

文章编号: 1006-4710(2012)02-0152-05

# 基于特征负荷法的渭河林家村断面以上流域污染物负荷估算

朱磊, 李怀恩, 李家科

(西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 以渭河林家村断面以上流域为研究对象, 以氨氮和化学需氧量水质参数, 根据该流域点源污染与非点源污染的排放特点提出了一种估算污染负荷的新方法, 即特征负荷法, 计算得到了现状年(2007年)丰、平、枯水期渭河林家村断面以上流域点源污染负荷和非点源污染负荷。结果表明: 渭河林家村断面以上流域全年点源污染排放稳定, 全年非点源污染排放量变化较大, 丰、平和枯水期的氨氮和化学需氧量非点源污染负荷占全年总污染负荷比例依次减少。

**关键词:** 渭河; 林家村断面; 非点源污染; 负荷估算

中图分类号: X522

文献标志码: A

## Estimation of Pollution Load above Linjiacun Section in the Weihe River Watershed Based on Characteristic Load Method

ZHU Lei, LI Huaien, LI Jiako

(Key Laboratory of Water Resources, Environment and Ecology in Northwest China, Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** The Weihe River Watershed above Linjiacun Section is taken as the research objective in this paper and  $\text{NH}_3\text{-N}$  and COD are chosen as the water quality parameters. According to the discharge characteristics of point source pollutions and non-point source pollutions, a new method to estimate pollution loads-characteristic load method is suggested and point source pollution and non-point source pollution loads above Linjiacun Section of the Weihe River Watershed are calculated in the rainy, normal and wet season in the year 2007. The results show that the monthly point source pollution loads above Linjiacun Section of the Weihe River Watershed are discharged stably, the monthly non-point source pollution loads above Linjiacun Section of the Weihe River Watershed change greatly, the non-point source pollution load proportion of total pollution load of  $\text{NH}_3\text{-N}$  and COD are gradually decreased in the rainy, normal and wet periods.

**Key words:** Weihe River; Linjiacun Section; non-point source pollution; pollution load calculation

随着我国点源污染逐步得到控制, 流域非点源污染的问题日益突出。非点源污染的发生以及来源具有随机性, 污染负荷时空变化较大, 给非点源污染负荷的计算带来了很大的难度。流域非点源污染负荷估算有径流分割法<sup>[1]</sup>、输出系数法<sup>[2]</sup>、水量水质法<sup>[3]</sup>、降雨差值法<sup>[4]</sup>、平均浓度法<sup>[5]</sup>等。这些方法都较为全面、先进, 但其参数众多, 有些实地参数实

测困难, 或一时难以获得。本文根据流域点源污染与非点源污染的特点首次提出了一种简便、实用估算氨氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )和化学需氧量(COD)非点源污染负荷的新方法, 即特征负荷法, 以渭河林家村断面以上流域作为研究对象, 计算了现状年(2007年)丰、平、枯水期渭河林家村断面以上流域点源污染负荷和非点源污染负荷。渭河林家村断面是渭河关中段

收稿日期: 2011-12-20

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项基金资助项目(2009ZX07212-002-003); 国家自然科学基金资助项目(50909080); 陕西省自然科学基金资助项目(2009JQ7008)。

作者简介: 朱磊(1981-), 男, 吉林省吉林市人, 博士, 研究方向为环境水文及水资源保护。E-mail: woulda@163.com。

李怀恩(1960-), 男, 陕西商南人, 教授, 博导, 研究方向为非点源污染与水资源保护。E-mail: huaien@yahoo.com。

的首个水文监测和水质监测断面,渭河林家村断面以上流域污染物负荷定量化是研究整个渭河关中段水环境问题如渭河关中段水质水量相应关系、渭河关中段水质改善作用等研究的基础。

## 1 研究区域概述

渭河发源于甘肃省渭源县鸟鼠山,自东沟峡进入陕西,至老潼关注入黄河,全长 818 km,甘肃境内 316 km,陕西境内 502 km。渭河上游经甘肃省的渭源县、陇西县、武山县、甘谷县、天水市等地,于陈仓区凤阁岭镇建河村进入宝鸡市,之后干流自西向东流经咸阳、西安、渭南、华县(图 1)。渭河林家村以上断面流域点源污染主要包括渭河林家村以上流域固定的排污口集中排放的城市生活污水和工业废水造成的污染,该流域非点源污染主要来源于流域农村地区在农业生产和居民生活过程中产生的、未经合理处置的污染物对水体、土壤和空气及农产品造

成的污染。渭河甘肃段水质较好,天水北道桥、天水牛背等 6 个水质断面连续 5 年(2006—2010 年)实现按功能区达标。渭河陕西段是陕西经济发展的核心地带,属我国北方资源型缺水地区,该地区人均水资源 357.5 m<sup>3</sup>/a,为陕西省人均水资源的 25.5%<sup>[6]</sup>;2000 年缺水量 1.43 × 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>,缺水率达到 21%。地下水开采量不断扩大,1986—2000 年累计超采地下水量为 6.96 × 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>,导致下沉、地面裂缝等环境问题<sup>[7]</sup>。生态环境用水保证率极低,为发展生产,区内各市抢占生态环境用水,使得渭河水资源污染程度加剧<sup>[8]</sup>。随着区域社会经济的进一步发展和城镇人口的增加,即使在强化节水条件下,如果不再增加新的供水量,水的供需矛盾将进一步激化。由水资源的供需矛盾以及不合理的水资源开发利用方式产生的诸多生态环境退化与破坏问题逐渐暴露,水质污染和水环境恶化已经成为制约社会可持续发展的瓶颈<sup>[9-12]</sup>。

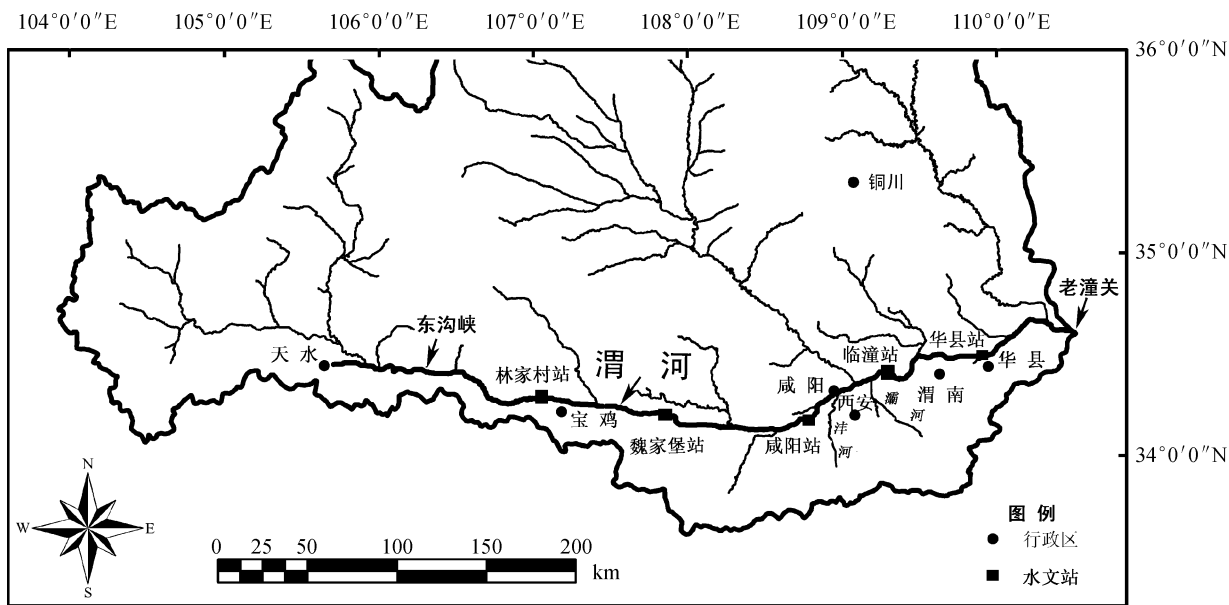


图 1 研究区域图

Fig. 1 Sketch map of the research area

## 2 研究方法

非点源污染监测难度大,监测费用高,我国几乎没有连续监测的非点源污染监测资料。因此,如何根据有限的资料估算非点源污染负荷量就成为水质预测和水质规划的重要基础。本文提出的特征负荷法是依据点源污染和非点源污染的排污特点,提出的一种估算污染物年污染负荷的新方法。非点源污染物以广域、分散和微量的形式进入地表及地下水体,但非点源污染负荷非常巨大,具有很大的随机

性、不稳定性和复杂性,受外界气候、水文条件的影响很大。点源污染主要包括由固定的排污口集中排放的城市生活污水和工业废水造成的污染。在某一特定年内,在城市人口变化不显著的前提下,年内各月城市生活污染物的排放量相对稳定,同时,在年内各月工业废水排放量变化不大的条件下,流域点源污染物排放相对稳定。由于流域的非点源污染负荷年内变化较大,而流域总污染负荷的计算相对容易,故流域非点源污染负荷估算可由流域总污染负荷减去流域点源污染负荷间接求得。由于降雨产生的径

流是流域非点源污染产生的主要原因,在枯水期时流域内基本无降雨,故产生的污染物负荷主要为点源污染负荷。故河流特征断面以上流域点源污染月负荷  $L_{ppm}$  由枯水期的月平均浓度  $C_i$  和月平均流量  $W_i$  乘积的最小值确定。

$$L_{ppm} = \text{Min}(C_i W_i) \quad (1)$$

流域污染月总负荷  $L_{tm}$  由特征断面的  $C_i$  与  $W_i$  乘积确定。

$$L_{tm} = C_i W_i \quad (2)$$

流域非点源污染月负荷  $L_{nppm}$  等于流域污染月总负荷  $L_{tm}$  减去流域点源污染月负荷  $L_{ppm}$ 。

$$L_{nppm} = L_{tm} - L_{ppm} \quad (3)$$

流域点源污染年负荷  $L_{ppy}$  由式(4)计算。

$$L_{ppy} = 12 \text{Min}(C_i W_i) \quad (4)$$

流域污染年总负荷  $L_{ty}$  由式(5)计算。

$$L_{ty} = \sum_{i=1}^{12} C_i W_i \quad (5)$$

流域非点源污染年负荷  $L_{nppy}$  由式(6)计算。

$$L_{nppy} = L_{ty} - L_{ppy} \quad (6)$$

以上各式中,  $i = 1, 2, \dots, 12$  表示月份。

本文应用特征负荷法估算渭河林家村断面以上流域年污染负荷,以 COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$  为水质参数,选取 2007 年作为现状年,水期划分如下:7、8、9、10 月份为丰水期,以 4、5、6、11 月份为平水期,以 1、2、3、12 月份为枯水期。

2007 年林家村断面流量变化如图 2 所示。

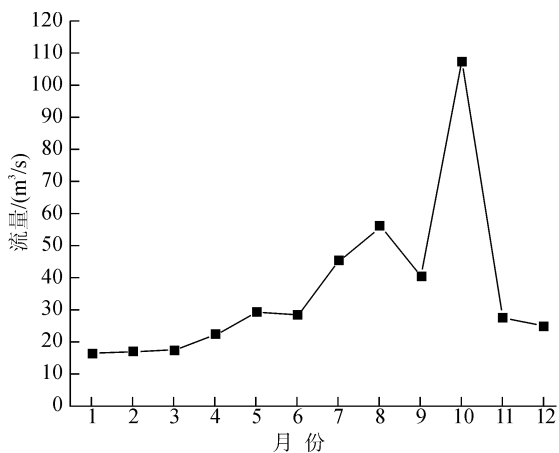


图 2 2007 年林家村断面流量变化

Fig. 2 Flow changes of Linjiacun Section in 2007

从图 2 可以看出,从 1 月份开始林家村断面流量逐渐开始增加,一直增加到 8 月份,9 月份略有下降后,10 月份流量达到最大,而后林家村断面流量逐渐开始减少。1 月份的平均流量为  $15.9 \text{ m}^3/\text{s}$ , 8

月份的平均流量为  $55.84 \text{ m}^3/\text{s}$ , 10 月份的平均流量为  $107.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , 12 月份的平均流量为  $24.66 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2007 年林家村断面以上流域的氨氮和化学需氧量浓度变化如图 3 所示。

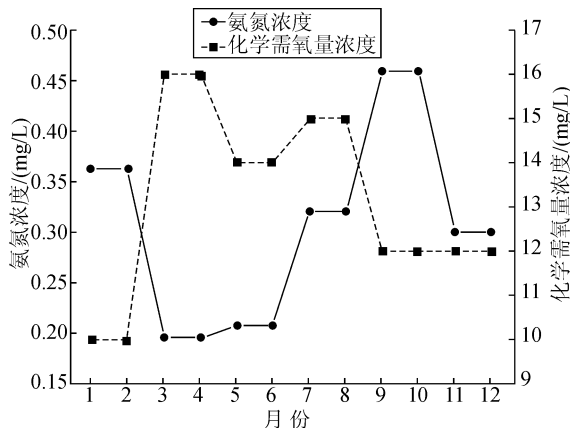


图 3 2007 年林家村断面以上流域氨氮和化学需氧量浓度变化  
Fig. 3  $\text{NH}_3\text{-N}$  and COD concentration changes above Linjiacun Section of the Weihe River Watershed in 2007

从图 3 可以看出,林家村断面氨氮浓度 3~6 月份较小且最小值为  $0.2 \text{ mg/L}$ , 9~10 月份较大且最大值为  $0.47 \text{ mg/L}$ , 全年平均浓度约为  $0.31 \text{ mg/L}$ 。从图 3 还可以看出,林家村断面化学需氧量浓度 1~2 月份相对较小且最小值为  $10 \text{ mg/L}$ , 3~4 月份较大且最大值为  $16 \text{ mg/L}$ , 全年平均浓度约为  $13.2 \text{ mg/L}$ 。

### 3 研究结果

#### 3.1 2007 年渭河林家村断面以上流域氨氮污染负荷估算

应用特征负荷法公式(1)~(6)计算现状年渭河林家村断面以上流域氨氮的点源及非点源污染负荷,结果如图 4 和图 5 所示。

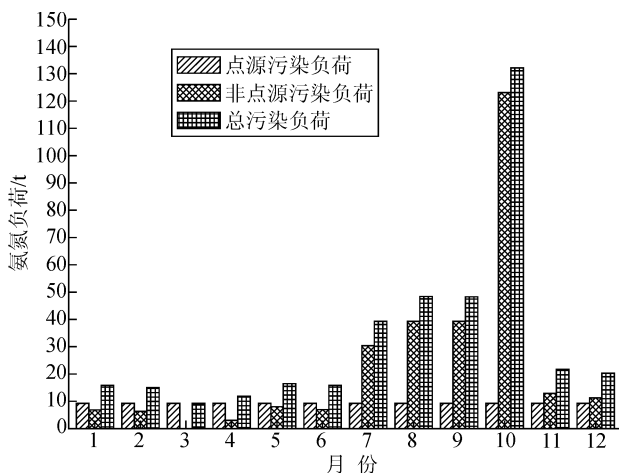


图 4 2007 年林家村断面以上流域氨氮负荷  
Fig. 4  $\text{NH}_3\text{-N}$  pollution loads above Linjiacun Section of the Weihe River Watershed in 2007

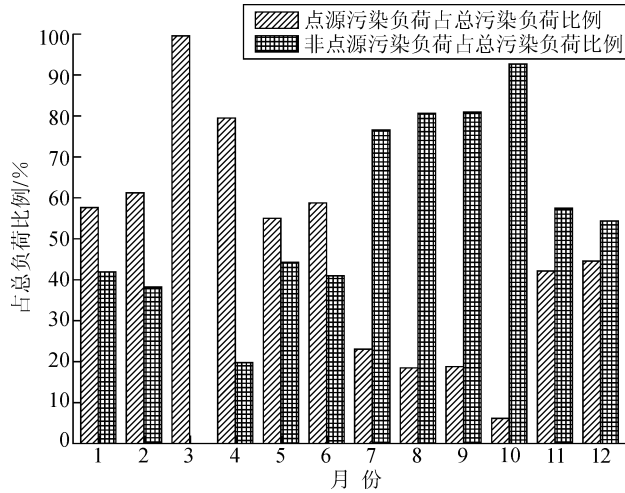


图5 2007年林家村断面以上流域氨氮负荷比例

Fig. 5 NH<sub>3</sub>-N pollution loads proportion above Linjiacun Section of the Weihe River Watershed in 2007

从图4和图5可以看出以下几点。

1) 渭河林家村断面以上流域全年氨氮排放总量为388.95 t。其中,点源污染排放总量107.4 t,占全年排放总量的27.6%,非点源污染排放总量281.55 t,占全年排放总量的72.4%。

2) 渭河林家村断面以上流域各月的氨氮点源污染负荷稳定排放,氨氮点源月平均负荷为8.95 t。

3) 渭河林家村断面以上流域各月的非点源污染负荷排放量变化较大,氨氮月平均非点源污染负荷为23.46 t。

4) 氨氮非点源污染负荷在丰水期较大,排放总量为230.84 t,占全年排放总量的82%。其次为平水期,排放总量为27.78 t,占全年排放总量的9.9%。枯水期最小,排放总量为22.94 t,占全年排放总量的8.1%。

5) 丰水期氨氮非点源污染的平均月负荷为57.71 t,平水期和枯水期的平均月负荷分别为6.94 t和5.74 t。这主要是因为丰水期时,雨水增加,渭河林家村断面以上流域中的农田中的氮通过地表径流、农田排水以及地下渗漏等方式进入到渭河中,同时,大气的干、湿沉降也是渭河林家村断面以上流域非点源污染的来源。

### 3.2 2007年渭河林家村断面以上流域COD污染负荷估算

应用特征负荷法公式(1)~(6)计算现状年渭河林家村断面以上流域的COD点源和非点源污染负荷,结果如图6和图7所示。

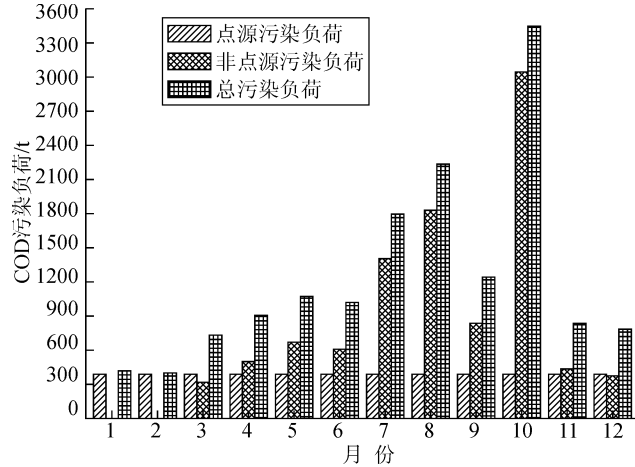


图6 2007年林家村断面以上流域COD污染负荷

Fig. 6 COD pollution loads above Linjiacun Section of the Weihe River Watershed in 2007

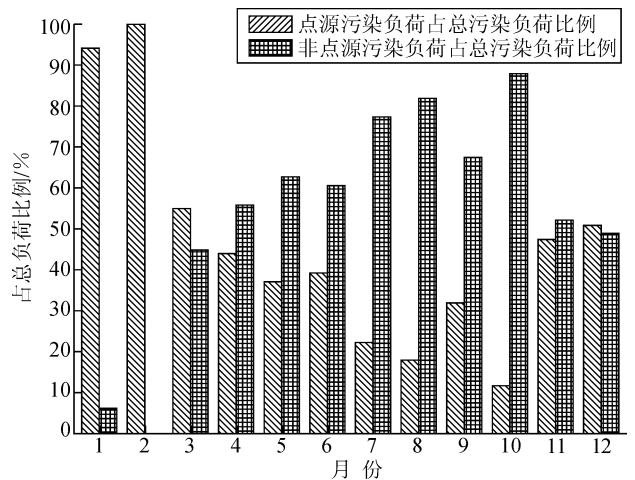


图7 2007年林家村断面以上流域COD污染负荷比例

Fig. 7 COD pollution loads proportion above Linjiacun Section of the Weihe River Watershed in 2007

从图6和图7可以看出以下几点。

1) 渭河林家村断面以上流域全年化学需氧量排放总量14 969.95 t。其中,点源污染排放总量为4 824.84 t,占全年排放总量的32.23%,非点源污染排放总量为10 145.11 t,占全年排放总量的67.77%。

2) 各月的化学需氧量点源污染负荷稳定排放,月平均污染负荷为402.07 t。

3) 各月的非点源污染负荷排放量变化较大,月平均污染负荷为845.43 t。

4) 化学需氧量非点源污染负荷在丰水期较大,排放总量为7 147.82 t,占全年排放总量的70.5%。其次为平水期,排放总量为2 254.53 t,占全年排放总量的22.2%。枯水期最小,排放总量为742.76 t,占全年排放总量的7.3%。

5) 丰水期非点源污染的平均月负荷为 1 786.96 t, 平水期和枯水期的平均月负荷分别为 563.63 t 和 185.69 t。这主要是因为枯水期降雨较少, 从而导致地面径流以及非点源污染负荷量相应减少。而在丰水期, 雨水增加, 流域农田中的污染物通过地表径流、农田排水以及地下渗漏等方式进入到渭河中, 同时, 大气的干、湿沉降也是渭河林家村断面以上流域非点源污染的来源。

## 4 结 论

本文建立了一种估算河流特征断面以上流域非点源污染负荷的新方法, 即特征负荷法, 并对 2007 年渭河林家村断面以上流域 COD、NH<sub>3</sub>-N 污染负荷进行了估算, 得到以下结论。

1) 渭河林家村断面以上流域全年各月点源污染排放稳定, 氨氮月平均点源污染负荷为 8.95 t, 氨氮点源年污染负荷为 107.4 t; 化学需氧量月平均点源污染负荷为 402.07 t, 化学需氧量点源年污染负荷为 4 824.84 t。

2) 渭河林家村断面以上流域全年各月非点源污染排放变化较大, 氨氮月平均非点源污染负荷 23.46 t, 全年氨氮非点源污染负荷为 281.55 t; 化学需氧量月平均非点源污染负荷为 845.43 t, 全年化学需氧量非点源污染负荷为 10 145.11 t。

3) 在丰、平、枯水期, 氨氮非点源污染负荷占全年总污染负荷的比例为 82%、9.9% 和 8.1%, 化学需氧量非点源污染负荷占全年总污染负荷的比例为 70.5%、22.2% 和 7.3%。

## 参考文献:

[1] 蔡明. 渭河陕西段氮污染及控制规划研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2004.  
Cai Ming. Nitrogen pollution and its control planning in Shaanxi Reach of Weihe River[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2004.

[2] Johns P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modeling approach [J]. J of Hydrology, 1996, 183(3): 323-349.

[3] 洪小康, 李怀恩. 水质水量相关法在非点源污染负荷估算中的应用[J]. 西安理工大学学报, 2000, 16(4): 384-386.  
Hong Xiaokang, Li Huaien. Correlation method of water quality and quantity and its application to load estimation of nonpoint source pollution[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2000, 16(4): 384-386.

[4] 蔡明, 李怀恩, 庄咏涛. 估算流域非点源污染负荷的降雨量差值法[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(4): 102-106.  
Cai Ming, Li Huaien, Zhuang Yongtao. Rainfall deduction method for estimating non-point source pollution load for watershed[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition), 2005, 33(4): 102-106.

[5] 李怀恩. 估算非点源污染负荷的平均浓度法及其应用[J]. 环境科学学报, 2000, 20(4): 397-400.  
Li Huaien. Mean concentration method for estimation of nonpoint source load and its application[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2000, 20(4): 397-400.

[6] 史鉴, 陈兆丰. 关中地区水资源合理开发利用与生态环境保护[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.

[7] 王成, 徐化成, 郑均宝. 河谷土地利用格局与洪水干扰的关系[J]. 地理研究, 1999, 18(3): 327-335.  
Wang Cheng, Xu Huacheng, Zheng Junbao. Relationship between land-use patterns and flood disturbance in valley [J]. Geographical Research, 1999, 18(3): 327-335.

[8] 宋进喜, 李怀恩. 渭河生态环境需水量研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

[9] 朱磊, 李怀恩, 李家科, 等. 水文水质模型联合应用于水库水质预测研究[J]. 中国环境科学, 2012, 32(3): 571-576.  
Zhu Lei, Li Huaien, Li Jiak, et al. Connecting hydrological and water quality models for prediction research of reservoir water quality [J]. China Environmental Science, 2012, 32(3): 571-576.

[10] 姜逢清, 朱诚, 穆桂金, 等. 新疆绿洲当代人地关系紧张情势与缓解途径[J]. 地理科学, 2003, 23(2): 157-163.  
Jiang Fengqing, Zhu Cheng, Mu Guijin, et al. Present situation of the man-land relationship inconsistency in the oases of Xinjiang and the mitigation measures[J]. Scientia Geographica Sinica, 2003, 23(2): 157-163.

[11] 李景宜, 石长伟, 傅志军, 等. 渭河关中段洪水资源化潜力评估[J]. 地理研究, 2008, 27(5): 1203-1211.  
Li Jingyi, Shi Changwei, Fu Zhijun, et al. Evaluation of potential of floodwater utilization in the middle and lower reaches of the Weihe River[J]. Geographical Research, 2008, 27(5): 1203-1211.

[12] 程国栋, 张志强, 李锐. 西部地区生态环境建设的若干问题与建议对策[J]. 地理科学, 2000, 20(6): 503-510.  
Cheng Guodong, Zhang Zhiqiang, Li Rui. On some issues of the ecological construction of west china and proposals for policy [J]. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20(6): 503-510.