DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.01.007

改进决策树模型支持下的饮用水水源地健康风险评价

程 斌, 王菲凤, 张江山

(福建师范大学环境科学研究所,福建 福州 350007)

摘要:为了解决传统水环境健康风险评价模型中存在的忽略污染物浓度和时效性问题,基于决策树的分类思想方法,引入熵权法确定各指标的权重值大小,提出决策树综合评价模型,并应用于 2009 年 FZ 市饮用水水源地水环境健康风险评价。结果表明,2009 年该市饮用水水源地水环境健康风险值为 6.215×10^{-5},处于Ⅲ级、中风险状态,小于传统模型的计算结果(7.833×10^{-5})。认为虽评价结果为同一风险等级状态,但研究建立的综合模型可提高评价的准确度和精度。

关键词:决策树;熵权;饮用水水源地;健康风险评价

中图分类号:X820.2 **文献标志码**:A **文章编号**:1004-6933(2013)01-0027-05

An improved decision tree model for health risk assessment of drinking water source

CHENG Bin, WANG Feifeng, ZHANG Jiangshan

(*Institute of Environmental Science, Fujian Normal University, Fuzhou* 350007, *China*)

Abstract: The concentrations of pollutants and timeliness have been ignored in traditional water environmental health risk assessment models. To solve these problems, an improved decision tree comprehensive evaluation model was put forward based on the theory of decision tree classification, and the entropy method was used to determine the pollutants' weights. The model was applied to health risk assessment of the potable water source in FZ City in 2009. The results show that the water environmental health risk coefficient of the potable water source in FZ City was 6.215×10^{-5}, being at level III with a medium-degree risk. It was lower than that calculated by the traditional model, i.e., 7.833×10^{-5}, which has a same-level risk. The proposed model improves the accuracy and precision of evaluation.

Key words: decision tree; entropy weight; drinking water source; health risk assessment

水质综合评价中的风险值是通过建立污染物与人体健康定量关系得到的[1],而客观存在的风险值具有模糊性、复杂性和时效性等特点。决策分析是指从若干可能的方案中按一定标准选择其一的定量分析方法[2]。决策树(decision tree)模型是决策分析的主要方法之一,通过决策树模型把研究对象以时间划分进行分类排序,进而应用时间加权得到的风险值更客观地反映水质对人体健康的影响。

运用决策树模型进行水质综合评价,有两个基本步骤:①计算各个评价指标权重大小;②对各个评价对象进行分类。文献[2-5]中通过熵权法来计算指标权重值,其中,文献[2]对地表水的污染指标进行权重分析,文献[3-5]则分别对地下水、饮用水水源地、海水中的污染指标进行权重分析,都得到了令人满意的结果。说明熵权法确定权重适用于不同水体,应用范围广。熵权法从实测数据指标入手,充分利用数据自身信息,客观地确定出熵权。在上述研究的基础上,作者提出采用熵权法[6]计算各污染指标的权系数,最后通过决策树模型得出综合的风险评价值。

笔者在分析 FZ 市饮用水水源地健康评价的基础上,把决策树综合评价模型应用于 2009 年水环境健康风险评价,为饮用水水源地的水环境健康风险

作者简介:程斌(1987—),男,硕士研究生,研究方向为水环境评价。E-mail:71933904@qq.com

评价与管理提供科学依据。

1 模型的方法、原理和建立

1.1 改进的决策树模型原理与方法

决策树模型是由一系列判断(包括条件和结论)组成的一种树状结构,是实例属性值约束的合取式[7](图1)。在其树型结构中,每个结点表示对一个属性值的测试,分支表示测试的结果,而树的叶结点表示类别,从决策树的根结点到叶结点的一条路径对应着一条合取规则[8],整个决策树模型的产生为一个自定向下的方式,大致过程是:①利用一组数据集生成决策树,②利用生成的决策树,对一组未知数据集属性的取值进行分类。

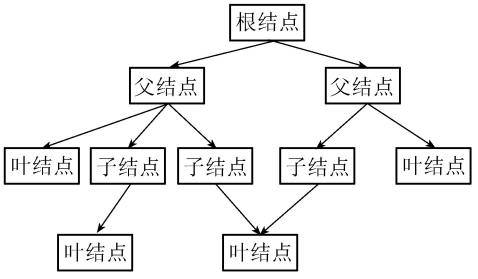

图1 决策树模型原理示意图

1.2 水环境健康风险评价基础模型

水环境评价模型采用美国环境保护局推荐的健康风险评价模型,评价项目主要包括化学致癌物和非化学致癌物[9]。

1.2.1 化学致癌物所致健康危害的风险

化学致癌物所致健康危害的风险 R^c 可按下式计算:

$$R^c = \sum_{i=1}^{k} R_i^c \tag{1}$$

其中

$$R_i^c = [1 - \exp(-D_i Q_i)]/70 \tag{2}$$

$$D_i = 2.2\rho_i/70 \tag{3}$$

式中:R_i^c 为化学致癌物 i 通过摄入途径产生的平均个人致癌年风险,a^{-1};k 为化学致癌物种数;D_i 为化学致癌物质 i 通过摄入途径的单位体重日均暴露剂量,mg/(kg·d);Q_i 为化学致癌物质通过摄入途径致癌强度系数,(kg·d)/mg;ρ_i 为化学致癌物 i 的质量浓度,mg/L。

1.2.2 非化学致癌物所致健康危害的风险 R^n

非化学致癌物所致健康危害的风险 R^n 可按式(4)计算:

$$R^n = \sum_{i=1}^{l} R_i^n \tag{4}$$

其中

$$R_i^n = 10^{-6} D_i / \frac{70}{P_i} \tag{5}$$

$$P_i = R_i/Z \tag{6}$$

式中:R_i^n 为非化学致癌物 i 经摄入途径所致健康危害的个人平均年风险,a^{-1};l 为非化学致癌物的种数;P_i 为非化学致癌污染物 i 经摄入途径的调整剂量,mg/(kg·d);Z 为安全因子,本研究中取值为10;R_i 为非化学致癌污染物 i 的摄入途径参考剂量,mg/(kg·d)。

水环境中化学有毒污染物总健康危害风险为

$$R_{总} = R^c + R^n \tag{7}$$

1.3 综合评价模型的建立

1.3.1 用熵权法确定各评价指标权重

1.3.1.1 信息熵的确定

将由 m 个样本与 n 个指标构成的初始环境矩阵 $(\boldsymbol{C}_{ij})_{mn}$,作标准化处理:

$$y_{ij} = \begin{cases} C_{ij}/(C_{ij})_{\max} & \text{正向指标} \\ (C_{ij})_{\min}/C_{ij} & \text{逆向指标} \end{cases} \tag{8}$$

式中:y_{ij} 为第 i 个样本的第 j 个指标标准化后的无量纲值;C_{ij} 为第 i 个样本的第 j 个指标的浓度;$(C_{ij})_{\max}$、$(C_{ij})_{\min}$ 分别为第 i 个样本的第 j 个指标中浓度最大值和最小值。

由此可得标准化矩阵 $(\boldsymbol{y}_{ij})_{mn}$。根据斯梯林公式计算,可得 j 项指标的信息熵值 e_j:

$$e_j = -K\sum_{i=1}^{m} y_{ij}\ln y_{ij} \tag{9}$$

式中,K 为常数,与样本数 m 有关,$K=\ln m$。

1.3.1.2 权重计算

某项指标的信息效用价值取决于该指标的信息熵 e_j 与1的差值 h_j。

$$h_j = 1 - e_j \tag{10}$$

于是 j 项指标的权重 W_j 计算公式为

$$W_j = h_j/\sum_{j=1}^{n} h_j \tag{11}$$

1.3.2 确定决策树模型规则

通过计算得到不同特征指标的权重大小,并依次作为各层决策点的决策因子:选取权重最大的指标建立决策树的一个结点,由是否大于该指标的平均值建立决策树的分支;然后采用递归方法对各分支的子集建立决策树结点的分支,直至所有决策因子考虑完全为止,最终完成决策树模型。

1.3.3 确定最终风险值

通过决策树模型对研究对象进行分类,把1—12月的数据分成 k' 组,把研究对象的污染程度作为分类的标准。根据公式(1)~(6)计算出每个叶节点的风险 $R_1, R_2, \cdots, R_{k'}$。代入时间加权平均公式[11]得到最终的年风险:

$$R = \frac{b_1R_1 + b_2R_2 + \cdots + b_{k'}R_{k'}}{12} \tag{12}$$

式中：$R_1, R_2, \cdots, R_{k'}$ 为对应的叶节点的风险 a^{-1}；$b_1, b_2, \cdots, b_{k'}$ 为每个叶节点中的月份数。

2 实证研究

2.1 研究对象及相关参数确定

以 FZ 市饮用水源地作为研究对象，其 2009 年水质监测报告列于表 1。

表 1 2009 年 FZ 市饮用水水源地水质监测报告

mg/L

月份	ρ(As)/(×10⁻⁴)	ρ(Cd)/(×10⁻³)	ρ(Cr^{6+})/(×10⁻³)	ρ(CN^-)/(×10⁻³)	ρ(Hg)/(×10⁻⁵)	ρ(Pb)/(×10⁻³)	ρ(NH_3-N)/(×10⁻¹)	ρ(FN)/(×10⁻³)
1	2.4	1.0	4.0	2.0	1.75	1.0	17.2	1.0
2	3.8	2.3	2.0	2.0	1.83	1.0	3.8	1.0
3	77.0	1.8	2.0	2.0	0.93	1.0	3.6	1.0
4	13.4	3.0	2.0	5.0	2.31	4.9	1.0	1.0
5	8.4	2.4	2.0	2.0	2.62	1.0	0.8	1.0
6	9.1	2.4	2.0	2.0	3.01	1.0	5.2	2.0
7	7.6	1.0	6.0	2.0	2.88	1.0	3.3	1.0
8	10.0	2.0	6.0	2.0	2.45	0.6	3.9	1.0
9	13.0	3.0	5.0	2.0	1.66	4.9	7.4	1.0
10	8.3	2.8	4.0	9.0	1.74	4.9	14.7	1.0
11	13.0	1.6	4.0	2.0	2.73	4.9	1.2	1.0
12	6.8	2.2	2.0	2.0	3.12	4.9	5.6	1.0

2.2 利用熵权法计算指标的权重值

通过公式(8)～(11)计算得到各类不同污染物的平均值及权重值，结果见表 2。

表 2 污染物年均质量浓度与权重值

污染物		年均质量浓度/(mg·L^{-1})	权重值
化学致癌物	As	1.44×10^{-3}	0.388
	Cd	2.125×10^{-3}	0.393
	Cr^{6+}	3.42×10^{-3}	0.219
非化学致癌物	CN^-	2.83×10^{-3}	0.033
	NH_3-N	5.64×10^{-1}	0.274
	Hg	2.253×10^{-5}	0.386
	Pb	2.59×10^{-3}	0.301
	FN	1.083×10^{-3}	0.006

由表 2 可知在化学致癌物中 Cd 的权重值最大，其次是 As 和 Cr^{6+}；在非化学致癌物 Hg 的权重值最大，其次是 Pb 和 NH_3-N，FN 和 CN^- 的权重值则远远低于其他的非化学致癌物。即

$$W_{Cd} > W_{As} > W_{Cr6+}$$

$$W_{Hg} > W_{Pb} > W_{NH_3\text{-}N} > W_{CN^-} > W_{FN}$$

2.3 建立决策树

在得知各指标权重值大小的基础上建立化学致癌物和非化学致癌物的决策树(图 2，其框图内的数字表示月份)。

图 2 中每个方案枝代表的是一个属性因子的均值，分支点的左边小于等于均值，右边大于均值。污染物的浓度越小，水质越好，所以通过修剪后的决策树图可以很直观地显示出不同月份水质的优劣分类

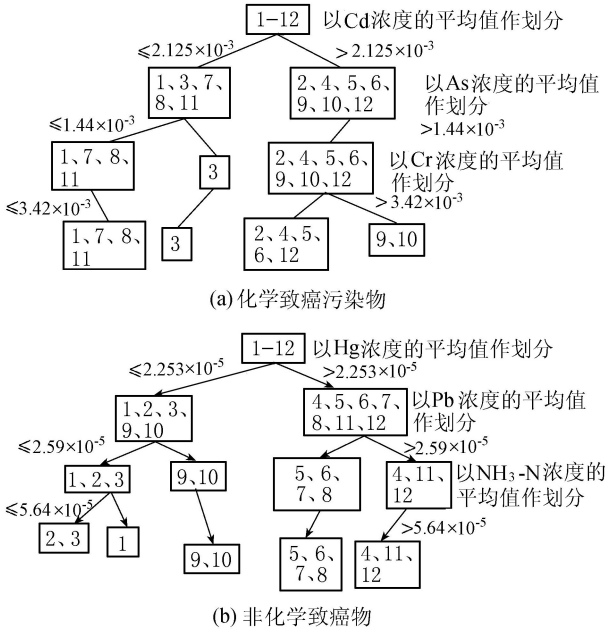

图 2 化学致癌物和非化学致癌物决策树示意图

和排序。

如图 2(a)所示，以化学致癌物为划分因子的决策树的叶节点有 4 个，分别是：

{1、7、8、11}、{3}、{2、4、5、6、12}、{9、10}。

如图 2(b)所示，以非化学致癌物为划分因子的节点数为 5 个，分别是：

{2、3}、{1}、{9、10}、{5、6、7、8}、{4、11、12}。

综合评价值的结果显示：在非化学致癌物中，FN 与 CN^- 的权重值远小于其他非化学致癌物，其对人体的影响甚微，因此未在该决策树模型中体现。

2.4 计算过程与结果

2.4.1 计算步骤

a. 先计算每个叶节点中各个指标的平均值。

b. 把求出的平均值代入表 3 中的参数，并通过水环境健康风险评价模型计算每个部分的风险值；根据国际癌症研究机构(IARC)和世界卫生组织(WHO)所编制的分类系统，基因毒物质致癌强度系数见表 3[12]。

表 3 模型参数 Q_i 和 R_i 值

化学致癌物	Q_i/(kg·d·mg^{-1})	非化学致癌物	R_i/(mg·kg^{-1}·d^{-1})
As	15.0	CN^-	3.7×10^{-2}
Cd	6.1	FN	1.0×10^{-1}
Cr^{6+}	41.0	Hg	3.0×10^{-4}
		Pb	1.4×10^{-3}
		NH_3-N	9.7×10^{-1}

c. 在计算出所有叶节点的风险系数后，通过(13)公式，得到最终的解。

2.4.2 计算结果

根据公式(1)～(6)分别计算各污染物的风险

值,并进行决策树分类,结果如表4、表5。

表4 化学致癌物决策树分类风险计算结果 a^{-1}

叶节点	R^c_{As}	R^c_{Cd}	R^c_{Cr6+}	R^c
1	5.555×10^{-6}	3.834×10^{-6}	9.174×10^{-5}	7.204×10^{-5}
2	5.176×10^{-5}	4.929×10^{-6}	3.677×10^{-5}	1.249×10^{-4}
3	5.589×10^{-6}	6.736×10^{-6}	3.677×10^{-5}	3.815×10^{-5}
4	7.171×10^{-6}	7.940×10^{-6}	8.260×10^{-5}	7.098×10^{-5}

注:$R^c=R^c_{As}+R^c_{Cd}+R^c_{Cr}6+$

最后通过时间加权公式得:

$R^c=(4\times7.204\times10^{-5}+1\times1.249\times10^{-4}+5\times3.815\times10^{-5}+2\times7.098\times10^{-5})/12=6.215\times10^{-5}(a^{-1})$

表5 非化学致癌物决策树分类风险计算结果 a^{-1}

叶节点	R^n_{Pb}	$R^n_{NH_3-N}$	R^n_{FN}	R^n_{Hg}	R^n_{CN-}	R^n
1	3.2×10^{-9}	1.71×10^{-9}	4.49×10^{-11}	2.07×10^{-10}	2.43×10^{-10}	5.39×10^{-9}
2	3.2×10^{-9}	7.96×10^{-9}	4.49×10^{-11}	2.62×10^{-10}	2.43×10^{-10}	1.17×10^{-8}
3	1.57×10^{-8}	5.11×10^{-9}	4.49×10^{-11}	2.54×10^{-10}	6.67×10^{-10}	2.18×10^{-8}
4	2.89×10^{-9}	1.53×10^{-9}	5.61×10^{-11}	4.10×10^{-10}	2.43×10^{-10}	5.13×10^{-9}
5	1.57×10^{-8}	1.20×10^{-9}	4.49×10^{-11}	4.07×10^{-10}	3.64×10^{-10}	1.77×10^{-8}

注:$R^n=R^n_{Pb}+R^n_{NH_3-N}+R^n_{FN}+R^n_{Hg}+R^n_{CN-}$

$R^n=(2\times5.39\times10^{-9}+1\times1.17\times10^{-8}+2\times2.18\times10^{-8}+4\times5.13\times10^{-9}+3\times1.77\times10^{-8})/12=11.642\times10^{-9}(a^{-1})$

ICRP[13]推荐的最大可接受风险值为5.0×10^{-5},而EPA[14]认为在10^{-4}级别之内的风险值都是可以接受的。为了客观具体地确定风险水平的等级,Zhu[15]依据专家意见,并参考EPA和ICRP的风险评价标准,将风险评价标准分为6个等级(表6)。

表6 风险等级、风险程度和风险值范围评价标准

风险等级	风险程度	风险值范围
Ⅰ	低	$[1.0\times10^{-6},1.0\times10^{-5})$
Ⅱ	低~中	$[1.0\times10^{-5},5.0\times10^{-5})$
Ⅲ	中	$[5.0\times10^{-5},1.0\times10^{-4})$
Ⅳ	中~高	$[1.0\times10^{-4},5.0\times10^{-4})$
Ⅴ	高	$[5.0\times10^{-4},1.0\times10^{-3})$
Ⅵ	极高	$[1.0\times10^{-3},5.0\times10^{-3}]$

根据公式(7),得到$R_{总}=R^c+R^n\approx6.215\times10^{-5}(a^{-1})$

对照表6,可知FZ市2009年饮用水源地环境健康风险等级为Ⅲ级、中风险(较接近上限)。

2.5 讨论

决策树综合评价模型与传统模型具体计算结果比较见表7。由表7可见,两种方法进行的评价结果都是Ⅲ级、中风险程度,但是从风险系数的具体数值来看,传统水环境风险评价模型的计算结果比较接近该级别的下限值,决策树综合评价模型更接近上限值,这体现了改进后的模型提高了评价的精度:①运用熵权法计算各个指标的权重值能客观反映不同指标对水体的影响。②通过决策树的分类排序,可以很直观地看出不同月份水质的优劣分类和排序:从左往右水质越来越低。③引入时间加权后的新模型有效缓解了因不同时间段浓度显著差异而造成评价结果的偏颇,更能精确客观地反映水体中不同污染程度的时效性对人体健康危害的风险程度。

表7 决策树综合评价模型与传统模型计算与评价结果比较

模型	化学致癌物风险值	非化学致癌物风险值	总风险值	风险等级、程度
传统模型	7.8334×10^{-5}	1.165×10^{-8}	7.8334×10^{-5}	Ⅲ级、中风险
改进决策树模型	6.215×10^{-5}	7.4×10^{-9}	6.215×10^{-5}	Ⅲ级、中风险

3 结 语

a. 考虑到健康评价风险值的时效性和复杂性,把决策树综合评价方法引入水环境健康风险评价模型中,使最终评价更加接近客观实际。结果表明,2009年FZ市饮用水水源地总体上处于Ⅲ级、中风险状态,其中1、7、8、11月的污染程度相对较高,9、10、12月的污染较小。在化学致癌物中Cd对人体健康的危害相对较大。非化学致癌物中Hg和Pb的浓度相对较高,虽然非化学致癌物对总体健康风险所起的作用较小,但也需要引起重视,加强水源地的水质管理与控制。

b. 决策树综合评价模型与传统水环境健康风险模型计算评价结果为同一风险等级状态,但本文建立的综合模型较接近上限值,提高了评价的准确度和精度。该模型物理意义明晰,计算过程复制性强,评价结果更为客观合理,增强了水源地环境风险管理的科学性,并可为其他环境领域的风险评价和预估提供借鉴。

参考文献:

[1] ZOU Bin, ZENG Yongnian. Spatial and temporal health risk assessment of water environment in urban area[J]. Geography and Geo-Information Science, 2009(2): 94-95.

[2] 刘燕,张江山. 基于熵权的TOPSIS法在水环境质量评价中的应用[J]. 福建师范大学学报:自然科学版, 2010, 26(5): 110-111. (LIU Yan, ZHANG Jiangshan. Application of TOPSIS method based on coefficient of entropy in water quality evaluation[J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2010, 26(5): 110-111. (in Chinese))

[3] 林鸿雁,张江山,温烨明,等. 熵权物元分析法在地下水水质监测点优选中的应用[J]. 福建师范大学学报:自然科学版, 2010, 26(1): 109-111. (LIN Hongyan, ZHANG Jiangshan, WEN Yeming, et al. Application of substance element analysis model based on coefficient of

entropy in optimizing sampling sites for groundwater quality monitoring [J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2010, 26(1): 109-111. (in Chinese))

[4] 郭树宏,王菲凤,张江山,等. 基于PSR模型的福建山仔水库生态安全评价[J]. 湖泊科学,2008,20(6):814-818. (GUO Shuhong, WANG Feifeng, ZHANG Jiangshan, et al. Ecological security evaluation based on PSR Model for Shanzi Reservoir, Fujian Province [J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(6): 814-818. (in Chinese))

[5] 余立斌,张江山,王菲凤. 熵权物元分析模型在海水水质评价中的应用[J]. 黑龙江水专学报,2008,35(2):71-74. (YU Libin, ZHANG Jiangshan, WANG Feifeng. Application of matter element model based on entropy weight to evaluation of seawater quality [J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering, 2008, 35(2): 71-74. (in Chinese))

[6] 韩智霞,张江山. 基于熵权的模糊物元法对福建省大气环境质量的综合评价[J]. 安全与环境工程,2009,16(5): 30-32. (HAN Zhixia, ZHANG Jiangshan. Fuzzy matter-element model based on entropy coefficients and its applications to the comprehensive evaluation of fujian s atmospheric environment quality [J]. Safety and Environmental Engineering, 2009, 16(5): 30-32. (in Chinese))

[7] CHEN Guanghua, WANG Zhengqun. Feng, et al. Multi-variable decision tree construction and research [J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(25): 217-219.

[8] 李瑞,魏现梅,黄明,等. 一种改进的决策树学习算法[J]. 科学技术与工程,2009,9(20):6038-6040. (LI Rui, WEI Xianmei, HUANG Ming, et al. An improved decision tree learning algorithm [J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(20): 6038-6040. (in Chinese))

[9] U S EPA. Guidelines for Exposure Assessment [R]. Washington D C: Office of Health and Environmental Assessment, U S EPA, 1992: 186.

[10] 郭亚军,马凤妹,董庆兴. 无量纲化方法对拉开档次法的影响分析[J]. 管理科学学报,2011,14(5):21-24. (GUO Yajun, MA Fengmei, DONG Qingxing. Analysis of influence of dimensionless methods on deviation maximization method [J]. Journal of Management Sciences in China, 2011, 14(5): 21-24. (in Chinese))

[11] 王燕. 应用时间序列分析[M]. 北京:中国人民大学出版社,2005.

[12] 梁爽,李维青. 乌鲁木齐市饮用水源地水环境健康风险评价[J]. 新疆农业科学,2010,47(8):1660-1664. (LIANG Shuang, LI Weiqing. Assessment on water environmental health risk for water supply sources in Urumqi City [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(8): 1660-1664. (in Chinese))

[13] GAO Jijun, ZHANG Liping, HUANG Shengbiao, et al. Preliminary health risk assessment of heavy metals in drinking waters in Beijing [J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2004, 25(2): 472-501.

[14] U S EPA. Exposure factors hand book [R]. Washington D C: U S EPA, 1997.

[15] ZHU Huina, YUAN Xingzhong, ZENG Guangming, et al. An integrated fuzzy model based on interval numbers for assessment of environmental health risks of water sources [J]. Acta Scientiae Circumstantia, 2009, 29(7): 1527-1533.

(收稿日期:2012-05-28 编辑:徐 娟)

(上接第13页)

[5] 汤洁,余孝云,林年丰,等. 生态环境需水的理论和方法研究进展[J]. 地理科学,2005,25(3):367-373. (TANG Jie, SHE Xiaoyun, LIN Nianfeng, et al. Advances in researches on the theories and methods of eco-environmental water demand [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(3): 367-373. (in Chinese))

[6] 宋进喜,曹明明,李怀恩,等. 渭河(陕西段)河道自净需水量研究[J]. 地理科学,2005, 25(3): 310-312. (SONG Jinxi, CAO Mingming, LI Huaien, et al. Water requirements of the stream's self purification of the Weihe River in Shaanxi Province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(3): 310-312. (in Chinese))

[7] 严登华,何岩,邓伟,等. 东辽河流域河流系统生态需水研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(1): 46-49. (YAN Denghua, HE Yan, DENG Wei, et al. Ecological water demand by river system in East Liaohe River Basin [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2001, 15(1): 46-49. (in Chinese))

[8] 倪深海,崔广柏. 河道生态环境需水量计算[J]. 人民黄河, 2002, 24(9): 40-41. (NI Shenhai, CUI Guangbo. Calculation to eco-environmental water demand of river [J]. Yellow River, 2002, 24(9): 40-41. (in Chinese))

[9] 姜德娟,王会肖,李丽娟. 生态环境需水量分类及计算方法综述[J]. 地理科学进展,2003,22(4):373. (JIANG Dejuan, WANG Huixiao, LI Lijuan. A review on the classification and calculating methods of ecological and environmental water requirements [J]. Progress in Geography, 2003, 22(4): 373. (in Chinese))

(收稿日期:2011-12-08 编辑:彭桃英)