难度较高，目前仍然处于探讨阶段，实际案例凤毛麟角。有效缓解水资源危机的关键，归根到底在于充分合理利用价格杠杆，建立科学合理的有偿分配方式。

在这样的前提下，水价政策重担在身，始终被政府与灌溉管理部门寄予厚望。中国从20世纪80年代起，黄河上游地区进行了一系列水价调整，农业水价一直处于上升趋势（王金霞等，2005），但目前总体而言仍然无法起到价格杠杆的作用，普遍存在水资源短缺与浪费并存现象。水价低廉导致农户缺乏节水激励，同时也导致灌区处于严重的亏损经营状态，灌溉渠道维护管理不足，渠道漏水渗水严重，没有为用水户带来应有的效益，反而严重影响了他们缴纳水费的积极性，从而形成供水系统管理不善的恶性循环。因此只有提高水价，才能改善供水系统的管理，并提高农户投资农田水利、节约用水的积极性（王金霞等，2004）⁴。

利用价格杠杆提高黄河上游的灌溉利用率迫在眉睫，然而提高水价无疑会与农村贫困减缓相冲突。一些学者认为，水价政策在一定范围内无法取得显著节水效果，反而会农业种植收入带来很大负面影响。这是因为在很长一段低价范围内，农户的用水需求弹性很小。当水价提高到明显减少种植收入的程度，农户才会开始减少用水量（Bazzani *et al.*，2005；Gómez and Riesgo，2004；Yang *et al.*，2003；Amir and Fisher，2000）。而贫困户的特征，是收入来源主要依靠传统种植业，因此，基于政治上的考虑，全面提高水价的步伐难以迈得过大，至少在农业部门是这样（Rosegrant and Cai，2002）。水价政策正面临一个两难问题：过低的水价会造成水资源浪费并导致用水冲突，

³ 王金霞、黄季焜等，《灌溉、管理改革及其效应——黄河流域灌区的实证分析》，中国水利水电出版社，2005年。

⁴ 王金霞、黄季焜、Scott Rozelle，“激励机制、农民参与和节水效应：黄河流域灌区水管理制度改革的实证研究”，《中国软科学》，2004年第11期。

过高的水价将不利于农业生产和农户收入，如何把握水价调整的尺度，并设计相关政策配套措施以缓解负面影响，是一个具有现实意义的课题。

国内外有关水价政策对灌溉用水与种植收入的实证研究结果众说纷纭，其中排除方法导致的差异外，主要是因为灌溉水价政策的效果在不同自然环境和农业生产状况下相差很大。对于黄河上游水价政策的效果存在很多未知，例如，水价政策在黄河上游的灌溉节水效应是否显著？面对水价提升，农民种植收入会受到多大影响？如果只有水价大幅上升才能取得明显节水效应，那么什么样的利益补偿机制能够有效缓解水价提高对种植收入的负面影响？本文旨在对以上问题进行研究，为农业水价及相关政策的制定提供理论和实证依据。本文结构安排如下：首先是文献回顾，接下来分别是研究方法、样本选取与数据、政策模拟与情景分析，最后是结论部分。

二、文献回顾

（一）水价政策对用水量的影响

假设总用水量的表达式为：

$$Q = \sum_i a_i q_i, \quad (1)$$

其中， a_i 是作物 i 的面积， q_i 是每亩用水量， Q 为总用水量。假设水价为 p_w ，那么（1）式对水价求导，得到一阶方程为：

$$\frac{dQ}{dp_w} = \sum_i \left(a_i \frac{\partial q_i}{\partial p_w} + q_i \frac{\partial a_i}{\partial p_w} \right). \quad (2)$$

（2）式说明水价对总用水量的影响可分为两个层面。随着水价的上升，农户一方面会减少每亩作物用水量，另一方面会调整种植结构，也就是减少高耗水作物的种植面积，同时替代以低耗水作物，这两种作用都会带来总用水量的下降。

已有文献都是单独针对某一个层面的影响进行研究。例如，一些研究主要利用计量分析法，估计每亩作物用水量与水价的关系，并不考虑种植结构的调整（Moore and Negri, 1992；Moore *et al.*, 1994；于法稳等，2005⁵；裴源生等，2003⁶），而另一些研究是采用数学规划方法，通过农户决策模型，估计水价变动对种植结构的影响，从而得出种植结构调整后的总用水量，其前提假定是每亩作物的用水量是固定不变的（Riesgo and Gómez-Limón，

⁵ 于法稳、屈忠义、冯兆忠，“灌溉水价对农户行为的影响分析”，《中国农村观察》，2005年第1期。

⁶ 裴源生、方玲、罗琳，“黄河流域农业需水价格弹性研究”，《资源科学》，2003年第6期。

2006; Bazzani *et al.*, 2005; Heaney *et al.*, 2005; Gómez-Limón and Riesgo, 2004; Amer and Karablieh, 2004; Arriaza and Gómez-Limón, 2003; Doppler *et al.*, 2002; Berbel and Gómez-Limón, 2000; Moore *et al.*, 1994)。单独考虑某一方面的节水效应无疑是偏颇的,但由于受研究方法所限,目前还没有文献把二者结合起来同时考虑水价政策在两个层面的影响。

(二) 水价政策对种植收入的影响

与水价政策的节水效应类似,水价政策也是透过两种途径对种植收入产生影响。一是由于水价上升导致的各种作物每亩利润下降(由于水费成本的上升,以及用水投入减少导致的单产下降),二是由于种植结构调整带来的总收入变动。目前的文献都仅专注于其中某一方面,尚没有文献能够全面衡量水价政策对种植收入的影响,更无法回答水价对种植收入的影响分别在多大程度上归因于水费的上升、单产的下降,以及种植结构的调整。

(三) 水价政策的研究方法比较

综上所述,定量研究水价政策效果的方法有计量分析法和数学规划法,两种方法各有偏重。相比较而言,计量方法存在以下几个局限性:(1)只关注每亩作物的用水量和收益变化,无法考虑因种植结构调整带来的总用水量和总收益变化;(2)通常一个样本地区的灌溉用水价格变异很小,甚至采取的是单一水价,此时计量方法将无计可施;(3)在水价偏低时,农户对水价变动不敏感,将导致用水需求函数估计的不准确;(4)在水资源供给受限的情况下,水资源的愿付价格高于其实际价格,采用计量方法估计用水量弹性将产生严重偏误。

鉴于计量方法存在以上局限性,近年来数学规划方法更广泛地应用于水价政策的分析上,但依然有待更为一般化的拓展。正如前文所言,数学规划方法通常是在每亩作物投入产出固定的前提下,求解最优的种植结构。在这样的分析架构下,只能分析由种植结构调整引起的总用水量和总收益变化,而无法考虑每亩作物用水量和收益的变动。而在我国农业灌溉效率极为低下的现实背景下,后者往往是农户面对水价调整的第一反应。因此,若想完整、准确地预测水价政策的效果,需要建立纳入生产函数的农户多目标决策模型,即放弃每亩投入量固定的假设,允许每亩用水量随水价而变动。由于纳入生产函数后,规划问题将变得更为复杂,对数据和求解方法要求较高,因此目前采用数学规划方法研究水价政策的文献中,尚未出现纳入生产函数的做法,这正是本文致力于尝试的研究方案。

三、研究方法

本部分建立纳入生产函数的农户多目标决策模型，对水价政策的效果进行模拟。数学规划方法一般是在区域内虚拟一个代表性农户作为研究对象，建立农户决策模型，模拟不同水价时代代表性农户的种植行为，从而反映整个区域的情况。具体包括两部分：（1）建立农户多目标决策模型；（2）估计模型参数。

（一）多目标决策模型

我们采用多目标效用理论是因为它能更好地描述生产者行为（Harper and Eastman, 1980; Patrick *et al.*, 1983; Sumpsi *et al.*, 1997）。农户在种植决策目标时除了传统的利润最大化，通常还会考虑风险和劳动力投入最小化等。首先，农业生产的风险较大，同时受到自然灾害和市场价格波动的影响，所以通过农作物种植多样化以减少生产风险也是农户考虑的生产行为。其次，我国农业生产主要是依靠家庭劳动力，同时农民经常从事非农就业，所以农户在进行种植决策时还要考虑如何能减少家庭劳动力在农业生产中的投入，用更多的时间参加种植业以外的生产活动。本文在刘莹和黄季焜（2010）⁷建立的农户多目标决策模型的基础上纳入生产函数，并引入用水总量限制，建立新的多目标决策模型（即 P1 问题）：

农户生产投入决策模型

$$\text{Max}_{a_i, x_{ij}} U = \theta_1 \sum_i a_i \text{gm}_i - \theta_2 \sum_i \sum_{i'} z_{ii'} a_i a_{i'} - \theta_3 \sum_i a_i x_{ij, j=\text{lab}}, \quad (3)$$

$$\text{gm}_i = p_i^y y_i(x_{ij}) - p_{j, j=\text{wat}}^x x_{ij, j=\text{wat}} - x_{ij, j=\text{cap}} - s_i, \quad (4)$$

$$s. t. \quad \theta_k = w_k / f_k, \quad (5)$$

$$\ln y_i(x_{ij}) = \alpha_i + \sum_j \beta_{ij} \ln x_{ij}, \quad (6)$$

$$\sum_i a_i \leq T \quad \lambda_1 \quad (7)$$

$$\sum_i a_i x_{ij, j=\text{wat}} \leq Q \quad \lambda_2 \quad (8)$$

$$a_i \geq 0 \quad (9)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (10)$$

1. 决策变量

模型的决策变量是各种作物的种植面积 a_i (i 代表不同作物)，以及各种

⁷ 刘莹、黄季焜，“农户多目标种植决策模型与目标权重的估计”，《经济研究》，2010年第1期。

作物的每亩投入量 x_{ij} (j 代表不同投入, 取值为 wat、cap 和 lab, 分别代表灌溉水、资金和劳动力投入)。其他变量定义见附录 1。

2. 效用函数

农户的效用函数可以表达为三个目标的加权: 第一项表示毛利润函数 gm_i , 是未考虑劳动力投入的每亩利润, 其中生产函数 $y_i(x_{ij})$ 采用 Cobb-Douglass 函数形式; 第二项表示风险函数, 其中 $z_{ii'}$ 为各种作物历年利润的方差协方差矩阵 Z 中的元素 (风险函数设定依据可参考刘莹等, 2010); 第三项为劳动力函数, 表示投入的劳动力总数。

每个目标的权重为 ω_k ($k = 1, 2, 3$, 分别代表利润、风险和劳动力目标), 满足

$$\sum_k \omega_k = 1. \tag{11}$$

由于不同目标量纲不一致, 无法直接相加, 对权重 ω_k 进行归一化处理后得到 θ_k 。 θ_k 定义为权重除以每个目标的实际观测值 f_k , 其经济含义为每种 f_k 对总效用的边际贡献。(11) 式可调整为:

$$\sum_k \theta_k f_k = 1. \tag{12}$$

3. 约束条件

农户在生产过程中可能受到各种限制, 例如可利用的土地面积、用水量有限等。假设土地和用水总量分别为 T 和 Q 。两个约束式的拉格朗日乘子分别为 λ_1 和 λ_2 , 其经济意义分别是土地和灌溉水的影子效用。

4. 一阶条件

P1 问题的拉格朗日函数为:

$$L = \theta_1 \sum_i a_i gm_i - \theta_2 \sum_i \sum_{i'} z_{ii'} a_i a_{i'} - \theta_3 \sum_i a_i x_{ij, j=lab} - \lambda_1 \left(\sum_i a_i - T \right) - \lambda_2 \left(\sum_i a_i x_{ij, j=wat} - Q \right). \tag{13}$$

(5) 式分别对决策变量 a_i 、 x_{ij} 、 λ_1 、 λ_2 求偏导, 得到 P1 问题的一组一阶条件:

$$\theta_1 gm_i - 2\theta_2 \sum_{i'} z_{ii'} a_{i'} - \theta_3 x_{ij, j=lab} - \lambda_1 - \lambda_2 x_{ij, j=wat} = 0, \tag{14}$$

$$\lambda_2 x_{ij} / \theta_1 + p_{ij}^x x_{ij} - \beta_{ij} p_{ij}^y y_i = 0, j = wat, \tag{15}$$

$$\theta_3 x_{ij} / \theta_1 - \beta_{ij} p_{ij}^y y_i = 0, j = lab, \tag{16}$$

$$x_{ij} - \beta_{ij} p_{ij}^y y_i = 0, j = cap, \tag{17}$$

$$\sum_i a_i = T, \tag{18}$$

$$\sum_i a_i x_{ij, j=wat} = Q. \tag{19}$$

通过求解 P1 问题，可以模拟出农户在不同水价下的最优种植决策，从而得到水价政策对总用水量和种植收入的影响。同时还可以得到土地和灌溉水的影子效用（ λ_1 和 λ_2 ）的解值。为了把影子效用转化为更具有经济意义的影子价格概念，把毛利润函数 gm_i 代入（14）式，并适当调整可得：

$$\theta_1 (p_i^x y_i - (p_{j,j=\text{wat}}^x + \lambda_2 / \theta_1) x_{ij,j=\text{wat}} - x_{ij,j=\text{cap}} - s_i - \lambda_1 / \theta_1) - 2\theta_2 \sum_i z_{ii'} a_{i'} - \theta_3 x_{ij,j=\text{lab}} = 0. \tag{20}$$

下面引入影子价格的概念，令

$$\rho_1 = \lambda_1 / \theta_1, \quad \rho_2 = \lambda_2 / \theta_1. \tag{21}$$

从（20）式中可以看出，当水价提升至 $p_{j,j=\text{wat}}^x + \rho_2$ ，而土地价格为 ρ_1 时，增加第 i 种作物种植面积的边际效用为零，也就是说， ρ_1 、 ρ_2 分别是土地和灌溉水的影子价格。

影子价格反映了真实价值与现行价格之间的差价。水价政策能否起到节水效果，理论上取决于现行水价是否超过灌溉水的真实价值。如果现行水价（ $p_{j,j=\text{wat}}^x$ ）低于灌溉水的真实价值（ $p_{j,j=\text{wat}}^x + \rho_2$ ），即 ρ_2 大于零，说明用水总量实际上是受到限制的。此时水价的提升并不会让农户改变其种植决策，因此无法达到节约用水的效果。随着水价的提高， ρ_2 将逐渐减少，直到 ρ_2 为零时，农户才开始改变种植决策，总用水量才会开始下降。

值得一提的是，由于 P1 问题是较复杂的非线性问题，常见的规划软件难以求出稳定的全局最优解，其解值往往依赖于决策变量初始值的设定。关于 P1 问题的初值的设定见附录 2。

（二）模型参数的估计

在求解 P1 问题之前，还需要对模型中的未知参数进行估计，这是本文的难点。未知参数包括目标权重 w_k 和各种作物的生产函数中的参数 α_i 和 β_{ij} 。

已有研究大多采用目标规划法（Goal Programming, GP）对目标权重进行估计（Sumpsi *et al.*, 1997），然而该方法存在较大偏误，本文采用一阶条件校准法。一阶条件校准法比目标规划法更具优越性（刘莹等，2010），其原理是利用一阶条件和决策变量的观测值，反推出模型参数，从而保证模型的估计结果与实际观测到的农户决策行为相一致。

在估计模型参数的环节，P1 问题的外生变量和内生变量要进行互换，即把原来的决策变量（种植结构和投入产出）均看作外生变量，取值为实际观测值代入一阶条件（14）—（19）式中，从而求出模型参数估计值。假设实际观测到的真实情况，是土地和用水总量都受到了约束，那么代入实际观测值后（18）式和（19）式将自动成立。（14）—（17）式再加上（12）式，共

$(i + i \times j + 1)$ 个方程, 要估计出 $\omega_k, \beta_{ij}, \lambda_1, \lambda_2$, 共 $(k + i \times j + 2)$ 个未知数。下面分两种情况讨论: (1) 方程数小于未知数个数 ($i < k + 1$), 此时无法求解。幸而就实际情况而言, 一般作物种类 i 是大于权重个数 k 的, 所以本文不考虑这种情况。(2) 方程数大于等于未知数个数 ($i \geq k + 1$), 此时求解以下优化问题 (即 P2 问题):

$$\text{Min}_{\omega_k, \beta_{ij}, \lambda_1, \lambda_2, p1_i, n1_i, p2_{ij}, n2_{ij}} \sum_i (p1_i + n1_i + \sum_j (p2_{ij} + n2_{ij})), \tag{22}$$

$$\text{s. t.} \quad \theta_1 \text{gm}_i - 2\theta_2 \sum_i z_{ii} a_i - \theta_3 x_{ij, j=\text{lab}} - \lambda_1 - \lambda_2 x_{ij, j=\text{wat}} + p1_i - n1_i = 0, \tag{23}$$

$$\lambda_2 x_{ij} / \theta_1 + p_j^x x_{ij} - \beta_{ij} p_i^y y_i + p2_{ij} - n2_{ij} = 0, \quad j = \text{wat}, \tag{24}$$

$$\theta_3 x_{ij} / \theta_1 - \beta_{ij} p_i^y y_i + p2_{ij} - n2_{ij} = 0, \quad j = \text{lab}, \tag{25}$$

$$x_{ij} - \beta_{ij} p_i^y y_i + p2_{ij} - n2_{ij} = 0, \quad j = \text{cap}, \tag{26}$$

$$\sum_k \theta_k f_k = 1, \tag{27}$$

$$\sum_j \beta_j \leq 1, \tag{28}$$

$$p1_i \geq 0, \quad n1_i \geq 0, \quad p2_{ij} \geq 0, \quad n2_{ij} \geq 0. \tag{29}$$

其中, $p1_i, p2_{ij}$ 为正偏误, $n1_i, n2_{ij}$ 为负偏误。为了保证生产函数不规模递增, 加入了限制条件 $\sum_j \beta_j \leq 1$ 。在 P2 问题中, 各种作物的种植面积、每亩投入产出等均为外生给定, 取值为实际观测值, 要求解的变量包括两类: 一类是模型参数 (权重 ω_k 和生产函数参数 β_{ij}), 另一类是其他相关系数 ($\lambda_1, \lambda_2, p1_i, n1_i, p2_{ij}, n2_{ij}$)。关于 P2 问题的初值设定见附录 2。最后, 把 β_{ij} 代入生产函数中, 可求出 α_i 。

四、样本选取与数据

(一) 样本选取

本文采用的是中国科学院农业政策研究中心 2004 年针对黄河上游的调查数据。调查样本的选取结合应用了分层抽样和随机抽样两种方法。考虑到不同地区的代表性, 在黄河上游宁夏回族自治区内的上游和下游各选取一个灌区, 分别是卫宁灌区和青铜峡灌区。在每个灌区内分层随机选取了 16 个样本乡镇, 然后每个乡镇选取 2 个村, 每村选取 4 个农户。

在获得农户所有地块信息以后, 调查员在每户首先选取种植当地主要农作物并依靠地表水灌溉的地块 (因为调查地区是灌区, 所以几乎所有地块都是依靠地表水灌溉的地块)。其次, 每户从这些地块中选取最大的 3 个地块 (因为有

些农户仅种植 1 种或 2 种当地的主要农作物或只有 2 块地种植当地的主要农作物，所以这些农户只选取 2 个地块)。依据上述抽样方法，去除几个信息不完善的地块样本（如投入数据不全），获得农户和地块的有效样本分别是 130 和 328。

(二) 数据

我们分别针对农户、村干部和渠道管理者设计了三套问卷。农户问卷的内容包括农户种植结构、生产情况等。从中抽取的 2—3 个地块的信息十分详尽细致（投入包括种子、化肥、农药、地膜、劳动力、农机畜、灌溉水等），关于地块的问题总共多达 246 个。其中，农作物用水量是地表水灌溉中难以准确测度的一个指标。为了尽可能获得比较准确的用水量，我们访问了地表水灌溉的主要相关人员：农户、渠道管理者和村领导。对每个被访问对象，分别调查了分作物的灌溉次数和每次灌溉的用水量、时间、水深等。综合上述三个信息来源，我们最终估计出了分作物的单位面积用水量。调查获得的主要数据如下：

1. 种植结构

样本地区的主要种植方式为单作小麦、单作玉米、水稻、小麦与玉米套作四种。这四种种植方式的种植面积占总面积的 92%，且剩下 8% 的土地分散在十多种其他作物上，因此我们只关注于这四种种植方式。把所有农户的种植面积进行加总，就可以得到代表性农户的种植结构，如表 1 第 1 列所示。

2. 投入产出情况

各种种植方式的每亩投入产出情况如表 1 所示。投入品包括资金、劳动力和水，其中，资金投入包括种子、机械、薄膜、除草剂、杀虫剂等资金投入在内。根据我们的调查，样本地区并没有出现抛荒现象，且大部分地区的灌溉来水量是受到限制的，因此土地和用水总量可以看作是受到约束的。

表 1 2004 年样本地区代表性农户的种植结构、每亩投入和产出

	种植结构(%)	投入			单产 (公斤)
		灌溉水(方/亩)	劳动力(工/亩)	资金(元/亩)	
小麦	11.5	580	10.7	212	302
玉米	8.0	473	10.1	164	484
水稻	35.6	2 371	21.3	252	546
套种小麦	44.8	406	9.5	209	257
套种玉米	44.8	401	9.2	161	455

资料来源：2004 年中国科学院农业政策研究中心的调查数据。

3. 其他相关数据

宁夏水利厅规定上缴灌区的水费包括基本水费 10 元/亩（可视为每亩固

定资本投入), 计量水费为 0.012 元/方。小麦、玉米和水稻的平均出售价格为 1.6 元, 1.0 元和 1.5 元/公斤。

为计算各种作物毛利润的方差协方差矩阵 Z , 我们从年鉴中获得了宁夏回族自治区历年作物每亩毛利润情况(见表 2)。由于年鉴中不区分单作和套作情况, 小麦与玉米套作的毛利润假设为两种单作作物毛利润的加总(调查发现单作与复种的亩均毛利润相差不大, 误差在可接受范围内)。

表 2 1996—2003 年宁夏回族自治区作物每亩毛利润

	小麦	玉米	水稻
1996 年	203	331	512
1997 年	229	326	546
1998 年	275	385	553
1999 年	188	213	478
2000 年	151	245	390
2001 年	155	311	464
2002 年	105	273	399
2003 年	113	350	454

注: 不同作物利润变化趋势存在差异, 主要原因是由于不同作物受到的自然灾害影响和年度间价格波动存在差异。

资料来源: 全国农产品成本收益资料汇编(1997—2004)。

五、政策模拟与情景分析

本部分首先利用样本地区代表性农户的观测数据, 对模型中的参数进行估计(求解 P2 问题), 其次利用农户决策模型对水价政策的效果进行模拟(求解 P1 问题)。本文中所有数学规划问题均采用 GAMS (General Algebraic Modeling System) 规划软件进行编程求解。

需要说明的是, 由于样本地区存在套作种植方式, P1 和 P2 问题的下角标需要做细微调整。样本地区的种植方式为 4 种(单作小麦、单作玉米、水稻、小麦与玉米套作), 也就是说 P1 问题中 $i = 4$, 满足 $i = k + 1$, 刚好可以求解。对于小麦玉米套作这种特殊种植方法, 其每亩投入或毛利润以套作玉米和套作小麦的总投入或总毛利润来计算, 而生产函数则需要估计 5 种(单作小麦、单作玉米、水稻、套作小麦和套作玉米)。

(一) 模型参数的估计

1. 目标权重

毛利润、风险和劳动力目标权重的估计结果分别是 0.56、0.05 和 0.39, 这与刘莹等(2010)中的估计结果较为接近。

2. 生产函数参数

各种作物生产函数参数的估计值如表 3 所示，均较为符合文献中的经验值，满足生产函数的基本理论假设。

表 3 代表性农户生产函数参数的估计值

	单作小麦	单作玉米	水稻	套作小麦	套作玉米
α	8.31	27.78	13.25	5.43	28.04
β_{wat}	0.03	0.02	0.07	0.02	0.02
β_{lab}	0.40	0.37	0.47	0.41	0.36
β_{cap}	0.46	0.36	0.32	0.52	0.36
$\sum_j \beta_j$	0.88	0.76	0.85	0.96	0.75

把以上两组参数的估计值代入 P1 问题中，可以检验参数的估计是否准确。把现行水价 0.012 元/方代入 P1 问题中，可以求解出一组代表性农户的最优决策值，此时无论是种植结构还是每亩投入的最优解均与实际观测值完全一致，这说明模型参数的估计是十分准确的。

与此同时，可计算出土地和灌溉水的影子价格分别为 42 元/亩和 0.011 元/方。这说明现行水价（0.012 元/方）低于灌溉水的真实价值（0.023 元/方），用水总量是受到限制的，这与样本地区的实际情况相符合。根据第三部分的理论分析，只有当水价达到灌溉水的真实价格 0.023 元/方（即影子价格为零）时，农户才会开始改变原来的种植决策，总用水量才开始下降。下面通过实际模拟水价变动进一步验证。

（二）水价政策模拟

下面将模拟水价政策对总用水量和种植收入的影响。我们首先关心的是水价对农户种植决策的影响，包括种植结构和每亩投入（每亩投入又决定了单产）。其次透过种植决策，可以得到总用水量、水费支出和种植收入的变化情况。

1. 水价对种植结构的影响

如图 1 所示，一开始水价的提高并没有带来种植结构的调整，直到水价达到 0.023 元/方（即影子价格为零）后，农户才开始逐渐减少高耗水量的水稻种植（水稻的每亩用水量是其他作物的 4 倍左右），同时增加其他三种低耗水量种植方式。当水价上升到 0.037 元/方时，农户将完全放弃水稻种植，进一步提高小麦和玉米的种植比例，而小麦玉米套种这种耗水量相对较高的种植方式则开始逐渐减少。

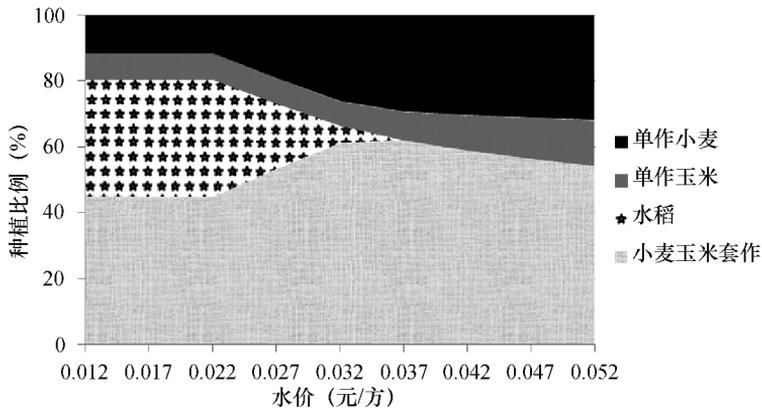


图 1 水价对种植结构的影响

2. 水价对作物单产的影响

在水价上涨初期，由于每亩投入固定不变，单产也保持不变，直到水价上涨到 0.023 元/方，单产才随着每亩投入的减少开始下降。图 2 对比显示了三种水价下的各种作物单产，当水价上升到 0.032 元/方时，各种作物单产分别下降 3%—14%，其中水稻减产幅度最高，达到 14%，这是由于水稻是高耗水量作物，灌溉水的生产弹性相对较大。当水价达到 0.052 元/方时，农户放弃水稻种植，剩下几种作物单产的减幅在 7%—35%。

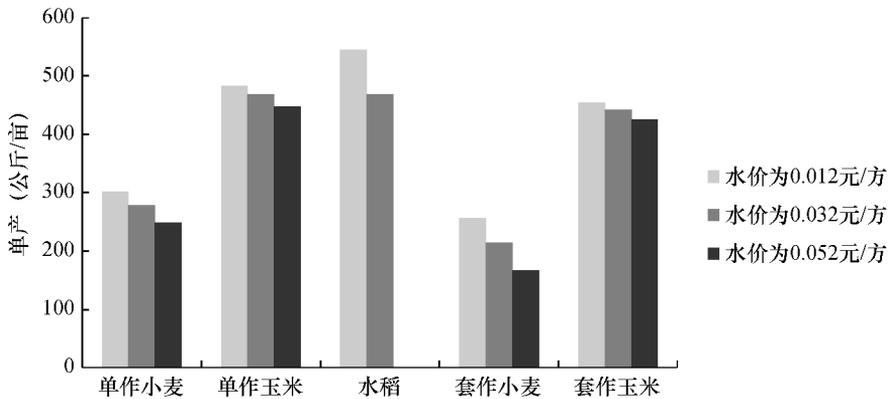


图 2 不同水价下作物单产的变化

3. 水价对总用水量的影响

本文以亩均用水量来衡量总用水量的变化（即用总用水量除以总种植面积），该亩均用水量是不区分作物的。随着水价的上涨，用水量对水价先后经历无弹性、敏感弹性、最后又恢复低弹性的过程（图 3）。具体而言，一开始用水弹性完全刚性，直到水价上涨到 0.023 元/方，农户才开始迅速减少亩均用水量。当水价上涨到 0.037 元/方之后，用水量开始趋于平缓，此时水价提

升所带来的节水效应将十分有限。

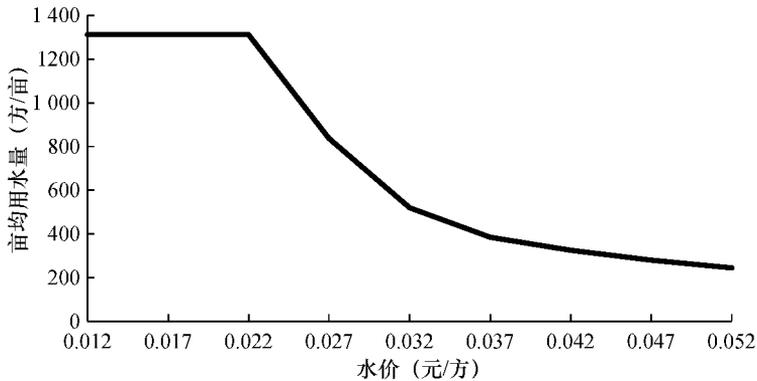


图 3 水价对亩均用水量的影响

4. 水价对水费支出的影响

根据亩均用水量很容易得出亩均水费支出的变动趋势（图 4）。当水价低于 0.023 元/方时，虽然亩均用水量不变，但亩均水费支出会随着水价提高而逐渐增加。当水价达到 0.023 元/方时，亩均水费达到最高点（30 元/亩）。之后由于农户开始减少高耗水量的水稻种植面积，亩均水费支出开始持续下降。

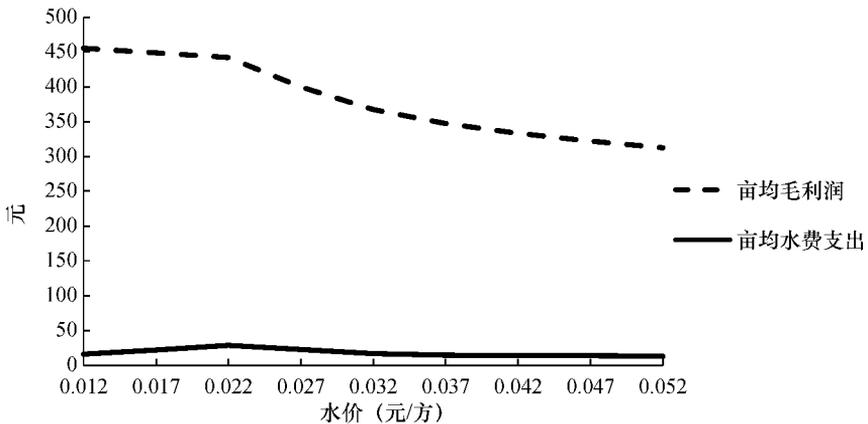


图 4 水价对亩均水费支出和亩均毛利润的影响

5. 水价对种植收入的影响

种植收入用亩均毛利润来衡量（图 4）。当水价低于 0.023 元/方时，由于水费支出的上升，毛利润缓慢下降。当水价超过 0.023 元/方时，毛利润下降速度突然加快，这是由于农户开始减少高耗水、高收益的水稻种植面积。此时虽然水费支出在缓慢回落，但水稻种植收入的减少很快拉低了亩均毛利润。对比亩均水费支出和亩均毛利润两条曲线，不难发现毛利润的下降并非主要源于水费支出的变动，而是由于种植结构的调整和单产的下降。

最后,将亩均用水量(图3)与亩均毛利润(图4)的变化趋势作对比,不难发现水价政策带来的节水效应是以牺牲种植收入为代价的。水价政策在一定范围内(低于0.023元/方时)无法取得节水效果,反而对种植收入带来负面影响(下降4%)。直到水价上涨至0.023元/方后,才能带来用水量的大幅下降。例如当水价为0.032元/方时,用水量下降60%,而种植收入下降19%。

值得一提的是,如果按照已有文献的做法,只允许投入变动,不考虑种植结构的调整,结果会有什么差异呢?如果不允许种植结构变动,在水价低于影子价格时,农户决策及其毛利润与允许种植结构改变的模拟结果是完全相同的(从图1可以看出,当水价低于影子价格时,种植结构不变)。如果水价继续升高,农户会减少每种作物的用水量,从而导致单产和亩均毛利润下降。由于不允许农户调整种植结构,最优解的可行域将缩小,因此这种单纯的单产下降将带来农户毛利润的加速下降。

(三) 情景分析

前面的模拟结果显示只有水价大幅上升才能取得明显节水效应,与此同时,种植收入将受到负面影响。那么什么样的利益补偿机制能够有效缓解水价政策对种植收入的负面影响呢?拟讨论的方案是水价政策和补贴政策双管齐下:(1)水价政策指灌区提高水价,促使农业节水,从而把节约的水量以0.5元/方的价格卖给工业(该价格远低于实际工业用水价格)。(2)补贴政策是对农业实施每亩70元的定额补贴(不区分作物)。该项补贴政策不需要对农户的种植结构进行监督,因此实施成本较低。并且该补贴政策仅仅是一种财富的转移,对农户在各种水价下做出的种植决策没有任何影响,从而也不会影响到总用水量和种植收入(无论是从理论推导,还是从模拟结果都可以得出该结论)。

当水价政策与补贴政策双管齐下时,灌区收支和农户种植收益都会受到影响。灌区收支会受到两方面影响,一是水费收入,二是补贴支出,因此灌区收益变动等于水费收入的增加减去补贴支出。农业种植收入也受到两方面影响,一是种植收入减少,二是获得补贴,因此种植收益变动等于补贴减去种植收入的变动。水价政策与补贴政策共同带来的社会总收益变动,是加总灌区收益变动与种植收益变动之和(由于工业不在我们关注的范围内,因此不考虑工业低价买入水资源获得的效用)。

模拟结果如图5所示,三条曲线分别代表灌区收益变动、社会总收益变动和种植收益变动(均为平均到每亩的量值)。分两阶段讨论:(1)当水价低于0.023元/方时,首先,由于农业用水量没有减少,灌区还未从灌溉水向工业转移中获得收益,仅从提高农业水价中获得的有限的好处,并不足以维持每亩70元的补贴支出,因此灌区收益变动是负的。其次,虽然种植收入随水

价提高逐渐有下降，但加上每亩 70 元补贴后，种植收益变动始终为正。最后，由于此时农户并没有改变种植决策，水价政策和补贴政策的效果均表现为财富在农户和灌区之间的转移，因此社会总收益变动始终为零。(2) 当水价高于 0.023 元/方时，首先，由于灌溉用水量开始减少，灌区通过把节约的农业用水高价转卖给工业，很快扭亏为盈，并保持收益持续上升。其次，由于农户开始改变种植决策，种植收益下降速度加快。当水价达到 0.029 元/方时，水价政策与补贴政策对种植收益的正负面影响相互抵消，此后水价继续上升将对种植收入带来负面影响。最后，得益于农业用水向工业转移带来的巨大利润，社会总收益变动将持续上升，但在后期上升趋势逐渐放缓。

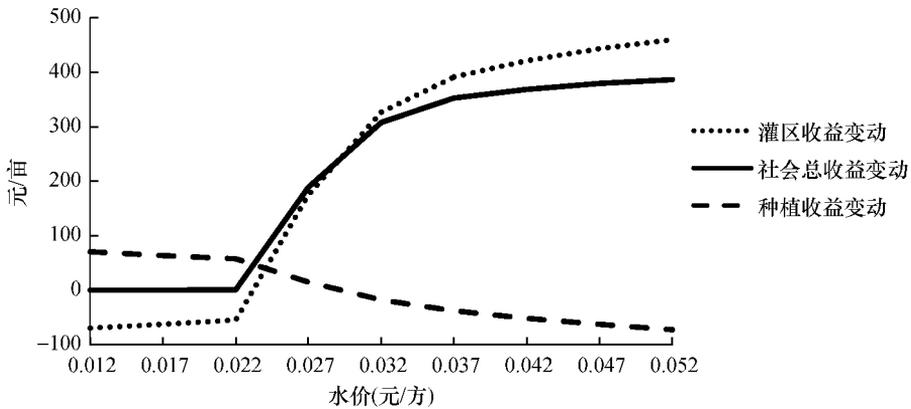


图 5 水价对灌区收益变动、社会总收益变动和种植收益变动的的影响

六、结 论

本文建立纳入生产函数的农户多目标决策模型，同时考虑种植结构和每亩投入这两部分变动引起的用水量与种植收入的变化，从而使模型能够更加完整、准确地预测水价对用水量和种植收入的影响。得出主要结论如下：

(1) 水价政策能否起到节水效果，取决于水价是否超过灌溉水的真实价值。调查结果和模拟结果均显示黄河上游样本地区的现行水价 (0.012 元/方) 低于灌溉水的真实价值 (0.023 元/方)，因此在水价较低时，用水量表现为无弹性。随着水价的提高，影子价格逐渐下降，直到影子价格为零时，农户开始减少用水量，此时用水弹性变得非常敏感。当水价上升到现行水价的 3 倍以后，用水弹性又开始恢复成低弹性。

(2) 随着水价上升，种植收入持续下降。收入的下降虽然同水费支出的上升有关，但主要原因是水价上升，迫使农民调整种植决策，由此带来的种植结构的改变和单产的下降。

(3) 水价政策与定额补贴政策双管齐下将达到既节约用水又兼顾农户种植收益的双赢结果。在每亩70元的补贴幅度下,只要水价低于0.029元/方,补贴政策足以弥补水价上升对种植收入带来的负面影响。由于灌区管理部门无法承担沉重的补贴负担,补贴经费必须依靠外来资金的援助(例如允许灌区把农业节约的水资源卖给工业)。

本文提供了一种分析水价政策效果的基本思路,该思路也同样可以应用到其他农业政策分析中,例如对某种投入品或产出品价格进行干预,会产生什么样的政策后果等。本文的农户决策模型还可以进一步扩展,例如,在模型中加入更多潜在的作物种植选择,或适当增设节水技术投资的选项,甚至考虑到城镇化和劳动力转移的趋势,还可以把农户的决策范畴拓展到非农就业,这些都期待更多深入的探讨。

附录

由于篇幅所限,附录省略。有需要的读者,欢迎来信向作者索取。

参考文献

- [1] Amer, Z., and E. Karablieh, "Measuring the Willingness of Farmers to Pay for Groundwater in the Highland Areas of Jordan", *Agricultural Water Management*, 2004, 68(1), 61—76.
- [2] Amir, I., and F. Fisher, "Response of Near-optimal Agricultural Production to Water Policies", *Agricultural Systems*, 2000, 64(2), 115—130.
- [3] Arriaza, M., and J. Gómez-Limón, "Comparative Performance of Selected Mathematical Programming Models", *Agricultural Systems*, 2003, 77(2), 155—171.
- [4] Bartolini, F., G. Bazzani, V. Gallerani, M. Raggi, D. Viaggi, "The Impact of Water and Agriculture Policy Scenarios on Irrigated Farming Systems in Italy: An Analysis Based on Farm Level Multi-attribute Linear Programming Models", *Agricultural Systems*, 2007, 93(1—3), 90—114.
- [5] Bazzani, G., S. Di Pasquale, V. Gallerani, S. Morganti, M. Raggi, and D. Viaggi, "The Sustainability of Irrigated Agricultural Systems under the Water Framework Directive: First Results", *Environmental Modelling & Software*, 2005, 20(2), 165—175.
- [6] Berbel, J., and J. Gómez-Limón, "The Impact of Water-pricing Policy in Spain: An Analysis of Three Irrigated Areas", *Agricultural Water Management*, 2000, 43(2), 219—238.
- [7] Doppler, W., A. Salman, E. Karablieh, and H. Wolff, "The Impact of Water Price Strategies on the Allocation of Irrigation Water: The Case of the Jordan Valley", *Agricultural Water Management*, 2002, 55(3), 171—182.
- [8] Gómez-Limón, J., and L. Riesgo, "Irrigation Water Pricing: Differential Impacts on Irrigated Farms", *Agricultural Economics*, 2004, 31(1), 47—66.
- [9] Harper, W., and C. Eastman, "An Evaluation of Goal Hierarchies for Small Farm Operators", *American Journal of Agricultural Economics*, 1980, 62(4), 742—747.

- [10] Heaney, A. , A. Hafi, S. Beare, and J. Wang, “Water Reallocation in Northern China”, Beijing: International Commission on Irrigation and Drainage Congress, 2005.
- [11] Liu, Y. , and J. Huang, “Farmer’s Multi-objective Decision Model and the Estimation of the Weight”, *Economic Research Journal*, 2010, 45(1), 148—157. (In Chinese)
- [12] Moore, M. , and D. Negri, “A Multicrop Production Model of Irrigated Agriculture Applied to Water Allocation Policy of the Bureau of Reclamation”, *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 1992, 17(1), 29—43.
- [13] Moore, M. , N. Gollehon, M. Carey, “Multicrop Production Decisions in Western Irrigated Agriculture: The Role of Water Price”, *American Journal of Agricultural Economics*, 1994, 76(4), 859—874.
- [14] Patrick, G. , B. Blake, and S. Whitaker, “Farmers’ Goals: Uni-or Multi-dimensional?”, *American Journal of Agricultural Economics*, 1983, 65(2), 315—320.
- [15] Pei, Y. , L. Fang, and L. Luo, “Price Elasticity of Agricultural Water Demand in China”, *Resources Science*, 2003, 25(6), 25—30. (In Chinese)
- [16] Riesgo, L. , and J. Gómez-Limón, “Multi-criteria Policy Scenario Analysis for Public Regulation of Irrigated Agriculture”, *Agricultural Systems*, 2006, 91(1—2), 1—28.
- [17] Rosegrant, M. , and X. Cai, “Rice and Water: An Examination from China to the World”, *First International Rice Congress. Beijing: International Rice Research Institute*, 2002, 16—20.
- [18] Sumpsi, J. , F. Amador, and C. Romero, “On Farmers’ Objectives: A Multi-criteria Approach”, *European Journal of Operational Research*, 1997, 96(1), 64—71.
- [19] Wang, J. , J. Huang, Z. Xu, S. Rozelle, and Q. Huang, *Irrigation, Management Reform and Impacts—Empirical Research in Irrigation Districts in the Yellow River Basin*, China’s Water Conservancy and Hydropower Press, 2005. (In Chinese)
- [20] Wang, J. , J. Huang, and S. Rozelle, “Incentive, Participation of Farmers and Water Savings: Empirical Research on the Reform of Water Management Institution”, *China Soft Science*, 2004, 167, 8—14. (In Chinese)
- [21] Yang, H. , X. Zhang, A. Zehnder, “Water Scarcity, Pricing Mechanism and Institutional Reform in Northern China Irrigated Agriculture”, *Agricultural Water Management*, 2003, 61(2), 143—161.
- [22] Yu, F. , Z. Qu, and Z. Feng, “An Empirical Analysis on the Effects of Irrigation Water Price on Farmers’ Behaviors”, *China Rural Survey*, 2005, 60(1), 40—44. (In Chinese)
- [23] National Bureau of statistics of the People’s Republic of China, *Yearbook of China Statistics*, Chinese Statistical Press, 2012. (In Chinese)
- [24] Ministry of Water Resources of the People’s Republic of China, *China Water Resources Bulletin*, China’s Water Conservancy and Hydropower Press, 2010. (In Chinese)

The Impact of Water Pricing Policy on Water Use in Irrigation and Crop Income

YING LIU*

(*Beihang University*)

JIKUN HUANG JINXIA WANG

(*Chinese Academy of Sciences*)

Abstract Water pricing is one of the essential policies to improve efficiency of water used in irrigation, but there are also concerns on its impact on farmers' income. This paper analyzes the impacts of water pricing policy, based on a novel multi-objective decision system. The results show that as water price increases, the absolute values of water demand elasticity increase from zero to a certain high level and then fall thereafter. The income from crop production would fall with water price. A decoupled compensation mechanism is highly needed to reach a win-win situation for both water conservation and farmers' welfare.

Key Words water price, crop income, multi-objective decision model

JEL Classification Q21, Q25, R22

* Corresponding Author: Ying Liu, School of Economics and Management, Beihang University XueYuan Road No. 37, HaiDian District, Beijing, 100191, China; Tel: 86-13552755872 ; E-mail: liuying@buaa.edu.cn.