

黄河流域城市生态环境需水量案例研究

尹 民, 崔保山, 杨志峰*

(北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875)

摘要:根据城市生态环境需水量研究的需要, 将黄河流域城市分为 5 个类别, 基于降水量和水资源量概念两个研究平台计算黄河流域城市生态环境需水量, 并对其影响因子进行分析。结果表明: ①基于降水量概念的黄河流域城市最小生态环境需水量为 $7.955 \times 10^8 \text{m}^3$, 其中城市绿地和河湖最小需水量分别占总需水量的 39.1% 和 60.9%; 基于水资源概念的黄河流域城市最小生态环境需水量为 $6.043 \times 10^8 \text{m}^3$, 占黄河流域城市市区供水总量的 12.86%。②城市类别与城市生态环境需水量密切相关, 随着城市级别的降低, 基于降水量和水资源量概念的黄河流域城市最小生态环境需水量均呈现出逐渐减少的趋势。③黄河流域城市生态环境需水量表现出明显的空间差异性, 黄河中下游地区形成城市生态环境需水量的高值区。④黄河流域城市生态环境现状用水量为 $2.876 \times 10^8 \text{m}^3$, 最小缺水量为 $3.662 \times 10^8 \text{m}^3$, 其中城市绿地和河湖的最小缺水量分别为 $0.849 \times 10^8 \text{m}^3$ 和 $2.830 \times 10^8 \text{m}^3$, 亟需对黄河流域城市绿地和河湖系统进行补水。⑤城市生态环境需水量与需水主体的状况密切相关, 并受到城市面积、人口和 GDP 等社会经济发展指标的深刻影响, 而降水量、蒸发量和水资源量等自然条件对城市生态环境需水量的影响较小, 体现出城市生态环境需水量人控性的特征。

关键词:生态环境需水量; 水资源; 城市; 黄河流域

Study on urban eco-environmental water requirements in the Yellow River Basin

YIN Min, CUI Bao-Shan, YANG Zhi-Feng* (State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 397~403.

Abstract: Urban eco-environmental water requirements (UEEWR) is an interdisciplinary field of urban water resources and urban ecosystem. The theory and methodology put forward in the previous section have been applied to the study of the Yellow River Basin in this continued one.

A total of 45 cities in the Yellow River Basin are chosen and classified into five categories through the fuzzy comprehensive evaluation. They include urban categories I, II, III, IV, V, representing top, high, medium, lower and lowest grades, respectively. Among the 45 cities, urban categories I, II, III, IV, V contributed to 8.9%, 11.1%, 17.8%, 57.8% and 4.4% of the total, separately.

The UEEWR in the Yellow River Basin is calculated based on precipitation and water resources concepts, respectively. The results arise as follows. (1) The minimum UEEWR based on precipitation concept in the basin is $7.955 \times 10^8 \text{m}^3$; while the minimum UEEWR based on water resources concept is $6.043 \times 10^8 \text{m}^3$. The latter occupies 12.86% of the current urban water supply in the basin, and it could be realized if there were rational planning and allocation of water resources in the cities. (2) According to precipitation concept, the minimum water requirements of urban greenbelt and urban rivers & lakes are $3.12 \times 10^8 \text{m}^3$ and $4.843 \times 10^8 \text{m}^3$, separately. Water requirements of plant evapo-transpiration and ecological base flow in river channels are the key components of UEEWR, accounting for 28.1% and 54.2% of the minimum UEEWR in the basin,

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(50239020); 国家重点基础研究发展规划资助项目(G1999043605)

收稿日期:2004-03-02; **修订日期:**2004-12-20

作者简介:尹民(1976~), 男, 山东日照人, 博士生, 主要从事生态环境需水、生态环境规划与管理研究. E-mail: yin1814@163.com.

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zfyang@bnu.edu.cn

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 50239020); National Key Basic Research Special Foundation Project (No. G1999043605)

Received date: 2004-03-02; **Accepted date:** 2004-12-20

Biography: YIN Min, Ph. D. candidate. mainly engaged in eco-environmental water requirements, eco-environmental planning and management. E-mail: yin1814@163.com

1.2.2 其他数据 来自《中国城市统计年鉴》(1991~2001 年)、《中国城市地图集》(1997 年)、黄河流域各省水资源公报(2000 年)以及相关文献^[3]。

2 城市分类结果

根据国内外相关研究的标准(如生态城市、园林城市等)以及黄河流域城市的自然生态条件与经济发展状况,参考各指标的实际意义,制定各项指标的分级标准(表 1)。采用 5 级标准,等级越高,城市级别越低。I 级表示城市级别最高,II 级表示城市级别较高,III 表示城市级别中等,IV 表示城市级别较低,V 表示城市级别最低。应用文献^[1]中确定的分类指标和方法,得到黄河流域城市分类结果(表 2、图 1)。黄河流域 I、II、III、IV、V 类城市所占比例分别为 8.9%、11.1%、17.8%、57.8%和 4.4%,大部分城市处于较低的级别。城市分类结果反映了不同级别城市在生态环境需水量方面的差异,这种差异体现在城市生态环境需水量的计算中。

表 1 城市分类标准
Table 1 Standards of urban classification

指标 Indicators	级别 Grades				
	I	II	III	IV	V
干燥度指数 Aridity	<2	2~4	4~6	6~8	>8
年均温 Annual average temperature(℃)	>14	12.5~14	11~12.5	9.5~11	<9.5
人均水资源量 Per capita average water resources (m ³ /person)	>400	300~400	200~300	100~200	<100
地均水资源量 Per area average water resources(mm)	>200	150~200	100~150	50~100	<50
多年平均降水量 Annual average precipitation(mm)	>750	600~750	450~600	300~450	<300
供水能力 Ability of water supply(×10 ⁴ m ³ /d)	>3	2~3	1~2	0.5~1	<0.5
缺水率 Ratio of water scarcity(%)	0	0~10	10~20	20~30	>30
人均园林绿地面积 Per capita average green areas (m ² /person)	>25	20~25	15~20	10~15	<10
建成区绿化覆盖率 Coverage ratio of urban green areas (%)	>40	30~40	20~30	10~20	<10
人均河湖水面面积 Per capita average areas of urban rivers and lakes(m ² /person)	>8	5~8	3~5	1~3	<1
行政级别 Administration grade	5	4	3	2	1
城市职能与性质 Urban function and character	5	4	3	2	1
市区非农业人口 Urban population(×10 ⁴ person)	>200	100~200	50~100	20~50	<20
建成区面积 Urban areas(km ²)	>150	100~150	50~100	20~50	<20
人均 GDP Per capita average GDP(×10 ⁴ RMB/person)	>2	1.5~2	1~1.5	0.5~1	<0.5

表 2 黄河流域城市分类结果
Table 2 Urban classification in the Yellow River Basin

城市类别 Urban categories	城市名称 Name of city	城市个数 Number	比例(%) Proportion
I	西安 Xi'an, 郑州 Zhengzhou, 济南 Ji'nan, 淄博 Zibo	4	8.9
II	兰州 Lanzhou, 呼和浩特 Huhehaote, 包头 Baotou, 太原 Taiyuan, 洛阳 Luoyang	5	11.1
III	西宁 Xining, 银川 Yinchuan, 大同 Datong, 开封 Kaifeng, 新乡 Xinxiang, 安阳 Anyang, 东营 Dongying, 泰安 Tai'an	8	17.8
IV	白银 Baiyin, 天水 Tianshui, 石嘴山 Shizuishan, 吴忠 Wuzhong, 乌海 Wuhai, 阳泉 Yangquan, 长治 Changzhi, 晋城 Jincheng, 忻州 Xinzhou, 晋中 Jinzhong, 临汾 Linfen, 铜川 Tongchuan, 宝鸡 Baoji, 咸阳 Xianyang, 延安 Yan'an, 渭南 Weinan, 焦作 Jiaozuo, 鹤壁 Hebi, 濮阳 Puyang, 三门峡 Sanmenxia, 莱芜 Laiwu, 济宁 Ji'ning, 德州 Dezhou, 滨州 Binzhou, 菏泽 Heze, 聊城 Liaocheng	26	57.8
V	运城 Yuncheng, 榆林 Yulin	2	4.4

3 黄河流域城市生态环境需水量计算结果与分析

根据文献^[1]中确定的城市生态环境需水量计算方法,基于降水量和水资源量概念两个研究平台计算现状年(2000 年)黄河流域城市生态环境需水量。结果表明:基于降水量和水资源量概念的黄河流域城市生态环境需水量分别为 $7.96 \times 10^8 \sim 19.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $6.04 \times 10^8 \sim 16.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。本文重点对城市最小生态环境需水量进行分析。

3.1 不同研究平台的城市最小生态环境需水量

从水量来源途径来看,基于降水量概念的城市生态环境需水量的来源主要包括天然降水补给、径流补给、人工补给和地下水补给等方面,而基于水资源量概念的城市生态环境需水量的来源则扣除天然降水补给和地下水补给的两部分,属于城市水资源配置的范畴。基于水资源量概念的城市生态环境需水量主要通过绿地灌溉、河道补水与湖泊换水等人工途径进行补充,同时,对地表径流的合理利用也是有效的补充途径之一。表 3 的计算结果表明:基于降水量概念的黄河流域城市最小生态环境需水量为 $7.955\times 10^8\text{m}^3$,其中 32.7%的水量消耗于植物的蒸散发、河湖水面的蒸发与渗漏等过程中。基于水资源概念的黄河流域城市最小生态环境需水量为 $6.043\times 10^8\text{m}^3$,占黄河流域城市市区供水总量(47.0 亿 m^3)的 12.86%,如果考虑达标处理后的污水回用于绿地灌溉或者城市河湖的补水,并充分利用城市地表径流对河湖进行补水,实际补给城市绿地和河湖系统的水量占供水总量的比例将进一步降低。只要对水资源进行合理的规划与配置,确保黄河流域城市的最小生态环境需水量是完全可以达到的。

表 3 黄河流域城市最小生态环境需水量($\times 10^8\text{m}^3$)

Table 3 Minimum urban eco-environmental water requirements in the Yellow River Basin

项目 Items	需水量 I ①	耗水量②	耗水率(%)③	有效降水量④	需水量 II ⑤	需水量 II / 需水量 I (%)⑥
绿地 Greenbelt	3.112	2.240	72.0	1.590	1.522	48.9
河湖 Rivers & lakes	4.843	0.363	7.5	0.322	4.521	93.3
城市 Urban	7.955	2.603	32.7	1.912	6.043	76.0

①需水量 I 基于降水量概念 Water requirements I depending on precipitation concept;②Water consumption;③Ratio of water consumption to water requirements I ;④Effective precipitation;⑤需水量 II 基于水资源量概念 Water requirements II depending on water resources concept;⑥Ratio of water requirements II to water requirements I

3.2 不同类型的城市最小生态环境需水量

城市生态环境需水量具有不同的生态环境功能,表 4 给出黄河流域不同类型的生态环境需水量及其比例关系。从生态系统类型来看,城市绿地最小生态环境需水量为 $3.12\times 10^8\text{m}^3$,占城市最小生态环境需水量的 39.1%,而城市河湖最小生态环境需水量为 $4.843\times 10^8\text{m}^3$,占城市最小生态环境需水量的 60.9%,是黄河流域城市生态环境需水量的主体。从生态环境功能类型来看,植物蒸散需水量和河道生态基流量分别是城市绿地和河湖生态环境需水量的主要组成部分,二者分别占城市最小生态环境需水量的 28.1%和 54.2%,而留存于土壤和植物体内的水量、湖泊存在与换水需水量以及水面蒸发与渗漏需水量仅占城市最小生态环境需水量的 17.7%。可见,黄河流域城市生态环境需水量的功能主要体现为维持城市绿地植被正常的生理过程,以及维持城市河道一定的水位和流速。从水的利用方式来看,植物蒸散需水量、水面蒸发需水量和河湖渗漏需水量为消耗性需水量,其他类型为非消耗性需水。由表 3 可知:植物蒸散需水量占城市绿地需水量的 72.0%,是城市生态环境耗水的主体,而水面蒸发和渗漏需水量仅占城市河湖需水量的 7.5%,并非城市生态环境耗水的主体。

表 4 不同类型的黄河流域城市最小生态环境需水量($\times 10^8\text{m}^3$)

Table 4 Minimum urban eco-environmental water requirements of different categories in the Yellow River Basin

项目 Items	绿地需水 Water requirements of greenspace			河湖需水 Water requirements of rivers and lakes				
	植物蒸散需水①	植物代谢需水②	土壤需水③	河道基流④	湖泊存在⑤	水面蒸发⑥	河湖渗漏⑦	湖泊换水⑧
需水量 Water requirements	2.24	0.023	0.849	4.313	0.103	0.286	0.078	0.063
比例 Ratio(%)	28.1	0.3	10.7	54.2	1.3	3.6	1.0	0.8

①Water requirements of plant evapo-transpiration;②Water requirements of plant metabolism;③Water requirements of soil;④Ecological base flow in river channels;⑤Water requirements of lake maintenance;⑥Water requirements of water surface evaporation;⑦Water requirements of leakage;⑧Water requirements of exchange in lake

3.3 不同城市类别的城市最小生态环境需水量

根据表 2 的黄河流域城市分类结果,统计得到黄河流域不同类别城市的最小生态环境需水量(表 5 和图 2)。结果表明:城市类别与城市生态环境需水量密切相关,随着城市级别的降低,基于降水量概念和水资源量概念的城市最小生态环境需水量均逐渐减少,现以基于水资源量概念的需水量为例说明其变化趋势。由图 2(b)可以看出:I 类城市与其它类别城市之间的平均需水量差别较大,如 I 类城市与 II 类城市的平均需水量相差 $0.188\times 10^8\text{m}^3$,是 V 类城市平均需水量的 10 倍之多;其它类别城市之间的平均需水量差别较小,如 II 类城市与 III 类城市的平均需水量相差 $0.072\times 10^8\text{m}^3$,而 IV 类城市与 V 类城市的平均需水量仅相差 $0.037\times 10^8\text{m}^3$ 。由此可见,当城市达到一定的级别,城市最小生态环境需水量呈急剧增加的趋势,这给城市水资源的配置带来极大的压力,需要对高级别城市的发展规模进行适当的控制。

3.4 不同空间的的城市最小生态环境需水量与缺水

由表 6 可知:黄河中下游地区形成城市最小生态环境需水量的高值区,此区基于水资源量概念的最小需水量约占黄河流域

城市最小生态环境需水量的 45.27%。分析其原因,一是因为此水资源分区内城市密集,占黄河流域城市总数的 35.56%,二是此水资源分区内的城市级别相对较高,如 I 类城市中的郑州、济南、淄博,以及 III 类城市中的开封、新乡、安阳、东营、泰安等城市均分布在此水资源分区中。此外,兰河干流区间、渭河流域和汾河流域等水资源分区内城市分布相对集中,城市级别相对较高(如兰州、呼和浩特、包头、太原等城市),其城市最小生态环境需水量也较大,分别占研究区城市最小生态环境需水总量的 13.8%、14.70%和 8.58%。

表 5 不同城市类别的黄河流域城市最小生态环境需水量(×10⁸m³)

Table 5 Minimum urban eco-environmental water requirements depending on urban categories in the Yellow River Basin							
城市类别 Urban categories	城市个数 Number	绿地需水 ^①		河湖需水 ^②		城市需水 ^③	
		降水量	水资源量	降水量	水资源量	降水量	水资源量
		Precipitation	Water resources	Precipitation	Water resources	Precipitation	Water resources
I	4	0.885	0.394	1.310	1.212	2.196	1.606
II	5	0.819	0.408	0.827	0.655	1.646	1.063
III	8	0.536	0.265	0.923	0.863	1.459	1.128
IV	26	0.847	0.405	1.715	1.604	2.561	2.009
V	2	0.025	0.013	0.069	0.067	0.094	0.079
合计 Total	45	3.112	1.522	4.843	4.521	7.955	6.043

①Water requirements of greenspace;②Water requirements of rivers and lakes;③Water requirements of urban

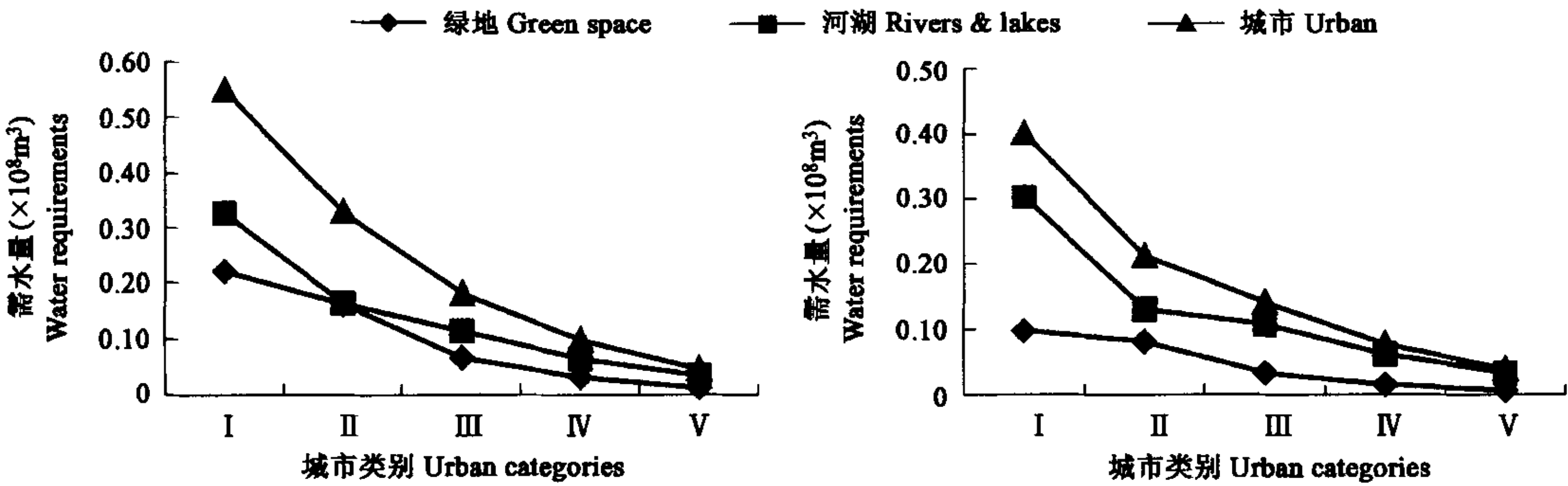


图 2 城市类别与城市生态环境需水量的关系

Fig. 2 The relationship between urban categories and urban eco-environmental water requirements

表 6 不同空间的黄河流域城市最小生态环境需水量与缺水(×10⁸m³)

Table 6 Minimum urban eco-environmental water requirements and deficit based on regions of water resources in the Yellow River Basin									
水资源分区 Region of water resources	绿地 Greenspace			河湖 Rivers & lakes			城市 Urban		
	需水 Water requirements	用水 Water use	缺水 Water deficit	需水 Water requirements	用水 Water use	缺水 Water deficit	需水 Water requirements	用水 Water use	缺水 Water deficit
	requirements	Water use	Water deficit	requirements	Water use	Water deficit	requirements	Water use	Water deficit
湟水流域 ^①	0.025	0.019	0.007	0.104	0.042	0.061	0.129	0.061	0.068
兰河区间 ^②	0.391	0.168	0.237	0.443	0.343	0.158	0.833	0.511	0.440
汾河流域 ^③	0.155	0.063	0.092	0.364	0.223	0.285	0.518	0.286	0.460
渭河流域 ^④	0.113	0.083	0.037	0.775	0.340	0.600	0.888	0.423	0.529
河龙区间 ^⑤	0.053	0.022	0.031	0.193	0.084	0.107	0.245	0.106	0.186
龙三区间 ^⑥	0.026	0.004	0.022	0.051	0.039	0.022	0.078	0.043	0.038
伊洛河流域 ^⑦	0.075	0.033	0.042	0.230	0.098	0.196	0.305	0.131	0.000
沁河流域 ^⑧	0.067	0.038	0.034	0.242	0.116	0.036	0.310	0.154	0.810
黄河下游 ^⑨	0.617	0.275	0.348	2.119	0.887	1.364	2.736	1.161	1.132
合计 Total	1.522	0.705	0.849	4.521	2.171	2.830	6.043	2.876	3.662

①The Huangshui Basin;②The section between Lanzhou and Hekou;③The Fenhe Basin;④The Weihe Basin;⑤The section between Hekou and Longmen;⑥The section between Longmen and Sanmenxia;⑦The Yiluohe Basin;⑧The Qinhe Basin;⑨The lower reaches of the Yellow River Basin

就流域整体而言,黄河流域城市生态环境现状用水量为 2.876 亿 m³,最小缺水为 3.662 亿 m³。其中,绿地灌溉用水量为 0.705 亿 m³,城市绿地最小缺水为 0.849 亿 m³;用于城市河湖的补水量为 2.171 亿 m³,城市河湖最小缺水为 2.830 亿 m³。从水资源分区来看,黄河下游和兰河区间城市绿地的最小缺水较大,而城市河湖最小缺水较大的水资源分区为黄河下游和

渭河流域。从单个城市来看,兰州、白银、天水、吴忠、长治、忻州、宝鸡、咸阳、榆林、渭南、东营等 11 个城市的绿地最小需水量小于绿地现状用水量,吴忠、呼和浩特、乌海、晋城、忻州、临汾、运城、渭南等 8 个城市的河湖最小需水量小于河湖现状用水量;而综合来看,仅有吴忠、忻州和渭南 3 个城市的最小生态环境需水量小于城市生态环境现状用水量。由此可见,黄河流域大部分城市的生态环境现状用水量不能满足最小需水量的需求,为维持城市生态环境功能的发挥,亟需对黄河流域城市绿地和河湖进行补水。

4 城市生态环境需水量影响因子分析

根据黄河流域城市生态环境需水量计算结果,选取建成区面积、市区非农业人口、GDP、降水量、水资源量、供水量、蒸发量、建成区绿地面积和河湖水面面积 9 项指标,计算得到各项指标与城市最小生态环境需水量的相关系数(表 7),并对相关系数较高的因子与城市最小生态环境需水量的关系进行分析,其关系方程和曲线见图 3。结果表明:城市生态环境需水量与建成区面积、市区非农业人口、GDP、供水量、建成区绿地面积和河湖水面面积等 6 项指标均呈显著的直线相关关系,而与降水量、蒸发量和水资源量等 3 项指标的相关性不显著。由此可知:①城市生态环境需水量与城市的面积规模、人口规模和经济规模密切相关,城市规模是城市生态环境需水量的主导影响因素;②城市生态环境需水量与需水主体的状况密切相关,城市绿地和河湖水面的面积直接决定着城市生态环境需水量的大小,而城市绿地和河湖的建设则取决于城市发展的需要与相关部门的决策;③城市生态环境需水量虽然受到一定的自然条件的影响,但其影响程度较小,更多的受到人控因素的影响,体现出鲜明的人控性的特征。

表 7 城市生态环境需水量与影响因子的相关系数

Table 7 Correlative coefficient between urban eco-environmental water requirements and its impact factors									
影响因子 Impact factors	建成区面积 ^① (km ²)	市区非农业人口 ^② (×10 ⁴ person)	GDP (×10 ⁸ RMB)	降水量 ^③ (mm)	蒸发量 ^④ (mm)	水资源量 ^⑤ (×10 ⁸ m ³)	供水量 ^⑥ (×10 ⁸ m ³)	建成区绿地 面积 ^⑦ (km ²)	河湖水面 面积 ^⑧ (km ²)
相关系数 Correlative coefficient	0.90	0.92	0.80	0.18	0.03	0.31	0.89	0.90	0.75

①Urban area;②Urban non-agricultural population;③Precipitation;④Evaporation;⑤Water resources;⑥Water supply;⑦Area of urban greenspace;⑧Water surface area of urban rivers and lakes

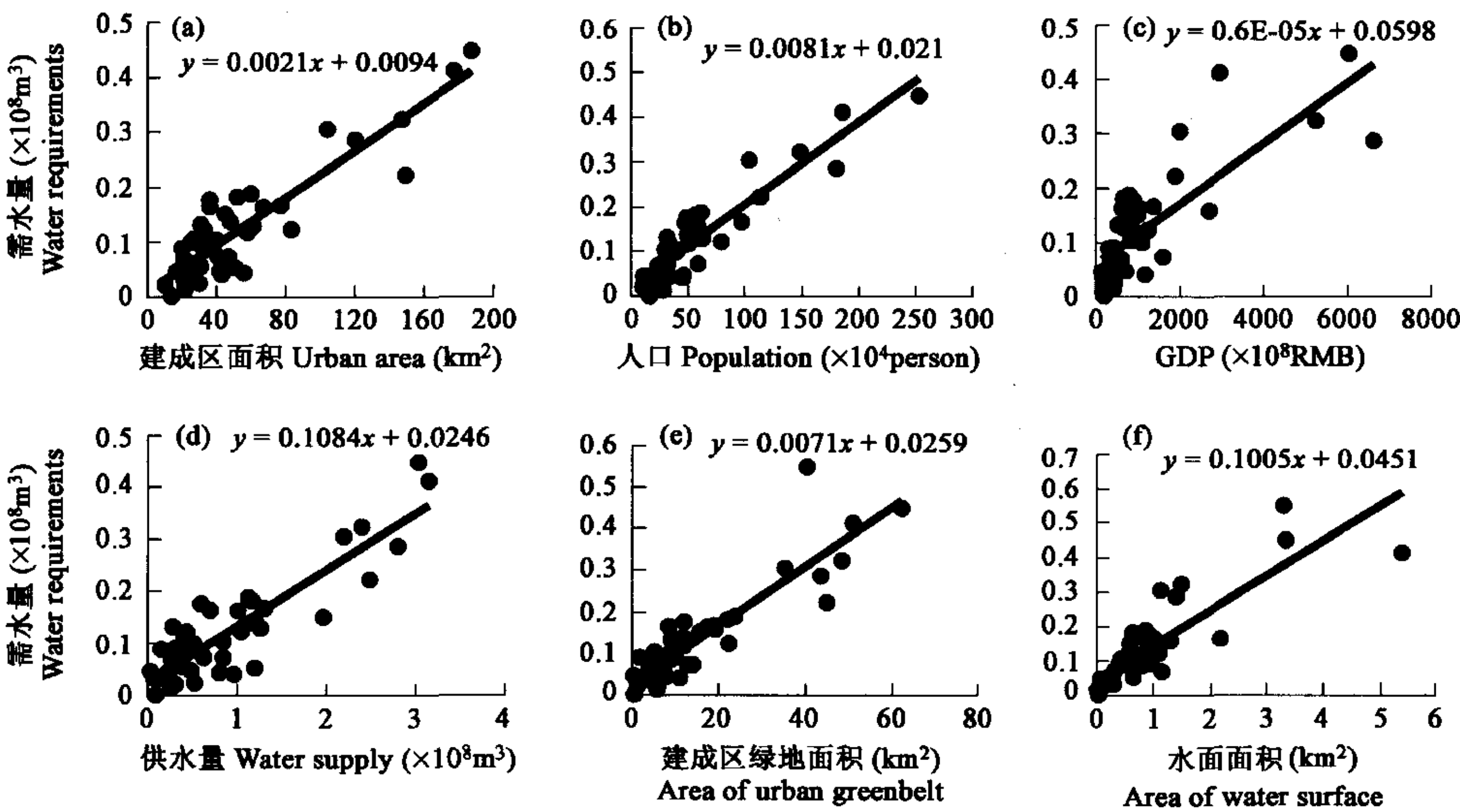


图 3 城市生态环境需水量与影响因子的关系方程与曲线

Fig. 3 Correlative equations and curves between urban eco-environmental water requirements and its impact factors

5 结论

(1)基于城市生态环境需水量研究的要求,将黄河流域 45 个地级以上城市(2000 年行政区划)分为 5 个类别,城市分类结果反映了不同级别城市在生态环境需水量方面的差异。

(2)基于降水量和水资源量概念两个研究平台计算黄河流域城市生态环境需水量。结果表明:①基于降水量概念的黄河流域城市最小生态环境需水量为 $7.955 \times 10^8 \text{m}^3$,而基于水资源概念的黄河流域城市最小生态环境需水量为 $6.043 \times 10^8 \text{m}^3$,占黄河流域城市市区供水总量的 12.86%。②基于降水量概念的城市绿地和河湖最小需水量分别占总需水量的为 39.1%和 60.9%,植物蒸散需水量和河道生态基流量分别是城市绿地和河湖生态环境需水量的主要组成部分,二者分别占城市最小生态环境需

水量的 28.1%和 54.2%。③城市类别与城市生态环境需水量密切相关,随着城市级别的降低,基于降水量概念和水资源量概念的城市最小生态环境需水量均逐渐减少。④由于城市布局和城市类别的影响,黄河流域城市生态环境需水量表现出明显的空间差异性,黄河中下游地区、兰河干流区间、渭河流域和汾河流域等水资源分区内城市生态环境需水量较高。⑤黄河流域城市生态环境现状用水量为 2.876 亿 m³,最小缺水量为 3.662 亿 m³,其中城市绿地和河湖的最小缺水量分别为 0.849 亿 m³ 和 2.830 亿 m³,黄河流域大部分城市的生态环境现状用水量不能满足最小需水量的需求,亟需对黄河流域城市绿地和河湖进行补水。

(3)基于黄河流域城市生态环境需水量计算结果,对其影响因子进行分析。结果表明:城市生态环境需水量与需水主体的状况密切相关,并受到城市面积、人口和 GDP 等社会经济发展指标的深刻影响,而降水量、蒸发量和水资源量等自然条件对城市生态环境需水量的影响较小,体现出城市生态环境需水量人控性的特征。

另外,本文的研究以年为时间单位,而根据城市生态系统的季节性变化规律探讨城市生态环境需水量,在水资源配置中具有更切实的指导意义,以后的研究中需要进一步加强以季或月为时间尺度的研究。

References:

[1] Yang Z F, Yin M, Cui B S. Study on urban eco-environmental water requirements for theory and method. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3):1~9.

[2] Chen Y Q, Wang T M, Qiao X X. *Anticipation of water supply and demand in cities lack of water in the section of the Yellow River Basin*. Zhengzhou: The Yellow River Water Conservancy Press, 1997. 35~63.

[3] Zhou Y X, Sun Z X. Rediscussion on China's urban function classification. *Geographical research*, 1997, 16(1): 11~22.

参考文献:

[1] 杨志峰,尹民,崔保山. 城市生态环境需水量研究——理论与方法. 生态学报, 2005, 25(3):1~9.

[2] 陈永奇,王铁民,乔西现. 黄河流域片缺水城市水资源供需预测. 郑州:黄河水利出版社, 1997. 35~63.

[3] 周一星,孙则昕. 再论中国城市的职能分类. 地理研究, 1997, 16(1): 11~22.

