

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2013.06.007

走马塘拓浚工程的生态效应

孙明园^{1,2}, 韩龙喜¹, 樊陆欢^{1,3}

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学后勤管理处, 江苏 南京 210098;
3. 江苏省环境经济技术国际合作中心, 江苏 南京 210024)

摘要:根据走马塘拓浚工程实施前后的地形变化,建立拓浚河道平面二维水动力数学模型,模拟河道拓浚前后走马塘典型河段的水动力变化情况,并分析拓浚工程对河道水动力特征的影响和拓浚工程的水生态效应。结果表明,拓浚工程的实施使得区域流速及断面横向流速分布变得均匀,对水环境改善有一定的正效应;河道拓浚工程的实施,短期内有利于浮游植物生长,但对浮游动物的生长有一定抑制作用,而从长期影响结果趋势来看,拓浚工程有利于水生生境系统的恢复与重建;河道拓浚工程的实施有利于底泥质量的改善,减少底泥污染物的含量,减少河道内源释放,对水质改善有正面效应;拓浚工程对底栖生物生境具有严重影响,但是随着时间的推移,底栖生境将会重建。

关键词:河道整治;拓浚工程;生态效应;二维水动力数学模型;走马塘

中图分类号:X820.6 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2013)06-0036-05

Ecological effect of dredging engineering in Zoumatang River

SUN Mingyuan^{1,2}, HAN Longxi¹, FAN Luhuan^{1,3}

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Department of Logistics Management, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. Jiangsu International Environmental Development Center, Nanjing 210024, China)

Abstract: According to the changes of the topography before and after the dredging in the Zoumatang River, a two-dimensional hydrodynamic model of the river was built to simulate hydrodynamic changes before and after the dredging in typical river sections. The impact of the dredging on hydrodynamic characteristics and the ecological effect of the dredging engineering were analyzed. The results show that, after the dredging, the velocity distributions of the whole area and typical cross-sections became uniform, which had a positive effect on the water quality and aquatic environment. The dredging was conducive to phytoplankton growth within a short period, but it inhibited the growth of zooplankton. According to the long-term trend analysis, the dredging will be conducive to the restoration and reconstruction of aquatic habitat. The dredging can also improve the sediment quality and reduce sediment contaminants and endogenous release. It has a positive effect on water quality improvement and a significant impact on the benthic habitat over a short time, but, as time goes by, the benthic habitat will be reconstructed.

Key words: river regulation; dredging engineering; ecological effect; two-dimensional hydrodynamic model Zoumatang River

平原河网地区是我国水资源非常丰富的地区, 密布的河网为社会经济的快速发展提供了宝贵资源和不竭动力^[1]。但水利工程的建设将不可避免地

对平原河网地区的水文水动力、水环境质量、水生生物、底栖生物等生境因子产生不同程度的影响。从众多的影响因子中筛选出主要影响因子,并开展水利工程生态环境效应评估,但目前学术界对此缺少系统、深入的研究^[2]。在河流上开展的水利工程建

基金项目:水利部公益性行业专项(201001028)

作者简介:孙明园(1987—),男,硕士研究生,研究方向为环境系统规划与综合评价。E-mail:hhiikkoopp@163.com

设主要有水库建坝、河道拓浚、取直、堤防加固及水闸和泵站建设等。河道整治工程是对河道进行拓宽、疏浚、取直、加固,是集水利、农业、航运和环保等若干功能于一体的综合性社会公益项目^[3]。国内外关于河道整治对水环境的影响说法不一。包静暉^[4]认为河道排水使河道过流能力有所增强,水体自净能力提高,能明显改善水环境质量。景金星等^[5]通过对海河市区段清淤工程进行分析,发现清淤过后 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 COD 浓度均有一定程度的下降。河道的疏浚使得局部水流流态发生改变,相同水文情势下流量增加,来水水质较好的情况下稀释环境容量增加。河道局部拓浚使河道调蓄量增加,自净环境容量也相应增加^[6]。但是也有学者^[7]认为,河道整治会使累积在底质中的氮和磷重新释放到水里,疏浚深度不同,底泥中氮和磷向水体中释放的量也不同,对水质的影响也不同。河道底泥疏浚一定程度上能增加水体自净能力,但是也增加了底泥向上覆水释放污染物的通量,从而影响上覆水水质^[8-9]。钟继承等^[10]认为底泥疏浚能将污染的底泥永久性去除。但是在未排除外源输入影响的情况下,疏浚能否从根本上使水环境得到改善,国内外仍然存在很大争议。笔者以走马塘拓浚工程为研究对象,通过建立二维水动力数学模型及获取的现场实测资料,分析拓浚工程实施后对水生态环境的影响,旨在为太湖流域平原河网地区水生态环境保护与修复提供技术支撑,同时也为同类工程的生态效应研究提供参考。

1 工程概况

走马塘位于望虞河西岸地区,属太湖流域武澄锡虞水利分区,为 20 世纪 50 年代人工开挖的河道。拓浚工程前,走马塘经多年冲刷、淤浅,河床狭窄,河底宽 3~5 m,底高 1~2.5 m,河道中水草丛生,部分河段淤塞,河道水流难以全线顺畅流动;拓浚工程后,走马塘底宽 20 m,底高 0 m,边坡 1:2.5。规划设计的走马塘拓浚工程南自京杭运河起,利用沈渎港、走马塘、锡北运河进行拓浚,并从无锡境内的后庄东起,穿过无锡市境内,于常熟市王庄东北的张、虞 2 市交界处向东北方向延伸至平地开河,与七干河相接,再拓浚七干河入江,全长 66.30 km。本研究区域是走马塘一段约 1000 m 的河段。

2 拓浚工程对河道水文水动力特征的影响

2.1 数学模型

采用二维水流连续方程及 x 、 y 方向动量方程描述水流流场,忽略风成应力的二维非恒定浅水运动

方程组成的方程组:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + gh \frac{\partial(h+z_y)}{\partial x} - fv + gn^2 \frac{\sqrt{u^2+v^2}}{h^{4/3}} u = \varepsilon \nabla u \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(vu)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} + gh \frac{\partial(h+z_y)}{\partial y} + fu + gn^2 \frac{\sqrt{u^2+v^2}}{h^{4/3}} v = \varepsilon \nabla v \quad (3)$$

式中: h 为垂线水深; t 为时间坐标; x 、 y 分别为纵向、横向坐标; g 为重力加速度; f 为柯氏系数; z_y 为床面高程; u 、 v 分别为 x 、 y 方向的垂线平均流速; n 为河床糙率; ε 为紊动黏性系数。

2.2 参数取值

2.2.1 工程前、后的水下地形

计算区域用三角形单元网格剖分,网格间距一般约为 3 m。拓浚前计算区域共布置了 2464 个节点,4120 个单元;拓浚后计算区域共布置了 7384 个节点,13930 个单元。根据河道现状断面特性,得到工程前所有计算节点的水下地形高程;根据走马塘拓浚工程的建设规模,生成工程后的计算节点高程。

2.2.2 计算参数

根据走马塘河道实际情况,糙率系数 n 取值为 0.02,时间步长设置为 0.1 s,上游计算边界条件设定为流量,根据 2011 年走马塘现场实测情况,取平均值 $10 \text{ m}^3/\text{s}$;下游计算边界条件设定为水位,根据工程区域河网的正常水位,取值 3.2 m,假设岸边界的水流流速相对无滑动。

理论上,对某一河道实施拓浚工程后必然引起流量分配比例的变化,从而影响河道的水位。但是,由于平原河网地区河道调蓄量较大,水位在空间上的变化幅度较为平缓,工程措施对边界水位的影响较小,再加上要分析的是拓浚工程本身对河道水流结构、流速大小等生态水力学参数的影响,因此工程前后采用相同的水位边界条件。

2.3 拓浚工程前后河道生态水力学参数对比

2.3.1 流速

利用二维河道水动力数学模型对研究河段进行模拟。河道拓浚后,水深从 1.7 m 增加到 3.2 m,河道过水断面大幅度增加,在上游来水流量相同的条件下,河段整体平均流速由 0.5104 m/s 下降到 0.1043 m/s ,降幅为 78.56%。

2.3.2 典型断面的生态水力学参数

根据工程前后河道形态变化情况,在河道顺直

段和弯道处共选择了6个典型断面,分析断面流速情况。拓浚工程前后6个典型断面的生态水力学参数的变化情况见表1。

表1 工程前后典型断面生态水力学参数对比

断面	时间	断面平均流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	工程前后 流速变化 率/%	流速横向 标准偏差	湿周/ m	工程前后 湿周变 化率/%
断面1	工程前	0.3391	-67.87	0.0589	27.49	35.43
	工程后	0.1090		0.0549	37.23	
断面2	工程前	0.5350	-80.34	0.0407	16.65	123.60
	工程后	0.1052		0.0126	37.23	
断面3	工程前	0.4361	-75.66	0.0312	19.68	89.18
	工程后	0.1062		0.0250	37.23	
断面4	工程前	0.4709	-77.20	0.0309	18.35	102.89
	工程后	0.1074		0.0101	37.23	
断面5	工程前	0.5526	-80.01	0.0393	16.55	124.95
	工程后	0.1105		0.0150	37.23	
断面6	工程前	0.4153	-73.67	0.0367	23.14	60.89
	工程后	0.1093		0.0178	37.23	

3 拓浚工程对河道水生态特征的影响

3.1 对水质水环境的影响

环境容量计算公式中的稀释环境容量和自净环境容量相互独立,可以分别计算。通常将二者的和作为环境总容量,或者视两者的相对大小,取二者其一作为环境容量。本研究中笔者没有考虑上游来水流量的变化,只将自净容量作为环境容量来分析拓浚工程实施对水环境的影响。

研究区域平均水位为3.2 m,因此计算走马塘单位长度的河段自净容量的变化时,水位取3.2 m, COD、 NH_3-N 、TN、TP 降解系数分别取 0.15/d、0.2/d、0.08/d、0.08/d。6个典型断面单位长度自净容量计算结果见表2。

表2 6个典型断面单位长度河段自净容量计算结果

污染物	工程 时段	单位长度河段自净容量 kg/a					
		断面1	断面2	断面3	断面4	断面5	断面6
COD	工程前	108.667	65.818	77.800	72.539	65.423	91.471
	工程后	147.168	147.168	147.168	147.168	147.168	147.168
NH_3-N	工程前	7.244	4.387	5.186	4.835	4.361	6.097
	工程后	9.810	9.810	9.810	9.810	9.810	9.810
TN	工程前	2.897	1.755	2.074	1.934	1.744	2.439
	工程后	3.924	3.924	3.924	3.924	3.924	3.924
TP	工程前	0.580	0.351	0.415	0.387	0.349	0.488
	工程后	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785	0.785

6个典型断面单位长度自净容量分别增加了35.43%、123.6%、89.17%、102.88%、124.95%、60.89%。由此可见,河道整治工程能大幅提高河道自净容量,对水质水环境的改善有极大的帮助。

3.2 对水生生态的影响

因施工周期较长,故工程分段、分期实施。2011年9月20日对走马塘进行了样品采集,共布设了8个采样断面,分别代表工程实施不同阶段的情况。采样断面1、2为未实施河道整治工程的情况,采样断面3为工程实施1个月之后的情形,采样断面4、5、6为河道整治工程实施0.5年之后的情况,断面7、8为工程实施2年后的状况。采样断面位置见图1。

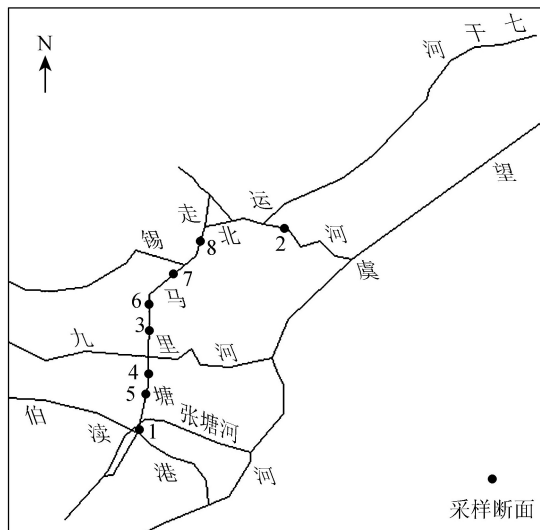


图1 采样断面位置

3.2.1 对浮游植物的影响

浮游植物选取了绿藻门、蓝藻门、硅藻门、裸藻门、甲藻门、隐藻门进行对比,各采样点的浮游植物数量及生物量情况见表3。

3.2.2 对浮游动物的影响

浮游动物选取了轮虫、枝角类、桡足类进行对比,各采样点的浮游动物数量及生物量情况见表4。

由表3和表4可知,在工程实施后1个月,浮游植物的数量和生物量有一定升高趋势,而浮游动物数量和生物量则有下降趋势。在工程半年和2年后,浮游植物、浮游动物数量及生物量均稳步提高。工程后1年左右,浮游动物就可恢复到工程前水平。由此可见,实施河道整治工程,短期内有利于浮游植物生长,而不利于浮游动物生长,但长期来看对浮游植物和浮游动物均有利。这说明河道整治工程的实施有利于水生生态系统的恢复与重建。

3.3 对底栖生态的影响

3.3.1 对底质的影响

各采样点的底泥有机质、TN、TP、 NH_3-N 含量见表5。

比起未实施工程时,工程后半年内,河道中有机质减少了73.8%,TN减少了63.6%,TP减少了70.3%, NH_3-N 减少了25%;工程实施2年后,河道中有机质恢复到未实施工程时的51.9%,TN恢复

表3 工程实施前后浮游植物数量、生物量对比

工程 实施情况	采样点	绿藻门		蓝藻门		硅藻门		裸藻门		甲藻门		隐藻门		总和	
		数量/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	数量/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	数量/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	数量/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	数量/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	数量/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	数量/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)
未实施 工程时	断面1	575.9	2.7	1205.4	0.8	549.1	8.0	67.0	4.7	13.4	0.4	133.9	3.3	2544.8	19.9
	断面2	187.5	1.7	0.0	0.0	254.5	4.0	107.2	7.5	13.4	0.4	174.1	2.8	736.7	16.4
工程后 1个月	断面3	415.2	0.9	12643.7	5.4	884.0	26.0	26.8	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	13969.7	34
	断面4	743.3	6.0	12563.3	5.7	830.4	22.3	26.8	2.7	26.8	1.3	80.4	1.1	14271.1	39.1
工程后 半年	断面5	776.8	3.4	28026.5	11.6	703.2	12.3	40.2	1.9	0.0	0.0	26.8	0.5	29573.5	29.8
	断面6	13.3	0.0	281.2	0.2	93.8	2.1	0.0	0.0	13.4	0.4	13.4	0.5	415.2	3.2
工程后 2年	断面7	562.5	5.6	39645.6	16.1	200.9	3.6	67.0	6.7	40.2	2.6	180.8	4.6	40697.1	39.2
	断面8	388.4	3.9	20023.7	8.2	120.5	2.6	67.0	5.6	187.5	11.1	174.1	3.8	20961.3	35.3

表4 工程实施前后浮游动物数量、生物量对比

工程 实施情况	采样点	轮虫		枝角类		桡足类		总和	
		数量/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	数量/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	数量/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)	数量/ (万个·L ⁻¹)	生物量/ (mg·L ⁻¹)
未实施 工程时	断面1	6180	2465.3	84.0	142.1	360	180	6624	2787.4
	断面2	6780	3789.1	42.0	70.4	228	111.6	7050	3971.1
工程后 1个月	断面3	1620	1115.5	84.0	127.4	264	187.2	1968	1430.1
	断面4	6300	2469.5	42.0	65.5	1608	655.2	7950	3190.2
工程后 半年	断面5	1440	315.5	0.0	0.0	46	19.8	1486	335.3
	断面6	300	78.0	54.0	76.9	240	136.8	594	291.7
工程后 2年	断面7	13440	4865.5	12.0	18.7	156	104.4	13608	4988.6
	断面8	11280	5259.7	30.0	46.8	240	86.4	11550	5392.9

表5 工程实施前后河道底质情况

工程 实施情况	采样点	mg/kg							
		w(有机质)		w(TN)		w(TP)		w(NH ₃ -N)	
		实测	平均	实测	平均	实测	平均	实测	平均
未实施 工程时	断面1	14210.0		2212.0		148.7		2.0	
	断面2	7610.0	10910.0	1372.0	1792.0	250.9	199.8	1.6	1.8
工程后 1个月	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	断面4	2060.0		448.0		59.4		1.1	
工程后 半年	断面5	2920.0	2860.0	1064.0	653.0	80.5	59.3	2.0	1.4
	断面6	3600.0		448.0		38.0		1.0	
工程后 2年	断面7	6560.0		588.0		71.5		1.3	
	断面8	4770.0	5665.0	1036.0	812.0	77.0	74.3	1.8	1.5

到45.3%，TP恢复到37.2%，NH₃-N恢复到87%，说明工程效果明显，河道拓浚工程对改善底质状况是有极大好处的。

3.3.2 对底栖动物的影响

受到河道整治工程的影响，短期内底栖动物栖息环境被破坏，底栖动物种类、数量受到严重影响，具体情况见表6。

表6 工程实施前后河道底栖动物情况

工程实施 情况	底栖动物密度/ (个·m ⁻²)	种类 数/种	物种
未实施 工程时	178.3	3	摇蚊幼虫、中华颤蚓、椭圆形萝卜螺
工程后半年	48.7	2	中华颤蚓、椭圆形萝卜螺
工程后2年	99.0	3	摇蚊幼虫、中华颤蚓、椭圆形萝卜螺

河道拓浚工程实施半年后，底栖动物密度为工程前的27.3%，工程后2年恢复到工程前水平的55.5%。可见工程的实施短期内对底栖生物具有极大的影响，但是随着时间推移，底栖生境开始重建并逐渐恢复。

4 结论

a. 走马塘拓浚工程实施后，河道流速大幅度降低，杂乱无章的流速分布变得规则均匀，湿周的增加大大增强了河道过流能力。

b. 走马塘拓浚工程的实施，大幅度增加了水体的自净容量，在不考虑内源释放变化的情况下，对水环境质量的改善有一定好处。

c. 走马塘拓浚工程的实施，短期内有利于浮游

植物生长,而不利於浮游动物生长,但长期来看对浮游植物和浮游动物的生长均有利,说明河道整治有利于水生生态的恢复,大约1~2年即可恢复到工程前的状态。

d. 走马塘拓浚工程的实施有利于底泥质量的改善,减少底泥污染物的含量,从而减少河道内源释放,对水质的改善有一定正效应。工程实施短期内对底栖生物生境影响较大,底栖动物生物量基本为零。但是随着时间的推移,底栖生境将会重建,2年后恢复到原有状态的50%。

参考文献:

[1] 林泽新. 太湖流域防洪工程建设及减灾对策[J]. 湖泊科学, 2002, 14(1): 12-18. (LIN Zexin. Construction of flood control engineering and countermeasures for flood disaster mitigation in Taihu Basin [J]. Journal of Lake Sciences, 2002, 14(1): 12-18. (in Chinese))

[2] 朱党生, 张建永, 廖文根, 等. 水工程规划设计关键生态指标体系[J]. 水科学进展, 2010, 21(4): 560-566. (ZHU Dangsheng, ZHANG Jianyong, LIAO Wengen, et al. A key ecological indicator system for water project planning and design [J]. Advances in Water Science, 2010, 21(4): 560-566. (in Chinese))

[3] 阮万伟, 胡其龙, 王其跃. 平原地区河道疏浚整治的建设研究[J]. 中国科技信息, 2005(6): 111-113. (RUAN Wanwei, HU Qilong, WANG Qiyue. Construction of river dredging engineering in plain area [J]. China Science and Technology Information, 2005(6): 111-113. (in Chinese))

[4] 包静晖. 应重视对河道整治工程的环境影响评价[J]. 上海建设科技, 2002(2): 36-38. (BAO Jinghui. Give prominence to the environmental impact assessment on the project of watercourse administration [J]. Shanghai Construction Science and Technology, 2002(2): 36-38. (in Chinese))

[5] 景金星, 徐红玲. 河道清淤工程水质改善预测分析[J].

海河水利, 2005(6): 33-34. (JING Jinxing, XU Hongling. Prediction analysis of water quality improvement of dredging project [J]. Haihe Water Resources, 2005(6): 33-34. (in Chinese))

[6] 韩龙喜, 朱奔, 杨积德. 水系局部改变对河网水情及水质影响的分析[J]. 水资源保护, 2004(4): 31-33, 41. (HAN Longxi, ZHU Yi, YANG Jide. Analysis of influence of local variation of water system on water regime and water quality of river networks [J]. Water Resources Protection, 2004(4): 31-33, 41. (in Chinese))

[7] 邢雅因, 阮晓红, 赵振华. 城市河道底泥疏浚深度对氮磷释放的影响[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2006, 34(4): 378-38. (XING Yanan, RUAN Xiaohong, ZHAO Zhenhua. Effects of depth of sediment dredging in urban rivers on release of nitrogen and phosphorus [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2006, 34(4): 378-382. (in Chinese))

[8] 李文红, 陈英旭, 孙建平. 疏浚对影响上覆水体自净能力的研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(3): 318-320. (LI Wenhong, CHEN Yingxu, SUN Jianping. Influence of dredging on self-purification ability of overlying water [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22(3): 318-320. (in Chinese))

[9] 李文红, 陈英旭, 孙建平. 疏浚对影响底泥向上覆水体释放污染物的研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(4): 446-448. (LI Wenhong, CHEN Yingxu, SUN Jianping. Influence of dredging on releasing pollutants from sediment to overlying water [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22(4): 446-448. (in Chinese))

[10] 钟继承, 范成新. 底泥疏浚效果及环境效应研究进展[J]. 湖泊科学, 2007, 19(1): 1-10. (ZHONG Jicheng, FAN Chengxin. Advance in the study on the effectiveness and environmental impact of sediment dredging [J]. Journal of Lake Sciences, 2007, 19(1): 1-10. (in Chinese))

(收稿日期: 2013-03-28 编辑: 彭桃英)

(上接第35页)

[3] 杨龙元, 秦伯强, 吴瑞金. 酸雨对太湖水环境潜在影响的初步研究[J]. 湖泊科学, 2001(2): 135-142. (YANG Longyuan, QIN boqiang, WU Ruijin, et al. Preliminary study for potential impacts on the aquatic environment of Lake Taihu by acid rain [J]. Lake Sciences, 2001(2): 135-142. (in Chinese))

[4] 宋玉芝, 秦伯强, 杨龙元, 等. 大气湿沉降向太湖水生生态系统输送氮的初步估算[J]. 湖泊科学, 2005(3): 226-230. (SONG Yuzhi, QIN Bogiang, YANG Longyuan, et

al. Primary estimation of atmospheric wet eeposition of nitrogen to aquation ecosystem of Lake Taihu [J]. Lake Sciences, 2005(3): 226-230. (in Chinese))

[5] 梅雪英, 张修峰. 上海地区氮素湿沉降及其对农业生态系统的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007(1): 16-18. (MEI Xueying, ZHANG Xiufeng. Nitrogen in wet deposition in Shanghai area and its effect on agriculture ecosystem [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007(1): 16-18. (in Chinese))

(收稿日期: 2013-04-16 编辑: 徐娟)