

1.22 倍,比太湖高 3.16 倍,比鄱阳湖高 3.78 倍;镉含量比瑞典湖泊高 3.57 倍,比太湖高 14.1 倍,比鄱阳湖高 0.79 倍等,由此可知,滇池沉积物中金属元素含量是比较高的(见表 4)。

3. 工业废水污染对滇池沉积物中金属元素含量的影响

根据沿湖主要入湖河道调查,除外海昆阳河未受到重金属污染外,其余各条河均遭到了不同程度的污染,甚至严重污染。如运粮河口、外海的磷肥厂污水排出口等都遭到相当严重的重金属污染。这说明滇池沉积物中重金属污染主要来自各入湖河道(见表 5)。

三、结 语

通过对滇池沉积物中重金属的采样分析,得出下列几点认识:

1. 滇池沉积物中重金属含量水平与洱海相近,但是要比其它地区湖泊沉积物中重金

属含量高得多,这说明滇池是重金属元素的高背景区。

2. 滇池沉积物中重金属含量较高的原因一是与其地质有关;二是由于工业污染所造成。其污染程度是内草海>外草海>外海。

3. 滇池沉积物中镉的污染最为突出,其次是铜、铅、锌和汞等。

4. 滇池是属于半封闭性湖泊,湖水对污染物的稀释能力较差,因此必须严格控制不合排放标准的重金属废水进入湖内。对于已被严重污染的河流及湖区应采取积极的治理措施,必要时应适当地调整其上游的工业布局,以确保人体健康和生态平衡。

参 考 文 献

- [1] 滇池污染与水生生物研究协作组,滇池污染与水生生物,1—5 页,云南人民出版社,1983 年。
- [2] 太湖环境质量调查组,太湖环境质量研究(专辑),上海师范学院学报,99—107 页(1983)。
- [3] 何纪力等,环境科学丛刊,6(7),47(1985)。
- [4] 孙顺才,海洋学报,3(1),97(1981)。

太湖流域水环境硝态氮和亚硝态氮污染的研究

马 立 珊

(中国科学院南京土壤研究所)

钱 敏 仁

(苏州市环境保护局)

随着工农业生产的发展,氮素已成为日益增长的环境污染物质。本世纪七十年代以来,对于水体氮素污染问题的研究,已在国际上引起广泛重视,相继召开氮素水污染会议和第 38 届诺贝尔关于氮的学术讨论会^[1-3],推动本项研究的发展。我国在此领域尚处于起步阶段。

环境氮素污染对于人畜健康的危害性,已引起有关方面的关注。胃癌可能与饮水和蔬菜硝酸盐增高有关^[4-6];启东县饮水中硝酸盐和亚硝酸盐含量与当地肝癌死亡率呈正相关;林县井水硝酸盐和亚硝酸盐含量与食管

上皮重度增生和食管癌患病率呈正相关^[7]。这是因为硝酸盐和亚硝酸盐在饮食品中含量高,有利于致癌物质 N-亚硝胺的体内外合成之故。水体和土壤氮素含量高则是导致饮食品硝酸盐和亚硝酸盐含量高的直接原因。所以环境尤其是水环境的氮素污染是与人畜健康攸关的问题。

太湖流域是我国重要的工农业生产基地,人口稠密、生产集约。近年来本区工业尤其是乡镇企业发展极为迅速,排污量与日俱增。本区农业集约化程度高,化学氮肥施用量逐年递增,已达到发达国家的水平,因未

能把握适时适量等最佳施肥方法,氮肥淋溶流失严重,加剧水体氮素污染。此外本区航运业发达,船户排入水体废弃物日增。这样使得本地区水体氮素污染状况日趋严重。本文介绍对本地区水环境氮污染情况的研究。

一、调查内容和分析方法

1. 以苏州市吴县为重点,在太湖地区选择不同类型水稻土,布置田间试验点 20 处,设置开放式渗水计 ($\phi 10\text{cm}$ PVC 管),定期采集各试验点的渗漏水、灌溉水、田面水、排出水和混合雨水样本,以供分析。

2. 据吴县地区的水系及其流向,选择其主要河流和湖泊:吴淞江、大运河、娄江、胥江、浒光运河、元和塘、苏东河、木光河和阳澄湖等,布置水样采集点 42 处,每年分别在平水期、丰水期和枯水期采样以供检测。

3. 在吴县地区的部分乡村,用随机抽样法,对 76 口饮水井进行取样分析。

各类水样总计 1220 个。采样时每 100 ml 水样加入 0.2% 醋酸苯基汞溶液 0.2ml,以阻滞氮的形态发生变化。

4. 分析方法系使用电子捕获检测器——气液色谱法,对硝态氮 (NO_3^-) 和亚硝态氮 (NO_2^-) 进行检测^[7,8]。其检测下限为 0.02 ppm,回收率为 96—107%,变异系数为 $\pm 6.9\%$ 。用平行样和标准样进行分析质量控制。所用仪器是 103 型气相色谱仪。

二、氮肥施用状况

据熊毅等人^[12]的资料,1978 年苏州地区每亩耕地全年化学氮肥用量为 16.4kg 氮,为全国平均用量的三倍,与法国的施肥水平相似。据估算,若不计入有机肥料中泥质成份含氮量,本区每年氮素的输入总量达到 23kg/亩以上。其中 62—72% 是化肥氮,有机肥料氮仅占 19—27%。

近年来吴县化学氮肥施用量列于表 1。全县耕地面积为 1.2×10^6 亩,每年氮素输入

总量平均为 28 kg/亩以上。

表 1 吴县化学氮肥施用量

年份	化学氮肥施用量 (t)	折合纯氮 (kg)	全县平均用量 (kg/亩)
1980	135,000	27,764,000	23.13
1981	135,000	27,785,000	23.15
1982	135,000	28,010,000	23.34
1983	125,000	28,051,000	23.37
1984	129,500	28,072,000	23.39

三、结果和讨论

1. 地面水硝态氮污染状况和讨论

据我国地面水环境质量标准,为了防止水质富营养化,规定湖泊总氮和总磷均不得超过 0.1ppm,在不计入有机态和氨态氮的情况下,阳澄湖水样总氮含量超标率丰水期和枯水期均为 100%,平水期为 11.8%,说明其富营养化的危险迫在眉睫(限制因子是磷素),详见表 2。各条河流均为缓流河流,参照湖泊富营养化标准,总氮含量超标率平水期为 92.0%,丰水期为 88.0%,枯水期为 100%。年平均超标率为 93.3%。详见表 3。其中尤以胥江、木光河和浒光运河污染状况甚为严重,硝态氮年平均值分别超标 21.9、16 和 3.5 倍。

本区地面水氮素污染的来源大体上可以分为两类,一类是点源污染,主要是城市工业含氮废水和居民生活污水;另一类是面源污染,主要是滥施氮肥、航运交通和大气降水等。

河流中硝态氮含量的变化,系由于 3—4 月份天气回暖,水温上升,水体中的微生物开始活跃,促使硝化反应速度加快,使硝态氮在水体中累积,因此平水期河流硝态氮含量超标率比较高。五月以后水生生物生长逐渐旺盛,吸收大量的硝态氮作为其营养源,以促进自身生长发育。加上雨季开始,硝态氮被扩散和稀释,所以河水中硝态氮含量在丰水期超标率比较低。本区实行稻麦轮作制,为

表 2 阳澄湖水硝态氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 污染状况

区 别	样 号	硝态氮 (NO ₃ -N) 含量 (ppm)						区平均值
		四月下旬		九月下旬		十二月下旬		
		实测值	平均值	实测值	平均值	实测值	平均值	
中 区	1	0.15	0.10	0.28	0.25	0.40	0.40	0.25
	2	0.10		0.25		0.38		
	3	0.10		0.25		0.35		
	4	0.10		0.20		0.45		
东 区	5	0.05	0.10	0.20	0.20	0.25	0.48	0.26
	6	0.08		0.15		0.29		
	7	0.10		0.18		0.65		
	8	0.10		0.20		0.50		
	9	0.15		0.25		0.70		
西 区	10	0.05	0.06	0.20	0.25	0.30	0.30	0.20
	11	0.05		0.20		0.25		
	12	0.05		0.25		0.25		
	13	0.05		0.20		0.15		
	14	0.05		0.20		0.20		
	15	0.05		0.25		0.25		
	16	0.05		0.25		0.46		
	17	0.10		0.45		0.55		
总 平 均 值 0.24								

表 3 吴县河流硝态氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 污染状况

河流名称	硝态氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 含量 (ppm)				年平均 超标倍数
	平水期	丰水期	枯水期	年平均	
吴淞江	0.22	0.17	0.13	0.17	0.7
南吴淞江	0.20	0.13	0.23	0.19	0.9
元和塘	0.30	0.22	0.30	0.27	1.7
娄江	0.15	0.24	0.48	0.29	1.9
大运河	0.20	0.15	0.62	0.32	2.2
苏东河	0.25	0.28	0.60	0.37	2.7
浒光运河	0.21	0.23	1.53	0.65	5.5
木光河	0.24	0.21	4.68	1.70	16.0
胥江	0.22	5.18	1.46	2.29	21.9

防止小麦渍害,挖沟排水降低地下水位是小麦播种前后的必备措施。这样农田中大量的硝态氮以渗滤的方式由地下水进入河流,由地下水进入河流湖泊,因此枯水期超标率均达 100%。平水期阳澄湖硝态氮含量超标率很低,可能是当时氮素来源少,而湖内水草等

水生生物十分茂盛所致。

由表 5 可见,太湖流域和吴县雨水硝态氮含量年平均均值±标准差分别为 0.27 ± 0.06 , 0.28 ± 0.05 ,其含量范围为 0.08—0.56ppm,且峰值均出现在雷雨多、降水量大的第三季度。本区年降水量为 1100—1400mm。据此估算,由大气降水进入地面水域硝态氮的数量占有相当的份额。

全部地面水样亚硝态氮含量均在 0.02 ppm 以下,此处不再予以讨论。

2. 地下水硝态氮和亚硝态氮污染状况和讨论

吴县部份乡村饮用水井硝态氮和亚硝态氮含量见表 4。我国饮用水水质标准规定硝态氮为 10ppm。所调查的饮用水井硝态氮含量枯水期超标率为 38.2%,其中达到标准值两倍和更甚者占 71.4%。占全部水井的 26.3%。世

表 4 吴县井水硝态氮和亚硝态氮污染状况

采样地点	调查井数	硝态氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$)				亚硝态氮 ($\text{NO}_2\text{-N}$)			
		含量范围 (ppm)	平均值 (ppm)	超标井数 (个)	超标百分率 (%)	含量范围 (ppm)	平均值 (ppm)	超标井数 (个)	超标百分率 (%)
通安	14	0.02—40.20	17.81	10	71.4	0.02—0.50	0.12	12	85.7
保安	13	0.02—79.35	24.73	8	61.5	ND—0.58	0.19	8	61.5
黄桥	11	ND—20.00	3.90	1	9.1	0.02—0.28	0.03	4	36.4
东渚	10	0.09—25.80	6.54	1	10.0	ND—0.19	0.02	1	10.0
黄埭	8	0.02—26.80	12.22	2	25.0	0.02—0.25	0.07	8	100.0
望亭	6	0.02—19.60	7.07	1	16.7	ND—0.21	0.04	1	16.7
镇湖	5	0.02—23.20	8.00	1	20.0	ND—0.22	0.04	1	20.0
金山	3	6.80—13.20	9.28	1	33.3	0.02—0.14	0.06	3	100.0
里口	2	5.80—5.90	5.85	0	0.0	0.02	0.02	2	100.0
越溪	2	38.25—40.60	39.48	2	100.0	0.18—0.23	0.21	2	100.0
陆墓	2	15.50—19.60	17.55	2	100.0	0.10—0.12	0.11	2	100.0
合计	76	ND—79.35	14.00	29	38.2	ND—0.58	0.08	44	57.9

表 5 太湖流域 20 个试验点水体硝态氮含量及氮肥施用量

试验地点	硝态氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$) 含量 (年平均值, ppm)						氮肥施用量 (纯氮, kg)		
	田面水	排沟水	雨水	0.25m 渗漏水	0.50m 渗漏水 y_1	1.00m 渗漏水 y_2	前季稻 x_1	后季稻 x_2	全年施肥量 x_3
长兴	0.07	0.10	0.29	0.20	0.20	0.33	10.5	8.0	32.0
新毛	0.06	0.12	0.29	0.29	0.39	0.44	12.7	9.2	36.9
东亭	0.06	0.07	0.19	0.21	0.25	0.38	12.9	9.2	29.0
武进	0.06	0.09	0.21	0.19	0.25	0.39	11.9	8.1	32.0
辛庄	0.08	0.13	0.32	0.21	0.30	0.30	11.8	8.0	31.0
铜罗	0.09	0.19	0.48	0.19	0.29	0.35	12.1	8.1	30.3
光福	0.06	0.06	0.23	0.19	0.22	0.26	10.5	8.1	30.4
胜浦	0.10	0.12	0.25	0.21	0.31	0.44	13.2	8.1	35.0
商榻	0.15	0.14	0.23	0.29	0.38	0.40	14.4	8.1	35.9
颍桥	0.09	0.11	0.32	0.28	0.30	0.36	14.1	9.2	29.9
嘉兴	0.08	0.09	0.27	0.21	0.33	0.44	12.7	8.2	33.8
桐乡	0.05	0.08	0.19	0.31	0.33	0.35	11.8	9.2	31.9
竹箦	0.06	0.07	0.13	0.20	0.29	0.38	10.0	7.9	28.8
奉贤	0.10	0.12	0.25	0.18	0.25	0.42	10.5	9.2	31.7
宝山	0.06	0.07	0.27	0.25	0.30	0.41	11.5	8.9	33.4
平湖	0.08	0.08	0.31	0.12	0.21	0.29	12.7	8.0	30.1
旺坊	0.08	0.09	0.26	0.13	0.16	0.22	10.6	8.0	22.9
越溪	0.07	0.08	0.24	0.17	0.17	0.21	10.0	8.8	27.8
香雪海	0.08	0.08	0.28	0.15	0.25	0.27	11.8	10.5	30.0
里口	0.08	0.09	0.39	0.18	0.45	0.42	15.2	14.4	36.9

界卫生组织 (WHO) 规定饮水中亚硝态氮含量标准为 0.002ppm (我国尚未制订此项标准)。由表 4 可见有 44 口井 (占 57.9%) 亚硝态氮含量为 0.02ppm 以上。这说明本区饮水

井氮素污染十分严重。据报道美国伊利诺斯州的 7.6m 或更浅的水井中, 有 25% 硝态氮含量超过 10ppm, 而从施肥田直接流出的地下水硝态氮含量在春季时经常超过

14ppm^[10].

太湖流域 20 个试验点不同深度渗漏水、田面水、排沟水和雨水中硝态氮含量和施肥量列于表 5. 在作物根系密集层以下 1.00m 深处渗漏水, 其硝态氮含量明显地高于 0.25—0.50m 深处渗漏水, 比田面水则要高出 2—6 倍.

淹水期水稻土表层几毫米到 1 厘米, 因受到灌溉水中溶解氧的影响而成为一个氧化层, 其中的微生物以好气性和兼性微生物为主, 其氧化—还原电位通常在 300mV 以上, 所以在这层土壤中物质的生物化学转化以氧化作用为主. 当铵态氮肥施于水田表面时, 首先在氧化层中发生硝化作用, 产生的硝态氮因土壤胶体主要带负电荷而不被吸持, 若未能被作物及时地吸收利用, 则势必以 NO₃⁻ 形态, 随着土壤水分, 经过土壤—植物系统, 逐渐向下移动, 一旦越出作物根系密集区层以后, 即难于被作物吸收利用, 从而进入地下水. 部份地下水中的硝态氮又以渗滤的方式进入地面水. 所以, 河流、湖泊和井水中的氮素污染有很大部份是由于化学氮肥的过量施用造成的.

据报道美国伊利诺斯州 1949—1969 年间化肥施用量增加 10 余倍, 该州河流中硝态氮的平均含量则从 3ppm 上升到 10ppm. Kohl 等人(1971 年)认为伊利诺斯州河流中的硝态氮至少有 55% 是由于化学氮肥施用不当而引起的^[11]. Prochag-Kora 对捷克二个水库中硝酸盐含量分别作了 16 和 12 年的长期观测, 得到了类似的结论, 表明水库中硝酸盐含量与其流域内农田所占面积的百分数和氮肥施用量呈正相关^[12].

影响硝态氮淋失的主要因素是施肥量、施肥期、施肥方法、氮肥品种、作物种类、土壤类型、灌溉量和降水量等.

研究证明化学氮肥施入土壤后, 植物的吸收、微生物和粘土矿物的固定以及氨的挥发和硝化—反硝化损失之间存在着相互竞争

的关系. 在水稻生长中期, 根系已经发育完全, 对肥料(以尿素为例)氮的吸收量和吸收速率均比较大, 竞争能力强, 因此中期追肥的利用率可达 54.8—64.7%, 而在插秧和缓苗(返青)阶段利用率仅约 38%. ^[13]我们用开放式渗水计, 在田间观测的结果证明了这个论点. 氮肥品种和施肥方法对氮素的去向影响很大. 将氮肥深施于土壤还原层中, 或者与耕作层土壤混施是提高其利用率的施肥方法. 粒肥深施的利用率最高, 而粉肥表施效果最差. 水田不应施用硝态氮肥(如硝酸铵等), 因其在淹水条件下容易遭受反硝化损失, 也极易随田面水流失或随重力水向下渗漏损失.

3. 氮肥施用量与深层渗漏水硝态氮含量的关系

把表 5 数据输入 ACS-68000 型电子计算机进行统计处理, 得到如下几项结果(见表 6):

(1) 0.5、1.0m 深处田间渗漏水硝态氮含量及其平均值与全年氮肥施用量均呈极显著正相关关系.

(2) 0.5m 深处田间渗漏水硝态氮含量与前季稻氮肥施用量、0.5 和 1.0m 深处渗漏水硝态氮含量的平均值与前季稻以及小麦(或油菜)的施氮量均呈极显著正相关.

表 6 线性方程式表

序号	线 性 方 程 式	相 关 系 数	n 值	P 值
1	$y_3 = -0.196 + 0.016x_3$	0.841	20	<0.01
2	$y_1 = -0.246 + 0.017x_3$	0.816	20	<0.01
3	$y_2 = -0.157 + 0.018x_3$	0.765	20	<0.01
4	$y_1 = -0.159 + 0.037x_1$	0.730	20	<0.01
5	$y_3 = -0.053 + 0.031x_1$	0.654	20	<0.01
6	$y_3 = 0.195 + 0.014 \times [x_3 - (x_1 + x_2)]$	0.579	20	<0.01
7	$y_2 = 0.050 + 0.025x_1$	0.508	20	<0.05

(3) 1.0m 渗漏水与前季稻施氮量呈显著正相关.

(4) 深层渗漏水硝态氮含量与前季稻、

后季稻和小麦(或油菜)期氮肥施用量之间的数学模式分别为:

$$y_1 = -0.380 + 0.028x_1 + 0.021x_2$$

$$+ 0.013[x_3 - (x_1 + x_2)]$$

$$y_2 = -0.173 + 0.023x_1 + 0.009x_2$$

$$+ 0.015[x_3 - (x_1 + x_2)]$$

$$y_3 = -0.283 + 0.025x_1 + 0.016x_2$$

$$+ 0.015[x_3 - (x_1 + x_2)]$$

以上 x_1 、 x_2 、 x_3 、 y_1 和 y_2 的含义见表 5。 y_3 是 y_1 与 y_2 的平均值。

四、结语和建议

1. 本区地面水硝态氮污染严重。河流硝态氮含量年平均超标率达 93.3%，阳澄湖水硝态氮含量年平均超标率为 70.6%，其富营养化危险迫在眉睫。

2. 本区部份乡村浅井水硝态氮含量在枯水期的超标率为 38.2%，其中超过标准值一倍和更甚者占 71.4%，是全部调查水井的 26.3%；亚硝态氮超标率为 57.9%，作为饮用水源，污染状况十分令人担忧。

3. 太湖流域 16 个县内的 20 个试验点的资料统计结果表明，0.5—1.0m 深层渗漏水硝态氮含量与前季稻、小麦（或油菜）氮肥施用量以及全年氮肥施用总量均呈极显著正相关。

4. 应以获得最大的氮肥经济效益而不是以获得最高产量为目标来确定氮肥的用量，

建议逐步地推行“测土施肥”结合“营养诊断”代替凭经验的施肥方法；大力生产和推广复合肥料以改变 N、P、K 三要素比例严重失调状况，省工节能，提高氮肥利用率，减轻水环境氮素污染。

5. 发展乡镇工业是繁荣农村经济的必由之路，但是必须按照国家规定，严格执行“三同时”，力求使经济效益和环境效益保持一致，否则必将自毁家园。

参 考 文 献

- [1] Bijay Singh and G. S. Sekhon, *Agriculture and Environment*, 4, 103 (1979).
- [2] Conference on Nitrogen as wa Water pollutant, Vol. 1-3 IAWPR., Specialized Conference, Copenhagen, Denmark, 18-20th, August, 1975.
- [3] Nielsen, D. R. et al., *Nitrogen in the Environment*, Vol. 1, Nitrogen Behavior in Field Soil, pp. 5—35. Vol. 2. Soil-Plant-Nitrogen Relationships, pp. 6—13. Academic press, New York (1978).
- [4] Cuollo, C., et al., *J. Nail. Cancer Inst.*, 57, 1015 (1976).
- [5] Haenszel, W., et al., *J. Nail. cancer Inst.* 56, 265 (1976).
- [6] Fraser, P., *Intern. J. Epidemiology*, 9, 3—11, (1980).
- [7] Ross, W. D., et al., *J. Chromatogr.*, 112, 719 (1975).
- [8] John. W. T., et al., *J. Chromatogr.*, 126, 743 (1976).
- [9] 王英林等, 中华肿瘤杂志, 1: 201—204(1979).
- [10] Handbook on Environmental Aspects of Fertilizer Use, p. 16, printed in the Netherlands, 1983.
- [11] Handbook of Environmental Control, Vol. 3 (Water Pollution), p. 225, 1972.
- [12] 熊毅等, 土壤学报, 17, 101(1980).
- [13] 陈荣业等, 土壤学报, 19(2), 122(1982).

深圳市土壤中总 β 总 α 放射性水平

刘 祖 森 汤 凌 全

(深圳市卫生防疫所)

核电站将在深圳市兴建，摸清目前环境中放射性水平为今后评价放射性对环境质量及人群健康的影响具有重要意义。我们于

1983 年 10 月和 1985 年 10 月，初步分别对全市 69 个采样点的耕地和荒地土壤进行了采样，并测量了总 β 和总 α 放射性强度。