

# 黄淮海地下水亏水区农业生产用水生态代价评估\*

——以河北省栾城县为例

隋鹏<sup>1</sup> 陈素英<sup>2</sup> 陈源泉<sup>1</sup> 王彬丽<sup>1</sup> 高旺盛<sup>1\*\*</sup>

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院 北京 100094;

2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050021)

**摘要** 利用恢复费用法及成本替代法等经济学方法初步估算了河北省栾城县地下水资源超采的生态经济代价,结果表明:因地下水位下降每年新增提水成本1263.8万元,相当于2000年种植业总产值的1.2%;消除因地下水位下降引发的环境污染费用为1512.2万元,相当于2000年种植业产值的1.4%。栾城县每年超采的地下水资源总成本平均为7987.6万元,分别相当于2000年农业总产值的3.7%,种植业产值的7.3%。对该地区的农业生产进行绿色核算,全县粮经饲作物的经济效益减少为17047.9万元,绿色核算结果比传统核算结果降低了29.4%。

**关键词** 黄淮海 水资源 生态代价

**An ecological cost evaluation of agricultural irrigation water consumption in the water-deficient area of Huang-huai-hai Plain—A case study of Luancheng County, Hebei Province.** SUI Peng<sup>1</sup>, CHEN Su-Ying<sup>2</sup>, CHEN Yuan-Quan<sup>1</sup>, WANG Bin-Li<sup>1</sup>, GAO Wang-Sheng<sup>1</sup> (1. College of Agronomy and Bio-technology, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China), *CJEA*, 2007, 15(5): 178~181

**Abstract** Ecological and economic costs of over-exploitation of groundwater was estimated by using a renew-expense method and a cost-substitute method. Results indicate that irrigation cost increases by 12.638 million Yuan because of falling groundwater level in Luancheng County, which is 1.2% of crop GDP in 2000. Cost of eliminating environmental pollution brought about by falling groundwater level is 15.122 million Yuan, which is 1.4% of crop GDP in 2000. Average shadow value of groundwater over-exploitation is 79.876 million Yuan, which is 7.3% of crop GDP and 3.7% of agricultural GDP. Total economic benefit of crops drops to 170.479 million Yuan (calculated by GGDP) and 71.6% of the results are obtained by traditional calculation method.

**Key words** Huang-huai-hai Plain, Water resources, Ecological cost

(Received Dec. 16, 2005; revised April 15, 2006)

黄淮海是我国农业生产重要基地,2000年该区域以占全国23%的耕地生产了占全国54%的小麦、35%的玉米、40%的棉花、34%的油料、26%的肉类和34%的水果,薯类总产居第一位,大豆次于东北内蒙区居第二位<sup>[1]</sup>。然而该地区又因水资源匮乏、降水量时空分布极不平衡、降水规律与作物需求不匹配等问题,成为我国水资源供需矛盾最突出的地区<sup>[2~6]</sup>。目前该区域浅层地下水仍在以每年1m左右、深层地下水以每年2~3m的速度下降。以水资源为核心的生态资源条件恶化对黄淮海地区当前农田种植模式的可持续性提出挑战,应重新对其主要种植模式的生态、经济效益进行评价。本文以该区域粮食高产与水资源危机矛盾的典型代表区——栾城县为例引入GDP绿色核算方法,将超采地下水价值作为成本对当前种植业模式的经济效益进行核算,研究当前以冬小麦-夏玉米种植模式为主的农业种植结构耗水带来的生态经济代价。

## 1 试验材料与与方法

对当前栾城县主要种植模式的水分利用效率、产量及经济效益进行定位比较研究,用以修正统计与调查数据。定位试验各处理见表1,每处理3次重复,小区面积40m<sup>2</sup>,隔离带宽1m。各处理水肥等田间管理均按目前正常生产水平进行。

\* 国家自然科学基金项目(30370828,30400276)资助

\*\* 通讯作者

收稿日期:2005-12-16 改回日期:2006-04-15

用中子仪(L520型)对所有处理180cm深的土体水分进行监测,每20cm作为一个测定层次,每10d测定1次;用土钻法分别于播前与收获后进行200cm土体含水量测定,每20cm为一个测定层次进行修正,并根据土壤容重换算成体积含水量,进行作物耗水量及土壤水分动态测定。在作物适宜时期(小麦、玉米、饲用玉米在灌浆中期,花生、大豆在鼓粒初期,苜蓿、青刈黑麦在开花期)分别测定作物最大生物量(鲜重与干重)。选取3个田间代表性样段,分别测定产量结构指标,用以计算理论产量,除去小区四周150cm保护行,实测产量。采用恢复成本法<sup>[7]</sup>及GDP绿色核算方法<sup>[8]</sup>进行生态经济分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 栾城县农业生产用水生态代价的单项核算

#### 2.1.1 地下水使用成本增加量——市场价格法

造井成本和水泵更新成本增加量:目前1眼60m深的浅井造价为3万元,功能期20年,全县共有浅井5823眼,总计造价17469万元。按20年使用期计算,每年分摊成本费用873.5万元(未计息),而接近20年的地下水位下降速度,10年后这批浅井即已基本失去功能,则相当于每年多分摊873.5万元的成本费用。将造井成本分摊到耕地上,20年使用期折合耕地造井费用375元/hm<sup>2</sup>·a(每眼浅井供应4hm<sup>2</sup>耕地),而按10年使用期则相当于过去每单位耕地分摊费用增加1倍,达到750元/a,即因地下水位下降,新增造井成本费用375元/a·hm<sup>2</sup>。目前栾城县潜水泵功率为4000~5000W/h,价格1200元,可供4hm<sup>2</sup>地灌水,正常使用年限10年,平均年成本25.5~30.0元/hm<sup>2</sup>。

地下水提取的电费增加量:地下水埋深增加,提高了水的提取用电量,按目前地下水状况,每hm<sup>2</sup>需灌溉60h,耗电量240kW·h,每kW·h电费0.67元,即每hm<sup>2</sup>电费162.3元/次。根据2000年全县种植业灌溉提水14124万m<sup>3</sup>,总计电费3056.4万元计算,与地表水渠系灌溉相比,地下水灌溉耕地用电成本约增加1021.8元/hm<sup>2</sup>·a。

总之,与地表水灌溉相比,地下水灌溉耕地灌溉成本增加1800.8元/hm<sup>2</sup>·a,全县总计生产成本增加5460.2万元,相当于2000年种植业总产值的5%。同时因地下水位持续下降造成的每年灌溉成本新增增加量为410.1元/hm<sup>2</sup>,按栾城县现有耕地面积30817hm<sup>2</sup>,每年新增成本全县合计1263.8万元,相当于2000年种植业总产值的1.2%。

#### 2.1.2 环境污染治理导致的成本增加——恢复费用法

栾城县土壤与地下水污染主要原因是污水灌溉和污染水向地下水的入渗,两者合计约为3250万m<sup>3</sup>/a。根据恢复成本法,结合华东、江苏、山东等地生产情况确定将超V类水转化为可用于灌溉的一级水的成本为0.5元/m<sup>3</sup>,从而得出消除栾城县地下水污染的经济代价为1625万元。其中2250万m<sup>3</sup>污水应属石家庄市排污不利造成,治理费用应由其负担,1000万m<sup>3</sup>属栾城县义务排污责任,因此栾城县应负担500万元治污费用。土壤及农作物产品污染造成的损失可通过假定一定时期内因农产品污染不能作为产品或者说污灌面积生产力为零来计算。全县总污染面积0.33万hm<sup>2</sup>,按全部种植冬小麦-夏玉米计,相当于损失效益7567.2元/hm<sup>2</sup>·a,假设污染期内改种林木,效益为4500元/hm<sup>2</sup>·a,则因污染造成损失为1012.2万元,即污染期内每年栾城县因水生态环境破坏所付出的经济代价总计为1512.2万元,相当于2000年种植业产值的1.4%。

### 2.2 地下水超采的生态代价综合核算

因地下水超采造成的某些生态环境后果很难进行定量评估或者难于与其他因素区分开,从而不能通过各部分代价核算得到整体性的生态经济代价结果。根据水资源定价基本理论:对当前或使用地范围内难以确定价格的某些资源可以用将来在某一价格水平上可以使用的替代品或替代技术的价格来计算。假定通过引水补偿超采地下水从而维持地下水不再下降,可以消除所有因超采地下水带来的生态经济后果,则引水成本即可作为当前超采地下水的价值或因超采造成的生态经济代价总值。

表1 种植模式比较定位试验方案\*

Tab.1 The scheme of located position experiment of planting patterns

种植模式代号	模式描述	周年灌水次数
Code of planting pattern	Description of planting pattern	Irrigation times per year
对照(CK)	冬小麦-夏玉米	冬小麦灌3水,夏玉米灌2水
处理1	冬小麦-夏玉米	冬小麦灌2水,夏玉米灌2水
处理2	春甘薯-一熟	周年灌2水
处理3	春棉-一熟	周年灌3水模式
处理4	春花生-一熟	周年灌2水
处理5	春大豆-一熟	周年灌2水

\* 冬小麦、棉花次灌量75mm,其他作物次灌量60mm。

按河北省《南水北调供水区城市水资源规划》，南水北调工程中线工程总调水量能够基本保证石家庄地区的地下水采补平衡，则其调入水价格即可作为现今栾城县地下水超采部分水资源的影子价格或边际机会成本。又根据国务院南水北调办公室公布的预期南水北调价格，中线平均水价为 0.62 元/m<sup>3</sup>，调入区到北京门口水价为 1.2 元/m<sup>3</sup>。因石家庄与北京距离较近(300 km)，这里假定石家庄地区调入水价与北京相同，即栾城县目前超采部分地下水影子价格或边际机会成本为 1.2 元/m<sup>3</sup>。根据栾城县近 10 年地下水位平均下降速度计算栾城县地下水年净超采量：

$$W_u = S \times H \times u \quad (1)$$

式中， $W_u$  为地下水超采量， $S$  为区域面积， $H$  为水位下降高度， $u$  为给水度。计算结果为年均超采 3406.3 万 m<sup>3</sup>，其中污水灌溉及污水入渗量原则上应消除，用标准质量水替代，因此实际上栾城县近 10 年平均地下水超采量为 6656.3 万 m<sup>3</sup>（污水入渗和污水灌溉总量每年均按 3250 万 m<sup>3</sup> 计算）。由此计算得到栾城县年均超采地下水总价值：

$$P_i = W_u \times P_w \quad (2)$$

式中， $P_i$  为县地下水超采量总价值， $W_u$  为地下水超采量， $P_w$  为水的影子价格。计算结果  $P_i$  为 7987.6 万元。说明栾城县每年超采的地下水资源隐含着 7987.6 万元的价值或者说栾城县当前的工农业生产成本中应增加 7987.6 万元成本投入。这一成本相当于 2000 年农业总产值的 3.7%，相当于 2000 年种植业产值的 7.3%。

## 2.3 基于水资源生态代价评估的农业生产绿色核算

### 2.3.1 基于水资源成本评估的主要种植模式经济效益绿色核算

表 2 地下水资源计价前后栾城县农田主要农作物种植效益比较\*

Tab. 2 The benefits comparison of main planting crops with and without the cost of over-consumption underground water in Luancheng County

作物 Crop	产值/元·hm <sup>-2</sup> Production value	未计水价成本/元·hm <sup>-2</sup> Total cost without water value	灌溉水量/m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> Amount of irrigation water	超额水成本/元·hm <sup>-2</sup> Cost of over-exploitation	未计水价效益/元·hm <sup>-2</sup> Total benefit without water value	超额水计价后效益/元·hm <sup>-2</sup> Total benefit containing water value	计水价比不计水价降低/% Ratio of reduction
冬小麦	6750	3225	3000	2652.5	3525.0	872.5	75.2
夏玉米	6075	2033	2250	1752.5	4042.5	2290.0	43.4
春大豆	5400	1575	2250	1752.5	3825.0	2072.5	45.8
棉花	16875	2925	3000	2652.5	13950.0	11297.5	19.0
甘薯	11250	1950	2250	1752.5	9300.0	7547.5	18.8
谷子	6750	1650	1500	852.5	5100.0	4247.5	16.7
春花生	7500	1575	2250	1752.5	5925.0	4172.5	29.6

\* 表中产量与产值均根据 1998~2002 年平均值计算，为综合统计数据与定位试验结果。

根据栾城县供水平衡分析，栾城县多年平均地下水总可供量为 7519.7 万 m<sup>3</sup>，除去城镇与农村生活用水和工业、乡镇企业用水共计 3251.6 万 m<sup>3</sup>，剩余用于农田灌溉的地下水资源量只有 4268.1 万 m<sup>3</sup>，根据现有农作物耕地面积 30817 hm<sup>2</sup> 计算，平均耕地面积上无成本灌溉水供给量只有 1385 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>，超出 1385 m<sup>3</sup> 的灌溉水都应按 1.2 元/m<sup>3</sup> 计算水成本，以此重新核算的农产品种植收益才是真正的农田生产效益。

由表 2 可见，计入水资源成本后，各作物纯收入下降 1700~2700 元/hm<sup>2</sup>，冬小麦效益下降幅度最大，比计价前减少了 75.2%，夏玉米下降也达到 43.4%，冬小麦-夏玉米合计效益减少 4404.9 元/hm<sup>2</sup>，说明该种植模式生态成本巨大。甘薯、花生等耗水量少的作物下降幅度相对较小，棉花尽管耗水量也较大，但因其产值和效益高，下降幅度只有 19%，但绝对值则减少了 2652.5 元/hm<sup>2</sup>。根据计入水生态成本后的种植模式效益情况，产值低于冬小麦-夏玉米复种的若干种植模式效益均高于传统麦玉复种模式，这为选择传统麦玉复种的替代模式提供了依据。

### 2.3.2 基于水资源生态代价评估的粮经饲作物生产绿色核算

因为城市与农村生活用水是必须用水，工业及畜牧业用水投入产出比大大高于种植业用水产投比，所以假定超采带来的边际机会成本上升全部由种植业灌溉用水承担。根据统计资料计算 2000 年粮经饲作物

灌溉水量、超采水量及经济效益分别为 8584.5 万  $\text{m}^3$ 、5906.9 万  $\text{m}^3$  和 24136.2 万元,采用绿色 GDP 核算公式:

$$V_g = V_p - V_c - V_{ec} \quad (3)$$

式中,  $V_g$  为农业生产生态经济效益,  $V_p$  为农业总产值,  $V_c$  为农业生产成本,  $V_{ec}$  为农业生产生态成本。按上式计算得到栾城县粮经饲作物种植经济效益绿色核算结果为 17047.9 万元,绿色核算结果比传统核算的经济效益减少了 7088.3 万元,降低 29.4%。

### 3 小结与讨论

过度消耗水资源带来的生态后果导致农业生产成本增加。通过成本替代法对超采地下水引发的生态代价进行核算的结果显示:栾城县每年超采的地下水资源隐含着 7987.6 万元的价值或者说栾城县当前的工农业生产成本中应增加 7987.6 万元成本投入,这一成本相当于 2000 年农业总产值的 3.7%,相当于 2000 年种植业产值的 7.3%。按照传统的成本-效益核算方法,栾城县全县粮经饲作物的经济效益为 24136.2 万元。但将超采地下水的资源价值计入成本后,对该地区的农业生产进行绿色核算,粮经饲作物的经济效益减少为 17047.9 万元,绿色核算结果比传统核算的经济效益下降了 29.4%,效益值减少 7088.3 万元。其中该区域主要种植模式冬小麦-夏玉米的单位面积纯收益下降了 58.2%。这些研究结果表明该区的农业生产发展是以巨大的水生态代价为支撑的,当前高耗水型作物种植结构从生态角度看是不可持续的,从经济角度看也是不经济的,因此在该区域进行科学的种植模式调整,寻求适宜的替代模式是研究领域所面临的非常紧迫的问题。

黄淮海平原区农业是用水大户,以河北栾城县为例,2000 年地下水用水总量为 17376.1 万  $\text{m}^3$ ,其中农业灌溉用水总量占栾城县地下水开采量的 81.3%。此外,该区地下水资源供需不平衡状况不断加剧。从栾城县来看,2000 年水资源缺口为 5892.6 万  $\text{m}^3$ ,缺水率为 33.9%。地下水资源连年超采造成地下水位持续下降,从 1974 年到 2003 年的 30 年间,地下水埋深累计下降 20.2m,年平均 0.7m,水生态问题非常突出。而栾城县所属的太行山山前平原是传统的地下水资源的蓄水区,其水问题尚如此严重,可见黄淮海平原区特别是其中北部的确到了重视水生态代价,思考未来替代农业节水种植模式的时候了。这一问题尤其值得政府部门重视并转换观念,因为该区域的麦玉复种模式大面积存在是历史上形成的,是其作为国家商品粮基地,粮食征购任务的硬指标迫使地方付出生态代价追求粮食高产的必然结果!

本研究首次将超采地下水价值作为成本对当前种植业模式的经济效益进行核算,因为研究与测定的困难,所借用的方法特别是参数的选择上存在一定的主观性与误差,如水影子价格的确定是以南水北调工程中线工程到达北京市门口的价格作为参照,可能略高于到达石家庄市的价格,从而整体的生态代价估算值可能偏高;同时尽管工业用水及生活用水量相对较少,但将超采水价值完全计入农业灌溉成本是否合理,也需要进一步探讨。

### 参 考 文 献

- 1 国家统计局农村社会经济调查总队. 新中国五十年农业统计资料. 北京: 中国统计出版社, 2002. 233~400
- 2 陈志雄, 赵志国. 黄淮海平原的节水农业问题. 土壤, 1989, 21(4): 196~199
- 3 刘昌明, 何希吾. 中国 21 世纪水问题方略. 北京: 科学出版社, 1996
- 4 石元春. 黄淮海的水均衡分析. 中低产田治理与区域农业综合发展. 北京: 科学出版社, 1998
- 5 司徒淞, 张 薇. 试论黄淮海平原的节水农业. 农田水利与小水电, 1995 (3): 10~14
- 6 周凌云. 华北地区节水农业问题探讨. 农业现代化研究, 1993, 14(4): 240~243
- 7 姜文来, 王华东. 北京市水资源价格研究. 中国给水排水, 1994, 10(4): 22~23
- 8 高静川. 绿色 GDP 核算方法的探析. 学术交流, 2003 (12): 81~83