

展、粮食安全、发展农村经济、加强生态环境建设等方面的战略地位和重要作用,不仅仅是国民经济和社会可持续发展所要求的,而且是我国农业资源,特别是水资源的严峻形势所决定的;因此农业节水

是21世纪我国农业现代化进程的主旋律,它将构筑农业可持续发展的不可替代的坚实基础。

(本文刊登在《中国农村水利水电》2001年第1期)

市场经济条件下农业水资源高效利用模型研究

王浩 韩素华 秦大庸

(中国水利水电科学研究院水资源研究所,北京 100044)

农业水资源利用包括了从水源到农作物用水的5个环节,即水源、输配水、灌水、保水和用水,其高效利用就是尽量减少这5个环节中的水量损失,提高农业水的生产效率。具体过程包括有效降水的高效利用、灌溉水的高效利用、劣质水的处理和改造利用以及地表水、地下水的联合利用等。其目的就是要使以上各环节全过程的水分损失减少到最低程度,使单位灌溉水量的粮食或其它农产品产量的转化效率达到较好的指标。在市场经济条件下,研究农业水资源高效利用模式时,不能离开单位粮食的费用单纯谈单位水的生产效率,更不能离开农民的收入单纯谈节水。在关注农业水资源高效利用目标实现的同时,还必须关注农民收入水平的提高。农民收入水平提高了,也就是农业和农村经济的基础壮大了,归根到底也就是综合国力提高了。这样,才会有农民对发展农业和发展自身素质的积极投入,促使农业进一步繁荣和走向良性循环,为解决“三农”问题打好基础。本文提出的市场经济条件下农业水资源高效利用模型,基于区域水资源生态经济系统可持续发展的要求,在不同的水资源利用模式和区域经济发展模式下,根据水资源开发利用状况和水土资源组合条件,探讨灌溉面积、种植结构和灌溉制度的调整方案,通过合理配置农业生产的诸要素,使等量的经济投入生成尽可能高的产出,在灌区或其它农作物区内,实现总产值的最大化。同时,使单位供水量和单位净耗水量以及农民净收入满足预先给定的设计指标范围,提出切实可行的节水措施,对改进节水措施后的投资和收益、可节水量及合理水价

等问题结出定量的回答。

一、模型原理与功能

农业水资源高效利用的内涵就是以使农业生产全过程中的水分损失减少到最低程度,使单位灌溉水量的粮食或其它农产品产量的转化效率达到较好的指标,使农业生产得到较好的经济效益。通过研究区域节水使用模式,研究水价变化对农业节水的影响,水价变化对农业生产的影响,种植结构改变对农业节水的影响,以及地表水地下水联合利用对农业节水的影响和农民负担的影响。

市场经济条件下农业水资源高效利用模型是运用投入产出方法研究灌区水资源高效利用和农业生产问题。通过一组投入产出系数来定量地反映各种因素对农业生产的影响,并可为水资源优化配置决策支持系统中的资源分配优化模型和模拟模型提供灌溉净效益曲线,即农业生产函数。

将本模型作为宏观经济水资源决策支持系统的一部分,便可以从整个灌溉系统的角度统一进行水资源的优化分配。在水资源供需平衡模型也就是通常所说的模拟模型,通过模拟计算得到配水方案后,用本模型可得到相应配置方案下具有确定保证率的各项优化配置指标,主要包括:(1)不同类型土地利用规模;(2)作物种植结构、种植面积;(3)灌区工程更新改造、中低产田改造规模;(4)灌溉用水管理(灌溉制度、灌溉方式、水价调整等);(5)引用水量、耗用水量分配;(6)农业生产诸要素的合理投入(用工、肥料、农

药、种子、农机等); (7) 各种作物产出(总产出、单位投入产出等)。

二、计算模型

本文的核心是研制了市场经济条件下农业水资源高效利用模型,简称 AGRIPower 模型。这个模型的主要特点是在考虑农业水资源高效利用的同时,计入了投资对它的影响;体现了各项节水措施的投入产出和水价调整对用水的抑制作用。

(一) 目标函数。模型所考虑的范围是多个独立的灌区。对于不独立的灌区,可在独立灌区的基础上进行水量反馈。每一灌区内的灌溉条件可分为灌溉地,雨养地和荒地 3 类。对 3 类土地的每一类又可按其土质和地貌条件分为黏土、壤土、沙壤土和坡地 4 类。因此,对任一个灌区而言,其基本土地类型最多可有 12 类。这样划分使每种作物在不同类土地上的投入和产出能比较符合实际情况模型中对上述各类土地的描述是动态的。每类土地均有现状面积和在优化分水及优化种植结构下的优化面积,并且记录了各类土地面积的发展过程。

模型的目标函数为农业产出的经济净效益最大。农业生产的成本包括灌溉水费、渠道衬砌费用、土地平整与开荒费用、渠道配套费用及其它与灌溉无关的投入,如种子、农药、化肥、农机、人工以及其它杂费等;产出项为作物产量和经济价格的乘积或者称产值。

$$A = \sum_i \max(R_i - F_i)$$

式中: i 为灌区代号; R_i 为灌区农业生产毛效益; F_i 为某灌区农业生产成本; A 为研究区农业生产净效益。

$$R_i = P_j \cdot Y_{j,k,m}, CA_{i,j,k} \cdot (1 - YL_j)$$

式中: j 为农作物种类; k 为农作物种植面积; m 为不同土地类型; P_j 为该灌区各作物单价; $Y_{j,k,m}$ 为该灌区各作物产量; $CA_{i,j,k}$ 为该灌区各作物种植面积; YL_j 为作物田间损失率。

$$F_i = W_i + L_i + LNZ_i + LB_i + FR_i + PS_i + EQ_i + MS_i + SD_i$$

式中: W_i 为灌溉水费用; L_i 为土地平整及开垦费用; LNZ_i 为下三级渠道配套费用与下三级渠道衬砌费用之和; LB_i 为人工费用; FR_i 为肥料费用; PS_i 为农药费用; EQ_i 为农机费用; MS_i

为作物种植杂费包括水费等; SD_i 为种子费用。

水费计算时,其中引用水量不包括有效降水量。用公式可表示为

$$W_i = \sum_{j=1}^J (WU_{i,j} - RF_{i,j}) \cdot UW_{i,k}$$

式中: k 为不同水源; W_i 为某灌区灌溉水费; WU_i 为灌区用水量之和; RF_i 为灌区有效降水量; $UW_{i,k}$ 为灌区不同水源的水价。

(二) 约束方程。模型所研究的是以年为周期的农业生产活动,年内时段为月或旬。时段的划分是与宏观经济水资源决策支持系统中的多目标优化模型和模拟模型相一致的。

对多年轮作作物均有种植面积增长的限制,对在灌溉条件下和雨养条件下均可种植的作物,认为是 2 种作物,具有不同的投入产出。对所有作物均考虑了生长期约束。生长期精确到天。同一作物其种植生长期相差 14 天以上的,认为是 2 种作物。显然,生长期约束排斥了在同一块土地上同一时段种植 2 种作物的可能性。对所有作物均考虑了其土地、灌溉用水、劳力、肥料、农药、种子、农机的投入情况。作物产出分为主产品和副产品两项,并考虑了田间损失。灌溉定额采用相应于 10%、50%、75% 和 90% 来水条件下的定额。灌溉作物的产量可以为充分灌溉条件下的产量或者水分欠缺情况下的产量。

人均粮食与人均蔬菜占有量等许多规划指标可通过总产及播种面积的上下界约束来考虑。此外,某些固定的作物种植结构也可通过播种面积约束来考虑。对于作物种植结构,如某些作物多年轮作制,作物播种面积等也都在约束条件中加以考虑。灌溉作物不能在雨养地上种植;但为了在连旱年充分利用土地资源,雨养作物可在灌溉地上种植。

模型的主要约束条件为: (1) 灌溉地的面积变化约束; (2) 雨养地(旱地)的面积变化约束; (3) 荒地面积变化约束; (4) 灌区衬砌面积的约束; (5) 雨养作物在灌溉地上的种植面积约束; (6) 灌溉地未衬砌面积上的作物种植结构约束; (7) 灌溉地已衬砌面积上的作物种植结构约束; (8) 雨养地的作物种植结构约束; (9) 灌溉用水量约束; (10) 作物用工量约束; (11) 作物施肥量约束; (12) 作物农药用量约束; (13) 作物种子用量约束; (14) 农机台班用量约束; (15) 各种作物总

产量;(16)各种作物总产量的上下界;(17)各种作物总播种面积;(18)各种作物播种面积的上下限。

由于约束方程集过于庞大,这里不再给出详细过程,有兴趣的同行可以与作者直接联系。

(三)软件设计思路。本系统的设计思路是:运用 POWERBUILDER6.5 设计开发模型的输入、输出及与用户的交互界面,运用 GAM 语言做为市场经济条件下农业水资源高效利用模型的支持语言。同时,采用面向数据的设计方法,系统各模块之间的信息传递及反馈均通过数据库来实现。数据库的设计主要考虑以下几方面内容:①面向问题导向,适合系统的需要;②尽量降低冗余度和数据的不一致性;③尽量运用现有的科技成果。

系统输入设计的目的是为了用户将模型所需的数据有效地输入到相应的数据库中。因为用户的计算机技术水平和操作水平的不一致,设计的思路是尽量简化操作。在用户输入数据后,系统根据用户输入的信息,自动进行数据合理性,有效性,唯一性检查。

输出设计的目的是将模型运算的结果进行必要的统计计算后利用表格或图形的方式提供给用户,以便于用户分析、对照、比较。分析结果直接显示在屏幕上,用户可选择将分析结果输出到磁盘文件,或直接打印输出。

当用户调用系统时,根据菜单界面的提示通过简单的选择就可完成模型相关的所有工作。如输入模型原始数据、调正参数、选择模型约束条件、运行模型及模型结果汇总输出打印等工作。

(四)建立模型。根据以上的基本准则、目标函数、约束条件和软件设计思路,来建立市场经济条件下农业水资源高效利用模型。模型的数学模型构造及求解运用数学规划语言 GAMS 实现,每一次求解均可得出大量的计算结果,而模型输入输出的数据管理和结果统计分析则采用 POWERBUILDER6.5 语言实现。由于采用了 GAMS 软件作为求解问题的计算工具,使模型的求解运算极为可靠方便。用户根据模型要求在对所需解决的问题进行定义和确定组合方案(如资金投入方向、土地开发利用规划、种植结构调整、可利用水量等)后,由 POWERBUILDER6.

5 系统生成所定义问题的 GAMS 语言源程序及其相应数据,并驱动 GAMS 软件自动建模求解计算。然后通过对运算结果进行统计分析后,以图形、数据表格或文件的格式将分析结果呈现给模型使用者。模型计算框图如图 1 所示。

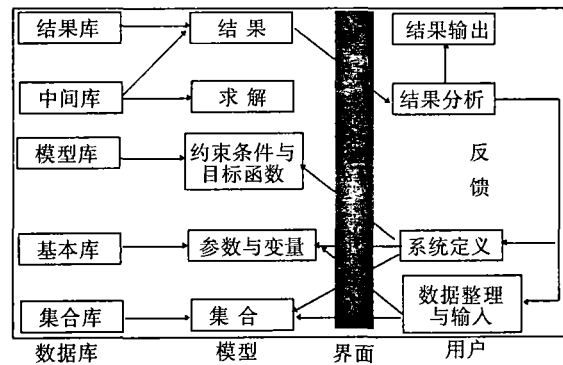


图 1 AGRIPower 系统结构框图

模型的计算过程和步骤为:(1)资料收集;(2)数据整理,参数率定;(3)建立模型,求解;(4)分析模型运算结果;(5)结果显示,绘制图表。

三、实例计算

根据“九五”期间国家重点科技攻关 96-912-06-01 整理的基本资料^[7],选择宁夏引黄灌区作为实例进行典型实例分析计算。

(一)引黄灌区现状与存在的主要问题

1. 现状。据国务院批准的黄河水资源分配方案,在南水北调实现前,宁夏可净利用黄河过境水资源量为 40 亿 m^3 。根据水文地质条件,地下水资源可利用量为 13.46 亿 m^3 ,其中绝大部分由引黄灌溉水量补给。

据统计,全区现有耕地面积 127 万 hm^2 (统计在册 80.7 万 hm^2)。引黄灌区耕地面积约 30.7 万 hm^2 ,占全区的 24%,而粮食产量占全区的 80%,灌溉农业的优势不言而喻。农业经济结构以种植业为主,牧业次之,林业、渔业的生产水平较低。全区卫宁、青铜峡两大引黄灌区,现有大中型引水干渠 17 条,设计灌溉面积 27.3 万 hm^2 ,有效灌溉面积 29.5 万 hm^2 ,设计供水能力 866 m^3/s (设计供水量 87.8 亿 m^3),现状供水能力 705 m^3/s (包括直接从干渠扬水的扬水工程供水量如南山台子扬水、同心扬水等)。引扬黄灌区各主要干渠总长 1669 km,其中砌护长度为 575 km,占其总长的 35%,渠道输水损失比较

大,渠系水利用系数较低,渠道防渗任务极其艰巨,节水潜力巨大,但需要投入大量的人力、物力和财力。

1995年引黄灌区农民家庭人均农业总产值为977元,人均纯收入为1544元,农民家庭生活水平已接近小康目标。引黄灌区供水价格现行标准是,自流灌区农业用干渠供水水价为0.012元,加上征工折价款,则干渠农业综合水价为0.015元,占供水成本0.021元的74%。干渠以下渠道及建筑物等水利工程维护管理费,按90元/hm²计收。

2. 存在的主要问题:①灌溉工程老化失修、渠系配套较差;②大引大排、浪费水的现象比较严重;③供水价格偏低、节水意识较差;④地下水位偏高,土壤次生盐渍化现象比较严重。

(二)模型设置。模型的优化目标是农业生产人均纯收入达到最大。在模型中将土地类型划分为高产田、中低产田和荒地3类。高产田指的是有灌溉保证的耕地,在其上种植的作物普遍产量较高。引黄灌区中低产田所占比例较大,改造后增产幅度较大,投资相对较小,因此模型考虑了中低产田的改造。荒地通过开垦改造,可以变为中低产田或是高产田。

考虑的农作物包括粮食作物如水稻、小麦、玉米,经济作物如胡麻、甜菜、豆类,以及蔬菜林果等,在高产田和中低产田上种植的作物种类可以再加以区分。对所有的农作物可给定种植面积的上下限。工程节水措施主要考虑了渠系衬砌。农业生产投入项主要考虑了水费、渠系衬砌

费、土地改造费用、种子、化肥、农药、农机、人工及其它杂费几项,产出项为农作物产出现金收入。考虑的主要约束为农民收入约束,农作物种植面积约束,土地改造面积约束,种子、化肥、农药等投入资金约束。

以上考虑的各种参数费用,都可灵活设置,根据实际情况加以改变。以使模型运行的结果更加符合实际。

(三)实例计算成果。根据模型设置的要求,将宁夏引黄灌区的相关数据代入模型进行模拟计算,并考虑到不能突破宁夏全区的分水指标,将总耗用量上限定为40亿m³。通过模型计算,可以得出以下几个方面的主要成果:(1)投入产出分析;(2)引水、耗水情况;(3)不同类型土地利用状况;(4)种植结构布局调整、种植面积;(5)灌区工程更新改造、中低产田改造规模;(6)农业生产诸要素的投入配置;(7)水价和灌溉制度调整的影响。

本研究的重点是市场经济对农业水资源高效利用的促进和制约作用,又限于篇幅,这里仅将相关的投入产出分析结果列于表1,将通过水价调整对农民收入和农业生产影响的结果列于表2。

表1描述了不同水价条件下宁夏引黄灌区的投入产出分析结果。

由表2可以看出,当水价由0.01元/m³增长到0.2元/m³时,人均收入由1154元下降到1127元,纯收入由17.14亿元下降到16.74亿元,收入下降幅度为2.33%,说明如果水价提高

表1 宁夏引黄灌区投入产出综合分析表

水价方案 (元/m ³)	土地改造 面积 (10 ³ hm ²)	总种植 面积 (10 ³ hm ²)	粮食种植 面积 (10 ³ hm ²)	渠系改造 费用 (亿元)	中低产田 改造费用 (亿元)	总收入 (亿元)	净效益 (亿元)	净效益 费用比	总用水量 (亿m ³)	单位耗水 效益 (元/m ³)
0.01	11	448.1	328.8	0.63	3.87	43.53	17.14	0.65	40.0	0.43
0.02	11	448.1	328.8	0.63	3.87	43.53	16.74	0.63	40.0	0.42
0.03	11	448.1	328.8	0.63	3.87	43.53	16.35	0.60	40.0	0.41
0.04	11	448.1	328.8	0.68	3.87	43.53	15.94	0.58	40.0	0.40
0.06	11	448.1	328.8	0.77	3.87	43.53	15.18	0.54	36.7	0.41
0.08	11	448.1	328.8	0.77	3.87	43.53	14.45	0.50	34.3	0.42
0.10	11	448.1	328.8	0.77	3.87	43.53	13.77	0.46	34.1	0.40
0.12	11	448.1	328.8	0.86	3.87	43.53	13.11	0.43	33.3	0.39
0.14	5.29	448.1	328.8	1.00	3.87	43.53	12.48	0.40	31.2	0.40
0.16	5.29	413.2	299.7	96.57	0.34	43.06	11.87	0.38	30.8	0.39

表 2 水价调整对农民收入和农业生产的影响表

水价方案 (元/m ³)	人均收入 (元/人)	纯收入 (亿元)	变幅 (%)	总投入 (亿元)	主要投入占总投入的比例(%)			
					水	化 肥	农 药	种 子
0.01	1154	17.16		26.37	1.52	45.49	6.79	9.15
0.02	1127	16.75	2.33	26.78	2.99	44.81	6.69	9.02
0.03	1101	16.35	4.61	27.18	4.42	44.15	6.59	8.88
0.04	1074	15.95	7.00	27.58	5.80	43.51	6.50	8.75
0.06	1022	15.17	11.44	28.36	7.77	42.29	6.31	8.51
0.08	973	14.47	15.69	29.06	9.45	41.29	6.16	8.31
0.10	927	13.79	19.66	29.74	11.45	40.34	6.02	8.12
0.12	883	13.12	23.51	30.41	13.13	39.45	5.89	7.94
0.14	841	12.47	27.19	31.06	14.24	38.65	5.77	7.78
0.16	799	11.87	30.75	31.19	15.99	37.98	5.67	7.71

到以接近于成本价的 0.02 元/m³ 收取,对农业生产的总收益影响不大。当水价提高到 0.03 元/m³,人均收入为 1101 元,比以水价 0.01 元/m³ 收取时收入下降了 4.61%,但此时的水价已高于成本价,供水方财政可获得大约 30% 的利润,则在宁夏全区范围可望实现资金的内部调剂,不仅可保证灌区国有资产的保值升值,而且可极大地减轻当地政府沉重的财政负担,使灌区的生产建设实现了可持续发展。

如果水价继续提高,在水价低于 0.04 元/m³ 时,农业生产者收入的下降幅度还是比较小的,其总下降幅度为 7%,但是,如果水价大于 0.04 元/m³,收入水平的下降幅度还是较大的,因而在将水价提到高于 0.04 元/m³,开始对农业生产产生较大的影响,必须慎重从事。要通过不断提高科技投入、增大科技的贡献率,增加高附加值农产品的种植面积,使用和推广节水技术,提高灌溉水的有效利用率和水的转化率,保证农民收入水平和生活水平不因水价调整而急剧下降。

四、结论

本文的主要贡献是通过综合区域水循环规律、技术经济条件和工程布局,提出了市场经济条件下农业水资源高效利用模型。利用所提出的模型,根据研究区域的具体情况,通过合理组织农业生产中诸要素,使得等量的经济投入产生尽可能高的产出;同时又可提出切实可行的节水模式,对改进节水措施后的投资和收益、可节水量及水价等问题可以给出定量成果。综合起来,在以下几方面取得了进展:(1)以北方缺水地区的大型灌区为主要研究背景,建立了市场经济条件下农业水资源高效利用模型;(2)提出了农业生产函数集合,为市场经济条件下农业节水模式的建立和制订提供技术经济方面的依据和计算手段;(3)针对研究地区的实际问题,利用本研制模型,以宁夏引黄灌区为例进行了农业水资源高效利用示范分析,取得了比较满意的结果。

(原文刊登在《中国水利水电科学研究院学报》

2003 年第 3 期)

规模以下工业用水节水现状及发展对策

程普云 李智慧 岳鹏翼 王 军

(山西省水资源研究所,山西 太原 030001)

规模以下工业企业是指年销售收入在 500 万元以下的非国有工业企业。改革开放以来,经济多元化日益突出,规模以下工业企业犹如异军

突起,发展十分迅速,规模和数量都发生了巨大变化。2000 年,对山西省 11.4 万个规模以下工业企业进行了用水普查,汇总结果表明:工业总