

## 有机肥与化肥不同比例配施下水稻土铵态氮释放特征

张璐<sup>1,2</sup>, 文石林<sup>1,2\*</sup>, 蔡泽江<sup>1,2</sup>, 刘立生<sup>1,2</sup>, 管建新<sup>3</sup>, 段淑辉<sup>4</sup>, 代快<sup>5</sup>

1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业部作物营养与施肥重点开放实验室, 北京 100081;
2. 中国农业科学院衡阳红壤实验站, 祁阳农田生态系统国家野外试验站, 湖南 祁阳 426182;
3. 湖南省祁东县农业局, 湖南 祁东 421600; 4. 浏阳市烟草专卖局, 湖南 浏阳 410300;
5. 玉溪市烟草专卖局, 云南 玉溪 651100)

**摘要:** 采用淹水密闭培养-间歇淋洗法, 研究了有机肥(猪粪和牛粪)与化肥(尿素)氮以不同比例配施后对水稻土铵态氮释放特征的影响。结果表明: 与单施100%尿素处理相比, 培养到28 d, 配施有机肥处理(除80%尿素氮配施20%牛粪氮、70%尿素氮配施30%牛粪氮和50%尿素氮配施30%牛粪氮处理)显著降低土壤铵态氮的累积释放量, 且随有机肥配施比例的增加降幅增大, 降低幅度为5.78%~41.20% ( $P < 0.05$ ); 培养28~90 d, 配施有机肥处理(50%尿素氮配施30%牛粪氮处理除外)的土壤铵态氮释放量显著提高; 至培养90 d, 50%尿素氮配施50%猪粪氮和80%尿素氮配施20%牛粪氮处理的土壤铵态氮累积释放量显著高于单施100%尿素处理, 提高幅度分别为4.81%和9.32% ( $P < 0.05$ )。培养结束时, 氮素减施20%(单施80%尿素氮、50%尿素氮配施30%猪粪氮和50%尿素氮配施30%牛粪氮)处理的土壤铵态氮累积释放量与单施100%尿素处理无显著差异。本研究表明, 50%尿素氮配施30%猪粪氮既可以降低土壤铵态氮前期释放速率, 又可以增加水稻土持续稳定的供氮能力, 对减少氮肥损失维持作物生产具有重要意义。

**关键词:** 铵态氮释放; 有机无机肥配施比例; 氮素减施; 水稻土

**中图分类号:** S153.6<sup>+1</sup>      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1673-6257(2015)04-0015-08

铵态氮是稻田土壤氮的主要存在形态, 水稻生长过程中不断地吸收铵态氮<sup>[1]</sup>, 此时就需要矿化有机氮来补充这部分氮素的亏缺。通过施肥可以改变土壤有机氮的含量及组成, 从而影响土壤有机氮各组分之间的相互转化和矿化。化肥、有机肥、有机-无机肥配施3种施肥模式目前已经成为最主要的施肥方式<sup>[2]</sup>。黄鸿翔等<sup>[3]</sup>曾提出建议, 将畜禽粪便的简便处理、直接利用为主要发展方向, 争取逐步达到与化肥形成1:1的施用比例。与化肥不同, 有机肥中超过50%的氮素为有机氮, 需经过矿化释放出无机氮, 才能被作物吸收利用<sup>[4]</sup>。张夫道<sup>[5]</sup>研究指出, 有机-无机氮配合施用, 提高有机氮比

例, 可增加其在土壤中的残留率, 减少氮素损失率。邵兴芳等<sup>[6]</sup>研究表明, 有机肥或化肥与有机肥配施能有效降低氮肥损失, 提高氮肥在土壤中的保存, 特别是对于中等肥力的土壤, 有机肥的配合施用对于后季作物的生长具有重要意义。朱兆良等<sup>[7]</sup>指出, 不同的有机肥料, 其分解的能源物质和有机氮含量不同, 当与化肥配合施用时, 肥料氮总的供应特点和去向各不相同; 同一有机肥料和化学氮肥配合施用时, 肥料氮总的供应特点和去向, 又因二者配合比例的不同而异。很多学者都曾研究指出, 畜禽粪便与化肥混施入土壤后, 无机氮的正激发效应可提高有机氮的矿化, 有机氮的存在可促进无机氮的生物固定, 从而减少无机氮的挥发损失和硝化淋失, 提高氮肥利用效率<sup>[8-11]</sup>。王媛等<sup>[12]</sup>通过210 d 瘠土好气培养实验得出, 土壤氮素矿化累积量和矿化势均表现为M1(低量牛屎肥)  $NPK \approx M2$ (高量牛屎肥)  $NPK > S$ (小麦、玉米秸秆)  $NPK > NPK > CK$ 。杨蕊等<sup>[13]</sup>研究结果显示, 氮素在红壤中的矿化特征表现为前4周缓慢释放, 4~10周快速释放, 10~15周缓慢下降, 施用畜禽有机肥可以显著

收稿日期: 2014-09-24; 最后修订日期: 2014-12-08

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(2014CB441001); 国家自然科学基金青年基金(41301309); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2014-10)。

作者简介: 张璐(1984-), 女, 河北石家庄人, 助理研究员, 硕士, 主要从事土壤碳氮转化与利用方面的研究。E-mail: z372069983@126.com。

通讯作者: 文石林, E-mail: wenshilin@caas.cn。

增加红壤中矿质氮含量。王正银<sup>[14]</sup>研究表明,猪粪矿化具有持续性和衡稳性,施用猪粪的处理铵态氮累积量呈缓慢增加趋势;牛粪铵态氮累积总量最低,矿化过程由慢到快,呈低速递增趋势。

室内培养法是国内外学者经常采用的研究土壤供氮特征的方法,但以往对矿化作用的研究多集中在单施不同种类有机肥氮素矿化差异,而且多集中在旱地土壤<sup>[15-16]</sup>,关于不同比例有机无机肥配施后水稻土氮素矿化特征的研究报道相对较少。有机无机肥料的用量和比例决定着其可以提供给作物的有效氮含量和供肥强度,是研究有机无机肥合理配施必须解决的首要问题。因此,本研究采用淹水密闭培养-间歇淋洗法探讨有机肥与化肥氮不同比例配施下水稻土铵态氮释放特征,掌握不同施肥处理下土壤氮素供应能力,从而为指导优化施肥、提高氮素利用效率、降低环境污染提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

供试土壤为丘岗地红壤性水稻土,采自江西省农业科学院内水稻田。用土钻采集0~20 cm的样点30个,混合均匀,贮藏于冷藏箱内运至中国农业科学院衡阳红壤实验站,4℃保存备用。供试土壤母质为四纪亚红黏土,土壤基本性质为有机质35.7 g/kg,全氮2.22 g/kg,全磷(P)0.60 g/kg,全钾(K)25.7 g/kg,碱解氮143 mg/kg,有效磷(P)10.4 mg/kg,速效钾(K)140 mg/kg,pH值5.2。试验选用了采自中国农业科学院衡阳红壤实验站附近养殖场的鲜猪粪和鲜牛粪作为有机肥源,鲜猪粪和鲜牛粪含氮量分别为7.95 g/kg和2.92 g/kg。

### 1.2 试验方法

本研究共设置12个处理(表1),每个处理重复3次。首先分别称取相当于10 g烘干土的鲜样于50 mL具盖离心管中,然后每个离心管按表1处理加入肥料,其中100%尿素氮(N 83 mg/kg烘干土)相当于当地农民的习惯施氮量N 187.5 kg/hm<sup>2</sup>。将土壤与肥料充分混匀后,加蒸馏水10 mL使土壤处于淹水状态。将离心管置于30℃恒温培养箱中密闭厌氧培养。

采用Warning等<sup>[17]</sup>的间歇淋洗法,从培养之日起,分别在培养的第4、7、14、28、49、70、90 d

淋洗。淋洗时,首先加入2 mol/L KCl溶液10 mL,振荡30 min后,离心5 min(4 000 r/min),将上清液转移到100 mL容量瓶;再向离心管加入2 mol/L的KCl溶液25 mL,用玻璃棒将土与溶液充分搅匀,离心5 min,将上清液转移到上述容量瓶;此后,分别改用25 mL和10 mL蒸馏水淋洗2次,上清液仍转移到上述容量瓶;最后淋洗液定容。浸提后的土壤加10 mL蒸馏水继续在30℃恒温培养。淋洗液中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N含量用靛酚蓝比色法测定<sup>[18]</sup>。

表1 试验处理与肥料用量

处理	(N mg/kg 烘干土)		
	尿素氮	猪粪氮	牛粪氮
100% U	83	0	0
80% U	66.4	0	0
80% U + 20% P	66.4	16.6	0
70% U + 30% P	58.1	24.9	0
50% U + 50% P	41.5	41.5	0
100% P	0	83	0
50% U + 30% P	41.5	24.9	0
80% U + 20% C	66.4	0	16.6
70% U + 30% C	58.1	0	24.9
50% U + 50% C	41.5	0	41.5
100% C	0	0	83
50% U + 30% C	41.5	0	24.9

注:100% U表示100%尿素氮;80% U表示80%尿素氮;80% U + 20% P表示80%尿素氮配施20%猪粪氮;70% U + 30% P表示70%尿素氮配施30%猪粪氮;50% U + 50% P表示50%尿素氮配施50%猪粪氮;100% P表示100%猪粪氮;50% U + 30% P表示50%尿素氮配施30%猪粪氮;80% U + 20% C表示80%尿素氮配施20%牛粪氮;70% U + 30% C表示70%尿素氮配施30%牛粪氮;50% U + 50% C表示50%尿素氮配施50%牛粪氮;100% C表示100%牛粪氮;50% U + 30% C表示50%尿素氮配施30%牛粪氮。下同。

### 1.3 数据处理

图和数据分析采用Excel 2003和SPSS 16.0软件进行,采用Duncan多重比较不同处理间的差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 猪粪与尿素氮不同比例配施下水稻土铵态氮释放特征

从表2和图1可以看出,与100% U相比,培养到28 d,施猪粪处理的土壤铵态氮累积释放量显著降低,降低幅度为5.82%~69.08% ( $P < 0.05$ );随猪粪替代尿素氮比例的提高,土壤铵态

表 2 猪粪与尿素氮不同配比培养不同阶段的土壤铵态氮释放量及释放率

处理	培养天数 (d)													
	0~4		4~7		7~14		14~28		28~49		49~70		70~90	
	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)
100% U	26.36a	30.06	11.91a	13.58	11.26d	12.83	12.45b	14.17	9.09c	10.36	10.20d	11.62	6.48c	7.38
80% U + 20% P	21.20b	24.10	11.40b	12.96	12.15cd	13.81	13.62b	15.48	10.99b	12.49	10.63cd	12.09	7.98b	9.07
70% U + 30% P	19.16c	21.48	11.32bc	12.68	12.91bc	14.47	13.18b	14.78	11.36b	12.73	11.27bc	12.63	10.03a	11.24
50% U + 50% P	17.09d	18.61	10.94d	11.90	13.70b	14.88	13.37b	14.50	14.21a	15.44	12.77a	13.89	9.90a	10.78
100% P	8.15e	9.51	11.13cd	12.99	16.18a	18.86	17.40a	20.29	13.53a	15.78	11.62b	13.55	7.74b	9.02

注: A<sub>N</sub>为不同培养阶段土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 释放量; R<sub>N</sub> = A<sub>N</sub>/SA<sub>N</sub> × 100%, R<sub>N</sub>为不同培养阶段土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 释放率; SA<sub>N</sub> = Σ A<sub>N</sub>, 即培养 90 d 土壤 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 累积释放量; 同一列不同小写字母表示不同处理间差异显著 (P < 0.05)。下同。

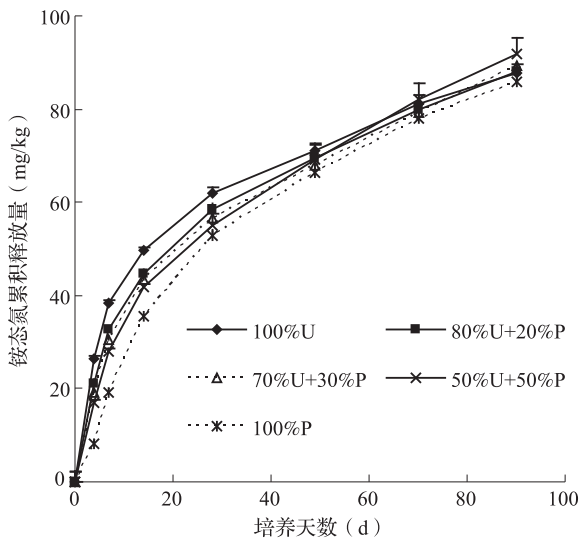


图 1 猪粪与尿素氮不同配比下土壤铵态氮累积释放量曲线

氮累积释放量显著降低, 具体表现为: 100% U > 80% U + 20% P > 70% U + 30% P > 50% U + 50% P > 100% P; 100% U 土壤铵态氮释放率为 70.64%, 施

猪粪处理为 59.89% ~ 66.35%。培养 28 ~ 90 d 期间, 50% U + 50% P 土壤铵态氮释放率最高, 为 40.11%, 100% U 最低, 为 29.36%, 具体表现为: 50% U + 50% P > 100% P > 70% U + 30% P > 80% U + 20% P > 100% U。培养到 90 d 时, 50% U + 50% P 土壤铵态氮累积释放量比 100% U 显著提高 4.81% (P < 0.05), 70% U + 30% P、80% U + 20% P、100% P 与 100% U 无显著差异。

### 2.2 牛粪与尿素氮不同比例配施下土壤铵态氮释放特征

表 3 和图 2 显示, 培养至 4 d, 土壤铵态氮释放量随牛粪替代尿素氮比例的提高而显著降低, 与 100% U 相比降低幅度为 9.67% ~ 50.23% (P < 0.05), 具体表现为: 100% U > 80% U + 20% C > 70% U + 30% C > 50% U + 50% C > 100% C。至培养第 7、14 和 28 d 时, 与 100% U 土壤铵态氮累积释放量相比, 80% U + 20% C 显著提高, 提高幅度分别为 13.04%、9.72% 和 6.99% (P < 0.05); 70% U + 30% C 与 100% U 无显著差异; 50% U + 50% C

表 3 牛粪与尿素氮不同配比培养不同阶段的土壤铵态氮释放量及释放率

处理	培养天数 (d)													
	0~4		4~7		7~14		14~28		28~49		49~70		70~90	
	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)
100% U	26.36a	30.06	11.91b	13.58	11.26b	12.83	12.45a	14.17	9.09d	10.36	10.20b	11.62	6.48c	7.38
80% U + 20% C	23.81b	24.83	19.45a	20.28	11.08b	11.55	11.97a	12.47	9.90cd	10.32	11.08ab	11.55	8.64b	9.00
70% U + 30% C	20.63c	22.24	18.40a	19.87	10.83b	11.67	11.84a	12.77	10.36c	11.18	11.47ab	12.32	9.24ab	9.94
50% U + 50% C	15.50d	16.87	19.15a	20.82	11.64b	12.66	12.10a	13.16	11.56b	12.59	12.35a	13.43	9.64ab	10.48
100% C	13.12e	13.77	18.74a	19.64	14.07a	14.76	13.53a	14.18	12.97a	13.60	12.46a	13.08	10.46a	10.97

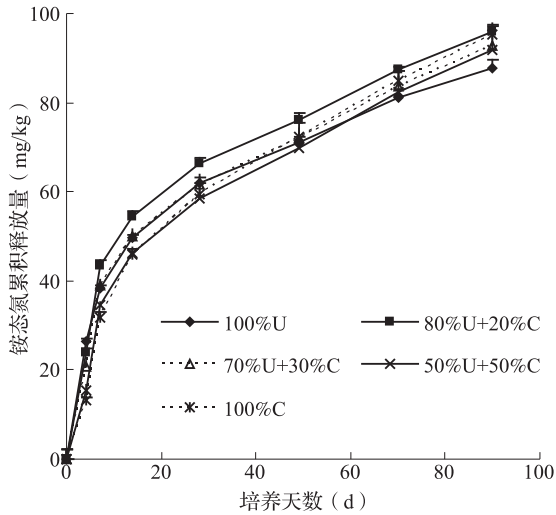


图2 牛粪与尿素氮不同配比下土壤铵态氮累积释放量曲线

表4 氮素减施下培养不同阶段土壤铵态氮释放量及释放率

处理	培养天数 (d)													
	0~4		4~7		7~14		14~28		28~49		49~70		70~90	
	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)	A <sub>N</sub> (mg/kg)	R <sub>N</sub> (%)
100%U	26.36a	30.06	11.91b	13.58	11.26b	12.83	12.45b	14.17	9.09b	10.36	10.20b	11.62	6.48c	7.38
80%U	22.63b	26.96	11.88b	14.17	11.26b	13.39	12.25b	14.52	9.78b	11.58	9.62b	11.42	6.69c	7.97
50%U+30%P	15.58d	17.43	11.35b	12.70	13.38a	14.95	14.45a	16.18	12.06a	13.46	12.31a	13.76	10.30a	11.52
50%U+30%C	18.98c	21.79	18.73a	21.50	10.88b	12.49	11.15b	12.80	9.98ab	11.46	9.48b	10.89	7.89b	9.06

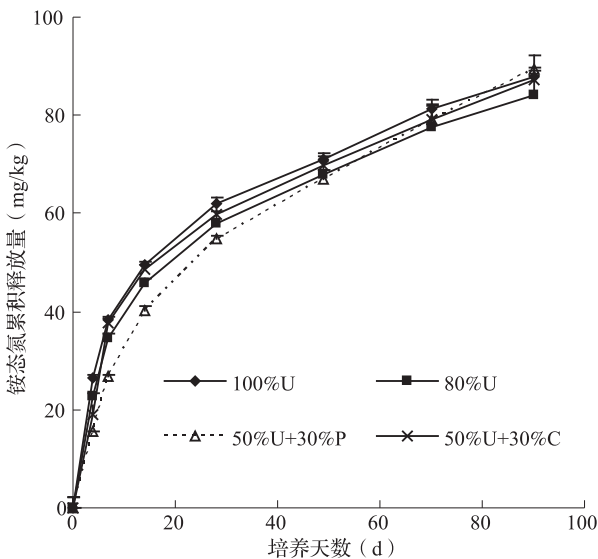


图3 氮肥减施下土壤铵态氮累积释放量曲线

50%U+30%P 显著降低,降低幅度分别为 14.15%、9.82%、7.59%、6.38% 和 40.90%、29.64%、18.62%、11.65% ( $P < 0.05$ ); 50%U+30%C 前 4 d 土壤铵态氮累积释放量显著降低 28.00% ( $P <$

和 100% C 显著降低,降低幅度分别为 9.46%、6.54%、5.79% 和 16.75%、7.27%、4.07% ( $P < 0.05$ )。培养 28~90 d 期间,土壤铵态氮释放率随牛粪替代尿素氮比例的增加而提高,具体表现为: 100%U < 80%U+20%C < 70%U+30%C < 50%U+50%C < 100% C, 其中施牛粪处理铵态氮释放率为 30.86%~37.65%。培养 90 d 时,与 100%U 土壤铵态氮累积释放量相比,80%U+20%C 和 100% C 显著提高,提高幅度分别为 9.32% 和 8.64% ( $P < 0.05$ ); 70%U+30%C 和 50%U+50%C 提高幅度分别为 5.71% 和 4.77%, 差异不显著。

### 2.3 氮素减施下土壤铵态氮释放特征

从表 4 和图 3 看出,与 100%U 土壤铵态氮累积释放量相比,至培养第 4、7、14 和 28 d,80%U 和

0.05); 培养 7~28 d 时与 100%U 无显著差异。培养 28~49 d、49~70 和 70~90 d 期间,50%U+30%P 土壤铵态氮释放量显著高于 100%U,提高幅度分别为 32.67%、20.69% 和 58.95% ( $P < 0.05$ ); 80%U 与 100%U 无显著差异; 50%U+30%C 培养 28~70 d 期间与 100%U 无显著差异,70~90 d 期间铵态氮释放量显著高于 100%U,提高幅度为 21.76% ( $P < 0.05$ )。培养 49~90 d 时,氮素减施 20% 的 3 个处理土壤铵态氮累积释放量与 100%U 无显著差异。

## 3 讨论与结论

### 3.1 不同比例有机无机肥配施对土壤铵态氮释放量的影响

与单施化肥相比,配施有机肥可以降低前期氮素矿化速率,提高后期氮素矿化量。培养至 28 d,施用有机肥处理 (80%U+20%C、70%U+30%C 和 50%U+30%C 除外) 土壤铵态氮累积释放量比 100%U 显著降低 4.07%~69.08% ( $P < 0.05$ ); 培养 28~90 d 期间,施有机肥处理各阶段土壤铵态

氮释放量均显著高于 100% U (49 ~ 70 d 期间与 50% U + 30% C 无显著差异)。国内外专家都曾研究指出, 化肥氮不能长时间在土壤中存留, 单施尿素前期氮素矿化量大, 后期矿化量明显减少, 这种施肥模式在田间很有可能使水稻生长前期土壤中的活性氮浓度较高, 造成氨挥发和硝化 - 反硝化等损失, 导致肥料氮的作物利用率和土壤保持率很低<sup>[19-20]</sup>。与单施有机肥相比, 配施化肥可以促进有机肥氮素的矿化, 增加其氮素矿化量, 提高矿化速率。本研究的猪粪配施尿素处理各阶段土壤铵态氮累积释放量始终高于单施猪粪处理, 培养至 28 d 提高幅度为 4.26% ~ 160.28%, 统计显示差异达显著水平, 28 d 后提高幅度为 1.53% ~ 7.27%, 差异不显著, 这与国内外很多学者研究结果相一致<sup>[2,11,21-23]</sup>。可能是因为化肥氮可以降低有机肥矿化初始碳氮比, 从而使有机肥氮易于矿化; 如果土壤矿质氮含量较低, 异养微生物活性较低, 适量添加化肥氮可以为异养微生物提供充足的无机氮, 增强其活性, 从而促进有机肥氮素的矿化解<sup>[22,24]</sup>。猪粪与尿素配施处理, 培养至 28 d 土壤铵态氮累积释放量随猪粪氮配施比例的提高而降低, 28 d 后逐渐随猪粪氮配施比例的提高而提高, 培养到 90 d 时, 50% U + 50% P 在所有施猪粪处理中累积量最高。很多学者曾研究指出, 等氮条件下化肥与有机肥配施, 可增加粘土矿物对有机肥氮的固定<sup>[25]</sup>, 此部分“新固定铵”在作物生长生育期内能够再次释放出来供作物利用, 进而提高有机肥氮素有效性<sup>[26-27]</sup>。

本研究施用牛粪处理各阶段的土壤铵态氮累积释放量始终高于施用相同氮肥比例的猪粪 (配施 50% 尿素氮处理除外) 处理, 可能是因为本研究所使用的牛粪中可溶性氮比猪粪多<sup>[28]</sup>, 也可能是牛粪对提高土壤脲酶活性效果优于猪粪<sup>[29]</sup>。50% U + 50% C 在培养 7 ~ 28 d 期间土壤铵态氮累积释放量比 50% U + 50% P 高出 5.98% ~ 23.63%, 49 ~ 90 d

期间两个处理累积释放量基本相同; 50% U + 30% C 培养到 28 d 土壤铵态氮累积释放量比 50% U + 30% P 显著提高 9.08% ~ 40.02% ( $P < 0.05$ ), 49 d 后两个处理间无显著差异。培养 90 d 后, 氮素减施 20% 的 3 个处理土壤铵态氮累积释放量与 100% U 无显著差异, 但 4 个处理的铵态氮释放过程有所不同。氮素减施 20% 的 3 个处理培养到 4 d 铵态氮释放量比 100% U 显著降低 14.14% ~ 40.91% ( $P < 0.05$ ), 80% U 在培养 4 ~ 90 d 期间各阶段铵态氮释放量与 100% U 无显著差异, 50% U + 30% P 在培养 7 ~ 90 d 期间各阶段铵态氮释放量均显著高于 100% U, 50% U + 30% C 在培养 4 ~ 7 d 和 70 ~ 90 d 期间铵态氮释放量显著高于 100% U, 说明施氮量及施肥种类对水稻土铵态氮释放过程有显著影响。

### 3.2 土壤铵态氮释放特征与水稻理论吸氮规律比较分析

邹长明等<sup>[30]</sup>曾指出, 移栽后 0 ~ 20、20 ~ 30 和 30 ~ 50 d 大致对应的水稻生育期分别为分蘖期、拔节期和抽穗期, 50 d 以后为灌浆 ~ 成熟期。水稻不同生育期吸氮特征见表 5。根据当地气象观测站的温度数据资料计算有效积温, 得知本试验培养 0 ~ 11、11 ~ 18、18 ~ 38 d 分别对应大田早稻的分蘖期、拔节期和抽穗期, 培养 38 d 以后为早稻灌浆 ~ 成熟期。从表 6 看出, 早稻 50% U + 50% P 和 50% U + 30% P 两个处理各阶段土壤铵态氮释放特征更接近表 5 中的水稻吸氮规律。而本培养试验的有效积温正好与当地气象观测站的晚稻的有效积温相符, 即本试验培养 0 ~ 20、20 ~ 30、30 ~ 50 d 分别对应大田晚稻的分蘖期、拔节期和抽穗期, 培养 50 d 以后为晚稻灌浆 ~ 成熟期。从表 7 看出, 晚稻移栽至分蘖期土壤铵态氮释放量及释放比例高于表 5 中同期水稻吸氮量及吸氮比例, 分蘖至抽穗期土壤铵态氮释放比例低于同期水稻吸氮比例, 而抽穗至成熟期土壤铵态氮释放量及释放比例与表 5 中同期水稻吸氮量及吸氮比例相近。

表 5 水稻各生育期吸氮量及其占生育期总吸氮量的比例

移栽至分蘖期 <sup>§</sup> 或拔节期 <sup>#</sup>		分蘖期 <sup>§</sup> 或拔节期 <sup>#</sup> 至抽穗期		抽穗期至成熟期		参考文献
吸氮量 (kg/hm <sup>2</sup> )	占总吸氮的 比例 (%)	吸氮量 (kg/hm <sup>2</sup> )	占总吸氮量的 比例 (%)	吸氮量 (kg/hm <sup>2</sup> )	占总吸氮量的 比例 (%)	
45 ~ 86 <sup>§</sup>	33 ~ 51	39 ~ 77 <sup>§</sup>	26 ~ 50	22 ~ 41	13 ~ 27	[31]
20 ~ 50 <sup>§</sup>	20 ~ 34	30 ~ 40 <sup>§</sup>	28 ~ 30	30 ~ 70	30 ~ 48	[32]
51 ~ 111 <sup>#</sup>	44 ~ 56	49 ~ 98 <sup>#</sup>	42 ~ 48	13 ~ 43	11 ~ 19	[33]
45 ~ 65 <sup>#</sup>	23 ~ 35	67 ~ 115 <sup>#</sup>	30 ~ 52	18 ~ 114	14 ~ 44	[34]

注: <sup>§</sup>表示分蘖期, <sup>#</sup>表示拔节期。

表6 早稻各生育期土壤铵态氮释放量及其占生育期总释放量的比例

本研究处理	移栽至分蘖期		分蘖期至抽穗期		抽穗期至成熟期	
	铵态氮释放量	占总释放量的	铵态氮释放量	占总释放量的	铵态氮释放量	占总释放量的
	(kg/hm <sup>2</sup> )	比例 (%)	(kg/hm <sup>2</sup> )	比例 (%)	(kg/hm <sup>2</sup> )	比例 (%)
100% U	99	50	51	26	48	24
80% U + 20% P	87	44	57	29	54	27
70% U + 30% P	83	41	57	28	61	30
50% U + 50% P	79	38	62	30	67	32
100% P	62	32	73	38	59	30
80% U + 20% C	110	51	51	23	56	26
70% U + 30% C	100	48	51	24	59	28
50% U + 50% C	91	44	54	26	63	30
100% C	88	41	61	28	66	31
80% U	91	48	51	27	48	25
50% U + 30% P	76	38	61	30	65	32
50% U + 30% C	98	50	49	25	51	26

表7 晚稻各生育期土壤铵态氮释放量及其占生育期总释放量的比例

本研究处理	移栽至分蘖期		分蘖期至抽穗期		抽穗期至成熟期	
	铵态氮释放量	占总释放量的	铵态氮释放量	占总释放量的	铵态氮释放量	占总释放量的
	(kg/hm <sup>2</sup> )	比例 (%)	(kg/hm <sup>2</sup> )	比例 (%)	(kg/hm <sup>2</sup> )	比例 (%)
100% U	126	64	35	17	38	19
80% U + 20% P	117	59	40	20	42	21
70% U + 30% P	113	56	41	20	48	24
50% U + 50% P	109	53	47	23	51	25
100% P	100	51	50	26	44	23
80% U + 20% C	136	63	36	17	45	21
70% U + 30% C	126	60	37	18	47	22
50% U + 50% C	118	57	40	19	50	24
100% C	119	55	45	21	52	24
80% U	117	62	36	19	37	19
50% U + 30% P	107	53	44	22	51	25
50% U + 30% C	122	62	35	18	39	20

总体来讲, 50% 尿素氮配施 50% 猪粪氮或 50% 尿素氮配施 30% 猪粪氮, 既可以降低土壤铵态氮前期释放速率, 又能满足水稻苗期对氮肥的需求, 还可以使水稻土维持持续稳定的供氮能力, 满足水稻整个生育期对氮素的需求。但是, 从减少农业氮肥投入及生态环境污染的角度考虑, 本研究认为 50% 尿素氮配施 30% 猪粪氮效果最佳。

#### 参考文献:

- [1] 陆景陵. 植物营养学 (上册) [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003. 33.
- [2] 李树山. 外源氮在三种典型土壤中的形态转化及作物响应 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [3] 黄鸿翔, 李书田, 李向林, 等. 我国有机肥的现状与发展前景分析 [J]. 土壤肥料, 2006, (1): 3-8.
- [4] Sørensen P, Jensen E S, Nielsen N E. The fate of <sup>15</sup>N - labelled organic nitrogen in sheep manure applied to soils of differ-

- ent texture under field conditions [J]. *Plant and Soil*, 1994, 162: 39–47.
- [5] 张夫道. 有机和无机氮在土壤—水稻系统中平衡的研究: II. 有机和无机氮在土壤中的转化 [J]. *土壤肥料*, 1995, (2): 1–4.
- [6] 邵兴芳, 申小冉, 张建峰, 等. 外源氮在中、低肥力红壤中的转化与去向研究 [J]. *中国土壤与肥料*, 2014, (2): 6–11.
- [7] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素 [M]. 南京: 江苏科学出版社, 1992. 255–266.
- [8] 张鸣, 高天鹏, 李昂, 等. 畜禽粪肥与化肥配施对春小麦产量和养分吸收利用的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2014, 34 (2): 216–221.
- [9] 袁颖红. 长期施肥对红壤性水稻土氮素形态的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38 (16): 8550–8553.
- [10] 叶静, 安藤丰, 符建荣, 等. 不同有机肥对土壤中的氮素矿化及对化肥氮固持的影响 [J]. *浙江农业学报*, 2008, 20 (3): 176–180.
- [11] Han K H, Choi W J, Han G H, et al. Urea – nitrogen transformation and compost – nitrogen mineralization in three different soils as affected by the interaction between both nitrogen inputs [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2004, 39 (3): 193–199.
- [12] 王媛, 周建斌, 杨学云. 长期不同培肥处理对土壤有机氮组分及氮素矿化特性的影响 [J]. *中国农业科学*, 2010, 43 (6): 1173–1180.
- [13] 杨蕊, 李裕元, 魏红安, 等. 畜禽有机肥氮、磷在红壤中的矿化特征研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17 (3): 600–607.
- [14] 王正银. 有机肥氮和碳素矿化动力学 [J]. *西南农业大学学报 (自然科学版)*, 1993, 15 (3): 197–201.
- [15] 周博, 高佳佳, 周建斌. 不同种类有机肥碳、氮矿化特性研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18 (2): 366–373.
- [16] 赵明, 蔡葵, 赵征宇, 等. 不同有机肥料中氮素的矿化特性研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26 (增刊): 146–149.
- [17] Warning S A, Bremner J M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability [J]. *Nature*, 1964, 201: 951–952.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 53–56.
- [19] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策 [J]. *土壤与环境*, 2000, 9 (1): 1–6.
- [20] Smith C J, Chal K P M, Crawford D M. Estimating gross nitrogen mineralization and immobilization rates in anaerobic and aerobic soil suspensions [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58: 1652–1660.
- [21] 娄运生, 徐本生, 杨建堂, 等. 玉米秸配施氮磷肥对其腐解及潮土供氮磷特性的影响 [J]. *土壤肥料*, 1998, (2): 22–25.
- [22] Chantigny M H, Angers D A, Prévost D, et al. Dynamics of soluble organic C and C mineralization in cultivated soils with varying N fertilization [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 543–550.
- [23] 黄东迈. 有机肥无机肥对提高土壤氮素肥力的作用及其配合施用 [J]. *土壤通报*, 1985, 16 (5): 197–201.
- [24] Sikora L J, Enkiri N K. Efficiency of compost – fertilizer blends compared with fertilizer alone [J]. *Soil Science*, 2000, 165: 444–451.
- [25] 王岩, 张莹, 沈其荣, 等. 施用有机、无机肥后土壤微生物量、固定态铵的变化及其有效性研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 1997, 3 (4): 307–314.
- [26] 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 [J]. *土壤学报*, 2000, 37 (3): 330–338.
- [27] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 尿素配施有机物料时土壤不同氮素形态的动态及利用 [J]. *中国农业大学学报*, 2002, 7 (3): 52–56.
- [28] Nahm K H. Factors influencing nitrogen mineralization during poultry litter composting and calculations for available nitrogen [J]. *World's Poultry Science Journal*, 2005, 61: 238–255.
- [29] 董志新, 卜玉山, 刘秀珍, 等. 不同有机物料对土壤养分和酶活性的影响 [J]. *山西农业大学学报 (自然科学版)*, 2014, 34 (3): 220–225.
- [30] 邹长明, 秦道珠, 徐明岗, 等. 水稻的氮磷钾养分吸收特性及其与产量的关系 [J]. *南京农业大学学报*, 2002, 25 (4): 6–10.
- [31] 曹洪生, 黄丕生, 繆宝山, 等. 两种类型中梗稻吸氮分析及施肥技术研究 [J]. *铁道师院学报 (自然科学版)*, 1992, 9 (1): 35–41.
- [32] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响 [J]. *中国农业科学*, 2008, 41 (10): 3133–3139.
- [33] 王秀芹, 张洪程, 黄银忠, 等. 施氮量对不同类型水稻品种吸氮特性及氮肥利用率的影响 [J]. *上海交通大学学报 (农业科学版)*, 2003, 21 (4): 325–330.
- [34] 俞巧钢, 叶静, 杨梢娜, 等. 不同施氮量对单季稻养分吸收及氨挥发的影响 [J]. *中国水稻科学*, 2012, 26 (4): 487–494.

### The ammonium nitrogen release characteristic of paddy soil with mixed application of different ratios of organic and inorganic fertilizer

ZHANG Lu<sup>1,2</sup>, WEN Shi-lin<sup>1,2\*</sup>, CAI Ze-jiang<sup>1,2</sup>, LIU Li-sheng<sup>1,2</sup>, GUAN Jian-xin<sup>3</sup>, DUAN Shu-hui<sup>4</sup>, DAI Kuai<sup>5</sup>

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization, Beijing 100081; 2. Hengyang Red Soil Experimental Station, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Qiyang Agro-ecosystem of National Field Experimental Station, Qiyang Hunan

426182; 3. Qidong Agricultural Bureau of Hunan, Qidong Hunan 421600; 4. Liuyang Tobacco Monopoly Bureau, Liuyang Hunan 410300; 5. Yuxi Tobacco Monopoly Bureau, Yuxi Yunnan 651100)

**Abstract:** An anaerobic incubation was conducted to investigate the effect of urea combined with pig manure and cattle manure at different ratios on characteristics of  $\text{NH}_4^+$  releasing in a paddy soil collected from Nanchang, Jiangxi province. Our results indicated that urea (U) combined with pig manure (P) or cattle manure (C) (except for 80% U + 20% C, 70% U + 30% C and 50% U + 30% C treatments) significantly decreased soil cumulative  $\text{NH}_4^+$  released by 5.78% to 41.20% at day 28 of anaerobic incubation as compared with 100% U treatment ( $P < 0.05$ ); Thereafter in the following 28 ~ 90 days, the amount of soil  $\text{NH}_4^+$  released increased significantly in manure treatments except for 50% U + 30% C treatment. Compared with 100% U treatment, 50% U + 50% P and 80% U + 20% C treatments significantly the cumulative  $\text{NH}_4^+$  released were increased by 4.81% and 9.32%, respectively ( $P < 0.05$ ) at the end of the incubation experiment, but showed no significant difference with other treatments. There was no significant difference in the cumulative  $\text{NH}_4^+$  between 100% U treatment and 80% U, 50% U + 30% P and 50% U + 30% C treatments. It was suggested that 50% U + 30% P had the potential to reduce the risk of N lose and supply the N demand of crops in paddy soil.

**Key words:** ammonium nitrogen release; organic and inorganic fertilizer application with different substitution ratio; reducing nitrogen application; paddy soil

## 《中国土壤与肥料》征稿简则

《中国土壤与肥料》是农业部主管、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所和中国植物营养与肥料学会共同主办的面向全国的专业科技期刊。主要刊登土壤、植物营养与肥料、农业水资源、农业微生物、分析测试及环境保护等方面的新成果、新方法、新技术、新经验及国内外发展动态等。辟有专家论坛、专题综述、研究报告、分析方法、研究简报等栏目。是全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国农业核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊。被国内外多家数据库和科技文摘期刊收录。欢迎广大科技人员踊跃投稿。

来稿要求和注意事项:

1. 文稿请按“科技论文编写格式”撰写。要求论点明确、层次分明、数据可靠、图表清晰、文字精炼、标点准确,有关数据进行统计分析。
2. 研究论文要有中、英文摘要和关键词。论文在 6000 字以内,摘要在 300 字以内,关键词 3~5 个。摘要中要含有论文的重要数据。
3. 量和单位及符号采用国家法定计量单位,符合国标对科技期刊的要求,不再使用 N、M、ppm、rpm、亩、目等。土壤的磷、钾养分含量需用 P、K 计算并标注,肥料的磷、钾养分含量用  $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  计算并标注。
4. 图、表要有自明性,不要求英文标注,宽度半栏小于 8 cm、通栏小于 16.5 cm。表格采用三线表格式,图一律为黑白图,不要边框、背景和网格线。
5. 参考文献只列出直接引用并已公开发表的文章、著作等。按正文中出现的先后排序(顺序编码制)。文献序号加方括号,在引用处以上标方式标注。中文文献不要求列英文注释。文献作者只写前 3 人姓名,超过 3 人后面加“等”,3 人之内全部列出。英文文献作者姓名姓前、名后,姓第 1 个字母大写,名用大写字母缩写(大写字母后不加点)。
6. 在首页脚注位置,标注基金项目、第一作者简介以及通讯作者姓名和信箱。  
**作者简介:** 姓名(出生年-),性别,民族(汉族可省略),籍贯,职称,学位,研究方向。E-mail。
7. 以 word 格式、A4 纸型排版,通过本刊网站远程稿件处理系统在线投稿,并可查看稿件处理进程及录用情况。
8. 文稿著作权属于作者。文责作者自负,本编辑部为保证文稿的规范和精练,可对内容进行必要的修改、删节。作者如有不同意见可在来稿中注明。
9. 文稿请勿一稿多投。论文经初审通过后收取审稿费并送专家评审。论文一经录用,确定刊期后收取稿件处理费(版面费和英文编辑费);刊出后付给作者稿酬,并赠送 2 本当期期刊。论文刊出后同时以网络方式发布。

地址:北京市中关村南大街 12 号(100081)中国农科院资源区划所《中国土壤与肥料》编辑部  
电话:010-82108656 网址: <http://chinatrfll.alljournal.net.cn> E-mail: TRFL@caas.ac.cn