

# 8 江苏太湖地区水污染物及其 向水体的排放量<sup>1</sup>

李荣刚<sup>1</sup> 夏源陵<sup>2</sup> 吴安之<sup>3</sup> 钱一声<sup>3</sup>

(1:江苏省农林厅,南京 210013;

2:江苏省武进市计划委员会,武进 213161;3:江苏省武进市农业局,武进 213161)

**提 要** 1997年各污染源累计向江苏太湖地区水体排放TN 64824t,各污染源中TN所占份额的高低顺序为:农田24%、工业22%、人粪尿18%、畜禽粪尿16%、生活污水14%、精养鱼塘6%。种植业、畜牧业、渔业累计占46%,农业生产对水体的氮素污染较重。COD<sub>Cr</sub>排放量的高低顺序为生活污水89385t、人粪尿74551t、畜禽粪尿16820t、精养鱼塘2758.5t;TP为畜禽粪尿7241t、生活污水2239t、人粪尿1969t、精养鱼塘407.3t。等标污染负荷分析结果表明:畜禽粪尿、生活污水、人粪尿、精养鱼塘四种污染源对水体的污染均表现为TP最重、TN次之、COD<sub>Cr</sub>最轻。

**关键词** 太湖地区 水污染 排放量

**分类号** P343.3 X524

江苏太湖地区主要包括苏州市、无锡市和常州市,国土面积17513km<sup>2</sup>,人口457万,1997年工农业总产值5956.9亿元,人均GDP56075元。80年代末期中国科学院南京土壤研究所、河海大学等有关部门对该区水污染物及其排放量作过大量研究<sup>[1-3]</sup>,但是当时农田、畜禽粪尿、人粪尿、精养鱼塘对水体污染较轻,太湖富营养化不十分严重。近10多年来,随着该地区国民经济的飞速发展,农业生产对人粪尿、畜禽粪尿的依赖性减少,在工业、生活污染日益加重的同时,种植业、养殖业等对水体污染也愈来愈重。因此,有必要针对新情况重新对太湖地区各种水体污染物及排放量进行研究,以期为治理太湖提供有益参考。

## 1 研究方法

### 1.1 产污因子的确定

本研究主要参考的污染因子有总氮(TN)、总磷(TP)、化学耗氧量(COD<sub>Cr</sub>),其中农田和工业废水仅考虑TN。

1.1.1 农田氮素迁移系数及工业污水排放浓度 马立珊1987、1988年在太湖地区研究爽水型水稻土、漏水型水稻土、侧渗水稻土、滞水水稻土和囊水型水稻土五种主要水稻土的氮素差额排除负荷量分别是8.325、13.650、19.425、45.750、35.100kg·hm<sup>-2</sup>,黄棕壤和潮土两种主要旱地地表径流氮素量<sup>[3]</sup>分别为13.275、10.200kg·hm<sup>-2</sup>。根据目前农田施肥的情况<sup>[4]</sup>,对这个研究结果进行修订,可推算出1997年农田氮素迁移对水体的污染量。工业废水的TN浓度

• 农业部“江苏太湖流域农业面源污染防治研究”课题资助项目。

收稿日期:1999-11-04;收到修改稿日期:2000-02-29。李荣刚,男,1963年生,在职博士生。

参考《太湖水污染防治“九五”计划及 2010 年规划》的结果,确定为  $23\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>①</sup>

1.1.2 畜禽粪尿 综合参考国内外有关研究结果,尤其是太湖地区研究结果,如张大弟(1997)、吴月华(1991)等<sup>[6-9]</sup>,选取如下系数(表 1、表 2)对太湖地区畜禽粪尿及其粪尿对水体污染进行统计分析.这些数据就某地区具体畜禽而言,肯定存在一定差异.

表 1 畜禽粪尿污染物年排放量<sup>[1]</sup>

单位:  $\text{kg} \cdot \text{头}^{-1}$

Tab. 1 Annual animal and poultry manure and urine discharging amount

项 目	牛粪	牛尿	猪粪	猪尿	羊粪	家禽粪
COD <sub>Cr</sub>	226.3	21.9	20.7	5.91	4.4	1.165
TP	8.61	1.46	1.36	0.34	0.45	0.115
TN	31.9	29.2	2.34	2.17	2.28	0.275

表 2 畜禽粪便污染物进入水体流失率(%)

Tab. 2 Percentage of animal and poultry manure and urine discharged into water

	猪 粪	家禽粪	猪 尿	牛 尿	牛 粪	羊 粪
COD <sub>Cr</sub>	2.955	1.23	25	50	6.16	5.5
TP	0.17	1.16	25	50	5.5	5.2
TN	1.085	1.19	25	50	5.68	5.3

1.1.3 生活污染及精养鱼塘 精养鱼塘与生活污染(生活污染包括生活污水和人粪尿)的排污系数采用张大弟等的研究结果(表 3)<sup>[6]</sup>,人粪尿的产生量以每人每天平均排粪 0.25kg,尿 1kg 计算.农村、乡镇居民人粪尿进入水体的量以 10%的产生量计算.据江苏太湖地区的实际情况城市居民人粪尿进入水体量可定为 90%<sup>[10]</sup>.

表 3 生活污染及精养鱼塘污染物排放系数

Tab. 3 Discharged coefficient of life waste water and carefully raised fish pond

污 染 源	COD <sub>Cr</sub>	TN	TP
村生活污水/ $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$	10.95	0.584	0.146
镇生活污水/ $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$	14.6	0.73	0.183
人粪尿/ $\text{kg} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{人}^{-1}$	1.98	101	11
精养鱼塘/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{人}^{-1}$	74.5	101	11

## 1.2 排污量及污染物评价方法

根据上述排污系数,结合 1997 年江苏省农林、畜牧、水产、环保、公安统计资料,得知江苏省耕地面积、畜禽饲养量、精养鱼塘面积、人口等数据可求出排污量.

为了弄清流失的畜禽、生活、精养鱼塘排出污染物中何种污染物对水环境影响最大.引入污染物等标排放量评价方法,对苏南太湖流域流失进入水体的各类污染物 COD<sub>Cr</sub>、TN、TP 进行评价.等标排放量评价的公式为:

$$P_i = M_i / C_i \times 10^{-6}$$

式中,  $M_i$  污染物流失量( $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ ),  $C_i$  污染物按 GB3838-88 II 类标准系列的阈浓度, (COD<sub>Cr</sub>,

①太湖水污染防治“九五”计划及 2010 年规划编制组. 太湖水污染防治“九五”计划及 2010 年规划, 1996. 10

$15\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , TN 为  $1\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , TP 为  $0.1\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ),  $P_i$  为等标污染排放量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 农田氮素向水体的迁移

1997 年苏锡常地区耕地面积为  $706670\text{hm}^2$ , 其中水田面积  $535470\text{hm}^2$ , 旱地面积  $171200\text{hm}^2$ 。种植水稻  $516500\text{hm}^2$ , 水稻分为爽水型水稻土、漏水型水稻土、侧渗水稻土、滞水水稻土和囊水型水稻土五种类型。它们的面积比例分别为 30%、15%、13%、12% 和 30%。面积比例与马立珊 1987—1988 年研究结果的加权平均可得出 10 年前加权平均水环境的氮素损失量为  $23.1\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 十年来氮素用量增加, 氮肥利用率下降, 单位稻田向水体迁移的氮素总量也随着增加, 假定增加了 10%, 则 1997 年稻田向水环境的氮素损失量为  $25.41\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。1997 年向稻田由水体迁移的氮素量为 13606.3t。旱地主要分为潮土和黄棕壤两种类型, 其面积比例分别为 45% 和 55%, 加权平均每公顷的氮素水环境损失量为  $12.58\text{kg}$ , 修订为  $12.738\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。1997 年由旱地向水环境迁移的氮素量为  $2180.75\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$ , 所以每年由耕地向水环境中输入的氮素总量为 15787.05t。

### 2.2 苏南太湖地区畜禽污染物产生量及向水体的排放量

1997 年苏南太湖地区共饲养生猪 653.7 万头, 其中苏州为 311.8 万头、无锡 177.4 万头、常州 164.5 万头。羊饲养总量为 276.5 万头, 其中苏州为 82.1 万头、无锡 71.8 万头、常州 122.7 万头。家禽的饲养总量为 2.1 亿只, 其中苏州 1.6 亿只、无锡 2955.9 万只、常州 2224.9 万只。苏南太湖地区牛的饲养量较少, 1997 年饲养 1.3 万头(表 4)。

表 4 1997 年苏南太湖地区畜禽养殖总数(出栏+存栏)

Tab. 4 Animal and poultry raising total amount in Taihu Lake area of Jiangsu province in 1997(sold out plus kept in stall)

地 区	生猪/万头	羊/万只	牛/万头	家 禽
苏州市	331.8	82.1	0.6	16043.2
无锡市	177.4	71.8	0.7	2955.9
常州市	164.5	122.7	0.0	2224.9
合 计	653.7	276.5	1.3	21223.9

1997 年苏锡常地区畜禽粪尿  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、TP、TN 污染物产生量分别为 438754、37293、95196t, 进入水体量分别为 16820、7241、10455t, 分别占 3.83%、19.4% 和 10.98%。苏锡常三市中以苏州市禽粪尿的产生量及水体流失量最高, 常州市最低(表 5)。

各类畜禽粪尿中  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  的量分别为 247259、135314、38633、12164、2851、276t; TP 量分别为 24408、8890、2223、1244、108、18t; 总氮量分别为 58366、15296、14185、6303、402、368t。猪尿对水体的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  贡献最高, 牛尿最低, 其值分别为 9658t 和 138t。猪粪对水体 TP 的贡献最高, 牛尿最低, 其值分别为 3552t 和 9t。对水体总氮贡献的高低顺序为猪粪、猪尿、家禽、羊粪尿、牛尿、牛粪, 其值分别为 3613、3546、2942、645、184 和 162t(表 6)。

对 1997 年苏南太湖地区畜禽粪尿流入水体的污染物等标排放量评价结果显示。在畜禽粪尿三种污染物中, TP 对水体环境的影响最大, 等标排放量达 777439.1t, 占 86.4%, TN 对水

体环境的影响其次,等标排放量为 110921.9t,占 12.3%,而绝对排放数量最多的 COD<sub>Cr</sub>对水体环境的污染影响则相对较小,等标排放量只为 11638.3t,占 1.3%。可见,该畜禽粪尿流失对水体环境污染绝对危害最大的是 TP。

表 5 1997 年苏南太湖地区污染物产生量及进入水体量

单位:t

Tab. 5 Pollutant amount generated from animal and poultry and the amount discharged into water in Taihu Lake area of Jiangsu province in 1997

地区	污染物产生量			进入水体量		
	COD <sub>Cr</sub>	TP	TN	COD <sub>Cr</sub>	TP	TN
苏州市	276004	24367	60541	9052	4393	5992
无锡市	87574	7011	18304	4414	1780	2706
常州市	75176	5915	16351	4045	1600	2463
合计	438754	37293	95196	16820	7241	10455

表 6 1997 年苏南太湖地区不同畜禽粪尿污染物产生量及进入水体量

单位:t

Tab. 6 Pollutant amount generated by different animal and poultry and the amount discharged into water in Taihu Lake area of Jiangsu province in 1997

地区	污染物产生量			进入水体量		
	COD <sub>Cr</sub>	TP	TN	COD <sub>Cr</sub>	TP	TN
猪粪	135314	8890	15296	3775	3552	3613
猪尿	38633	2223	14185	9658	556	3546
牛粪	2851	108	402	176	157	162
牛尿	276	18	368	138	9	184
羊	12164	1244	6303	669	633	645
家禽	247259	24408	58366	3041	2868	2942

各类畜禽粪尿中猪粪总体上对水体环境的影响最大,等标排放量为 36128.8t,占 43.8%,其次是家禽,等标排放量是 318271.5t,占 35.4%,由于该地区牛的饲养量不高,牛尿、牛粪对水体等标污染量最低,所占份额也最低(表 7)。

表 7 1997 年苏南太湖地区各类畜禽粪尿污染物等标排放量及等标排放率

Tab. 7 Equivalent standard discharging amount and discharging rate of different animal and poultry manure and urine pollutant in Taihu Lake area of Jiangsu province in 1997

组成	COD <sub>Cr</sub> /t	TP/t	TN/t	合计/t	百分比/%
猪粪	2516.8	355198.8	36128.8	393844.4	43.8
猪尿	6438.8	55563.7	35462.7	97465.2	10.8
羊	446.0	63254.0	6447.0	70147.1	7.8
牛粪	117.1	15682.6	1619.6	17419.3	1.9
牛尿	92.0	919.8	1839.6	2851.4	0.3
家禽	2027.5	286820.2	29423.8	35.4	
合计	11638.3	777439.1	110921.5	899998.9	100.0
百分比/%	1.3	86.4	12.3	100.0	

苏锡常三市中苏州市畜禽粪尿的等标排放量最高为 505239t,占 56.14%,无锡、常州市等标排放量分别为 206313t 和 188446t,所占份额分别为 22.92%和 20.94%(表 8).

表 8 苏南太湖地区 1997 年畜禽粪尿污染物等标排放量及等标排放率

Tab. 8 Equivalent standard discharging amount and rate of animal and poultry manure and urine pollutant in Taihu Lake area of Jiangsu province in 1997

地 区	污染物等标排放总量/t				污染物等标排放率/%			各市所占 份额/%
	COD <sub>Cr</sub>	TP	TN	总量	COD <sub>Cr</sub>	TP	TN	
苏州市	6035	439282	59923	505240	1.19	86.95	11.86	56.14
无锡市	2936	176394	26983	206313	1.42	85.50	13.08	22.92
常州市	2667	161763	24016	188446	1.42	85.84	12.74	20.94
合 计	11638	777439	110922	899999	1.29	86.38	12.32	100.00

### 2.3 苏南太湖地区生活污染产生量及对水体污染研究

1997 年苏南太湖地区生活污水、人粪尿向水体排放的 COD<sub>Cr</sub>、TN、TP 量分别为 89385t、8939t、2239t 和 74551t、11498t、1969t(表 9).

表 9 1997 年苏南太湖地区生活污水及人类粪尿污染物水体排放量

Tab. 9 Amount of life waste water and human manure and urine discharged into water in Taihu Lake area of Jiangsu province in 1997

地区	生活污水			人粪尿		
	COD <sub>Cr</sub> /t	TP/t	TN/t	COD <sub>Cr</sub> /t	TP/t	TN/t
苏州市	38070	3807	953	28402	4380	750
无锡市	29009	2901	727	25966	4005	686
常州市	22306	2231	559	20183	3113	533
合 计	89385	89389	2239	74551	11498	1969

1997 年苏锡常地区生活污水和人粪尿的 COD<sub>Cr</sub>、TN、TP 等标排放量分别为 5959t、8938t、2237t 和 4970t、11498t、1969t,所占份额分别为 16%、24%、60%和 14%、32%、54%。和畜禽粪尿一样生活污染对水体危害最大的是 TP,其次是 TN,危害最轻的是 COD<sub>Cr</sub>. 各地等标排放量分别为苏州市 40%、无锡市 34%、常州市 26%(表 10).

表 10 1997 年苏南太湖地区生活污染等标排放量及污染负荷分析

Tab. 10 Equivalent standard discharging amount of life waste water and human manure and urine and pollutant load analysis in Taihu Lake area of Jiangsu province in 1997

地区	生活污水			人粪尿			合计/t	百分比/%
	COD <sub>Cr</sub> /t	TP/t	TN/t	COD <sub>Cr</sub> /t	TP/t	TN/t		
苏州市	2538	3807	9528	1893	4380	7501	29647	40
无锡市	1934	2901	7261	1731	4005	6858	24690	34
常州市	1487	2231	5583	1346	3113	5331	19091	26
合计/t	5959	8939	22372	4970	11498	19690	73428	100
百分比/%	16	24	60	14	32	54		

## 2.4 精养鱼塘的污染负荷

1997年苏南太湖地区精养鱼塘向水体排放的 COD<sub>Cr</sub>、TN、TP 量分别为 2758.5t、3739.7t、407.3t, 等标排放量分别为 183.9t、3739.7t、4072.9t, 等标污染份额分别为 2.3%、46.8%和 50.9%, 由此可知, 精养鱼塘排出的污染物 TN、TP 对水体的危害性相差不大, COD<sub>Cr</sub> 对水体的危害性较小. 苏州市、无锡市、常州市精养鱼塘对水体的等标污染量分别为 4294.9t、1125.9t 和 2575.8t, 所占份额分别为 53.7%、14.1%和 32.2%(表 11).

表 11 1997年苏南太湖地区精养鱼塘污染负荷

Tab. 11 Polluting load of carefully raised fish pond in Taihu Lake area of Jiangsu province in 1997

地区	污染情况			等标污染量				
	COD <sub>Cr</sub> /t	TN/t	TP/t	COD <sub>Cr</sub> /t	TN/t	TP/t	合计/t	百分比/%
苏州市	1481.6	2008.6	218.8	98.8	2008.6	2187.5	4294.9	53.7
无锡市	388.4	526.5	57.3	25.9	526.5	573.5	1125.9	14.1
常州市	888.5	1204.6	131.2	59.2	1204.6	1311.5	2575.8	32.2
合计	2758.5	3739.7	407.3	183.9	3739.7	4072.9	7996.5	100
百分比/%				2.3	46.8	50.9		

## 2.5 各种污染源的氮素污染份额

将上述农田、畜禽粪尿、生活污水、人粪尿、精养鱼塘及工业废水对水体氮污染量汇总可知 1997 年上述氮素污染源排放的氮素量分别为 15787.05t、10454.80t、8938.50t、11498.40t、3739.70t 和 14406.00t, 总量为 64824.45t, 分别占的份额为 24%、16%、14%、18%、6%和 22%.

## 3 结论

以上数据表明, 农田氮素对水体污染较重, 生活污水、人粪尿、畜禽粪尿向水体排放的 COD<sub>Cr</sub> 量较大, 对水体 TP 污染严重. 1997 年流入该区水体的 TN 高达 64824t, 其中种植业、畜牧业、渔业累计占 46%; 生活污水、人粪尿、畜禽粪尿向水体排放的 COD<sub>Cr</sub> 量分别为 89385t、74551t、16820t, 向水体排放的 TP 量分别为 2239t、1969t、7241t. 畜禽粪尿、生活污水、人粪尿和精养鱼塘向水体排放的 COD<sub>Cr</sub>、TP、TN 污染物等标排放结果表明, 这四各种污染物对水体的污染均表现为 TP 最重、TN 次之、COD<sub>Cr</sub> 最低, 其中, 畜禽粪尿、生活污水表现最为明显.

## 参 考 文 献

- 1 国家环保局. 太湖水系水质保护研究. 国家“七五”科技攻关环境保护项目成果简介. 北京: 科学技术出版社, 1992
- 2 金相灿等. 中国湖泊环境. 北京: 海洋出版社, 1995. 267-322
- 3 马立珊等. 江苏太湖水系农业面源污染源污染及其控制对策研究. 环境科学学报, 1997, (1): 346-354
- 4 李伟波等. 太湖地区高产稻田氮肥施用与作物吸收利用的研究. 土壤学报, 1997, 34(1): 67-73
- 5 张大弟等. 上海市郊区非点源污染综合调查评价. 上海农业学报, 1997, 13(1): 31-36
- 6 吴月华等. 淀山湖影响区农业非点源污染的分析控制. 上海环境科学, 1991, (6): 34-36
- 7 张家骥等. 上海农村环境保护战略对策. 上海: 上海科技出版社, 1993. 54-59
- 8 Andrew S, Meyer M. Minimizing agricultural non-point source impacts; a symposium overview. *J Environ Qual*, 1994, 23: 1-3

- 9 Udayara S T, Robert J. Evaluating agricultural non-point source pollution using integrated geographic information systems and hydrologic/water quality model. *J Environ Qual*, 1994, 23:25-35
- 10 汪七年. 太湖水变清了吗. 江苏经济报, 1999-08-17

## Pollutants Sources and Their Discharging Amount in Taihu Lake Area of Jiangsu Province

LI Ronggang<sup>1</sup> XIA Yuanling<sup>2</sup> WU Anzhi<sup>3</sup> QIAN Yisheng<sup>3</sup>

(1; *Jiangsu Department of Agriculture and Forestry, Nanjing 210013, China;*

2; *Wujin Municipality Plan Committee of Jiangsu Province, Wujin 213161, China;*

3; *Wujin Municipality Agriculture Bureau of Jiangsu Province, Wujin 213161, China)*

### Abstract

Total nitrogen discharged from different sources in Taihu Lake area of Jiangsu province in 1997 is estimated as 64824t. Proportion of total nitrogen discharged into Taihu Lake area water system of Jiangsu Province from different sources in this area is 24% from farmland, 22% from industry, 18% from human manure and urine, 16% from animal & poultry manure and urine, 14% from life waste water, and 6% from carefully raised fish pond. Nitrogen amount discharged from field, animal husbandry and fishery targets 46% of total nitrogen into the water, which shows that nitrogen pollution from agriculture production is serious. Proportions of COD<sub>Cr</sub> discharge from different sources are shown in detail: 89385 t · a<sup>-1</sup> from life waste water, 74551 t · a<sup>-1</sup> from human manure and urine, 16820 t · a<sup>-1</sup> from animal & poultry manure and urine, 2758.5 t · a<sup>-1</sup> from carefully raised fish pond and TP (total phosphorus) is 7241 t · a<sup>-1</sup> from animal & poultry manure and urine, 2239 t · a<sup>-1</sup> from life waste water, 1969 t · a<sup>-1</sup> from human manure and urine, 407.3 t · a<sup>-1</sup> from carefully raised fish pond. Results of equivalent standard polluting load analysis show that the cosequence of worsening water quality is resulted from TP, TN and COD<sub>Cr</sub> in life waste water, human manure and urine, animal & poultry manure and urine and carefully raised fish pond.

**Key Words** Taihu Lake area, water pollutants, discharging pollutant amount