

苏州地区水体氮污染状况*

邢光熹 施书莲 杜丽娟 曹亚澄
孙国庆 沈光裕 孙德玲

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 报告了地处太湖流域中心地带的苏州地区水体氮污染研究结果。对苏州吴县境内主要河流、湖泊和农村浅层地下水氮污染现状进行了评估。根据不同水体, 不同形态无机氮的浓度及 PO_4^{3-} 的浓度, 对河水、湖水和井水中氮的来源进行了初步讨论, 比较了河湖水体氮污染的季节性变化, 提出了减缓这一地区水体氮污染的对策。

关键词 苏州地区, 水体, 氮污染

中图分类号 X52

苏州及其所属县市处于太湖流域的中心地带, 总面积为 8488km^2 , 其中水域面积占 42.5% ^[1], 是工农业发达、人口密集、高投入高产出的地区。

苏州地区目前的主要农作制为稻—麦(或其他冬季作物)一年两熟制。这一地区农作物的高产主要是通过肥料特别是化学氮肥的高投入和品种改良等措施取得的。1995年化学氮肥的平均用量为 $\text{N}509\text{kg hm}^{-2}$ ^[1], 高出同年全国化学氮肥平均用量1倍多^[2]。水田化学氮肥的用量要高于旱地, 目前已达 $\text{N}600\text{kg hm}^{-2}$ 左右。

化学氮肥投入量的增加, 人口, 特别是城镇人口的增加, 势必给环境造成很大的压力, 1995年苏州地区平均人口密度已达 675人/km^{-2} ^[1], 在尚未建立完善的城市污水处理系统的情况下, 大量生活污水、农村人畜排泄物和某些含氮的工厂废水直接排入河湖, 已使这一地区的河水水质严重恶化。太湖等湖泊已频频出现水体富营养化现象——“藻华”。

太湖地区的水体氮污染问题早已引起了人们的关注, 但较为系统的研究报告不多^[3,4]。为此, 2000年3月和7月对苏州吴县市境内的主要河流湖泊及农村生活用井水体的氮污染进行了定点观测研究。

1 研究方法

1.1 水样的采集

河水、湖水和井水的采样深度为 $0.5\sim 1.0\text{m}$ 。8条河流(见表1)水样取自每一条河的不同河段, 从市区中心向外延伸。湖水(见表2)取自湖边至湖中心的不同湖面。井水采自苏州吴县市境内的不同村镇(见表3), 随机取样。

* 国家自然科学基金资助项目, 批准号: 49571034, 39790110, 49971048

收稿日期: 2000-11-15; 收到修改稿日期: 2001-03-22

采集 20~ 30mL 水样, 立即放入低于 4℃ 的冰桶中保存, 用于同时分析 NO_3^- , NH_4^+ 和总 N。

1.2 NO_3^- , NH_4^+ , 总 N 和 P 的分析

用荷兰 SKALAR SAN 分断流动分析仪测定 NO_3^- , NH_4^+ 和总 N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+ +$ 可溶性有机氮)。相对误差为 3.9%。检测下限为 0.2 mg L^{-1} 。P 用比色法分析^[5]。

2 结果和讨论

2.1 地表水和地下水的氮污染状况

2.1.1 河水的氮污染现状 河水的氮污染状况如表 1。

表 1 苏州和吴县地区不同河流水体 NO_3^- , N_2O , NH_4^+ , 无机氮, 有机氮, 总氮和 PO_4^{3-} 的浓度(2000 年 3 月采样)

Table 1 Concentrations of NO_3^- , N_2O , NH_4^+ , inorganic N, organic N, total nitrogen and PO_4^{3-} in different rivers in Wuxian and Suzhou regions (Sampling in March, 2000)

水系 Water system	采样地点 Sampling site	NO_3^- (N mg L^{-1})	NH_4^+ (N mg L^{-1})	无机氮 ¹⁾ Inorganic N (N mg L^{-1})	有机氮 ²⁾ Organic N (N mg L^{-1})	总氮 Total N (N mg L^{-1})	PO_4^{3-} (P mg L^{-1})
吴淞江	黄石桥	1.37	5.21	6.58	0.63	7.21	0.392
	斜塘莲香新村	1.55	6.25	7.80	0.18	7.98	0.090
	胜浦新胜浦大桥	2.14	4.10	6.84	5.32	11.6	未测定
娄江河	跨塘	1.37	16.4	17.8	1.00	18.8	0.055
	唯亭	1.43	3.20	4.63	1.16	5.79	未测定
元河塘河	平齐桥	1.19	9.06	10.3	0.50	10.8	0.085
	陆墓中桥	1.72	6.81	8.53	0.40	8.93	0.089
	里口里北大桥	1.72	3.85	5.57	0.82	6.39	未测定
胥江	渭塘	1.81	2.19	4.00	1.70	5.70	未测定
	横塘	1.20	5.40	6.60	0.92	7.52	0.120
	许家桥	3.00	0.20	3.20	0.20	3.40	未测定
西塘河	胥口, 胥江口	0.75	0.21	0.96	0.18	1.14	未测定
	龙桥, 老龙桥	1.06	11.6	12.7	12.7	14.9	0.925
	浒东河	1.40	8.91	10.3	10.3	10.9	未测定
浒光河	浒关	1.30	10.7	12.0	0.89	12.9	0.044
	通安新钱村	1.37	0.30	1.67	0.19	1.86	未测定
	东渚	1.05	0.36	1.41	0.30	1.71	未测定
京杭运河	光福	2.70	0.40	3.10	0.21	3.31	未测定
	觅渡桥	0.30	3.00	3.30	0.70	4.00	0.224
	枫桥	0.57	7.75	8.32	0.50	7.82	0.066
	吴县农科所	1.68	5.90	7.58	1.67	9.25	0.344
	望亭南桥	0.35	9.15	9.50	1.35	10.8	0.089
	望亭与新安间	0.35	9.27	9.62	1.48	11.1	0.078
		$1.36 \pm 0.68^3)$	5.69 ± 4.26	7.06 ± 4.10	0.93 ± 1.13	7.99 ± 4.44	0.200 ± 0.244
		($n=23$) ⁴⁾	($n=23$)	($n=23$)	($n=23$)	($n=23$)	($n=13$)

1) $\text{NH}_4^+ - \text{N} + \text{NO}_3^- - \text{N}$, 2) 有机氮为全氮减去无机氮, 3) 平均值, 4) n 为样品数

根据已有文献报道^[6],当水体氮磷营养盐浓度分别达到:无机氮($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) N 0.2 mg L^{-1} 和无机磷(PO_4^{3-}) P 0.015 mg L^{-1} ,在其他条件具备时,就会出现水体富营养化的特征—“藻华”现象。表1结果表明,主要河流水样无机氮的平均浓度已达 N 7.05 mg L^{-1} ,总氮已达 N 7.99 mg L^{-1} ,可见苏州市区和吴县地区河水氮的污染已达到十分严重的程度。

河水 NH_4^+ 和可溶性磷酸盐(PO_4^{3-}) 的浓度很高(表1),高浓度的 NH_4^+ 是城市生活污水和农村人畜排泄物的特征。高浓度的 PO_4^{3-} 主要来自生活污水中的合成洗涤剂,及人和动物排泄物。高浓度的 NH_4^+ 和 PO_4^{3-} 一般不可能来自农田渗漏,因为土壤对 NH_4^+ 和 PO_4^{3-} 有较强的固持能力。根据马立珊等^[2]报告的数据计算,这一地区来自农田的净径流氮(实测农田径流氮减去雨水和灌溉水带入的氮)为每年 N 3.1 kg hm^{-2} ,相当于当时当地化学氮肥施用的1%。虽然不能排除农田淋洗产生的 NO_3^- 也是河水中 NO_3^- 的一个源,但不论枯水期(表1)或丰水期(表4)河水中 NO_3^- 的浓度都不高,比 NH_4^+ 低得多。农田淋洗出的 NO_3^- 在河水氮中所占的比例不会很高。看来目前河水氮主要来自生活污水和农村人畜排泄物。

2.1.2 湖水的氮污染现状 湖水的氮污染状况见表2。

表2 苏州吴县境内枯水期太湖和阳澄湖水中 NO_3^- , NH_4^+ , 总氮和 PO_4^{3-} 的浓度(2000年3月采样)

Table 2 Concentrations of NO_3^- , NH_4^+ , total nitrogen and PO_4^{3-} in the water bodies of

the Taihu Lake and Yangcheng Lake in Suzhou and Wuxian during the dry season (Sampling in March, 2000)

采样地点 Sampling site	水系 Water system	NO_3^- (N mg L^{-1})	NH_4^+ (N mg L^{-1})	总氮 Total nitrogen (N mg L^{-1})	PO_4^{3-} (P mg L^{-1})
叶山岛与阴山岛之间	太湖	1.10	* ¹⁾	1.41	0.019
平台山与漫山岛之间	太湖	0.95	*	1.29	0.014
胥口太湖边	太湖	0.61	*	1.00	0.024
阳澄湖(东)	阳澄湖	0.49	*	0.53	0.024
阳澄湖(中)	阳澄湖	0.44	*	0.98	0.021
阳澄湖(西)	阳澄湖	2.5	0.90	4.06	0.024
阳澄湖中心	阳澄湖	2.81	0.90	3.19	0.029
		1.27 ± 0.98^2	0.26 ± 0.43	1.88 ± 1.46	0.022 ± 0.005
		($n=7$) ³⁾	($n=7$)	($n=7$)	($n=7$)

1) 表示低于检测限($N < 0.2 \text{ mg L}^{-1}$), 2) 平均值, 3) n 为样品数

太湖和阳澄湖湖水氮污染程度虽然比河水要轻得多(表2),但不同湖泊,或同一湖泊不同湖区水体,氮污染的轻重程度不同。太湖不同水域无机氮之一的 NO_3^- 浓度已达 N $0.61 \sim 1.0 \text{ mg L}^{-1}$;无机磷的浓度也已达 P $0.014 \sim 0.024 \text{ mg L}^{-1}$ (表2),均已达到或超出水体富营养化氮磷营养盐的临界浓度,在温度等条件适宜时,都可发生藻华现象。

阳澄湖东、中、西,三个湖区全氮浓度分别为 N 0.53 , 0.98 和 4.06 mg L^{-1} 。阳澄湖东区 NO_3^- 的浓度虽达到了 N 0.53 mg L^{-1} ,但 NH_4^+ 浓度低于检测限。然而阳澄湖西区和西区的湖中心段总氮浓度分别达到 N 4.06 和 3.91 mg L^{-1} ,磷酸盐的浓度也达到 P 0.028 mg

L^{-1} , 表明阳澄湖西区已达到与河水氮污染相似的严重程度。湖水中的氮虽然主要是由于河水中氮的输入, 但是目前阳澄湖的大部分水面已进行围网养殖, 饵料的投入也是湖水的一个重要的氮污染源。

2.1.3 井水氮污染状况 井水的氮污染主要是 NO_3^- , 而不是 NH_4^+ 。35 口水井 NH_4^+ 的浓度均在检测限以下。井水 NO_3^- 的浓度从 $N 0.31 mg L^{-1}$ 到 $N 43.47 mg L^{-1}$, 平均为 $N 7.98 mg L^{-1}$ (表 3), 被调查的 40 口水井 NO_3^- 的浓度高于 $N 10 mg L^{-1}$ 的井数为 28%。在所调查的 40 口水井中只有 5 口井检测到了 NH_4^+ , 表明受农村生活污水和动物排泄物氮直接影响的井不多。虽然不能排除进入宅基周围沟渠的生活污水和动物排泄物中的氮转化为 NO_3^- 后渗入水井的可能性, 然而这种浅层井水中的 NO_3^- 可能主要来自农田。详细的讨论参见我们的另一篇论文^[7]。

表 3 苏州吴县不同地区井水 NO_3^- , NH_4^+ 的浓度(2000 年 3 月采样)

Table 3 Concentrations of NO_3^- and NH_4^+ in well water in different regions in Wuxian and Suzhou (Sampling in March, 2000)

采样地点 Sampling site	NO_3^- ($N mg L^{-1}$)	NH_4^+ ($N mg L^{-1}$)	采样地点 Sampling site	NO_3^- ($N mg L^{-1}$)	NH_4^+ ($N mg L^{-1}$)
胥口花墩村	25.85	— ¹⁾	陆墓夏圩村	3.21	—
胥口花墩村	10.75	—	斜塘宅前村	3.67	—
胥口花墩村	3.68	—	斜塘凌港村	0.97	—
胥口花墩村	7.41	—	唯亭陆中村	0.43	—
横塘蒋墩村	4.47	—	唯亭陆中村	43.47	—
胥口许家桥村	4.05	8.33	唯亭陆中村	33.12	—
胥口许家桥村	2.02	—	跨塘前一图村	12.43	—
胥口许家桥村	0.44	3.00	跨塘前一图村	22.005	—
胥口许家桥村	0.99	9.79	跨塘前一图村	2.10	—
光福下绞村	3.07	—	跨塘前一图村	11.06	—
东渚渚渔村	5.04	—	浒关保丰村	0.84	—
通安新钱村	9.59	—	枫桥镇	1.39	0.40
通安新钱村	5.78	—	郭巷庙寺圩村	4.76	—
通安新钱村	3.65	—	觅渡桥	0.79	0.40
通安新钱村	5.02	—	东桥旺庄	1.61	—
新安毛甲里村	15.59	—	里口大湾村	0.31	—
新安毛甲里村	3.94	—	渭塘娄泾村	7.54	—
新安毛甲里村	24.85	—	渭塘娄泾村	6.08	—
新安毛甲里村	10.67	—	渭塘娄泾村	1.84	—
望亭奚家桥	3.99	—	渭塘娄泾村	13.88	—
				$7.98 \pm 9.65^{2)}$	
				$n = 40^3)$	

1) 表示低于检测限($N < 0.2 mg L^{-1}$), 2) 平均值, 3) n 为样品数

2.2 河、湖水不同形态氮浓度的季节性变化

丰水期河水 NO_3^- , NH_4^+ 和总氮均低于枯水期, 特别是 NO_3^- 。丰水期河水 NO_3^- , NH_4^+

和总氮的浓度分别为 $N\ 0.81 \pm 0.37\text{mg L}^{-1}$ ($n=22$), $5.06 \pm 3.43\text{mg L}^{-1}$ ($n=22$), 和 7.85 (± 4.14) mg L^{-1} ($n=22$) (表 4), 枯水期河水 NO_3^- , NH_4^+ 和总氮浓度见表 1。

表 4 苏州吴县地区丰水期河水 NO_3^- , NH_4^+ , 总氮, 无机氮, 有机氮和 PO_4^{3-} 浓度(2000年7月采样)

Table 4 Concentrations of NO_3^- , NH_4^+ , total nitrogen, inorganic N, organic N, and PO_4^{3-} in rivers in Wuxian and Suzhou regions (Sampling in June, 2000)

水系 Water system	采样地点 Sampling site	NO_3^- (N mg L^{-1})	NH_4^+ (N mg L^{-1})	总氮 Total N (N mg L^{-1})	PO_4^{3-} (P mg L^{-1})	无机氮 ¹⁾ Inorganic N (N mg L^{-1})	有机氮 ²⁾ Organic N (N mg L^{-1})
吴淞江	黄石桥	0.32	7.15	8.69	0.286	7.47	1.22
	斜塘	1.03	2.28	4.16	0.175	3.31	0.85
	胜浦	0.65	2.1	4.73	0.054	2.75	1.98
娄江河	跨塘	0.73	11.55	14.10	0.068	12.28	1.82
	唯亭	0.50	2.57	4.53	0.058	3.07	1.46
元河塘河	平齐桥	1.00	1.18	3.06	0.114	2.18	0.88
	陆墓中桥	1.15	1.45	3.69	0.180	2.60	1.09
	里口	1.22	0.40	2.58	0.027	1.26	1.32
	渭塘	0.72	1.63	3.62	0.172	2.35	1.27
胥江	横塘	1.07	4.32	6.67	0.064	5.39	1.28
	许家桥	0.33	4.77	6.82	0.177	5.10	1.72
	胥江口	0.43	8.45	12.21	0.143	8.88	3.33
浒光河	浒关	1.28	4.81	7.88	0.055	6.09	1.79
	通安	1.27	4.38	6.98	0.048	5.65	1.33
	东渚	1.00	3.45	6.09	0.044	4.45	1.64
	光福	1.12	3.88	6.29	0.026	5.00	1.29
京杭运河	觅渡桥	0.45	8.00	11.70	0.209	8.45	3.32
	枫桥	0.87	5.55	8.73	0.077	6.42	2.31
	吴县农科所	0.43	8.10	13.03	0.414	8.53	4.50
	望亭南桥	0.67	4.10	7.75	0.041	4.77	2.98
	望亭—新安间	1.47	7.50	10.41	0.087	8.97	1.44
西塘河	老龙桥	0.20	13.73	18.97	0.934	13.93	5.54
		$0.81 \pm 0.37^3)$	5.06 ± 3.43	7.85 ± 4.14	0.137 ± 0.198	5.87 ± 3.30	2.02 ± 1.21
		$n=22^4)$	$n=22$	$n=22$	$n=22$	$n=22$	$n=22$

1) 无机氮为 $\text{NH}_4^+ - \text{N} + \text{NO}_3^- - \text{N}$, 2) 有机氮为全氮减去无机氮, 3) 平均值, 4) n 为样品数

丰水期湖水 NO_3^- , NH_4^+ 和总氮的平均浓度都低于枯水期, 丰水期湖水 NO_3^- , NH_4^+ 和总氮的浓度分别为 $N\ 0.31 \pm 0.12\text{mg L}^{-1}$ ($n=7$), $< 0.2\text{mg L}^{-1}$ 和 $0.61 \pm 0.17\text{mg L}^{-1}$ ($n=7$) (表 5), 而枯水期湖水 NO_3^- , NH_4^+ 和总氮的浓度分别为 $N\ 1.27$ (± 0.98) mg L^{-1} ($n=7$), $0.26 \pm 0.43\text{mg L}^{-1}$ ($n=7$) 和 $1.88 \pm 1.46\text{mg L}^{-1}$ ($n=7$) (表 2)。

表 5 苏州吴县地区湖水 NO_3^- , NH_4^+ , 总氮, 和 PO_4^{3-} 浓度(2000 年 7 月采样)Table 5 Concentrations of NO_3^- , NH_4^+ , total nitrogen and PO_4^{3-} in lakes in Wuxian and Suzhou regions (Sampling in June, 2000)

水系	采样地点	NO_3^-	NH_4^+	全 N T tal nitrogen	PO_4^{3-}
Water system	Sampling site	(N mg L^{-1})	(N mg L^{-1})	(N mg L^{-1})	(P mg L^{-1})
太湖	胥口, 太湖边	0.42	* 1)	8.63	0.024
	太湖叶山岛—阴山岛之间	0.27	*	0.54	0.019
	太湖漫山岛—平台山之间	0.52	*	0.76	0.014
阳澄湖	阳澄湖(东)	0.28	*	0.90	0.021
	阳澄湖(中)	0.27	*	0.43	0.021
	阳澄湖(西)	0.22	*	0.48	0.029
	阳澄湖西中心区	0.20	*	0.52	0.029
		$0.31 \pm 0.12^2)$	*	0.61 ± 0.17	0.0224 ± 0.005
		($n=7$) ³⁾		($n=7$)	($n=7$)

1) 表示低于检测限($N < 0.2 \text{ mg L}^{-1}$), 2) 平均值, 3) n 为样品数

对于丰水期河湖水体中 NO_3^- 和 NH_4^+ 浓度降低的一般解释是丰水期地表径流的稀释作用^[3]。然而丰水期河水 NO_3^- 与 NH_4^+ 浓度的降低也可能与水温升高, 有利于水体微生物活动, 使有机氮矿化和反硝化强度加大, 消耗了迁移到水体的无机氮有关^[7-11]。

3 太湖地区水体氮污染的减缓对策

从以上的讨论中可以清楚地看到, 这一地区河水氮污染最为严重, 而且现阶段主要的污染源是城市及小城镇的生活污水、农村人畜排泄物和某些工厂废水的直接排放。当务之急是在城市建立完善的污水处理系统, 对正在蓬勃兴起的农村小城镇建设也要对生活污水的处理系统同时作出规划设计。农村居民修建新住宅也要同时修建简易的生活污水处理设施。对大型禽畜养殖场废水的排放要制订排放标准, 并鼓励建立制造商品有机肥料的设施, 或发展综合利用禽畜排泄物的生态农业。鉴于围网养殖饲料的投入也是导致湖水氮污染的一个重要源, 对于湖泊水面的利用, 必须有一个科学的规划与指导, 改变目前的失控状态。湖泊水面围网养殖应以不超过水体自净能力为前提。农村井水的硝态氮主要是来自农田, 因此, 改进氮肥施用技术, 提高氮肥利用率, 包括使用包膜缓释氮肥等仍然是减少农田氮对水体和大气污染的基本途径。

参 考 文 献

1. 苏州市统计局. 苏州统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 1996
2. 中国农业统计年鉴编辑部. 中国农业统计年鉴. 北京: 农业出版社, 1996
3. 马立珊, 钱敏仁. 太湖流域水环境硝态氮和亚硝态氮污染的研究. 环境科学, 1987, 8(2): 60-65
4. 马立珊, 汪祖强, 张水铭等. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究. 环境科学学报, 1997, 17(1): 39-47
5. 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 1978. 404-411
6. 朱建国. 硝态氮污染危害与研究展望. 土壤学报, 1995, 32(增刊): 62-69
7. 邢光熹, 曹亚澄, 施书莲等. 太湖地区水体氮污染源和水体中氮的反硝化. 中国科学(B), 2001, 31(2): 130-137

8. Jenes J G. Denitrification in freshwater. In: G Iteman H L ed. Denitrification in the Nitrogen Cycle. New York: Plenum Press, 1985. 225~ 239
9. Andersen T K, Jensen M H, Sprensen J. Diurnal variation of nitrogen cycling in coastal marine sediments. I. Denitrification. Mar Biol., 1984, 83: 171~ 176
10. Andersen J. Significance of denitrification in the strategy for preserving lakes and coastal areas against eutrophication. In: G Iteman H L ed. Denitrification in the Nitrogen Cycle. New York: Plenum Press, 1985. 171~ 190
11. Seitzinger S P. Denitrification in aquatic sediments. In: Revsbech N P and Sprensen J. eds. Denitrification in Soil and Sediment. New York and London: Plenum Press 1990. 301~ 321

SITUATION OF NITROGEN POLLUTION IN WATER BODIES IN SUZHOU REGION

Xing Guang-xi Shi Sh-lian D Li-j an Ca Ya-cheng

Sun G -qing Shen Guang-y Sun De-ling

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Summary

In this paper presented are results of a study on nitrogen pollution in water bodies in Suzhou region, which is located in the center of the Taihu Valley. The present situation of nitrogen pollution in the major rivers and lakes as well as in the shallow groundwater in rural areas are evaluated. For different water bodies, concentrations of PO_4^{3-} and different forms of inorganic N, N source in the rivers, lakes and well waters are investigated. Seasonal variation of nitrogen pollution in the rivers and lakes are compared and countermeasures are brought forward for mitigating nitrogen pollution in water bodies in this region.

Key words Suzhou region, Nitrogen pollution, Water bodies