新兴城市城区建设对周边水系生态基流的影响
——以杨凌农业高新技术产业示范区为例

张昊晨[1]，高建恩[1,2]，康有财[2]，林廷武[1]，李文证[1]，高 哲[3]

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所，陕西 杨凌 712100；2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 水利部水土保持生态工程技术研究中心，陕西 杨凌 712100；3. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院，陕西 杨凌 712100)

摘 要：[目的] 针对城市建设对周边水系河流生态特别是生态基流影响研究薄弱的问题，以陕西省杨凌示范区及城边水系为研究对象，分析新兴城市城区建设与周边水系生态基流内在联系，为流域生态用水规划和河流水资源合理配置提供科学依据。[方法] 采用最枯月平均流量法计算河流生态基流量，以河流最枯月月均流量与城市建设用地面积间的关系确定保护河流生态功能的城市建设用地面积警戒值，并从输沙消污角度研究了城区建设对保障生态基流的影响。[结果] ①杨凌城边的渭河、漆水河和小韦河需要保障的生态基流量分别约为 6.0，0.2 和 0.1 m^3/s，宜作为杨凌示范区用水规划和 3 条河流水资源调配的依据；②小韦河最枯月月均流量与杨凌示范区城市建设用地面积之间的内在联系符合指数函数规律，保障小韦河生态基流的城市建设用地面积警戒值约为 60 km^2；③小韦河水体总氮和总磷月均浓度总体超过Ⅴ类水质标准，小韦河冬、春两季高污的现状使其生态基流的保障问题更加严峻和迫切。[结论] 杨凌示范区城市建设与保障城边河流生态基流特别是小韦河生态基流的关系密切，海绵型城市建设是今后新兴城市建设的重要发展方向。

关键词：生态基流；水体污染；保障措施；城市化

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2019)06-0112-05 **中图分类号**：X143，X171.1

文献参数：张昊晨，高建恩，康有财，等. 新兴城市城区建设对周边水系生态基流的影响[J]. 水土保持通报，2019，39(6)：112-116. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2019.06.016；Zhang Haochen，Gao Jianen，Kang Youcai，et al. Impacts of urban construction in developing cities on ecological base flow of surrounding water systems[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2019，39(6)：112-116.

Impacts of Urban Construction in Developing Cities on Ecological Base Flow of Surrounding Water Systems
—Taking Yangling Agricultural Hi-tech Industries Demonstration Zone as an Example

Zhang Haochen[1], Gao Jianen[1,2], Kang Youcai[2], Lin Tingwu[1], Li Wenzheng[1], Gao Zhe[3]

(1. *Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*; 2. *Reaserch Center on Soil & Water Conservation of Ministry of Water Resources, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*; 3. *College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: [Objective] Taking the Yangling Agricultural Hi-tech Industries Demonstration Zone with the surrounding water system in Shaanxi Province as the research object, this paper analyzed the relationship between the urban construction of the developing city and the ecological base flow of rivers around the city in order to provide a scientific basis for the ecological water planning of the basin and the rational allocation of river water resources. [Methods] The minimum monthly average flow method was used to calculate the ecological base flow of the rivers. The relationship between the minimum monthly average flow and urban

收稿日期：2019-05-13 **修回日期**：2019-07-10

资助项目：国家重点研发计划项目“黄土丘陵沟壑区沟道及坡面治理工程的生态安全保障技术与示范”(2017YFC0504703)；国家自然科学基金“复杂下垫面降雨径流侵蚀的流动变异特性研究”(41877078)，“复杂下垫面暴雨径流侵蚀相似性模拟实验研究”(41371276)；陕西省自然科学基金重大基础研究项目(2016ZDJC-20)；中国科学院创新工程水土保持研究所重要方向项目(A315021615)

第一作者：张昊晨(1994—)，男(汉族)，陕西省渭南市人，硕士研究生，研究方向为小流域水环境。E-mail：496816249@qq.com。

通讯作者：高建恩(1962—)，男(汉族)，山西省运城市人，博士，研究员，博士生导师，主要从事流域水沙过程模拟及调控工程技术方面的研究。E-mail：gaojianen@126.com。

construction area was analyzed to estimate the water warning line. And the impact of urban construction on the protection of ecological base flow was analyzed from the perspective of sediment transportation and self-purification of water. [Results] ① The ecological base flow of Weihe River, Qishui River and Xiaowei River around the Yangling Demonstration Zone was about 6.0, 0.2 and 0.1 m^3/s, respectively, which could be used as the basis for the water use planning and water resources allocation for the three rivers in this area. ② The internal relationship between the minimum monthly average flow of Xiaowei River and the construction area of Yangling Demonstration Zone was exponential. The warning value of urban construction area was 60 km^2 to ensure the ecological base flow of Xiaowei River. ③ The monthly average concentration of total nitrogen and total phosphorus of Xiaowei River exceeded the V-class water quality standard. The current situation of high pollution in winter and spring made it more severe and urgent to guarantee the ecological base flow of Xiaowei River. [Conclusion] The urban construction of Yangling Demonstration Zone is closely related to the ecological base flow of rivers around the city, especially Xiaowei River. Sponge city construction is an important development direction for the developing cities in the future.

Keywords: ecological base flow; water pollution; safeguard measures; urbanization

缺水重污染高含沙河流生态基流的保障是一个世界性科技难题,城市水土保持工程的建设对保障该类河流生态基流的影响,不但是研究热点而且对人民生活质量的提升和城市生态建设的可持续发展具有重要的意义。自 1998 年 Gleick[1]提出了基本生态需水量的概念以来,河流生态基流受到越来越多的关注并取得了一定的研究进展[2];Stalnaker[3]等运用基于水生生物生境的 IFIM 法计算生态基流量;高建恩[4]、王红[5]、王宏杰[6]、李娟[7]等针对水资源短缺、含沙量高、农业用水量大的渭河提出了确保渭河生态基流首先要考虑农业节水的观点并进一步研究了地下水补给、河道排沙和降雨径流对保障渭河生态基流的影响;何兵等[8]针对叶尔羌河这一典型干旱区内陆河采用多种水文学方法重构了其生态基流。在保障生态基流的前提下充分利用河流水资源可以更好地保持河流生态健康发展,生态基流的研究不仅受到广大学者的关注,也受到了政府部门的重视[9]。城市化的快速发展对城边河流生态系统造成剧烈影响,这一现状下城边河流生态基流难以保障的问题尚待进一步研究。城市建设通过改变区域下垫面结构使汇流速度加快、产流量增加、侵占河湖水系,同时城市发展显著增加了用水需求量和生产、生活排污量,甚至超过河湖水系环境的承载能力,不断扩张的城市建设用地直接对保障城边河流生态基流造成了严重的威胁[10]。杨凌农业高新技术产业示范区(以下简称"杨凌示范区")作为首个国家级农业高新技术产业示范区、国家食品安全示范城市,近年来城市建设发展迅速,是陕西省乃至西北地区新兴城市的典型代表,以杨凌示范区及城边复杂水系为对象,以河流生态安全和城市发展共赢为目标,多角度统筹分析城市建设对于城边河流水文情势的影响,对新兴城市的生态建设发展具有重要的现实意义。

1　研究区概况

杨凌示范区位于陕西关中平原中部,总面积约 135 km^2,城市规划区约 35 km^2,东与武功县大庄镇以漆水河为界,南与周至县哑柏镇隔渭河相望,西与扶风县绛帐镇接壤,北依小韦河与武功县武功镇、扶风县杏林镇相邻(图 1)。渭河是黄河的最大支流,位于陕西省中部,全长 818 km,流域面积 1.34×10^5 km^2,7—10 月汛期降雨量和年内流量约占全年的 60%～70%[11];漆水河是渭河的一级支流,至武功县汇入渭河,全长 151 km,流域面积 3 824 km^2,在永寿县境和乾县境内,年平均流量 1.8 m^3/s,年均含沙量 13.9 kg/m^3;小韦河是漆水河的最大支流,至武功县汇入漆水河,全长 111.6 km,流域面积约 2 043 km^2,流域面积和年径流量均占漆水河的 60%左右,汛期平均流量 0.85 m^3/s,汛期径流量约占多年平均径流量的 80%。

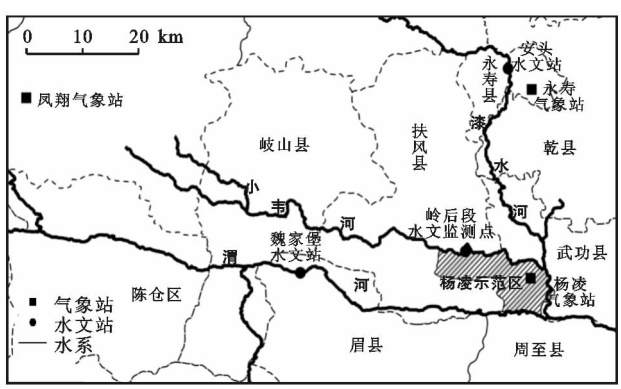


图 1　杨凌示范区和 3 条河流水系位置示意图

2 数据与方法

本研究从陕西省水利厅全省水情公报获得了距离杨凌示范区城区最近的渭河魏家堡站(34.290°N,107.726°E)和漆水河安头站(34.595°N,108.060°E)的 2012—2018 年径流量资料;因公报中小韦河扶风站资料不全,结合小韦河岭后段典型断面(34.321°N,107.991°E)定点定期监测数据以及河道水力参数测量与计算汇总得到小韦河岭后段 2012—2018 年径流量资料;为分析河流流量的变化情况,从中国气象科学数据网获得了 2012—2018 年陕西省凤翔站、永寿站和杨凌站的年累积降雨量数据;为分析杨凌示范区城市建设情况,借助 Google Earth 的多年卫星影像,获取了杨凌示范区 1984—2018 年城市建设用地面积数据。上述站点位置均如图 1 所示。

计算河流生态基流量采用的方法为最枯月平均流量法,该方法是以河流最枯月月均流量的多年平均值作为河流的生态基流,计算较为简便且数据要求不高[12],对这 3 条河流都较为合适,计算公式为:

$$Q_b=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}Q_{i,\min} \tag{1}$$

式中:Q_b——河流生态基流量;n——统计年数;$Q_{i,\min}$——第 i 年最枯月月均流量(m^3/s)。

为了分析小韦河岭后段河流输沙纳污功能现状,每月中旬在该选定的典型断面中部分别采集沿垂向自水面向下 0～0.3 m,0.3～0.6 m,0.6～0.9 m 处河流水体各 1 L,每层水样混合均匀后取 100 ml 分别装入聚乙烯瓶中,用硫酸酸化保存并带回实验室完成分析;水体中总氮浓度测量采用碱性过硫酸钾消解—紫外分光光度法,总磷浓度测量采用钼酸铵分光光度法,含沙量测量采用烘干法。

3 结果与分析

3.1 杨凌城市周边 3 条河流生态基流的计算与分析

通过对上述数据的整理与分析,得到距离杨凌示范区最近的渭河魏家堡站、漆水河安头站和小韦河岭后段流量年变化如图 2 所示,根据公式(1)可由枯水流量出发计算得到 3 条河流在该段的生态基流量。随着河流向下游延伸河长的增加和流域面积的增大,为了保证其在杨凌示范区段的生态功能健康,本段河流生态基流量应至少维持在上述计算河段的生态基流量以上,故建议 3 条河流在杨凌示范区段的生态基流量分别约为 6.0,0.2,0.1 m^3/s。计算的 3 条河流杨凌示范区段生态基流保障推荐值可以为其城边河流生态保护以及水资源合理配置提供一定参考。以保障 3 条河流的生态基流为基础,合理规划附近湖泊、湿地、河道、水库、渠道、地下水等的引水量和排污量,实施错峰用水、农业节水和污水回用等措施减轻河流的供给压力,实现用水区域协调、产业协调,在城市发展的背景下更好地保护与治理河流生态环境。

进一步收集 3 条河流附近的凤翔站、永寿站和杨凌站 3 个站点 2012—2018 年的年累计降雨量,可知 3 条河流所在区域年降雨量在 2016 年达到最低值而 2017—2018 年缓慢回升,流量变化与降雨量变化基本相符。2014 年 7 月底至 8 月上旬关中部分地区干旱,渭河表现出枯水期流量偏低难以保障其生态基流的情况;漆水河、小韦河在 2015 年以来枯水期流量减少,用水问题也更加严重。结合文献[13]可知 2000—2014 年关中地区年平均降水量呈增加趋势,总体降雨量变化不大但大雨以上降水发生频次逐渐增多,枯水期降雨量明显偏少,在这一现状下城市建设用地对河流生态健康的不利影响更为突出。

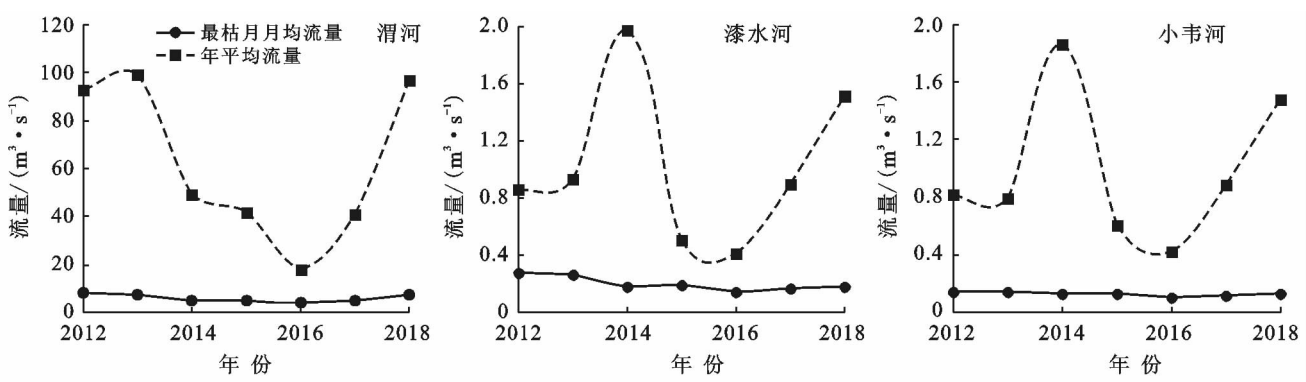


图 2 杨凌示范区段 3 条河流流量年变化

3.2 城市建设用地面积对河流最枯月月均流量的影响

由 Google Earth 的卫星影像历史数据获取的不同年份杨凌示范区城市建设用地面积如图 3 所示,运用 SPSS 软件分析其与城市周边 3 条河流最枯月月

均流量相关性详见表 1。由表 1 可知杨凌示范区城市建设用地面积与小韦河最枯月月均流量存在显著的负相关关系,而与漆水河和渭河的最枯月月均流量关系不明显,这与小韦河流经境内河长为 24.6 km 且超过其全长的 22%相符。尽管渭河、漆水河的水文测站不在杨凌示范区,杨凌示范区城市面积变化与河流径流量的关系在这两个站点的相关关系也不够显著,但依然显示出一致的负相关关系,表现出杨凌城区建设与渭河、漆水河河流上游的城区建设具有一定的共时性,杨凌示范区发展的用水需求与上游城区用水存在矛盾是必然的,枯水期生态基流的保障更加需要受到重点关注。

杨凌示范区城市建设用地不仅对小韦河流域蒸发、入渗和汇流产生了直接影响,而且对小韦河汇入的漆水河和渭河产生了间接影响,但杨凌示范区相对于漆水河流域和渭河流域来说面积更小且距离更远,对渭河和漆水河在当地的径流影响相对很小。而渭河魏家堡站径流主要受到宝鸡市城市发展的影响,漆水河安头站径流主要受到麟游县和永寿县城镇发展的影响,二者受到的影响与小韦河受到杨凌示范区城市建设的影响具有一定的一致性。

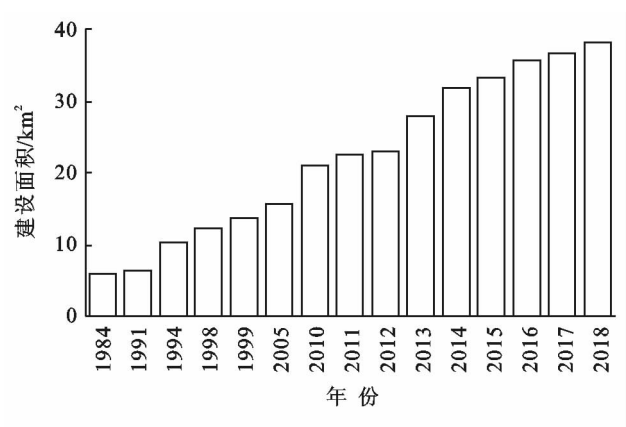


图 3　杨凌示范区多年城市建设面积变化

表 1　杨凌示范区城市建设用地面积与 3 条河流最枯月月均流量相关性分析(皮尔森相关分析)

项 目	最枯月月均流量		
	小韦河	漆水河	渭河
城市建设用地面积	−0.706*	−0.494	−0.380
	0.034	0.214	0.353

注:* 为相关性在 0.05 级别显著;$N=7$。

进一步分析可知,杨凌示范区城市建设用地面积与小韦河最枯月月均流量的关系如图 4 所示,符合指数函数的规律,关系式为:

$$Q_{min}=\frac{1}{6}e^{-0.008A} \quad (2)$$

式中:Q_{min}——小韦河最枯月月均流量(m^3/s);A——杨凌示范区城市建设用地面积(km^2)。

由图 4 可知,在气候条件相对稳定的条件下,当杨凌示范区城市建设用地面积为《杨凌城乡总体规划修编(2017—2035 年)》(草案)2035 年规划的 56.27 km^2 时,小韦河最枯月月均流量接近生态基流量推荐值 0.1 m^3/s,枯水期生态基流保障问题较为严峻;经计算,当杨凌示范区城市建设用地面积大于 60 km^2 时,小韦河最枯月月均流量小于生态基流量推荐值,若不及时采取保护措施,枯水期生态基流将得不到保障,故以 60 km^2 作为保障小韦河生态基流的杨凌示范区城市建设用地面积警戒值。

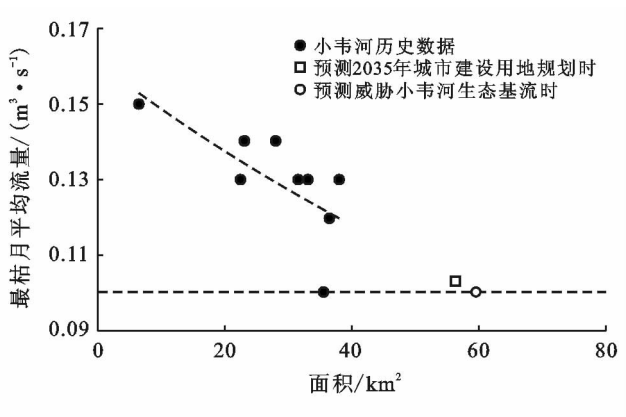


图 4　杨凌示范区城市建设用地面积与小韦河最枯月月均流量关系

3.3　总氮、总磷消污对小韦河生态基流的影响

河流生态基流除了维持水面蒸发、河道渗漏、行洪调蓄、生物多样性以及景观休闲等功能,还应该保证输沙纳污功能的正常运行以避免河流生态功能受到水体污染的直接破坏,保证水体的输沙纳污功能需要一定水量与之匹配,其中维持河道冲刷与侵蚀的动态平衡以及运移消解污染物所需要的水量不是简单相加而是相互包含[14]。新兴城市城区面积扩张导致的城市整体用水和排污增加使得城边河流的承载压力大增,需要分析其水体输沙纳污功能的保证情况。经过对小韦河岭后断面为期一年的定点定期采样与分析,得到总氮和总磷平均浓度月变化如图 5 所示,含沙量月变化如图 6 所示。

根据《国家地表水环境质量标准(GB/T38382002)》规定的Ⅴ类水标准,总氮和总磷浓度的最小允许值为 2.0 和 0.4 mg/L。由图 5 可知,监测期间小韦河岭后断面总氮污染相对严重,总氮月均浓度为 10.80～17.25 mg/L,均超过Ⅴ类水质标准要求,年平均浓度

为 14.37 mg/L，是Ⅴ类水最小允许值的 718.5%；监测期间小韦河岭后断面总磷污染相对较轻，总磷月均浓度为 0.19～0.53 mg/L，部分超过Ⅴ类水质标准要求，年平均浓度为 0.31 mg/L，是Ⅴ类水最小允许值的 77.5%，基本符合Ⅴ类水质标准要求，但仍超过国际上广泛认可的发生水体富营养化的临界浓度 0.02 mg/L[15]。

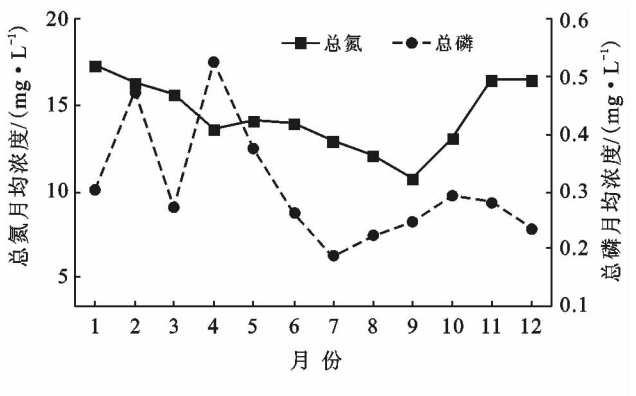


图 5 小韦河岭后断面总氮和总磷浓度月变化

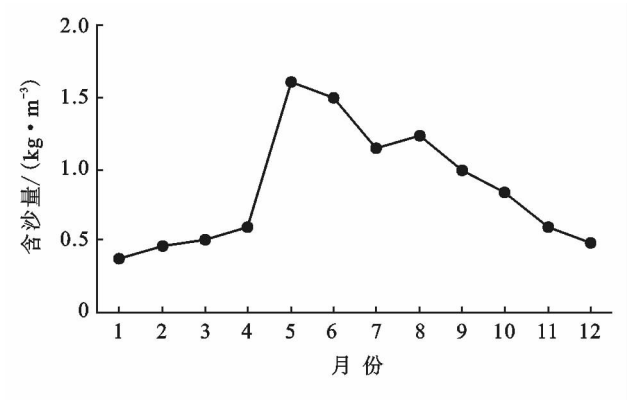


图 6 小韦河岭后断面含沙量月变化

小韦河岭后断面水体总氮的四季平均浓度分别为 13.83，12.75，13.45 和 16.66 mg/L，总磷的四季平均浓度分别为 0.39，0.22，0.27 和 0.34 mg/L，总氮和总磷的四季浓度均具有明显差异且都为春冬季大于夏秋季，即在河流最枯月时其消污压力也更大。在冬春两季，由于降雨量较少导致河流本身流量不足以负荷这些污染物，而温度较低又导致氮磷消解能力的降低，从运移污染物和水体自净方面需要更多的水量以维持河流的健康，表明了小韦河沿岸水环境的保护与治理目前仍然不足。经调查后发现小韦河总氮和总磷污染物的主要来源为测点周围的村庄生活污水、生活垃圾、农场动物粪便的不当处理以及农田面源污染；河流总氮严重超标是杨凌示范区的最大潜在危害，而且河流中水草较为茂密，需针对性预防以避免河流水体出现富营养化现象，建议加强耕作化肥用量的控制、农村养殖业粪便的集中再利用处理以及沿河生态庄园的科学管理。

由图 6 可知，小韦河岭后断面月均含沙量为 0.37～1.60 kg/m^3，年平均含沙量为 0.86 kg/m^3，枯水期平均含沙量为 0.44 kg/m^3。小韦河含沙量总体不高，枯水期更低，河流水沙平衡方面对生态基流量无更高需求。

针对新兴城市建设引发的河流生态需水问题，尤其是小韦河这类由于氮磷重污染的河流，在对水体水质加强治理、保护与监管等原有措施的基础上还应该推进海绵城市的建设，综合采取“渗、滞、蓄、净、用、排”等措施实现城市对水资源的高效安全利用[16]，降低新兴城市城市化进程对周边环境的不良影响；同时，在河道建设中也可以借鉴海绵城市的理念，应用生态混凝土、植被缓冲带、人工湿地等技术改善河流生态纳污消污的压力[17]，促进城市和流域水环境的可持续发展。

4 结 论

(1) 本研究给出的渭河、漆水河和小韦河在杨凌示范区段的生态基流量推荐值分别约为 6.0，0.2 和 0.1 m^3/s，可以为杨凌示范区城边河流生态保护以及水资源统筹配置提供一定的参考；小韦河最枯月月均流量受到土地利用的变化随杨凌示范区城市建设用地面积增加而减少，两者符合指数函数关系，保障小韦河生态基流的杨凌示范区城市建设用地面积警戒值约为 60 km^2，建议加强海绵城市建设。

(2) 小韦河水体总氮和总磷月均浓度为 10.80～17.25 mg/L 和 0.19～0.53 mg/L，总体超过Ⅴ类水质标准要求，从运移污染物和水体自净功能的角度来说小韦河生态基流保障压力较大，建议进行针对性治理。

(3) 由于小型河流水文资料年限较短、测站较少，多级河流的生态基流关系以及与城市建设用地面积间的关系的研究还有待完善。

[参 考 文 献]

[1] Gleick P H. Water in crisis: Paths to sustainable water use[J]. Ecological Applications, 1998,8(3):571-579.

[2] 宋进喜，李怀恩，王伯铎. 河流生态环境需水量研究综述[J]. 水土保持学报，2003，17(6)：95-97，113.

[3] Stalnaker C B, Lamb B L, Henriksen J. The instream flow incremental methodology: A primer for IFIM [R]. Washington D C: US Department of the Interior, National Biological Service, 1995.

(下转第 123 页)

重庆:西南农业大学,2004.
[10] 温永福,高鹏,穆兴民,等.野外模拟降雨条件下径流小区产流产沙试验研究[J].水土保持研究,2018,25(1):23-29.
[11] 邵臻,张富,陈瑾,等.西部黄土丘陵区不同草地土壤侵蚀对侵蚀性降雨的响应 [J].水土保持通报,2017,37(6):9-15.
[12] Bi Huaxing, Liu Bin, Wu Jie, et al. Effects of precipitation and landuse on runoff during the past 50 years in a typical watershed in the loess plateau, China [J]. International Journal of Sediment Research, 2009,24(3):352-364.
[13] 杜波,唐丽霞,潘佑静,等.贵州喀斯特地区侵蚀性次降雨产流产沙特征研究[J].西南林业大学学报,2016,36(5):111-117.
[14] 寇馨月,姜学兵,黄俊,等.红壤区小流域次降雨产流产沙因素分析及模型构建 [J].水土保持通报,2017,37(6):34-42.
[15] 刘钦.纸坊沟流域暴雨侵蚀与坡面人工降雨产流产沙试验研究[D].甘肃 兰州:兰州大学,2016.
[16] 姜超.三峡库区王家桥流域降雨与侵蚀产沙关系研究[D].湖北 武汉:华中师范大学,2013.
[17] 祝顺波.坡度对植被混凝土生态修复的影响[D].湖北宜昌:三峡大学,2012.
[18] 潘声旺,袁馨,雷志华,等.乡土植物生活型构成对川渝地区边坡植被水土保持效益的影响[J].生态学报,2016,36(15):4654-4663.
[19] 李存福.无芒雀麦、紫花苜蓿繁殖特性及种子生产技术研究[D].北京:中国农业大学,2005.
[20] 王琥,李向林,万里强,等.灌溉对华北农牧交错带无芒雀麦生物学特性的影响 [J].草原与草坪,2007(5):32-36.
[21] 张春华,丁原春.松嫩平原东北部草地早熟禾种群生殖分蘖构件数量特征的研究[J].草原与草坪,2005,14(1):62-64.
[22] Burwell R E, Timmons D R, Holt R F. Nutrient transport in surface runoff as influenced by soil cover and seasonal periods1 [J]. Soil Science Society of America Journal, 1975, 39(3):523-538.
[23] 游珍,李占斌一,蒋庆丰.植被在坡面的不同位置对降雨产沙量影响[J].水土保持通报,2006,26(6):28-31.
[24] 蔡庆,唐克丽.植被对土壤侵蚀的动态分析[J].水土保持学报,1992,6(2):47-51.
[25] 徐洪雨.坡度对岩石边坡植物根系分布及抗拔力的影响[D].北京:北京林业大学,2013.
[26] 刘玉花.G111 公路讷嫩段 18 种护坡植物根系固土特性研究[D].黑龙江 哈尔滨:东北林业大学,2011.
[27] 袁雪红,高照良,张翔,等.护坡植物根系分布及抗拉力学特性[J].南水北调与水利科技,2016,14(5):117-123.

(上接第 116 页)

[4] 高建恩.确保渭河生态基流首先要考虑农业节水[J].中国水利,2009(19):34-34.
[5] 王红.水土保持典型措施对地下水补给生态基流的影响研究[D].北京:中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心),2014.
[6] 王宏杰.保障渭河生态基流的宝鸡峡灌区节水调控技术研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2017.
[7] 李娟,高建恩,张元星,等.黄土高原泾河流域梯田对河道径流及生态基流影响[J].水土保持通报,2015,35(5):106-110,116.
[8] 何兵,高凡,覃姗,等.基于多种水文学方法的干旱区内陆河流健康流量重构[J].水土保持通报,2019,39(1):160-166.
[9] 陈浩,徐宗学,侯昕玥,等.考虑海水入侵影响的漳卫新河河口生态基流研究[J].水力发电学报,2019,38(7):11-20.
[10] 徐宗学,程涛.城市水管理与海绵城市建设之理论基础:城市水文学研究进展[J].水利学报,2019,50(1):53-61.
[11] 邵辉.渭河流域水土流失变化对梯田措施响应的模拟研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2013.
[12] 石永强,左其亭.基于多种水文学法的襄阳市主要河流生态基流估算[J].中国农村水利水电,2017(2):50-54,59.
[13] 雷向杰,李茜,王娟,李化龙,李红梅,雷天骄.陕西关中地区旱涝演变规律和 21 世纪旱涝特点分析[J].灾害学,2016,31(3):101-109.
[14] 车蓉,吕明明.牡丹江流域生态环境需水量[J].黑龙江科技信息,2009(11):145.
[15] 罗固源,卜发平,许晓毅,等.三峡库区临江河回水区总氮和总磷的动态特征[J].土木建筑与环境工程,2009,31(5):106-111.
[16] 毛倩倩,邱小杰,杨蔚为.基于海绵城市理念的河道生态系统构建方法初探[J].水利规划与设计,2019(5):17-19,26.
[17] 班乃明,赵建勋.基于海绵城市理念的城市生态河道建设研究[J].建材与装饰,2017(49):286-287.