

70-24

F-323.213 S213

水资源农田可持续利用价值核算方法研究*

张壬午 计文瑛 成为民 孟 中

(农业部环境保护科研监测研究所 天津 300191)

摘 要 探讨了水资源,包括地表水及地下水农田可持续利用的价值核算方法。通过对节水农业冬小麦实验及稻田不同生产方式的案例应用与分析,对不同生产方式及节水农业技术进行定量化比较研究,表明节水农业技术及生态农业型种植模式的水资源利用不但效率最高,经济上合算;也有益于它的可持续利用。证明该方法在农业可持续发展研究中的作用及可行性。

关键词 资源核算 水资源 可持续性评价

Value accounting methods of water resources for sustainable farmland utilization. Zhang Renwu, Ji Wenying, Cheng Weimin, Meng Zhong (Institute of Eco-environmental Protection and Monitoring, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191), *EAR*, 1998(2): 20~24.

Abstract The methods of value accounting for water resources including surface water and groundwater are discussed. Many practical models for wheat and rice production are used to assess the effect of different measures on water use efficiency and economic benefits. It is indicated that production system with water-saving technology and eco-agricultural methods had got both high water use efficiency and good economical benefits. Therefore, this system is good for the sustainable use of water resources. The method is feasible to assessing sustainable development of agriculture.

Key words Resources accounting, Water resources, Sustainability assessment

我国水资源缺乏,人均水资源仅约为世界平均水平的25%,尤其地下水资源日渐耗竭,导致潜在的生态危机日趋严重,包括河湖与沼泽断流及干涸、地面沉降、海水入侵、土地沙化等一系列生态、环境和地质灾害等。为此,应将水资源,特别是农用地下水资源纳入自然资源的国民经济核算体系,这对保护生态环境与自然资源、实施可持续发展战略具有十分重要的意义。

1 农田水资源利用价值核算原则

水成为有价值资源应具备如下条件:具有使用价值,是人类赖以生存和发展不可替代的自然资源以及构成环境的基本要素;具有稀缺性,在我国缺水地区水作为紧缺资源必需对其进行价值折算,促使人们有效利用,以达可持续利用目的。在水十分充足的地区除非需要消耗人力、物力和资金,才对其进行价值折算。

* “九五”国家自然科学基金资助项目部分内容

收稿日期:1997-10-08 改回日期:1998-01-04

2 农田水资源利用价值核算内容与方法

农作物吸收一定量的水才能获得生物量与作物产量。在对农田水资源利用价值进行核算时,应对其固有的生产力进行价值折算,即对其进行生产收益价值折算;由于灌溉用水时需投入资金及劳动力,故其包含一定的成本价值及劳动价值,因此还应对其进行投入价值核算;农田水资源利用时还会产生负面损失,大量抽取地下水导致地面塌陷等,因此,也应对其利用而带来的外部损失进行价值折算。即农田水资源($P_{\text{农水}}$)由其生产收益价值($P_{\text{收益}}$)、投入价值($P_{\text{投入}}$)及外部损失价值($P_{\text{损失}}$)组成:

$$P_{\text{农水}} = P_{\text{收益}} + P_{\text{投入}} + P_{\text{损失}} \quad (1)$$

农田用水来源分为地表水和地下水,因其固有特性,其价值计算方法也不同。地表水由降雨、地表径流、渠系灌溉水等组成,由于降雨、地表径流等未凝聚劳动力,本文略其价值不计,地表水价值仅计算渠系灌溉水($P_{\text{渠系}}$)价值;又因渠系灌溉水损失价值难以确定故略去不计,地表水价值($P_{\text{地表水}}$)仅计算生产收益价值和投入价值,即:

$$P_{\text{地表水}} = P_{\text{渠系}} = P_{\text{收益}} + P_{\text{投入}} \quad (2)$$

地下水资源由于未凝聚劳动力,虽其存在价值,但本文略去不计,仅计算其作为农业用水时的价值,即:

$$P_{\text{地下水}} = P_{\text{收益}} + P_{\text{投入}} + P_{\text{损失}} \quad (3)$$

2.1 农田水资源利用生产收益价值核算

由于农田作物种类繁多,且其市场价格差异很大,因此农田水资源利用生产收益价值按照统计数值确定单位农田灌溉水($Q_{\text{灌溉}}$)生产收益价值 α (即农田水资源生产收益系数),即农田水资源利用生产收益价值 $P_{\text{收益}} = \alpha Q_{\text{灌溉}}$,故:

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum \frac{1}{W_i} \epsilon_i P_i (Y_i - Y_0) \quad (4)$$

式中, α 为农田水资源利用生产收益系数; i 为农作物; n 为作物种群数; W_i 为第 i 种作物灌水量; ϵ_i 为不同水文年不同作物灌溉增产效益分摊数,通过统计数值计算; P_i 为第 i 种作物价格; Y_i 为第 i 种作物当年产量; Y_0 为第 i 种作物灌溉前产量。

2.2 农田水资源利用投入价值核算

农田水资源投入价值分工程投入费用和每年设备维护、运转费用。工程投入费用按可使用年限进行折旧和估计可开采水量进行分摊,计算出单位水量投入价值 β (即投入系数),即农田水资源投入价值 $P_{\text{投入}} = \beta Q_{\text{灌溉}}$,故:

$$\beta = C_0 + C_1 + \dots + C_i + \dots + C_m \quad (5)$$

式中, C_0 为水利工程投资折旧; C_i 为第 i 年投入费用折旧; m 为考察期。

2.3 地下灌溉水损失价值核算

由于地下灌溉水损失价值难以计算,因此选用恢复工程方法,通过计算所需费用以代替其损失价值(即由其利用而带来的外部损失),其计算方法为每年抽取量减去自然补给量后,用回灌措施补回缺少的那部分:

$$P_{\text{损失}} = \sigma Q_{\text{回灌}} = \sigma (Q_{\text{抽取}} - Q_{\text{自补}})$$

式中, $P_{\text{损失}}$ 为地下灌溉水损失价值; σ 为回灌水所需费用系数; $Q_{\text{回灌}}$ 为回灌水量; $Q_{\text{抽取}}$ 为年抽取地下水水量; $Q_{\text{自补}}$ 为年自然补给量。

3 农田水资源利用价值核算应用

3.1 农田水资源利用价值核算方法对水资源可持续利用影响的评价

结合赵聚宝先生^[4]在山西省屯留县用冬小麦 837 实验研究数据,对其进行农田水资源可持续利用评价。该实验采取秸秆覆盖技术及常规种植 2 种方式,其中小麦生育期秸秆覆盖技术为冬小麦越冬前深施 N 30kg/hm²,并平整地面均匀覆盖秸秆,覆盖量为 3.75~4.5t/hm²,小麦收获后将秸秆翻压还田。麦田休闲期秸秆覆盖方法为小麦收获后及时翻耕灭茬,耙耱后地面均匀覆盖秸秆,覆盖量为 4.25~6.0t/hm²,小麦播种前 10~15d 将秸秆翻压还田,结合整地,施 N 150kg/hm²,P₂O₅ 90kg/hm²。灌溉水中地表水与地下水之比为 6:4,分析结果见表 1。

表 1 秸秆覆盖与常规种植技术灌溉用水费用及投资效益*

Tab.1 Comparison between irrigation cost and benefits from straw covered field and traditional cultivation

年份 Year	种植方式 Planting type	Q _{地下} (万 m ³) Groundwater	Q _{渠系} (万 m ³) Canal water	Y _{作物产量} (t/hm ²) Yield	P _{地下} (万元) Cost from ground water irrigation	P _{渠系} (万元) Cost from canal water irrigation	P _总 (万元) Total cost	总产值(万元) Total output	总成本利润率(%)
1985~1989	常规 Traditional	23.98	23.98	450.00	27.15	21.00	38.25	63.00	43.30
	秸秆覆盖 Straw covered	15.05	25.28	530.00	21.52	13.86	41.38	74.20	79.50
1989~1990	常规 Traditional	12.80	19.19	390.00	18.30	18.62	35.19	54.50	55.20
	秸秆覆盖 Straw covered	12.36	18.53	440.00	18.39	16.89	35.01	61.60	75.90
1990~1991	常规 Traditional	11.89	18.07	500.00	17.22	15.70	33.12	58.00	69.10
	秸秆覆盖 Straw covered	12.04	17.84	480.00	17.01	15.50	32.71	67.20	105.40

* 小麦按 1400 元/t 计算;Q_{地下}为灌溉水中含地下水量,Q_{渠系}为灌溉水中含渠系水量;P_{渠系}=αQ_{渠系}+β_{渠系}Q_{渠系};P_{地下}=αQ_{地下}+β_{地下}Q_{地下}+αQ_{地下};P_总=P_{地下}+P_{渠系};α=0.58,β_{渠系}=0.3,β_{地下}=0.5,σ=0.35。

3.2 不同种植模式运用农田地下水资源利用价值核算方法案例分析

以黑龙江省木兰县为例,木兰县地处黑龙江省中南部、松花江中游北岸,土地面积的 61%为山区,27%为丘陵半山区,12%为平原,总土地面积 3600km²,其中耕地面积 6.8 万 hm²(水田 2.8 万 hm²);森林面积 18.5 万 hm²,森林覆盖率为 56%,森林覆盖指数 0.91;草原面积 0.83 万 hm²,水域面积 1.13 万 hm²,年均降水量 625mm,是典型的以水稻及玉米生产为主的农业县。木兰县地下水平衡及农田地下水资源成本调查分析结果见表 2~3。由表 2 可知 1985~1995 年木兰县农田地下水抽取量日渐增多,地下水严重失衡。由上述数据可知,地下水埋深对水资源利用成本的影响呈指数关系,初步确定水资源利用成本 P_{成本}与地下水埋深 H 间指数关系为:

$$P_{\text{成本}} = b_0 e^{bH} \quad H > 0 \quad (6)$$

表 2 木兰县农田地下水平衡表

Tab.2 Groundwater balance of farmland in Mulan County of Heilongjiang Province

年份 Year	地下水抽取量 (万 m ³) Draw-off groundwater	降雨入渗补给量 (万 m ³) Infiltration of rain	渠系渗漏及渠灌 入渗补给量(万 m ³) Infiltration of canal and ditch water	井灌回补补给量 (万 m ³) Recharge of well irrigation	径流补给量 (万 m ³) Recharge of runoff	地下水平衡 (万 m ³) Groundwater balance
1985	6600	4060	1643	330	6.2	-560.8
1990	8700	3085	2130	905	5.1	-2574.9
1995	9600	2860	2860	1050	5.9	-2314.1

表 3 木兰县农田地下水资源成本

Tab. 3 Cost of groundwater for farmland irrigation in Mulan County of Heilongjiang Province

项 目 Items	年 份 Year						
	1980	1983	1985	1988	1990	1992	1995
地下水埋深(m) Depth of groundwater	9.0	9.2	10.0	11.2	12.0	12.4	13.0
水资源成本(元/mm) Cost of groundwater (yuan/mm)	211.4	235.4	282.5	410.4	563.2	780.1	987.1

据表 3 对方程作直线回归分析,获得回归方程:

$$P'=1.8493+0.3878H \tag{7}$$

对回归方程方差分析得知其 F 检验极显著,说明配置的回归方程有效,其复回归曲线方程为:

$$P_{\text{成本}}=6.36e^{0.3878H} \quad H>0 \tag{8}$$

对方程求导得:

$$P'_{\text{成本}}=2.47e^{0.3878H} \quad H>0 \tag{9}$$

根据经济学原理得知 $P'_{\text{成本}}$ 为水资源利用边际成本,该一阶方程表明随着地下水埋深下降,边际成本呈指数增加。

为探讨水资源可持续发展利用模式,对木兰县几种种植方式进行了调查,运用上述农田水资源价值核算方法进行分析,比较以化肥、农药、机械投入为主的常规农业生产方式(简称常规)、以有机肥投入为主的传统农业生产方式(简称有机)、以有机与无机肥投入相结合农牧复合型的生态农业生产方式(简称生态 1)、以适量化肥与绿肥投入为主并与豆科作物轮作为主要内容的生态型生产方式(简称生态 2),在分别利用渠水灌溉、井灌、渠井混灌条件下计算其粮食产量及水资源利用成本(见表 4~5)。

表 4 木兰县不同生产模式产量与水资源成本调查表

Tab. 4 Comparison between water cost and yield in different cultivation models in Mulan County

灌溉方式 Irrigation	产量与成本 Yield and cost	种植方式 Cultivation models											
		1980 年				1990 年				1995 年			
		常规 Tradi- tional style	有机 Organic agriculture	生态 1 Eco-a agriculture model1	生态 2 Eco- agriculture model2	常规 Tradi- tional style	有机 Organic agriculture	生态 1 Eco- agriculture model1	生态 2 Eco- agriculture model2	常规 Tradi- tional style	有机 Organic agriculture	生态 1 Eco- agriculture model1	生态 2 Eco- agriculture model2
渠水灌溉 From canal	产 量(t) Yield	4.0	4.4	4.6	4.7	4.3	5.5	5.8	6.1	4.5	6.1	5.6	7.1
	耗资(元/hm ²) Cost(yuan/hm ²)	55.0	44.0	40.0	39.0	103.0	93.0	97.0	85.0	147.0	126.0	132.0	*111.0
井 灌 From well	产 量(t) Yield	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0	5.2	5.4	5.0	4.2	5.5	5.8	5.8
	耗资(元/hm ²) Cost(yuan/hm ²)	107.0	255.0	253.0	235.0	732.0	673.0	670.0	611.0	1058.0	982.0	1001.0	907.0
渠井混灌 From both canal and well	产 量(t) Yield	3.5	4.2	4.2	4.3	4.1	5.3	5.5	5.3	4.3	5.8	6.1	6.2
	耗资(元/hm ²) Cost(yuan/hm ²)	144.0	98.0	96.0	88.0	297.0	263.0	261.0	223.0	541.0	498.0	525.0	463.0

从表 4~5 可知,无论哪种水稻生产方式在不计地下水生产成本条件下,所需水资源利用成本为渠灌<渠井混灌<井灌,若考虑地下水成本费用则会更高。可见大力发展渠水灌溉可降低水资源成本。进一步分析表明,常规、有机、生态 1 及生态 2 型种植方式的水稻水分利用效率比值为 1:1.57:1.61:1.97,其中生态 2 型种植方式水分利用效率最高。

表 5 木兰县不同生产模式单位水稻水资源成本

Tab. 5 Water cost in different cultivation models in Mulan County

灌溉方式 Irrigation	种植方式 Cultivation models											
	1980 年				1990 年				1995 年			
	常规 Traditional style	有机 Organic agriculture	生态 1 Eco- agriculture model1	生态 2 Eco- agriculture model2	常规 Traditional style	有机 Organic agriculture	生态 1 Eco- agriculture model1	生态 2 Eco- agriculture model2	常规 Traditional style	有机 Organic agriculture	生态 1 Eco- agriculture model1	生态 2 Eco- agriculture model2
渠水灌溉 From canal	13.75	10.50	8.70	8.29	24.95	16.91	14.72	13.92	32.67	20.86	20.00	15.53
井 灌 From well	87.71	64.50	53.25	55.75	153.50	129.42	124.07	122.20	251.90	178.55	172.59	156.38
渠井灌溉 From canal and well	37.89	23.53	22.86	20.47	72.43	49.62	44.24	43.74	125.81	85.86	86.23	74.58

4 讨 论

农田水资源利用价值核算方法是一个值得探讨的新领域,无论对农业可持续发展的定量化研究,还是对资源保护的宏观管理都具有十分重要的意义。本项研究的案例应用表明了该方法的可行性及科学性;研究表明,利用秸秆覆盖技术可以较少水产生较高效益,可比常规农业用水成本盈利率高 20% 以上,其中利用恢复工程法计算得出地下水所引起的经济损失为 0.35 元/m²;在干旱与半干旱地区应重视开发、引进地表水聚集与高效利用技术,尤其在丰水年尽量避免利用地下水,并通过地表水灌溉及加大地表水入渗补给量以补充干旱年超采的地下水,缓解对地下水超载利用的压力,降低农田水资源利用成本。

参 考 文 献

- 1 曹万金. 地下水资源及其变值系统理论. 河南大学学报, 1996 (4): 18~23.
- 2 夏岭岭. 湿润半湿润地区水资源评估水文模拟方法. 自然资源, 1994 (6): 32~43.
- 3 裴泰山. 农田灌溉开采地下水问题的探讨. 农田水利与小水电, 1995 (5): 5~7.
- 4 赵聚宝. 秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响. 中国农业科学, 1996 (2): 59~66.
- 5 Malik and Paul Faeth. Rice-wheat production in Northwest India R. P. S. Agricultural Policy and Sustainability.