

南京市梅龙湖汇水区入湖污染负荷估算及对策研究

何湖滨

(南京水利科学研究院生态环境研究中心, 江苏 南京 210029)

摘要: 通过现场调研和水样分析, 估算梅龙湖汇水区入湖污染负荷量, 明确主要污染负荷来源, 并提出有针对性的水环境质量提升措施。分析结果表明: 梅龙湖水体为 IV 类水, 其中 TN 和 TP 严重超标, 为中度富营养化; 从上游污水处理厂出水口至湖体, 污染物浓度沿程逐渐降低, 总体表现为污水处理厂出水浓度 > 新林村附近河道水样浓度 > 国道北侧湿地出水水质 > 梅龙湖湖体水质; 农田面源污染物和污水处理厂出水是梅龙湖水体污染的主要来源, 其中污水处理厂出水中 TN、TP、COD_{cr} 和 NH₃-N 负荷量均占总负荷量的 72% 以上; 通过布置“雨水蓄积装置”、厨余垃圾堆肥器、分散式人工湿地和一体化污水处理装置等, 可以大幅提升梅龙湖水环境、生态环境质量, 并有效削减梅龙湖汇水区入湖污染负荷量。

关键词: 水质现状; 污染负荷; 富营养化; 面源污染; 点源污染

中图分类号: X52

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2019) 03-0030-06

Estimation and countermeasure research on pollution load in the catchment area of Meilong Lake in Nanjing City

HE Hubin

(Ecological Environment Research Center, Nanjing Academy of Water Resources, Nanjing 210029, Jiangsu)

Abstract: Through on-site investigation and water sample analysis, the pollution load of Meilong Lake catchment area was estimated, the main pollution load sources were identified, and targeted measures for improving water environment quality were put forward. The results showed that the water body of Meilong Lake was Class IV water, in which TN and TP were seriously exceeded the standard, which was moderate eutrophication. From the outlet of the upstream sewage treatment plant to the lake body, the pollutant concentration gradually decreased along the course, which was generally shown as the concentration of effluent from the sewage treatment plant > the concentration of river samples near Xinlin Village > the concentration of wetland effluent from the northern side of the National Road > the concentration of water body of Meilong Lake. The non-point source pollutants in the farmland and the effluent from the sewage treatment plant were the main sources of water pollution in the Meilong Lake. The TN, TP, COD_{cr} and NH₃-N loads in the effluent of the sewage treatment plant accounted for more than 72% of the total load. Through the arrangement of "rainwater storage device", kitchen waste composter, dispersed constructed wetland and integrated sewage water treatment devices could greatly improve the water environment and ecological environment quality of Meilong Lake, and effectively reduce the pollution load into the lake in the catchment area of Meilong Lake.

Key words: present water quality; pollution load; eutrophication; non-point source pollution; point source pollution

收稿日期: 2018-08-12

作者简介: 何湖滨 (1994 —), 男, 硕士研究生, 研究方向为: 城市水环境。

1 概述

湖泊是人类当前及未来发展所必须的一种重要的战略资源, 具有防洪、供水、养殖、生态系统维系及气候调节等多种功能, 对社会经济的发展起到了不可估量的作用^[1]。长期以来, 人类在开发和利用河湖时, 侧重于满足人类社会对水的多种需求, 而忽视了保护河湖自身生态系统的需求, 日常的生产、生活均加重了对河湖水质和生态环境的影响, 产生的大量生活污水和工业废水, 给水环境治理带来巨大压力。由于湖泊流域社会经济发展快速, 污染治理设施落后, 氮、磷等污染负荷削减难度较大, 致使我国众多湖泊长期处于“水华”频发的高生态风险状态之下^[1]。根据2017年中国生态环境状况公报, 监测营养盐的109个湖库中, 中营养和轻度富营养湖库分别占了61.5%和26.6%。

湖泊的富营养化问题直接影响其周边及下游城镇、农村地区的饮用水安全, 危及人民的健康安全。为了实施对水体富营养化的有效控制和水质管理, 控制湖体周边面源和点源污染同样重要。相关研究表明, 我国化肥施用量已经超过其经济意义上的最优施用量, 并仍有持续增加的趋势^[2-3], 我国化肥施用强度是世界平均水平的1.6倍以上^[4], 过量的化肥使用导致的直接后面就是严重的农业面源污染^[5-6]。

农村生活污水污染同样成为导致受纳水体富营养化的重要原因之一。农村生活污水包括人类的粪尿、厨余废水、洗浴废水和洗衣废水等, 家庭生活收入状况也可能影响生活污水量和污水中的氮、磷排放量。国内有学者通过长时间的入户调查和采样分析的方法, 对不同收入状况家庭排放的生活污水量、组成、季节变化等特征进行调查, 估算得农村生活污水排污系数, 用以正确评价农村生活污染负荷量^[7]。由于农村地区缺乏生活垃圾集中处理设施, 村民日常生活垃圾随意堆放, 降雨对垃圾堆及屋面、道路的冲刷和淋洗携带大量污染物, 地表径流进入水体, 并对受纳水体造成严重的危害。

笔者选择南京市江宁区梅龙湖汇水区域作为研究对象, 通过分析梅龙湖水质现状, 估算入湖污染负荷量, 明确梅龙湖水质污染的主要贡献来源, 为有针对性提出入湖污染负荷控制对策, 提升

湖体水质奠定基础。

2 研究方法

2.1 研究区域概况

梅龙湖原称东焦水库, 位于南京市江宁区淳化街道以西, 是全街道第一大水系, 属北亚热带季风气候区, 气候温和, 雨水充沛, 年平均降水量为1072.9 mm。梅龙湖依托周边4.2 km²的汇水面积自然形成, 曾经长期作为下游400 hm² (6000亩) 农田的灌溉水源, 现有水面面积0.35 km², 总库容达176万 m³^[8]。国道G104将梅龙湖湖体与北侧汇水区隔断, 之间通过涵管连通。北侧汇水区主要以农村居住区、农田和江宁监狱为主。农村居住区主要为新林村, 该村包括两个组, 共计100户左右, 常住人口400人左右, 居住面积约为0.58 km², 居民点相对散乱, 基本未采用截污纳管措施。农业用地主要分布在新林村附近, 土地坡度低于25°, 土壤类型为壤土, 农作物以玉米、芝麻、黄豆和油菜为主, 一般使用居民粪尿施肥, 化肥亩施用量低于25 kg/a。江宁监狱自建污水处理厂, 出水通过河道进入国道G104北侧湿地最终进入梅龙湖, 于2017年4月左右正式投入使用, 设计处理规模为72 m³/h, 实际处理规模为60 m³/h, 出水标准为一级B标准。梅龙湖北侧青龙山由于长期采矿的原因导致山体裸露, 梅龙湖以东区域主要以农田菜地为主, 西侧处于开发状态, 主要为草地和荒地。

2.2 水质现状分析

为了分析梅龙湖水体的水质现状, 于2018年3月30日在梅龙湖沿岸、上游污水处理厂出水口处以及入湖河道采集水样, 进行溶解氧(DO)、pH等指标的现场测定, 并带回实验室进行其他主要水质指标分析。每个采样点采集水样至少500 ml, 分析指标主要包括总氮(TN)、总磷(TP)、化学需氧量(COD_{cr})和氨氮(NH₃-N), 具体分析方法参照国家标准《水和废水监测分析方法(第四版)》^[9]。监测点布置如图1所示, 其中#1、#3~#9为梅龙湖环湖沿岸采样点, #2为国道G104北侧湿地出流处, #10为上游湖泊出水口, #11为江宁监狱污水处理厂出水口, #12为新林村附近河道水质采样点。

2.3 面源污染负荷估算

(1) 农田面源污染

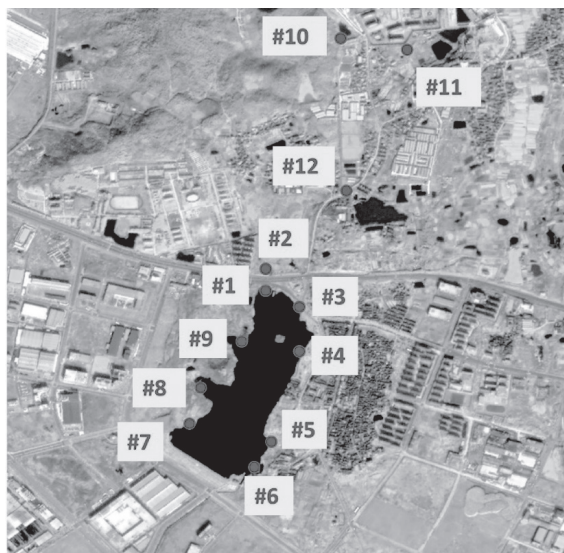


图1 水样采集点位分布图

农田施肥过程中流失的氮、磷是造成河道有机质污染和水体富营养化的主要原因。参照《全国饮用水水源地环境保护规划》中的标准农田修正法规定的 COD_{cr} 和 NH_3-N 排污系数以及《第一次全国污染源普查：农业污染源肥料流失系数手册》中的实地调研数据确定 TN 和 TP 排污系数，采用公式(1)和(2)计算农田面源污染负荷量：

$$W_{农} = W_{农p} \times \gamma_1 \quad (1)$$

$$W_{农p} = M \times \alpha_3 \quad (2)$$

其中， $W_{农}$ 为农田污染物入湖量； $W_{农p}$ 为标准农田污染物排放量； γ_1 为修正系数； M 为标准农田面积； α_3 为标准农田排污系数。标准农田指的是满足地形为平原、种植作物为小麦、土壤类型为壤土、化肥施用量为 25 ~ 35 kg/亩·年几个条件的农田。标准农田源强系数为 COD_{cr} 10 kg/亩·年， NH_3-N 2 kg/亩·年，TP 0.32 kg/亩·年。对于其他农田，对应的源强系数需要进行修正。

(2) 农村生活污染

流失到环境中的农村生活污染物中有多大比例能够进入水体，主要取决于村庄与河道的距离及入河途径，如果污染源与河道距离较近，则入河系数较高，距离远则相反。通过建立污染负荷估算模型进行农村生活污染负荷量估算，可以有

针对性地提出污染负荷削减和控制方案，具体的估算公式如(3)和(4)所示：

$$W_{生} = (W_{生lp} - \theta_2) \times \beta_2 \quad (3)$$

$$W_{生lp} = N_{农} \times \alpha_1 \quad (4)$$

其中， $W_{生}$ 为农村生活污染物入湖量； $W_{生lp}$ 为农村生活污染物排放量； θ_2 为已经截污纳管的农村生活污染物； β_2 为农村生活污染物入湖系数，考虑到新林村生活污染物入河途径中下垫面的差异，生活污水入河系数 β_2 取 0.40， $N_{农}$ 为农村人口数； α_1 为农村生活排污系数。

(3) 农村径流污染

径流污染受区域内年降雨量影响较大，在径流污染物负荷估算过程中，采取降雨径流污染物平均浓度 EMC (Event Mean Concentration) 来表示降雨事件全过程中径流排放某种污染物的平均浓度，EMC 即加权流量后的降雨径流污染物平均浓度，其数学表达式如公式(5)、(6)和(7)所示：

$$EMC = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^T C_i Q_i dt}{\int_0^T Q_i dt} \quad (5)$$

$$EMC = \frac{\sum_{j=1}^n C_j V_j}{\sum_{j=1}^n V_j} \quad (6)$$

$$L_j = \int_0^T C_{t,i} Q_{t,i} dt = (EMC)_i \int_0^T Q_{t,i} dt = (EMC)_i V_i \quad (7)$$

其中， M 为某场降雨径流所排放的某污染物的总量，g； V 为某场降雨所引起的总的地表径流体积， m^3 ； C_i 为某种污染物在 t 时的瞬时浓度，mg/L； Q_i 为地表径流在 t 时的径流排水量， m^3/s ； T 为某场降雨的总历时，s； n 为时间分段数。由于农村多为瓦质屋面，所以取屋面径流系数为 0.80，张科峰等(2010)对南京市瓦质屋面进行了 9 场降雨监测，TN 等 4 种污染物平均 EMC 如下表农村径流 EMC 所示^[10]。

三类面源污染源排污系数或 EMC 统计如表 1

表1 各类污染源排污系数或 EMC 汇总表

标准农田排污系数 (kg/亩·年)		农村生活排污系数 (g/人·d)		农村径流 EMC (mg/L)	
TN	2.50	TN	5.00	TN	5.80
TP	0.32	TP	0.53	TP	0.27
COD_{cr}	10.00	COD_{cr}	28.36	COD_{cr}	39.80
NH_3-N	2.00	NH_3-N	4.39	NH_3-N	2.60

所示。

2.4 点源污染负荷估算

点源污染负荷估算一般基于浓度和流量以及排放时长计算, 梅龙湖上游点源主要为江宁监狱污水处理厂出水, 通过现场水样数据分析, 各种污染物浓度如下表 2 所示。

表 2 江宁监狱污水处理厂出水各污染物浓度		
污染物	浓度均值 (mg/L)	
TN	19.98	
TP	2.16	
COD _{cr}	60.00	
NH ₃ -N	18.63	

3 结果与讨论

通过水样采集及实验室化验分析, 梅龙湖区域 12 个采样点位总氮(TN)、总磷(TP)及氨氮(NH₃-N)浓度如下图 2 所示。从 TN 结果来看, 点位 #3 ~ #9 均为 V 类水, 其余点位均为劣 V 类水; TP 结果图中, #3 ~ #10 均为 IV 类水, 其余点位均为劣 V 类水; 而 NH₃-N 结果显示, #3 ~ #10 均为 III 类水, 而 #1、#2、#11 和 #12 均为劣 V 类。所有点位中, #11 即污水处理厂出水口处水质最差, TN、TP 和 NH₃-N 均超标严重, 分别为 19.98 mg/L、2.16 mg/L 和 18.63 mg/L, 其中, TP 和 NH₃-N 尚未达到污水处理一级 B 标准。

梅龙湖北侧入湖口(#1)、湿地出流处(#2)、污水处理厂出水口(#11)及新林村附近河道(#12)各项水质指标均为劣 V 类, 其中 #11 出水水质最差, 从 #11 至梅龙湖, 污染物浓度沿程逐渐降低, 污染物浓度表现为 #11 > #12 > #2 > #1。经由北侧湿地污染削减之后, 相比于 #12 和 #11, 点位 #2 和 #1 处的污染物浓度大幅降低, 但仍超标明显, 说

明湿地对污染物质的沉淀和消减起到了明显效果, 证实了湿地可以用作污水处理池, 有助于提高水质, 另外湿地可以保留营养物质, 净化下游水源。因为 #1 已经处于梅龙湖体, 污染物在入湖口被湖水稀释, 使得 #1 处污染物浓度低于 #2。

虽然 GB3838-2002《地表水环境质量标准》仅对 TP 给出了适于湖泊水质的更为严格的水质分类标准, 没有给出关于 TN 等其他污染指标的湖泊水质标准。实际上, 地表水环境质量中 I 类和 II 类水体很少出现富营养化, III 类水体偶尔会发生轻度富营养, 中度富营养主要发生在 IV 类水以上水体, 而重度富营养往往发生在 V 类与劣 V 类水体中, 因此可以将 I ~ V 类水标准值分别作为划分湖库富营养化等级的标准。梅龙湖环湖沿岸 9 个采样点位(#2、#3 ~ #10)的 TN 与 TP 浓度平均值分别为 1.88 mg/L 和 0.12 mg/L, 根据单一参数评价法, 梅龙湖水体为 IV 类水, 对应为中度富营养化。

梅龙湖上游的农田面源污染物、农村生活污染物、农村径流污染物和江宁监狱污水处理厂出水污染物最终均汇入梅龙湖, 梅龙湖区域各主要污染指标年污染负荷量和各污染源负荷量占比如下表 3 和图 3 所示。可以看出, 农田面源污染负荷量和江宁监狱污水处理厂污染负荷量占比较大, 是梅龙湖水体污染的主要污染来源, 其中污水处理厂出水和农田面源污染中 TN、TP、COD_{cr} 和 NH₃-N 4 种污染物负荷量均占总负荷量的 72% 和 10% 以上。

氮、磷是湖泊水体富营养化的关键因子, 我国太湖水体的富营养化也主要是由于氮、磷元素的富集。梅龙湖上游大量的氮、磷营养盐进入水体, 藻类等得到过量的营养后开始大量繁殖, 打破水体中原本生物链的生态平衡, 死亡的水生植物富集在水体底部, 被微生物分解, 分解过程中, 微生物

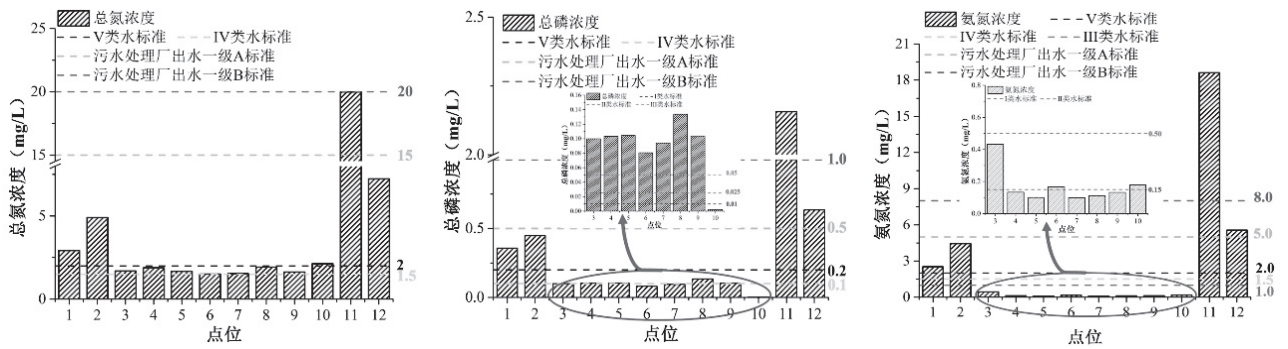


图 2 各采样点位 TN、TP 及 NH₃-N 浓度分析图

表3 梅龙湖区域各主要污染指标年污染负荷量

污染物指标	农田污染物入湖量 (kg)	农村生活污染物入湖量 (kg)	农村径流污染物入湖量 (kg)	污水处理厂污染物入湖量 (kg)	总入湖量 (t)
TN	1449.00	438.00	541.39	10501.50	12.93
TP	185.47	46.43	25.20	1035.30	1.29
COD _{cr}	5796.00	2484.34	3715.02	31536.00	43.53
NH ₃ -N	1159.20	384.56	242.69	9791.93	11.58

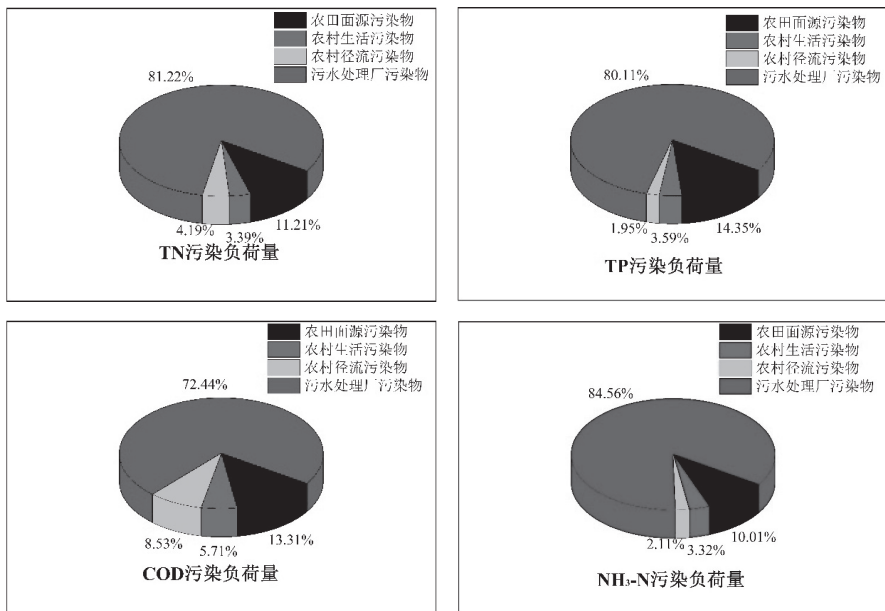


图3 梅龙湖入湖各污染源污染指标排放比例 (%)

大量消耗水中的溶解氧。水体中的溶解氧大大降低,使得水-底泥界面进入厌氧状态,高有机质底泥和死亡藻类两者共同作用,在厌氧条件下产生的挥发性硫化物、二甲基三硫等硫醚类物质与底泥中的重金属化合而形成致黑物质,在吸附凝聚过程中受湖泊风浪及水动力条件影响,悬浮而成“黑水团”^[11-12]。

为了提升梅龙湖水质,对其上游农村、农田及污水处理厂等面源、点源进行有效控制显得十分必要。何流等(2011)提出初期径流中污染物浓度在数量级上与未经处理的城市污水基本相同^[13]。相对于其他下垫面径流,屋面径流的经历较大,并且便于收集,因此可以通过修建“雨水蓄积装置”收集处理屋面初期雨水。“雨水蓄积装置”适用于农村地区,屋面雨水经过雨落管进入储水桶,收集的雨水经过沉淀和简单处理后,可用于冲厕、绿化灌溉,提高水资源利用效率,减少初期雨水对下游水体的污染。另外应该对露天堆放的垃圾进行“统一收集,就地分类,综合利用,无害处理”,以降低降雨对垃圾堆冲刷产生的污染影响。

针对梅龙湖汇水区居民的生活水平和习惯,以及农村居民对垃圾分类的可接受程度,将农村生活垃圾分为厨余垃圾和一般垃圾。一般性垃圾通过收集、运输,并根据环卫管理部门的要求进行处理,厨余垃圾可以以户为单位,使用厨余垃圾堆肥反应器进行堆肥化处理。将厨余垃圾和园林垃圾(枯枝、落叶等)按1:1混合堆肥,堆肥反应器内水分调节至70%~75%,每日搅拌翻堆一次,反应时间5~7d,产生的湿肥和固肥可以作农家肥使用,既降低垃圾总量及病媒滋生,同时可以减少垃圾处理厂及卫生掩埋场的负担。对于村民日常生活中产生的生活污水,可以修建“分散式人工湿地”,污水进入人工湿地,污染物通过湿地基质的过滤吸附、好氧和厌氧生物菌群的降解、湿地植物根系的吸收等作用被去除,出水中各项指标可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准(GB18918-2002)》中的一级B标准^[14]。

梅龙湖地区农业用地主要集中在梅龙湖上游地区,种植农作物以黄豆、玉米、芝麻和油菜为主,施肥以人畜粪便等有机肥为主。以磷素为例,磷素

从施入点迁移到地表和地下径流时,常会引起水体的富营养化。人畜粪便中水溶性及易溶性磷中,无机磷含量远远高于有机磷,约占80%左右,梅龙湖上游农村区域土壤主要为壤土,施加入畜粪便,发生地下渗滤的主要是有机磷。由于水溶性及易溶性有机磷含量较低,使得土壤有机质含量增加,无机磷则极易随着降雨径流进入河道最终进入下游湖体。因此,推广作物测土配方、精准施肥技术,合理使用农药、化肥、厨余垃圾堆肥产生的固肥、湿肥以及人畜粪便等有机肥,综合利用农业废弃物,促进农业生态良性循环,可有效减少农业生产引起的面源污染。

由于污水处理厂的出水水质尚未达到一级B排放标准,出水水质较差且最终汇入梅龙湖,成为梅龙湖水体富营养化的主要污染来源。可在污水处理厂二期建设的同时将一期工程出水标准提升至一级A排放标准。相对于城市地区,农村管网铺设难度较大,建议在梅龙湖北侧湿地建设埋地式一体化污水处理装置,将收集的污水作为分散型小点源,利用一体化污水处理装置进行集中处理,实现达标出水排放。一体化污水处理设备是以生化反应为基础,将预处理、生化、沉淀、消毒、污泥回流等多个功能不同的单元有机的结合在一个设备之内而形成的污水处理组合体。污水经过处理进入人工湿地中,湿地环境是一个复杂的微生物环境,从表面的好氧菌到深层次的厌氧菌,均能对出水中的BOD、COD等起到二次分解作用。湿地中的植物,比如芦苇等可以吸收、分解并合成污水中的氮、磷、钾等物质,可以进一步净化出水。另外,芦苇等植物由于其适应性强、耐腐蚀、材质坚固等特点还可以在污泥系统中起到水质对流的作用,让上下层水质循环,起到均质作用。

4 结论

本文对梅龙湖环湖沿岸、上游污水处理厂出水口等地进行水样采集并且估算主要的入湖面源、点源污染负荷量,分析得到梅龙湖水体为IV类水,为中度富营养化。污水处理厂出水和农田面源污染是两大主要污染源,污水处理厂出水和农田面源污染中TN、TP、COD_{cr}和NH₃-N四种污染物负荷量均占总负荷量的72%和10%以上。可以通过收集截流农村屋面径流、农村生活垃圾分类处理,

生活污水一体化处理、合理使用有机肥、化肥、农药并提升污水处理厂出水标准来削减、控制梅龙湖入湖污染负荷量,提升水环境质量,改善区域水生态环境。

参考文献:

- [1] 刘慧丽,冯明雷,熊鹏. 柘林湖非点源入湖负荷估算及对策研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41: 1670-1673.
- [2] 李红莉,张卫峰,张福锁等. 中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析[J]. 植物营养与肥料学报. 2010, 16(5):1136-1143.
- [3] Liangjie, Xiubin. Temporal and regional variations of China's fertilizer consumption by crops during 1998-2008[J]. Journal of Geographical Sciences. 2012, 22(4):643-652.
- [4] 张福锁,王激清,张卫峰等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报. 2008, 45(5):915-924.
- [5] Velthof GL, Oudendag D, Witzke HP, Asman WAH, Klimont Z, Oenema O. Integrated assessment of nitrogen losses from agriculture in EU-27 using MITERRA-EUROPE[J]. J Environ Qual. 2009, 38(2):402.
- [6] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968):1008-1010.
- [7] 尹微琴,王小治,王爱礼等. 太湖流域农村生活污水污染物排放系数研究——以昆山为例[J]. 农业环境科学学报. 2010, 29(7):1369-1373.
- [8] 陈烨,章彬. 基于水环境的城市设计——以南京淳化镇梅龙湖地区为例[J]. 中国园林. 2014(4):16-19.
- [9] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法. 第4版: 中国环境科学出版社, 2002.
- [10] 张科峰,李贺,傅大放. 南京市屋面雨水径流水质特性研究[C]. 既有建筑综合改造关键技术与示范项目交流会, 2010.
- [11] 廖晶新,施泽明,黄鹄飞等. 水体富营养化的来源、危害及治理研究[J]. 四川有色金属. 2012(3):46-48.
- [12] 盛东,徐兆安,高怡. 太湖湖区“黑水团”成因及危害分析[J]. 水资源保护. 2010.26(3):41-44.
- [13] 何流,陈文森,张超. 城市雨水径流污染控制研究[J]. 能源与环境. 2011(4):95-96.
- [14] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. GB 18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S]. 北京: 中国环境出版社, 2002.