

稻鸭共作生态系统稻田土壤固定态铵含量及有效性

李成芳, 曹凑贵*, 潘圣刚, 黄 丰, 代光照, 汪金平, 展 茗, 龚伟玲

(华中农业大学作物栽培与生理生态研究中心, 武汉 430070)

摘要:通过田间试验研究了稻鸭共作生态系统土壤固定态铵的动态及有效性和温度、土壤 pH、土壤交换性铵及土壤质地对土壤固定态铵的影响。研究表明:(1)在水稻生育期间,土壤固定态铵含量处于不断变化之中,施肥促进土壤对铵的固定,水稻的吸收促进土壤固定态铵的释放;其中在固定态铵释放过程之中,新固定的肥料铵几乎完全释放,而原有固定态铵没有释放。(2)较之常规稻作,稻鸭共作显著地提高了土壤固定态铵含量,其平均含量高出常规稻作的 7%。(3)土壤交换性 NH_4^+ 含量和 pH 与土壤固定态铵含量呈显著正相关($p < 0.01$);土壤温度(5cm 土层)与土壤固定态铵含量间不相关;土壤固定态铵含量与 $> 0.2\text{mm}$ 的砂粒含量和 $< 0.002\text{mm}$ 的粘粒含量呈显著或极显著相关,而与 $0.02 \sim 0.2\text{mm}$ 和 $0.002 \sim 0.02\text{mm}$ 粘粒含量不相关。

关键词:稻鸭共作;固定态铵;土壤交换性 NH_4^+ ;粘粒;pH

文章编号:1000-0933(2008)06-2729-09 中图分类号:Q146, S153.6*1 文献标识码:A

The dynamics and availability of soil fixed ammonium in rice-duck complex ecosystems

LI Cheng-Fang, CAO Cou-Gui*, PAN Sheng-Gang, HUANG Feng, DAI Guang-Zhao, WANG Jin-Ping, ZHAN Ming, YUAN Wei-Ling

Crop Production, Physiology and Ecology Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2729 ~ 2737.

Abstract: Field experiments on dynamics and availability of soil fixed ammonium in rice-duck ecosystems and its influencing factors were conducted from May to September in 2007. The results showed that during rice growth fixed ammonium changed constantly in paddy soils, and application of fertilizer could promote fixation of ammonium while rice growth boosted the release of fixed ammonium. Further, during rice growth, recently fixed ammonium was almost completely released, while native fixed ammonium was not released. Compared to conventional rice field (CK), rice-duck complex ecosystem (RD) could significantly increase fixed ammonium content; moreover, the mean content of fixed ammonium in RD was $(103.25 \pm 19.15) \text{ mg/kg}$, 7% higher than that in CK. Close correlations existed between soil exchangeable NH_4^+ , pH and fixed ammonium at the significant differences of 1% level. Soil temperature (at 5cm depth) was not associated with soil fixed ammonium. Soil fixed ammonium was positively related to $> 0.2\text{mm}$ sand at the significant differences of 5% and negatively related to $< 0.002\text{mm}$ clay at the significant differences of 1% level, and not associated with $0.02 - 0.2\text{mm}$ and $0.002 - 0.02\text{mm}$ particles.

基金项目:国家重大科技专项资助项目(2004BA520A02)

收稿日期:2007-09-27; 修订日期:2008-01-07

作者简介:李成芳(1978~),男,福建省厦门市人,博士生,主要从事农业生态系统分析与水土保持研究. E-mail:lichengfang@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: cecui@mail.hzau.edu.cn

致谢:感谢胡红青教授给予的指导与帮助;感谢华中农业大学资源与环境学院叶祥盛高级工程师,张丽梅博士和植物科技学院蔡明历老师在测定分析时提供的便利;感谢湖南农业大学的张杨珠教授提供实验方法。

Foundation item: The project was financially supported by National Foundation of Key Science of China (No. 2004BA520A02)

Received date: 2007-09-27; **Accepted date:** 2008-01-07

Biography: LI Cheng-fang, Ph. D., mainly engaged in agricultural ecosystem and soil and water conservation. E-mail: lichengfang@126.com

Key Words: Rice-duck complex ecosystems; fixed ammonium; soil exchangeable NH_4^+ ; clay; pH

土壤 N 素的供应能力受土壤性质、N 肥的施用和耕作等诸多因素影响^[1],其中土壤对铵的矿物固定与固定态铵的释放是影响土壤 N 素供应的重要转化过程之一。固定态铵是指被牢固地吸持在 2:1 型粘土矿物层间以平衡层间负电的肥料铵和有机氮矿化释放的铵^[2],是土壤氮素的一种重要形态。众多的研究表明,不同稻田土壤对铵的矿物固定的能力各不相同^[3~9];同时,在水稻生育期间稻田土壤固定态铵参与土壤对作物的供氮过程,其提供的氮占作物吸收的总氮量也各不相同^[5~7]。研究也表明,土壤对铵的矿化固定及固定态铵的释放受诸多因素的影响,例如施肥,淹灌和土壤理化性质^[2,8~20]。因此进一步研究稻田土壤对铵的矿物固定与固定态铵的释放,可更好地了解稻田土壤 N 素的供应状况并为合理施用肥料提供理论依据。

稻鸭共作生态系统是一种综合利用的稻鸭种养模式,即以水田为基础、种稻为中心、家鸭野养为特点的自然生态和人为干预相结合的复合生态系统。研究已表明稻鸭共作具有较高的经济效益和良好的生态效应^[21~24],然而目前对稻鸭共作下稻田固定态铵的动态特征研究尚未见报道,本文通过田间试验对稻鸭共作生态系统中固定态铵的含量及有效性和影响土壤固定态铵含量的因素进行研究,综合评价稻鸭共作系统的生态效应,为推广稻鸭共作技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点和土壤

本试验从 2003 年 5 月在华中农业大学试验农场进行,至今已 5a。每年 5 月至 9 月份为稻鸭共作期,9 月至翌年 5 月初为油菜种植期。本研究选取 2007 年 5 月至 9 月试验进行研究。实验地土壤为第四纪黄土性沉积物发育的水稻土,耕层土壤厚 20cm,下为 10cm 厚的犁底层。土壤特征为:全 N 1.09g/kg,全 P 1.17g/kg,有机质 16.76g/kg,硝态氮 12.1mg/kg,交换性铵 0.52mg/kg,土壤 pH 值 6.8;土壤质地:2~0.2mm 4.4%,0.2~0.02mm 63.3%,0.02~0.002mm 27.1%,<0.002mm 5.2%;粘土矿物:水云母 68.6%,蛭石 13.1%,高岭石 18.3%。

1.2 试验材料

中稻品种为两优培九(*Oryza sativa* L.),鸭子为本地麻鸭(*Tadorna*)。

1.3 田间设置及管理

1.3.1 试验设计

试验田面积 840m²,用田埂分为 6 个小区,埂高 20cm,并用塑料膜包被,每小区面积为 140m²(10 m × 14 m)。设 2 个处理,处理 1,不放鸭(CK);处理 2,放鸭 6 只(RD,以每公顷放养 450 只鸭为标准),各小区随机区组设计,3 次重复。试验田四周为水泥砌围,并设有一进水口和出水口。

1.3.2 田间管理

5 月 25 日田间接地时并于泡田后 4d 表施基肥(尿素)225kg N/hm²,在水稻生长期不再追肥。2007 年 5 月 10 日播种,5 月 31 日移栽秧苗,9 月 8 日收获。

田间开挖围沟深 30cm、宽 40cm,以便鸭子嬉水及取样。小区间用泥巴砌成田埂,覆包地膜,防止肥水串流。以 4 指规格尼纶丝网沿田埂围隔,围网高度为 0.6~0.8m,以防鸭逃走。水稻以宽窄行栽插,宽行 26.65cm,窄行 16.65cm。各小区均实行浅水淹灌(无沟处水深 10cm)。水稻移栽后半个月放入 6 只 15 日龄的雏鸭。在养鸭小区一角落放置一鸭棚,以便鸭子休憩和喂食(其目的为防止饲料进入稻田土壤和水体;每只鸭喂饲 60g/d,饲料为农家肉鸡花料,碳水化合物饲料,N 含量为 13.08g/kg,主要组分为玉米 60.2%,豆粕 27%,鱼粉 2%,菜粕 4%,棉粕 3%,磷酸氢钙 1.3%,石粉 1.2%,食盐 0.3%,添加剂 1%);在 8 月 20 日收鸭子,在此期间稻鸭共同生长,此后稻田不再灌溉。在水稻全生育期常规小区除不放鸭,其他措施均与养鸭小区一致。此外,移栽后,安置 Delta-T Logger 温度仪,温度仪每小时自动记录土温(5cm 深土层)。

1.4 田间取样及分析方法

1.4.1 田间取样

S形五点采样法采耕作层表土(0~20cm),混匀,送回实验室进行前处理;取部分新鲜土壤用以测定土壤交换性 NH_4^+ ,将剩余土壤在室温下完全风干,研磨并分别过 1 mm、20 目和 100 目筛,以进行相关项目测定。采样时间为 6 月 1 日至 9 月 7 日,每隔 7~9d 采 1 次样。

1.4.2 分析方法

土壤固定态铵含量用 Silva-Bremner 测定^[25];土壤有机质为重铬酸钾加热法测定;土壤交换性 NH_4^+ 为 2mol/L KCl 浸提-FIAstar5000 连续流动注射分析仪测定^[26];土壤机械组成用吸管法测定^[27];土壤 pH 采用玻璃电极测定($W_{\text{土}}:W_{\text{水}}=1:2.5$)。

试验结果均以每次测得的 3 次重复分析的平均值与标准差来表示,试验数据采用 SPSS10.0 软件统计分析。

2 结果与分析

2.1 水稻生育期间土壤 pH 的变化

水稻生育期间土壤 pH 的动态变化如图 1 所示。施肥后土壤 pH 迅速升高,6 月 1 日达到最大值,随后逐渐降低,并趋于稳定。在移栽后半个月,处理 CK 与 RD 土壤 pH 无差异,此后,处理 RD 均高于处理 CK(除 9 月 7 日外)。在整个水稻生育期间,处理 CK 土壤平均 pH 为 7.23 ± 0.21 ,略高于处理 RD 的 7.19 ± 0.25 ,统计分析显示,两者差异不显著($p > 0.05$)。

2.2 水稻生育期间土壤温度的变化

从图 2 可知,在 6 月至 8 月期间,稻田土壤温度表现出倒“S”型趋势,在 25~30℃ 间波动;进入 8 月末,由于气温的迅速降低,土壤温度随之降至最小值。在水稻全生育期间,处理 CK 土壤温度明显高于处理 RD($p < 0.05$);在稻鸭共作期间,处理 RD 平均温度为 $26.43 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 1.50 \text{ } ^\circ\text{C}$,比处理 CK($27.69 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 1.56 \text{ } ^\circ\text{C}$)低 4.6% ($p < 0.01$),这是由于鸭子对水体和土壤的扰动降低了水体和土壤的温度。

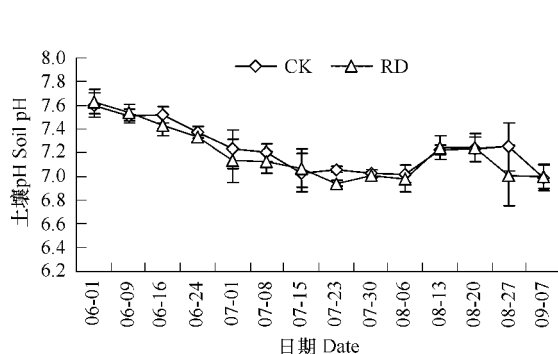


图 1 水稻生育期间土壤 pH 的动态变化

Fig. 1 Dynamic variations of soil pH during rice growth period

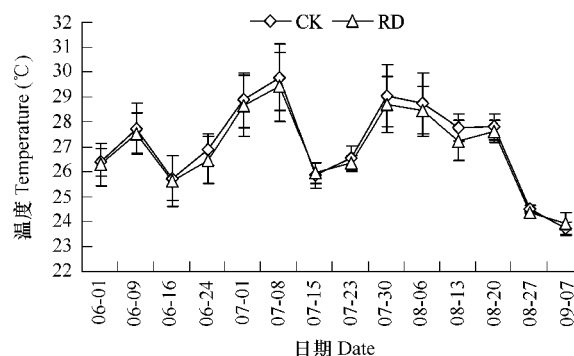


图 2 水稻生育期间土壤温度的动态变化

Fig. 2 Dynamic variations of soil temperature during rice growth period

2.3 水稻生育期间土壤交换性 NH_4^+ 的变化

从图 3 可看出,施肥后土壤交换性 NH_4^+ 含量迅速升高,并在一周后达到最大值,随后迅速下降,7 月 1 日出现一低值,随后有所回升,并趋于稳定,而在 9 月 7 日降到最低。在稻鸭共作期间(即 6 月 16 日至 8 月 20 日),处理 RD 土壤交换性 NH_4^+ 含量显著高于处理 CK($p < 0.01$)。在水稻全生育期,处理 RD 土壤交换性 NH_4^+ 平均含量为 $8.75 \text{ mg/kg} \pm 6.66 \text{ mg/kg}$,是处理 CK(8.10 ± 6.78)的 1.08 倍($p < 0.05$)。

2.4 水稻生育期间土壤质地的变化

从表 1 可看出,在水稻生育期间,土壤质地发生了变化。两处理 0.2 ~ 1mm 砂粒含量均随着水稻生育期的延长逐渐下降,稻田水分落干时降至最低。 < 0.002mm 土壤粘粒含量则随着水稻生育期的延长而逐渐升高,并在 8 月 20 日收鸭后达到最高。而 0.02 ~ 0.2mm 与 0.002 ~ 0.02mm 两粒级含量在水稻生育期间呈无规则变化,且波动不大。在 4 个粒级中,0.02 ~ 0.2mm 的粉粒含量最大,约占总量的 2/3;次之为 0.002 ~ 0.02mm 的粘粒,约占总量的 1/4。对于处理 RD,0.2 ~ 1mm 砂粒平均含量为 $4.96\% \pm 1.07\%$,显著高于处理 CK ($4.41\% \pm 1.00\%$) 的 12.5% ($p < 0.01$); 0.02 ~ 0.2mm 粘粒平均含量为 $64.76\% \pm 3.80\%$,显著高于处理 CK 的 2.3% ($p < 0.05$); < 0.002mm 粘粒平均含量为 $3.81\% \pm 0.93\%$,是处理 CK 的 73% ($p < 0.01$);而对于处理 CK,0.002 ~ 0.02mm 粘粒平均含量较处理 RD 略有增加,但差异不显著 ($p > 0.05$)。表明稻鸭共作提高了 0.02 ~ 1mm 的砂粒和细砂粒含量,降低了 < 0.002mm 粘粒的含量,这与王华等的报道较为类似^[24,28]。研究表明,稻田养鸭显著提高了土壤有机质含量,使得稻田土壤水稳性团聚体数量增加,土壤团聚化程度加强,因此改善了土壤质地^[24,28]。5a 的稻鸭共作试验表明(表 2),相对于处理 CK,处理 RD 有机质含量显著增加了 5.3% ($p < 0.05$),因此土壤有机质的增加改善了稻田土壤物理性状。

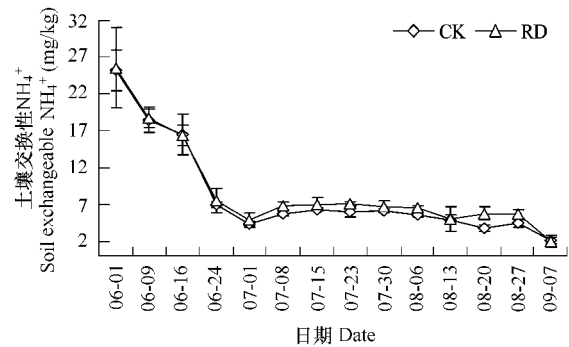


图 3 水稻生育期间土壤交换性铵的动态变化

Fig. 3 Dynamic variations of soil exchangeable NH_4^+ content during rice growth period

表 1 土壤质地变化

Table 1 Variations of the soil texture during rice growth period

处理 Treatments	粒级 Different sizes (mm)	各时期不同粒级含量 (%) Contents of clays with different size in different period (%)							
		06-01	06-16	07-01	07-15	07-30	08-13	08-27	09-07
CK	0.2 ~ 1	5.9	5.1	5.1	4.9	3.6	4.1	3.2	3.3
	0.02 ~ 0.2	64.4	64.4	63.9	66.6	55.7	68.2	61.8	61.5
	0.002 ~ 0.02	26.6	25.8	25.6	23.1	35.3	22.1	29	29.4
	< 0.002	3.2	4.8	5.4	5.5	5.3	5.6	6	6
RD	0.2 ~ 1	6	5.2	5.6	5	4.9	5.4	3.8	3.7
	0.02 ~ 0.2	64.9	64.4	67.3	67.9	60	68.3	62.4	62.9
	0.002 ~ 0.02	26.4	25.8	22.7	23.5	31.8	23.2	29.1	29.1
	< 0.002	2.6	4.6	4.4	3.6	3.4	3.1	4.7	4.2

表 2 稻田不同阶段土壤有机质平均含量变化

Table 2 Variations of mean contents of soil organic C during different growth peroids of rice (mg/kg)

处理 Treatments	06-01 ~ 06-16	06-16 ~ 08-20	08-20 ~ 09-07	平均含量 Mean contents
CK	15.90 ± 1.21	16.53 ± 1.49	17.80 ± 0.89	16.62 ± 1.46a
RD	16.23 ± 0.75	17.11 ± 1.28	18.10 ± 0.68	17.13 ± 1.24b

同一列中不同字母表示在 5% 水平上差异显著 Different letters in a column mean significant differences at 5% level

2.5 水稻生育期间土壤固定态铵的变化

由图 4 可知,土壤固定态铵的变化趋势与土壤 pH 和土壤交换性 NH_4^+ 类似。即施肥后迅速升高,一周后达到最大值,随后半个月迅速降低至最小值,后略有回升并趋于稳定。在收获时,土壤固定态铵含量与种植前相当。在水稻生育期间,除移栽后半个月外,处理 RD 土壤固定态铵显著高于处理 CK。在水稻全生育期,处

理 CK 土壤固定态铵平均含量为 $103.25\text{mg/kg} \pm 19.05\text{mg/kg}$, 是处理 RD 的 95% ($p < 0.01$); 而在稻鸭共作期间(即 6 月 16 至 8 月 20 日), 处理 CK 土壤固定态铵平均含量为 $97.41\text{mg/kg} \pm 8.80\text{mg/kg}$, 显著低于处理 RD ($103.85\text{mg/kg} \pm 10.31\text{mg/kg}$) 的 6.2% ($p < 0.01$)。

3 讨论

3.1 稻田土壤固定态铵含量的动态变化及释放

土壤中交换性铵与固定态铵不断地处于变化与平衡状态, 当土壤中交换性铵含量降低, 土壤中的固定态铵则可能释放出来; 而当土壤交换性铵含量较高, 则铵可被土壤所固定^[17]。研究表明^[10,17], 随着土壤中交换性铵含量的增加, 固定态铵与交换性铵处于动态平衡

中。由图 3、4 和表 3 可知, 施肥后土壤交换性 NH_4^+ 含量迅速增加, 部分的 NH_4^+ 被土壤固定, 土壤固定态铵含量达到最大值(6 月 1 日); 随后由于水稻对 N 素的吸收随根系的发育不断增强, 在分蘖期(7 月 1 日)出现吸收峰, 同时由于氨的挥发和氮素的下渗淋失等, 土壤交换性 NH_4^+ 逐渐下降并在 7 月 1 日达到最低值。由于土壤交换性 NH_4^+ 含量下降, 土壤新固定的 NH_4^+ 逐渐释放出可供作物吸收利用的有效态氮, 因此土壤固定态铵含量降低; 在 6 月 24 至 8 月 13 日期间, 作物需氮量大, 土壤有效态氮不足, 一部分新固定肥料 NH_4^+ 释放出来供作物吸收利用, 故在此期间土壤固定态铵含量低下; 到 8 月 20 日齐穗期, 由于作物的吸氮能力下降, 土壤固定态铵含量不再下降甚至略有回升。8 月 20 日收鸭后, 稻田土壤水分落干, 土壤氧化作用增强, 土壤硝化作用强烈, 土壤交换性 NH_4^+ 含量下降, 致使土壤新固定的肥料 NH_4^+ 几乎完全释放出来, 土壤固定态铵回复初始水平。

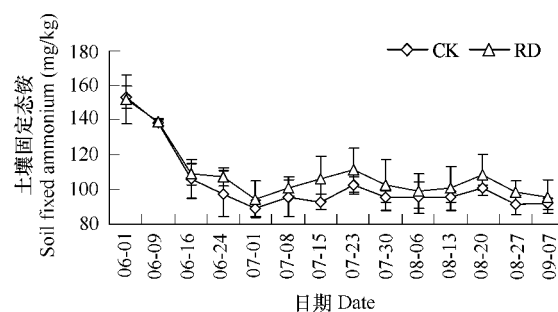


图 4 水稻生育期间土壤固定态铵的动态变化

Fig. 4 Dynamic variations of fixed ammonium content of soil during rice growth period

表 3 水稻生育期间土壤新固定 NH_4^+ 的变化 (mg/kg)

Table 3 Variations of recently fixed ammonium during rice different growth period (mg/kg)

处理 Treatments	06-01	06-09	06-16	06-24	07-01	07-08	07-15
CK	64.38	49.99	17.47	8.74	0.04	7.03	4.11
RD	63.04	50.58	20.13	18.35	5.77	12.19	17.17
处理 Treatments	07-23	07-30	08-06	08-13	08-20	08-27	09-07
CK	13.6	6.99	6.61	6.99	12.19	2.48	3.11
RD	22.39	13.79	10.41	11.79	19.61	9.43	6.9

新固定铵 = 各生育期固定态铵 - 试验前土壤固定态铵 Recently fixed NH_4^+ = fixed NH_4^+ during rice different growth period - native fixed NH_4^+ content

图 4 表明, 稻田养鸭后, 处理 RD 土壤固定态铵含量显著高于处理 CK, 这与处理 RD 具有更多的 N 源及鸭子的活动有关。有研究表明, 鲜鸭粪含全 N 11.0g/kg ^[28]; 根据统计, 一只鸭日平均产鲜粪 0.14kg , 则对于每亩稻田养鸭 30 只, 在一季水稻田中生活 66d, 其排出鲜粪 276.8kg , 可对稻田增加纯 N 3.04kg 。同时鸭粪含有丰富的微生物, 鸭的觅食等活动, 翻动土壤, 改善土壤的通气状况, 也促进微生物的活动, 有利于养分循环, 促进土壤原有养分的活化, 增加土壤有效 N 养分数^[24,28]。此外, 由于鸭子的活动搅动水体与土壤, 提高了水体溶解氧量, 改善了土壤氧化还原状况^[22~24], 使得稻田 N 矿化加强; 养鸭抑制了杂草藻类的生长, 减少了杂草藻类对铵的吸收^[23,24,29], 减少了参与藻类光合作用的 CO_2 的量, 降低了田面水 pH, 稻田氨挥发减少^[30], 因此土壤铵态氮含量增加, 使得土壤固定态铵的释放减弱。

3.2 影响因素

3.2.1 土壤交换性 NH_4^+

研究已表明土壤固定态铵与交换性铵及土壤溶液中铵存在动态平衡, 土壤固定态铵含量随着土壤交换性

铵含量升高而增加^[17]。从图 5 可知,土壤固定态铵与土壤交换性 NH_4^+ 呈极显著线性正相关,即土壤固定态铵含量随土壤交换性 NH_4^+ 含量增加而增加。

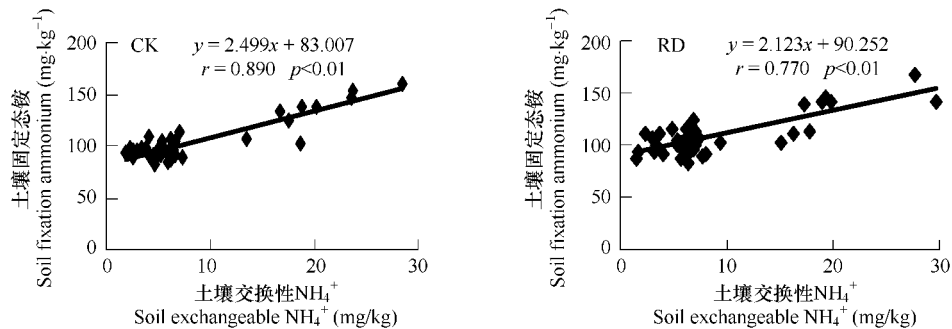


图 5 土壤固定态铵与土壤交换性 NH_4^+ 的相关性, $n = 42$

Fig. 5 Correlations between soil fixed ammonium and soil exchangeable NH_4^+ , $n = 42$

3.2.2 土壤 pH

Nommik 等认为土壤的固铵能力随 pH 的升高而增大^[2,10,11,13],其原因可能是 H 离子的吸附使矿物晶格中的铵更接近交换的阳离子,从而降低固定态铵含量^[31]。本试验土壤 pH 与土壤固定态铵含量之间的关系如图 6 所示。对于两处理,土壤 pH 与土壤固定态铵含量均呈极显著的线性正相关($p < 0.01$),相关系数分别为 0.621 和 0.514。

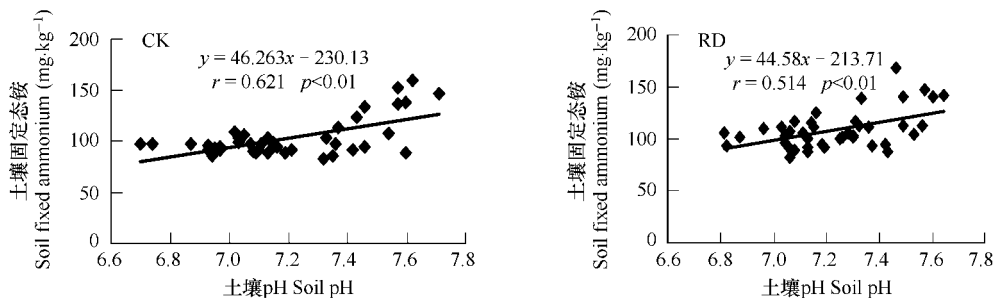


图 6 土壤固定态铵与土壤 pH 的相关性, $n = 42$

Fig. 6 Correlations between soil fixed ammonium and soil pH, $n = 42$

由图 1、4 可知,土壤固定态铵的变化趋势与土壤 pH 较为一致,即施肥后迅速升高,一周后达到最大值,随后降低并趋于稳定。施肥后,肥料在土壤脲酶分解下生成铵和 OH^- ,引起土壤 pH 的升高, H 离子量降低,土壤固定态铵含量提高;而后,随着氨的挥发和氮素的淋失下渗等,土壤 pH 开始回落,吸附性的 H 离子量增加,土壤固定态铵含量降低。

3.2.3 土壤温度

温度是影响土壤对铵固定的因素。Drury 等研究发现,在低温范围($4 \sim 15^\circ\text{C}$)内,土壤固定铵量不受温度变化影响^[32]。樊小林等报道^[33,34]土壤矿物对铵的固定随温度的升高而增加。本研究结果表明,土壤温度(5cm 土层)与土壤固定态铵含量并无显著相关(对于处理 CK, $r = 0.04$; 而处理 RD, $r = 0.05$, $n = 42$),其原因可能是淹水对土壤固定态铵的显著影响掩盖了温度的作用^[8,9,13,15]。

3.2.4 土壤粘粒

粘粒含量对固定态铵含量的影响结论不一。李生秀等研究认为固定态铵含量与粘粒含量密切相关^[18]。Feigin 和 Yaalon 的研究发现以色列钙质土固定态铵含量与 $< 0.002\text{mm}$ 的粘粒含量呈显著正相关^[19]。

Paramasivam 和 Breitenbeck 认为,虽然固定态铵含量随粘粒含量的增加而增加,但单位粘粒的固铵量却减少^[20]。Wen 等认为固定态铵含量与粘粒无关,而只与蛭石有关^[35]。线性相关分析表明(表 4),土壤固定态铵含量与粒径 $>0.2\text{mm}$ 砂粒含量呈极显著或显著正相关,与粒径 $<0.002\text{mm}$ 粘粒含量呈极显著或显著负相关,而与 $0.02 \sim 0.2\text{mm}$ 与 $0.002 \sim 0.02\text{mm}$ 的关系不密切。本试验的研究结果与李生秀等人的报道不一致,其原因可能与稻田养鸭提高了有机质含量,增加了土壤的团聚化程度^[24,28],对土壤交换性 NH_4^+ 和土壤溶液中 NH_4^+ 的吸附增强有关,具体原因尚需进一步研究。

表 4 土壤机械组成与固定态铵含量的相关性

Table 4 Relationships between mechanical component and content of soil fixed ammonium

处理 Treatments	粒级 Different sizes, $n = 24$			
	$0.2 \sim 1\text{mm}$	$0.02 \sim 0.2\text{mm}$	$0.002 \sim 0.02\text{mm}$	$<0.002\text{mm}$
CK	0.659 **	0.04	0	-0.747 **
RD	0.438 *	0.028	-0.042	-0.440 *

* 为 $p < 0.05$, ** 为 $p < 0.01$; * means $p < 0.05$, ** means $p < 0.01$

4 结论

1) 在水稻生育期间,土壤固定态铵含量处于不断变化之中,施肥促进土壤对铵的固定,作物的吸收则促使土壤固定态铵的释放;在固定态铵释放过程中,新固定的肥料铵几乎完全释放,原有固定态铵没有释放;

2) 与常规稻作相比,稻鸭共作显著的提高了土壤固定态铵含量,其平均含量高出常规稻作的 7%;

3) 土壤交换性 NH_4^+ 和 pH 影响着土壤固定态铵含量,土壤固定态铵含量随着土壤交换性 NH_4^+ 和 pH 增加而增加;土壤温度(5cm 深土层)与土壤固定态铵含量不显著相关;土壤固定态铵含量与 $>0.2\text{mm}$ 的砂粒含量和 $<0.002\text{mm}$ 的粘粒含量成极显著或显著相关,而与 $0.02 \sim 0.2\text{mm}$ 和 $0.002 \sim 0.02\text{mm}$ 的粘粒相关性差。

References:

- [1] Shen Q R, Wang Y, Shi R H. Changes of soil microbial biomass N and soil fixed ammonium during rice growth and use efficiency of residual N by rice. *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(3): 330—338.
- [2] Sun Y, Wu S R, Lu J L. Studies on the fixed- NH_4^+ capacity and the cumulating-supplying N ability in Lou soil. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2000, 18(3): 8—14.
- [3] Huang S H, Zhang Y Z, Wu M Y, Peng J, Zhou W J. Native fixed ammonium and maximum ammonium fixation capacities of major types of paddy soils in Hunan Province. *Soils*, 2005, 37(5): 500—505.
- [4] Zhang Y Z, Liao J P, Sun Y H, *et al.* Fixed ammonium in major types of paddy soils in Hunan Province, China. *Pedosphere*, 2003, 13(3): 199—208.
- [5] Liao J P, Li F Y, Zhang Y Z, *et al.* Seasonal variation of fixed ammonium content of paddy soils in Hunan Province and its bioavailability. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(10): 1665—1668.
- [6] Huang S H, Zhang Y Z, Zhou Y B. Seasonal variation and release of fixed ammonium of paddy soils during rice growth in Hunan province. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2006, 32(1): 20—24.
- [7] Keerthisinghe G, De Datta S K, Mengel K. Importance of exchangeable and non-exchangeable soil NH_4^+ in nitrogen nutrition of lowland rice. *Soil Sci.*, 1985, 140(3): 194—201.
- [8] Zhang Y S, Scherer H W. Mechanisms of fixation and release of ammonium in paddy soils after flooding II. Effect of transformation of nitrogen forms on ammonium fixation. *Biol. Fertil. Soils*, 2000, 31: 517—521.
- [9] Zhang Y S, Scherer H W. Ammonium fixation by clay minerals in different layers of two paddy soils after flooding. *Biol. Fertil. Soils*, 1999, 29: 152—156.
- [10] Zhao M Y, Han X R, Guo P C. Dynamic change of fixed ammonium content of soil in different fertilization rates. *Chinese Journal of Soil Science*, 1996, 27(2): 79—81.

- [11] Nommik H. Fixation and defixation of ammonium in soils. *Acta Agric. Scand.*, 1957, 7:395—436.
- [12] Scherer H W. Fixed NH_4^+ -N in relation to EUF-extractable K. *Plant Soil*, 1982, 64:67—71.
- [13] Schneiders M, Scherer H W. Fixation and release of ammonium in flooded rice soils as affected by redox potential. *Eur. J. Agron.*, 1998, 8:181—189.
- [14] Scherer H W, Zhang Y S. Studies on the mechanisms of fixation and release of ammonium in paddy soils after flooding I. Effect of iron oxides on ammonium fixation in paddy soils. *Z Pflanzenernaehr Bodenk*, 1999, 162:593—597.
- [15] Keerthisinghe G, Mengel K, De Datta S K. The release of nonexchangeable ammonium (^{15}N -labeled) in wetland rice soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, 48: 291—294.
- [16] Gouveia G A, Eudoxie G D. Distribution of fertilizer N among fixed ammonium fractions as affected by moisture and fertilizer source and rate. *Biol. Fertil. Soils*, DOI 10.1007/s00374-007-0171-4.
- [17] Nommik H. Fixation and biological availability of ammonium in soil clay minerals. In: Clark FE, Rosswall T eds. *Terrestrial nitrogen cycles, ecosystem strategies and management impacts*. *Ecol Bull (Stockholm)*, 1981. 33:273—279.
- [18] Li S X, Zhang X C, Zhang X W, Tian X H, Hou G P. The behaviour of non-exchangeable ammonium in soils I. Evaluation of two methods determining Non-exchangeable ammonium in soils. *Journal of Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry*, 1991, 19(1):7—12.
- [19] Feigin A, Yaalon D H. Non-exchangeable ammonium in soils of Israel and its relation to clay and parent materials. *Soil Sci.*, 1974, 25(3):384—397.
- [20] Paramasivam E, Breitenbeck G A. Distribution of nitrogen in soil of the southern mississippi river alluvial plain. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1994, 25(3,4):247—267.
- [21] Ekurem E, Ryohei Y. Comparative studies on behavior, weeding and pest control of duck free ranged in paddy fields. *Jpn. Poult. Sci.*, 1996, 33:261—267.
- [22] Zheng Y H, Deng G B, Lu, G M. Eco-economic benefits of rice-fish-duck complex ecosystem. *Chin J. Appl. Ecol.*, 1997, 8(4):431—434.
- [23] Wang H, Huang H. Analysis on ecological and economic benefits of complex ecosystem in wetland paddy fields. *Chin. Agric. Sci. Bull*, 2002, 18(1):71—75.
- [24] Wang H, Huang H, Yang Z H, *et al.* Studies on integrated benefits of wetland rice duck complex ecosystem. *Rural Eco-Environ.*, 2003, 3: 45—48.
- [25] Silva J A, Bremner J M. Determination and isotope-ratio analysis of different form of nitrogen in soils: Fixed ammonium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1966, 30:587—594.
- [26] Bao S D. *Soil agriculture chemistry analysis*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000. 30—34, 42—56.
- [27] Institute of soil science, Chinese academy of science. *Soil Physical and Chemical Analysis*. Shanghai: Science and Technology Press in Shanghai, 1978, 67—532.
- [28] Yang Z H, Huang H, Wang H. Paddy soil quality of a wetland rice-duck complex ecosystem. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2):117—121.
- [29] Wang Y, Lei W C. Studies on ecological benefits of planting and breeding model in rice fields. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(2):311—316.
- [30] Choudhury A T M A, Kennedy I R. Nitrogen fertilizer losses from rice soils and control of environment pollution problems. *Commun. Soil Sci. Plan.*, 2005, 36:1625—1639.
- [31] Barshad I. Cation exchange in micaceous minerals: Replace-ability of ammonium and potassium from vermiculite, biotite, and montmorillonite. *Soil Sci.*, 1954, 68:399—400.
- [32] Drury C F, Beauchamp E G. Ammonium fixation, release, and immobilization in high- and low-fixing soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1991, 55:125—129.
- [33] Fan X L, Zhang Y P and Li L. Effects of temperature and drying and wetting alternation on ammonium fixation in manured loessial soil. *Pedosphere*, 1996, 6(2):155—161.
- [34] Fan X L, Zhang Y P, Juang T, Zhang F S. Thermodynamic properties of NH_4^+ fixation in manured loess soil in Shaanxi Province, China. *Pedosphere*, 1997, 7(1):49—58.

- [35] Wen Q X, Cheng L L, Zhang X H. Fixed ammonium contents and NH_4^+ fixation capacities of some cultivated soils in China. *Pedosphere*, 1995, 5(4):247-267.

参考文献:

- [1] 沈其荣,王岩,史瑞和. 土壤微生物量和土壤固定态铵的变化及水稻对残留 N 的利用. *土壤学报*,2000,37(3):330~338.
- [2] 孙艳,吴守仁,吕家珑. 类土固定态铵容量及蓄氮供氮能力研究. *干旱地区农业研究*,2000,18(3):8~14.
- [3] 黄顺红,张杨珠,吴明宇,等. 湖南省主要稻田土壤的固定态铵含量与最大固铵容量. *土壤*,2005,37(5):500~505.
- [4] 廖继佩,李法云,张杨珠,等. 湖南稻田土壤固定态铵含量的季节变化及生物有效性. *应用生态学报*,2003,14(10):1665~1668.
- [6] 黄顺红,张杨珠,邹应斌. 水稻生育期间土壤固定态铵的动态变化与释放. *湖南农业大学学报*,2006,32(1):20~24.
- [10] 赵明宇,韩晓日,郭鹏程. 不同施肥条件下土壤固定态铵含量的动态变化. *土壤通报*,1996,27(2):79~81.
- [18] 李生秀,张兴昌,张兴悟. 土壤中非代换铵的行为 I. 两种测定土壤非代换铵方法优劣的差别. *西北农业大学学报*,1991,19(1):7~12.
- [22] 郑永华,邓国彬,卢光敏. 稻鱼鸭复合生态经济效益的初步研究. *应用生态学报*,1997,8(4):431~434.
- [23] 王华,黄璜. 湿地稻田养鱼、鸭复合生态系统生态经济效益分析. *中国农学通报*,2002,18(1):71~75.
- [24] 王华,黄璜,杨志辉,等. 湿地稻-鸭复合生态系统综合效益研究. *农村生态环境*,2003,3:45~48.
- [26] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京:中国农业出版社,2000. 30~34,42~56.
- [27] 中科院南京土壤研究所主编. 土壤理化分析. 上海:上海科学技术出版社,1978,67~532.
- [28] 杨志辉,黄璜,王华. 稻-鸭复合生态系统稻田土壤质量研究. *土壤通报*,2004,35(2):117~121.
- [29] 王纓,雷慰慈. 稻田种养模式生态效益研究. *生态学报*,2000,20(2):311~316.