

长期施用有机肥对水稻产量和氮磷养分利用效率的影响

陈 贵¹, 赵国华², 张红梅¹, 沈亚强¹, 汪 峰^{3*}, 程旺大^{1*}

(1. 嘉兴市农业科学研究院, 浙江 嘉兴 314016; 2. 嘉兴学院生物与化学工程学院, 浙江 嘉兴 314001; 3. 宁波市农业科学研究院, 浙江 宁波 315040)

摘 要:以长三角地区典型土壤类型青紫泥为背景土壤, 研究连续 7 年有机肥不同施用量和化肥减量条件下水稻产量、氮磷吸收累积特性和氮磷利用效率, 并对影响水稻氮磷吸收利用效率的原因进行分析。结果表明, 与纯化肥处理相比, 施用有机肥处理在不同程度上增加了水稻产量, 其中以处理 C4 (30 t · hm⁻² 有机肥 + 1/2 常量化肥) 增加比例最大, 为 5.67%。当有机肥单施用量达 60 t · hm⁻² 时, 水稻产量比纯化肥处理增加 5.56%, 地上部氮磷累积均高于其它各处理, 其中, 氮累积尤为明显, 增加比例为 16.5% ~ 25.4%。有机肥不同用量配合化肥减量施用, 水稻地上部氮磷转运量、生理利用效率与纯化肥处理间无明显差异。然而, 当单施有机肥用量达 60 t · hm⁻² 时, 氮转运量明显增加, 生理利用效率明显降低, 磷生理利用效率亦有所降低, 但不如氮明显。水稻氮磷生理利用效率降低的主要原因是长期大量施用有机肥使土壤养分含量增加特别明显, 可能超过利于水稻利用的浓度范围。另外, 土壤矿质元素铵态氮在水稻生长过程中含量过高也与之紧密相关。

关键词: 有机肥; 水稻; 产量; 氮磷; 养分利用效率

中图分类号: S963.91; S511.3⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2017) 01-0092-06

化学肥料施用能在很大程度上提高粮食产量。然而, 自建国以来, 我国化肥用量不断增加。其中, 2010 年, 我国化肥消费量达 $5\,561.7 \times 10^4$ t, 为世界化肥总消费量的 34%^[1]。长期大量施用化肥可使土壤出现板结、速效养分和有机质含量下降, 引起土壤酸化、氮肥利用率下降, 导致农田面源污染加剧^[2]。有机肥料施用可在很大程度上改善单施化肥所造成的对土壤和环境的负面影响。大量研究表明, 有机肥单施或与化学肥料配施不仅能够有效提高土壤有机质含量, 而且还可增加土壤养分含量和土壤有益微生物数量, 提高土壤酶活性, 增加作物产量^[3-5]。另外, 有机肥施用能够提高氮肥利用效率, 减少农田氮素的氨挥发、渗漏、径流损失, 增加土壤磷库稳态有机磷和高稳态有机磷含量, 降低施用化肥而引起的农田面源污染^[3,6-8]。但是, 值得注意的是, 以往研究主要集中在有机肥料施用对土壤理化性状和氮去向的影响方面, 而对作物

氮, 尤其是磷吸收利用特性的研究相对较少, 在长期大量施用有机肥料情况下更是如此。

本研究以长三角地区典型土壤类型青紫泥为供试土壤, 探究了连续 7 年有机肥不同施用量和化肥减量对水稻产量、氮磷吸收累积特性、氮磷利用效率的影响。希望能够从作物养分利用效率角度出发对本地区有机肥料和化肥的合理施用提供参考依据。

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, 该地区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 · cm⁻²。土壤类型为长三角流域地区典型水稻土青紫泥, 耕层土壤的理化性状为: 全氮 1.58 g · kg⁻¹, 碱解氮 149 mg · kg⁻¹, 有效磷 (P) 19.2 mg · kg⁻¹, 速效钾 89.2 mg · kg⁻¹, 有机质 33.3 g · kg⁻¹, 土壤 pH 值 7.41。

1.2 试验设计

试验于 2008 ~ 2014 年进行, 耕作方式为水稻—油菜轮作, 以水稻作为研究对象, 品种为当地主栽常规晚稻秀水 134, 共设 7 个处理 (1) C0: 不

收稿日期: 2015-11-30; 最后修订日期: 2016-01-03

基金项目: 嘉兴市科技局重点项目 2011AZ1018, 2014AZ21005。

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

通讯作者: 程旺大, E-mail: chwd228@yeah.net; 汪峰, E-mail: fwang82@163.com。

施肥; (2) C1: 常量化肥; (3) C2: $15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥 + 常量化肥; (4) C3: $15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥 + $3/4$ 常量化肥; (5) C4: $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥 + $1/2$ 常量化肥; (6) C5: $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥 + $1/4$ 常量化肥; (7) C6: $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 有机肥。各处理重复 3 次, 小区面积为 6 m^2 。水稻种植采用人工插秧方式, 株行距为 $20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 。氮肥分基肥、苗肥、分蘖肥和穗肥施入, 施用比例为 4:2:2:2。磷、钾

矿物肥和有机肥以基肥形式一次性施入。基肥撒施后与耕层土壤混匀, 苗肥、分蘖肥和穗肥采用撒施方式施入, 其它田间管理措施均保持一致。具体施肥情况见表 1。其中, 氮、磷、钾肥分别为尿素 (N 46%)、过磷酸钙 (P_2O_5 12%) 和氯化钾 (K_2O 60%), 有机肥为商品有机肥, 有机质含量为 46.7%, 氮 (N) 含量 1.89%, 磷 (P_2O_5) 含量 2.52%, 钾 (K_2O) 含量 1.64%。

表 1 2008 ~ 2014 年稻季肥料施用情况

处理	基肥				苗肥	分蘖肥	穗肥
	氮	磷	钾	有机肥	氮	氮	氮
	($\text{N kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	($\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	($\text{K}_2\text{O kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	($\text{N kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	($\text{N kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	($\text{N kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
C0	0	0	0	0	0	0	0
C1	81.0	31.6	188	0	40.5	40.5	40.5
C2	81.0	31.6	188	15	40.5	40.5	40.5
C3	60.7	23.6	141	15	30.4	30.4	30.4
C4	40.5	15.8	94.2	30	20.2	20.2	20.2
C5	20.2	7.92	46.8	30	10.1	10.1	10.1
C6	0	0	0	60	0	0	0

1.3 测定项目及方法

产量和考种: 水稻成熟后各小区采集 1 m^2 水稻, 脱粒后晒干, 测定稻谷产量; 取 5 穴有代表性水稻植株用以考种。

地上部干物质累积: 成熟期分别采集各区有代表性的 5 穴水稻地上部植株样品, 105°C 杀青 30 min, 70°C 烘至恒重, 称质量, 并计算干物质累积量。

氮和磷素累积: 将植株样品磨碎, $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 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, 并计算氮和磷累积量。

土壤养分测定: 水稻收获后采用五点法在各小区采集土壤样品, 自然风干后, 磨细用于测定分析。土壤有机质用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 外加热法, 全氮用 H_2SO_4 + 混合催化剂消解, 凯氏定氮法, 碱解氮采用碱解扩散法, 有效磷用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 浸提 - 钼锑抗比色法, 速效钾用 $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{NH}_4\text{OAc}$ 浸提 - 火焰光度计法, pH 值用水土比 2.5:1, pH 计测定。

土壤矿质营养铵态氮 ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) 和硝态氮 ($\text{NO}_3^- - \text{N}$) 测定: 分别在水稻分蘖期、齐穗期和

成熟期采用五点法在各小区采集新鲜土壤样品, 充分混匀后, 称取一定质量, 用 $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KCl}$ 提取 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 采用靛酚蓝比色法测定, 硝态氮用紫外分光光度计法测定。

1.4 计算公式

氮转运量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 齐穗期茎秆氮累积量 - 成熟期茎秆氮滞留量; 磷转运量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 齐穗期茎秆磷累积量 - 成熟期茎秆磷滞留量; 氮生理利用效率 ($\text{N kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) = 产量/地上部总氮累积量; 磷生理利用效率 ($\text{P kg} \cdot \text{kg}^{-1}$) = 产量/地上部总磷累积量。

1.5 数据统计

数据处理采用 SAS 和 SPSS 分析软件进行, 采用 Sigmaplot 软件作图。

2 结果与分析

2.1 有机肥不同施用量和化肥减量对水稻产量及其构成的影响

由表 2 可见, 与常规施肥处理 C1 比较, 有机肥施用处理 C2、C3、C4、C5、C6 不同程度地提高了水稻产量, 增幅为 1.00% ~ 5.67%。其中, 处理

C2、C4 和 C6 达显著差异水平，比 C1 分别增产 5.11%、5.67% 和 5.56%，表明当有机肥在同一施用量 15 或 30 t · hm⁻² 条件下，全量化肥和 1/2 全量化肥施用效果分别优于 3/4 全量化肥和 1/4 全量化肥。与 C1 相比，有机肥施用使水稻穗数、每穗

粒数和结实率增加，而千粒重下降，且随有机肥用量增加，下降比例呈增加趋势。有机肥施用使水稻产量增加的主要原因为穗数、每穗粒数和结实率综合作用的结果。

表 2 2014 年有机肥不同施用量和化肥减量下水稻产量及其构成

处理	产量 (t · hm ⁻²)	单位面积穗数 (× 10 ⁴ 个 · hm ⁻²)	每穗粒数 (粒 · 穗 ⁻¹)	结实率 (%)	千粒重 (g)
C0	6.58 ± 0.17c	164 ± 28b	123 ± 10a	94.0 ± 2.7b	27.6 ± 0.8a
C1	8.78 ± 0.07b	290 ± 22a	107 ± 8b	95.5 ± 1.2ab	25.9 ± 0.6ab
C2	9.25 ± 0.17a	305 ± 17a	111 ± 10ab	95.1 ± 0.5ab	25.8 ± 0.6ab
C3	8.87 ± 0.55ab	290 ± 29a	108 ± 3b	96.3 ± 0.1ab	25.8 ± 0.4ab
C4	9.31 ± 0.18a	309 ± 23a	105 ± 5b	96.6 ± 1.2a	25.5 ± 0.3b
C5	8.99 ± 0.14ab	294 ± 6a	113 ± 6ab	95.3 ± 0.7ab	25.5 ± 0.8b
C6	9.29 ± 0.26a	313 ± 11a	118 ± 9ab	96.2 ± 1.7ab	24.1 ± 2.3b

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

2.2 有机肥不同施用量和化肥减量对水稻干物质、氮和磷累积的影响

由图 1 (a) 可见，有机肥和化肥配施处理 C2、C3、C4 和 C5 水稻地上部干物质累积与常规化肥施用处理 C1 间无明显差异。然而，处理 C6 地上部干物质累积量显著高于 C1 和 C3 处理，增加比例分别

为 10.3% 和 10.4%。处理 C1、C2、C3、C4 和 C5 间水稻地上部氮和磷累积量无明显差异。处理 C6 地上部氮累积量显著高于 C1、C2、C3、C4 和 C5，分别高 25.4%、16.5%、18.3%、17.6% 和 21.8%；处理 C6 地上部磷显著高于 C1、C3 和 C4，分别高 16.5%、13.3% 和 19.2% (图 1b, c)。

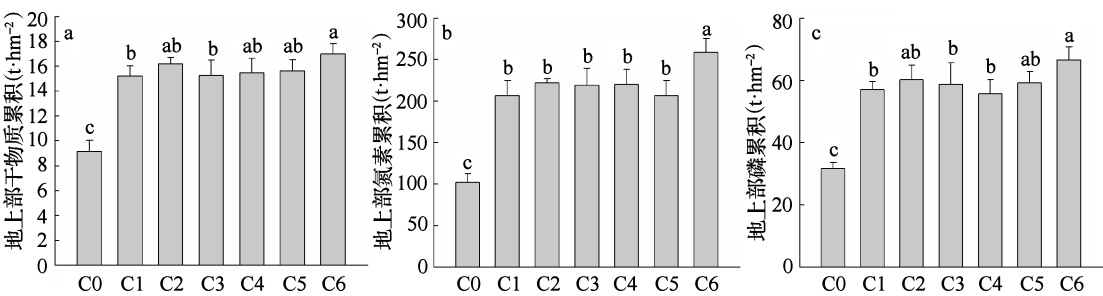


图 1 2014 年有机肥不同施用量和化肥减量下水稻地上部干物质 (a)、氮 (b) 和磷 (c) 累积量
注：图中柱上不同小写字母代表处理间达显著差异水平 ($P < 0.05$)。

2.3 有机肥不同施用量和化肥减量对水稻氮、磷利用特性的影响

与 C0 相比，其它各处理均显著降低了水稻氮、磷生理利用效率，但明显增加了氮、磷转运量。处理 C2、C3、C4 和 C5 的氮、磷生理利用效率和氮、磷转运量与 C1 相比均无显著差异。C6 处理明显增加氮转运量，但却降低氮生理利用效率，其中氮转

运量比 C1 增加 69.8%，比 C2、C3、C4 和 C5 增加 27.8% ~ 126%；氮生理利用效率比 C1 低 15.9%，比 C2、C3、C4 和 C5 降低 11.5% ~ 20.8%。C6 处理尽管也增加磷转运量，降低磷生理利用效率，但影响程度小于其对氮转运量和氮生理利用效率影响。由此可见，有机肥施用过多不利于提高氮、磷养分利用效率 (表 3)。

表3 2014年有机肥不同施用量和化肥减量下的氮、磷利用特性

处理	氮转运量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	氮生理利用效率 ($\text{N kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	磷转运量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	磷生理利用效率 ($\text{P kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
C0	$14.8 \pm 0.9\text{c}$	$65.7 \pm 4.3\text{a}$	$7.03 \pm 1.21\text{b}$	$208 \pm 8\text{a}$
C1	$51.1 \pm 7.1\text{b}$	$42.7 \pm 4.1\text{b}$	$12.2 \pm 3.7\text{a}$	$154 \pm 7\text{bc}$
C2	$60.2 \pm 1.0\text{b}$	$41.6 \pm 1.0\text{b}$	$13.3 \pm 3.3\text{a}$	$154 \pm 10\text{bc}$
C3	$56.4 \pm 7.4\text{b}$	$40.6 \pm 3.1\text{bc}$	$11.0 \pm 0.7\text{ab}$	$152 \pm 9\text{bc}$
C4	$60.0 \pm 13.5\text{b}$	$42.5 \pm 3.9\text{b}$	$12.1 \pm 1.3\text{a}$	$168 \pm 17\text{b}$
C5	$68.0 \pm 9.4\text{b}$	$45.4 \pm 0.5\text{b}$	$12.7 \pm 2.3\text{a}$	$152 \pm 7\text{bc}$
C6	$86.8 \pm 14.3\text{a}$	$36.0 \pm 1.7\text{c}$	$13.0 \pm 3.0\text{a}$	$140 \pm 6\text{c}$

2.4 有机肥不同施用量和化肥减量对土壤养分的影响

由表4可见,有机肥施用各处理C2、C3、C4、C5和C6土壤全氮、碱解氮、有效磷、速效钾和有机质含量均明显大于C1,其中C6处理尤为明显。随有机肥用量增加,土壤养分呈增加趋势。C2、C3、C4、C5和C6比C1土壤全氮高20.6%~71.2%,碱

解氮高16.2%~65.6%,有效磷高259%~704%,速效钾高40.7%~268%,有机质高30.2%~90.6%。当有机肥用量一致时,不同化肥用量对土壤养分和pH值影响不明显。与不施化肥处理C0相比,C1处理在一定程度上降低了土壤pH值。C2、C3、C4、C5和C6处理土壤pH值显著高于C1,分别比C1高7.46%、6.82%、5.47%、5.98%和7.51%。

表4 2014年有机肥不同施用量和化肥减量下的土壤养分含量

处理	全氮 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碱解氮 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有机质 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	pH值
C0	$1.55 \pm 0.03\text{e}$	$133 \pm 1\text{a}$	$18.1 \pm 2.6\text{e}$	$79.2 \pm 17.3\text{d}$	$27.5 \pm 0.4\text{d}$	$7.39 \pm 0.11\text{bc}$
C1	$1.56 \pm 0.12\text{e}$	$139 \pm 1\text{d}$	$18.7 \pm 2.5\text{e}$	$87.3 \pm 8.0\text{cd}$	$27.0 \pm 1.3\text{d}$	$7.19 \pm 0.06\text{c}$
C2	$1.88 \pm 0.18\text{d}$	$162 \pm 18\text{c}$	$67.0 \pm 7.8\text{cd}$	$123 \pm 17\text{bc}$	$35.1 \pm 2.2\text{c}$	$7.73 \pm 0.16\text{a}$
C3	$1.97 \pm 0.04\text{cd}$	$175 \pm 4\text{bc}$	$59.9 \pm 2.9\text{d}$	$120 \pm 8\text{bc}$	$36.1 \pm 2.9\text{bc}$	$7.68 \pm 0.16\text{a}$
C4	$2.13 \pm 0.08\text{bc}$	$189 \pm 6\text{b}$	$81.8 \pm 3.6\text{bc}$	$127 \pm 21\text{b}$	$40.7 \pm 6.8\text{bc}$	$7.58 \pm 0.16\text{ab}$
C5	$2.21 \pm 0.12\text{b}$	$192 \pm 12\text{b}$	$94.2 \pm 16.5\text{b}$	$148 \pm 26\text{b}$	$42.3 \pm 5.7\text{b}$	$7.62 \pm 0.19\text{ab}$
C6	$2.67 \pm 0.11\text{a}$	$231 \pm 14\text{a}$	$150 \pm 20\text{a}$	$321 \pm 36\text{a}$	$51.4 \pm 3.8\text{a}$	$7.73 \pm 0.08\text{a}$

2.5 有机肥不同施用量和化肥减量下的水稻产量和养分吸收利用特性与土壤养分相关性分析

相关性分析表明,水稻产量、氮磷累积和转运与土壤pH值和养分含量均呈正相关关系。水稻产量与土壤全氮、碱解氮、有效磷和有机质极显著正相关。氮累积和转运与全氮、碱解氮、有效磷、速效磷和有机质极显著正相关,与土壤pH值显著相关。然而,磷累积和转运与pH值和土壤养分的相关性存

在较大差异。磷累积与土壤全氮、碱解氮、有效磷和有机质含量极显著相关,与pH值和速效钾显著相关;磷转运仅与全氮和碱解氮含量显著相关。水稻氮磷生理利用效率与pH值和土壤养分含量均呈负相关关系。其中,氮生理利用效率与全氮、碱解氮和有效磷含量极显著负相关,与pH值、速效钾和有机质含量显著负相关;磷生理利用效率与pH值、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾显著负相关(表5)。

表5 2014年有机肥不同施用量和化肥减量下水稻产量和氮磷养分特性与土壤养分的相关性

指标	pH值	全氮	碱解氮	有效磷	速效钾	有机质
产量	0.379	0.565 **	0.594 **	0.584 **	0.421	0.569 **
氮累积	0.508 *	0.666 **	0.668 **	0.653 **	0.587 **	0.606 **
磷累积	0.492 *	0.605 **	0.619 **	0.617 **	0.529 *	0.551 **
氮转运	0.456 *	0.696 **	0.694 **	0.730 **	0.694 **	0.618 **
磷转运	0.359	0.469 *	0.439 *	0.409	0.315	0.374
氮生理利用效率	-0.472 *	-0.583 **	-0.578 **	-0.555 **	-0.480 *	-0.503 *
磷生理利用效率	-0.459 *	-0.513 *	-0.517 *	-0.513 *	-0.453 *	-0.425

注: *表示显著相关($P < 0.05$); **表示极显著相关($P < 0.01$)。

2.6 有机肥不同施用量和化肥减量对稻田土壤矿物质态氮含量的影响

由图2(a, b)可见, 水稻分蘖期、齐穗期和成熟期稻田土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量变化总体呈相反趋势, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量变化呈正 V 型, 而 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量变化呈倒 V 型。从整体来看, C0 和 C1 处理各时期土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量无明显差异。C2、C3、C4、C5 和 C6 处理高于 C0 和

C1, 且随有机肥用量增加, 含量呈增加趋势, 其中 C6 处理特别明显, 土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量比其它各处理在分蘖期、齐穗期和成熟期分别高 69.3% ~ 138%、27.4% ~ 116% 和 41.8% ~ 234%, 土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量在 3 个时期分别高 46.7% ~ 178%、53.4% ~ 277% 和 22.3% ~ 114%。有机肥同一施用量下, 不同化肥施用量基本未对土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量产生影响。

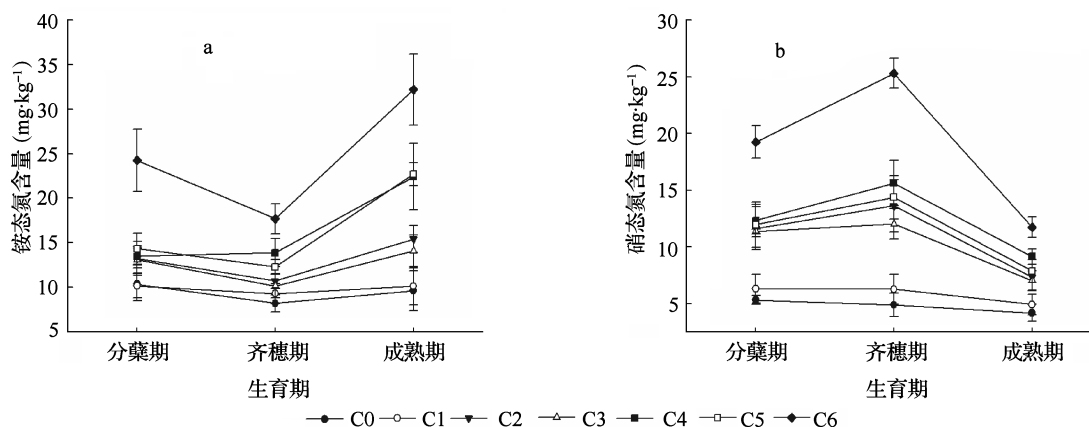


图2 2014年有机肥不同施用量和化肥减量下的稻田土壤铵态氮和硝态氮含量

3 讨论与结论

在本研究中, 施用有机肥各处理水稻产量比仅施常规化肥处理均有不同程度增加(表2), 这表明长期施用有机肥对水稻增产有促进作用, 这与其他研究者的结论一致^[4,6,9]。当有机肥施用量一致时, 减少25%化学肥料对水稻产量、干物质累积、氮磷累积和生理利用效率以及土壤养分含量均无明显影响, 这可能与长期施用有机肥或其他有机物料使土壤基础肥力明显增加, 增强土壤养分供应能力紧密相关^[10-11]。本研究再次证明, 长期施用有机肥能够显著提升地力, 增加土壤有效养分含量(表4)。另外, 有机肥施用使土壤 pH 值不仅显著高于单施化学肥料处理, 而且高于不施肥处理(表4), 这表明长期施用有机肥能够调理土壤酸碱度, 防治因长期单施化肥而导致的土壤酸化。

当化学肥料用量从 100% 降至 0%, 增加有机肥用量完全能够满足水稻生长的养分需求。当有机肥用量为 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 完全不施用化学肥料时水稻地上部的干物质累积、氮磷累积量在所有处理当中均最高, 其中氮累积尤为明显, 其次为磷累积(图1), 说明当有机肥用量增加至一定程度时, 能够明显促进水稻对氮磷养分的吸收。这主

要是因为长期大量施用有机肥能够在很大程度上提高土壤氮磷钾有效养分和有机质含量(表4)。通过相关性分析表明, 土壤碱解氮对水稻地上部氮磷累积的贡献最大, 之后依次为有效磷、有机质和速效钾(表5)。然而, 通过对水稻氮磷养分利用效率分析, 当有机肥用量为 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 水稻氮素生理利用效率明显低于其它处理, 尽管齐穗期后叶片和茎秆的氮转运明显增加。磷生理利用效率也有所降低(表3)。这说明, 长期大量施用有机肥不利于提高水稻对氮磷的利用效率。研究表明, 当氮肥施用过量时, 会导致水稻产量和氮素利用效率降低^[12-14], 这可能与水稻生长介质中氮浓度过高, 特别是 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度过高紧密相关^[15-16]。研究表明, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度高会导致作物铵毒害^[17], 水稻虽然为喜铵作物, 但当生长介质中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 过高时, 也可出现明显的铵中毒现象, 使其产量和氮素利用效率下降^[15]。在本研究中, 当有机肥用量为 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 水稻各关键生育时期的土壤浸提液中硝态氮和铵态氮含量均要显著高于其它各处理(图2)。由此可见, 从养分利用角度而言, 长期施用过量有机肥也是不可取的。

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] 张奇春, 王光火. 长期不同施肥下杂交水稻与常规稻的产量与土壤养分平衡 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12 (3): 340–345.
- [3] 尹岩, 梁成华, 杜立宇, 等. 施用有机肥对土壤有机磷转化的影响研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2012, (4): 39–43.
- [4] 张国荣, 李菊梅, 徐明岗, 等. 长期不同施肥对水稻产量及土壤肥力的影响 [J]. 中国农业科学, 2009, 42 (2): 543–551.
- [5] 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.
- [6] 李先, 刘强, 荣湘民, 等. 有机肥对水稻产量和品质及氮肥利用率的影响 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2010, 36 (3): 258–262.
- [7] 刘汝亮, 张爱平, 李友宏, 等. 长期配施有机肥对宁夏引黄灌区水稻产量和稻田氮素淋失及平衡特征的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2015, 34 (5): 947–954.
- [8] 李菊梅, 徐明岗, 秦道珠, 等. 有机肥无机肥配施对稻田氨挥发和水稻产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (1): 51–56.
- [9] 高菊生, 秦道珠, 刘更另, 等. 长期施用有机肥对水稻生长发育及产量的影响 [J]. 土壤肥料, 2002, (2): 31–38.
- [10] 乔俊, 颜廷梅, 薛峰, 等. 太湖地区稻田不同轮作制度下的氮肥减量研究 [J]. 中国生态农业学报, 2011, 19 (1): 24–31.
- [11] 侯红乾, 刘秀梅, 刘光荣, 等. 有机无机肥配比比例对红壤稻田水稻产量和土壤肥力的影响 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (3): 516–523.
- [12] 陈贵, 陈莹, 施卫明. 太湖地区主栽高产水稻的氮素利用特性 [J]. 江苏农业学报, 2013, 29 (5): 928–937.
- [13] Zhang Y L, Fan J B, Wang D S, et al. Genotypic difference in grain yield and physiological nitrogen use efficiency among rice cultivars [J]. Pedosphere, 2009, 19 (6): 681–691.
- [14] 李超英, 计小江, 吴春艳. 施用不同新型增效尿素对水稻产量和氮肥利用率的影响 [J]. 浙江农业学报, 2013, 25 (2): 333–338.
- [15] Chen G, Guo S W, Kronzucker H J, et al. Nitrogen use efficiency (NUE) in rice links to NH_4^+ toxicity and futile NH_4^+ cycling in roots [J]. Plant and Soil, 2013, 369: 351–363.
- [16] Kronzucker H J, Britto D T, Davenport R J, et al. Ammonium toxicity and the real cost of transports [J]. Trends in Plant Science, 2001, 6 (8): 335–337.
- [17] Britto D T, Kronzucker H J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review [J]. Journal of Plant Physiology, 2002, 159: 567–584.

Effect of long-term organic fertilizers application on rice yield, nitrogen and phosphorus use efficiency

CHEN Gui¹, ZHAO Guo-hua², ZHANG Hong-mei¹, SHEN Ya-qiang¹, WANG Feng^{3*}, CHENG Wang-da^{1*} (1. Jiaxing Academy of Agricultural Science, Zhejiang Jiaxing 314016; 2. College of Biological, Chemical Sciences and Engineering, Jiaxing University, Zhejiang Jiaxing 314001; 3. Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Zhejiang Ningbo 315040)

Abstract: A continuous seven years of field experiment was conducted on purple clay-based paddy soil to study rice yield and characteristics of nitrogen and phosphorus in rice plant under condition of different amounts of organic fertilizers and chemical fertilizer reduction application. Meanwhile, the factors affecting nitrogen and phosphorus use efficiencies in rice plant were analyzed. The results showed treatments with organic fertilizer application increased rice yield in various degrees compared with treatment with chemical fertilizer use only, of which treatment with $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ organic fertilizer and $1/2$ chemical fertilizer application had the highest rice yield, which was 5.67% higher than treatment with chemical fertilizer use only. When organic fertilizer application rate reached $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, rice yield was 5.56% higher than that of chemical fertilizer use only, but accumulated highest nitrogen and phosphorus in aboveground part of rice in all treatments, especially for nitrogen with 16.5% ~ 25.4% higher than other treatments. There were no significant differences in nitrogen and phosphorus translocation amounts and physiological use efficiencies between the treatments with organic fertilizer and chemical fertilizer use together and the treatment with chemical fertilizer use only. When organic fertilizer application rate reached $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, nitrogen translocation was raised obviously, but nitrogen physiological use efficiency was reduced significantly. Phosphorus in rice showed the same performance, although, less obvious than nitrogen. The reasons were soil nutrient contents increased very significantly with huge application of organic fertilizer, which probably were too much for rice to use. and ammonium nitrogen content in soil was too high during rice growth stage.

Key words: organic fertilizer; rice; yield; nitrogen and phosphorus; nutrient use efficiency