

猪粪与牛粪有机肥对水稻产量、养分利用和土壤肥力的影响^①

陈 贵, 张红梅, 沈亚强, 程旺大*

(嘉兴市农业科学研究院, 浙江嘉兴 314016)

摘 要: 采用连续 5 年田间定位试验, 研究了等量单独施用猪粪或牛粪有机肥以及有机肥与化学肥料配施对水稻产量、氮磷钾养分吸收累积及利用效率、土壤养分含量及其与产量等关系的影响。结果表明: 猪粪有机肥施用(7.5 t/hm²+常量化肥、15 t/hm²+1/2 常量化肥和 30 t/hm²+无化肥)时水稻产量、干物质累积、氮磷累积及生理利用效率与常量化肥处理相比无显著差异; 牛粪有机肥与化肥减量配施和单独施用, 尽管氮、磷和钾生理利用效率有所提高, 但水稻产量、地上部氮、磷和钾累积量均有不同程度下降, 且以单独施用尤为明显。等量猪粪有机肥对土壤全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量以及 pH 的提升程度大于牛粪有机肥, 有机质含量无明显差异; 与猪粪有机肥相比, 牛粪有机肥施用土壤养分各指标与水稻产量、干物质累积量、氮磷钾累积量以及利用效率间的相关性更为明显, 其中与产量、干物质累积量和氮磷钾累积量极显著负相关, 与氮磷钾生理利用效率显著正相关。因此, 等量猪粪有机肥和牛粪有机肥的肥效存在较大差异, 在实际生产中应根据不同源有机肥特性进行调节施用。

关键词: 水稻; 猪粪有机肥; 牛粪有机肥; 产量; 土壤肥力

中图分类号: S963.91; S511.3 文献标识码: A

我国耕地面积不到全世界总量的 10%, 但化肥施用量接近世界总量的 1/3, 已成农业面源污染的主要原因^[1-3]。另外, 过量单一施用化肥也是造成耕地质量下降的原因之一^[4-5]。为了减少农业面源污染, 提高耕地质量, 保护农业生态环境, 农业部发布了《关于打好农业面源污染防治攻坚战的意见》, 要求到 2020 年农业面源污染加剧的趋势得到有效遏制, 实现“一控两减三基本”。其中, “两减”之一即为减少化学肥料施入量, “三基本”之一即为加大畜禽粪便资源化利用效率^[6]。施用有机肥作为减少化学肥料投入量和提高耕地质量的技术手段已得到较为广泛的研究。然而, 很多研究都将关注点集中于有机肥施用后土壤理化性状变化、有机肥自身的矿化速率等方面^[7-9]。而对有机肥是否施用越多越有利于调控作物生长和养分吸收利用效率, 以及有机肥施用与作物产量和养分利用效率间关系的研究报道则相对较少; 另外, 在实际农业生产指导中, 对于有机肥施用量通常较为笼统地表述为“施用多少有机肥”, 并未明确针对某种有机肥。不同源有机肥同等施用量或配合化肥

减量下对作物生长、产量、养分吸收利用效率以及土壤养分的影响如何?

本研究以资源量分别位居畜禽粪便总量前两位的猪粪和牛粪加工而成的猪粪有机肥和牛粪有机肥为试验材料, 通过稻田连续施用 5 年的田间定位试验, 研究有机肥单独施用及其与化肥配施对水稻产量及产量构成、氮磷钾吸收利用率和土壤养分的影响, 以及土壤养分与产量和养分利用效率之间的关系, 为化肥减量和有机肥料合理施用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

田间试验在浙江省嘉兴市农科院试验基地展开, 该地属典型的亚热带季风气候区, 年均温度 15~16℃, 年降水量 1 194 mm, 年均湿度 80%~85%, 年辐射量 462 kJ/cm²。土壤类型为长三角地区典型水稻土青紫泥田, 试验前耕层土壤的理化性状为: 全氮 1.78 g/kg, 碱解氮 129 mg/kg, 有效磷(P)6.27 mg/kg, 速效钾 71.1 mg/kg, 有机质 31.2 g/kg, pH 6.74。

基金项目: 嘉兴市科技局重点项目(2017AZ13025; 2014AZ21005)和浙江省自然科学基金一般项目(LY16D050002)资助。

* 通讯作者(chwd228@yeah.net)

作者简介: 陈贵(1982—), 男, 山西运城人, 博士, 助理研究员, 主要从事水稻氮素营养及生态环境研究。E-mail: chenzhao2004@163.com

1.2 试验设计

本研究以不同动物源有机肥为基准,从生产实践出发(在实际生产当中,通常较笼统地说明某种作物单位面积有机肥施用量,并未区别不同源有机肥),共设 7 个处理: CK, 常量化肥; Z1, 猪粪有机肥 7.5 t/hm²+ 常量化肥; Z2, 猪粪有机肥 15 t/hm²+ 1/2 常量化肥; Z3, 猪粪有机肥 30 t/hm²; N1, 牛粪有机肥 7.5 t/hm²+ 常量化肥; N2, 牛粪有机肥 15 t/hm²+ 1/2 常量化肥; N3, 牛粪有机肥 30 t/hm²。目的在于研究等量不同源有机肥施用前提下,有机肥用量增加同时化肥减量时对水稻产量、干物质累积及养分吸收利用效率等的影响。

各处理田间试验小区面积为 25 m², 重复 3 次。试验开始于 2010 年稻季, 水稻品种为当地主栽常规

晚稻秀水 134, 至 2014 年连续 5 年开展试验。试验区为水稻-小麦轮作栽培方式, 其中麦季各处理小区不施有机肥, 化学肥料施用量保持一致, 统一按小麦常规施用量进行。水稻种植采用人工移栽, 行距为 20 cm × 15 cm。化学肥料施用分 4 个时期, 分别为活棵后苗肥、分蘖肥、壮秆肥和穗肥, 有机肥以基肥形式于移栽前撒入田块, 并与耕层土壤适当混合。活棵后苗肥施用 15-15-15 复合肥, 分蘖肥施用尿素, 壮秆肥施用尿素和氯化钾, 穗肥施用尿素。具体施肥情况见表 1。田间试验施用有机肥为动物粪便堆积发酵而成, 其中猪粪有机肥养分含量: 有机质 501 g/kg, 氮(N)18.9 g/kg, 磷(P₂O₅)25.2 g/kg, 钾(K₂O)35.4 g/kg; 牛粪有机肥: 有机质 455 g/kg, 氮(N)18.4 g/kg, 磷(P₂O₅)21.8 g/kg, 钾(K₂O)10.9 g/kg。

表 1 稻季肥料施用情况
Table 1 Application rates of organic fertilizer and chemical fertilizers in rice season

处理	有机肥 (t/hm ²)	化肥总量(kg/hm ²)			总养分投入量(kg/hm ²)			苗肥(kg/hm ²) 复合肥	分蘖肥(kg/hm ²) 尿素	壮秆肥(kg/hm ²)		穗肥(kg/hm ²) 尿素
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			尿素	氯化钾	
CK	0	180	31.5	67.5	180	31.5	67.5	210	134	113	60.0	74.8
Z1	7.5	180	31.5	67.5	322	221	333	210	134	113	60.0	74.8
Z2	15	90	15.8	33.8	374	394	565	105	67.2	56.4	30.0	37.4
Z3	30	0	0	0	567	756	1062	0	0	0	0	0
N1	7.5	180	31.5	67.5	318	195	149	210	134	113	60.0	74.8
N2	15	90	15.8	33.8	366	343	197	105	67.2	56.4	30.0	37.4
N3	30	0	0	0	552	654	327	0	0	0	0	0

1.3 测定项目及方法

测产和考种: 2014 年水稻成熟后各小区采集 1 m² 长势一致水稻(避免边际效应), 脱粒后晒干, 测定稻谷产量; 同时各小区取 5 穴有代表性水稻植株用以考种。

地上部干物质累积量: 成熟期各小区采集 5 穴有代表性的水稻地上部植株样品, 105℃ 杀青 30 min, 70℃ 烘至恒重, 称质量, 并计算干物质累积量。

氮磷钾素累积量: 将成熟期植株样品磨碎, H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后, 采用凯氏定氮法测定氮素含量, 采用钼锑抗比色法测磷含量, 采用火焰光度法测钾含量, 计算氮磷钾累积量(植株氮磷钾含量与干物质累积量乘积)。

土壤养分测定: 水稻收获后采用多点混合法在各试验小区采集耕层(0~20 cm)土壤混合样品, 自然风干后, 磨细用于测定分析。土壤有机质采用 H₂SO₄-K₂Cr₂O₇ 外加热法测定; 全氮采用 H₂SO₄-混合催化剂消解, 凯氏定氮法测定; 碱解氮采用碱解扩散法测定; 有效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法测定; 速效钾采用 1.0 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法测定; pH 采用水土比 2.5:1, pH 计测定。

1.4 数据处理

氮/磷/钾生理利用效率(kg/kg)=产量/地上部总氮/磷/钾累积量

试验数据采用 SAS 和 SPSS 分析软件进行处理和统计分析, 采用 Sigmaplot 软件作图。

2 结果与分析

2.1 水稻的产量及其构成

由表 2 可知, 2010 年、2012 年和 2014 年度猪粪有机肥各处理(Z1、Z2 和 Z3)水稻产量与 CK 相比无明显差异。2011 年和 2013 年度 Z3 处理产量分别显著高于 CK 13.0% 和 6.13%。各年度牛粪有机肥 N3 处理产量分别显著低于 CK 7.05%(2010 年)、13.4%(2011 年)、8.13%(2012 年)、14.1%(2013 年)和 7.58%(2014 年), 说明当仅施用牛粪有机肥 30 t/hm² 时, 养分供应量不能满足产量形成对养分的需求量。2014 年的产量构成说明导致水稻产量下降的主要原因为单位面积穗数降低比例(25.7%)大于每穗粒数增加比例(15.5%)(表 3)。

表 2 不同施肥模式下水稻产量
Table 2 Grain yields under different fertilization patterns

处理	产量 (t/hm ²)				
	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
CK	7.66 ± 0.13 ab	7.84 ± 0.45 bc	8.00 ± 0.32 ab	8.15 ± 0.32 bc	7.98 ± 0.32 abc
Z1	7.73 ± 0.39 a	8.21 ± 0.25 b	8.14 ± 0.21 ab	8.29 ± 0.32 abc	8.22 ± 0.37 ab
Z2	7.87 ± 0.16 a	8.14 ± 0.47 b	8.30 ± 0.17 a	8.44 ± 0.16 ab	8.20 ± 0.23 abc
Z3	8.01 ± 0.21 a	8.86 ± 0.30 a	8.51 ± 0.34 a	8.65 ± 0.21 a	8.43 ± 0.40 a
N1	7.85 ± 0.35 a	8.01 ± 0.41 b	8.05 ± 0.19 ab	7.99 ± 0.25 cd	7.90 ± 0.19 bc
N2	7.27 ± 0.22 bc	7.22 ± 0.30 cd	7.66 ± 0.34 bc	7.70 ± 0.27 d	7.73 ± 0.08 cd
N3	7.12 ± 0.24 c	6.79 ± 0.22 d	7.35 ± 0.41 c	7.00 ± 0.13 e	7.37 ± 0.14 d

注：表中同列不同小写字母代表处理间差异达显著水平($P < 0.05$)，下同。

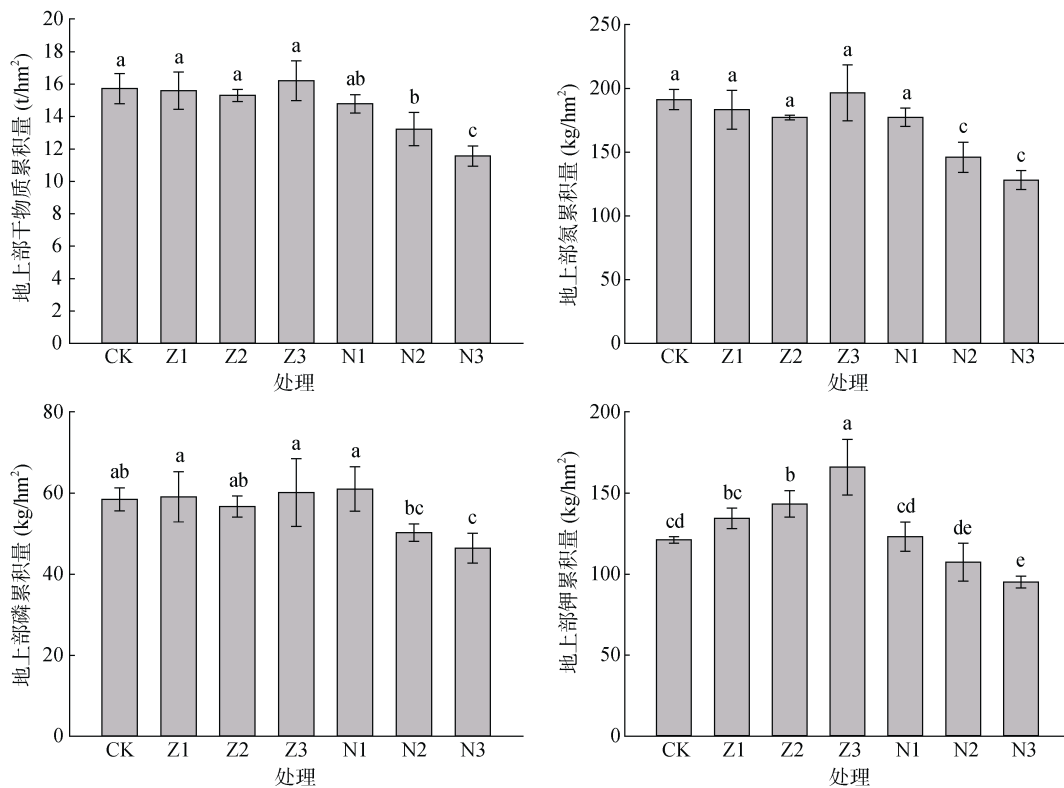
表 3 不同施肥模式下 2014 年水稻产量构成
Table 3 Components of grain yield in 2014 under different fertilization patterns

处理	单位面积穗数($\times 10^4/\text{hm}^2$)	每穗粒数(粒/穗)	结实率(%)	千粒重(g)
CK	260 ± 17 a	116 ± 1 b	96.0 ± 0.4 ab	26.5 ± 1.1 a
Z1	272 ± 6 a	117 ± 4 b	96.2 ± 1.4 ab	26.4 ± 0.7 a
Z2	275 ± 13 a	118 ± 6 b	95.5 ± 0.6 ab	25.7 ± 0.4 a
Z3	287 ± 17 a	118 ± 5 b	95.1 ± 0.4 b	25.7 ± 0.2 a
N1	279 ± 22 a	116 ± 4 b	96.5 ± 0.4 ab	25.7 ± 0.7 a
N2	205 ± 13 b	140 ± 2 a	95.5 ± 1.0 ab	26.4 ± 0.2 a
N3	193 ± 23 b	134 ± 9 a	96.7 ± 1.0 a	26.8 ± 0.6 a

2.2 水稻的干物质和氮磷钾累积量

由图 1 可见 猪粪有机肥施用各处理水稻地上部

干物质累积量、氮和磷累积量与 CK 相比无显著差异。Z2 和 Z3 处理钾累积量比 CK 显著增加 18.4% 和



(图中柱图上不同小写字母代表处理间差异达显著水平($P < 0.05$)，下同)

图 1 不同施肥模式下水稻地上部干物质、氮、磷和钾累积量

Fig. 1 Accumulations of dry matter, N, P and K in aboveground parts of rice during whole-growth periods under different fertilization patterns

37.1%。牛粪有机肥处理 N2 和 N3 干物质累积量比 CK 显著降低 15.9% 和 26.4%，氮累积量明显下降 23.7% 和 33.0%；N3 处理的磷和钾累积量与 CK 相比显著下降 20.6% 和 21.4%。

2.3 水稻的氮磷钾生理利用效率

由图 2 可知，与 CK 相比，猪粪有机肥各处理的氮生理利用效率无显著差异，而 Z2 和 Z3 处理的钾生理利用效率比 CK 明显下降 13.0% 和 22.4%。牛粪有机肥 N2 和 N3 处理的氮素生理利用效率与 CK 相比，明显提高 27.5% 和 38.4%；N3 处理的磷和钾生理利用效率比 CK 显著提高 16.9% 和 17.8%。

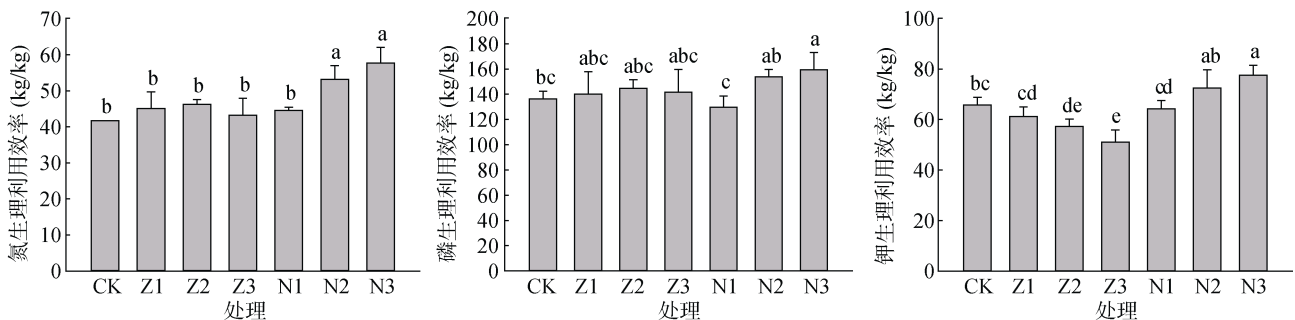


图 2 不同施肥模式下水稻的氮、磷和钾生理利用效率

Fig. 2 Physiological use efficiencies of N, P and K by rice under different fertilization patterns

表 4 不同施肥模式下水稻田土壤养分含量

Table 4 Soil nutrient contents in paddy fields under different fertilization patterns

处理	全氮(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有机质(g/kg)	pH
CK	1.71 ± 0.02 e	122 ± 6 e	5.77 ± 0.54 d	66.9 ± 5.9 f	30.4 ± 1.4 d	6.71 ± 0.06 g
Z1	1.80 ± 0.03 d	135 ± 4 d	14.4 ± 1.5 c	116 ± 13 d	31.1 ± 1.6 cd	7.18 ± 0.03 e
Z2	1.94 ± 0.06 c	173 ± 11 c	26.7 ± 2.1 b	216 ± 10 b	35.3 ± 2.3 b	7.43 ± 0.06 c
Z3	2.17 ± 0.01 a	207 ± 4 a	44.1 ± 4.1 a	346 ± 26 a	41.9 ± 2.5 a	7.65 ± 0.05 a
N1	1.76 ± 0.02 de	120 ± 4 e	6.59 ± 0.7 d	89 ± 8 ef	31.0 ± 1.0 cd	7.05 ± 0.04 f
N2	1.89 ± 0.05 c	137 ± 5 d	9.04 ± 1.0 d	111 ± 13 ef	34.5 ± 2.0 bc	7.28 ± 0.04 d
N3	2.04 ± 0.05 b	187 ± 9 b	17.2 ± 1.0 c	187 ± 6 c	40.3 ± 3.3 a	7.51 ± 0.04 b

2.5 水稻产量和养分吸收利用特性与土壤养分的相关性

分别对猪粪和牛粪有机肥处理下水稻产量、干物质累积量、氮磷钾累积量和生理利用效率与土壤养分各指标间的相关性进行分析，发现施用猪粪有机肥时仅有钾累积量和钾生理利用效率与土壤养分各指标显著相关，其中，钾累积量与 pH、全氮、碱解氮、速效钾和有机质含量呈显著正相关关系，与有效磷极显著相关；钾生理利用效率与 pH、全氮、碱解氮和有机质含量显著负相关，与有效磷和速效钾含量极显

2.4 稻田土壤养分含量

由表 4 可见，连续试验 5a 后，猪粪有机肥各处理的土壤全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量和 pH 均明显高于 CK，且随有机肥施用量增加而明显增加。与 CK 相比，全氮增加 4.90% ~ 26.5%，碱解氮增加 10.6% ~ 69.9%，有效磷增加 149% ~ 664%，速效钾增加 72.8% ~ 417%，pH 变化 0.47 ~ 0.94 个单位。Z2 和 Z3 处理土壤有机质含量比 CK 分别显著增加 16.3% 和 37.7%。与 CK 相比，N2 处理的全氮、碱解氮、有机质和 pH 分别比 CK 明显增加 10.2%、12.3%、13.3% 和 0.57 个单位。N3 处理的全氮、碱解氮、有效磷、速效钾、有机质和 pH 均显著高于 CK，分别增加 18.8%、53.3%、199%、180%、32.6% 和 0.80 个单位。

著负相关(表 5)。

由表 6 可见，牛粪有机肥施用时水稻产量、干物质累积量和氮累积量与土壤养分各指标之间极显著负相关。钾累积量与土壤养分各指标显著负相关，而磷累积量仅与 pH 显著负相关。氮、磷、钾生理利用效率与土壤养分各指标均呈正相关关系，其中，氮生理利用效率与 pH、全氮、碱解氮和速效钾含量极显著相关，与有效磷和有机质含量显著相关；磷生理利用效率与 pH、全氮、碱解氮、速效钾和有机质含量显著相关；钾生理利用效率与土壤各养分指标均显著相关。

表 5 猪粪有机肥施用下水稻产量、干物质累积量和氮磷钾吸收利用特性与土壤养分的相关性

Table 5 Correlation coefficients between rice yields, dry matter accumulations, physiological use efficiencies of N, P and K by rice, and soil nutrient contents under pig manure application

	pH	全氮	碱解氮	有效磷	速效钾	有机质
产量	0.298	0.349	0.231	0.185	0.373	0.465
干物质累积量	0.140	0.263	0.212	0.406	0.277	0.212
氮累积量	0.260	0.387	0.321	0.458	0.424	0.371
磷累积量	-0.254	-0.216	-0.170	-0.032	-0.115	-0.215
钾累积量	0.707*	0.752*	0.743*	0.861**	0.793*	0.712*
氮生理利用效率	-0.115	-0.225	-0.169	-0.258	-0.303	-0.274
磷生理利用效率	0.146	0.075	0.075	-0.026	0.002	0.035
钾生理利用效率	-0.693*	-0.718*	-0.727*	-0.809**	-0.801**	-0.726*

表 6 牛粪有机肥施用下水稻产量、干物质累积量和氮磷钾吸收利用特性与土壤养分的相关性

Table 6 Correlation coefficients between rice yields, dry matter accumulations, physiological use efficiencies of N, P and K by rice, and soil nutrient contents under cow manure application

	pH	全氮	碱解氮	有效磷	速效钾	有机质
产量	-0.835**	-0.871**	-0.899**	-0.900**	-0.872**	-0.911**
干物质累积量	-0.889**	-0.868**	-0.872**	-0.854**	-0.861**	-0.868**
氮累积量	-0.915**	-0.842**	-0.842**	-0.828**	-0.835**	-0.855**
磷累积量	-0.681*	-0.555	-0.519	-0.507	-0.554	-0.588
钾累积量	-0.805*	-0.758*	-0.771*	-0.801*	-0.775*	-0.787*
氮生理利用效率	0.892**	0.818**	0.810**	0.776*	0.807**	0.842*
磷生理利用效率	0.805*	0.698*	0.667*	0.625	0.687*	0.731*
钾生理利用效率	0.763*	0.706*	0.721*	0.748*	0.725*	0.746*

3 讨论

在本研究中，猪粪有机肥配合化肥减量施用和单独施用时水稻产量、干物质累积量和氮磷吸收累积量均未受到明显影响，钾累积量反而明显增加。然而，当施用等量牛粪有机肥时却受到不同程度的抑制作用，单独施用时下降明显，这表明等量牛粪有机肥的肥效低于猪粪有机肥。导致这种现象的主要原因可能是：牛粪有机肥中 N、P、K 和有机质均低于猪粪有机肥，其中 N 含量低 2.65%，P 含量低 13.5%，K 含量低 69.2%，有机质低 9.18%，从而导致在等量施用条件下牛粪有机肥各处理的总养分投入量低于猪粪有机肥各处理；牛粪有机肥的矿化速率低于猪粪有机肥。沈其荣等^[10]对淹水条件下不同有机物料氮素矿化速率进行了研究，发现牛粪有机肥的氮素释放始速较小而较恒定，铵态氮释放极限量小，而猪粪有机肥则相反。而在好氧条件下，两者矿化速率则基本一致^[11]。稻田土壤除中期烤田(6~10 d)和生育后期灌浆烤田处于好氧状态外，其余阶段均处于厌氧状态。在厌氧条件下牛粪有机肥矿化速率慢，加之养分含量低使土壤中的养分供给

量不能满足水稻关键生育期对养分的需求，影响水稻干物质和产量形成。王秀芹等^[12]研究证明拔节至抽穗期为水稻的吸氮高峰期，此时期的吸氮量占全生育期总吸氮量的 34%~48%。肥料运筹改变，比如前氮后移或前钾后移等，均能较明显地改变水稻产量和干物质累积^[13-14]。说明水稻关键生育期如遇养分供应不足，会导致生长受抑制，影响产量形成，即使其他生育期供养充足，也无法弥补。本研究中，单独施用牛粪有机肥导致产量明显下降主要是由于水稻单位面积穗数降低所致，这很可能是由于牛粪有机肥养分含量相对较低，加之矿化速率小养分释放慢，致使不能及时提供水稻分蘖所需营养。

本研究再次证明，施用有机肥能提高土壤肥力，且随用量增加土壤养分含量呈增加趋势。然而，施用等量猪粪有机肥对土壤全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量的增加程度要高于牛粪有机肥，有机质含量增幅差异相对较小。可能原因为：厌氧状态下猪粪有机肥矿化速率快，养分释放迅速^[10]。因此，尽管猪粪有机肥中有机质含量高于牛粪有机肥，但从长远施用结果来看，两种有机肥对土壤有机质含量的影响无明显差异。另外，猪粪和牛粪有机肥施

用均使土壤 pH 显著升高,但等量猪粪有机肥提高程度显著高于牛粪有机肥。研究者认为有机肥施用提高土壤 pH 的主要原因可能为: 有机官能团加强了对 H^+ 和 Al^{3+} 的吸附作用,从而使土壤 pH 提高^[15]; 有机肥矿化过程中发生有机阴离子脱羧基化,并释放碱性物质(钙、镁等),从而使土壤 pH 升高^[16]。由此可推测,不同源有机肥影响土壤 pH 变化差异可能与两种源有机肥中有机官能团差异或是矿化速率差异有关。

4 结论

猪粪有机肥和牛粪有机肥在同等施用量下,对作物生长和产量形成、养分吸收利用以及土壤肥力的影响存在较大差异。因此,在实际生产中有机肥配合化肥减量施用时,应该根据不同源有机肥特性而进行用量调节。

参考文献:

- [1] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273
- [2] 黄晶晶,朱波,林超文,等. 施氮量和田面水含氮量对紫色土丘陵区稻田氨挥发的影响[J]. 土壤, 2014, 46(4): 623-629
- [3] 王敬,程谊,蔡祖聪,等. 长期施肥对农田土壤氮素关键转化过程的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 292-304
- [4] 陈贵,张红梅,沈亚强,等. 绿肥和小麦秸秆与化肥配施对水稻生长和青紫泥土壤肥力的影响[J]. 浙江农业学报, 2015, 27(10): 1797-1801
- [5] 龚伟,颜晓元,王景燕. 长期施肥对土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2011, 43(3): 336-342
- [6] 杨雪. 农业部:有效遏制农业面源污染加剧趋势[J]. 农村·农业·农民(B版), 2015(6): 26-27
- [7] 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
- [8] 陶磊,褚贵新,刘涛,等. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6137-6146
- [9] 何翠翠,王立刚,王迎春,等. 长期施肥下黑土活性有机质和碳库管理指数研究[J]. 土壤学报, 2015, 52(1): 194-202
- [10] 沈其荣,沈振国,史瑞和. 有机肥氮素的矿化特征及其化学组成的关系[J]. 南京农业大学学报, 1992, 15(1): 59-64
- [11] 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
- [12] 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效率的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2003, 21(4): 325-330
- [13] 莫润秀,江立庚,郭立,等. 氮肥运筹对水稻植株不同形态氮素含量的影响[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(1): 49-54
- [14] 姜心禄,李旭毅,池忠志,等. 不同肥料配置对机插稻群体生长和产量的影响[J]. 中国稻米, 2014, 20(2): 45-49
- [15] 孟希柏. 红壤酸化及其防治[J]. 土壤通报, 2000, 31(3): 111-113
- [16] Hue N V. Alleviating soil acidity with crop residues[J]. Soil Science, 2011, 176(10): 1-7

Application Effects of Swine and Cow Manures on Rice Yield, Nutrient Uptakes and Use Efficiencies and Soil Fertility

CHEN Gui, ZHANG Hongmei, SHEN Yaqiang, CHENG Wangda *

(Jiaxing Academy of Agricultural Sciences, Jiaxing, Zhejiang 314016, China)

Abstract: A 5-year field experiment was conducted to study the effects of equivalent-application of chemical fertilizers (CF), swine manure (SM), cow manure (CM), and SM or CM mixed CF on rice yield, N, P and K uptake and utilization efficiency as well as soil fertility and the correlations between soil nutrients and rice yield, *et al.* The results showed that there were no significant differences in rice yields, dry matter accumulations, N and P accumulations and use efficiencies between SM treatments SM (SM 7.5 t/hm²+ CF normal level, SM 15 t/hm²+ CF half level, and sole SM 30 t/hm²) and CK treatment (sole CF normal level, CK). However, compared to CK, CM treatments (CM 15 t/hm²+CF half level, and sole CM 30 t/hm²) increased N, P and K physiological use efficiencies, but reduced rice yields, N, P and K accumulations of above-ground rice part, particularly for sole CM. Under the equivalent application, SM promoted soil total N, alkali-hydrolyzable N, Olsen-P, NH₄OAc-extractable K contents and pH value higher than CM, but no difference between organic matter contents. Compared with CM, higher correlations were detected between soil nutrient contents with rice yields, dry matter accumulations, N, P and K accumulations and physiological use efficiencies when CM was applied. Therefore, there are obvious differences between the application effects of SM and CM, the application of manure should be dependent upon the characteristics of the manure, such as mineralization rate and nutrient content.

Key words: Rice; Swine manure; Cow manure; Yield; Soil fertility