

# 太湖流域苏州片区农业面源污染负荷研究

李翠梅<sup>1</sup>, 张绍广<sup>2</sup>, 姚文平<sup>1</sup>, 陈云<sup>2</sup>

(1. 苏州科技大学 环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215009; 2. 昆山市开源环境建设有限公司, 江苏 昆山 215301)

**摘 要:** 为了研究农业面源污染来源问题, 以太湖流域苏州片区为研究对象, 在分析研究区农业产业特点的基础上, 展开了以太湖流域种植业、水产养殖业、规模化家禽养殖业为代表的农业面源污染氮磷污染负荷计算研究, 并分别进行了氮磷污染负荷实例计算。计算结果表明: 2011 年苏州市种植业、水产养殖业、畜禽养殖业氮磷类污染物排放量分别为: TN 2 344.12 t, TP 123.78 t, TN 12 915.72 $\times 10^3$  kg, TP 2 560.76 t, TN 2 348.98 t, TP 460.81 t。研究认为: 氮磷污染物排放量为水产养殖业>种植业>家禽养殖业, 水产养殖业氮磷污染物排放量是种植业、家禽养殖业总和的 4 倍以上, 水产养殖业是太湖流域面源污染的主要来源, 为了改善太湖流域水环境, 建议减少水产养殖面积和密度, 降低氮磷污染物入湖量。

**关键词:** 太湖流域; 面源污染; 污染负荷

**中图分类号:** X592

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2016)03-0354-06

## Study on Agricultural Nonpoint Source Pollution Load of Taihu Lake Basin in Suzhou

LI Cuimei<sup>1</sup>, ZHANG Shaoguang<sup>2</sup>, YAO Wenping<sup>1</sup>, CHEN Yun<sup>2</sup>

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, Jiangsu 215009, China; 2. Kunshan Kaiyuan Environment Construction Co., Ltd., Kunshan, Jiangsu 215301, China)

**Abstract:** In order to examine the sources of agricultural nonpoint source pollution in Suzhou Taihu Lake Basin area for the study, based on analysis of the characteristics of the area of agricultural industrialization, agriculture point source pollution of nitrogen and phosphorus pollution load represented by the Taihu Lake Basin farming, aquaculture, large-scale poultry industry were investigated, and the nitrogen and phosphorus pollution load was calculated. The results showed that farming, aquaculture, livestock and poultry breeding industry emissions of nitrogen and phosphorus pollutants were: TN 2 344.12 t; TP 123.78 t; TN 12 915.72 t; TP 2 560.76 t; TN 2 348.98 t; TP 460.81 t in Suzhou City in 2011. It was suggested that the amount of nitrogen and phosphorus pollutants decreased in the order: aquaculture>planting>poultry, aquaculture pollutant emissions of nitrogen and phosphorus are more than four times of the sum of farming and poultry, aquaculture is the main sources of pollution of the Taihu Lake Basin surface. In order to improve the water environment in Taihu Lake Basin, it is recommended to reduce the size and density of aquaculture, decrease the amount of nitrogen and phosphorus pollutants into the lake.

**Keywords:** Taihu Lake Basin; nonpoint source pollution; pollution load

随着点源污染治理的资金加大与技术进步, 流域性点源污染控制已经初见成效, 但是另外一个流域内的污染控制难题却随着点源污染的控制而凸现出来, 也一直是污染控制的难点。与点源污染相比, 面源污染控制具有范围广、难度大、资金来源尚未解决等特点。尤其是面源污染负荷的计算与点源污染相比, 不确定性强, 更加困难, 因此, 展开农业面源污染负荷计算研究是解决农业面源污染的一个基础性工作。

农业面源污染负荷计算是近年来流域污染研究的热点之一, 李文兵<sup>[1]</sup>在对氮磷的迁移转化规律进行分析的基础上, 总结出影响氮磷流失的主要影响因素, 通过试验观察的方法, 研究了不同施肥对田面水中、土壤中的氮磷含量的影响及对直播晚稻产量和利用率的影响; 焦隽<sup>[2]</sup>对江苏省 4 个典型城市的农村水环境污染现状进行了水质监测和分析, 对江苏省氮磷的各污染源的污染负荷进行了估算评价, 并分析估算

了省水环境的容量及其空间差异性;赖力等<sup>[3]</sup>在对我国化肥施用的氮磷污染负荷定量分析的基础上,采用伤残调整生命年的方法定量评估了氮磷污染对人类健康的影响,并应用能值理论,估算了化肥施用成本的宏观经济价值。费频频等<sup>[4]</sup>以浙江某村为研究对象,在对当地水环境污染情况进行监测、调查分析的基础上,估算了该村不同污染源的 COD 及氨氮的污染荷,提出了该地区的主要污染源及水环境污染现状;Duan 等<sup>[5]</sup>应用能值理论和生命周期法,对北京某城市湿地公园进行投入产出分析,定量评价了系统的污水处理、生态服务等功能及其可持续性,并在此基础上,计算了系统排放物质引起的气候变暖、富营养化等影响。其他学者分别从小流域降雨径流中氮磷浓度的实地监测数据、污染物迁移转化数学模型、江苏省水稻种植施肥现状、东江湖流域各子流域的农业面源污染负荷、对耕地产流产沙和氮磷迁移的作用、对不同水土保持措施对耕地氮磷流失的影响过程和因素等进行了深入的研究<sup>[6-12]</sup>。

太湖流域是农业集约化程度较高的区域之一,形成了以种植业(经济类作物为主,如茶叶、果树等)、水产养殖业(渔业、大闸蟹等)、畜禽养殖数量为代表的特色农业,是农业面源污染的主要来源。本文以太湖流域为研究区域,分别对种植业、水产养殖业、畜禽养殖 3 大类面源污染负荷进行研究。

1 农业面源污染负荷估算方法

1.1 种植业污染负荷估算方法

种植业面源污染主要来自化肥的施用,污染负荷计算方法如下:

$$P_{ij}=A_jM_{ij}L_{ij} \tag{1}$$

式中: $P_{ij}$ ——种植类型  $j$  的化肥污染物  $i$  的年污染负荷量 (t/a);  $A_j$ —— $j$  类种植类型的种植面积 ( $10^3\text{ hm}^2$ );  $M_{ij}$ ——单位面积  $j$  类种植的  $i$  类化肥施用折纯量 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $L_{ij}$ —— $j$  类种植的  $i$  污染物的径流率。

2010 年,夏小江<sup>[13]</sup>对苏州市吴中区 42 个稻麦样本数,57 个稻油样本数,进行了调查分析,稻季氮肥平均施用强度为  $316.5\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,其中稻麦种植模式,稻季的氮肥施肥为  $327.7\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,磷肥的平均施用强度为  $62.1\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,其中稻麦种植模式,稻季的磷肥施肥强度为  $63.2\text{ kg}/\text{hm}^2$ ;麦季氮肥平均施用强度为  $239.8\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,磷肥施用强度为  $51.7\text{ kg}/\text{hm}^2$ ;油菜季氮肥平均施用强度为  $212.8\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,磷肥施用强度为  $57.3\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。以上调查结果可以看出,旱地种植业,麦和油菜的施肥水平差异不大,稻季的氮肥施肥水平比麦

季多  $36.66\%$ ,磷肥的施肥水平多  $22.24\%$ 。

研究中还对流域两试验点进行试验,根据当地排灌习惯,烤田期及落干收获时不灌水,其他时期根据田面水位变化,当其下降至  $2\text{ cm}$  深时,进行灌溉至水深  $8\text{ cm}$ ,降雨高出水位时排水。测出稻田氮磷径流流失率最大分别为  $3.25\%$  和  $1.25\%$ 。

2007—2008 年,席运官等<sup>[14]</sup>对常州市武进区某一稻麦农耕地进行了设计试验,在常规施肥水平:氮肥  $183\text{ kg}/\text{hm}^2$  (折纯),磷肥  $45\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,以及对照空白地和其他 4 组经过各种农艺处理的麦地,对小麦的肥料吸收率及麦地径流中氮磷的浓度进行检测,结果显示,施肥量和施肥方式在一定范围内对磷的流失的影响较小;常规施肥水平下,氮肥的流失率  $(11.25\pm0.41)\%$ ,磷肥的流失率  $(0.11\pm0.01)\%$ 。如果考虑空白地氮磷流失,则氮的流失系数为  $(7.15\pm0.40)\%$ ,磷的流失系数为  $(-0.03\pm0.01)\%$ 。

由于研究区,稻麦种植模式是重要的生产模式,麦的种植业为主,油菜的种植相对较少,故将旱地其他作物种植的施肥水平及流失均按麦地水平进行计算。根据文献中统计,流域水稻氮肥的平均施用水平为  $302.5\text{ kg}/\text{hm}^2$ ,与夏小江<sup>[13]</sup>的调查结果吻合。计算中,作如下两条假设:(1) 各年份,稻、麦的氮肥施用水平的比例不变,两者同步变化;(2) 麦地与油菜、棉花等旱地作物的施肥水平及流失情况相近,可以做统一处理。

参考太湖流域近年来的相关文献,太湖流域稻田及麦地氮磷流失率如表 1 所示。

表 1 总氮、总磷径流率			%
类别	稻田	旱地	
TN	3.7	1.31	
TP	11.25	7.15	

根据以上分析,可得:

$$\begin{cases} M_{i\text{稻}} \cdot A_{\text{稻}} = S_{i\text{稻}} \\ M_{i\text{旱}} \cdot A_{\text{旱}} = S_{i\text{旱}} \\ S_{i\text{稻}} + S_{i\text{旱}} = S_{i\text{总}} \\ \frac{M_{i\text{稻}}}{M_{i\text{旱}}} - 1 = a \end{cases} \tag{2}$$

联立解得,

$$M_{i\text{旱}} = \frac{S_{\text{总}}}{(1+a) \cdot A_{\text{稻}} + A_{\text{旱}}} \tag{3}$$

$$M_{i\text{稻}} = (1+a) \cdot M_{i\text{旱}} \tag{4}$$

式中: $M_{i\text{稻}}$ ——稻田的  $i$  类肥料的施肥强度 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $M_{i\text{旱}}$ ——旱地作物的  $i$  类肥料的施肥强度 ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $A_{\text{稻}}, A_{\text{旱}}$ ——稻或旱地作物的种植面积 ( $10^3\text{ hm}^2$ );  $S_{i\text{稻}}, S_{i\text{旱}}$ ——稻或旱地作物的  $i$  类化肥的施用量 (t);

$S_{i总}$ ——种植业  $i$  类化肥的施用总量(t); $a$ ——稻田  $i$  类化肥施用强度高出旱地作物的百分比。

1.2 水产养殖业污染负荷估算方法

水产养殖的氮磷污染主要来自残饵、肥料及水产动物的排泄物。氮、磷污染主要通过池塘换水及出泥进入环境,本研究主要针对池塘换水过程带来的污染进行分析计算:

$$P_i=A \cdot Q_i \tag{5}$$

式中: $P_i$ ——污染物  $i$  (氮/磷) 的年排放量(kg); $A$ ——水产养殖面积(hm<sup>2</sup>); $Q_i$ ——因池塘换水,污染物  $i$  (氮/磷) 的年排放量(kg/hm<sup>2</sup>)。

对于水产养殖污水中污染物浓度的研究,目前也是研究的热点。苏州市是水产养殖大户,据相关研究<sup>[15]</sup>中计算结果,江苏省内苏州市的 TN/TP 的污染负荷位居省内第二。2006 年,焦隽等<sup>[16]</sup>对苏州 11 月份水产养殖业水质进行测试,得出总氮、总磷浓度分别为 4.08,0.188 mg/L。研究中将水产养殖分为精养式和粗养式两种方式,对两种方式的鱼塘年换水量进行了调查,取两种方式下换水量的平均值进行计算:3×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,即污染物氮/磷的产生量分别为:122.4,5.64 kg/hm<sup>2</sup>。2009 年,戴修赢<sup>[17]</sup>对苏州 7 种养殖池塘的氮磷收支情况进行了调查研究。研究

中对于混养式养殖的 5 月、7 月、9 月、11 月的水质进行了监测,数据显示,TN 的浓度呈现一种上升趋势,11 月份干塘前最高,达到 5.68 mg/L。两者研究结果还是相吻合的。TP 的变化在 7 月最低,为 0.34 mg/L,其余月份基本平稳,11 月份达到 0.63 mg/L,较前者数据偏高。氮/磷的平均浓度为:2.98,0.599 mg/L。考虑池塘取水河道 TN,TP 含量:1.59,0.067 mg/L。计算的池塘因换水排放 TN,TP 的量为(考虑 11 月份干塘):166.14,32.94 kg/hm<sup>2</sup>。可以看出,总磷远高于前者。

对于整个苏州市,可以将其看成是混养式养殖。针对整个苏州市,考虑后者的调查面较广,文中采用后者研究中对苏州市混养池塘监测的有关数据(表 2),各类饲料的氮磷含量如表 3 所示。

$$P_{ai}=(C_{i池塘}-C_{i河道}) \cdot h \cdot n \cdot V_{换} \times 10+C_i \cdot h \times 10 \tag{6}$$

式中: $P_{ai}$ ——每 1 hm<sup>2</sup> 养殖面积,每年因换水释放污染物  $i$  的(氮/磷)量(kg/hm<sup>2</sup>); $C_{i池塘}$ ——养殖池塘中污染物  $i$  (TN/TP) 的含量(mg/L); $C_{i河道}$ ——池塘取水河道中污染物  $i$  (TN/TP) 的含量(mg/L); $h$ ——池塘水深(m); $n$ ——年换水次数; $V_{换}$ ——每次换水量(%); $C_i$ ——11 月干塘前污染物  $i$  (TN/TP) 的含量(mg/L)

表 2 水产养殖概况

平均水深/m	1.99	每次换水量/%	32
年换水次数/次	6	配合饲料/(kg·hm <sup>-2</sup> )	6910.22
青饲料/(kg·hm <sup>-2</sup> )	2644.69	鲜活饲料/(kg·hm <sup>-2</sup> )	1382.08
其他类饵料/(kg·hm <sup>-2</sup> )	844.31	—	—
换水释放 TP 量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	32.94	换水释放 TN 量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	166.14

表 3 各类饲料氮磷含量 %

项目	含氮量	含磷量
青饲料(苏丹草)	0.36	0.04
颗粒饲料	4.00	1.00
鲜活饲料(螺蛳)	0.60	0.04
其他类饵料(豆粕)	6.82	0.58

1.3 规模化畜禽养殖业污染负荷估算

畜禽养殖的氮磷污染主要来自畜禽的排泄物。近年来,对于每年畜禽排泄物的产生量的研究已有很多,主要都是通过畜禽粪便的日排泄系数来确定,存在争议的问题主要是年畜禽数量的确定。由于各类畜禽的养殖周期不同,当前对于年畜禽数量的确定,主要有 3 种方法:(1) 考虑养殖周期,采用畜禽养殖的年存栏量:年畜禽数=∑年存栏量×养殖周期×日排泄系数。这种计算方法可能结果偏小,对于周期短的畜禽动物,年养殖可能不止一个周期。(2) 考虑养殖周期,采用畜禽年栏量与年末存栏量的和:年畜禽数=(年出栏量+年存栏量)×养殖周期×日排泄系

数。这种方法可能结果偏大,对于年末存栏畜禽,不一定达到了一个养殖周期。(3) 也有研究者将不同畜禽动物的养殖量都折合成某种畜禽的当量头数,从而实现统一计算。(4) 不考虑养殖周期,采用年末存栏量:年畜禽数=∑年末存栏量×365d×日排泄系数。这样计算的依据是:对于养殖周期长的畜禽动物,年出栏量少,用存栏量来计算是合理的;对于养殖周期短的畜禽动物,例如家禽、猪的养殖,出栏量与增补量往往相抵消,可以认为年养殖量是个稳定的数值,所以,用年末存栏量来计算也是合理的。因此,本文采用最后一种方法来进行畜禽粪便排放量的计算。根据《全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策》中数据,确定各类畜禽品种的日排泄系数(表 4),各类畜禽粪便中 TN,TP 的平均含量如表 5 所示。

根据表 4—5 数据可以计算出每头(只)畜禽每年的排泄物中 TN,TP 的含量,如表 6 所示。

不同畜禽养殖的氮、磷污染物流失率不同,根据相关文献整理结果,如表 7 所示。

表 4 各类畜禽品种的日排泄系数

项目	kg/(d·头)				
	猪	牛	鸡	鸭	家禽
粪	2	20	0.12	0.13	0.125
尿	3.3	10	未计	—	—

注:家禽的排泄系数取鸡和鸭的日排泄系数的平均值,下表同。

表 5 畜禽粪便中 TN,TP 的平均含量 kg/t

项目	猪粪	猪尿	牛粪	牛尿	鸡粪	鸭粪	家禽
TN	5.88	3.30	4.37	8.00	9.84	11.00	10.42
TP	3.41	0.52	1.18	0.40	5.37	6.20	5.785

表 6 畜禽每年排泄物中 TN,TP 的含量

项目	kg/(a·头)						
	猪粪	猪尿	牛粪	牛尿	鸡粪	鸭粪	家禽
TN	4.29	3.97	31.90	29.20	0.43	0.52	0.48
TP	2.49	0.63	8.61	1.46	0.24	0.29	0.26

由上分析可以总结,对于规模化畜禽养殖业, TN,TP 流失入河量的计算方法如下:

表 8 2007—2011 年苏州种植业情况

年份	项目	夏收粮食		秋收粮食						总面积	
		谷物/麦	豆类	稻谷	玉米	豆类	薯类	油料	棉花	种植业	农林
2007	面积/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	58.3	1.41	87.46	2.2	3.11	0.97	28.02	2.39	183.86	234.71
	产量/t	241179	5467	661142	12995	14627	5986	64107	2459		
2008	面积/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	62.97	2.24	90.99	1.60	3.72	0.91	17.70	2.37	182.50	231.11
	产量/t	305796	8085	784828	10559	16906	5978	42571	2525		
2009	面积/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	63.43	2.13	88.04	1.77	3.77	0.93	19.49	2.02	181.58	229.72
	产量/t	300404	8009	783775	13156	17686	6337	46632	2135		
2010	面积/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	68.30	1.80	85.80	1.86	3.11	0.85	14.47	1.59	177.78	225.24
	产量/t	324475	6737	777518	13630	15756	6157	34468	1685		
2011	面积/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	68.31	1.84	83.77	1.63	3.28	0.82	11.65	1.39	172.69	222.50
	产量/t	343190	5973	767563	11971	15811	5487	28907	1508		

由表 8 可以看出,2007—2011 年以来,全市种植业总面积在不断减少,且从 2009 年开始,减少的幅度提升。种植业主要集中在夏麦、稻谷的种植,种植业总面积的减少主要由于油料的种植大大减少所致,这与 2008 年《太湖流域水环境综合治理总体方案》批复实施以来,加大流域农业产业结构的调整有关。

根据《江苏农业统计》数据,2007—2011 年苏州市农用化肥施用量(折纯量)见表 9。

表 9 2007—2011 年苏州市农业施用化肥情况

年份	化肥施用总量/t	氮肥/t	磷肥/t	化肥施用强度/(kg·hm <sup>-2</sup> )
2007	93873	47134	3853	399.95
2008	89065	45409	4589	385.38
2009	93635	48771	4241	407.60
2010	91511	48130	4247	406.28
2011	87640	44762	3995	393.89

1995—2006 年,江苏省化肥施用量和强度一直呈现一种增长趋势。直至 2007 年,太湖流域发生水危机,流域加大水环境整治力度,控制点面源污染。根据 2013 年流域《总体规划》中总结,面源污染已成为流域

畜禽  $i$  年粪便产生量 = 畜禽  $i$  年末存栏量  $\times$  日排放系数  $\times 365$  (7)

畜禽  $i$  年 TN/TP 排放量 = 畜禽  $i$  年粪便产生量  $\times$  粪便  $i$  中 TN/TP 含量 (8)

畜禽  $i$  年 TN/TP 入河量 = 畜禽  $i$  年 TN/TP 排放量  $\times$  畜禽  $i$  粪便的流失率 (9)

表 7 畜禽粪便流失进入水体率 %

项目	猪粪	猪尿	牛粪	牛尿	家禽
TN	5.76	50	5.68	50	5.6
TP	3.4	50	5.5	50	5.1

## 2 三类面源污染过程分析与计算

### 2.1 种植业污染过程分析与测算

根据《苏州统计年鉴》数据,2007—2011 年全市种植业主要数据见表 8。

污染的主要来源。由表 9 可知,2008 年,流域总体规划实施第 1 年,苏州市化肥施用总量及强度均有较大幅度下降,但 2009 年又恢复到较高水平,以后再次逐渐下降。尽管如此,施用强度较 2007 年下降幅度还不是很大。有些发达国家,规定化肥施用的安全上限<sup>[18]</sup>为 225 kg/hm<sup>2</sup>,可见,近年来水环境整治措施虽已见成效,不过面源污染的控制仍然任重道远。

根据种植业施肥现状及污染负荷计算方法,计算得到研究区粮食种植氮磷肥的施用强度如表 10 所示。陈荷生等<sup>[18]</sup>认为,苏南太湖流域单季晚稻的适宜施氮肥强度为 102~195 kg/hm<sup>2</sup>,小麦为 120 kg/hm<sup>2</sup>。流域氮肥的施用强度大大超出了这个范围(表 10)。

2007—2011 年苏州市氮磷的排放情况,如表 11 所示。旱地种植的氮磷排放量远大于稻田的排放量,全市种植业总氮的排放量年间变化都不是很大,基本处于波动状态,2011 年较 2007 年减少了 174.60 t,相当于 7%,这个结果是远远没有达到流域治理的目标的。2011 年总磷的排放量较 2010 年基本持平。研究区种植业氮磷的年排放强度如表 12 所示。

表 10 2007—2011 年苏州市粮食种植业氮磷

		肥料的施用强度 kg/hm <sup>2</sup>				
项目		2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
氮肥	稻田	233.69	227.02	246.35	248.12	233.42
	旱地	171.00	166.12	180.26	181.56	170.80
磷肥	稻田	18.15	21.85	20.37	20.81	19.81
	旱地	14.85	17.87	16.66	17.03	16.21

注：种植业施肥量根据种植业面积与农业总面积之比计算。

表 11 2007—2011 年苏州市种植业氮磷类  
污染物排放量测算

	项目	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
TN	稻田	664.24	671.33	704.88	691.88	635.49
	旱地	1854.47	1710.18	1896.97	1878.74	1708.63
	总排放量	2518.72	2381.51	2601.85	2570.62	2344.12
TP	稻田	19.84	24.85	22.42	22.32	20.74
	旱地	102.32	116.95	168.81	111.98	103.04
	总排放量	122.16	141.80	191.23	134.31	123.78

表 12 2007—2011 年苏州市种植业氮磷类排放强度测算

项目		2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
稻田	TN	7.59	7.38	8.01	8.06	7.59
	TP	0.23	0.27	0.25	0.26	0.25
旱地	TN	19.24	18.69	20.28	20.43	19.22
	TP	1.06	1.28	1.80	1.22	1.16
总排放强度	TN	13.70	13.05	14.33	14.46	13.57
	TP	0.66	0.78	1.05	0.76	0.72

2.2 水产养殖业污染过程分析与测算

根据研究区水产养殖业概况及前面所述方法，计算得到研究区水产养殖业氮磷的流失量如表 13 所示。近年来水产养殖业总氮总磷的排放量虽有所下降，但幅度太小。苏州市是水产养殖大户，养殖产业居江苏省之首，近年对围网养殖的整治虽有所成效，但随着集约化程度的提高，鱼塘精养比例的增大，饲

料等的投放量及鱼苗的养殖密度都相应增大，这也是导致水产面源污染负荷未见明显减少的原因。这也可以看出，仅仅从控制养殖面积的角度，是无法彻底控制污染的，养殖户的环保意识、科学养殖知识需要提高，从根本上控制污染。与种植业相比，也可以看出，水产养殖的总氮总磷排放量远大于种植业，是面源污染的主要来源。

表 13 2007—2011 年苏州水产养殖业  
氮磷排放情况

项目	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
TN	13532.10	13372.61	13380.92	12947.29	12915.72
TP	2682.96	2651.34	2652.99	2567.01	2560.76

2.3 规模化畜禽养殖污染过程分析与测算

根据研究区规模化畜禽养殖业概况，计算得到研究区规模化畜禽养殖业氮磷的排放量(表 14)。

表 14 2007—2011 年苏州规模化畜禽养殖业  
氮磷类污染物排放量测算

项目		猪粪	猪尿	牛粪	牛尿	家禽	总和
2007 年	TN	127.91	1028.20	38.76	312.29	248.99	1756.15
	TP	43.79	162.02	10.13	15.61	125.89	357.45
2008 年	TN	154.14	1239.04	46.62	375.63	275.59	2091.02
	TP	52.77	195.24	12.19	18.78	139.34	418.32
2009 年	TN	173.11	1391.49	41.83	337.03	283.49	2226.94
	TP	59.26	219.26	10.94	16.85	143.34	449.65
2010 年	TN	175.50	1410.74	42.16	339.67	276.56	2244.63
	TP	60.08	222.30	11.02	16.98	139.83	450.22
2011 年	TN	189.47	1523.07	42.36	341.30	252.78	2348.98
	TP	64.86	240.00	11.08	17.06	127.81	460.81

由图 1 可以看出，牛和家禽的总氮/总磷排放量都比较平稳，猪的排放量最大，且呈现稳步上升的趋势。总氮的排放量：猪>牛>家禽；总磷的排放量：猪>家禽>牛。

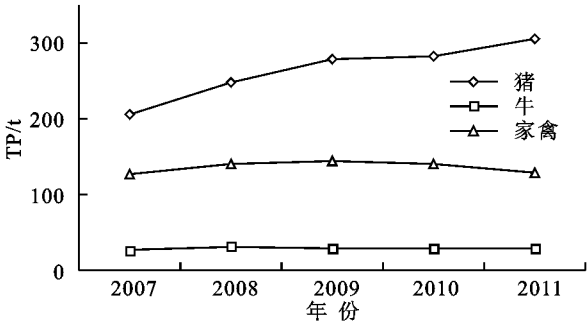
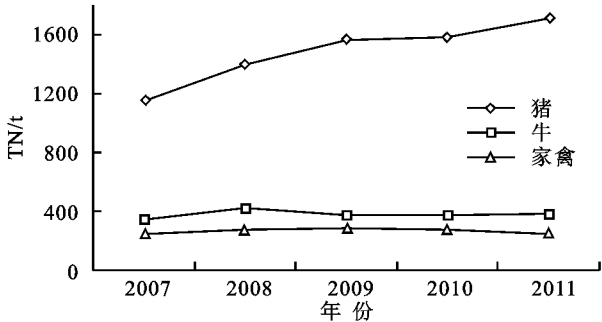


图 1 2007—2011 年苏州畜禽养殖 TN、TP 排放量

3 讨论与结论

根据以上研究和计算，可以得到苏州市水产养殖业、种植业、畜禽养殖业 2007—2011 年氮磷污染物排放总量对比。由图 2—3 可以看出，水产养殖业造成的氮磷污染物排放量 5 年来一直居高不下，远远大于

种植业和畜禽养殖业，是太湖流域面源污染的主要来源。种植业和畜禽养殖业氮磷污染物排放量都远小于水产养殖业，不是造成太湖流域面源污染的主要因素。据《2013 年太湖流域水环境综合治理总体方案》统计，2010 年太湖流域综合治理区中，江苏省总氮排放量为 5.6 万 t，本研究中苏州水产养殖面源污染的

2011 年总氮排放量为 1.29 万 t,达到江苏排放总量的 23%。从 2007 年太湖蓝藻事件爆发到 2011 年,水产养殖业 TN 排放量虽然总体上呈现了小幅度的下降趋势,但是幅度太小,5 年来均低于 1.2 万 t 的水平,TN 排放量仍然较高。TP 排放量的趋势与 TN 基本一直,水产养殖业仍然是主要磷系列污染物来源,且从 2007—2011 年均高于 2 500 t。由于水产养殖业产生了较好的经济效益,苏州又有着优越的流域水域自然条件,因此,水产养殖业发达,规模大、产品多、效益好,尤其是大闸蟹等高产养殖业遍地开花,由本研究的数据来看,水产养殖业是苏州农业第一大面源污染。2013 年春季,阳澄湖爆发了大面积红藻事件,由于阳澄湖是苏州重要的大闸蟹养殖基地,也是苏州备用水源地,因此,地方政府为了保护阳澄湖水源地和保障阳澄湖水质,展开了大规模的污染源排查工作,并关停了阳澄湖上游近 2 000 家有污染的企业。当时一致认为是企业及周边种植业等污染造成阳澄湖水质恶化。从本研究数据来看,大闸蟹等水产养殖业是阳澄湖水质污染的主要因素之一。

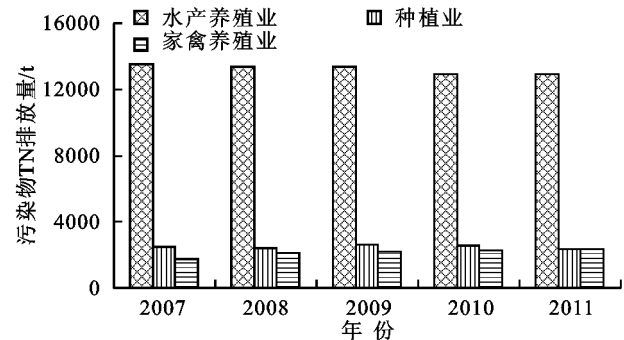


图 2 苏州市种植业、水产养殖业、禽畜养殖业 TN 排放量

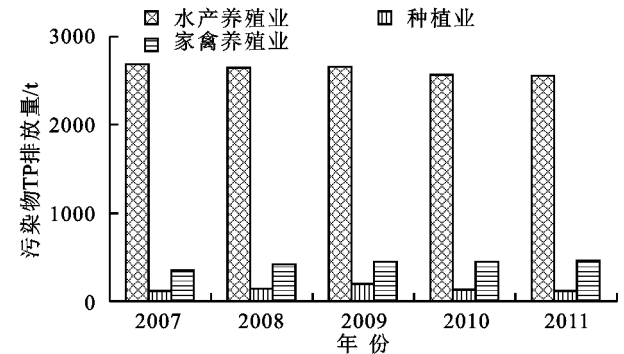


图 3 苏州市种植业、水产养殖业、禽畜养殖业 TP 排放量

长期以来,水产养殖业一直是苏州地区主导农业。但是由于水产养殖业对水污染具有很好的隐密性,不易察觉。人们普遍认为农业种植业和畜禽养殖业是农业面源污染主要来源。本研究表明:水产养殖业造成氮磷污染物排放量是种植业和畜禽养殖业综合的 4 倍多,水产养殖业才是太湖流域农业面源污染的主要来

源。为保护太湖流域水环境,应减少水产养殖面积和密度,降低氮磷污染物直接入湖量。

参考文献:

[1] 李文兵. 长期不同施肥处理对直播稻田生态系统中氮磷影响研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.

[2] 焦隼. 江苏省农村主要污染源氮磷污染负荷区域评价及控制对策[D]. 南京:南京农业大学,2008.

[3] 赖力,黄贤金,王辉,等. 中国化肥施用的环境成本估算[J]. 土壤学报,2009,46(1):63-69.

[4] 费频频,杨京平. 杭嘉湖水网平原村域水环境污染及其负荷分析[J]. 环境科学与技术,2011,34(4):104-109.

[5] Duan N, Liu X D, Dai J, et al. Evaluating the environmental impacts of an urban wetland park based on emergy accounting and life cycle assessment: A case study in Beijing[J]. Ecological Modelling,2011,222(2):351-359.

[6] 张彪,董敦义,张灿强,等. 太湖流域安吉县森林控制土壤侵蚀及养分流失的效益评估[J]. 水土保持研究,2011,18(6):111-114.

[7] 吴磊. 三峡库区典型区域氮、磷和农药非点源污染物随水文过程的迁移转化及其归趋研究[D]. 重庆:重庆大学,2012.

[8] 庄钠. 引入环境成本的化肥最经济投入量研究:基于江苏水稻种植化肥投入量的实证分析[D]. 南京:南京农业大学,2012.

[9] 郭翔,杜蕴慧,刘孝富,等. 东江湖流域农业面源污染负荷研究[J]. 环境工程技术学报,2013(4):350-357.

[10] 唐佐芯,王克勤,李秋芳,等. 等高反坡阶对坡耕地产流产沙和氮磷迁移的作用研究[J]. 水土保持研究,2013,20(1):1-8.

[11] 冯洋,郭成久,李勇,等. 不同水土保持措施对黑土区坡耕地氮、磷流失的影响[J]. 水土保持研究,2014,21(3):47-50.

[12] 何聪,刘璐嘉,王苏胜,等. 不同宽度草皮缓冲带对农田径流氮磷去除效果研究[J]. 水土保持研究,2014,21(4):55-58.

[13] 夏小江. 太湖地区稻田氮磷养分径流流失及控制技术研究[D]. 南京:南京农业大学,2012.

[14] 席运官,陈瑞冰,徐欣,等. 太湖地区麦季氮磷径流流失规律与控制对策研究[J]. 江西农业学报,2010,22(5):106-109.

[15] 蒋孝松,刘彩玲,隋标,等. 太湖流域稻麦轮作体系施肥现状分析与对策[J]. 中国农学通报,2012,28(15):15-18.

[16] 焦隼,李慧,冯其谱,等. 江苏省内陆水产养殖非点源污染负荷评价及控制对策[J]. 江苏农业科学,2007(6):340-343.

[17] 戴修赢. 苏州地区七种养殖池塘水质及其氮、磷收支研究[D]. 江苏苏州:苏州大学,2010.

[18] 陈荷生,华瑶青. 太湖流域非点源污染控制和治理的思考[J]. 水资源保护,2004,20(1):33-36.