

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2012.05.001

苏北平原河网区典型农村中小河流水体氮磷赋存特征

陆海明¹,陈晓燕¹,赵海涛²,邹 鹰¹,钱晓晴²

(1. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210029;
2. 扬州大学环境科学与工程学院,江苏 扬州 225009)

摘要:以苏北平原河网区的盐城市射阳县某个典型圩区(面积 12.73 km²)为例,通过连续 15 个月对圩区内沟渠河流水体采样分析,研究苏北平原河网区中小河流地表水氮磷赋存特征。结果表明:研究区域中小河流水体氮磷超标严重,水体处于富营养化状态。所有水样品总氮质量浓度均超过 GB 3838—2002《地表水Ⅲ类水质标准》($\rho=1.0\text{ mg/L}$),79% 的总氮质量浓度超过 V 类水质标准($\rho=2.0\text{ mg/L}$);73% 的总磷质量浓度超过Ⅲ类水体标准($\rho=0.2\text{ mg/L}$),39% 的样品超过 V 类水质标准。地表水氮素和磷素主要以溶解态形式存在;硝态氮是溶解态总氮主要赋存形态,相应的比例约为 60%,铵态氮比例最少,约为 10%;溶解态活性磷是溶解态磷素主要赋存形态,约为 80%。畜禽养殖相对集中区域地表水氮素和磷素浓度高于其他区域;中沟、干渠等小型河流水体在夏季存在水质分层现象。

关键词:平原河网;中小河流;地表水;氮;磷;苏北平原;苏北农村

中图分类号:X522 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-6933(2012)05-0001-06

Characteristics of nitrogen and phosphorus status of surface water in rural medium and small rivers in a plain river network region of North Jiangsu Province

LU Hai-ming¹, CHEN Xiao-yan¹, ZHAO Hai-tao², ZOU Ying¹, QIAN Xiao-qing²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;
2. College of Environmental Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: Nitrogen and phosphorus status of surface water in rural medium and small rivers in a plain river network region of North Jiangsu Province were investigated. A case study was conducted in a typical polder area with an area of 12.73 km² located in Sheyang County, in Yancheng City, through a continuous 15 months of sampling in rivers and ditches of the study area. The results show that the nitrogen and phosphorus contents in surface water of the study area significantly exceeded the national standard, and the surface water was in severe eutrophication status. Total nitrogen (TN) concentrations of the surface water samples were all beyond TN Category Ⅲ ($\rho=1.0\text{ mg/L}$) of the National Water Quality Standard (GB 3838—2002). 79% of the water samples exceeded the Category V standard ($\rho=2.0\text{ mg/L}$) in TN concentration. Seventy-three percent of the water samples exceeded the Category Ⅲ standard ($\rho=0.2\text{ mg/L}$) in total phosphorus (TP) concentration, and 39% of the water samples exceeded the Category V standard ($\rho=0.4\text{ mg/L}$) in TP concentration. TN and TP in the surface water samples mainly appeared in the dissolved form. Nitrate-N was the main type of the dissolved form, and ammonium-N appeared in the dissolved form in the lowest proportion. The proportions of nitrate-N and ammonium-N in the dissolved nitrogen were 60% and 10%, respectively. Dissolved reactive phosphorus, with a proportion of 80%, was the main form of dissolved phosphorus. The nutrient contents of surface water in densely-located livestock and poultry breeding areas were higher than those in other areas. There existed water-quality stratification in small rivers in summer.

Key words: plain river network region; medium and small rivers; surface water; nitrogen; phosphorus; North Jiangsu Plain; rural area in North Jiangsu Province

基金项目:国家自然科学基金(50809040);水利部公益性行业专项(201101031,201201026);南京水利科学研究院基本科研业务资助项目(Y50803)

作者简介:陆海明(1978—),男,博士,高级工程师,主要从事水环境保护与生态水利学研究。E-mail:cnlhm@126.com

近30 a来,我国农业生产快速发展,单位面积上化肥、农药、农膜等农用化学物品的投入持续增加,畜禽养殖业蓬勃发展。然而由于缺乏相应的管理措施,在许多相对发达的区域农村水环境已经呈现持续恶化趋势,严重影响到农村居民身心健康、饮水安全和农村生态环境质量^[14]。与山区河流区不同的是,平原河网区河流比降小,水体流速小,水流不畅,河流自净能力较差,污染物累积在河道中不易降解。目前,有关东部经济发达地区农村水环境研究报道较多,如太湖流域和杭嘉湖平原河网区^[5-11];而同样位于东部地区而经济相对欠发达的苏北平原河网区农村水环境的研究报道相对较少。笔者选择位于苏北平原河网区的盐城市射阳县一个典型圩区为代表性研究区域,通过对河流沟渠水质进行持续1 a多的监测分析,期望得到农村水体氮磷赋存特征,为农村水环境保护和水资源管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

苏北平原河网区通常是指江苏省长江以北、京杭大运河以东地区,气候湿润,多年平均降雨量为1 000 mm左右,年内分配不均,汛期降水集中,约占年降水量的65%。地面高程(废黄河高程)在0.8~2.2 m之间,属低平原区。2009年和2010年全年降水量分别为1 239 mm和774 mm。

区域内地势平坦,河网密布,水流流向逆顺不定,内外水量交换频繁,圩区产水和河网汇流情况十分复杂。水工建筑物众多,涵闸调节,机电灌排,人类活动影响频繁,水流情势大多由人为控制,水位变化平缓,为江苏主要的粮食、油料和商品棉生产基地。

本研究选择在通榆运河东侧、黄沙港和利民河之间属于里下河沿海垦区的典型沿海平原河网区——崇凤圩区为代表性研究区域(图1)。研究区域北以黄沙港、南以利民河、东以中心河、西以川沙河为界,基本呈长方形,面积为12.73 km²。该圩区隶属于盐城市射县长荡镇,主要包括胜利桥、甲侯和中河3个行政村的部分区域。研究区域北侧的黄沙港是里下河上游洪水入海和当地排水的重要通道,南侧的利民河则是当地排水入海的主要通道。黄沙港、利民河河底宽分别为50~90 m、10~60 m。中心河和川沙河是连接黄沙港河与利民河的支流,河底宽约为4 m。中沟是连接中心河与川沙河的次级支流,干渠则是连接中沟之间的骨干沟渠,圩区内农田排水首先进入中沟与干渠。中沟与干渠河底宽约为2 m。圩区内有东西向中沟10条,常年有水的南北向干渠12条;河道长度为38.59 km,密度为

3.03 km/km²,圩区内河道多为20世纪60—70年代人工开挖,形成“井”字形状的河道格局。在汛期,降水是当地河道水主要来源;在非汛期,河道水主要依赖于上游河流过境水资源补充。目前,沟渠河流因长期未及时清理,淤积严重,河道内水花生、水葫芦等杂草和居民生活垃圾等杂物丛生。当干旱年份春季用水高峰时期,部分河流水位明显下降,甚至出现河流断流现象。

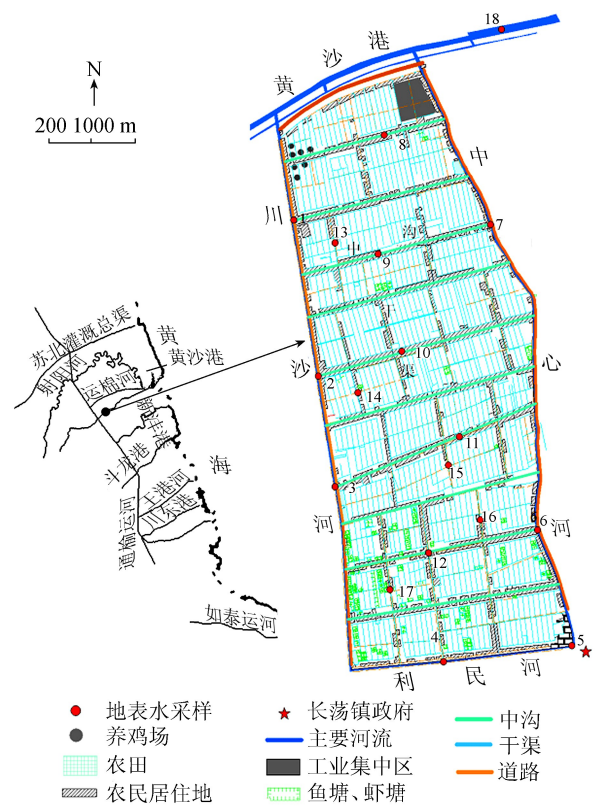


图1 研究区域及采样点分布示意图

圩区内常住人口约为6 500人,农村居民主要分散居住在中沟两侧,少部分居民分布在干渠两侧,在建房时通常将房屋地基垫高,高于圩区中间的农田,形成四周高中间低的格局。圩区内主要土地利用类型为耕地和农村住宅用地,在东北侧有少数几家小规模纺织厂,基本没有工业废污水排放。农业生产是当地的支柱产业,主要耕作方式为:棉花-大麦/小麦间套作和水稻-小麦/大麦/油菜轮作。水稻种植主要在部分靠近中沟和干渠、易于农户自行取水灌溉的少部分耕地进行,其余大部分耕地主要种植棉花、玉米、黄豆等旱地作物。

全年农田氮肥施用量约为600~800 kg/hm²(以N计),磷肥施用量约为225~300 kg/hm²(以P₂O₅计),属于化肥施用量较大地区。近几年来,在圩区西北侧建有几家大型蛋鸡养殖场,全年存栏量约为10万只,产生的鸡粪和冲洗废污水并没有得到妥善的无害化处理,部分直接排入或在汛期降雨时冲刷

进入沟渠。多年持续高强度的化肥和农药投入以及畜禽养殖业的兴起已经成为影响当地水环境质量的主要因素。

1.2 采样点布置和分析方法

如图 1 所示,在圩区共设置 18 个地表水采样点,其中川沙河 3 个,利民河 2 个,中心河 2 个,中沟 5 个,干渠 5 个,黄沙港 1 个。在 2009 年 4 月和 2009 年 7 月至 2010 年 9 月,每月 15 日前后,利用 2.5 L 有机玻璃水质采样器采集水样。除黄沙港外,每个采样断面采集 1 个水样,黄沙港在河流左岸、中泓和右岸分别采集 3 个水样混合为 1 个水样,采样深度均为水面下 0.5 m。在汛期适当加密采样。水样的采集、存贮和运输按 HJ 493—2009《水质采样样品的保存和管理技术规定》操作,及时送回实验室检测分析。

地表水样品分析指标选取氮素和磷素。氮素分析指标为总氮(TN),溶解态总氮(TDN,用 0.45 μm 滤膜过滤后的水样),硝态氮(NO₃⁻-N)和铵态氮(NH₄⁺-N)。总氮和溶解态总氮采用过硫酸钾消解(120 ℃,200 kPa,硝化 30 min),双波长比色法。经 0.45 μm 滤膜过滤后的水样用双波长比色法测定硝

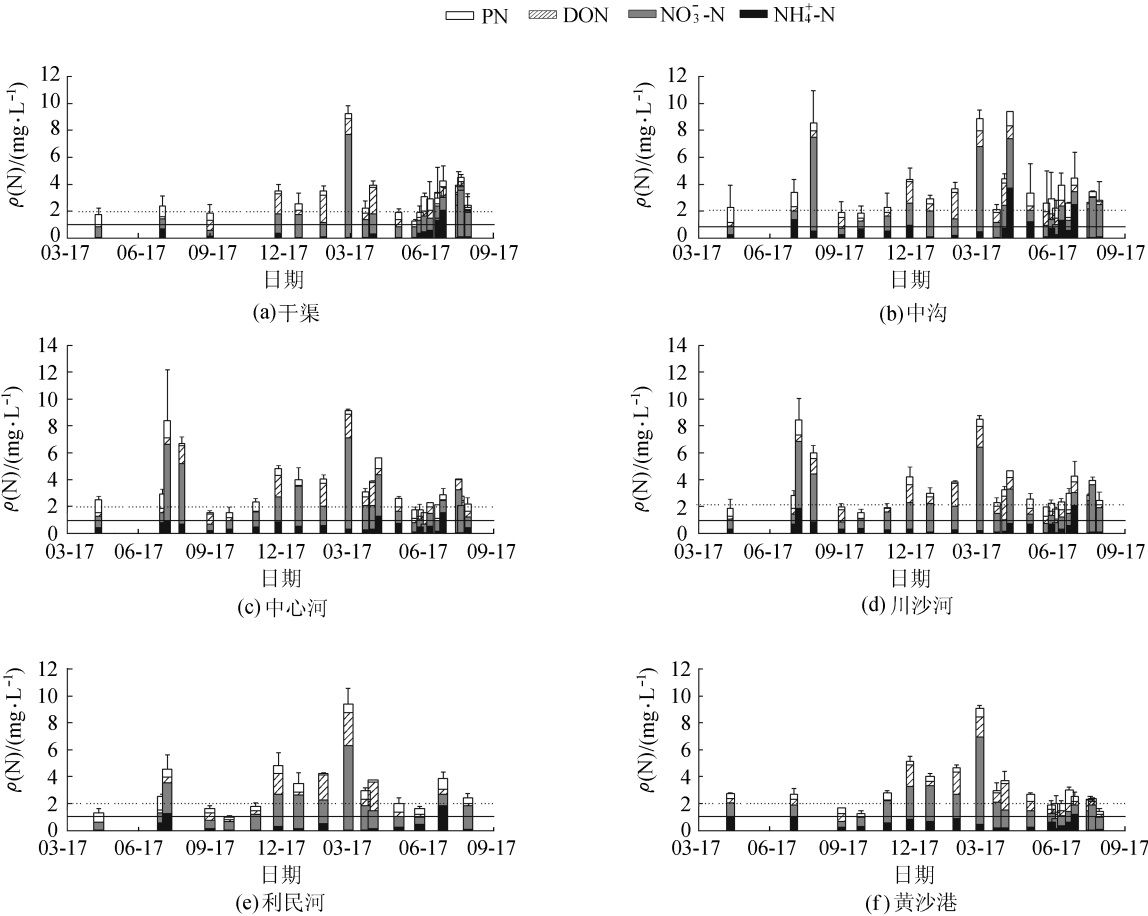
态氮(NO₃⁻-N),用靛酚蓝比色法测定铵态氮(NH₄⁺-N)。颗粒态氮(PN)为 TN 与 TDN 之差,DON = TDN - (NO₃⁻-N + NH₄⁺-N)。DON 为溶解态有机氮。磷素分析指标为总磷(TP)、溶解态总磷(TDP,用 0.45 μm 滤膜过滤后的水样)、溶解态活性磷(DRP)。TP 和 TDP 采用过硫酸钾消解(120 ℃,200 kPa,消解 30 min),采用钼锑抗比色法检测。经 0.45 μm 的滤膜过滤后的水样直接用钼锑抗比色法测定 DRP。颗粒态磷(PP)浓度为 TP 与 TDP 之差,溶解态非活性磷(DURP)为 TDP 与 DRP 之差。所有测定均按照标准方法进行^[12-13]。

为了研究河道地表水分层情况,在 2010 年 8 月中旬利用便携式多参数水质仪(DS5X,美国哈希公司生产)现场分层测定地表水 pH 值、溶解氧(DO)、氧化还原电位(ORP)等水质参数。

2 结果与分析

2.1 地表水氮磷浓度和形态时间变化特征

研究区域内河流沟渠地表水不同形态氮素质量浓度随时间变化规律如图 2 所示。总体来说,研究区域内地表水氮素污染较为严重,所有地表水总氮



注:图中虚线为 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中总氮和铵态氮Ⅴ类水质质量标准,实线为总氮和铵态氮Ⅲ类水质标准

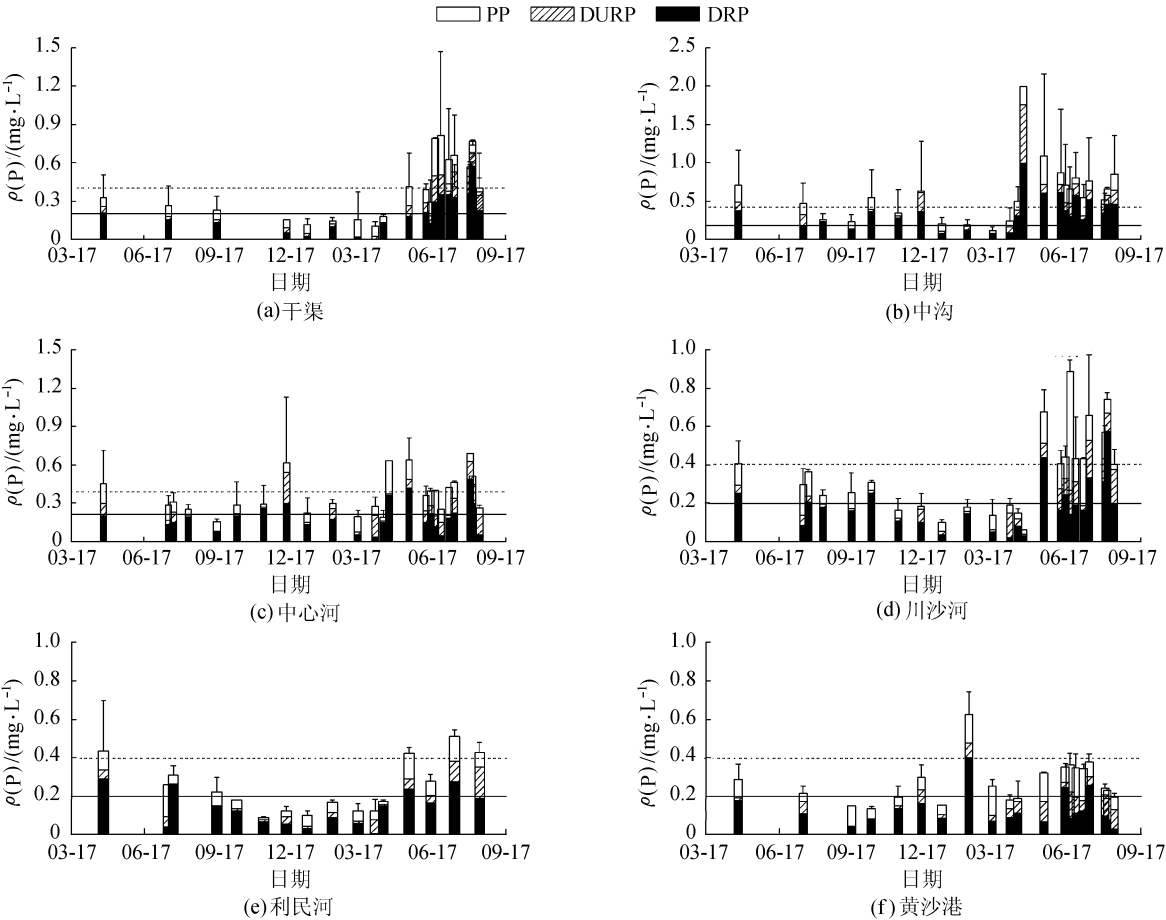
图 2 河流沟渠地表水不同形态氮素质量浓度随时间变化规律

浓度均超过 GB3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类水质标准($\rho=1.0\text{ mg/L}$),79%的地表水总氮浓度超过地表水Ⅴ类水质标准($\rho=2.0\text{ mg/L}$),23%的地表水总氮质量浓度高于 4.0 mg/L ,地表水总氮质量浓度最高达 9.4 mg/L 。春季枯水期和夏季汛期是地表水氮素浓度相对较高时期。2010年3月枯水季节河流地表水所有监测点总氮质量浓度均超过 8.0 mg/L ,2009年7月和8月中沟、中心河和川沙河总氮质量浓度高于 8.0 mg/L ,2010年7月与8月汛期地表水总氮质量浓度为 4.0 mg/L 左右。在2009年7月22—23日一次雨量达 165.3 mm 的较大降雨过程前后,分别测得川沙河、中心河、利民河的地表水总氮质量浓度分别为 2.89 mg/L 、 2.91 mg/L 、 2.55 mg/L 和 8.42 mg/L 、 8.39 mg/L 、 4.55 mg/L ,地表水总氮质量浓度普遍有所升高。

研究区地表水铵态氮质量浓度总体较低,只有9%的监测数据超过地表水Ⅲ类水质标准($\rho=1.0\text{ mg/L}$),只有3次监测数据超过地表水Ⅴ类水质标准($\rho=2.0\text{ mg/L}$),超标数据主要分布在2010年的汛期,以中沟采样点发生次数最多。可能与中沟两侧的居民生活污水排放有关。

研究区内河流沟渠地表水不同形态磷素质量浓度随时间变化规律如图3所示。研究区域内地表水磷素污染同样较为严重。所有监测数据中,73%的地表水总磷质量浓度超过地表水Ⅲ类水质标准($\rho=0.2\text{ mg/L}$),39%超过Ⅴ类水质标准。研究区域地表水总磷浓度汛期高于非汛期。利民河地表水总磷含量在枯水季节低于Ⅲ类水体质量标准,在汛期略高于Ⅴ类水体质量标准。中心河37.5%的地表水总磷浓度超过地表水Ⅴ类水质标准,87.5%超过Ⅲ类水质标准。在2010年汛期,干渠、中沟和川沙河地表水总磷质量浓度显著超过Ⅴ类水质标准,中沟地表水总磷质量浓度最高,部分采样时间段甚至超过 1.0 mg/L 。2010年汛期地表水总磷质量浓度超过2009年汛期,这可能与2010年汛期降雨偏少,对地表水磷素稀释作用较弱有关。

图4为研究区域内地表水氮素和磷素形态组成总体情况。地表水氮素主要以溶解态形式存在,溶解态总氮占总氮的比例超过80%,溶解态总氮又以硝态氮为主,硝态氮占溶解态总氮的比例约为60%,亚硝态氮和溶解的有机氮含量次之,占溶解态总氮的比例约为30%,铵态氮比例最少,占溶解态



注:图中虚线为 GB3838—2002 中总磷Ⅴ类水质量标准,实线为总磷Ⅲ类水质量标准

图3 河流沟渠地表水不同形态磷素质量浓度随时间变化规律

总氮的比例约为 10%。研究区域中地表水磷素主要以溶解态形式存在,颗粒态磷素占总磷的比例平均约为 25%,溶解态磷素主要以溶解态活性磷形式存在,所占比例约为 80%。

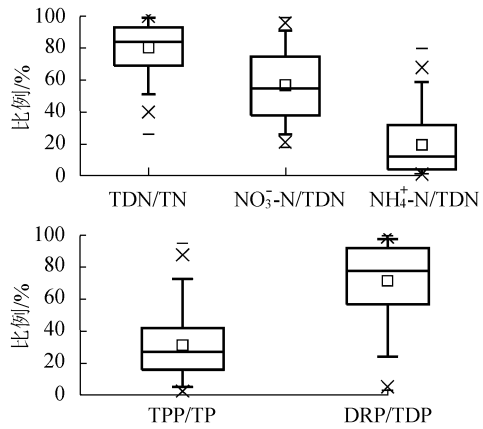


图 4 苏北河网区农村中小河流地表水氮素和磷素形态组成

2.2 地表水氮磷质量浓度空间分布特征

图 5 为研究期间各个采样点所有监测数据地表水氮素和磷素平均质量浓度空间分布图。研究区域内不同采样点地表水总磷质量浓度差异显著大于总氮质量浓度差异。地表水总氮平均质量浓度最高为 4.84 mg/L,最低为 2.91 mg/L,前者为后者的 1.66 倍;地表水总磷平均质量浓度最高为 1.10 mg/L,最低为 0.16 mg/L,前者为后者的 6.96 倍。总体来说,北部畜禽养殖相对集中区域地表水氮素和磷素质量浓度高于南部水产养殖相对集中的区域。在靠近养鸡场的 8 号采样点,地表水铵态氮比例最高,近 30%,其他采样点比例均未超过 16%。

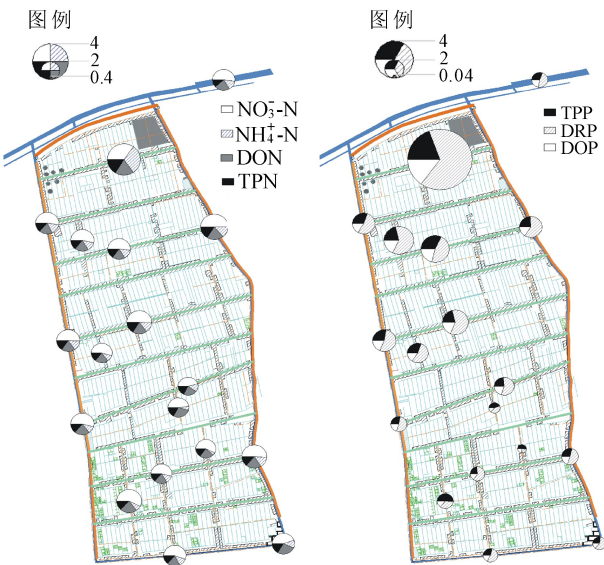


图 5 苏北河网区农村中小河流地表水氮素和磷素平均质量浓度空间分布

图 6 为 2009 年 7 月 18 日在中沟采集的离养鸡

场集中区域不同距离地表水氮素和磷素浓度。离养鸡场越近,河流地表水氮素和磷素浓度越高,受畜禽养殖污染的地表水氮素铵态氮比例越高;地表水溶解态活性磷 (DRP) 占总磷的比例并未随离开养鸡场的距离增加而变小,相应的比例基本不变。

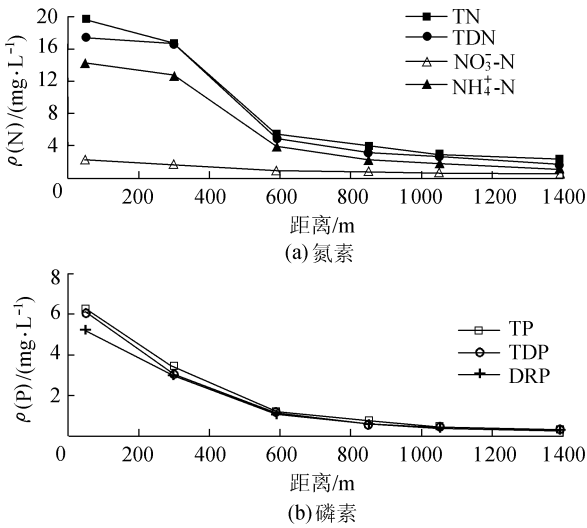


图 6 地表水氮素和磷素质量浓度与养鸡场距离的关系

2.3 小型河流夏季地表水水质分层现象

在夏季,部分污染严重、底泥长期未清淤的干渠和中沟等小型河流水体出现水质分层现象(图 7)。以 2010 年 8 月 10 日在 8 号采样点的水质数据为例,在水深约为 1.2 m 的河道内地表水 DO 质量浓度从表层的 0.3 mg/L 迅速下降到不足 0.05 mg/L,在水体底层 DO 质量浓度近乎为零。ORP 从表层到深层水体也几乎直线下降。pH 值从表层呈弱碱性到底层已经成为弱酸性,河道底质呈厌氧状态导致许多酸性物质累积,引起 pH 值下降。随着沟渠地表水深度的增加,氮磷浓度也相应地有所增加,特别是在沟渠底质和上覆水交界处氮磷浓度显著高于表层。由于河道长期未得到清理,河流已经严重淤积,淤积深度超过 0.5 m,部分河段甚至达到 1 m,底泥呈黑色,有明显的恶臭味。据调查,在苏北平原河网区大部分干渠、中沟以及像中心河、川沙河属于乡、镇地方管理的河道,通常要 10 ~ 15 a 才能够清淤 1 次;相比而言,受农田利用强度加大、垃圾填埋、入侵生物过度生长造成水体流动不畅等因素影响,河道淤积速度明显加快,河道清淤速度赶不上淤积速度。厚积的淤泥含有高浓度的氮磷可以通过扩散等途径进入上覆水体,水体下层还原性条件加剧了磷素的释放。平原河网区水体流速很慢,水体交换能力差,也是造成下层水体氮磷含量高于表层、出现只有深水型水库才具有的明显营养盐分层现象的重要原因。胡雪峰等^[7]在对上海市郊区河流水质研究时

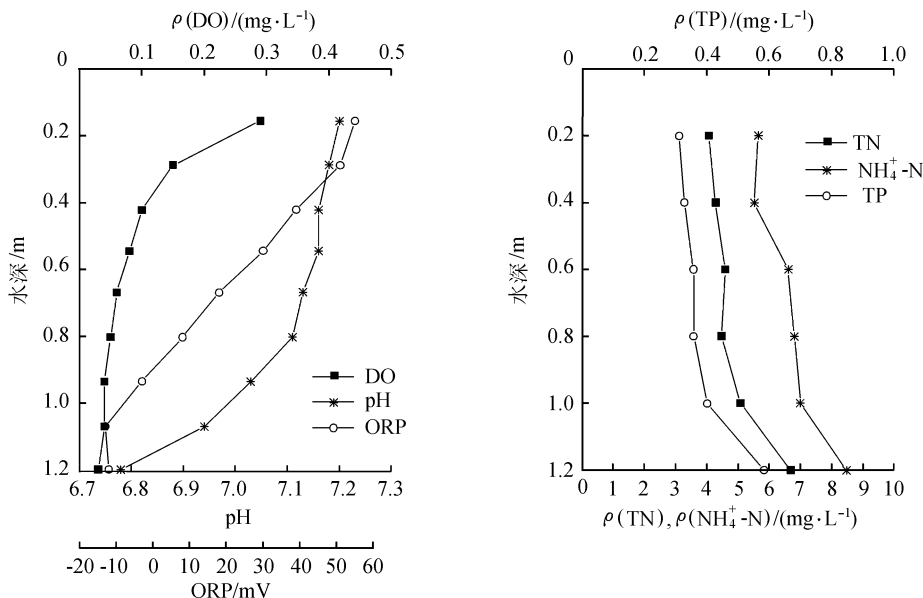


图7 苏北河网区农村小型河流地表水水质分层现象

同样发现夏季上海市郊中小河流存在水质分层现象。

3 结 论

研究区域中小流水体氮磷超标严重,水体处于严重富营养化状态。所有地表水总氮质量浓度均超过Ⅲ类水质标准($\rho=1.0\text{ mg/L}$),79%的总氮质量浓度超过Ⅴ类水体质量标准($\rho=2.0\text{ mg/L}$)。地表水氮素主要为溶解态,溶解态总氮以硝态氮为主,铵态氮比例较少。监测数据中,73%的总磷质量浓度超过Ⅲ类水质质量标准($\rho=0.2\text{ mg/L}$),39%超过Ⅴ类水质质量标准,地表水磷素主要为溶解态磷素,溶解态磷素主要为溶解态活性磷。畜禽养殖相对集中区域地表水氮素和磷素浓度高于其他区域;规模较小的河流地表水氮磷浓度总体高于规模较大的河流。中沟干渠等小型河流存在地表水水质分层现象。

致谢:在样品分析过程中得到扬州大学狄霖同学和盛海君老师的大力帮助,文章初稿得到盐城工学院付强老师的修改和润色,在此表示感谢。

参考文献:

[1] 沙鲁生. 农村饮用水水源地安全保障与水污染防治[J]. 中国水利,2009(11):26-28.

[2] 李贵宝,周怀东,王东胜. 我国农村水环境及其恶化成因[J]. 中国水利,2003(14):47-48.

[3] 叶春. 从太湖地区看中国农村水污染[J]. 环境保护,2007(19):42-44.

[4] 杨继富,李久生. 改善我国农村水环境的总体思路和建议[J]. 中国水利,2006(5):21-23.

[5] 何晓云,胡晔. 太湖流域杭嘉湖地区地面水环境质量分

析[J]. 环境污染与防治,2000(6):33-35.

[6] 胡雪峰,许世远,陈振楼,等. 上海市郊中小河流水污染现状及对策[J]. 农业环境保护,2002(3):204-207,231.

[7] 胡雪峰,许世远,陈振楼,等. 上海市郊中小河流氮磷污染特征[J]. 环境科学,2001,22(6):66-71.

[8] 胡雪峰,高效江,王少平,等. 上海市郊中小河流夏季水污染特征研究[J]. 长江流域资源与环境,2001,10(5):448-453.

[9] 沃飞,陈效民,吴华山,等. 太湖流域典型地区农村水环境氮、磷污染状况的研究[J]. 农业环境科学学报,2007,26(3):819-825.

[10] 周顺,陶建国. 苏南农村水环境改善初探[J]. 中国农村水利水电,2005(7):24-25.

[11] ZHANG Q L, SHI X Z, HUANG B, et al. Surface water quality of factory-based and vegetable-based peri-urban areas in the Yangtze River delta region, China [J]. Catena,2007,69(1):57-64.

[12] APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater [M]. 18 ed. Washington D C: American Water Works Association, 1985:373-412.

[13] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990.

(收稿日期:2011-08-18 编辑:高渭文)