

黄河中上游河道生态水短缺价值损失探讨

王会肖, 覃龙华

(北京师范大学水科学研究院 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 作为生态系统中最为关键和重要的因素, 黄河中上游的水资源十分短缺, 而如何定量计算由于水短缺而导致的生态价值损失是一个复杂的问题。本文首先对生态价值进行分类, 并对国内常用的评估方法进行介绍。根据黄河中上游的特点将生态需水分爲输沙需水、基本生态需水和蒸发需水三个部分, 在此基础上, 利用市场价值法和影子工程法对短缺水量引起的生态价值损失进行了计算。结果显示 2002 年黄河中上游生态价值损失中由泥沙淤积引起的部分最大, 达到了 35.3 亿元, 其次是水质污染和渔业损失, 分别为 15.5 亿和 8.0 亿元。由于数据的限制, 本文未对水土保持、净化空气、科学文化功能等其他生态价值损失进行计算。最后提出跨流域调水是弥补生态损失的有效方法。

关键词: 黄河上中游; 生态价值; 生态需水; 评估方法

文章编号: 1000-0585(2007)01-0029-08

生态环境是一种可以提供多种服务的资产, 也是一种很特殊的公共物品, 具有共同消费和非排他性的特点, 属于一种非市场物品, 衡量环境改善给人们带来的收益以及环境污染给人们带来的损失显得至关重要。

环境费用效益分析是对生态环境质量改善或破坏所带来的影响进行货币评估, 即给生态环境“定价”。但是, 由于生态环境本身的特性, 其“价格”无法通过市场交易自动体现出来, 这给环境决策带来了很大的困难。生态环境估价最先由西方经济学家 Krutilla^[1] 在 1967 年提出, 经过几十年的发展, 也出现了多种多样的评估方法。但是近十余年来, 国外生态与环境经济学中最重要的是条件价值评估方法^[2]。我国在这方面是由李金昌^[3] 在 1989 年做了开创性研究并有不少成果陆续面世^[4,5]。近年, 周祖光对海南水生态系统服务功能价值进行了评价^[6], 梁延海等对大兴安岭的湿地价值进行了评价^[7], 而这些研究成果对本文都有一定的指导作用。

黄河中上游地区属于干旱和半干旱地区, 水资源短缺。除黄土高原部分地区年降水量为 400~600mm 外, 其余大部分地区年降水量在 200mm 左右, 多年平均年蒸发量却在 1200mm 以上, 而且年降水相对变化率比较高。目前在经济比较发达、人口集中的沿黄地区, 水资源供需矛盾已经非常突出, 成为经济与社会发展和生态环境改善的重要障碍。同时, 河流自净能力下降、水污染相当严重。以黄河为例, 由于大量污水直接排入黄河, 使黄河水质明显变坏。水质恶化、污染物含量超标已经危及农业生产和人民身体健康^[8,9]。计算由于生态用水短缺造成的生态价值损失对配置有限的黄河水资源、改善黄河生态环境有着积极的指导作用。

收稿日期: 2006-02-08; 修订日期: 2006-05-23

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金资助(20060027018)

作者简介: 王会肖, (1966-), 女, 河北人, 教授, 博士生导师。多年从事水资源方面研究。

1 生态价值评估方法概述

生态价值按照其服务功能可以分为使用价值(UV) 和非使用价值(NUV)^[10], 如图 1:

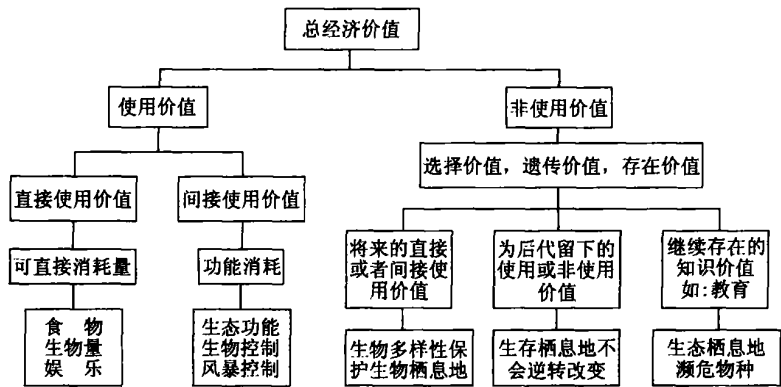


图 1 生态价值的分类
Fig 1 The classification of ecological value

其中生态环境的使用价值可以按照资源经济学方法直接计算, 而非使用价值的评价一直是个难点。评估方法可分为 4 大类: 直接观察、间接观察、间接假设、直接假设。直接观察包括竞争市场价格法、模拟市场法; 间接观察包括旅行费用法、享乐价格法、回避费用法、公民投票法; 间接假设包括条件分级、条件行为、条件投票; 直接假设包括投标博弈法、支付意愿法^[11, 12], 见表 1。

我国生态价值评估的主要方法包括: 市场价值法、机会成本法、影子价格法等行为观察类方法。而支付意愿法、投标博弈法等其他假设类方法则很少使用。

1.1 市场价值法

市场价值法是费用效益分析的一种基本方法。其基本原理: 将生态环境作为一种生产要素, 生态环境质量的变化将导致生产率和生产成本的变化, 进而影响产量和利润的变化, 依次来推算环境质量的改善或破坏所带来的经济上的影响。市场价值法可有两种情况: 一是生产要素不变, 此时的生态环境价值为:

$$V = q(P - C_v) \Delta Q - C \tag{1}$$

式中, V : 生态环境价值; P : 产品的价格; C_v 单位产品的可变成本; C : 成本; q : 产量 Q 的每一单位, 通常为 1; ΔQ : 产量的增加量。二是要素价格变化, 则生态环境价值为:

$$V = \Delta Q(P_1 + P_2)/2 \tag{2}$$

式中, ΔQ : 产量变化量; P_1 : 产量变化前的价格; P_2 : 产量变化后的价格。

表 1 生态价值评估模式

Tab 1 The models of ecological evaluation

		行为观察	假设方法
直接	直接观察	直接观察	直接假设
	竞争市场价格法	竞争市场价格法	投标博弈法
	模拟市场法	模拟市场法	支付意愿法
间接	间接观察	间接观察	间接假设
	旅行费用	旅行费用	条件分级
	享乐价格	享乐价格	条件行为
	回避费用	回避费用	条件投票
	公民投票	公民投票	

1.2 机会成本法

机会成本法也是费用效益分析的组成部分。任一自然资源都存在许多互相排斥的备选方案,但资源是有限的,选择了这种使用机会,就放弃了另一种使用机会,也就失去了后一种获得效益的机会。我们把其失去使用机会的方案中获得的最大经济效益,成为该资源选择方案的机会成本。理论计算公式如下:

$$L_i = S_i \times W_i \quad (3)$$

式中, L_i : 第 i 种资源损失机会成本的价值; S_i : 第 i 种资源单位机会成本; W_i : 第 i 种资源损失的数量。

1.3 影子价格法

影子工程法,也叫替代工程法是恢复费用法的一种特殊形式。常应用于环境的经济价值难以直接估算时,可借助于能够提供类似功能的替代工程来表示该生态环境的价值。比如,森林生产有机物的价值、涵养水源的价值、防止泥沙流失的价值均可采用此法。理论公式如下:

$$V = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (4)$$

式中, V : 被求测的生态环境价值; $X_1 \dots X_n$: 替代工程中各项目的建设费用^[13]。

2 黄河中上游河道生态水短缺价值损失估算

根据黄河中上游河流的特点和多年水文气象资料,我们把河道内的生态需水量分为基本生态需水量、输沙需水量和蒸发需水量三部分。而根据河道的地理和水文特性,我们把计算河段分为黄河上游、河口至龙门、龙门至三门峡及三门峡至花园口四个区间分别计算区间内生态需水量。再根据黄河实测的天然水资源量和计算年份各区间的实际人为用水量就可以得出计算年份的实际生态用水短缺量。计算出生态用水短缺水量之后,本文根据这部分短缺水量造成的生态价值损失进行计算,由于时间和资料的限制,本文仅对减沙损失、污染损失和渔业养殖损失进行计算。

2.1 生态需水量计算方法

2.1.1 河道基本生态需水量 采用最小月平均流量法对河道生态需水量进行计算^[14~16]。

最小月平均流量: 采用河流多年最小月流量的平均值作为河流的基本生态需水量。计算公式为:

$$W_b = \frac{T}{n} \sum_{i=1}^n \min(Q_{ij}) \times 10^{-8} \quad (5)$$

式中, W_b 为河道基本生态环境需水量(10^8 m^3); T 为换算系数,其值为 $31.536 \times 10^6 \text{ s}$, Q_{ij} 为第 i 年 第 j 个月的月均流量(m^3/s); n 为统计年数。

2.1.2 输沙需水量 本文主要采用冲淤平衡法对黄河流域的主要产沙区进行计算,采用最大月平均含沙法和汛期平均含沙法进行计算^[17,18]。

最大月平均含沙法: 将多年平均最大月含沙量的倒数作为单位泥沙输送所需水量,具体计算公式如下:

$$W_s = n S_t \times 10^3 / \sum_{i=1}^n \max(C_{ij}) \quad (6)$$

式中, W_s 为输沙需水量 (10^8 m^3); S_t 为多年平均输沙量 (10^8 t); C_{ij} 为第 i 年 第 j 个月的月平均含沙量 (kg/m^3); n 为统计年数。

汛期平均含沙法: 主要是针对北方的河流而言, 汛期河流通常处于饱和输沙状态, 因此可根据汛期输送单位泥沙所需的水量来计算输沙需水量。汛期输送单位泥沙所需的水量可近似为多年平均汛期含沙量的倒数来代替。输沙需水量可用下式计算:

$$W'_S = S_t \times 10^3 / S_{av}$$

(7)

式中, W'_S 为输沙需水量 (10^8 m^3); S_t 为多年平均输沙量 (10^8 t); S_{av} 为汛期多年平均含沙量(kg/m^3)。

2 1 3 河流水面蒸发需水量 当水面蒸发高于降水时, 必须从流域外来补充水量, 这部分水量被称为水面蒸发生态用水量; 当降水量大于蒸发量时, 认为蒸发生态用水量为零, 计算公式为:

$$W_E = A \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=0}^{12} (E_i - P_i) \times 10^{-3} \quad E > P \\ 0 \quad E \leq P \end{array} \right.$$

(8)

式中, W_E 为水面蒸发需水量(10^8 m^3); A 为年平均水面面积(10^8 m^2); E_i 为各月平均蒸发量(mm), 将各种型号蒸发器测得的结果折算为 20 m^2 大型蒸发池的蒸发量; P_i 为各月平均降水量(mm)。

2 2 生态用水短缺量计算结果

在计算具体缺水量时, 我们选择 $P = 75\%$ 的 2002 年作为缺水现状年份计算, 根据黄河水利委员会公布的 2002 年黄河水资源通报来确定人为用水量。根据水文资料在对来水量进行分配的时候, 我们按照黄河多年平均径流量 60% 来自汛期, 其余来自非汛期的规律进行划分, 得到汛期和非汛期各自的来水量。其中基本生态需水短缺量我们以汛期和非汛期补入水量之和减去基本生态需水与蒸发用水得到, 输沙短缺量以汛期补入水量减去输沙水量得到, 生态需水量和各部分短缺量计算结果见表 2。

表 2 现状年份 2002 年各代表河段生态用水短缺分析 (10^8 m^3)

Tab 2 The analysis of shortage amount of ecological water in the upper and middle Yellow River in 2002 (10^8 m^3)

区间	非汛期基本生态需水量	汛期输沙需水量	蒸发量	汛期补入水量	非汛期补入水量	基本生态需水短缺	输沙短缺
河源至头道拐	70 981	0	15	73. 65	49 1	0	0
头道拐至龙门	36 925	0	4 666	20. 32	13 64	7 631	0
龙门至三门峡	18 553	40 666	4 833	-2 68	-1. 79	25 176	43 346
三门峡至花园口	4 156	0	0 815	26. 1	17. 4	0	0

从以上计算结果看出, 上游总的生态用水满足要求, 因为上游河段是黄河的主要产水区和清水区, 只有宁蒙河段生态用水短缺, 出现了年年泥沙淤积的情况, 故在下面的生态价值损失计算中, 上游河段只需考虑宁蒙河段即可。而宁蒙河段的淤积损失按照实际淤积量 1. 03 亿吨进行计算。而中游的头道拐至龙门区间和三门峡至花园口区间也并非完全无泥沙淤积, 只是由于这两个区间的河道陡峭, 泥沙在汛期大部分由高速洪水挟带至下游, 为了简化计算, 故没有考虑这两个区间的输沙用水量计算。

2 3 生态水短缺价值损失计算

2 3 1 河流泥沙淤积损失 观测得出的黄河上游头道拐断面多年平均含沙量为 4 63kg/m³，中游的平均含沙量为 30 7kg/m³，按黄河河道泥沙控制要求，采用费用损失法河流泥沙淤积损失按照河道清淤和泥沙处理费用确定。根据黄河水利委员会提供的黄河中下游河道清淤以及相关的泥沙处理费用数据为 20 元/m³，泥沙体积质量 1. 28 t/m³，按下列公式进行计算：

$$V_1 = \frac{P_1 W_1 C_s}{1000 \sigma} \tag{9}$$

式中，V₁ 为泥沙淤积损失(元)；P₁ 为清理淤积泥沙及处理相关泥沙价格(元/m³)；W₁ 为计算所得输沙用水短缺量(m³)；C_s 为含沙量 (kg/m³)；σ 为泥沙体积质量(t/m³)。

2 3 2 河流水质污染损失 由于缺乏 2002 年黄河排污数据，现就以 1997 年数据来参照计算当年黄河中上游因水资源缺少而导致的河流水质污染损失。

采用影子工程法进行计算，对假设增加污水处理设备的投入进行计算。由 1999 年《黄河干流纳污量调查报告》可见黄河流域废污水 COD 浓度取不同性质废污水 COD 浓度中位数的平均值为 211. 75mg/L。根据代表年份的缺水量，短缺水量按本底浓度(COD)维持水质 Ⅲ级水平，各行业达标（一级标准）排放计，假设最后进入河口的水质达到了Ⅲ级水质，计算出在Ⅲ级水质目标下少吸纳污染物(COD)，其值用调入水量乘以Ⅲ级水质与Ⅲ级水质 COD 浓度之差可得，而根据总的污染量(COD)除以 COD 浓度中位数的平均值得出废水总量。根据李晓晖对黄河流域水污染问题研究，每 m³ 废污水所造成的损失约为 1 元左右，我国现阶段污水处理厂建设费用和排水管网费用一般为 1t 投资 2500 元，综合考虑污水处理设备建设和运行费用，本文取废污水造成损失为 2 元/ m³。因为输沙用水大部分是汛期高含沙的高速洪水，很难为其他功能所利用，故短缺水量按照基本生态流量计算，计算公式如下：

$$V_2 = P_2 W_2 \frac{C_{COD_5} - C_{COD_M}}{C_{COD_M}} \tag{10}$$

式中，V₂ 为水质污染损失(元)；P₂ 为处理单位污水所需费用(元/m³)；W₂ 为减污用水短缺量，按照生态基流短缺量计算(m³)；C_{COD₅} 为Ⅲ级水质 COD 浓度(mg/L)；C_{COD₂} 为Ⅲ级水质 COD 浓度(mg/L)；C_{COD_M} 为黄河平均 COD 浓度(mg/L)。

2 3 3 河流水域渔业损失 黄河水系约有 150 多种鱼类，上游是一些冷水性鱼类，如雅罗鱼、条鳅等，中游经济鱼类主要有鲤、鲫、赤眼鲮、鸽子鱼等，无论是天然因素还是人为因素，水量的变动都会对渔产量产生深刻影响。

表 3 中国湿地水域渔业可养面积 (hm²)

Tab 3 The available surface of water area for fishery in China (hm²)

湿地水域类型	总水面	可养水面
池塘	127. 1	119. 6
湖泊	742. 6	187. 0
水库	205. 5	182. 1
河沟	684. 2	75. 6
总计	1759. 4	564. 3

采用市场价格法，按照 2002 年河南和内蒙古市场平均鱼价 59. 92 元/kg 进行计算，短缺水量按基本生态流量短缺量进行计算。在短缺水量转化成可以使鱼类正常生长的水域面积时，我们把统计得到的全国河道可养水域面积的比例来参照，见表 3。我们在平均水深为 3 米的情况下得到的补入水量总面积情况下乘以可养系数 (75. 6/684. 2= 0. 11) 就得到了补入水量的实际可养鱼面积，计算公式如下：

注：表中数据来源于《中国农业资源与区划要览》，测绘出版社，工商出版社，1986 年。

$$V_3=\frac{\partial P_3W_3p}{H}$$

(11)

式中， V_3 为渔业损失价值 (元)； ∂ 为可养系数，取 0.11； P_3 为平均鱼价 (元/kg)； W_3 为渔业短缺水量，按照生态基流短缺量计算 (m^3)； p 为渔业单产 (kg/m^3)； H 为平均水深 (m)。

各类损失计算结果见表 4

表 4 2002 年黄河中上游河道各类损失计算结果

Tab 4 The losses of ecological value in the upper and middle Yellow River in 2002

区间	基本生态 需水短缺 (亿 m^3)	输沙短缺 (亿 m^3)	泥沙淤积 损失 (亿元)	水质污染 损失 (亿元)	渔业损失 (亿元)	合计 (亿元)
宁蒙河段	0		14 544	0	0	14 544
头道拐至龙门	7 631	0	0	3 60	1 86	5 46
龙门至三门峡	25 176	43 346	20 792	11 879	6 13	38 801

从计算结果来看，2002 年由于生态用水短缺而导致的生态价值损失是巨大的，达到了 58 805 亿元，而通过下面两个对比图（图 2）可以看出，黄河中上游生态用水短缺而导致的价值损失主要集中在龙三区间，说明龙三区间是整个黄河上中游河段的生态敏感带，需要重点对其进行生态保护和用水规划。而在各种类型损失的对比当中，由于泥沙淤积而导致的损失是最为巨大的，这是由于黄河的泥沙问题是整个河流中最为突出的问题，每年从河流中游淤积的泥沙将给生态环境带来巨大的损失。

在计算过程中，由于三门峡至花园口区间的基本生态用水量 and 输沙用水量都已经达到了要求，其生态价值损失为零，故计算结果中没有列出此区间。

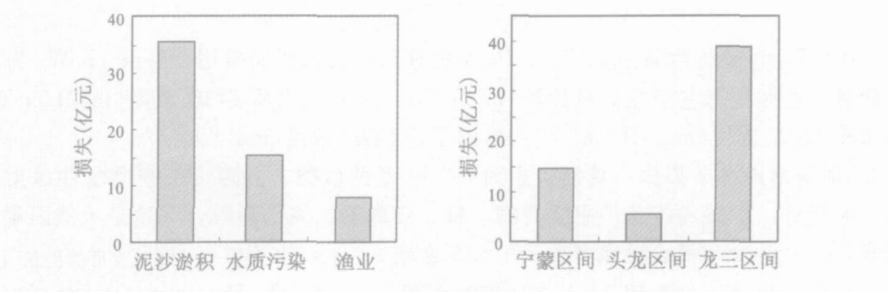


图 2 2002 年黄河中上游各区间及类型生态用水短缺损失

Fig. 2 The losses of ecological value of each area and type in the upper and middle Yellow River in 2002

3 结论与讨论

本文对 2002 年黄河中上游河段河道内由于生态用水短缺而导致的生态价值损失进行了计算，并对其构成进行了分析。采用的方法是市场价值法和影子工程法两种直接估值的方法，得到黄河中上游 2002 年由于生态环境用水短缺而造成的泥沙淤积、水质污染和渔业损失高达 58 805 亿元。其中，泥沙淤积造成的损失为最大，其次是水质污染损失和渔

业损失, 计算结果与黄河流域目前的河道生态环境状况吻合。这是对流域由于生态用水短缺造成的生态环境价值损失进行的尝试性计算。

需要指出的是由于资料的限制, 本文只计算了基本生态需水量、冲沙需水量和水面蒸发需水量, 对于景观需水量和地下水回灌需水量则没有计算, 而这一部分的生态需水量也相当可观。在计算总量时对主要输沙河段进行了汛期和非汛期的划分, 而其他河段则统一按照保证基本生态流量的标准进行计算。在计算输沙用水短缺量时, 大致划分为 5 个区间进行计算, 没有对支流进行仔细的研究。由于时间和客观能力的限制, 本文对黄河河道生态需水量和短缺量的研究还是粗略和肤浅的, 希望在以后的研究中能进一步理解和把握黄河河道生态需水量时间和空间的精确关系。

而在计算环境价值损失的时候, 由于资料的限制和计算本身的局限, 对黄河河段的减污效益只是从整体上计算, 没有对各河段分别进行计算, 另外有一部分生态服务功能(水土保持、净化空气、科学文化功能等)的价值难以描述, Costanza 等人曾对全球湿地生态系统的科研文化功能价值做了定量研究^[19], 李燕琴等对北京生态旅游者行为进行了研究^[20], 这一部分生态效益随着人们生活水平的提高将得到更大的重视, 所以实际的亏损应大于计算值。而在计算方法的选择上, 多使用了一些计算直接生态价值的方法, 而像支付意愿法、条件价值法、条件投票等方法没有进行采用。希望在以后的研究中能充分考虑到直接生态价值和间接生态价值, 对黄河上中游的生态供水效益进行一个全面、综合的计算。

随着流域上经济水平的不断提高, 用于农业灌溉和工业用途的水资源量将继续增加, 在黄河水资源量一定甚至有减少趋势的条件下, 生态用水将进一步被挤占, 进而导致环境价值的损失扩大。从流域外调水来缓解黄河流域水资源不足是弥补这一损失的有效办法, 其生态效益将非常可观。

参考文献:

- [1] Krutilla John V. Conservation Reconsidered, Environmental Resource and Applied Welfare Economics, Washington, DC: Resource for the Future, 1988
- [2] Bjornstad D J, Kahn J R, *et al.* The Contingent Valuation of Environmental Resources, Methodological Issues and Research Needs, Cheltenham: Edward Elgar Publishing Limited, 1999
- [3] 李金昌. 环境与经济. 北京: 中国环境科学出版社, 1994 214~ 243
- [4] 靳乐山. 中国的环境价值评估: 理论与实践. 环境科学动态, 1997, (4): 1~ 4
- [5] 靳乐山. 环境质量价值若干评估技术研究. 博士论文, 1997, 53~ 89
- [6] 周祖光. 海南岛水生态系统服务功能价值评价. 水利经济, 2005, 23(5): 11~ 14
- [7] 梁延海, 等. 大兴安岭湿地价值的初步评价. 防护林科技, 2005, 4: 54~ 55
- [8] 曾勇, 等. 环境价值评估方法. 重庆环境科学, 2000, 22(2): 29~ 31
- [9] 刘苏峡, 等. 黄河流域水循环研究的进展和展望. 地理研究, 2001, 20(3): 257~ 264
- [10] 王金南. 经济学—理论·方法·政策. 北京: 清华大学出版社, 1994 78~ 154
- [11] Mitchell D C, Carson R T. Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method, Washington, DC: Resources for the Future, 1989
- [12] 薛达元. 自然保护区生物多样性经济价值类型及其评估方法. 农村生态环境, 1999, 15(2): 54~ 59
- [13] 郭明, 等. 生态环境价值评估方法综述. 山东师范大学学报, 2003, 18(1): 71~ 74
- [14] 李丽娟, 郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算. 地理学报, 2000, 55(4): 496~ 500
- [15] 杨志峰, 等. 生态环境需水量理论、方法与实践. 北京: 科学出版社, 2003 221~ 233
- [16] 尤联元. 《黄河流域环境演变与水沙运行规律研究》评介. 地理研究, 1996, 15(2): 106~ 107

- [17] 王西琴, 刘昌明, 等. 黄淮海平原河道基本环境需水研究. 地理研究, 2003, 22(2): 169~ 176
- [18] 宋进喜, 李怀恩, 等. 河流生态环境需水量研究综述. 水土保持学报, 2003, 17(6): 95~ 112
- [19] Costanza R, *et al.* The Value of the World, Ecosystem Services and Natural Capital, *Nature*, 1997, 387(May~ June): 253~ 260
- [20] 李燕琴, 等. 北京市生态旅游者的行为特征调查与分析——以百花山自然保护区为例. 地理研究, 2004, 23(6): 863~ 873

A study on the loss of ecological value caused by shortage of eco-water in the upper and middle Yellow River

WANG Hui-xiao, QIN Long-hua

(Key Laboratory of Water and Sediment Sciences, Ministry of Education,
College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: At present, the contradiction between water supply and demand has become acute in the developed and populous areas along the Yellow River, and the destruction of the ecological environment has become increasingly serious. As most essential and important element in ecosystems, water is seriously short in the upper and middle reaches of the Yellow River, and how to appraise the loss of ecological value caused by water shortage is always a complex issue. In this paper, it was attempted to assess the ecological value loss brought by water scarcity for the yellow River. Firstly, the ecological value was classified into two groups of use value and nonuse value, and the commonly used appraisal methods in China were also introduced in this paper. In case of calculation, according to the characteristics of the upper and middle reaches of the Yellow River, eco-water requirements were divided into three parts: sediment transport water requirement, basic ecological flow, and evaporation water requirement, the corresponding methods for each type of eco-water requirements were described in detail, and were calculated respectively. And then, the loss of ecological value caused by water deficit was calculated using the Market Value Method and Shadow Project Approach. The results showed that the total ecological value loss from water shortage was 5.88 billion yuan in the upper and middle reaches of the Yellow River in 2002, the biggest loss of ecological value was caused by sediment accumulation, which was 3.53 billion yuan. The losses caused by water pollution and fishery reduction were 1.55 billion and 0.8 billion yuan, respectively. Limited by the data, other losses of ecological value such as water and soil conservation, air purification, scientific study and education were not considered in this study. Finally, it was pointed out that inter-basin water transfer is an effective way to make up the ecological and environmental loss and can make a considerable ecological profit.

Key words: upper and middle Yellow River; ecological value; appraisal method; eco-water requirement