

苕溪流域不同施肥条件下稻田田面水氮磷动态特征及产量研究^①

吴俊^{1,2}, 樊剑波¹, 何园球^{1*}, 屠人凤¹, 谭炳昌¹, 徐欢¹, 许小伟¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 本研究设计了不同肥料和不同施肥管理方式等 8 种处理, 以期通过研究不同减量施肥处理下稻田田面水中氮素和磷素的动态变化来了解研究区面源污染状况及风险。结果表明, 各减量化处理均能有效保证水稻产量, 同时不同程度降低了田面水中的氮磷浓度, 降低流失潜能。总氮和铵氮分别在施肥后第 1 天和第 3 天达到峰值, 一周之后降至较低水平, 铵氮是田面水中氮素流失预防的主要监测对象。总磷和可溶态磷均在施肥后第 1 天便达到峰值, 之后迅速降低至稳定, 5 天后总磷浓度降至 1 mg/L 以下, 可溶态磷/总磷基本在 0.5 以下, 田面水中磷素的主要流失形态为悬浮颗粒态磷。此外, 后期的施氮行为会引起田面水中可溶态磷/总磷的上升, 使可溶态磷相对流失潜能增大。

关键词: 减量施肥; 氮; 磷; 动态

中图分类号: S147.2

目前中国已成为世界氮肥的第一大消费国^[1], 全国农业化肥氮、磷施用量从 1980 年的 934 万 t 和 373 万 t 到 2009 年的 2 330 万 t 和 798 万 t^[2], 增幅巨大; 2002 年仅因损失而进入并影响环境的氮肥就超过 4 亿 t^[3]。传统型农业高投入、低利用率的生产模式造成了资源浪费, 以及由此引起的农业面源污染均已引起人们的广泛关注^[4-5]。根据国家环保总局发布的检测和调查数据, 2005 年全国的总污染负荷中的氮、磷两项污染, 面源污染的贡献率超过 50%。而对我国 22 个湖泊的调查结果表明, 除 2 个属贫营养湖外, 其他的 63.3% 的湖泊属营养湖泊, 如滇池、巢湖、太湖、西湖、东湖等^[6]。其中, 太湖水体水质超标率从 2001 年的 65% 上升到 2006 年的 95%^[7], 同时太湖流域所覆盖的各行政区内受污染的河流占水系总长的比例均在 80% 左右^[8]。而项目所在区浙江太湖苕溪流域水稻平均施纯氮量超过 300 kg/hm², 种植业氮、磷年均流失量达 8.16 万 t 和 0.62 万 t, 对该流域地区的水质和水环境生态影响巨大。

农业污染源面积大、分布广, 排污时段性强, 可控性比较弱, 对水体生态环境恶化的贡献越来越大^[8]。因此, 如何在保证产量的基础上, 减少农田氮磷投入, 减缓农业面源污染对水体的影响已经成为亟

待解决的问题。目前, 农业氮素面源污染研究较多地集中于施氮后田间土壤氮素的淋溶损失、暴雨和排水途径下氮素流失、氨氮挥发损失、硝化和反硝化作用下氮素损失等^[9], 而对于减量化施肥田面水中氮磷浓度动态变化的研究较少。因此, 本文通过研究苕溪流域不同减量施肥后田面水中氮素和磷素含量的动态变化, 以期了解减量化条件下田面水中的氮素、磷素的行为特征, 为该区合理施肥、缓解农田面源污染提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

杭州市余杭区位于杭嘉湖平原南端, 属北亚热带南缘季风气候区。年平均气温 15.3℃~16.2℃, 年平均雨量 1 150~1 550 mm, 适宜双、三熟制。土壤属于潴育水稻土亚类潮泥田土属泥质田土种, 经多年的机械化作业, 地力较为一致, 供试土壤 0~20 cm 耕层基本理化性质如下: pH 5.39, 全氮含量为 1.41 g/kg, 全磷为 0.556 g/kg, 全钾 25.7 g/kg, 有机质含量为 38.4 g/kg。

1.2 试验设计及方案

项目区位于余杭区径山镇曹桥溪流域前溪村, 试验供试水稻品种为‘金早 47’。试验始于 2010 年 4 月,

基金项目: 国家科技支撑计划课题项目(2011BAD31B04)和国家自然科学基金面上项目(30971869)资助。

* 通讯作者 (yqhe@issas.ac.cn)

作者简介: 吴俊(1987—), 男, 安徽合肥人, 硕士研究生, 主要从事农业生态系统演变过程与调控研究。E-mail: jwu@issas.ac.cn

共设 8 个处理：常规对照处理、缓释肥处理、控释肥处理、秸秆还田化肥施用处理、秸秆还田菌肥施用处理、绿肥还田处理、有机肥化肥配施处理、基追比处理，每个处理 3 次重复，随机区组排列。小区面积为 5 m × 6 m，邻近大田两侧有非试验保护区，小区田

埂筑高 20 cm，用塑料薄膜包被，以减少侧渗和串流，每个小区设有单独的进、排水口。水稻于 4 月 30 日移栽，3 次施肥时间分别为 4 月 30 日、5 月 9 日、6 月 12 日；7 月 27 日收获。除试验设计要求，其他田间管理同当地农户常规管理。

表 1 大田试验施肥方案
Table 1 Fertilization scheme in trial field

| 处理 | 施肥量(kg/hm ²) | | | 追肥比例 | | | | 备注 |
|-----|--------------------------|-------------------------------|------------------|------|-----|----|----|------------------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | 基肥 | 分蘖肥 | 穗肥 | 粒肥 | |
| 对照 | 187.5 | 93.75 | 206.25 | 5 | 4 | 1 | — | 常规施肥管理 |
| 缓释 | 150 | 75 | 165 | 10 | — | — | — | 缓释肥作为基肥一次性施入，不足磷钾用化肥补充 |
| 控释 | 150 | 75 | 165 | 5 | 5 | — | — | 控释尿素/总尿素=30%，于分蘖肥期施入 |
| 有机 | 150 | 75 | 165 | 5 | 4 | 1 | — | 有机氮(猪粪)与无机氮比例为 15：85，有机肥作为基肥 |
| 绿肥 | 135 | 67.5 | 150 | 5 | 4 | 1 | — | 种植绿肥全量还田 |
| 桔菌 | 135 | 67.5 | 150 | 5 | 4 | 1 | — | 秸秆全量还田+菌肥 |
| 桔化 | 135 | 67.5 | 150 | 5 | 4 | 1 | — | 秸秆全量还田 |
| 基追比 | 150 | 75 | 165 | 4 | 4 | 1 | 1 | 3 次追肥 |

注：“—”表示该阶段未施肥。

施肥量参照当地种粮大户施肥水平，对照处理每公顷施纯 N 187.5 kg，P₂O₅ 93.75 kg，K₂O 206.25 kg，供试氮肥为尿素，磷肥为过磷酸钙；除对照外，各处理在此基础上减量 20% 替代性施肥处理：秸秆化肥、秸秆菌肥、绿肥还田 3 处理在减量化基础上再减施 10%，缓释肥料来源于山东施可丰，氮磷钾比例为 24：10：14；控释肥料来源于河北中阿，其氮磷钾比例为 20：12：14。

1.3 采样与分析

自施肥后的第 2 天起，每天 7:00 左右定时采集田面水样品，每 2 天采样一次，各小区内采取 5 点组成混合样 100 ml 左右。样品用无磷滤纸过滤后，总氮(TN)采用过硫酸钾(进口)氧化-紫外分光光度法测定，铵氮(NH₄⁺-N)采用纳氏试剂法测定，总磷(TP)采用过硫酸钾氧化-钼蓝比色法测定，溶解态无机磷(DIP)采用钼锑抗比色法测定^[10]。

2 结果与分析

2.1 田面水中氮素的动态变化特征

总氮变化趋势见图 1，总氮浓度在施肥后第 1 天便达到最大，随时间推移总氮浓度逐渐下降，一周后降至峰值的 8% ~ 16%。基肥施用期间，缓释肥处理总氮含量明显高于其他处理(较同期对照处理高出 10% ~ 106%)，除缓释肥处理外，同一次施肥各减量

化处理的总氮含量均不同程度地低于对照处理(达显著甚至极显著水平)。基肥施用后第 1 天，不同处理总氮含量为同期对照处理 45% ~ 71%；一周后，为同期对照处理的 60% ~ 99%，分蘖肥与穗肥施用后变化规律与之类似。

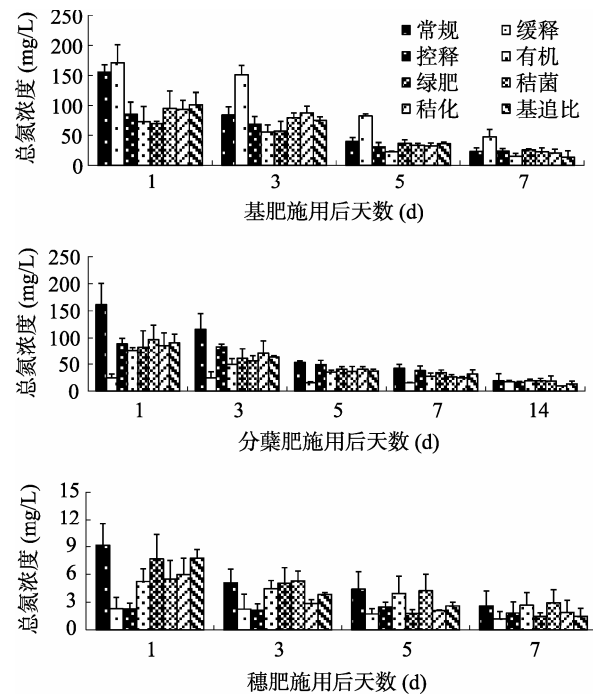


图 1 施肥后田面水中总氮动态变化

Fig. 1 Dynamics of TN concentration in surface water of paddy field after fertilization

田面水总氮浓度和施肥水平呈正相关^[11], 由于缓释肥料是作为基肥一次性施入, 所以基肥期间, 其总氮含量明显高于其他处理; 而后的分蘖肥及穗肥施用期间, 缓释肥料处理的总氮含量则远远低于其他处理。正是因为施肥种类和施肥方式不同导致基肥期的氮素施入量存在一个梯度, 即缓释>对照>秸秆化肥、菌肥>有机、绿肥处理, 这个梯度与同期总氮浓度梯度表现完全一致, 这说明农田氮素输入多少是决定田面水中总氮浓度大小的主要因素, 减量化施肥处理对降低田面水中总氮的浓度有显著的效果; 其中有机、绿肥、缓释肥、控释肥处理表现尤为明显。

随着农田中氮肥的施入, 田面水中总氮含量迅速达到最大值, 之后随着作物的吸收利用以及氮素的一系列转化迁移作用使总氮浓度逐渐下降, 至 1 周后降至峰值期的 8%~16%, 因此施肥后一周内是控制氮素流失的主要时期, 这与张志剑等^[12]提出施肥后一周控制氮素流失的关键时刻相吻合。而缓控释肥料由于一次性施入量大, 具有缓控释效果, 在 10 天内都具有较高的氮素含量, 10 天后会降至较低水平, 因此, 在使用缓控释肥时, 相应氮素主要控制期应延长至施肥后 10 天。

施肥后田面水铵氮动态变化如图 2 所示, 基肥施用后, 各处理水稻田面水中铵氮含量迅速上升, 在施肥后第 3 天达到峰值, 随时间推移铵氮含量逐渐下

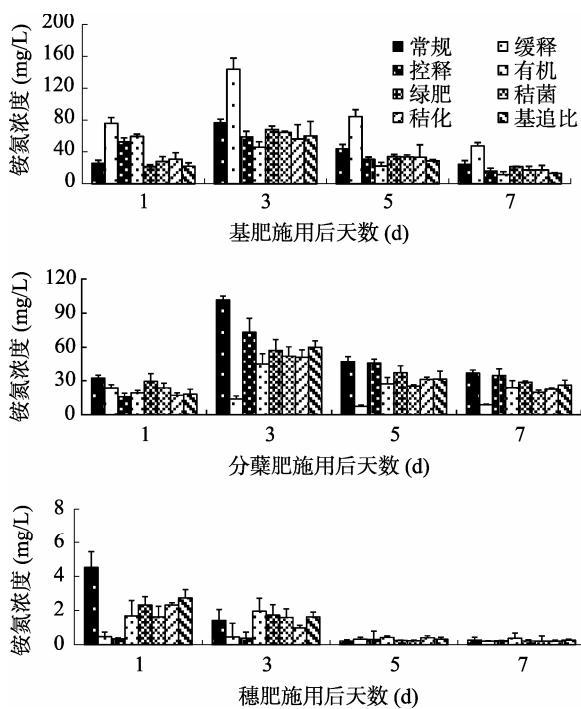


图 2 施肥后田面水中铵氮动态变化

Fig. 2 Dynamics of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration in surface water of paddy field after fertilization

降, 7 天后降至峰值期的 19%~33%。其中, 基肥施用期, 缓释肥处理铵氮浓度远高于其他处理, 为同期对照处理的 1.87 倍, 而其他采样期各处理的铵氮含量均不同程度地低于对照处理。分蘖肥施用后第 3 天对照处理铵氮含量高于其他处理 40% 以上, 其中以缓释肥料处理最明显, 峰值期其铵氮含量只有对照处理的 13% 左右。

铵氮浓度峰值出现在施肥后第 3 天, 这与张志剑等^[12]和王强等^[9]的研究中峰值出现于第 1 天有所不同, 原因应该在于早稻季气温低且该年度 4 月份一直阴雨天气, 尿素施入后转化分解为铵氮, 以及氨氮的挥发和硝化作用较慢, 所以铵氮浓度逐渐增大, 至第 3 天达到峰值; 之后随着硝化作用的增强、氨挥发、水稻吸收及氮素的下渗等作用, 铵氮浓度又逐渐下降, 这在田玉华等^[13]的研究中有相似的结果。

然而, 基肥施用期缓释肥料处理的田面水铵氮含量明显高于其他处理, 峰值期间(第 3 天), 其高于对照处理 93.9%, 高于其他处理 98.6%~212%。这是由于缓释肥作为基肥一次性施入, 虽然释放时间较长, 但因为一次性施入量大, 导致短时间内田面水铵氮含量剧增。一周后, 铵氮含量迅速降低, 两周后降至峰值的 5.1%。同时, 分蘖肥施用期控释肥处理也有相似的表现, 并伴随较其他处理更为缓和的降低趋势, 这应与控释肥料释放特性相关。控释肥与缓释肥类似, 都是因为较大的施入, 并且具有缓控释效果才会导致上述现象。

首先就同一处理的不同施肥期来看, 铵氮和总氮浓度在施肥一周后明显下降, 因此, 施肥后一周是控制氮素流失的关键时期, 施用缓控释肥时应延长至 10 天。其次, 就同一次施肥的不同处理及不同施肥期来看, 随施氮量的增加, 铵氮和总氮的浓度也随之增大, 表现在基肥施用期缓释肥处理>对照处理>其他减量化处理, 以及基肥>分蘖肥>穗肥, 这也再次证实了施肥水平与田面水水体氮素浓度呈正相关, 减少氮素的投入能有效降低农田氮素的流失风险。

2.2 田面水中铵氮/总氮的动态变化

由图 3 可以看出, 基肥期与分蘖肥期, 施氮后 3~7 天内, 铵氮/总氮都保持在 0.7 以上, 甚至接近 1, 随时间推移, 逐渐下降。由于尿素进入水体后首先转化为铵氮, 铵氮转化为氨气挥发或者可能经硝化细菌转化为硝氮, 也可能经反硝化细菌作用生成氮气等, 因此, 田面水中的铵氮/总氮必然经历一个上升然后再下降的过程, 此过程与铵氮变化动态十分类似, 一周后铵氮在总氮中所占比例迅速下降, 而基肥期施氮

量最高的缓释肥处理则在 10 天后逐渐下降。图中现象表明,田面水中氮素在以铵氮形态的相对流失潜在在经历 3~7 天的高峰期后开始逐渐减小,取而代之的是以总氮形态为主的相对流失潜能的增加。并且,同一次施肥中,施肥量越大,铵氮/总氮也越大,表现为基肥期缓释 > 对照 > 其他减量化处理,分蘖肥期控释 > 对照 > 其他减量化处理 > 缓释处理,这表明增加施肥量能明显增加总氮中铵氮的比重,以铵氮为主要形态的相对流失潜能也同时增大。

2.3 田面水中磷素的动态变化特征

有研究表明,施用磷肥提高了田面水总磷水

平,并随着时间的推移显著下降^[14]。可见磷肥施入量是影响田面水总磷和可溶态磷浓度的主要因子。如图 4 与图 5 所示,磷肥作为基肥施入,施肥后第 1 天总磷和可溶态磷就达到峰值,之后迅速降低至稳定,5 天后总磷浓度降至 1 mg/L 以下。由峰值期(施肥后 1 天)可以看出,各处理的总磷和可溶态磷浓度均不同程度小于对照处理,差异明显。有机肥、绿肥、秸秆化肥等处理的总磷浓度为对照处理的 19%~39%,可溶态磷浓度为对照处理的 11%~41%。其中尤以有机肥处理为最低。

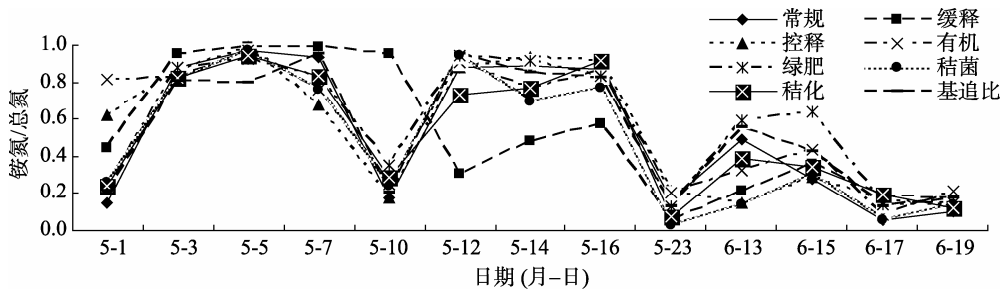


图 3 3 次施氮后田面水中氨氮/总氮随时间的变化动态

Fig. 3 Dynamics of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and TN ratio in paddy field surface water after fertilization

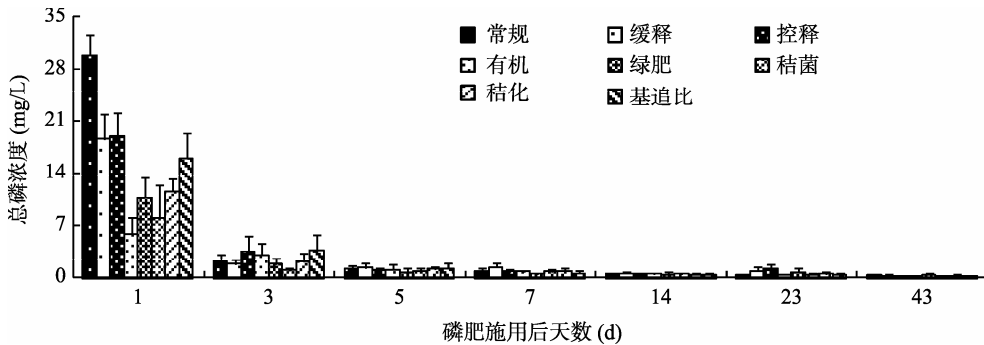


图 4 施肥后田面水中总磷动态变化

Fig. 4 Dynamics of TP concentration in surface water of paddy field after fertilization

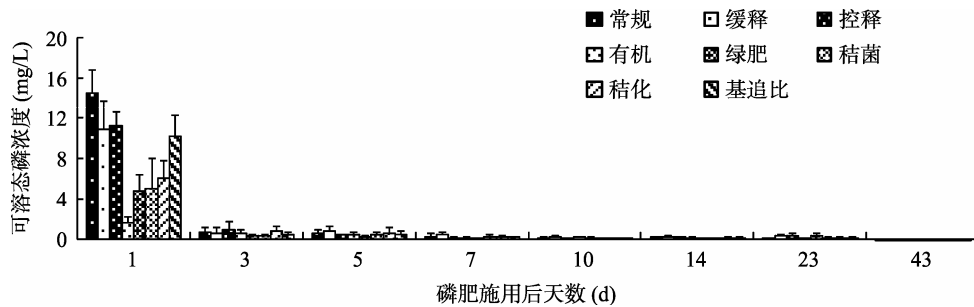


图 5 施肥后田面水中可溶态磷动态变化

Fig. 5 Dynamics of DIP concentration in surface water of paddy field after fertilization

磷在土水界面中不会挥发,大多数磷被土壤固定或被植物、微生物以及藻类吸收固定^[13]。因而,在基肥施用 5 天后,总磷的浓度始终维持在 1 mg/L

以下,14 天后维持在 0.5 mg/L 以下。可以认为,基肥施用 5 天内,磷素的流失风险较大,之后的水稻生长期磷素流失风险相对较小,这与稻田磷素的

“机会径流”的说法相吻合^[15]。另外,从施用基肥后 1 天可以看出,施肥量增大能明显提高田面水总磷和可溶态磷浓度,表现为对照处理 > 缓、控释肥处理 > 其他替代性施肥处理。因为有机肥、绿肥、秸秆化肥等处理将秸秆还田、种植绿肥或猪粪作为替代性肥料施入,减少了化肥磷的投入,降低了田面水中磷的浓度,同时降低了磷素的流失风险,但这种规律在磷素含量迅速降低的 3 天后表现不是很明显,可能由于磷素大部分被土壤吸收固定,对于施肥量相差不是很大的各处理来说,残留在水体中的磷素浓度差异不明显。

2.4 田面水中可溶态磷/总磷的动态变化

磷素施入稻田水体后,大多数被土壤或植物、微生物吸收固定,少量溶于水体之中,磷素在农田土壤-水体之间的转化形态主要表现在可溶态磷和悬浮颗粒态磷,因此可溶态磷/总磷能反映出磷素在农田土壤-水体间的转换潜能和流失潜能的相对水平。由图 6 可以看出:

(1) 可溶态磷/总磷在磷肥施用后 1 天达到最大

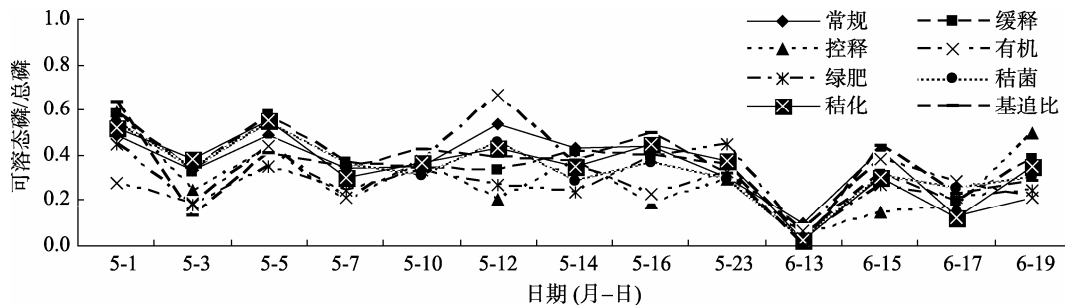


图 6 磷肥施用后田面水中可溶态磷/总磷动态变化

Fig. 6 Dynamics of DIP and TP ratio in paddy field surface water after fertilization

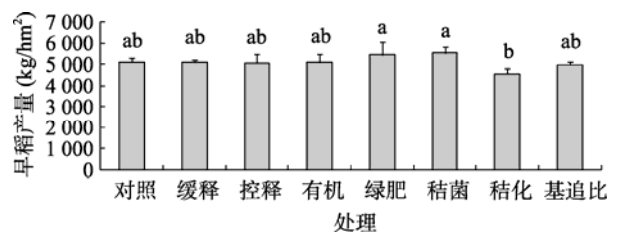
2.5 不同处理对水稻产量的影响

不同处理当季水稻产量(干重)见图 7。从图中可以看出,相对于常规对照处理,除秸秆化肥处理产量有所降低外,其他各处理产量并未出现显著的下降;其中绿肥与秸秆菌肥处理产量甚至高出对照处理 6.8% ~ 8.4%,方差分析表明,差异达显著水平;而缓释、控释、有机、基追比处理与对照处理产量无显著性差异。这表明,各处理在减少 20% ~ 30%的化肥投入情况下均能有效保证水稻产量,甚至有所提高。研究表明^[17]:实施小麦秸秆还田并配施化肥,稻麦产量一般增加 5% ~ 8%以上。而本试验中,秸秆还田化肥处理产量降低,秸秆还田菌肥施用处理产量明显较高,主要原因应在于:第一年施用秸秆还田,秸秆自然腐解过程缓慢,当季水稻生育期内对秸秆养分的利用率较低,导致秸秆化肥处理产量降低;而施用菌

值,之后缓慢下降,到 5 天后出现上升趋势,然后随时间变化逐渐下降。这表明,以可溶态磷形态为主的磷素流失潜能在第一天达到最大,并且在 5 天后出现第二个高流失潜能期,之后以可溶态磷形态为主的流失潜能逐渐降低,以悬浮颗粒态磷形态为主的流失潜能逐渐增大。除个别峰值期外可溶态磷/总磷基本都保持在 0.5 以下,这也说明了可溶态磷并不是田面水中磷素流失的主要形态,大部分情况下是以悬浮颗粒态为主。

(2) 后期施氮过程中,总伴随着可溶态磷/总磷比的上升过程,约出现在施氮后 3 ~ 5 天。这种现象表明:后期施氮过程会导致以可溶态磷为主形态的相对流失潜能的增大。田玉华等^[13]研究也同样表明:相同施磷水平下,高氮条件下田面水中磷素水平显著高于低氮处理,第二次施氮会引起田面水中磷素含量的上升,他认为这可以理解为一种激发作用,即氮的施入激发了土壤中磷素的溶解。也有研究^[16]表明,这种氮磷间的交互作用大多是正面的,即能减少氮磷的流失,但效果有限。

肥的秸秆,因为大量微生物的分解作用,使水稻对当季秸秆养分得到释放,从而保证了产量。



(图中不同小写字母表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平)

图 7 不同处理的水稻产量

Fig. 7 Rice yields under different treatments

从田面水中养分含量的浓度大小以及当季水稻的产量来看,各减量化处理均能在保证产量的基础上减少田面水中氮氮、总氮、可溶态磷、总磷的浓度,降低养分流失风险,其中绿肥、缓释、控释、有机肥、

秸秆菌肥处理表现较为突出。

3 结论

(1) 铵氮浓度在施肥后迅速上升, 3 天达到最大值, 而总氮在施肥后第 1 天便达到峰值, 之后随时间变化逐渐下降, 铵氮、总氮浓度在一周之后均降至较低水平并趋于稳定。施氮水平是决定田面水中氮素含量的主要因素, 氮素在施肥后第 1 周内较高流失风险, 施用缓控释肥料时应延长至 10 天, 铵氮是施肥后田面水中氮素的主要表现形态, 也是氮素流失预防的主要监测对象。

(2) 总磷和可溶态磷浓度在施肥后 1 天就达到峰值, 之后迅速降低至稳定, 5 天后总磷浓度降至 1mg/L 以下; 在后期追施氮肥时, 氮磷间的交互作用会引起田面水中可溶态磷相对流失潜能的上升。磷素在施肥后第 1 天具有较高流失风险, 流失形态以悬浮颗粒态磷为主, 3 天后这种风险将迅速下降至稳定。

(3) 各减量化处理均能有效保证水稻产量, 同时不同程度降低了田面水中氮、磷素的浓度, 减少养分的流失风险, 其中缓释肥、控释肥、绿肥、有机肥、秸秆菌肥处理表现突出。

参考文献:

- [1] FAO. Statistical Databases[DB/OL]. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, 2003. <http://www.fao.org>
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2010[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010
- [3] 朱万斌, 王海滨, 林长松, 程序. 中国生态农业与面源污染减排[J]. 中国农学通报, 2007, 23(10): 184-187
- [4] Hessen DO, Holtan G, Hindar A. 氮流失对淡水和海洋受体富营养化的重要意义[J]. AMBIO—人类环境杂志, 1997, 26(5): 306-313
- [5] Weld JL, Parsons RL, Beegle DB. Evaluation of phosphorus based nutrient management strategies in Pennsylvania[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 57(6): 448-454
- [6] 李立新, 张亚. 农业面源污染防治新进展[J]. 环境与可持续发展, 2010(6): 39-42
- [7] 虞锡君. 构建太湖流域水生态补偿机制探讨[J]. 农业经济问题, 2007(9): 56-59
- [8] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 3-21
- [9] 王强, 杨京平, 陈俊, 施洪鑫, 许春峰. 非完全淹水条件下稻田表面水体中三氮的动态变化特征研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1 182-1 186
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 125-135
- [11] 朱利群, 田一丹, 李慧, 卞新民. 不同农艺措施条件下稻田田面水总氮动态变化特征研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6): 85-89
- [12] 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
- [13] 田玉华, 贺发云, 尹斌, 朱兆良. 不同氮磷配合下稻田田面水的氮磷动态变化研究[J]. 土壤, 2006, 38(6): 727-733
- [14] 张志剑, 朱荫涓, 王珂, 王光火, 董亮, 郑洪福. 水稻田土-水系统中磷素行为及其环境影响研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 229-232
- [15] 曹志洪, 林先贵, 杨林章, 胡正义, 董元华, 尹睿. 论“稻田圈”在保护城乡生态环境中的功能——稻田土壤磷素径流迁移流失的特征[J]. 土壤学报, 2005, 42(5): 799-804
- [16] Schils R, Smijders P. The combined effect of fertilizer nitrogen and phosphorus on herbage yield and change in soil nutrients of a grass/clover and grass only sward[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystem, 2004, 68: 165-179
- [17] 朱利群, 张大伟, 卞新民. 连续秸秆还田与耕作方式轮换对稻麦轮作田土壤理化性状变化及水稻产量构成的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 81-85

Study on Rice Yield and Dynamics of Nitrogen and Phosphorus in Surface Water of Paddy Field Under Different Fertilizations in Tiaoxi River Basin

WU Jun^{1,2}, FAN Jian-bo¹, HE Yuan-qiu^{1*}, TU Ren-feng¹, TAN Bing-chang¹, XU Huan¹, XU Xiao-wei¹

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China* ;

2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Under 8 treatments with different fertilization and management practices, this study investigated the status and risk of non-point pollution in Tiaoxi River basin through the dynamic of N and P in surface water of paddy field. The results showed that all of fertilizer reduction treatments could ensure the rice yield and reduce the concentration and loss potential of N and P in surface water of paddy field. The highest concentrations of TN and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ occurred at the 1st and 3rd day after fertilization, and descended to a low level in 7 days after fertilization. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ was the main monitoring indicator of N loss in paddy field. The highest concentrations of TP and DIP occurred at the 1st day after fertilizations, and decreased with time. The concentration of TP descended to less than 1 mg/L in 5 days after fertilization. DIP/TP was basically less than 0.5, suggesting the suspended particulate phosphorus was the main way of P loss. In addition, the later fertilization could increase the relative loss potential of DIP by raising the value of DIP/TP.

Key words: Fertilizer reduction, Nitrogen, Phosphorus, Dynamic