

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2018.06.004

秦淮河水质改善现场调水试验

许兴武¹,沃玉报¹,胡 阳¹,肖 洋²,毛劲乔²,吴先明²,曹栋华³

(1. 南京市三汊河口闸管理处,江苏 南京 210036; 2. 河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098;
3. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司,湖南 长沙 410014)

摘要: 为了探究不同水闸调度方案对秦淮河水质改善的效果,进行了洪水期、丰水期调度、枯水期调度和降雨初期雨水污染调度等典型时段调水试验。结果表明:通过合理调控闸泵可对秦淮河水质产生积极效果,上游来水、引水的质量和调度时段对于调度效果具有明显影响。
关键词: 秦淮河;水质监测;综合污染指数;调水试验;水闸
中图分类号:TV212;X522 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2018)06-0492-05

Field water diversion tests of water quality improvement in Qinhuai River

XU Xingwu¹, WO Yubao¹, HU Yang¹, XIAO Yang², MAO Jinqiao², WU Xianming², CAO Donghua³

(1. Sancha River office of Estuary Sluice Management of Nanjing, Nanjing 210036, China;
2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. Powerchina Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha 410014, China)

Abstract: In order to explore the effect of different sluice dispatching schemes on the improvement of water quality in Qinhuai River, water diversion tests were carried out during the flood season, the wet season, the dry season and the initial part of one rainfall event, respectively. The results show that reasonable controlling of gates and pumps can have a positive effect on the river's water quality and this effect is definitely affected by the quality and scheduling time of upstream water.

Key words: Qinhuai River; water quality monitoring; comprehensive pollution index; water diversion test; sluice

秦淮河是南京的母亲河,有南北两源,南源为溧水河,北源为句容河,在南京市江宁区西北村汇合后形成秦淮河干流,干流长 34.80 km^[1]。至东山分为西、北两支,西支秦淮新河长 16.90 km,引长江水经金胜村、西善桥、铁心桥汇入东山秦淮河干流,外秦淮河长 12.6 km,经集庆门、汉中门、草场门由三汊河注入长江。20 世纪 80 年代,随着南京市工业化和城市化步伐的加快,秦淮河的水环境质量也逐渐恶化^[2]。2002 年后,为了改善秦淮河水环境,南京市实施了秦淮河水环境综合整治工程^[3-5],显著提升了南京城市形象。近年来,由于截污尚不彻底,秦淮新河黑臭河道整治任务未彻底完成、污水处理厂建设滞后等多种原因,导致外秦淮河水质恶化,如 2016 年 1—5 月外秦淮河代表断面七桥瓮断面监测水质为劣 V 类^[6]。

多位研究者对采用引调水方式改善外秦淮河的水质进行了研究。童朝峰等^[7]采用外秦淮河—维河网水动力和水质模型,模拟了不同引调水方式下外秦淮河水质的相应变化,研究认为只要满足引水水量,可以显著提高外秦淮河的水质,部分河段水质甚至可以提高 1~2 个等级;陈大卫等^[8]评价了 2005—2008 年外秦淮河“引江调水”的效果,结果表明,在沿河各类污染源未能得到根治、水体污染依然存在的情况下,采用“引江调水”工程措施,可望缓解水污染恶化的趋势,使外秦淮河水质得到有效改善。鉴于现场调水试验^[9]改善

基金项目: 国家自然科学基金(51239003);江苏省水利科技项目(2015058);江苏省第五期“333 工程”培养资金资助项目(BRA2017371)
作者简介: 许兴武(1974—),男,高级工程师,主要从事水利工程管理与水利信息化研究。E-mail:502159765@qq.com
通信作者: 肖洋,教授。E-mail:sediment_lab@hhu.edu.cn
引用本文: 许兴武,沃玉报,胡阳,等. 秦淮河水质改善现场调水试验[J]. 河海大学学报(自然科学版),2018,46(6):492-496.
XU Xingwu, WO Yubao, HU Yang, et al. Field water diversion tests of water quality improvement in Qinhuai River[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2018, 46(6):492-496.

水质的相关研究目前还有所欠缺,本文进行了 4 次现场调水试验,针对秦淮河的典型调度时段和典型降雨时段,研究不同调度模式下秦淮河水质的改善效果,以期为秦淮河科学引调水提供技术支持,也为复杂环境下城市河流水环境治理提供借鉴依据。

1 现场调水试验

1.1 试验监测项目和检测方法

近年来,由于南京市政府大力监管和产业转型,秦淮河沿线工业污水排放量有所减少,主要污染来自城区生活污水^[10]以及强污染支流汇入。考虑到水质指标选取的科学性、代表性,以及指标获取的可操作性,本试验研究的监测项目选定为:溶解氧(DO)、氨氮(NH₃-N)、总磷(TP)、化学需氧量(COD)4 项水质指标。各项指标的检测方法均依据国家标准规定的方法,分别为:溶解氧(GB 7489—1987)、化学需氧量(GB/T 11914—1989)、总磷(GB/T 11893—1989)、氨氮(HJ 535—2009)。

1.2 采样断面布置和采样方法

由外秦淮河多年历史水质监测资料可知,秦淮新河闸从长江引水,且秦淮新河段处于上游,排污量较小,水质良好,常年处于Ⅱ~Ⅲ类水质状态,故秦淮新河闸处仅设有一个监测断面。在秦淮河上游设有东山站监测来流水质,根据往年监测资料^[11],外秦淮河沿线和南河沿线泵站同时向秦淮河排放污水,南京外秦淮河段生活污水排放量与工业污水排放量之比大概为 3:1~5:1,生活污水是主要的污染源;故进入主城区后,从武定门闸起平均每 5 km 左右设置一个监测断面^[12],在污染较为严重的南河汇入外秦淮河的节点处加设凤台桥监测断面。结合相关部门监测站点布置情况以及本次研究的主要目的,共设有 7 个监测断面(图 1)。断面 1:秦淮新河闸站;断面 2:东山桥站;断面 3:武定门站;断面 4:凤台桥站;断面 5:三山桥站;断面 6:草场门桥站;断面 7:三汊河闸站。上述 7 个监测断面的监测情况可基本反映秦淮河重点河段水质的分布情况。

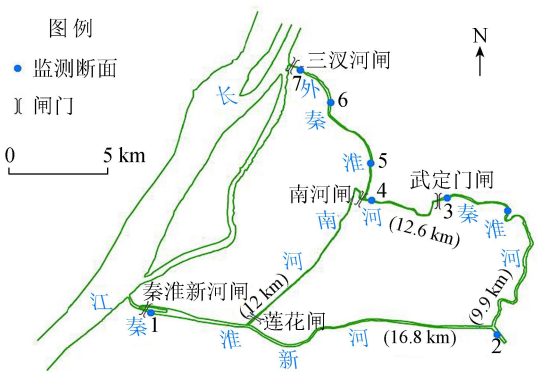


图 1 研究区域主要监测断面分布
Fig. 1 Distribution of main monitoring sections in the studying area

采样方法:用塑料采水器采集水面以下 0.5 m 处的水样 1 000 mL,滴入氢氧化锰后分装在经过灭菌处理的玻璃瓶中,并立即密封避光保存在 4℃ 保温箱中,运回实验室进行检测分析。

1.3 引水、调水方式

目前秦淮河引水方式主要有 2 种:利用水位差引水、抽水站抽水。若长江水位高于秦淮新河闸水位,可开启秦淮新河闸使水体自流进入秦淮新河;若长江水位低于秦淮新河闸水位,则在必要时通过秦淮新河抽水站抽水的方式抽取长江水进入秦淮新河。污染较为严重的外秦淮河位于秦淮河的下游,通过调节武定门闸的运行方式可以控制秦淮河的水位和武定门闸下泄流量的大小,不仅可以对外秦淮河段污水进行稀释和冲洗,而且有可能使秦淮河河道内保存有足够的水量水质,形成有利于自我净化的生态条件,促使秦淮河的生态自然恢复。

1.4 调水试验场景设置

通过对秦淮河南京段的水文情势、闸泵等水利工程的运行特点和流域排污情况进行分析,按秦淮河可能出现污染的场景,将现场调水试验分为洪水期调度试验、丰水期引调水试验、枯水期引调水试验和降雨初期雨水污染调水试验共 4 个典型调水试验场景,各个试验的监测时段、取样断面和取样频率按表 1 实行。对于高人口密度和经济发达的市区,沿线水质污染主要源于生活排污,短期内排污情况一般保持稳定,即污染负荷强度在年内不同时段虽有强弱之分,但同一季节的污染程度与同期相比则基本稳定;因此可认为上述不同试验场景的初始水质情况可表征同期正常污染负荷情况下的一般水质状况,而随后的调水试验期内水质变化(程度及过程)则反映了上游人为调控的实质影响。除了洪水期调度试验无须人为调控外,其他工况的武定门闸下泄流量控制过程如下:(a)2016 年 9 月 21—25 日每日 9:00 丰水期调水试验下泄流量分别为 20 m³/s、40 m³/s、50 m³/s、60 m³/s、80 m³/s;(b)2016 年 12 月 9—13 日每日 9:30 枯水期调水试验下泄流量分

别为 20 m³/s、40 m³/s、50 m³/s、60 m³/s、80 m³/s;(c)降雨初期雨水污染调水试验下泄流量:2017 年 1 月 5 日 8:00 为 20 m³/s,2017 年 1 月 5 日 16:00 为 40 m³/s,2017 年 1 月 5 日 22:00 为 50 m³/s,2017 年 1 月 6 日 8:00 为 60 m³/s,2017 年 1 月 6 日 16:00 为 80 m³/s。

表 1 调水试验监测基本设定
Table 1 Monitoring settings of water diversion tests

调水试验	监测时段	取样断面	取样频率
洪水期调水试验	2016-07-05—2016-07-14	1、2、3、5、7	洪水起涨段取样 2 次,峰顶段取样 1 次,退水段取样 2 次;非洪水段,在水位平稳接近基流取样 3 次
丰水期调水试验	2016-09-21—2016-09-25	3、4、5、6、7	对应武定门闸不同的下泄流量,各下泄流量取样 2 次
枯水期调水试验	2016-12-09—2016-12-13	3、4、5、6、7	对应武定门闸不同的下泄流量,各下泄流量取样 2 次
降雨初期雨水污染调水试验	2017-01-05—2017-01-06	3、4、5、6、7	监测时段每 4 h 取样,共取样 9 次

2 结果分析

各次调水试验均依照表 1 所述要求进行,各取样断面的水质监测指标为 DO、COD、TP、NH₃-N。为了定量比较分析不同站点处的水体综合质量,本文采用综合污染指数法^[13-15]对各监测站点进行水质评价。具体而言,该方法建立在各单项污染指数分析的基础上,对各污染指标的相对污染指数进行数理统计后,得到一个表征水质的综合污染程度值。从秦淮新河枢纽将长江水引入到秦淮新河内,引水的质量集中反映在武定门闸上水体内,评价结果见表 2 和表 3 所示。

表 2 2016 年调水试验期间秦淮河各站点综合污染指数

Table 2 Comprehensive pollution index at Qinhuai River stations obtained from water diversion tests in 2016

洪水期						丰水期						枯水期					
时刻	秦淮新河闸	东山河	武定门闸	三山桥	三汊河闸	时刻	武定门闸	凤台桥	三山桥	草场门桥	三汊河闸	时刻	武定门闸	凤台桥	三山桥	草场门桥	三汊河闸
07-05T10:00	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	09-20T17:00	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	12-08T16:00	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1
07-05T14:00	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	09-21T17:00	0.8	0.8	0.9	1.1	0.9	12-09T09:00	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2
07-05T18:00	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	09-22T09:00	0.8	0.8	0.9	1.1	0.9	12-09T16:00	1.2	1.1	1.3	1.1	1.2
07-05T22:00	0.5	0.5	0.7	0.6	0.7	09-22T17:00	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	12-10T09:00	1.4	1.5	1.2	1.2	1.1
07-06T02:00	0.6	0.6	0.7	0.6	0.7	09-23T10:00	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	12-10T15:00	1.6	1.5	1.4	1.6	1.3
07-06T06:00	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	09-23T17:00	0.6	0.8	0.7	0.8	0.8	12-11T10:00	1.2	1.3	1.3	1.6	1.5
07-14T10:00	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	09-24T09:00	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	12-11T16:00	1.0	1.0	1.1	1.3	1.4
07-14T14:00	0.5	0.6	0.7	0.6	0.7	09-24T17:00	0.6	0.6	0.7	0.9	0.7	12-12T16:00	1.4	1.4	1.5	1.2	1.2
						09-25T14:00	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	12-13T11:00	1.3	1.3	1.4	1.5	1.4
						09-25T17:00	0.8	0.9	0.8	0.9	0.9	12-13T16:00	1.3	1.2	1.3	1.6	1.5
						09-26T17:00	1.1	0.7	0.7	0.9	0.8	12-14T12:00	1.3	1.1	1.5	1.5	1.4
						09-27T17:00	0.8	0.9	1.0	1.2	1.1	12-15T12:00	1.1	1.3	1.5	1.6	1.4

洪水期秦淮新河闸处于关闭状态,秦淮新河抽水站也不从长江引水,武定门闸六孔闸门均处于开启状态,同时开启三汊河闸促使河道内水体尽快排出,防止出现城市内涝。对洪水期调度试验期间的采样水体进行水质评价,结果见表 2。由表 2 可知,在汛期秦淮河流域发生洪水的情况下,河道内水量充沛、流速快,秦淮河流域整体水质较好,并没有明显的水体污染现象;在洪水期末水质呈现逐渐恶化的趋势,可能是因为洪水期末秦淮河内水位降低,河水流速变慢,污染物不能及时排出河道所致。

丰水期调水试验期间,秦淮新河闸根据

表 3 降雨初期雨水污染调水试验期间外秦淮河各站点综合污染指数

Table 3 Comprehensive pollution index at external Qinhuai River stations obtained from water diversion tests with rainfall-induced pollution during initial period of a rainfall event

时刻	武定门闸	凤台桥	三山桥	草场门桥	三汊河闸
01-05T08:00	0.9	0.8	0.7	1.0	0.9
01-05T12:00	0.9	0.9	0.8	1.2	1.1
01-05T16:00	0.8	1.0	1.0	1.4	1.1
01-05T20:00	1.0	0.9	1.1	1.4	1.2
01-05T22:00	1.1	0.8	1.0	1.4	1.2
01-06T00:00	1.1	0.8	1.0	1.4	1.2
01-06T08:00	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2
01-06T12:00	1.2	1.2	1.0	1.2	1.2
01-06T16:00	1.4	1.1	1.1	1.3	1.2

长江水位和秦淮新河闸水位的高低适时开启引水入秦淮新河,此时按上述设置的武定门闸下泄流量大小来进行调度。由表 2 可知,在调度开始时,武定门闸、凤台桥、三山桥、草场门桥和三汊河闸处的水体综合污染指数均在 0.7~0.9 之间,水质较好。当武定门闸下泄流量为 20~40 m³/s 时,外秦淮河各断面水质均能保持稳定;当武定门下泄流量为 40~80 m³/s 时,外秦淮河各断面水质均有明显的改善效果。在武定门闸下泄流量达到 60 m³/s 时,各监测站点水体的综合污染指数均在 0.8 左右,水质达到最优。在武定门闸停止加大流量,恢复到常规的 20 m³/s 时,流域水质立刻恶化,凸显了外秦淮河维持科学调水的重要性。与洪水期相比,秦淮河的水位和流量均大幅度下降,丰水期全河段整体综合污染指数为 0.7~1.2,洪水期全河段的综合污染指数为 0.5~0.7,秦淮河流域的水质整体水平比洪水期有明显下降。

枯水期调水试验期间长江水位低,通过秦淮新河抽水站抽水的方式满足引水的要求,试验按上述设置的武定门闸下泄流量大小来控制武定门闸的开度。此时秦淮河处于枯水期,与 2016 年 9 月丰水期相比,河流流量更小,水量更少,流速更慢,全河段整体水体综合污染指数处于 1.0~1.6 的水平,秦淮河流域的水质整体比 2016 年 9 月份更差。

枯水期调度开始时外秦淮河各站点水体的污染综合指数在 1.0 左右,当武定门闸下泄流量保持 20 m³/s 时,流域各监测断面水质迅速恶化;在武定门闸下泄流量从 20 m³/s 增大到 50 m³/s 时,外秦淮河各断面水质得到明显改善。当武定门闸下泄流量从 50 m³/s 增大到 80 m³/s 时,随着流量的增大,外秦淮河各断面的水质反而恶化;究其原因,可能因为上游来水质量差导致武定门闸上水体的综合污染指数为 1.4,为重度污染状态;随着武定门闸下泄流量的增大,只能对外秦淮河起到冲刷作用,而不能起到稀释水体的作用。同样,在武定门闸停止调水试验恢复到常规的 20 m³/s 流量时,流域水质迅速恶化。

在降雨初期,雨水冲刷城市地表形成降雨径流,携带耗氧物质、悬浮物、富营养化物质、有毒物质、油脂类有机物等,通过排水管道溢流排入或直接进入河道,很多时候超标严重。针对初期雨水污染的工况制定了降雨初期雨水污染调水试验,试验期间长江水位低,需通过秦淮新河抽水站抽水来满足引水的要求,此时按上述设置的武定门闸下泄流量大小来控制武定门闸的开度进行调度。通过试验结果(表 3)分析可知:降雨初期武定门闸上水体的综合污染指数为 1.1,处于重度污染状态,将其下泄到外秦淮河只能起到冲刷的作用,并不能稀释外秦淮河河水。随着武定门闸下泄流量从 20 m³/s 增大至 70 m³/s,外秦淮河的水质并未明显好转,但也无明显恶化趋势。由此可知,在降雨初期通过武定门闸的调控来改善水质效果不明显。

上述研究表明,在特定水文条件下存在着有利于水质改善的武定门闸下泄流量适宜区间:丰水期武定门闸下泄流量达到 40~80 m³/s 时,外秦淮河各站点的水质有明显改善;枯水期武定门闸下泄流量达到 50 m³/s 左右,外秦淮河水质改善效果较好,但应注意,流量过大可能反而使水体质量变差。相对而言,洪水期内水质普遍良好,而降雨初期通过调控武定门闸改善水质的效果相对并不明显。

3 结 论

秦淮河水质改善现场调度试验表明,在特定水文条件下,合理调控武定门闸下泄流量,可对闸控河段的水质改善起到积极效果:

- a. 洪水期秦淮河流域水量充沛、流速快,水体置换速度快,污染物浓度低,流域内水质普遍良好。
- b. 在降雨初期,通过增大武定门闸下泄流量对改善外秦淮河水质效果并不明显,需要通过加强雨污分流、控制污染物排放等方式来改善秦淮河流域水环境质量。
- c. 对比丰水期、枯水期引调水试验发现,当采用相同的调度方式,沿线污染源排放量按一般水平排入时,丰水期由于上游来水质量好、区间水量多、河水流动速度快,因而调度效果更好,且存在着有利于水质改善的武定门闸下泄流量适宜区间。在相同下泄流量的情况下,武定门闸闸上水质对外秦淮河水质改善起关键作用。
- d. 对比枯水期和降雨初期雨水污染调水试验表明,在同样处于枯水期、水质初始状态基本相同、调度方式相差不大的情况下,初期降水对水体的污染更为严重,应注意防范初期雨水可能导致的突发水污染。

参考文献:

[1] 李倩. 秦淮河流域城市化空间格局变化及其水文效应[D]. 南京: 南京大学, 2012.

[2] 周益娟. 秦淮河流域引水调配模型及应用研究[D]. 南京:河海大学, 2006.

[3] 王凯, 徐惠民. 南京市外秦淮河水环境综合整治的思路与对策[C]//中国科学技术协会. 2003 年学术年会论文集. 北京:中国科学技术协会, 2003:79-80.

[4] 张雪颖, 王冬梅, 吴杰. 秦淮河流域水质分析及综合整治方案探讨[J]. 水资源与水工程学报, 2004, 15(3):74-77. (ZHANG Xueying, WANG Dongmei, WU Jie. Analysis of water quality of the Qinhuai River valley and the discussion of integrated renovation scheme [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2004, 15(3):74-77. (in Chinese))

[5] 奚肖亚, 花剑岚. 南京城市发展与秦淮河整治回顾与展望[J]. 城市道桥与防洪, 2009(10):13-22. (XI Xiaoya, HUA Jianlan. Review and expectation of Nanjing urban development and Qinhuai River harnessing [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2009(10):13-22. (in Chinese))

[6] 汪广丰. 秦淮河水质恶化的对策思考[J]. 城市建设, 2017 (11): 52-54. (WANG Guangfeng. Countermeasure for water quality deterioration in the Qinhuai River[J]. Urban Construction, 2017 (11): 52-54. (in Chinese))

[7] 童朝锋, 岳亮亮, 郝嘉凌, 等. 南京市外秦淮河水质模拟及引调水效果[J]. 水资源保护, 2012, 28 (6): 49-54. (TONG Chaofeng, YUE Liangliang, HAO Jialing, et al. Water quality simulation and water diversion effect analysis of external Qinhuai River in Nanjing [J]. Water Resources Protection, 2012, 28 (6): 49-54. (in Chinese))

[8] 陈大卫, 杜勇. “引江调水”条件下外秦淮河水质变化趋势分析[J]. 江苏水利, 2009(10): 34, 36. (CHEN Dawei, DU Yong. Analysis of water quality variation trend in the external Qinhuai River under the condition of “Water Diversion From The Yangtze River”[J]. Jiangsu Water Resources, 2009(10): 34, 36. (in Chinese))

[9] 李晓, 唐洪武, 王玲玲, 等. 平原河网地区闸泵群联合调度水环境模拟[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2016, 44 (5):393-399. (LI Xiao, TANG Hongwu, WANG Lingling, et al. Simulation of water environment under joint operation of gates and pumps in plain river network area [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2016, 44(5):393-399. (in Chinese))

[10] 毛晓文, 常虹. 秦淮河南京段水质变化过程及污染控制[J]. 水资源保护, 2014, 30(1):74-78. (MAO Xiaowen, CHANG Hong. Water quality variation process in Nanjing reach of Qinhuai River and pollution control measures [J]. Water Resources Protection, 2014, 30(1):74-78. (in Chinese))

[11] 刘久根. 南京外秦淮河水污染控制对策[J]. 现代城市研究, 2003, 18(5):51-53. (LIU Jiugen. Countermeasures for Pollution of Qinhuai River, Nanjing [J]. Modern Urban Research, 2003, 18(5):51-53. (in Chinses))

[12] 于成鹏. 河流水质监测采样时监测点位布设探讨[J]. 自然科学(文摘版), 2016(1): 00142. (YU Chengpeng. Discussion on monitoring site layout during sampling of river water quality monitoring[J]. Natural Science(Abstract Version), 2016(1): 00142. (in Chinese))

[13] 陆卫军, 张涛. 几种河流水质评价方法的比较分析[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(6):174-176. (LU Weijun, ZHANG Tao. Comparsion and analysis of several appraisal methods for river water quality[J]. Environmental Science and Management, 2009, 34(6):174-176. (in Chinese))

[14] 孙涛, 张妙仙, 李苗苗, 等. 基于对应分析法和综合污染指数法的水质评价[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(4):185-190. (SUN Tao, ZHANG Miaoxian, LI Miaomiao, et al. River water quality evaluation based on correspondence analysis and comprehensive pollution index method[J]. Environmental Science & Technology, 2014, 37(4):185-190. (in Chinese))

[15] 陈小磊, 徐明星, 简中华. 湖州市东南部农田土壤重金属分布特征及污染评价[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2017, 45 (6):495-502. (CHEN Xiaolei, XU Mingxing, JIAN Zhonghua. The spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in arable land in southeast of Huzhou[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2017, 45(6):495-502. (in Chinese))

(收稿日期:2017-08-27 编辑:张志琴)