

# 水稻田面水氮素动态 径流流失特性及控制技术研究

邱卫国<sup>1</sup>, 唐浩<sup>2</sup>, 王超<sup>1</sup>

(1. 河海大学水文水资源及环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 上海市环境科学研究院, 上海 200233)

**摘要:** 通过测坑和大田试验, 对上海市黄浦江上游水稻田面水氮素动态、径流(排水)流失规律和控制对策进行了研究。结果表明, (1)在基肥期和第一次追肥(碳铵)后, 稻田水中氮素浓度下降均较快, 施肥后 1~2 d, TN 含量即可下降为施肥当天浓度的 25.13%~50.25%, 平均为 30.17%, 到第 4 d 则下降到 10% 以下; (2)在第 2、3 次追肥(尿素)后, 坑面水氮素浓度减少趋势不同于基肥期和第一次追肥, 施肥后开始 1~3 d 浓度先稍有升高, 此后下降趋势同前 2 次施肥; (3)人工降雨试验表明, 如施肥后遇暴雨, 则可能导致氮素的大量流失。以基肥期为例, 施肥后第 2 d, 40 mm 雨量引起的 TN 流失量为 5.54~7.95 kg·hm<sup>-2</sup>, 80 mm 雨量引起的 TN 流失量可达 16.74~24.02 kg·hm<sup>-2</sup>, 氮素的径流流失以 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 为主; (4)应严格控制播期排水和烤田排水, 否则会引起氮素的大量流失; (5)经测产, 增施有机肥而减少化肥用量对水稻产量没有影响, 但可以在很大程度上减少水稻田面水氮素的径流(排水)流失。

**关键词:** 面源污染; 氮素; 模式; 径流流失; 控制技术

中图分类号: S131 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2004)04-0740-05

## Rule of Lose of Nitrogen in the Surface Water of Rice Fields and the Control Technology

QIU Wei-guo<sup>1</sup>, TANG Hao<sup>2</sup>, WANG Chao<sup>1</sup>

(1. School of Water Resource and Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** Through the testing-hole and rice-fields paradigm experiment, the rule of runoff loss of fertilizing-N and controlling countermeasures in rice fields in the upstream area of HuangPu River watershed were studied. The results were as follows: 1) After the first and second fertilization (NH<sub>4</sub>HCO<sub>3</sub>), the concentration of total nitrogen in the surface water of rice fields decreased rapidly, being 25.13%~50.25% of the initial concentration 1~2 days after fertilization and lower than 10% after 4 days. 2) In the third and fourth fertilization (CO(NH)<sub>2</sub>), the concentration of total nitrogen increased a little 1~3 days after fertilization then decreased, which was different from the first and second fertilization. 3) The man-made-raining experiment showed that rainstorm after fertilization caused the great loss of nitrogen. The loss amount of total nitrogen was 5.54~7.95 kg·hm<sup>-2</sup> in the first fertilization when encountering 40mm rainstorm 1 day after fertilization and that reached 16.74~24.02 kg·hm<sup>-2</sup> if the rainstorm was 80mm. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N was the main form of the runoff loss. 4) The drainage in seeding and baking period should be controlled strictly to prevent the loss of nitrogen. 5) Increasing the usage of organic fertilizers and reducing the usage of chemical fertilizers had no effect on rice yield, but that largely reduced the drainage and runoff loss of nitrogen and was an effective measure to protect the agricultural water environment.

**Keywords:** non-point source pollution; N-element; model; runoff loss; controlling technology

化学氮肥在农业生产上的地位不容质疑。但是, 过高施氮量并不能使作物产量进一步提高, 反而造成肥料利用效率降低, 损失量增大, 还会使地下水受到污染, 引起河流和湖泊水质的富营养化<sup>[1]</sup>。施入农田中的化肥, 作物对氮肥的当季利用率仅为 30%~

40%<sup>[2]</sup>, 部分留于土壤中, 其余则通过氨挥发、硝化-反硝化、渗漏和径流等多种途径损失。上海郊区耕地氮肥平均用量为 436 kg·hm<sup>-2</sup>, 稻季平均用量 300 kg·hm<sup>-2</sup> 左右(以氮素计算)。据估计, 每年约有 10 000 t 的氮素进入水体, 加速了水体富营养化的进程, 直接影响了黄浦江上游自来水取水口的水质<sup>[3]</sup>。

通过测坑试验及大田示范试验, 对上海市黄浦江

收稿日期: 2004-01-14

作者简介: 邱卫国(1961—), 男, 副教授, 现为河海大学水文水资源及环境学院在读博士, 研究方向为水资源保护。

上游青浦区香花桥现代农业园区稻田中氮素动态、径流流失规律进行了研究,为合理使用氮肥、防止氮素对地表水环境的污染提供科学依据,提出了水稻田面水氮素流失控制方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

测坑定位试验在青浦区农田水利技术推广站的测坑试验区进行,试验设 3 个处理,每个处理设 3 个重复。

$N_{CK}$  处理:按黄浦江上游水源保护区水稻田常规

施肥量、施肥种类施肥;

$N_{J30}$  处理:减少化肥用量 30%,在基肥期增施工厂化生产的精有机肥(其主要成分为鸡粪,有机质含量  $\geq 40\%$ , N、P、K 含量  $\geq 6\%$ );

$N_{C30}$  处理:减少化肥用量 30%,在基肥期补施粗有机肥猪粪(含 N 量约 0.42%)。

按照当地习惯,播种前施基肥,而后分别 3 次追肥。基肥氮肥主要使用碳酸氢铵,外加过磷酸钙( $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。第 1 次追肥用碳酸氢铵,后 2 次追肥用尿素。各处理的施肥设计见表 1,在测坑中的施肥方案见表 2,每个测坑面积为  $6 \text{ m}^2$ 。

表 1 氮素流失特性研究施肥设计( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

Table 1 Experimental design for the rule of loss of N in the rice field( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

| 处理        | 基肥         |       | 第 1 次追肥 N | 第 2 次追肥 N | 第 3 次追肥 N | 化肥使用总量 N |
|-----------|------------|-------|-----------|-----------|-----------|----------|
|           | 有机肥        | 化肥 N  |           |           |           |          |
| $N_{CK}$  | 无          | 112.5 | 52.5      | 67.5      | 67.5      | 300      |
| $N_{J30}$ | 精有机肥 6 000 | 67.5  | 37.5      | 52.5      | 52.5      | 210      |
| $N_{C30}$ | 猪粪 240 000 | 67.5  | 37.5      | 52.5      | 52.5      | 210      |

注:N 表示以氮素计。

表 2 氮素流失特性研究测坑施肥方案( $\text{g} \cdot \text{测坑}^{-1}$ )

Table 2 The fertilization project for the rule of loss of N in the testing-hole ( $\text{g} \cdot \text{hole}^{-1}$ )

| 处理        | 基肥           |        | 第 1 次追肥(碳铵) | 第 2 次追肥(尿素) | 第三次追肥(尿素) |
|-----------|--------------|--------|-------------|-------------|-----------|
|           | 有机肥          | 化肥(碳铵) |             |             |           |
| $N_{CK}$  | 无            | 396.86 | 185.20      | 88.00       | 88.00     |
| $N_{J30}$ | 精有机肥 3.60 kg | 238.00 | 132.29      | 68.44       | 68.44     |
| $N_{C30}$ | 猪粪 15.00 kg  | 238.00 | 132.29      | 68.44       | 68.44     |

注:在基肥期还使用过磷酸钙补充磷素,用量为  $224.89 \text{ g} \cdot \text{测坑}^{-1}$ 。

稻田水氮素动态、径流流失特性测坑试验从 6 月上旬开始,6 月 8 日基肥全部施下,开始播种;7 月 2 日第 1 次追肥;7 月 22 日第 2 次追肥;8 月 9 日第 3 次追肥。此外,于 8 月 10 日在其他两个测坑中进行了氮素的人工降雨试验,对 40 mm、80 mm 2 个降雨量情况下氮素的径流过程、流失特性进行了详细的研究。

### 1.2 仪器与试剂

#### 1.2.1 主要仪器

紫外分光光度计 SHIMADZU UV-2401PC;

凯氏定氮仪 Gerhardt Kjeldatherm, Gerhardt Vapodest 45。

#### 1.2.2 主要试剂

10% 硫酸锌溶液,盐酸(优级纯)溶液  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 10% 氨基磺酸溶液,浓硫酸(A.R),硫酸钾(A.R),5% 硫酸铜溶液,  $10 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  氢氧化钠溶液、2% 硼酸溶液。

### 1.3 分析方法

氨氮直接用凯氏定氮仪测定,凯氏氮用凯氏消煮

法,硝酸盐氮用紫外分光光度法测定<sup>[4,5]</sup>。

## 2 结果与讨论

根据前人的研究成果,已知田面水中氮素形态以  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  为主<sup>[6]</sup>。通过对稻作期 4 次施肥后坑面水的跟踪检测,得到了基肥期、第 1 次追肥、第 2 次追肥和第 3 次追肥期间各处理坑面水中  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 TN 的浓度变化情况。

### 2.1 各处理坑面水氮素浓度变化趋势

#### 2.1.1 基肥期和第 1 次追肥坑面水氮素浓度变化趋势

基肥和第 1 次追肥时,都施用碳酸氢铵,相当部分铵离子进入稻田水,导致施肥当天坑面水中氮素浓度相当高。基肥期施肥当天  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的浓度在  $68.1 \sim 99.49 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,而有机氮和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的含量相对较低,分别为  $2.89 \sim 5.76 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.62 \sim 5.91 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。第 1 次追肥时基肥期施肥当天  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的浓度在  $35.83 \sim 47.01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,约为基肥期的 1/2,这与

氮肥用量有关; 有机氮和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的含量相对较低, 分别为 $0.49 \sim 1.75 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.14 \sim 0.48 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , 由于土壤的吸附、作物吸收和自然沉积等作用, 田面水 ON 浓度总的来说呈下降趋势。

基肥期和第1次追肥后3处理坑面水氮素(以 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为主)浓度变化表现出相似的趋势, 以 TN 浓度变化作图, 其变化趋势分别见图1和图2。不难看出, 3个处理坑面水氮素浓度下降均较快, 以基肥期为例, 施肥第2d总氮含量即下降为施肥当天浓度的 $28.42 \sim 50.25\%$ , 第3d该比例为 $11.43\% \sim 18.78\%$ , 此时坑面水位只有2cm左右, 可见其中 TN 的总量已经下降到至少10%以下。尔后坑面水落干, 随后几天有降雨, 坑面积水后其浓度已经基本恢复到施肥前的水平。第1次追肥后坑面水 TN 浓度下降趋势同基肥期类似, 即肥后1~2d氮素浓度下降较快, 可达到起始浓度的 $25.13\% \sim 34.60\%$ ; 到第4d则下降到10%以下。TN 的快速下降主要与氨氮下降快有关, 碳铵的铵离子很容易被土壤吸附。

此外, 从图1和图2也可以看出, 由于在基肥期使用有机肥, 从而化学氮肥投入量减少, 使得 $\text{N}_{\text{J30}}$ 处理和 $\text{N}_{\text{C30}}$ 处理坑面水 TN 浓度明显小于 $\text{N}_{\text{CK}}$ 处理 TN 浓度, 这意味着如果肥后遇暴雨天气,  $\text{N}_{\text{J30}}$ 处理和 $\text{N}_{\text{C30}}$ 处理的径流流失量将会小于 $\text{N}_{\text{CK}}$ 处理。

### 2.1.2 基肥和第1次追肥后坑面水氮素浓度变化的拟合模式

根据肥后氮素浓度的变化特点, 用指数方程对基肥和第一次追肥后坑面水中 TN 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度变化趋势进行量化拟合, 取得了较为理想的拟合模式。对不同处理 TN 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度变化的拟合结果见表3。

分析表3的拟合模式, 可见指数方程可以较好地对比基肥或第1次追肥后田面水中 TN 或 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度变化进行数值模拟, 但第1次追肥 TN 浓度变化数值

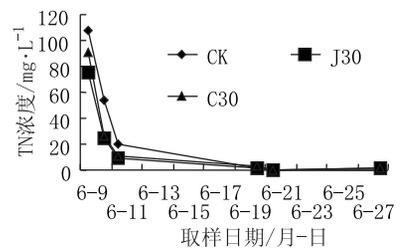


图1 基肥期各处理坑面水 TN 浓度变化趋势

Figure 1 Change of the concentration of total nitrogen in the surface water during the first - fertilization

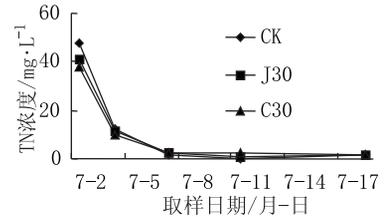


图2 第1次追肥各处理坑面水 TN 浓度变化趋势

Figure 2 Change of the concentration of total nitrogen in the surface water during the second - fertilization

模拟的相关系数较差, 未达显著水平。根据指数估计, 氮素在稻田水中减少1/2的时间约为1.4~2.5d。

### 2.1.3 第2、3次追肥坑面水氮素浓度变化趋势

在第2、3次追肥后, 坑面水氮素浓度较前2次施肥低, 但一般 $\text{N}_{\text{CK}}$ 处理仍明显高于 $\text{N}_{\text{J30}}$ 和 $\text{N}_{\text{C30}}$ 处理。需指出, 施肥后 TN 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度的变化趋势不同于前2次施肥, 肥后开始1~3d内氮素浓度变化不大, 甚至有上升趋势, 此后氮素浓度与前2次施肥一样很快下降到施肥前水平, TN 浓度变化趋势见图3和图4。

经分析, 肥后1~3d内稻田水中 TN 浓度变化不大可能与施用尿素有关。尿素为酰胺态氮肥, 在稻田水中呈分子态, 不易被土壤吸附。在夏天需2~4d, 在微生物或脲酶的作用下尿素转化为碳酸铵或碳酸氢铵, 使得 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度增加, 此后铵离子能很快被土

表3 对基肥期和第一次追肥期坑面水氮素浓度的拟合模式

Table 3 The quantitative models for nitrogen concentration in the field surface water during the first and second - fertilization

| 施肥时期  | 处理                      | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ |         | TN                        |         |
|-------|-------------------------|----------------------------|---------|---------------------------|---------|
|       |                         | 指数拟合式                      | $r^2$   | 指数拟合式                     | $r^2$   |
| 基肥期   | $\text{N}_{\text{CK}}$  | $y = 105.23 e^{-0.504 2x}$ | 0.982 3 | $y = 113.5 e^{-0.381 6x}$ | 0.968 8 |
|       | $\text{N}_{\text{J30}}$ | $y = 67.43 e^{-0.278 2x}$  | 0.755 1 | $y = 75.82 e^{-0.286 4x}$ | 0.733 0 |
|       | $\text{N}_{\text{C30}}$ | $y = 82.58 e^{-0.370 5x}$  | 0.759 0 | $y = 87.23 e^{-0.282 x}$  | 0.711 7 |
| 第1次追肥 | $\text{N}_{\text{CK}}$  | $y = 46.25 e^{-0.451 6x}$  | 0.885 2 | $y = 51.39 e^{-0.304 1x}$ | 0.353 5 |
|       | $\text{N}_{\text{J30}}$ | $y = 39.57 e^{-0.376 8x}$  | 0.931 5 | $y = 43.19 e^{-0.256 6x}$ | 0.451 0 |
|       | $\text{N}_{\text{C30}}$ | $y = 37.69 e^{-0.313 8x}$  | 0.888 5 | $y = 41.73 e^{-0.229 3x}$ | 0.440 5 |

注: 其中 y 代表 N 素浓度,  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , x 代表追肥后时间, d。

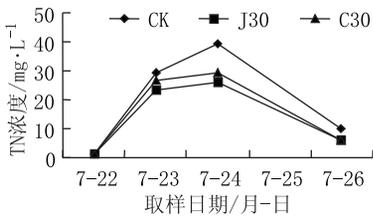


图 3 第 2 次追肥各处理坑面水 TN 浓度变化趋势

Figure 3 Change of the concentration of total nitrogen in the surface water during the third - fertilization

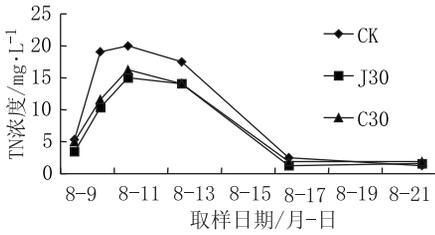


图 4 第 3 次追肥各处理坑面水 TN 浓度变化趋势

Figure 4 Change of the concentration of total nitrogen in the surface water during the fourth - fertilization

壤吸附, 稻田水中 TN 浓度由此也很快下降; 此外, 也可能是由于水稻稻株密度大, 施肥后 1~3 d 被截留的肥料因风、雨、露的作用而被吹(洗)落到稻田水中, 从而增加 TN 浓度, 导致 TN 浓度先升高后下降的趋势。

鉴于 2、3 次施肥后坑面水中氮素浓度变化的特殊形式, 不能用单一的拟合模式(如指数方程)对其变化趋势进行模拟。2、3 次施肥后坑面水中氮素仍以  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  主, 有机氮和  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  的含量相对较低, 并且可以明显看出  $\text{N}_{\text{J30}}$  处理和  $\text{N}_{\text{C30}}$  处理 TN 浓度明显高于  $\text{N}_{\text{CK}}$  处理。

### 2.2 水稻田氮素降雨径流流失特性研究

为了研究暴雨条件下氮素的径流流失特性, 于 2002 年 8 月 10 日在青浦区农田水利技术推广站测坑试验区 17、19 号测坑进行了人工降雨试验。该人工降雨试验雨型设计为暴雨, 共设计 40 mm 和 80 mm 2 个不同的雨量, 降雨时间分别为 30 min 和 50 min。通过人工降雨试验, 得到降雨引起的径流过程及氮素径流流失特性, 并将结果应用到某次施肥中, 估算施肥后不同时间降暴雨引起的氮素的径流流失量。2 种降雨量下的测定结果见表 4。

坑面水中氮素的组成以  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  为主, 所以在对不同时降雨引起的氮素径流流失量进行估算时, 只计算  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  和 TN 的流失量。根据所得的 2 种雨量条件下测定结果, 在田埂高度相同的情况下, 可以将

表 4 2 种降雨量下径流水氮素浓度 ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

Table 4 The concentration of nitrogen in the runoff under different rainstorms ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )

| 降雨量<br>/mm | 径流深度<br>/mm | 降雨前氮素浓度                    |       | 径流水样加权平均浓度                 |      |
|------------|-------------|----------------------------|-------|----------------------------|------|
|            |             | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ | TN    | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ | TN   |
| 40         | 15          | 15.66                      | 19.54 | 7.16                       | 9.56 |
| 80         | 60          | 9.97                       | 13.26 | 5.25                       | 6.94 |

试验结果应用到大田中去。计算方法为, 将上述人工降雨试验所得到的各形态氮素径流过程的平均浓度占起始浓度的百分数乘以某次降雨前的初始浓度(为测坑试验的相应稻田水浓度), 即得该次降雨径流的平均浓度, 用该平均浓度乘以径流深度以及径流发生面积, 即可以计算出某次降雨引起的氮素径流流失量。以基肥期为例, 根据该方法算得的不同处理各次施肥后不同时间降暴雨引起的径流流失量见表 5。

表 5 基肥期施肥后不同时间降暴雨氮素径流流失量的估算 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

Table 5 Estimation for the amount of the runoff loss of N under different rainstorm times after the first - fertilization ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

| 降雨量<br>/mm | 径流深度<br>/mm | 处理                      | 氮素形态                       | 肥后不同时间降暴雨的径流流失量 |        |        |
|------------|-------------|-------------------------|----------------------------|-----------------|--------|--------|
|            |             |                         |                            | 肥后 1 d          | 肥后 2 d | 肥后 3 d |
| 40         | 15          | $\text{N}_{\text{CK}}$  | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ | 6.83            | 3.25   | 1.17   |
|            |             |                         | TN                         | 7.95            | 3.99   | 1.49   |
|            |             | $\text{N}_{\text{J30}}$ | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ | 4.67            | 1.58   | 0.49   |
|            |             |                         | TN                         | 5.54            | 1.84   | 0.63   |
|            |             | $\text{N}_{\text{C30}}$ | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ | 5.74            | 1.43   | 0.28   |
|            |             |                         | TN                         | 6.64            | 1.89   | 0.43   |
| 80         | 60          | $\text{N}_{\text{CK}}$  | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ | 21.24           | 10.11  | 3.64   |
|            |             |                         | TN                         | 24.02           | 12.07  | 4.52   |
|            |             | $\text{N}_{\text{J30}}$ | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ | 14.54           | 4.93   | 1.54   |
|            |             |                         | TN                         | 16.74           | 5.56   | 1.92   |
|            |             | $\text{N}_{\text{C30}}$ | $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ | 18.56           | 4.62   | 0.90   |
|            |             |                         | TN                         | 20.07           | 5.70   | 1.15   |

可见降雨引起的氮素径流流失量是相当大的, 基肥期施肥后 1 d 40 mm 雨量引起的 TN 流失量为 5.54~7.95  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 80 mm 雨量引起的 TN 流失量可达 16.74~24.02  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 氮素的径流流失以  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  为主。从表中数据可以明显看出, 降雨量越大, 引起的氮素径流流失量就越大; 同时, 对相同处理相同雨量而言, 基肥期氮素的降雨径流流失量约是追肥期的 2~4 倍; 对不同处理相同雨量而言,  $\text{N}_{\text{J30}}$  处理和  $\text{N}_{\text{C30}}$  处理的降雨径流流失量明显小于  $\text{N}_{\text{CK}}$  处理, 如施肥后第 1 d 40 mm 雨量引起的 TN 流失量  $\text{N}_{\text{J30}}$  处理和  $\text{N}_{\text{C30}}$  处理分别为  $\text{N}_{\text{CK}}$  处理的 69.68% 和 83.52%, 大大减少了氮素的降雨径流流失量。

### 2.3 主动排水流失计算

除了降雨引起的“被动”排水外,稻作期还有主动排水流失。主动排水包括播期的排水和烤田期的排水。根据当地的农作习惯,不管是示范田还是径流试验区,在水稻播种前稻田需要基本无水,因此在播种前后均有少量排水。而此时田面水由于基肥的影响,氮素(尤其是 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ )相当高,播种期的主动排水将造成氮素的一定流失,尤其此时若降雨,流失量将会很大。据调查,播种一般在施肥后1~3 d进行,在此,按10mm的水层深度计算,对基肥后不同时间排水(即基肥后什么时候播种)所导致的氮素流失量作一估算,计算时氮素浓度采用测坑试验测得的浓度值,计算结果见表6。

表6 基肥后不同时期排水 TN 流失量估算( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

Table 6 Estimation for the runoff loss of TN under different drainage times after the first - fertilization( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

| 施肥方式                           | 肥后 1 d | 肥后 2 d | 肥后 3 d |
|--------------------------------|--------|--------|--------|
| 按常规方式                          | 10.90  | 5.48   | 2.05   |
| 按 $\text{N}_{\text{J30}}$ 处理施肥 | 7.55   | 2.50   | 0.87   |
| 按 $\text{N}_{\text{C30}}$ 处理施肥 | 9.06   | 2.57   | 1.12   |

表7 各测坑产量情况( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

Table 7 The rice yield under different treatments( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )

| 项目  | $\text{N}_{\text{ck}}$ 处理 |       |       | $\text{N}_{\text{J30}}$ 处理 |       | $\text{N}_{\text{C30}}$ 处理 |       |       |       |
|-----|---------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|
|     | 1号坑                       | 3号坑   | 9号坑   | 2号坑                        | 4号坑   | 10号坑                       | 5号坑   | 6号坑   | 7号坑   |
| 产量  | 7 695                     | 7 605 | 7 380 | 7 515                      | 7 275 | 7 665                      | 7 395 | 7 815 | 7 620 |
| 平均值 | 7 560                     |       |       |                            | 7 485 | 7 605                      |       |       |       |

约在  $7\,500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  左右。示范田估产结果为  $7\,125 \sim 7\,500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,与测坑测产结果相似。这说明由于增施有机肥而减少化学肥料用量对水稻的产量没有影响。

### 3 结论

(1) 在基肥期和第1次追肥(碳铵)后,稻田水中氮素浓度下降均较快,施肥后1~2 d TN 含量即可下降为施肥当天浓度的25.13%~50.25%,平均为30.17%,到第4 d则下降到10%以下。

(2) 在第2、3次追肥(尿素)后,坑面水氮素浓度减少趋势不同于基肥期和第1次追肥,施肥后开始1~3 d浓度先稍有升高,此后下降趋势同前2次施肥。

(3) 应严格控制播期排水和烤田排水,否则会引起氮素的大量流失;应尽量避免在暴雨前施肥,如施肥后1~3 d遇暴雨,则可能导致氮素的大量流失。以基肥期为例,施肥后第2 d,40 mm雨量引起的TN流失量为  $5.54 \sim 7.95 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,80 mm雨量引起的TN

此外,在烤田期(在7月中下旬),如果田面有水,则也会将田面水排出,以利于烤田的进行。一般说来,烤田排水会选择在第1次追肥后较长一段时间进行,一般在10 d后或更长,此时施用的化肥已经被充分吸收,田面水氮素浓度较低,烤田排水导致的氮素流失量相对较小,不过也应注意避免在追肥后不久就进行烤田。大田试验区烤田时排水28.5 mm,其中不施有机肥径流试验区TN浓度在  $5.83 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右,主动排水导致的TN流失量为  $1.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 左右;施猪粪的示范田TN浓度在  $2.57 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右,主动排水导致的TN流失量约为  $0.73 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。可见施有机肥可以大大减少氮素在烤田期的排水流失量。

### 2.4 测坑水稻产量情况

测坑试验所栽种水稻品种为香粳,相应的农作管理措施等与当地大田保持一致。在水稻收割前,对3个不同处理、各处理的3个重复共计9个测坑分别进行了测产,测产结果见表7。

可以看出,各处理水稻的产量处于同一水平,大

流失量可达  $16.74 \sim 24.02 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,氮素的径流流失以 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 为主。

(4) 增施有机肥而减少化肥用量对水稻产量没有影响,但可以在很大程度上减少水稻田面水氮素的径流(排水)流失,对减少农业氮素面源污染、保护地表水体具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 王少平,高效江,胡雪峰,等. 上海西郊麦期氮素淋溶定位研究[J]. 环境污染与防治,2002,24(2):68-70.
- [2] 冯绍元,郑耀泉. 农田氮素的转化与损失及其对环境的影响[J]. 农业环境保护,1996,15(6):277-279.
- [3] 张大弟,章家骥,汪雅谷. 上海市郊主要的非点源污染及防治对策[J]. 上海环境科学,1997,16(3):1-3.
- [4] 陈若墩,陈青萍,李振振,等. 环境监测实验[M]. 上海:同济大学出版社,1993. 64-68.
- [5] 国家环保局. 水和废水监测方法(第三版)[M]. 北京:中国环境科学出版社,1997. 272.
- [6] 张志剑,董亮,朱荫涓. 水稻田面水氮素的动态特征、模式表征及排水流失研究[J]. 环境科学学报,2001,21(4):475-480.