

北京农田污水灌溉正负效应价值评价研究^{*}

杨志新^{1,2} 郑大玮^{2**} 冯圣东¹

(1. 河北农业大学资源与环境学院 保定 071001; 2. 中国农业大学资源与环境学院 北京 100094)

摘要 采用环境经济学方法对北京市郊区农田污水灌溉的正负效应价值进行了评估。结果表明:2002年北京市农田污水灌溉的正效应价值约为4.62亿元,占当年农业增加值的9.3%,其中减少污水处理成本和节约清洁水源的价值所占份额较大,分别为49.7%和27.6%,其次为节约化肥和粮食增产价值,分别为18.1%、3.1%;负效应价值约为1.39亿元,占当年农业增加值的2.8%,其中粮食减产造成的损失占总损失的46.5%,品质下降占2.2%,土壤污染占30.3%,人体健康损失占15.7%,而地下水污染占5.2%。污水灌溉的正负效应价值比为3.3:1,其中污水灌溉的直接经济价值为负效应价值的1.7倍,说明污水灌溉的经济收益几乎完全是靠牺牲环境所维持的。因此必须高度重视污水灌溉造成的污染损失。

关键词 污水灌溉 经济评估 农业环境 正效应价值 负效应价值 评估方法

Economic evaluation of sewage irrigated agricultural lands in the rural suburbs of Beijing. YANG Zhi-Xin^{1,2}, ZHENG Da-Wei², FENG Sheng-Dong¹ (1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China; 2. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China), *CJEA*, 2007, 15(5): 202~205

Abstract Environmental economic methods were used to evaluate the economic effect of sewage irrigation on suburban farms of Beijing. The results show that economic benefit of sewage irrigation in 2002 is 462 million RMB, a 9.3% increase in agricultural production value. Savings from polluted water processing and clean water consumption are in the highest proportions, 49.7% and 27.6% respectively, and those from fertilizer and crop yield increase account for 18.1% and 3.1% of overall value increase. Total loss induced by sewage irrigation stands at 139 million RMB, constituting 2.8% increase in agricultural production in 2002, 46.5% of which is from crop yield drop, 2.2% from crop pollution, 30.3% from soil pollution, 15.7% from health risk and 5.2% from groundwater pollution. The positive to negative value ratio of sewage irrigation is 3.3 and sewage irrigation direct benefit is about 1.7 times of total environmental loss. This implies that economic benefit from sewage irrigation is sustained at the expense of the environment. Thus much attention should be paid to such losses by relevant agencies, government or otherwise.

Key words Sewage irrigation, Economic evaluation, Agricultural environment, Positive value, Negative value, Evaluating method

(Received Nov. 24, 2006; revised Jan. 6, 2007)

1 北京市农田污水灌溉现状

北京是世界上严重缺水的大城市之一,水资源短缺已成为影响和制约首都社会和经济发展的主要因素^[1]。北京市近郊年污水排放量相当于地表水资源量(包括入境水)的69%,若能够充分合理地利用这些污水,则可为农业提供55%的水源。在水资源短缺的严峻形式下,污水的确是一种价值可观的水资源。北京市是污水灌溉开展较早的地区,自20世纪50年代初期就开始利用污水灌溉农田。目前北京市14个郊区县中10个有污水灌溉,总面积约8万hm²^[2]。近郊区县污水灌溉量为0.95亿m³/a,远郊县为1.6亿m³/a,年污水灌溉总量占全市污水排放量的27%^[2]。城市污水经过一级或二级处理后回用于农田灌溉既可以提高水资源利用率,为污水灌溉区农业提供稳定的水源,减少水体污染,同时也可减轻污水处理投资,特别是

* 北京市科委软科学课题(Z0004048000091)资助

** 通讯作者

收稿日期:2006-11-24 改回日期:2007-01-06

二级生化处理也难去除的 N、P 等营养物,可作为肥料被农作物吸收,避免水体富营养化。然而由于目前污水处理技术水平较低,污水灌溉理论与技术研究薄弱,污水灌溉水质严重超标,再加上有关监控、管理体系严重滞后,致使农民盲目灌溉,造成了农村生态环境的严重污染。

2 北京市农田污水灌溉效应价值

将北京农田污水灌溉的效应价值按表 1 中的综合评价指标进行分析,利用不同方法(表 1)将污水灌溉引起的各评价指标的效应价值折算成经济指标,纳入经济核算分析,计算出农田污水灌溉价值。

2.1 农田污水灌溉的正效应价值

污水中的营养物质减少肥料投入的价值。由于污水中含有大量的 N、P 营养物质,故污水灌溉可减少农田肥料的投入,其减少的价值由下式计算:

$$B = P \cdot (C_N \cdot Vol \cdot \delta + C_P \cdot Vol \cdot \epsilon) \tag{1}$$

式中, B 为污水带入农田的 N、P 总价值(元/a), P 为目前农田使用的磷酸二铵的市场价格(元/kg), C_N 、 C_P 分别为北京市污水中平均全 N、全 P 含量(g/m^3), δ 、 ϵ 分别为纯 N、P 折算成磷酸二铵的系数 132/28 和 132/31, Vol 为污水灌溉量(m^3/a)。由此计算出北京农田因污水灌溉减少的肥料投入价值为 8356.44 万元/a。

因污水灌溉成本下降而节省的经济价值。用井水灌溉需打井,且井水抽提入渠后才能进入农田。与井灌相比污水灌溉可以节省抽提水的电费、打井费及井损耗费,据本研究对污水灌溉区 100 户农户的调查,大约每公顷污水灌溉田比清灌田节省 90 元。据此,北京市每年因污水灌溉成本下降而节省的经济价值约为 720 万元。

污水灌溉区产量收益价值。综合北京地区已有的研究成果^[3~5],污水灌溉区粮食作物比清水灌溉区年平均增产 17.8%,每公顷最低增产 282kg,最高增产 900kg,以粮食作物(小麦)增产数据为依据,按市场价值法,采用下式计算污水灌溉提高作物产量的价值:

$$B = A \cdot \Delta Y \cdot (1 - 73.5\%) \cdot P \tag{2}$$

式中, B 为污水灌溉提高作物产量的价值(元/a), A 为北京市污水灌溉面积(hm^2), ΔY 为单位面积污水灌溉比清水灌溉增加的产量值(元/ hm^2), 73.5% 为污水灌溉区减产的面积比例, P 为 2002 年北京粮食收购价格(1.15 元/kg)。因此,污水灌溉最低增产值为 687.5 万元/a,最高增产值 2194.2 万元/a,每年由污水灌溉粮食产量提高带来的收益平均值为 1440.9 万元。

污水灌溉节约地下水资源的价值。污水灌溉下节省清洁水源价值的计算公式为:

$$B = C \cdot \Delta W \tag{3}$$

式中, B 为污水灌溉效益(元/a), C 为农业灌溉用水价格(元/ m^3), ΔW 为节省的清洁水量(m^3/a)。按此式计算,北京市郊区污水灌溉年节约地下水资源的价值为 1.275 亿元。因此通过合理利用污水灌溉农田,可节约地下水资源,在一定程度上缓解北京农业用水和水资源短缺的矛盾。另外,目前北京农田农作物实际灌溉率为 87.4%,果林业灌溉率为 90.5%,已基本保证了灌溉的需要。因此,正效应指标中的减免缺灌损失和扩灌面积产出(表 1)在本研究中没有给予价值估算。

表 1 污水回用于农业灌溉的收益及环境影响指标*

Tab.1 Indexes of environmental influences and agricultural benefits by sewage irrigation

污水灌溉正效应类型 Type of positive effect	正效应指标 Index of positive effect	污水灌溉负效应类型 Type of negative effect	负效应指标 Index of negative effect	本研究所用方法 Method used in evaluation
灌溉效率	减免缺灌损失 ^a	土壤影响	土壤生产能力	恢复费用法
	扩灌面积产出 ^b	作物影响	降低甚至弃耕	机会成本法
	产量提高的效益 ^c		作物产量降低	市场价值法
	节省的清洁水资源费用 ^d	地下水影响	作物品质下降	市场价值法
			工业、生活用水净化成本升高	水质净化工程法
	减少生产成本投资 ^e		水源的建设工程成本增加	支付费用法
污水处理效益	降低污水处理成本 ^f	人体健康影响	人力资本损失	人力资本法
	污水净化后对人体健康和社会进步影响效益 (目前难以量化)	大气影响	影响较小,不考虑	

* a 因补充灌溉而减免作物因缺水带来的损失, b 因增加污水灌溉而扩大的灌溉面积上的产出, c 因增加土壤和作物养分而提高的产量, d 包括作物需水及对含水层补水, e 节省的肥料和电费, f 保护天然水体免受污染的效益。

减少污水处理成本的价值。污水灌溉的污水进入农田后,可由土壤的天然自净作用而得到净化。污水灌溉不仅可利用城市废水资源,又达到了保护受纳水体的效果。减少污水处理成本的价值可采用影子工程法计算,其公式为:

$$B = Vol \cdot P \quad (4)$$

式中, B 为减少污水处理成本的价值(元/a), Vol 为目前污水灌溉量(m^3/a), P 为污水处理厂处理污水的价格(元/ m^3)。因此,按上式计算,北京市通过灌溉污水每年节省的污水净化价值为 2.295 亿元。

综上所述,每年北京市郊区污水灌溉农田的正效应总价值为 4.62 亿元,其中减少污水处理成本和节约清洁水资源的价值所占份额较大,分别为 49.7% 和 27.6%;其次为节约化肥和粮食增产价值,分别为 18.1%、3.1%。污水灌溉正效应价值占北京市郊区 2002 年农业增加值的 9.3%。当然,这些正效应价值需要科学合理污水灌溉才能实现,而盲目污水灌溉只能减少增值。

2.2 农田污水灌溉的负效应价值

污水灌溉引起土壤污染的环境成本。董克虞等^[2]对北京市污水灌溉农田重金属的调查结果表明,北京污水灌溉农田中存在轻度重金属污染,只有较大面积的 Hg 中度和重度污染,其重度污染面积为 4666.7 hm^2 。本研究以此为依据,利用恢复费用法和机会成本法估算污水灌溉导致土壤重金属污染的价值损失,其计算公式为:

$$E = A \cdot P \quad (5)$$

式中, E 为土壤污染价值损失(元/a), A 为重度污染面积(hm^2/a), P 为恢复土壤费用或土地损失的机会成本(元/ hm^2)。机会成本法按造价 1.5 万元/ hm^2 计算^[6],恢复费用法按客土法作为计算依据,每换 1 hm^2 肥土大约需要 15 万元^[7]。土壤污染按污水灌溉年限 50 年估算,以上两种方法计算结果的平均值作为土壤重金属污染的价值损失,约为 4200 万元/a。

污水灌溉农作物的产量及品质污染的成本。根据对污水灌溉区 100 户居民的调查,73.5% 的污水灌溉面积出现减产,减产较严重面积占总调查面积的 36%,与清灌相比,污水灌溉平均减产 1950 kg/hm^2 ,2002 年北京市粮食收购价格平均约为 1.15 元/ kg ,根据受污染严重减产的面积比例,按市场价值法,北京市郊区农田污水灌溉造成的粮食减产损失为 6458.4 万元/a。据北京市“九五”农村能源与生态农业建设成果汇编资料,污水灌溉区旱地作物个别点位 Pb、Hg 等物质超标,属轻度污染;水田污染较严重,点位超标率为 73%,各污染指标中 Cd 污染最明显。根据目前污水灌溉区农产品品质现状,按污染较重的水稻计算污水灌溉导致粮食品质下降的价值损失;水稻市场价为 2.3 元/ kg ,按污水灌溉区内农作物价格下降 10% 计算,2002 年水稻单产为 6389.3 kg/hm^2 ,北京市郊区污水灌溉造成农作物产品质量下降的损失为 309.3 万元/a。

污水灌溉对水体污染的环境成本。地下水环境恶化最直接的后果是居民饮用水条件恶化,浅层井水被污染,需重新净化或建自来水厂或打深井供生活饮用。故以开采深层井所增加的费用作为地下水污染的环境成本。京郊污水灌溉区超标井数为 237 眼^[5],由表 2 中开采深层井所增费用计算得出,污水灌溉区造成地下水污染的价值损失大约为 725.2 万元/a。

表 2 深层水资源生产成本增加的投入

Tab.2 Cost increased by exploration of deeper well

项 目	深度/m	成本/万 元·眼 ⁻¹	井数/眼 Number of well	工程费增 加/万元 Construction cost	折旧/万元·a ⁻¹ Depreciation cost	维护运行/ 万元·眼·a ⁻¹ Management cost	增加成 本/万元·a ⁻¹ Cost increased
浅井	80	11.8				1.7	
深井	314	37.0	237	5972.4	298.6	3.5	725.2

污水灌溉对人体健康影响的价值损失。伤残调整寿命年(DALY)是表达死亡的寿命损失年(YLL)和病后伤残状态下(特定的伤残严重程度和伤残持续时间)生存的非健康寿命年(YLD)。1个 DALY 被定义为 1 个健康寿命年的损失^[8]。污水灌溉的健康损失价值可以通过下列计算式估算:

$$V = \sum_{d=1}^n (DALY_{Ts}) C_d \quad (6)$$

$$DALY_{Ts} = (TS_d)(DALY'_d) \quad (7)$$

$$DALY'_d = \frac{DALY_d}{T_d + S_d} \quad (8)$$

$$TS_d = \sum_{i=1}^n (L_i - L_{0i}) M + \sum_{j=1}^j (D_j - D_{0j}) M \quad (9)$$

式中, V 为污水灌溉的健康损害价值(元/a), $DALY_{TS}$ 为污水灌溉引起的疾病 d 的健康生命年损失, C_d 为从疾病 d 挽回 1 个健康生命年的成本, $DALY'_d$ 为疾病 d 每例患者(病者或死者)平均损失的健康生命年, $DALY_d$ 为疾病 d 造成的健康生命年损失, T_d 为污水灌溉区人群疾病 d 每年的死亡人数(死亡率乘以该人群人口), S_d 为污水灌溉区疾病 d 的每年发病人数(发病率乘以人群人口数), TS_d 为污水灌溉引起疾病 d 每年增加的死亡人数和发病人数, D_j 为污水灌溉区疾病 j 的死亡率, D_{0j} 为清水灌溉区(对照区)疾病 j 的死亡率, L_i 为污水灌溉区疾病 i 的发病率, L_{0i} 为清水灌溉区(对照区)疾病 i 的发病率, M 为污水灌溉区人口总数。由上述公式计算出,北京市郊区每年污水灌溉导致人体健康受损的价值损失约为 2037.97 万元。另外,根据潜在寿命损失年法计算得出的污水灌溉导致人体健康价值总损失大约为 2328.58 万元^[5]。因此,以这两种方法的价值损失平均值作为本研究人体健康损失的总价值,故北京市郊区每年因污水灌溉而导致人体健康受损的总价值为 2183.3 万元。

根据上述计算,北京农田每年因污水灌溉带来的环境价值总损失约为 1.39 亿元,占 2002 年农业增加值的 2.8%,其中粮食减产造成的损失占总损失的 46.5%,土壤污染占 30.2%,人体健康损失占 15.7%,粮食品质下降占 2.2%,而地下水污染占 5.2%。粮食减产和土壤污染占较大份额,污水灌溉区人体健康也已经受到了严重威胁。因此对污水灌溉区影响人体健康的土壤和地下水污染、食品安全应引起高度重视。建议有关部门对污水灌溉区进行相关环境质量评价,制定切实可行的配套治理方案,同时加强污水灌溉的科学方法研究。

3 污水灌溉正负效应价值的综合分析

合理污水灌溉每年带来的正效应价值为 4.62 亿元,负效应价值为 1.39 亿元,因此,污水灌溉所带来的正负效应价值比约为 3.3:1,也就是说,如果污水灌溉能够带来 3.3 元的收益,那么环境就要为此付出 1 元的代价。从污水灌溉总收益角度看,尽管目前污水灌溉正效应仍大于负效应,但其负效应价值已占正效应价值的 30.1%,污水灌溉收益的获得是以牺牲一定的农村生态环境为代价的。而对于污水灌溉区严重污染的少数农田,其环境代价完全有可能超过其经济利润。目前污水灌溉减少的污水处理成本在市场中无法体现,假设将其作为间接经济价值,约为 2.295 亿元,而其他能够在市场中体现的价值作为直接经济价值,约为 2.33 亿元。污水灌溉带来的直接经济价值约为负效应价值的 1.7 倍,说明如果污水灌溉产生的市场经济价值为 1.7 元,其净价值仅仅为 0.7 元,其他 1 元的收益完全靠牺牲环境所获得。因此,如何减少污水灌溉的环境价值损失、增加污水灌溉收益是以后应考虑的问题。据北京市现代高效农业节水发展规划(市水务局),未来要逐步实现利用农业再生水灌溉面积 9.3 万 hm^2 的目标。随着污水灌溉面积的扩大,其导致的环境问题将会更加突出。因此,鉴于污水灌溉的巨大收益,污水灌溉中应采取切实可行的生态环境保护措施,减少环境经济损失。注重科学合理灌溉,因地制宜、合理规划。灌溉前进行污水处理,灌溉中进行水质实时监测,确保污水中有害物质含量低于灌溉土壤净化能力,消除或削弱其对人体健康、农产品产量和品质及环境质量的污染;必要时对田间灌溉沟渠进行防渗处理,避免地下水污染。同时,应结合水源情况、土壤质地、作物种类及生长阶段等情况,因地制宜、合理利用污水进行灌溉。这对于合理利用未来污水资源、保护生态环境、提高经济效益、降低污水灌溉的外部不经济性,达到环境、经济及社会的协调发展具有重要意义。

参 考 文 献

- 1 魏传江,阮本清.首都圈水资源安全保障体系建设.北京:科学出版社,2004
- 2 董克虞,杨春惠,林春野.北京市污水农业利用区划的研究.北京:中国环境科学出版社,1994
- 3 齐志明,冯绍元,黄冠华,等.清、污水灌溉对夏玉米生长影响的田间试验研究.灌溉排水学报,2003,22(2):36~38
- 4 冯绍元,齐志明,黄冠华,等.清、污水灌溉对冬小麦生长发育影响的田间试验研究.灌溉排水学报,2003,22(3):11~14
- 5 杨志新.京郊农田生态系统正负效应价值的综合评价研究.北京:中国农业大学,2005
- 6 杨爱民,庞有权,李铁铮,等.水土流失经济损失计量研究评述.中国水土保持科学,2003,1(1):108~110
- 7 妙旭华.甘肃省农村生态环境污染造成的经济损失估算.甘肃环境研究与监测,2000,13(2):100~102
- 8 许群.失能调整寿命年(DALY)——测量疾病负担的新指标.中国防痨杂志,1999,21(4):234~237