

长期不同比例有机肥—化肥配施下红壤性水稻土氮素矿化特征

吕真真^{1, 2}, 吴向东³, 刘益仁^{1, 2}, 蓝贤瑾^{1, 2}, 侯红乾^{1, 2}, 冀建华^{1, 2}, 刘秀梅^{1, 2*}

(1. 江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 江西 南昌 330200; 2. 国家红壤改良工程技术研究中心, 江西 南昌 330200; 3. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029)

摘要: 土壤有机氮的矿化是土壤氮素肥力的重要指标之一, 也是影响作物产量至关重要的因素。以 33 年长期定位试验为依托, 对红壤性双季稻田土壤氮累积、矿化动力学特征等进行系统研究。定位试验始于 1984 年, 选取其中 5 个施肥处理: 不施肥 (CK), 施氮磷钾肥 (NPK), 施 50% 化肥 +50% 有机肥 (50F+50M), 施 30% 化肥 +70% 有机肥 (30F+70M), 施 70% 化肥 +30% 有机肥 (70F+30M), 于 2017 年早稻种植前采集耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤样品, 采用淹水密闭间歇淋洗法, 对土壤氮矿化量和速率进行测定, 并采用一级动力学方程拟合土壤氮矿化势 (N_0)、矿化速率常数 (k) 等。结果表明, 长期施肥显著提高土壤有机碳、全氮、碱解氮含量, 以有机无机肥配施提升效果最为显著, 且随有机肥投入量增加而递增, 30F+70M 处理较 NPK 处理显著提高铵态氮、硝态氮及总矿质氮含量, 分别提高了 47.0%、64.6% 和 49.7%。连续施肥 33 年后, 施肥显著提高了土壤净矿化速率和土壤矿化氮释放量, 排序为 30F+70M>50F+50M>70F+30M>NPK>CK, 配施有机肥较施化肥处理显著提高了土壤矿化氮累积释放量和土壤氮素矿化率, 分别是化肥处理的 2.70 和 1.41 倍。长期施肥均显著提高了土壤氮素矿化势 (N_0), 提高幅度为 65.9% ~ 196.0%, 配施 30% 有机肥 (70F+30M) 较施化肥处理 (NPK) 可显著增加水稻土氮素矿化势, 降低氮矿化速率常数。土壤有机质、全氮、碱解氮及铵态氮含量显著影响 N_0 、 N_0/N 、累积矿化量及矿化率, 土壤氮矿化速率常数 (k) 与 C/N 呈现极显著负相关。长期化学氮肥与低比例有机肥配施, 使水稻土供氮缓慢而持久, 在水稻的生长发育过程中能够不断地补充氮素。

关键词: 红壤性水稻土; 有机无机配施; 氮矿化; 淹水密闭培养

氮素是控制大多数陆地生态系统中植物生长和初级生产的关键限制性营养元素^[1]。大量研究证实, 即使在施用大量氮肥的情况下, 作物吸收的氮素至少有 50% 以上来自土壤^[2]。土壤中氮素有 95% 以上为有机态氮, 有机氮通过矿化生成无机氮, 才能被植物吸收利用^[3-4], 土壤氮素矿化是土壤矿质态氮的源和库^[5], 是除施用氮肥外作物获得矿质氮养分的主要途径, 是表征土壤供氮能力的重要指标, 因此其对揭示生态系统功能, 氮素循环过程有重要意义, 长期以来备受研究者的极大关注^[6-9]。

施肥作为现代农业生产管理的重要物质输入手段, 长期施用使土壤环境发生改变, 无疑会对土壤氮矿化产生重要影响, 国内外学者在施肥对土壤氮素矿化的影响方面进行了大量研究, 取得了一定进展, 对指导合理施肥、提高肥料氮素利用率起到了重要作用。秦子娴等^[10]在中性紫色水稻土上研究发现有机肥或有机无机配施显著提高了土壤累积矿化氮量和氮素矿化势。伍玉鹏等^[11]对湖南省 3 个国家级稻田土壤肥力变化长期定位监测点 (新化、宁乡和桃江) 土壤进行研究发现, 有机物配施化肥处理的土壤供氮潜力优于单施化肥处理。李文军等^[12]研究表明氮磷钾肥配施有机肥处理提升土壤氮素矿化能力及降低其温度敏感性的效应更为突出, 是更优的洞庭湖稻田施氮模式。

有关长期配施有机肥对不同地区的水稻土土壤氮素矿化的影响已有较多研究, 但配施方式均多集中在在常规施用化肥基础上添加有机肥, 然而针对长期有机肥替代不同比例化肥, 化肥减施影响下的土壤氮素矿化研究则相对缺乏。南方双季稻区是著

收稿日期: 2020-05-14; 录用日期: 2020-08-18

基金项目: 国家自然科学基金 (31460544); 国家重点研发计划 (2017YFD0200702、2018YFD0200703、2016YFD0200402); 江西省现代农业科研协同创新专项 (JXXTCX2016003); 江西省农业科学院创新基金 (20162CBS001)。

作者简介: 吕真真 (1987-), 女, 山东菏泽人, 助理研究员, 博士, 研究方向为土壤肥料与植物营养。E-mail: lvzhenzhen808@163.com。

通讯作者: 刘秀梅, E-mail: lxm3392@163.com。

名的“鱼米之乡”，该区农业发达，土地垦殖指数高，是我国重要的粮食生产和输出基地，而针对南方红壤性水稻土上长期化肥配施不同比例有机肥对土壤有机碳矿化的研究相对较少。因此，本文以第四纪亚红粘土母质发育的中潯黄泥田进行的长达 33 年的肥料长期定位试验不同处理土壤为研究对象，采用淹水密闭间歇淋洗培养试验，综合研究在等氮量投入条件下，有机-无机肥不同比例配施对红壤性双季稻田土壤氮素变化及其矿化特性的影响，为该区农田生态系统中土壤氮素调控、合理培肥和化肥减施提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域基本概况

红壤性双季稻长期定位试验位于江西省农业科学院试验农场内，地处江西省南昌市南昌县（28° 57′ N，115° 94′ E），海拔高度 25 m。地处中亚热带，隶属鄱阳湖气候区，年平均气温 17.5℃，≥ 10℃ 积温 5400℃，年降水量 1600 mm，年蒸发量 1800 mm，无霜期约 280 d。试验基地土壤为第四纪亚红粘土母质发育的中潯黄泥田，作物种植采用一年两熟双季稻（早稻-晚稻）种植制度，具有广泛区域代表性。

试验开始前耕层（0 ~ 20 cm）的土壤基本理化性质：有机质 25.6 g/kg，全氮 1.36 g/kg，全磷 0.49 g/kg，碱解氮 81.6 mg/kg，有效磷 20.8 mg/kg，速效钾 30.5 mg/kg，缓效钾 240 mg/kg，阳离子交换量 7.54 cmol/kg，pH 6.50，容重 1.25 g/cm³。

1.2 试验设计

1.2.1 田间小区试验

试验始于 1984 年，共设 5 个处理，3 次重复，随机区组排列，小区面积为 33.3 m²，小区以 0.50 m 深和 0.50 m 宽的水泥田埂隔开，各小区独立排灌。每年 4 月中下旬移栽早稻，7 月中旬收获；7 月下旬移栽晚稻，10 月下旬收获。试验处理：（1）不施肥（CK）；（2）施氮磷钾肥（NPK）；（3）施 50% 化肥+50% 有机肥（50F+50M）；（4）施 30% 化肥+70% 有机肥（30F+70M）；（5）施 70% 化肥+30% 有机肥（70F+30M）。处理（3）、（4）、（5）中 50%、70% 及 30% 配施比例是根据 N 肥用量计算的，P 和 K 用化肥补足。

早晚稻施肥制度：早稻施用 N、P₂O₅ 和 K₂O 量分别为 150、60 和 150 kg/hm²；晚稻施用 N、P₂O₅

和 K₂O 量分别为 180、60 和 150 kg/hm²。早晚稻施用 N、P 和 K 化肥品种相同，分别为尿素、过磷酸钙和氯化钾，有机肥品种分别为紫云英和腐熟猪粪，紫云英 N、P₂O₅ 和 K₂O 含量分别为 0.30%、0.08% 和 0.23%，腐熟猪粪中分别为 0.45%、0.19% 和 0.60%。磷肥和有机肥全作基肥；化学氮肥 50% 作基肥，25% 作分蘖肥，25% 作幼穗分化肥；钾肥全作追肥，50% 作分蘖肥，50% 作幼穗分化肥。

1.2.2 室内培养试验

土壤氮矿化培养采用淹水密闭培养-间歇淋洗法：称取过 2 mm 筛的相当于 10 g 干土重的新鲜土样，置于 50 mL 离心管中，加入 25 mL 蒸馏水，加塞（每一土样重复 3 次），同时设置 3 个空白对照，25℃ 培养箱中培养，从培养之日起分别在第 0、7、14、21、35、49、71、92、126 d 淋洗。淋洗时摇动离心管 0.5 min，于离心机中离心 5 min（转速 5000 r/min）后，将上部清亮溶液倾入 250 mL 容量瓶中；再向离心管中加入 2 mol/L 的 KCl 25 mL，搅匀，离心 10 min，上部清亮溶液倾入容量瓶中，如此反复 2 次。此后，改用蒸馏水 25 mL 淋洗 1 ~ 2 次，上部清亮溶液仍倾入容量瓶中。淋洗后的土壤加水至原体积，继续培养。

土壤氮素净矿化速率 [mg/ (kg · d)] = 培养时间内氮矿化量 / 培养天数

土壤氮矿化累积量 (mg/kg) = 从培养开始到某一时间点土壤氮总矿化量

土壤氮素矿化率 (%) = (土壤矿质氮质量分数 / 土壤全氮质量分数) × 100

采用一级反应方程 $N_t = N_0 [1 - \exp(-kt)]$ 拟合土壤氮矿化过程中矿质态氮的累积变化。式中， N_t 为时间 t (d) 内累积的矿质态氮量 (mg/kg)； N_0 为氮素矿化势，即一定条件下土壤中可矿化为无机氮素的最大有机氮量 (mg/kg)； k 为氮素矿化速率常数，即单位时间 (d) 内的矿化氮占土壤可矿化氮的比例； t 为培养时间 (d)。

1.3 土壤样品采集及分析方法

于 2017 年早稻种植前，采用多点混合取样法在各小区采集 0 ~ 20 cm 土层土壤样品，剔除石块、植物残根等杂物，混合装袋带回实验室，一部分土壤样品进行自然风干，研磨、过筛分装以备测定土壤养分含量。参照《土壤农业化学分析方法》^[13] 进行土壤指标测定：有机质 (OM) 用油浴加热 -

重铬酸钾容量法、全氮用凯氏定氮法、碱解氮用 1.0 mol/L NaOH 碱解扩散法、铵态氮和硝态氮用流动分析法。

对室内培养试验的淋洗液进行定容, 过滤, 保存, 用流动分析仪测定铵态氮和硝态氮含量。

1.4 统计分析

试验数据采用 SPSS 19.0 进行方差分析和 LSD 进行差异显著性比较; 用 Excel 2010 作图, Sigmaplot 12.2 进行一级动力学方程拟合。

2 结果与分析

2.1 长期不同施肥处理对土壤碳、氮的影响

33 年连续不同施肥措施对土壤碳、氮含量影响显著 (表 1)。长期施用化肥及化肥配施有机肥使不同处理土壤有机碳、全氮及碱解氮含量变化

趋势一致, 即施肥处理均显著高于不施肥 (CK), 较 CK 提升幅度范围分别为 27.3% ~ 72.2%、37.1% ~ 74.1% 和 56.9% ~ 101.0%, 且随有机碳投入量增加而升高。3 个有机肥-化肥配施处理 (50F+50M、30F+70M 和 70F+30M) 土壤有机碳含量均显著高于施化肥处理 (NPK); 50F+50M 和 30F+70M 处理土壤全氮显著高于 NPK 处理; 30F+70M 土壤碱解氮显著高于 NPK 处理 ($P<0.05$)。各施肥处理间铵态氮、硝态氮和总矿质氮含量变化趋势相同, NPK 处理较 CK 未能显著提高铵态氮、硝态氮及总矿质氮含量, 30F+70M 处理较 NPK 均显著提高其含量, 分别提高了 47.0%、64.6% 和 49.7%。施肥处理与 CK 间的 C/N 差异不显著 ($P>0.05$), 50F+50M 较 NPK 处理显著提高了 C/N ($P<0.05$)。

表 1 不同施肥处理下土壤碳、氮含量

处理	有机碳 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	矿质氮 (mg/kg)			C/N
				铵态氮	硝态氮	总计	
CK	12.56 ± 0.21d	1.16 ± 0.10d	91.14 ± 8.16d	10.27 ± 8.45c	2.18 ± 0.58c	12.45 ± 9.03c	10.88 ± 0.94ab
NPK	15.99 ± 0.50c	1.59 ± 0.12c	143.03 ± 14.70c	16.50 ± 8.60bc	3.22 ± 1.04bc	19.72 ± 8.89bc	10.07 ± 0.63b
50F+50M	21.50 ± 0.44a	1.86 ± 0.05ab	168.24 ± 5.12bc	23.50 ± 6.84ab	3.98 ± 1.78ab	27.49 ± 7.82ab	11.60 ± 0.10a
30F+70M	22.26 ± 0.12a	2.02 ± 0.05a	183.17 ± 4.78a	24.26 ± 5.81a	5.30 ± 1.83a	29.52 ± 6.50a	11.02 ± 0.26ab
70F+30M	19.22 ± 0.66b	1.72 ± 0.15bc	161.06 ± 15.37bc	23.93 ± 6.01ab	2.55 ± 1.94bc	26.48 ± 6.29ab	11.20 ± 0.76ab

注: 表中数据为平均值 ± 标准差; 同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

2.2 不同施肥处理红壤性水稻土氮素矿化过程

各处理土壤氮素净矿化速率与培养时间的动态变化关系基本相似 (图 1), 随培养时间延

长, 各处理土壤氮素矿化速率逐渐下降直至趋于稳定。整个培养期, 各处理土壤氮素净矿化速率高低排序基本一致, 排序为 30F+70M>50F+

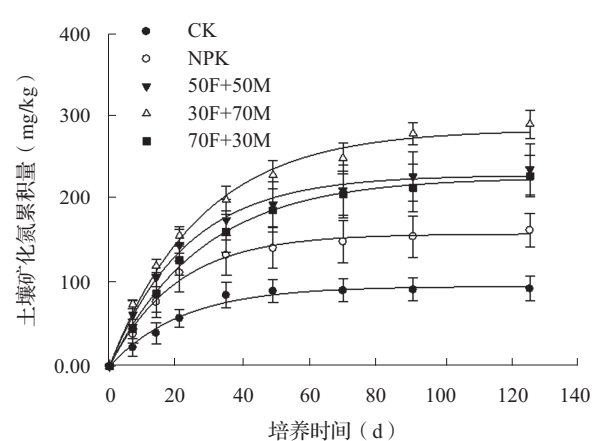
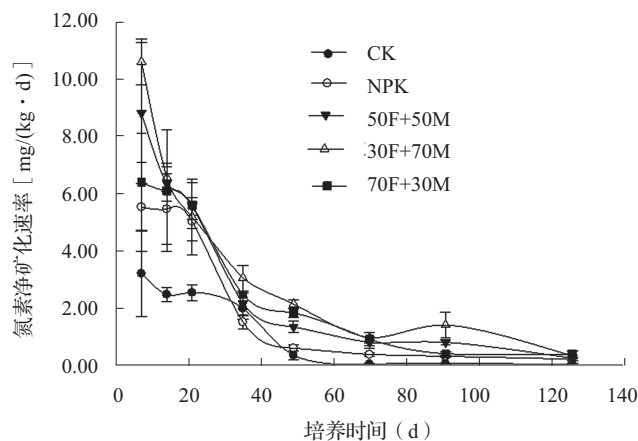


图 1 不同施肥处理下土壤氮素净矿化速率及累积矿化量

50M>70F+30M>NPK>CK。NPK、50F+50M、30F+70M 和 70F+30M 处理在初始 7 d 内土壤的氮素净矿化速率高于 CK，分别是 CK 的 1.73、2.75、3.31 和 2.00 倍。各处理在培养后的 21 ~ 35 d 内的净矿化速率分别下降至 1.98、1.50、2.15、3.04 和 2.46 mg/(kg·d)，较培养初始 7 d 内均大幅下降，分别降低了 38.1%、72.8%、75.6%、71.3% 和 61.4%。在培养的 49 d 后，CK 的氮素净矿化速率几乎降为 0 mg/(kg·d)，而施肥处理仍维持一定的净矿化速率，平均净矿化速率分别为 0.29、0.61、0.89 和 0.56 mg/(kg·d)。

在 126 d 培养时间内，各处理土壤矿化氮累积释放量与培养时间的动态关系基本相似（图 2），整个培养期间，有机肥-化肥配施处理的土壤矿化氮累积释放量始终高于化肥处理，且随有机肥配施比例提高而升高，CK 处理最低。在土壤氮素净矿化速率最高的初始 7 d，矿化氮累积释放量占总矿化量的 19.6% ~ 26.2%，培养至第 35 d，矿化氮累积释放量占总矿化量的 86.3% ~ 94.7%。

培养结束时，有机肥-化肥配施的 3 个处理土壤矿化氮累积释放量显著高于 NPK 和 CK 处理 ($P<0.05$) (图 2)，平均分别提高 170.3% 和 54.3%；高比例配施有机肥处理 (30F+70M) 显著高于中、低比例配施有机肥处理 (50F+50M 和 70F+30M)，但处理 50F+50M 和 70F+30M 间差异未达到显著水平 ($P>0.05$)。NPK 处理的土壤矿化氮累积释放量显著高于 CK，较 CK 提高了 75.2%。有机肥-化肥配施的 3 个处理土壤氮素矿化率显著高于 NPK 和 CK 处理，平均是 NPK 和 CK 的 1.41 和 2.51 倍，3 个配施比例间差异不显著，NPK 高于 CK，但差异

未达显著性水平 ($P>0.05$)。

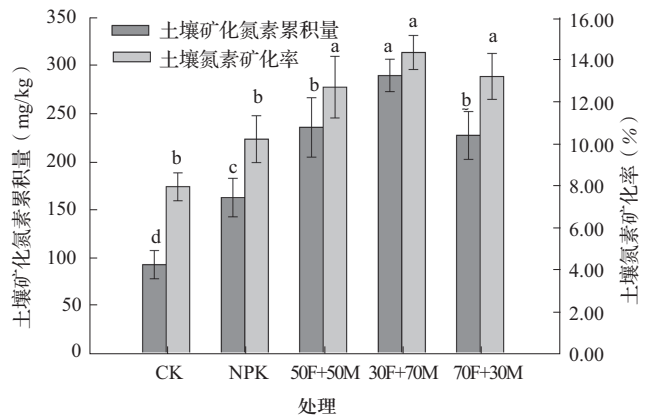


图 2 培养结束后土壤矿化氮累积量及矿化率

2.3 不同施肥处理土壤有机氮矿化动力学特征

利用一级动力学方程拟合土壤有机氮矿化过程中矿质态氮的累积变化，结果表明长期施肥改变了土壤有机氮矿化动力学参数（表 2）。相比 CK，长期施肥均显著提高了土壤氮素矿化势，且随有机肥投入比例升高而提高，其中 NPK 较 CK 提高了 65.9%，50F+50M、30F+70M 和 70F+30M 处理较 CK 分别提高了 1.39、1.96 和 1.37 倍，且显著高于 NPK 处理，较 NPK 分别提高了 42.7%、78.6% 和 44.0%。3 个比例有机肥化肥配施处理间比较，30F+70M 显著高于 50F+50M 和 70F+30M。说明有机肥-化肥配施可有效提升土壤氮素矿化势，即提升了易矿化有机氮释放的最大潜力。各施肥处理的氮矿化速率常数 k 与 CK 相比，差异均未达到显著性水平 ($P>0.05$)，施肥处理间以 NPK 处理的氮矿化速率常数 k 最高，70F+30M 处理最低，且两者差异达显著性水平 ($P<0.05$)。

表 2 土壤有机氮矿化的动力学参数

处理	氮素矿化势 N_0 (mg/kg)	矿化速率常数 k (d^{-1})	r^2	N_0/N (%)
CK	95.52 ± 9.42d	0.0458 ± 0.0044ab	0.979**	8.19 ± 0.38b
NPK	158.50 ± 15.71c	0.0492 ± 0.0049a	0.990**	9.95 ± 0.84b
50F+50M	228.28 ± 20.04b	0.0433 ± 0.0022ab	0.993**	12.29 ± 0.95a
30F+70M	283.13 ± 10.83a	0.0365 ± 0.0014b	0.990**	14.02 ± 0.59a
70F+30M	226.25 ± 17.32b	0.0357 ± 0.0035b	0.995**	13.14 ± 0.82a

2.4 有机氮矿化对土壤碳、氮的响应

分析土壤有机氮矿化特征及矿化动力学参数与土壤有机质及土壤各形态氮之间的相关关系发现(表3),在25℃淹水密闭间歇淋洗培养条件下, N_0 、 N_0/N 、累积矿化量及矿化率均显著受土壤

有机质、全氮、碱解氮及铵态氮的影响,且呈现极显著($P<0.01$)或显著($P<0.05$)正相关关系,而与土壤硝态氮及C/N无相关性($P>0.05$);土壤氮矿化速率常数(k)与C/N呈现极显著负相关关系($P<0.01$)。

表3 土壤有机氮矿化参数与土壤碳、氮的相关性

	有机质	全氮	碱解氮	铵态氮	硝态氮	C/N
N_0	0.94**	0.94**	0.93**	0.58*	0.39	0.20
N_0/N	0.85**	0.83**	0.83**	0.61*	0.39	0.26
k	-0.47	-0.30	-0.32	-0.40	-0.29	-0.66**
N_t	0.94**	0.95**	0.94**	0.58*	0.38	0.19
N_t/N	0.88**	0.86**	0.86**	0.61*	0.38	0.24

注:*表示相关性显著($P<0.05$),**表示相关性极显著($P<0.01$)。

3 讨论

3.1 长期施肥与红壤性水稻土氮素含量变化

本试验条件下,经过33年连续投入化肥配施不同比例有机肥及双季稻轮作,施肥处理较长期不施肥处理不同程度提高了土壤全氮、碱解氮及矿质氮含量,且随有机肥投入比例升高而效果更加显著,在提升矿质氮含量方面尤其突出。这可能与有机物料富含有机质有关,随其投入量的增加,土壤有机态氮含量不断增加,土壤氮素供应容量不断增大,而在作物生长过程中,由于作物根际效应及微生物活动促进了有机态氮矿化,进而提升矿质氮含量^[14-15]。

3.2 长期施肥与红壤性水稻土的氮素矿化

本试验研究表明,在等氮量投入下,化肥配施不同比例有机肥较纯化肥处理,土壤氮累积矿化量和矿化率明显增加,其中,配施70%有机肥处理是纯化肥处理的1.78倍,即有机肥的施入能够显著增强土壤氮素的矿化作用,其原因可能是猪粪和紫云英长期投入显著提高了土壤有机碳含量及有机氮库,另外提供氮磷钾养分及相当数量的中、微量元素及氨基酸、核酸、糖、维生素等有机营养成分,通过促进土壤微生物生长和繁殖^[16]及提高酶活性^[17]来促进土壤氮矿化,长期施用有利于显著提高土壤微生物生物量碳、氮^[18-19],而微生物量碳、氮是土壤有机物分解和矿化的动力。邵兴芳等^[20]在研究长期有机培肥对黑土氮矿化的影响中发现施有机肥较不施有机肥处理,土壤氮矿化量和矿化率

均显著提高,但在有机肥基础上配施化肥较单施有机肥显著降低了土壤的氮矿化率。

不同施肥措施对土壤供氮容量(N_0)和供氮强度(k)影响很大。施化肥和化肥配施不同比例有机肥均显著增加可供有机氮数量,尤其以化肥配施有机肥处理土壤增加最显著,且随有机肥配施比例升高而效果更为显著。4种施肥措施比较,长期施化肥的土壤供氮强度(k)最大,但土壤供氮容量(N_0)最小,即淹水后可供矿化的有机态氮的数量很少,且在淹水培养后35d左右,可矿化的有机态氮就几乎释放殆尽,因此,长期单施化肥的水田土壤供氮特点是可供有机氮量少且供应时间短暂。张玉玲等^[21]报道了长期单施氮肥的水稻土供氮容量小,淹水后约3周内,可矿化的有机态氮消耗完毕。化肥配施有机肥处理与NPK处理相比,显著提高了土壤供氮容量,同时降低了土壤供氮强度,说明本试验条件下长期有机无机配施的水田土壤供氮特点是可供有机氮量较多且供应缓慢持久。众多研究结果均表明化肥配施有机肥较化肥处理能够提高土壤氮矿化势^[10-12],但对土壤矿化速率常数的影响方面存在差异,如李文军等^[12]对洞庭湖水稻土上的研究显示,在5和15℃培养温度下,氮磷钾肥配施有机肥较均衡施氮磷钾肥显著提高土壤矿化速率常数,25℃下,两者差异不显著,而在35℃下前者显著低于后者。秦子娴等^[10]研究表明在35℃淹水密闭培养条件下有机无机配施较单施化肥显著提高了中性紫色水稻土矿化速率常数。氮矿化势与全氮比例表征土壤中1g全氮含有可矿化

氮的毫克数,其大小能够在一定程度上反映土壤有机氮的品质,其值越大,则表示土壤全氮中可矿化的有机氮数量越多^[22]。本文中,氮磷钾配施有机肥处理较CK和NPK处理均产生显著的增加作用,这说明配施有机肥能够显著增加土壤活性有机氮库量,提升有机质(氮)品质,这与赵伟等^[23]及李文军等^[12]研究结论一致。因此,氮磷钾肥与有机肥配施是保持提高土壤供氮潜力及改善有机氮品质最有效的手段。

4 结论

在等氮量投入条件下,与施纯化肥相比,长期有机肥-化肥配施可有效提升红壤性水稻土碳、氮含量,提高土壤氮素净矿化速率和矿化氮累积释放量,且随有机肥投入比例升高效果越显著。化肥配施30%有机肥使水稻土供氮缓慢而持久,在水稻的生长发育过程中能够不断地补充氮素,是南方水稻土推荐的施肥措施。

参考文献:

- [1] 刘建国,刘卫国.微生物介导的氮循环过程研究进展[J].草地学报,2018,26(2):277-283.
- [2] Sheng X, Wang Z H, Miao Y F, et al. Soil organic nitrogen and its contribution to crop production [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13 (10): 2061-2080.
- [3] 朱兆良,张福锁.主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究[M].北京:科学出版社,2010.29-37.
- [4] Fortune S, Lu J, Addiscott T M, et al. Assessment of phosphorus leaching losses from arable land [J]. Plant & Soil, 2005, 269 (1-2): 99-108.
- [5] 李世清,李生秀,邵明安,等.半干旱农田生态系统长期施肥对土壤有机氮组分和微生物体氮的影响[J].中国农业科学,2004,37(6):859-859.
- [6] Urakawa R, Ohte N, Shibata H, et al. Estimation of field soil nitrogen mineralization and nitrification rates using soil N transformation parameters obtained through laboratory incubation [J]. Ecological Research, 2017, 32 (2): 279-285
- [7] Yavitt J B, Burtis J C, Smemo K A, et al. Plot-scale spatial variability of methane, respiration, and net nitrogen mineralization in muck-soil wetlands across a land use gradient [J]. Geoderma, 2018, 315: 11-19.
- [8] 刘阳,习向银,袁尚鹏,等.蚕豆绿肥利用方式对紫色土氮素矿化和硝化特征的影响[J].中国土壤与肥料,2019(2):30-37.
- [9] 隗英华,田路路,刘艳,等.农田黑土氮素转化特征对冻融作用的响应[J].中国土壤与肥料,2019(6):38-43.
- [10] 秦子娴,张宇亭,周志峰,等.长期施肥对中性紫色水稻土氮素矿化和硝化作用的影响[J].中国农业科学,2013,46(16):3392-3400.
- [11] 伍玉鹏,邓婵娟,姜炎彬,等.长期施肥对水稻土有机氮组分及氮素矿化特性的影响[J].农业环境科学学报,2015,34(10):1958-1964.
- [12] 李文军,杨奇勇,杨基峰,等.长期施肥下洞庭湖水稻土氮素矿化及其温度敏感性研究[J].农业机械学报,2017,48(11):261-270.
- [13] 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,1999.
- [14] Arbačiauskas J, Staugaitis G, Vaišvila Z, et al. The interdependence of mineral nitrogen content in different soil layers of Lithuanian agricultural lands [J]. Zemdirbyste-agriculture, 2014, 101 (2): 133-138.
- [15] 段鹏鹏,丛耀辉,徐文静,等.氮肥与有机肥配施对设施土壤可溶性氮动态变化的影响[J].中国农业科学,2015,48(23):4717-4727.
- [16] 任凤玲,张旭博,孙楠,等.施用有机肥对中国农田土壤微生物量影响的整合分析[J].中国农业科学,2018,51(1):119-128.
- [17] 陈云峰,邹贤斌,罗时明,等.连年翻压紫云英对早稻田土壤性质及酶活性动态的影响[J].中国土壤与肥料,2019(2):24-29.
- [18] Wu Y P, Shaaban M, Deng C J, et al. Changes in the soil N potential mineralization and nitrification in a rice paddy after 20 yr application of chemical fertilizers and organic matter [J]. Canadian Journal of Soil Science, 2017, 97 (2): 290-299.
- [19] 郭振,王小利,徐虎,等.长期施用有机肥增加黄壤稻田土壤微生物量碳氮[J].植物营养与肥料学报,2017,23(5):1168-1174.
- [20] 邵兴芳,徐明岗,张文菊,等.长期有机培肥模式下黑土碳与氮变化及氮素矿化特征[J].植物营养与肥料学报,2014,20(2):326-335.
- [21] 张玉玲,陈温福,虞娜,等.不同利用方式下土壤有机氮素矿化特征的研究[J].土壤通报,2013,44(1):52-56.
- [22] 张玉玲,张玉龙,虞娜,等.长期不同施肥对水稻土有机氮素矿化特性影响的研究[J].植物营养与肥料学报,2008,14(2):272-276.
- [23] 赵伟,梁斌,周建斌.长期不同施肥处理对土壤氮素矿化特性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(2):177-181.

Nitrogen mineralization characteristics of red paddy soil under long-term different proportions of organic and inorganic fertilization

LÜ Zhen-zhen^{1, 2}, WU Xiang-dong³, LIU Yi-ren^{1, 2}, LAN Xian-jin^{1, 2}, HOU Hong-qian^{1, 2}, JI Jian-hua^{1, 2}, LIU Xiu-mei^{1, 2*} (1. Institute of Soil Fertilizer and Resource Environment, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang Jiangxi 330200; 2. National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Nanchang Jiangxi 330200; 3. Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang Jiangxi 330029)

Abstracts: Soil organic nitrogen mineralization is one of the important indexes of soil nitrogen fertility and a crucial factor affecting crop yield. The dynamic characteristics of soil nitrogen accumulation and mineralization in red soil-derived double cropping paddy fields were systematically studied based on 33 years of long-term fertilization experiment. The experiment began in 1984, and five fertilization treatments were selected: CK (no fertilizer), NPK (application of chemical fertilizer), 50F+50M (50% NPK plus 50% organic fertilizer), 30F+70M (30% NPK plus 70% organic fertilizer) and 70F+30M (70% NPK plus 30% organic fertilizer). Topsoil samples (0 ~ 20 cm) were collected before early rice planting in 2017. The amount and rate of soil nitrogen mineralization were determined by waterlogged incubation intermittent leaching method. First-order kinetic model was used to fit soil nitrogen mineralization potential (N_0) and mineralization rate constant (k), ect. The results showed that long-term fertilization significantly increased the content of organic carbon, total nitrogen and alkali-hydrolyzed nitrogen, and the most effective treatment was combined application of organic and inorganic fertilizers, and increased with the increase of organic fertilizer input. 30F+70M treatment significantly increased the contents of ammonium nitrogen, nitrate nitrogen and total mineral nitrogen, which were 47.0%, 64.6% and 49.7% higher than NPK, respectively. The soil net mineralization rate and mineralized nitrogen release were significantly increased by 33 a continuous fertilization, ranking as 30F+70M > 50F+50M > 70F+30M > NPK > CK, and the organic plus chemical fertilizations was 2.70 and 1.41 times higher than that of chemical fertilizer on average. Long-term fertilization significantly increased the mineralization potential of soil nitrogen by 65.9% ~ 196.0%. 70F+30M treatment significantly increased N_0 and reduced k of paddy soil compared with NPK. Soil organic matter, total nitrogen, alkali-hydrolyzed nitrogen and ammonium nitrogen significantly affected N_0 , N_0/N , cumulative mineralization amount and mineralization rate of nitrogen, and the soil nitrogen mineralization rate constant (k) showed a very significantly negative correlation with C/N. Long-term combined application of chemical nitrogen fertilizer and low proportion organic fertilizer leads to the slow and lasting nitrogen supply of paddy soil, and can continuously supplement nitrogen during the growth and development of rice.

Key words: red soil-derived paddy soil; combination application of organic and inorganic fertilizer; nitrogen mineralization; waterlogged closed incubation