

平原河网地区农村面源污染重点源和区的识别筛选 ——以上海青浦区为例

郭春霞

(上海市环境科学研究院, 上海 200233)

摘要:以地处平原河网地区的上海市青浦区为研究对象,通过清单分析方法和等标污染负荷法,以乡镇为单元研究了种植业、畜禽养殖、水产养殖和农村生活污水等农村面源污染来源,以及化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)等污染物的排放量及其贡献率,并以青浦区水环境功能区划地表水环境质量标准为基准,评价及识别筛选了该区域农村面源污染主要来源及其重点区域。研究表明,青浦区农业面源污染 COD、TN、TP 实物排放量分别为 2.68×10^3 、 0.85×10^3 、 $0.11 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$,主要污染源为种植业,其等标污染负荷比达到 53.07%,主要污染物为 TN,其等标污染负荷比达到 59.92%。通过农业面源污染排放强度分析,确定青浦区农业面源污染程度较重的乡镇主要为练塘镇、白鹤镇和金泽镇,建议在青东地区以农村生活污水处理和畜禽养殖污染治理为重点、在青西地区以种植业面源污染防治为重点,针对性地开展农村面源污染综合防治工作。

关键词:农村面源;等标污染负荷;平原河网区;重点源识别

中图分类号:X522 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2011)08-1652-08

Identification of Critical Sources and Areas of Rural Non-point Source Pollution in the Plain River Network Area: A Case Study of Qingpu, Shanghai, China

GUO Chun-xia

(Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China)

Abstract: In the economic developed plain with river network, the rural non-point source pollutions gradually become the primary pollutants' sources of chemical oxygen demand(COD), total nitrogen(TN) and total phosphorus(TP), under the circumstance that the industrial point sources had been strictly controlled. For the purpose of establishing an identification method for the critical sources and areas of rural non-point source pollutions in these areas, this study took Qingpu District in Shanghai as the study area, and the inventory analysis method and equivalent standard method were conducted to determine the discharge amounts and contribution rates of COD, TN and TP from different types of rural non-point source pollutions, including crop farming, animal husbandry, aquaculture and rural sewage. The main sources and areas of rural non-point source pollutions were evaluated and identified based on the water quality standards of water environment function zoning of Qingpu District. The results indicated that, the absolute discharge amounts of COD, TN and TP from rural non-point source pollutions were 2.68×10^3 、 0.85×10^3 、 $0.11 \times 10^3 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1}$ respectively. The primary source was crop farming, whose load ratio in equivalent standard reached 53.07%, and the primary pollutant was TP, whose load ratio in equivalent standard reached 59.92%. From the point view of town-based pollution stress, Liantang town, Jinze town and Baihe town had borne more severe rural non-point source pollutions. Therefore, the corresponding measures of rural non-point source pollution control should be implemented, including rural sewage treatment and animal husbandry pollution control in East Qingpu, and plantation pollution control in the West Qingpu.

Keywords: rural non-point source pollution; equivalent standard pollution load; plain river network area; critical sources identification

在城镇生活和工业点源污染得到有效控制后,面源污染造成的水环境问题日益突出,由农业生产和农

村生活引起的面源污染在相当长的时期内已成为制约农业可持续发展和农村水环境质量改善的重要因素。与点源污染相比,农村面源污染具有形成过程随机性大、影响因子多、分布范围广、潜伏周期长、危害大等特点,且具有潜在性、复杂性和隐蔽性,因此面源污染研究和评价具有较大的难度^[1]。

收稿日期:2011-05-03

基金项目:上海市科委科技支撑计划项目(08DZ1203205)

作者简介:郭春霞(1976—),女,浙江舟山人,工程师,主要从事农业面源污染防治研究工作。E-mail:guocx@saes.sh.cn

平原河网地区是河流高度发育并受到城市化深刻影响的区域,且大都为经济较为发达的地区,农业生产复种指数高、化肥投入量大,近郊村镇工业发展迅速,外来务工人员集聚,因此呈现了传统农业生产方式和现代经济发展模式的相互交织,造就了其相比于其他地区更为复杂多变的农村面源污染特征,且纵横密布的河流也使得水环境对面源污染的响应更为显著和敏感^[2]。近年来大量学者对太湖^[3-4]、淮河^[5]及其他流域^[6-8]的平原河网地区农业面源污染进行了深入研究,报道了来源于农业面源污染的总磷和总氮对太湖流域的贡献率已超过来自工业和城市生活的点源污染^[9-11],国外研究也证实了面源污染对多数湖库的贡献率超过了50%^[12]。但在这些区域的面源污染防治过程中,往往由于污染问题新旧交织、错综复杂且缺乏深入研究,难以准确把握其污染特征,从而导致实际治理工作中所采取的对策措施较为盲目和缺乏针对性,对这些区域的水环境保护和面源污染控制造成了一定的难度。

青浦区作为平原河网经济发达地区,既有城市化程度较高的青东地区,又有受水环境制约、农业发达的青西地区,其特殊的地理位置和发展状态,形成目前东西部差异较大且各有特点的农业面源污染分布

格局。本文以青浦区为例,根据其特殊的农业面源污染特征,通过清单分析法和等标污染负荷法^[13-16],在乡镇尺度上核算了青浦区农村面源污染各类污染源及其污染负荷,并利用GIS探讨了面源污染空间分布强度,以期为该区域在有限的资金及时间情况下重点开展农村面源污染治理工作提供决策依据,并为其他平原河网经济发达类似地区农村面源污染重点源、区的识别筛选提供参考借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

青浦区地处上海市西郊,太湖流域下游,其特殊的地理位置形成了平原河网经济发达地区特有的农村经济产业结构特点。全区总面积为668.49 km²,共有11个乡镇。根据青浦区水环境功能区划,全区划分为青东地区和青西地区。其中,约占总面积50%的3镇(朱家角镇、练塘镇和金泽镇)处于黄浦江上游水源保护区内,水环境执行Ⅱ类水功能区标准,被划分为青西地区;其他乡镇水环境执行Ⅳ类水功能区标准(图1、表1),靠近虹桥开发区,属于上海近郊经济相对发达地区,被划分为青东地区。

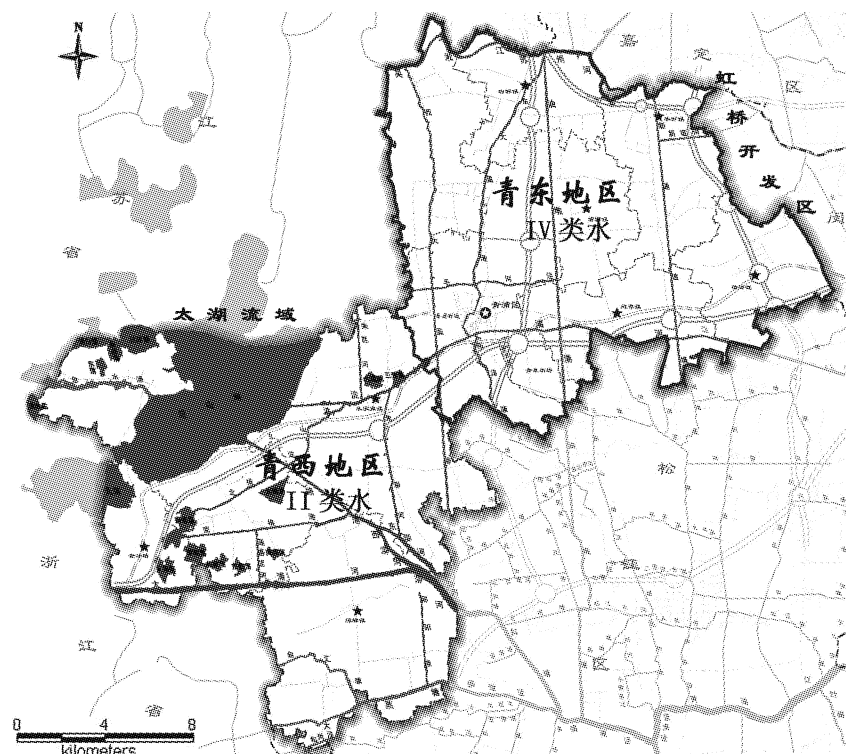


图1 青浦区水功能区划图

Figure 1 Zoning of water environmental function in Qingpu Area

表 1 青浦区地表水环境功能区标准限值(mg·L⁻¹)

Table 1 Environmental quality standards for surface water in Qingpu area(mg·L ⁻¹)			
分类	总氮(以 N 计)	总磷(以 P 计)	化学需氧量(COD)
Ⅱ类	0.5	0.1	15
Ⅳ类	1.5	0.3	30

1.2 数据采集

以乡镇为尺度,2009 年为基准年,分类收集各项农事活动与人居活动涉及到的原始数据。所有数据来

源于青浦区统计年鉴和青浦区环保局组织各乡镇开展的农村主要环境问题调查工作基础数据(表 2),用于污染负荷核算所需的参数参考了国内相关文献报道数据(表 3)。

1.3 排放负荷核算

采用清单分析法和等标污染负荷法,核算禽畜养殖、水产养殖、种植业、农村生活污水 4 方面污染源的 COD、TN、TP 的排放负荷。由于青浦郊区所有农村生活垃圾都已通过“村收集、镇转运、区处理”的方式进

表 2 研究区域基本概况

Table 2 Basic characteristics of studied area

乡镇	面积/km ²	农村常住人口/人		种植面积/hm ²			畜禽养殖/头、羽			水产养殖/hm ²		
		户籍人口	外来人口	蔬菜	粮食	瓜果	生猪	奶牛	禽类	鱼类	虾类	蟹类
徐泾	38.54	1 713	85 391	—	—	—	—	—	—	35	—	—
赵巷	27.04	8 122	40 154	—	—	—	7 358	—	46 884	83	78	—
华新	47.61	31 491	63 169	400	654	101	1 555	—	—	—	—	—
重固	24.01	9 466	11 787	233	700	—	—	—	—	60	37	—
白鹤	58.74	26 574	31 798	2 662	2 218	1153	24 524	320	36 000	55	7	—
香花桥	68.08	16 240	85 836	138	2 729	59	26 262	868	82 000	38	13	8
夏阳	48.80	9 461	36 563	236	197	43	3 521	180	11 600	61	37	—
盈浦	16.52	2 199	40 834	13	302	13	12 205	236	3 900	55	11	—
金泽	108.42	53 839	19 721	164	1 627	79	105	—	45 786	306	1 117	88
练塘	93.88	44 514	17 263	2 250	2 929	134	8 706	—	28 958	178	771	13
朱家角	136.85	39 000	38 013	960	2 336	402	—	—	—	260	260	306
合计	668.49	242 619	470 529	7 057	13 691	1 984	84 236	1 604	255 128	1 132	2 329	415

注:乡镇面积数据来源于统计年鉴,其他数据均来自于青浦区农村主要环境问题调查工作课题基础数据,其中畜禽养殖数包括规模化养殖数量和散养数量。

表 3 各污染物污染参数表

Table 3 Parameter list of various pollutants

污染源	影响参数	类型	COD	TN	TP
畜禽养殖	畜禽粪便中污染物平均含量 ^[17] /kg·t ⁻¹	牛粪	31.00	4.37	1.18
		牛尿	6.00	8.00	0.40
		猪粪	52.00	5.88	3.41
		猪尿	9.00	3.30	0.52
		鸡粪	45.00	9.84	5.37
水产养殖	水产养殖流失系数/g·hm ⁻² ·a ⁻¹	鱼类	882.67	33.33	9.33
		蟹类	1 157.33	50.00	26.67
		虾类	1 326.00	36.00	18.67
种植业	农田肥料氮磷流失系数/g·hm ⁻² ·a ⁻¹	水田	—	66.67	3.33
		旱地	—	63.33	10.67
		园地	—	88.67	7.33
		茭白水稻轮作 ^[18]	—	599.33	6.67
		茭白单作 ^[18]	—	394.00	4.67
生活污水	太湖流域平原河网区农村生活污水产污系数/g·人 ⁻¹ ·d ⁻¹		54.51	8.09	0.87

注:水产养殖业、生活污水及种植业(水田、旱地和园地)产排污系数均来自于 2008 年全国污染源普查产排污系数,畜禽养殖业产排污系数来自于环保总局公布的数据,种植业(茭白水稻轮作和茭白单作)产排污系数来自于反映该区域种植业面源污染特征研究结果相关的文献。

行集中收集处置，故在此不计算生活垃圾污染排放量。主要核算指标有实物排放量、相对排放量、等标排放量和污染排放强度。

1.3.1 农村面源污染绝对实物排放量的核算

种植业污染排放量=种植面积×污染物流失系数
畜禽养殖污染排放量=养殖总量×粪污排泄系数×粪便中污染物平均含量×(1-粪污处理利用率)
水产养殖污染排放量=养殖总量×污染物流失系数
生活污水污染排放量=(农村户籍人口+农村外来人口)×农村生活污水产生量产污系数×污染物产污系数

1.3.2 农村面源污染相对排放量的核算

地均污染物排放量=污染物排放量/镇域面积
人均污染物排放量=污染物排放量/镇农村常住人口数量

1.3.3 农村面源污染等标排放量的核算

污染物等标排放量=污染物绝对实物排放量/基于水环境功能分区的水质控制类别标准值(地表水环境质量标准 GB 3838—2002)。

1.3.4 农村面源污染排放强度的核算

农村面源污染排放强度=污染物等标排放量/镇域面积

2 结果与分析

2.1 青浦区农村面源污染实物排放量及人均、地均排放量

青浦区农村面源污染实物排放量及人均、地均排放量见表 4 和表 5。从表 4 中可以看出,青东地区除了白鹤和香花桥镇由于畜禽养殖业发达,农村面源污染实物排放总量较大,其他各镇由于农业生产用地面

表 4 青浦区农村面源污染实物排放量						
Table 4 Discharge amount of ANPSP in Qingpu Area						
乡镇	实物排放量/t·a ⁻¹			排放比例/%		
	COD	TN	TP	COD	TN	TP
徐泾	120.01	17.03	1.88	4.48	2.00	1.65
赵巷	165.34	24.29	6.01	6.17	2.85	5.28
华新	122.78	35.78	3.54	4.58	4.20	3.11
重固	65.18	21.65	2.69	2.43	2.54	2.36
白鹤	479.07	184.16	36.72	17.87	21.64	32.20
香花桥	357.85	106.36	19.10	13.35	12.50	16.75
夏阳	109.67	23.80	4.30	4.09	2.80	3.77
盈浦	101.65	18.45	2.90	3.79	2.17	2.54
金泽	523.42	63.68	10.24	19.52	7.48	8.99
练塘	417.18	279.47	18.39	15.56	32.83	16.13
朱家角	219.22	76.54	8.25	8.18	8.99	7.23
合计	2 681.39	851.21	114.01	100	100	100

表 5 青浦区人均、地均农村面源污染实物排放量						
Table 5 Discharge amount of ANPSP in Qingpu Area						
乡镇	人均污染物排放量/t·万人 ⁻¹			地均污染物排放量/kg·km ⁻²		
	COD	TN	TP	COD	TN	TP
徐泾	13.78	1.96	0.22	3.11	0.44	0.05
赵巷	34.25	5.03	1.25	6.11	0.90	0.22
华新	12.97	3.78	0.37	2.58	0.75	0.07
重固	30.67	10.18	1.27	2.71	0.90	0.11
白鹤	82.07	31.55	6.29	8.16	3.14	0.63
香花桥	35.06	10.42	1.87	5.26	1.56	0.28
夏阳	23.83	5.17	0.93	2.25	0.49	0.09
盈浦	23.62	4.29	0.67	6.15	1.12	0.18
金泽	71.16	8.66	1.39	4.83	0.59	0.09
练塘	67.53	45.24	2.98	4.44	2.98	0.20
朱家角	28.46	9.94	1.07	1.60	0.56	0.06
平均	37.60	11.94	1.60	4.01	1.27	0.17

积较少,农村面源污染实物排放总量相对较低;而青西地区 3 镇处于黄浦江上游水源保护区内,限制发展工业企业,禁止规模化畜禽养殖,农业以水田种植和水产养殖为主,农村面源污染实物排放较大,且其面源污染特征与其他文献报道的种养结构类似地区基本一致^[9]。从各乡镇人均和地均面源污染实物排放量来看(表 5),人均排放量较高的是白鹤镇、金泽镇和练塘镇,其中白鹤镇人均 COD 及 TP 实物排放量最大,分别达到 82.07、6.29 t·万人⁻¹,练塘镇人均 TN 实物排放量最大达 45.24 t·万人⁻¹,这与 3 镇农村面源污染实物排放量大有关;而地均排放量较高的是白鹤镇、练塘镇和盈浦镇,白鹤镇地均 COD、TN 及 TP 实物排放量为全区 11 个乡镇中最大,实物排放量分别达到 8.16、3.14 kg·km⁻² 及 0.63 kg·km⁻²,盈浦镇是青浦区面积最小的乡镇,故其地均排放量仅次于白鹤和练塘镇。

2.2 青浦区农村面源污染等标排放量及等标污染负荷比

由于青浦区各镇所处的水环境功能区划不同,相对应的污染物排放标准有所区别,因此为在同一尺度上对各种污染物排放量进行比较,在解析污染源时引入等标排放量。根据上海市水环境功能区划,青浦区金泽镇、练塘镇和朱家角镇地处黄浦江二级水源保护区内,其水质控制标准执行Ⅱ类标准,其他各镇执行Ⅳ类水质标准,由此计算得到青浦区主要污染源和主要污染物的等标污染负荷比。根据青浦区农村面源污染不同污染源和污染物的等标负荷比可以看出(表6),青浦区农村面源污染的主要污染源依次是种植业污染、畜禽养殖污染、农村生活污水污染和水产养殖污染,其

表 6 青浦区农村面源污染等标负荷比
Table 6 Pollutant loading of ANPSP in Qingpu Area

污染源	等标负荷比/%			
	COD	TN	TP	合计负荷比
种植业	—	42.24	10.82	53.07
畜禽养殖	1.59	7.11	11.90	20.60
水产养殖	3.09	2.80	6.38	12.27
农村生活污水	2.13	7.77	4.18	14.06
合计负荷比	6.81	59.92	33.28	100

等标污染负荷比分别达到了 53.07%、20.60%、14.06% 和 12.27%，最主要污染物依次是 TN 和 TP，其等标污染负荷比分别达到了 59.92%和 33.28%。由此可见，青浦地区农村面源污染以氮素污染为主，因此整个区域农村面源污染的控制重点是减少 TN 流失，这与太湖流域相关研究文献报道一致^[20-21]。

2.3 青浦区农村面源污染区域空间特征分析

为了直观地反映青浦区各乡镇农村面源污染的区域分布特征，运用 GIS 技术，通过计算青浦区各乡镇基于镇域面积的农村面源污染物和污染源排放强度，研究乡镇尺度的农村面源污染空间分布(图2)。结果表明，农村面源污染等标排放强度最大的为练塘镇

镇，其次为白鹤镇，主要的污染因子为 TN 和 TP。

依据农村面源污染等标排放强度，研究青浦区农村面源污染空间分布(图 3)。从整个青浦区的空间格局中可以看出，靠近虹桥中心枢纽的徐泾镇、华新镇工业经济比较发达，农业生产所占的比重较小，其农村面源污染面积较小；白鹤镇畜禽养殖业规模大，种植业面积广，单位面积农村面源污染排放强度仅次于练塘镇；香花桥镇由于畜禽养殖规模化经营相对集中，畜禽散养户量大面广，畜禽养殖业污染严重；而处于黄浦江二级水源保护区内的金泽镇和练塘镇水环境功能分区要求达到Ⅱ类水质标准，其中练塘镇内现存 1 333 hm² 茭白田，根据青西地区水生经济作物流失系数的研究报道^[18]，茭白种植模式氮磷流失负荷为水稻种植模式的 2~3 倍，由此引起的面源污染更为严重。

基于镇域的农村面源污染等标排放强度，分区域识别农村面源污染空间分布(图 4)。由此可以看出，青东地区污染源等标排放强度最高为畜禽养殖业（占 48.5%），主要分布在白鹤镇和香花桥镇，其次为农村生活污水（占 30.2%），主要分布在徐泾镇和华新镇；而青西地区污染源等标排放强度最大比重为种植业

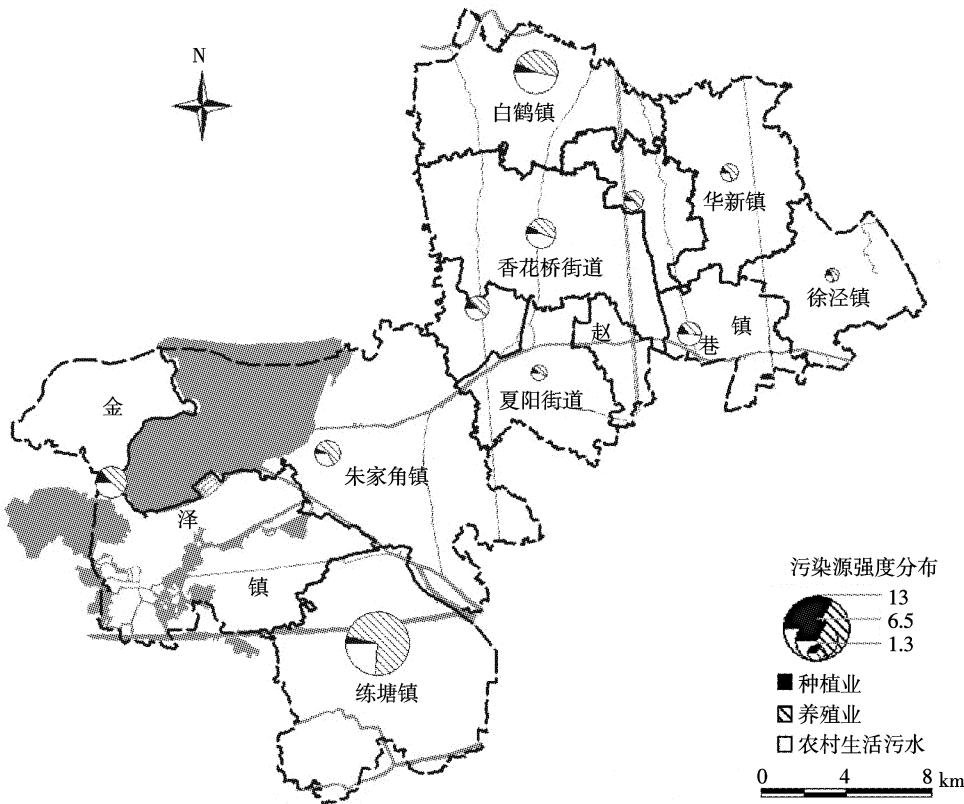


图 2 青浦区农村面源污染物排放强度
Figure 2 The pollutant emission intensity of ANPSP in Qingpu Area

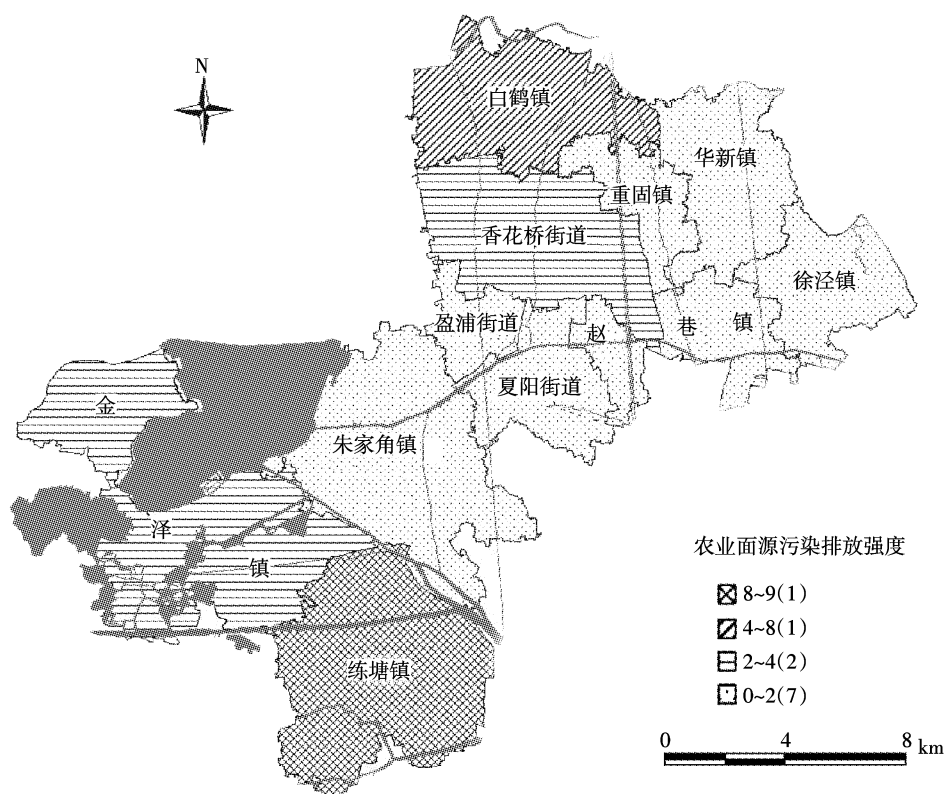


图3 青浦区农村面源污染源排放强度空间分布

Figure 3 Spatial distribution of emission intensity of ANPSP in Qingpu Area

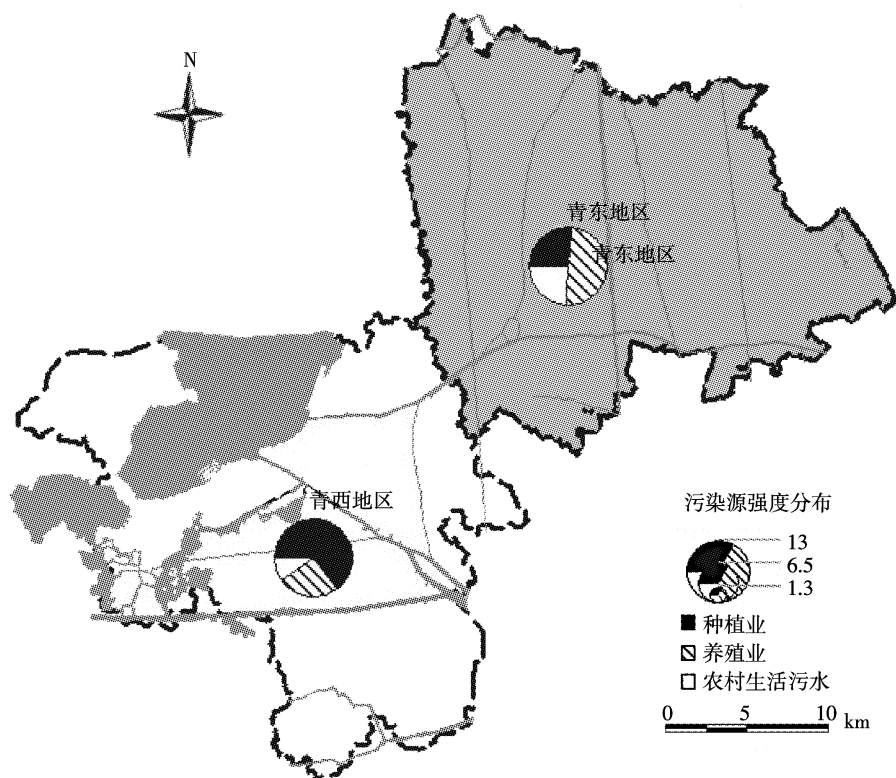


图4 青浦区农村面源污染源排放强度

Figure 4 Pollutant source emission intensity of ANPSP in Qingpu Area

(占65.1%),主要分布在练塘镇和金泽镇。综上所述,由于全区所有规模化畜禽养殖场及大部分畜禽散养户集中分布在青东地区,加上散养户畜禽粪便处理利用率普遍偏低,故畜禽养殖业等标排放强度最高;此外,青东地区经济发达,由于城镇居住成本过高,外来人口多分布于工业集中区附近的村落中,过度密集的人口产生大量的生活污水,远超出了村落的环境承载力,生活污水等标排放强度仅次于畜禽养殖业。而青西地区由于种植业面积大,水生经济作物种植面积广,其污染物排放量大,故种植业等标排放强度最高。

因此,青东地区重点从畜禽养殖污染治理和农村生活污水处理出发,在畜禽养殖业污染严重的白鹤镇和香花桥镇开展规模化畜禽养殖场粪便污染治理工作,而在外来务工人员集聚、农村生活污水污染严重的徐泾镇和华新镇,开展农村生活污水收集与处理工作;在青西地区,着重从种植业面源污染防治出发,在种植业面源污染严重的练塘镇和金泽镇开展种植业面源污染治理工作。

3 讨论

青浦区农业面源污染主要污染源为畜禽养殖污染和种植业污染,主要污染物为TN,水产养殖污染所占比例相对较低,这与文献报道的太湖流域其他地区以水产养殖污染为主有所不同^[22]。而与整个上海市农业面源污染主要污染源^[13]相比,青浦区农业面源污染属于生产型污染,其农村生活污水污染负荷比有所下降,而水产养殖污染负荷所占比例上升。因此,整个青浦区农业面源污染防治的重点在于推进农业种养结合循环利用,确保资源的合理利用。在畜禽养殖业污染防治上需加快标准化畜禽养殖场的建设,提高整个畜禽养殖业粪污资源化利用率;在种植业污染防治上需降低农用化学品用量,推广有机肥的施用;在农村生活污水污染防治上必须解决农村常住人口的生活污水处理问题,从而有效减少氮磷污染物的排放。

本文在核算分析青浦区农业面源污染源污染物排放量时,虽然考虑了种植业、畜禽养殖业、水产养殖业和农村生活污水等主要污染来源以及COD、TN和TP等主要污染物,但由于部分数据资料的缺失,农村地表径流、作物秸秆等污染源以及农药、重金属等污染物并未纳入其中,需要在今后的工作中进一步研究;此外,本文分析数据均来自统计年鉴、调查数据及其他参考文献,缺乏典型区域的水质监测数据作为

支撑,在重点源、区的筛选识别中还存在一定的不确定性。因此,今后应从细化污染源和污染物、完善环境监测体系等方面,进一步研究农业面源污染的主要来源及其对当地水环境的影响程度。

4 结论

(1)采用清单分析方法和等标污染负荷法,基于青浦区水环境功能区划地表水环境质量标准,计算得到青浦区农村面源污染各类污染源的等标排放量。从青浦区农村面源污染不同污染源和污染物的贡献率可以得出,青浦区农村面源污染的主要污染源依次是种植业污染、畜禽养殖污染、农村生活污水污染和水产养殖污染,主要污染物为TN。

(2)通过分区识别青浦区农村面源污染空间分布,筛选得出青东地区应着重开展规模化畜禽养殖场粪便污染治理工作及农村生活污水收集与处理工作,治理的重点乡镇为白鹤镇和香花桥镇、徐泾镇和华新镇;青西地区应着重开展种植业面源污染治理工作,治理的重点乡镇为练塘镇和金泽镇。

(3)本研究所建立的平原河网经济发达地区农村面源污染重点源和区的识别筛选方法,可以为其他平原河网经济发达类似地区重点开展农村面源污染治理工作提供参考依据。

参考文献:

- [1] 张维理,徐爱国,冀宏杰,等.中国农村面源污染形势估计及控制对策Ⅲ.中国农村面源污染控制中存在问题[J].中国农业科学,2004,37(7):1026-1033.
ZHANG Wei-li, XU Ai-guo, JI Hong-jie, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies Ⅲ. A review of policies and practices for agricultural non-point source pollution control in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1026-1033.
- [2] 李 卉,苏保林.平原河网地区农业非点源污染负荷估算方法综述[J].北京师范大学学报(自然科学版),2009,45(5/6):662-666.
LI Hui, SU Bao-lin. Estimation methods of agricultural non-point source pollution in plain river network area: A review[J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2009, 45(5/6):662-666.
- [3] 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.
WO Fei, CHEN Xiao-min, WU Hua-shan, et al. Pollution situation of nitrogen and phosphorus in rural water environment in typical region of Tai Lake[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(3):819-825.
- [4] 李恒鹏,杨桂山,黄文钰,等.太湖上游地区面源污染氮素入湖量模拟研究[J].土壤学报,2007,44(6):1063-1069.
LI Heng-peng, YANG Gui-shan, HUANG Wen-jue, et al. Simulating fluxes of non-point source nitrogen from upriver region of Taihu Basin [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(6):1063-1069.
- [5] 唐莉华,张思聪,吕贤弼,等.南水北调东线工程淮河流域段农业面

- 源污染负荷估算[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1437-1441.
- TANG Li-hua, ZHANG Si-cong, LU Xian-bi, et al. Estimation of agricultural nonpoint source pollution loads of the Huai River basin in the east line of south-to-north water diversion project [J]. *Journal of Agro-environmental Science*, 2008, 27(4): 1437-1441.
- [6] 王继增, 万洪富, 吴志峰, 等. 小流域非点源污染负荷流失特征监测研究: 以广东省珠海正坑小流域为例 [J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 56-59.
- WANG Ji-zeng, WAN Hong-fu, WU Zhi-feng, et al. Monitoring on loss characteristics of non-point source pollutants: A case study at Zhengkeng Watershed in Zhuhai City of Guangdong Province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2003, 23(1): 56-59.
- [7] 周军, 叶珍, 马云, 等. 牡丹江流域农业面源污染特征及防治对策研究[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(2): 46-48.
- ZHOU Jun, YE Zhen, MA Yun, et al. Research on the characters of agricultural non-point pollution and control counter measures in Mudan River Basin[J]. *Environmental Science and Management*, 2011, 36(2): 46-48.
- [8] 陈超, 黄东风, 邱孝煊, 等. 闽江中上游流域农业面源污染调查评估及其防治技术探讨[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 368-374.
- CHEN Chao, HUANG Dong-feng, QIU Xiao-xuan, et al. Survey and evaluation of agricultural non-point source pollution and prevention and cure countermeasures in middle and upper of Minjiang Drainage Area [J]. *Journal of Agro-environmental Science*, 2007, 26(suppl): 368-374.
- [9] 张维理, 徐爱国, 冀宏杰, 等. 中国农村面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农村面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008-1017.
- ZHANG Wei-li, XU Ai-guo, JI Hong-jie, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21 century[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7): 1008-1017.
- [10] 程波, 张泽, 陈凌, 等. 太湖水体富营养化与流域农业面源污染的控制[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(增刊): 118-124.
- CHENG Bo, ZHANG Ze, CHEN Ling, et al. Eutrophication of Taihu Lake and pollution from agricultural non-point sources in Lake Taihu Basin[J]. *Journal of Agro-environmental Science*, 2005, 24(suppl): 118-124.
- [11] 李志宏, 张云贵, 任天志. 太湖流域农业氮磷面源污染现状及防治对策[J]. 中国农学通报, 2008, 24(增刊): 24-29.
- LI Zhi-hong, ZHANG Yun-gui, REN Tian-zhi. The loads and control suggestions of agricultural non-point nitrogen and phosphorus pollution in Taihu basin[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(suppl): 24-29.
- [12] Isermann K. Share of agriculture in nitrogen and phosphorus emissions into the surface waters of Western Europe against the background of their eutrophication[J]. *Fertilizer Research*, 1990, 26(1-3): 253-269.
- [13] 钱晓雍, 沈根祥, 郭春霞, 等. 基于水环境功能区划的农村面源污染源解析及其空间异质性[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 103-108.
- QIAN Xiao-yong, SHEN Gen-xiang, GUO Chun-xia, et al. Source apportionment and spatial heterogeneity of agricultural non-point source pollution based on water environmental function zoning[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(2): 103-108.
- [14] 赖斯芸, 杜鹏飞, 陈吉宁. 基于单元分析的非点源污染调查评估方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(9): 1184-1187.
- LAI Si-yun, DU Peng-fei, CHEN Ji-ning. Evaluation of non-point source pollution based on unit analysis[J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2004, 44(9): 1184-1187.
- [15] 陈敏鹏, 陈吉宁, 赖斯芸. 中国农业和农村污染的清单分析与空间特征识别[J]. 中国环境科学, 2006, 26(6): 751-755.
- CHEN Min-peng, CHEN Ji-ning, LAI Si-yun. Inventory analysis and spatial distribution of Chinese agricultural and rural pollution[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(6): 751-755.
- [16] 姜世英, 韩鹏, 贾振邦, 等. 南水北调中线丹江口库区农村面源污染 PSR 评价与基于 GIS 的空间特征分析 [J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(6): 2153-2162.
- JIANG Shi-ying, HAN Peng, JIA Zhen-bang, et al. Evaluation with PSR model and GIS analysis of agricultural non-point source pollution in Danjiangkou reservoir of the mid-route of the south-to-north water transfer project[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(6): 2153-2162.
- [17] 国家环境保护总局. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 77-78.
- State Environmental Protection Administration of China. The pollution investigation of intensive stockbreeding and its countermeasure [M]. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 2002: 77-78.
- [18] 王振旗, 沈根祥, 钱晓雍, 等. 淀山湖区域茭白种植模式氮、磷流失规律及负荷特征[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(1): 34-38.
- WANG Zhen-qi, SHEN Gen-xiang, QIAN Xiao-yong, et al. Nitrogen and phosphorus loss from wild rice stem cultivation in Dianshanhu region, Shanghai and their pollution load[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2011, 27(1): 34-38.
- [19] 钱秀红. 杭嘉湖平原农业非点源污染的调查评价及控制对策研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2001.
- QIAN Xiu-hong. Survey and evaluation of agricultural non-point source pollution and its control measures in Hangjiahu water-net plain [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2001.
- [20] 袁晓燕, 余志敏, 施卫明. 浙北地区平原河网农村小流域面源污染调查与防治对策——以德清县武康镇新琪村为例 [J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(3): 193-198.
- YUAN Xiao-yan, YU Zhi-min, SHI Wei-ming. Investigation and countermeasures for non-point source pollution in rural small watersheds in river-net plain regions of North Zhejiang—A case study of Xinqi village, Wukang town, Deqing County[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2010, 26(3): 193-198.
- [21] 王丽香, 庄舜尧, 吕家珑, 等. 常熟农村不同水体氮磷污染状况[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(4): 55-59.
- WANG Li-xiang, ZHUANG Shun-yao, LV Jia-long, et al. Nitrogen and phosphorus pollution in various waterbodies in rural area of Changshu[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25(4): 55-59.
- [22] 杨林章, 王德建, 夏立忠. 太湖地区农业面源污染特征及控制途径[J]. 中国水利, 2004(20): 29-30.
- YANG Lin-zhang, WANG De-jian, XIA Li-zhong, et al. Features and ways of control of non-point agricultural pollution in Taihu area[J]. *China Water Resources*, 2004(20): 29-30.

致谢: 本论文在基础数据收集及论文撰写中得到了上海市青浦区环境保护局和上海市环境科学研究院沈根祥、钱晓雍的支持与帮助。