

致 1987 年为 1340—1460mm, 1988 年仅为 860—950mm.

表 1 各试验区地表排出水氮素比负荷量

Table 1 The net specific loads of nitrogen in drainage on testing plots

试验区号	年份	泡田弃水量, t/(ha·a)	泡田水含氮量, mg/L	地表径流量, t/(ha·a)	径流水含氮量, mg/L	地表排水氮素比负荷量 kg/(ha·a)
I	1987	240	31.2	1550	6.4	20.3
	1988	195	29.1	300	6.5	12.9
II	1987	245	46.6	2400	7.3	33.8
	1988	225	39.3	450	8.5	8.1
III	1987	285	42.0	3100	8.3	41.1
	1988	240	37.8	870	7.9	12.8
IV	1987	330	37.1	7200	8.2	85.8
	1988	300	29.9	1950	9.1	23.1
V	1987	225	48.3	2100	6.6	40.2
	1988	180	36.2	3000	5.1	38.2
平均值	1987	264	41.0	3270	7.4	44.2
	1988	228	34.5	1310	7.4	19.0

* 注: 试验区代号为: I—溧阳市新昌乡 II—宜兴市宜丰乡 III—武进县芦家巷乡 IV—张家港市鹿苑乡 V—吴江市湖滨乡 (表 2、表 3、表 4、表 5 同)

3.1.2 渗漏水氮素比负荷量 由表 2 可见其年度间差异比较小, 而不同类型土壤之间差异显著, 如 1987 年侧渗水稻土是滞水水稻土的 1.6 倍, 1988 年漏水水稻土是爽水水稻土的 1.9 倍, 说明土壤的质地是影响渗漏水氮素比负荷量的主要因素

表 2 各试验区渗漏水氮素比负荷量

Table 2 Specific load of nitrogen in percolating water of testing plots

试验区号	水稻土类型	年份	渗漏水量, t/(ha·a)	渗漏水平均含氮量 mg/L	渗漏水氮素比负荷量, kg/(ha·a)
I	侧渗水稻土	1987	3350	2.5	12.8
		1988	2330	2.6	9.3
II	爽水水稻土	1987	3140	2.0	9.5
		1988	2700	1.8	7.4
III	滞水水稻土	1987	3060	1.7	8.0
		1988	3000	2.2	9.6
IV	漏水水稻土	1987	3560	1.9	14.0
		1988	4260	2.1	12.0
V	囊水水稻土	1987	3840	2.1	12.0
		1988	3230	2.1	9.9
平均值		1987	3390	2.1	10.1
		1988	3100	2.1	10.6

3.1.3 降水氮素比负荷量 降水含氮量 $0.10\text{--}4.98\text{mg/L}$, 其平均值 \pm 标准差为 $1.49 \pm 0.39\text{mg/L}$ ($n=94$). 由表 3 可见, 1988 年降水氮素比负荷量比 1987 年减少 28.4%, 系其年降水量减少 35.4% 所致

表 3 各试验区降水氮素比负荷量

Table 3 Specific load of nitrogen in rain fall of testing plots

试验区号	年份	降水量 t/(ha·a)	降水含氮量, mg/L	降水氮素比负荷量 kg/(ha·a)
I	1987	13400	0.81	10.8
	1988	9500	0.90	8.4
II	1987	14500	0.82	12.0
	1988	10000	0.72	7.2
III	1987	12400	0.85	10.5
	1988	8700	0.95	8.3
IV	1987	14100	0.82	11.6
	1988	9180	0.92	8.4
V	1987	12500	0.83	10.4
	1988	9390	0.77	7.2
平均值	1987	13380	0.83	11.1
	1988	9530	0.85	7.9

3.1.4 灌溉水氮素比负荷量 由表 4 可见各试验区年度间变化甚小, 各试验区区间差异较大, 如鹿苑乡是宜丰乡的 1.8 倍.

表 4 各试验区灌溉水氮素比负荷量

Table 4 Specific load of nitrogen in irrigation water of testing plots

试验区号	年份	灌溉水量 t/(ha·a)	灌溉水平均含氮量, mg/L	灌溉水氮素比负荷量 kg/(ha·a)
I	1987	3900	2.4	10.2
	1988	3700	1.6	9.2
II	1987	2400	2.0	6.3
	1988	3300	1.8	5.9
III	1987	4100	1.7	6.8
	1988	4500	1.5	7.4
IV	1987	6600	1.9	11.3
	1988	8100	1.4	10.7
V	1987	5100	1.9	6.5
	1988	6900	1.8	6.9
平均值	1987	4420	2.0	8.2
	1988	5300	1.6	8.0

3.1.5 稻田氮素差额排出比负荷量(L) 根据公式(1)计算所得结果列于表 5 可见 1987 年鹿苑乡(漏水水稻土)的氮素差额排出比负荷量高达 73.4kg/(ha·a), 是平均值的 2.1 倍, 是侧渗水稻土的 6.1 倍 1988 年囊水水稻土地区的氮素差额排出比负荷量为 34.0kg/(ha·a), 是平均值的 2.6 倍, 是爽水水稻土地区的 14.3 倍, 相差甚为悬殊 应该指出 1987 年各试验区氮素差额排出比负荷量的平均值是 1988 年的 2.6 倍, 则系年降水量差异所致

3.1.6 旱地地表径流氮素比负荷量 详见表 6 与表 5 比较, 可见稻田排水氮素比负荷量显著高于旱地地表径流氮素比负荷量, 尤以漏水水稻土地区为甚, 两者相差近 10 倍 究其原因,

是稻田排水量远大于旱地地表径流量,且旱地施氮量仅为稻田的 50%—60%.

日本琵琶湖流域、武汉东湖地区和安徽巢湖流域旱地氮素排出比负荷量分别为 6.9、1.2、30.5kg/(ha·a),可见本区旱地氮素排出比负荷量居于中等水平^[2,3].

表 5 各水田试验场氮素差额排出比负荷量(kg/(ha·a))

Table 5 The net specific loads of nitrogen on testing plots(kg/(ha·a))

试验区号	降水 氮素比负荷	灌溉水 氮素比负荷	地表排水 氮素比负荷	渗漏水 素比负荷	氮污染 比负荷	差额氮污染 比负荷
1987 年(年降水量 1340—1460mm)						
I	10.8	10.2	20.3	12.8	33.1	12.1
II	12.0	6.3	33.8	9.5	43.3	25.0
III	10.5	6.8	41.1	8.0	49.1	31.8
IV	11.6	11.3	85.8	10.5	96.3	73.4
V	10.4	6.5	40.2	12.0	52.2	35.3
平均值	11.1	8.2	44.2	10.1	54.3	35.6
1988 年(年降水量 860—950mm)						
I	8.4	9.2	12.9	9.3	22.2	4.6
II	7.2	5.9	8.1	7.4	15.5	2.4
III	8.3	7.4	12.8	9.6	22.4	6.7
IV	8.4	10.7	23.1	14.0	37.1	18.0
V	7.2	6.9	38.2	9.9	48.1	34.0
平均值	7.9	8.0	19.0	10.6	29.6	13.1

表 6 旱地试验区地表径流氮素比负荷量(1987 年)

Table 6 Specific load of nitrogen in runoff of testing plots on arid land (1987)

试验地点	土壤类型	植被	地表径流量, t/(ha·a)	地表径流平均含氮量, mg/L	地表径流氮素比负荷量, kg/(ha·a)
武进县芦家巷乡	平原区黄棕壤	桑	1170	13.9	16.4
张家港市鹿苑乡	潮土	棉	1035	8.3	8.7
溧阳市新昌乡	丘陵区黄棕壤	豆	1170	8.7	10.2
	平均值		1125	10.3	11.8

综上所述可计算出苏南太湖流域农业面源氮素负荷总量和差额负荷总量分别为 3.37×10^4 t 和 2.55×10^4 t 纯氮素(1987 年).

3.2 磷素

1987 年苏南太湖流域农田磷素排出总负荷量为 440.4t,平均每 ha 为 2.39g,差额排出总负荷量为 83.3t,平均每 ha 为 0.45g(见表 7).因 1987 年平均年降水量为 1340mm,1988 年为 934mm,本地区水年降水量为 1100—1400mm,所以建议用 1987 年的试验结果

3.3 植稻期氮肥施用量与渗漏水硝态氮含量相关试验

结果见表 8 可见植稻期氮肥施用量与渗漏水硝态氮平均含量的等级相关系数,无论是[碳酸氢铵+农家肥]或是[尿素+农家肥]的处理,差异程度均达到 5% 显著水准

表 7 苏南太湖流域农田磷素排出总负荷量与差额排出总负荷量(以 P 计)

Table 7 The total and the net total loads of phosphorus from agricultural non-point sources in Taihu Lake region in southern Jiangsu

土类	面积, 10 ⁴ ha	降水负荷量		灌溉负荷量		渗漏负荷量		地表排水负荷量		差额排出总负荷量 (t/a)
		g/(ha·a)	t/a	g/(ha·a)	t/a	g/(ha·a)	t/a	g/(ha·a)	t/a	
1987 度										
侧渗水稻土	7.92	0.83	14.9	1.05	18.8	1.19	21.3	0.59	0.5	-1.9
滞水水稻土	8.16	1.27	23.2	1.61	29.6	0.65	12.0	1.10	20.2	-20.6
爽水水稻土	18.79	1.50	63.4	0.69	29.3	0.81	34.4	1.00	42.3	-16.0
漏水水稻土	9.44	1.25	26.5	4.09	86.7	0.73	15.6	3.50	74.3	-23.3
囊水水稻土	18.76	1.11	46.7	3.91	164.9	2.65	112.1	1.83	77.4	-22.2
黄棕壤	10.40	0.69	24.7					4.70	110.0	+85.3
潮土	8.45	1.25	23.7					5.56	105.7	+82.0
合计	81.91		223.1		329.3		195.3		440.4	+83.8
1988 年度										
侧渗水稻土	7.92	0.59	10.4	0.99	17.6	0.81	14.3	0.13	2.4	-11.3
滞水水稻土	8.16	0.89	16.2	2.17	39.8	0.88	16.1	1.30	23.8	-16.1
爽水水稻土	18.79	1.03	43.3	2.04	86.1	0.69	28.9	0.17	7.3	-93.1
漏水水稻土	9.44	0.81	17.2	6.33	134.0	1.55	32.9	0.88	18.6	-99.7
囊水水稻土	18.76	0.83	35.1	6.13	257.9	2.35	98.8	3.95	166.2	-28.0
黄棕壤	10.40	0.74	17.1					3.41	79.1	+62
潮土	8.27	0.83	15.3					0.13	2.5	-12.8
合计	81.53		154.6		535.3		191.0		299.9	-199.0

表 8 植稻期氮肥施用量与渗漏水硝态氮含量相关试验结果

Table 8 Correlation between the nitrate content in percolating water and the level of nitrogenous fertilizer application

试验区号	化学氮肥施用量 N, kg	氮肥施用量 N, kg	渗漏水硝态氮平均含量, mg/L	相关系数 r_s
NH ₄ HCO ₃				
1	6.0	10.0	0.22	$r_s = 0.940 > 0.754$
2	8.0	12.0	0.29	
3	10.0	14.0	0.28	
4	12.0	16.0	0.36	
5	14.0	18.0	0.34	
6	16.0	20.0	0.41	
(NH ₂) ₂ CO				
7	6.0	10.0	0.31	$r_s = 0.931 > 0.754$
8	8.0	12.0	0.30	
9	10.0	14.0	0.38	
10	12.0	16.0	0.38	
11	14.0	18.0	0.40	
12	16.0	20.0	0.49	

4 农业面源污染控制对策研究

4.1 稻田控水灌溉试验

结果见表 9。在施氮量和供试作物相同的条件下, 年均雨量为 1340mm (1987 年) 或 934mm (1988 年), 控水灌溉均显著增产, 增产幅度为 6.7%—8.1%, 且灌溉水量减少 31%—36%, 地表排出水量减少 78%—90%, 其氮素比负荷量减少 76%—80%, 而渗漏水氮素比负荷量减少 34%—40%。这些都证明控水灌溉不仅省水节电增产, 经济效益十分显著, 亦是控制农业面源污染的有效措施。

表 9 稻田控水灌溉试验

Table 9 Test of saving-water irrigation in rice field

灌溉方式	年份	灌溉水量 t/(ha·a)	地表排出水量 t/(ha·a)	地表排水氮素比负荷量 kg/(ha·a)	地下渗漏水氮素比负荷量 kg/(ha·a)	稻谷产量 kg/(ha·a)
常规灌溉	1987	7365	2145	39.6	12.5	7192.5
控水灌溉	1987	4725	480	7.8	8.1	7774.5
常规灌溉	1988	10350	4215	38.1	10.7	6510.0
控水灌溉	1988	7200	420	9.2	7.8	7755.0

4.2 磷肥施用方式对磷素负荷量的影响

详见表 10。田间试验和模拟试验结果均证明, 在稻麦轮作中, 磷肥施在旱作上, 磷的流失量小, 因施磷肥而增加的磷流失量仅占当年施磷量的 0.03%—0.17%; 而植稻期施用磷肥则为 0.31%—1.0%, 相差 10 倍以上。因此旱作施用磷肥是控制农业面源磷素污染负荷量的有效措施。

表 10 施肥方式对磷排出量的影响

Table 10 The effect of fertilization means on phosphorus load

试验地点	试验方式	处理	排水磷浓度(P), mg/L		排水量, t/ha	磷排出量, g/ha	增减		
			变化范围	平均			g/ha	%	占施磷量, %
溧阳	麦期施磷	对照	0.037—0.250	0.107	1740	186.0			
		750kg/ha	0.040—0.340	0.113	1740	196.5	+10.5	+5.6	0.03
		1500kg/ha*	0.040—0.540	0.171	1740	297.0	+111.0	+59.6	0.14
溧阳	稻期	对照	0.009—0.172	0.071	1266	90.0			
		375kg/ha*	0.035—1.321	0.367	1266	465.0	+375.0	+416.6	1.91
常熟	稻期	对照	0.066—0.238	0.199	1920	382.5			
		375kg/ha*	0.093—1.659	0.340	1920	652.5	+270.0	+70.6	1.38
辛庄	施磷	750kg/ha*	0.117—3.265	0.549	1920	1054.5	+667.5	174.5	1.70
		麦期施磷	对照	0.000—0.112	0.044	370L/m ²	0.016L/m ²		
本所网室	水稻不施	2.3g/m ²	0.000—0.132	0.053	370	0.020	+0.004	+25.0	0.17
		4.6g/m ²	0.011—0.159	0.057	370	0.021	+0.005	+31.3	0.11
模拟试验	稻期	对照	0.051—0.600	0.171	140	0.024			
		2.3g/m ²	0.082—1.146	0.386	140	0.054	+0.030	+125.0	1.30
	施磷	4.6g/m ²	0.127—2.047	0.671	140	0.094	0.070	+291.7	1.62

* 每 ha 施用的磷肥量, 磷肥为普通过磷酸钙

4.3 化学氮肥分次施用试验

结果见表 11 和图 1. 可见分次施用氮肥能促进水稻对土壤氮素的吸收, 而且水稻对基肥

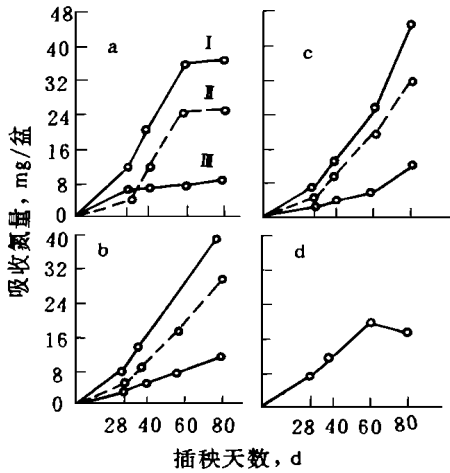


图 1 不同施肥处理水稻对土壤氮和肥料氮的吸收

a. 氮肥作基肥施用, b. 两次施用氮肥 1/2, c. 3 次施用氮肥 1/3, d. 对照 (不施氮).
I. 总 N, II. 土壤 N, III. 肥料 N.

Fig. 1 Amount of nitrogen absorbed by rice under different fertilization treatments

化肥氮的吸收, 在第 60 天达到高峰, 对追肥氮的吸收, 则是在

施肥后的短暂时间之内. 显然, 若施氮量相同, 水稻对氮的利用率随施用次数增加而提高. 另由表 10 可见, 施氮量相同而施用次数不同, 水稻对氮的吸收量差异颇显著: 两次施用比仅作基肥施用增加 9.8%, 3 次施用比仅作基肥施用增加 21.9%, 比两次施用增加 13.4%. 这证明分三次施用氮肥亦是控制农业面源氮污染的有效措施

4.4 防止土地溶出和侵蚀

从宏观角度看, 农业面源污染主要来源于土地的溶出和侵蚀. 科学地进行农业土地地区划, 采用适宜的土地利用方式是控制农业面源污染的首要环节. 如本区漏水水稻土地区植稻期氮污染比负荷量达 96.3 kg/(ha · a), 而植棉仅有 8.7 kg/(ha · a), 氮污染比负荷量减少 91%. 可见由稻麦改为棉麦轮作, 则农业面源污染可大为减轻. 另外少耕或免耕, 丘陵地区营造梯田, 保持良好植被等措施均应大力推广.

表 11 不同施肥处理水稻对氮素的吸收

Table 11 Amount of nitrogen absorbed by rice under different fertilization treatments

施肥处理	氮素吸收量, mg/盆		
	稻谷	稻草	稻谷+ 稻草
对照	10.9 ± 1.8	5.5 ± 2.4	16.4 ± 2.9
氮肥一次性作基肥	21.5 ± 1.2	13.4 ± 1.1	34.9 ± 1.5
1/2 氮肥作基肥+ 1/2 作分蘖期追肥	23.4 ± 2.1	15.3 ± 1.4	38.7 ± 2.4
1/3 氮肥作基肥+ 1/3 作分蘖期追肥+ 1/3 作穗肥	27.7 ± 0.8	17.0 ± 0.9	44.7 ± 1.4

4.5 研制和施用复合肥料

据全国肥料试验网研究结果^[4], 水稻最高纯收益化肥用量为 180kg/ha, 即 N 112.5kg/ha, P₂O₅ 31.5kg/ha, K₂O 36kg/ha, 三者最佳配比为 1:0.28:0.31, 而本区却是 1:0.23:0.005, 可见对作物 N、P、K 均衡供应养分协调的复合肥料的研制和施用, 同时严格限制氮肥的施施, 对于提高农业经济效益和降低农业面源污染负荷量是至为重要的

参 考 文 献

1 徐琪, 陆彦椿, 刘元昌等. 中国太湖地区水稻土. 上海: 上海科技出版社, 1980: 37—40
2 彭近新, 陈慧君. 水质富营养化与防治. 北京: 中国环境出版社, 1988: 50—56

- 3 田渊俊雄, 高村义亲 集水域氮素和磷素的流出 东京大学出版会, 1985: 39—51
- 4 中国农业科学院土壤肥料研究所化肥试验网组 我国氮磷钾化肥的增产效果、适宜用量和配合比例 见: 中国土壤学会第五次代表大会暨学术年会论文集 南京: 江苏科学技术出版社, 1983: 14—18

1995-06-12 收到

POLLUTION FROM AGRICULTURAL NON-POINT SOURCES AND ITS CONTROL IN RIVER SYSTEM OF TAIHU LAKE, JIANGSU

Ma Lishan, Wang Zuqiang, Zhang Shuming, Ma Xingfa, Zhang Guiyin

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

ABSTRACT A concept of net pollutant load was developed and applied to study the network of flooded rice fields covering an area from 15000 to 25000m² in Taihu Lake regions, Jiangsu. The experimental area covers seven types of rice and dry land. With the help of ¹⁵N tracing technique, the loss of nitrogen was studied both in field and in laboratory. The results show that the load of nitrogen from agricultural non-point sources increase as the rise of the annual rainfall and the irrigation. The load of nitrate to shallow groundwater increases as increased application of nitrogenous fertilizer. The load of nitrogen to the rice field is much higher than that to upland. There is a negative correlation between the net load of phosphorus from agricultural non-point sources and phosphorus content in the irrigation water. The total load of nitrogen and phosphorus from agricultural non-point sources in the Taihu lake region in southern Jiangsu was calculated.

Keywords agriculture, non-point sources, nitrogen, phosphorus, net specific load