

# 施用尿素、有机-无机复混肥和包膜有机肥 对几种水稻田土表水层 pH 的影响<sup>①</sup>

蔡树美<sup>1</sup>, 蔡玉琪<sup>2</sup>, 李广水<sup>3</sup>, 孙伟<sup>4</sup>, 钱晓晴<sup>1\*</sup>

(1 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225009; 2 环保部南京环境科学研究所, 南京 210000;

3 金陵科技学院, 南京 211100; 4 高邮市环境监测站, 江苏扬州 225000)

**摘要:** 采用不同类型的 3 种水稻田土壤进行模拟培养, 研究施用尿素、有机-无机复混肥和包膜有机肥对土表水层 pH 变化的影响。实验表明: 淹水培养 5 天后土表水层 pH 变化趋势明显。水稻田土壤类型不同, 培养期间土表水层 pH 变化差异显著。在培养后 5~15 天期间, 不施肥对照、施用包膜有机肥处理和施用复混肥处理, 红壤、灰潮土和盐碱土土表水层 pH 都明显上升; 施用尿素处理在灰潮土和盐碱土土表水层 pH 值略微下降, 而在红壤上仍呈上升趋势。

**关键词:** 尿素; 有机-无机复混肥; 包膜有机肥; pH

**中图分类号:** S141.2

土壤 pH 是土壤最基本但又是最综合的性状指标。它一方面受土壤各种物质组成变化的影响, 同时又反过来影响土壤物质组成的变化, 包括植物生长所需要的多种营养物质及其他多种生活因子的改变。

大量研究表明, 水稻田土壤在淹水状态下, 由于氧的供给被限制, 土壤中原有的氧因微生物呼吸等过程而很快被消耗殆尽, 致使土壤从氧化状态转变为还原状态, 土壤的氧化还原电位 (Eh) 值下降, pH 值上升<sup>[1-2]</sup>。有关肥料施用对土壤 pH 值影响方面的研究也有不少报道, 但结论并不一致, 甚至完全相反<sup>[3-5]</sup>。肥料施用后对土表水层 pH 值影响方面的研究并不多见, 而土表水层 pH 值对土-水界面过程, 尤其是土壤养分的逸失过程具有非常直接的影响。本文对 3 种重要类型土壤在不同施肥条件下土表水层 pH 的变化趋势进行了室内培养试验研究, 旨在了解施用不同类型肥料后对 3 种代表性水稻田土壤土表水层 pH 变化的影响规律, 以期揭示不同类型土壤酸化机制和指导科学施肥提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

培养用容器为自行设计的、下端配有取样口的有机玻璃柱, 内径为 5 cm、容积为 2 355 cm<sup>3</sup>。培养期间

外面以反光布遮盖, 以防止光线影响根系正常生长。

供试土壤为取自扬州市里下河地区农科所的灰潮土、江西省鹰潭市的红壤和江苏省盐城市的滨海盐碱土, 其 pH 值分别为 6.84、5.81 和 7.22; 全 N 含量分别为 1.30、0.65 和 0.18 g/kg, 碱解 N 含量分别为 98.40、23.73 和 13.45 mg/kg; 速效 P 含量分别为 29.60、1.51 和 1.54 mg/kg, 速效 K 含量分别 85.90、35.49 mg/kg 和 31.00 g/kg。各土壤经过风干磨细过 20 目筛后备用。

供试肥料包括包膜有机肥、有机-无机复混肥、尿素。包膜有机肥全 N 含量为 9.15 g/kg, 全 P 含量为 10.11 g/kg, 全 K 含量为 13.69 g/kg, 相对含水量为 79.30 g/kg; 有机-无机复混肥全 N 含量为 50.31 g/kg, 全 P 含量为 43.42 g/kg, 全 K 含量为 71.06 g/kg, 相对含水量为 68 g/kg; 无机肥料采用化学纯尿素 (CP)。供试作物为武育粳 3 号水稻。从扬州大学实验农场试验田选取长势长相一致的五叶期的秧苗。移栽到实验室后先用国际水稻营养液缓苗 5 天再进行处理。

### 1.2 试验设计

试验包括 3 种土壤和 3 种肥料, 共 9 个施肥处理和 3 个不施肥对照。即红壤施尿素 (RU), 红壤施有机肥 (RO), 红壤施有机-无机复合肥 (ROI); 灰潮土施尿素 (GU), 灰潮土施有机肥 (GO), 灰潮土施有机-无机复合肥 (GOI); 盐碱土施尿素 (SU), 盐碱土

①基金项目: 农业部 948 项目 (2006-G60) 和江苏省环境材料与工程重点实验室开放基金项目资助。

\* 通讯作者 (xiaoqingqian@163.com)

作者简介: 蔡树美 (1984—), 女, 江苏溧阳人, 博士研究生, 主要从事植物营养研究。Email:caishumei\_1984@yahoo.com.cn

施有机肥 (SO), 盐碱土施有机-无机复合肥 (SOI); 红壤对照 (R)、灰潮土对照 (G) 和盐碱土对照 (S)。试验过程中先将过筛后的风干土装进自制的淋溶柱中, 并将上述肥料以土壤重量的 3 g/kg 的用量施于土表。每柱装土 500 g, 使土柱中的土壤在 20 cm 高度左右。装柱结束后, 从下口吸入水分至饱和, 关紧活塞。从上口缓慢注入水分, 建立并保持水层在 5 cm 高度。每柱移栽水稻苗 2 棵。各处理均重复 3 次。

将土柱置于光照培养室进行培养, 每天 7:00—19:00 光照, 其余时间黑暗。其他各生长条件均保持一致。

每天放取 25 ml 渗滤液, 以模拟田间实际渗漏状况 (相当于渗漏速率 12.4 mm/d)。在培养后的第 1、5、10、15 天时, 用 pH 340i 便携式 pH 测试仪直接测定土表水层的 pH 值。计算 3 次重复实验的平均值, 并作图进行分析比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对红壤水稻田土表水层 pH 的影响

图 1 显示了红壤在培养期间, 施用不同类型肥料后淹水土壤土表水层的 pH 变化情况。如图 1 所示, 3 种肥料施用后土表水层的 pH 高低依次为: 施用尿素 > 施用有机肥 > 施用有机-无机复混肥。培养期间, 施用尿素处理的 pH 始终显著高于其他施肥处理, 从培养的第 1 天到第 15 天, 土表水层的 pH 由 6.12 逐渐升高至 7.47。培养的前 5 天, 施用有机肥处理、有机-无机复混肥处理以及不施肥对照处理土表水层的 pH 变化不大, 而在培养的第 5~15 天, 都逐渐呈现上升趋势, 并且在培养的前 5 天, 施用有机肥和施用有机-无机复混肥处理土表水层的 pH 都低于不施肥对照处理, 而在培养结束时这 3 种处理土表水层的 pH 相差甚微。到

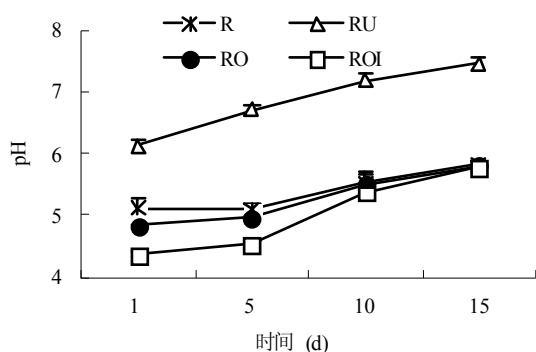


图 1 施用不同类型肥料红壤水稻田土表水层 pH 变化  
Fig. 1 pH change in epilimnion of red paddy soils under different fertilization types

培养结束时, 施用有机肥处理、有机-无机复混肥处理以及不施肥对照处理土表水层的 pH 分别为 5.81、5.78 和 5.83, 均远远低于施用尿素处理。

### 2.2 不同施肥处理对灰潮土水稻田土表水层 pH 的影响

如图 2 所示, 施用不同类型肥料对灰潮土土表水层 pH 变化的影响略有不同。施用尿素处理土表水层的 pH 呈现先上升后下降的趋势: 在培养的第 1~5 天, 土表水层 pH 由 7.05 上升至 7.89, 在培养的第 10 天下降至 7.54, 培养结束时为 7.38。施用有机肥、施用有机-无机复混肥处理以及不施肥对照处理在培养的 15 天里, 土表水层的 pH 都保持着上升趋势, 在培养结束时分别达到 8.10、7.96 和 8.03。培养期间, 施用有机肥处理土表水层 pH 始终高于施用有机-无机复混肥处理和不施肥对照处理。

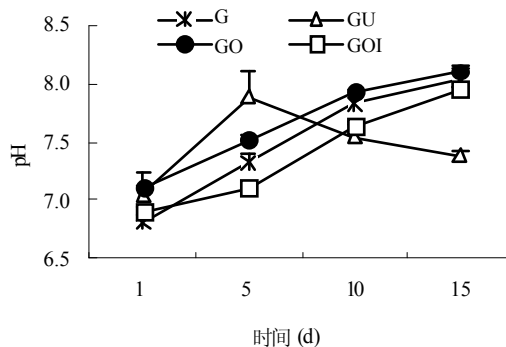


图 2 施用不同类型肥料灰潮土水稻田土表水层 pH 变化  
Fig. 2 pH change in epilimnion of grey fluvo-aquic paddy soils under different fertilization types

### 2.3 不同施肥处理对盐碱土水稻田土表水层 pH 的影响

图 3 表示了盐碱土在培养期间, 施用不同类型肥料后土表水层 pH 的变化情况。施用不同类型肥料对盐碱土土表水层 pH 变化的影响也略有不同: 施用尿素处

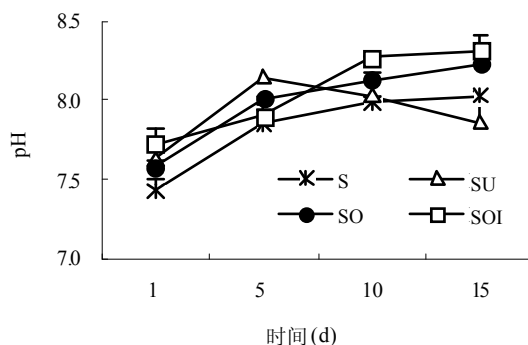


图 3 施用不同类型肥料盐碱土水稻田土表水层 pH 变化  
Fig. 3 pH change in epilimnion of saline-sodic paddy soils under different fertilization types

理在培养的前 5 天, 土表水层的 pH 先从 7.64 上升到 8.14, 在培养的后 10 天又下降到 7.86; 施用有机-无机复混肥处理则是稳步上升, 在培养的第 15 天, 土表水层的 pH 分别达到 8.23 和 8.31。施用有机肥处理和施用有机-无机复混肥处理, 土表水层 pH 差异不大。施用有机肥处理和施用有机-无机复混肥处理, 土表水层 pH 均略高于不施肥对照处理。

### 3 讨论

#### 3.1 不同施肥处理引起 pH 变化差异的可能原因

土壤在淹水后 5 天以内, pH 值变化较缓, 5 天以后上升趋势加大。土壤类型不同, 培养期间种植水稻, 淹水土壤的 pH 有显著差异。不同的施肥处理之间, 土壤 pH 值也存在明显的差异 ( $p < 0.01$ )。在培养的第 5 ~ 15 天, 不施肥对照处理, 施用包膜有机肥处理和施用复混肥处理, 在红壤、灰潮土和盐碱土上都明显上升; 施用尿素处理在灰潮土和盐碱土上 pH 值略微下降, 而在红壤上仍呈上升趋势。这可能是因为尿素中高含量的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  投入所引起的。在淹水条件下, 土壤 pH 值的提高并不是无限制的。有研究表明, 酸性土壤在淹水还原状态下, pH 值会逐渐提高, 并达到中性左右; 相反, 碱性土壤在淹水还原条件下, pH 值会降低至中性左右。碱性土壤在还原状态下 pH 值的下降被认为与二氧化碳的增加有关<sup>[6-7]</sup>。而王秀君等<sup>[8]</sup>则认为, 在 pH 5.5 ~ 9.5 范围内, 尿素水解随 pH 升高而增强, 极端的 pH 不利于尿素水解。本试验中, 在灰潮土和盐碱土施用尿素后, 前 5 天 pH 升高, 而在后 10 天 pH 逐渐下降。这可能是由于较高的 pH 加速尿素的水解, 使得硝化作用加速进行, 从而使土壤 pH 开始下降。而在红壤上施用尿素后, 在培养的第 15 天内 pH 呈直线上升趋势。这是因为尿素在红壤上, 水解作用进行得相当迅速, 并且大部分尿素转化为碳铵, 土壤 pH 显著升高。这与鲁如坤等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。

#### 3.2 土表水层 pH 值改变对土壤养分损失可能产生的影响

土壤在淹水条件下 pH 值升高这一现象与土壤处于缺氧状态下而发生一系列还原反应有关。根据对该土壤中的无机态 N 浓度的动态测定知道, 在淹水条件下, 经 10 天左右的培养, 土壤中的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  就会基本消失, 而  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  浓度有少量提高, 这一结果与土壤在淹水条件下因缺氧而导致  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  被还原, 即出现脱 N 现象有关<sup>[10]</sup>。当然, 在淹水条件下, 土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  消失以后, pH 值仍然呈上升趋势, 这一结果应该与其他物质被还原有关, 如有机还原物质的形成和  $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$  甚

至  $\text{S}^{2-}$  等无机还原物质的出现<sup>[11]</sup>。

### 4 结论

(1) 在不同类型土壤上施用尿素对土表水层 pH 影响有差异: 灰潮土和盐碱土施用尿素在培养的第 15 天里土表水层 pH 先上升后下降; 红壤施用尿素土表水层 pH 始终保持缓慢上升趋势。培养期间, 不同类型土壤施用尿素土表水层 pH 上升幅度大小依次为: 红壤 > 灰潮土 > 盐碱土。

(2) 3 种土壤施用有机肥土表水层 pH 都升高了, 不同类型土壤上升幅度存在差异, 施用有机肥对不同类型土壤土表水层 pH 上升幅度大小影响依次为: 灰潮土 > 红壤 > 盐碱土。

(3) 3 种土壤施用复混肥土表水层 pH 也都升高了, 不同类型土壤上升幅度略有不同, 施用复混肥对不同类型土壤土表水层 pH 上升幅度大小影响依次为: 红壤 > 灰潮土 > 盐碱土。

#### 参考文献:

- [1] 唐罗忠, 生原喜久雄, 户田浩人, 黄宝龙. 湿地林土壤的  $\text{Fe}^{2+}$ 、Eh 及 pH 值的变化. 生态学报, 2005, 25(1): 103-107
- [2] Hseu ZY, Chen ZS. Saturation, reduction and redox morphology of seasonally flooded Alfisols in Taiwan. Soil Sci. Soc. Am. J., 1996, 60: 941-949
- [3] 曾清如, 廖柏寒, 蒋朝辉, 周细红, 汤灿, 钟宁. 施用尿素引起红壤 pH 及铝活性的短期变化. 应用生态学报, 2005, 16 (2): 249-252
- [4] 和文祥, 朱铭莪, 童江云, 周玲. 有机肥对土壤脲酶活性特征的影响. 西北农业学报, 1997, 6(2): 73-75
- [5] 陈国安. 肥料类型对草地土壤 pH 和产量的影响. 草原与草坪, 1994(3): 31
- [6] 蒋朝晖, 曾清如, 方至, 周细红. 不同温度下施入尿素后土壤短期内 pH 的变化和氨气释放特性. 土壤通报, 2004, 35(3): 299-302
- [7] 钟宁, 曾清如, 张利田, 廖柏寒, 周细红, 姜洁凌. 土壤酸碱性质对尿素转化特征的影响. 土壤通报, 2006, 37(6): 1 123-1 128
- [8] 王秀君, 罗胜国. 尿素肥料的影响因素及其施用技术. 土壤学进展, 1995, 23(1): 21-24
- [9] 鲁如坤, 时正元, 赖庆旺. 红壤养分退化研究(II)——尿素和碳铵在红壤中的转化. 土壤通报, 1995, 26(6): 241-243
- [10] 张庆利, 张民, 杨越超, 路继峰. 碳酸氢铵和尿素在山东省主要土壤类型上的氨挥发特性研究. 土壤通报, 2002(1): 32-34
- [11] 周细红, 曾清如, 蒋朝晖, 汤灿. 尿素施用对土壤 pH 值和模拟温室箱内  $\text{NH}_3$  和  $\text{NO}_2$  浓度的影响. 土壤通报, 2004, 35(3): 374-376

## Effects of Urea, Organic-Inorganic Complex Fertilizers and Coated Organic Fertilizers on Epilimnion pH Values of Paddy Soils

CAI Shu-mei<sup>1</sup>, CAI Yu-qi<sup>2</sup>, LI Guang-shui<sup>3</sup>, SUN Wei<sup>4</sup>, QIAN Xiao-qing<sup>1</sup>

(1 *Environmental Science & Engineering College, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China*; 2 *Environment Protect Department of Nanjing Environment Science Research Institute, Nanjing 210000, China*; 3 *Jinling Institute of Technology, Nanjing 211100, China*; 4 *Gaoyou Environment Monitoring Station, Yangzhou, Jiangsu 225000, China*)

**Abstract:** A simulating experiment was conducted in laboratory to verify the effects of urea, organic-inorganic complex fertilizers and coated organic fertilizers on epilimnion pH values in three types of paddy soils. The results showed that epilimnion pH changed obviously after 5 days of inundated cultivation. There were significant differences in epilimnion pH values between different types of paddy soils during the cultivation. From the 5<sup>th</sup> day to the 15<sup>th</sup> day of inundated cultivation, epilimnion pH values increased in all three types of paddy soils under the treatments of CK, coated organic fertilizers and organic-inorganic complex fertilizers; epilimnion pH values decreased slightly in grey fluvo-aquic and saline-sodic paddy soils but increased in red paddy soils under the treatment of urea.

**Key words:** Urea, Organic-inorganic complex fertilizers, Coated organic fertilizers, pH