

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.04.015

侯红乾, 冀建华, 刘秀梅, 等. 不同比例有机肥替代化肥对水稻产量和氮素利用率的影响. 土壤, 2020, 52(4): 758–765.

不同比例有机肥替代化肥对水稻产量和氮素利用率的影响^①

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

(1 江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 南昌 330200; 2 国家红壤改良工程技术研究中心, 南昌 330200; 3 农业部长江中下游作物生理生态与耕作重点实验室, 南昌 330200)

摘要: 在江西双季稻区进行 30 a 的田间定位试验, 比较不施氮肥(CK)、施用化肥(NPK)、等养分条件下 70% 化肥配合施用 30% 有机肥(70F+30M)、50% 化肥配合施用 50% 有机肥(50F+50M)、30% 化肥配合施用 70% 有机肥(30F+70M)施肥条件下水稻产量、氮素吸收、氮素利用率的变化。结果表明: 与等养分 NPK 处理相比, 有机无机肥配施处理能显著提高 30 a 双季稻平均产量($P<0.05$), 增产幅度在 2.47% ~ 5.73%, 其中 30F+70M 处理产量最高, 且不同比例有机无机肥配施处理之间有显著差异, 30F+70M 处理显著高于 50F+50M 处理($P<0.05$)。在不同时间段, 不同有机无机肥配施处理产量表现不同, 低量有机肥配施处理在试验前期具有明显的增产优势, 高量有机肥配施处理在试验中后期增产效果明显。与等养分 NPK 处理相比, 有机无机肥配施处理 30 a 平均吸氮量无显著差异, 不同施肥处理每生产 1 t 籽粒对氮素的需求不同, 有机无机肥配施处理(20.57 ~ 20.94 kg)低于 NPK 处理(21.77 kg), 其中 30F+70M、70F+30M 处理具有较高的氮素生产效率。有机无机肥配施处理 30 a 平均氮肥吸收利用率与等养分条件下 NPK 处理无显著差异, 但氮肥生理利用率显著提高。有机无机肥配施能提高双季稻产量、氮素利用效率, 不同肥力水平稻田应选择适合的比例, 中低肥力水平稻田以 30% 有机肥配施较为合适, 而高肥力水平稻田宜选择 50%、70% 有机肥配施较为合适。

关键词: 有机无机肥配施; 水稻产量; 水稻吸氮量; 氮素利用效率

中图分类号: S158.3; S511.3. **文献标志码:** A

Effect of Long-Term Combined Application of Organic and Inorganic Fertilizers on Rice Yield, Nitrogen Uptake and Utilization in Red Soil Area of China

HOU Hongqian^{1,2,3}, JI Jianhua^{1,2,3}, LIU Xiumei^{1,2,3}, LÜ Zhenzhen^{1,2,3}, LAN Xianjin^{1,2,3}, LIU Yiren^{1,2,3*}

(1 Soil & Fertilizer and Resources and Environment Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 2 National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Nanchang 330200, China; 3 Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System for the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, Ministry of Agriculture, Nanchang 330200, China)

Abstract: A 30 a (1984—2013) long-term location experiment was conducted to study the effects of the combined application of organic and inorganic fertilizers on the yield, nitrogen uptakes and use efficiency of double-cropping rice in red soil area of Jiangxi in south China in order to provide scientific references for the rational application of organic resources and the suitable rice fertilization. Five different treatments were designed: 1) CK, no nitrogen fertilization; 2) 100% NPK, N, P and K chemical fertilizers only; 3) 70F+30M, 70% chemical fertilizers and 30% organic manure; 4) 50F+50M, 50% chemical fertilizers and 50% organic manure, and 5) 30F+70M, 30% chemical fertilizers and 70% organic manure. The results showed that rice yield under the treatments combined with organic manure were 2.74%–5.73% ($P<0.05$) higher than NPK treatment. Rice yield under 30F+70M treatment was the highest. Significant differences were found between the treatments combined with organic manure, rice yield under 30F+70M treatment significantly increased by 3.7% ($P<0.05$) than 50F+50M treatment, and the yield-increasing effects were different in different period, lower proportion of organic manure was better at the early stage while high proportion of organic manure was better at the late stage. No significant difference was found in mean nitrogen uptake by rice between treatments combined with organic manure and NPK treatment. Different treatments had different nitrogen requirements for grain

①基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0200703, 2017YFD0200702)资助。

* 通讯作者(jxnclyr@163.com)

作者简介: 侯红乾(1980—), 男, 陕西凤翔人, 硕士, 副研究员, 主要从事新型肥料研究与推广。E-mail: hugh_hhq@yeah.net

yield per 1 t, which were 20.57–20.94 kg for treatments combined with organic manure and 21.77 kg for NPK treatment. 30F+70M and 70F+30M treatments had higher nitrogen efficiency, no significance was found in average nitrogen use efficiency between treatments combined with organic manure and NPK treatment, but nitrogen physiological use efficiency of treatments combined with organic manure was significantly higher than NPK treatment. In red soil area, long-term combined application of organic manure and inorganic fertilizers can promote yield and nitrogen efficiency for double-cropping rice, but the optimal combined proportion of organic fertilizer should be determined according to the fertility of rice fields, usually, 30% was appropriate for rice fields with middle or low fertility, while 50% and 70% for rice fields with high fertility.

Key words: Combined application of organic manure and inorganic fertilizer; Rice yield; Rice N uptake; N efficiency

水稻是我国种植面积最大的粮食作物, 其产量高低直接影响到我国粮食安全和社会稳定。施肥是水稻持续高产和稳产的最主要措施之一。据统计, 肥料对提高水稻产量的贡献率为 30%~50%^[1-3]。有机无机肥配合施用, 结合了化肥的速效性和有机肥的持久性特点, 是合理利用资源、提高土壤肥力、保持作物高产稳产的施肥体制^[4-10]。但如何进行有机无机肥合理配置, 最大限度地提高水稻产量、改善土壤肥力、提高肥料利用率是人们长期以来关注的问题。研究表明, 有机无机肥配施有利于水稻高产稳产、养分吸收, 有利于提高肥料利用率、减少环境污染、培肥土壤^[11-16]。周卫军等^[17]研究表明, 水稻累积吸收的氮量和系统生产力随着有机肥与氮、磷、钾化肥配合程度的增加而提高。王敬等^[18]认为, 有机无机肥配施能有效地减轻硝酸盐污染, 改善土壤肥力并提高作物产量。但是有机肥的施用并不是多多益善, 有机肥过多施用也会增加氮损失的风险。目前研究大多集中在农田生产力、养分吸收以及土壤肥力方面, 对长期不同有机无机肥配施比例及养分搭配状况的研究较少, 合理可行的有机无机肥配施是土壤生产功能和环境功能协调的关键。有机肥与化肥只有施用量在适宜的范围内, 交互作用较大, 产量最高。本研究以江西省稻田长期(30 a)定位试验为研究平台, 分析了有机无机肥料不同的施用比例对双季稻产量以及水稻氮素吸收和氮肥利用率的影响, 探讨红壤稻田有机无机合适的配施比例, 以期为南方红壤区建立合理的有机无机肥配施模式和提高氮素利用率提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

长期定位试验位于江西省南昌市江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所试验田(28°33'92" N, 115°56'25" E)。供试土壤为第四纪红黏土(即莲塘层)母质发育的中淤黄泥田。该区域地处中亚热带, 年平

均气温 17.5℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 5 400℃, 年降雨量 1 600 mm, 年蒸发量 1 800 mm, 无霜期约 280 d, 水、温、光、热资源丰富, 适宜大多数农作物生长。图 1 为历年主要气象因子数据。

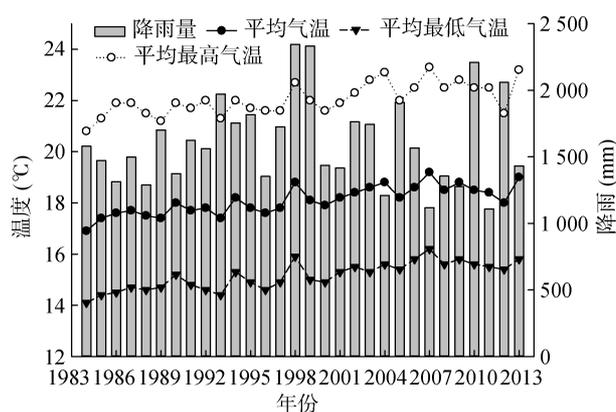


图 1 主要气象因子数据(南昌台站)

Fig. 1 Data of meteorological factors(Nanchang station)

1.2 试验设计

本试验选用定位试验 5 个处理: ①不施氮肥(CK), ②氮磷钾肥(NPK), ③化肥 70% + 有机肥 30%(70F+30M), ④化肥 50% + 有机肥 50%(50F+50M), ⑤化肥 30% + 有机肥 70%(30F+70M)。早稻施纯 N 150 kg/hm², P₂O₅ 60 kg/hm², K₂O 150 kg/hm², 晚稻施纯 N 180 kg/hm², P₂O₅ 60 kg/hm², K₂O 150 kg/hm²。氮肥用尿素, 磷肥用过磷酸钙, 钾肥用氯化钾。早稻有机肥用紫云英, 其鲜草养分含量按多年检测平均值 N 3.03 g/kg、P₂O₅ 0.8 g/kg、K₂O 2.3 g/kg 计算, 紫云英由国家绿肥种质资源平台提供; 晚稻有机肥用腐熟猪粪, 其养分含量按多年检测平均值 N 4.5 g/kg、P₂O₅ 1.9 g/kg、K₂O 6.0 g/kg 计算。各处理等养分量设计(除 CK 外), 以等氮量为基准, 磷、钾部分不足用化肥补充, 只有 30F+70M 处理晚稻钾素量超过设计标准。磷肥和有机肥全作基肥; 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。各处理小区面积 33.3 m², 3 次重复, 随机区组排列, 各小区用水泥田埂隔开。试验自 1984 年早稻开始, 采用稻-稻-闲的种植方式, 水稻品种为当地主栽品种, 早稻在每年的 4 月中下旬移栽, 7 月中旬收获, 晚稻在 7 月下旬移栽, 10 月下旬收获, 各处理其他管理措施一致。试验前 0~20 cm 土壤基本农化性状为: pH 6.50, 有机质 25.6 g/kg, 全氮 1.36 g/kg, 全磷 0.49 g/kg, 缓效钾 240 mg/kg, 碱解氮 81.6 mg/kg, 有效磷 20.8 mg/kg, 速效钾 35.0 mg/kg。

1.3 样品采集与测定项目

每年早晚稻收获前每小区根据平均分蘖数取代表性植株 5 兜, 进行考种和植株养分测定; 收获后分小区单打、单收, 水稻实际产量以风干重计产, 用烘干法折算。晚稻收获后, 采集 0~20 cm 土壤, 每个小区随机采集 5 点, 混匀后根据四分法取土壤样品 1 kg 左右, 在室内风干, 磨细过 1 mm 和 0.25 mm 筛以备分析之用。

植株、土壤全氮测定采用半微量凯氏法; 土壤 pH 测定采用水提电位法, 有机质测定采用重铬酸钾容量法, 全磷测定采用碱熔-钼锑抗比色法, 碱解氮测定采用扩散法, 有效磷测定采用 Olsen 法, 速效钾测定采用 1 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法, 缓效钾测定采用 1 mol/L HNO₃ 浸提-火焰光度法。

1.4 计算公式

氮素收获指数、氮素利用率计算公式如下^[19]:

氮素收获指数(nitrogen harvest index, NHI)=籽粒吸氮量/植株总吸氮量 (1)

氮肥吸收利用率(%)=(施氮区植株总吸氮量-空白区植株总吸氮量)/施氮量×100 (2)

氮肥农学利用率(kg/kg)=(施氮区产量-空白区产量)/施氮量 (3)

氮肥偏生产力(kg/kg)=施氮区产量/施氮量 (4)

氮肥生理利用率(kg/kg)=(施氮区产量-空白区产量)/(施氮区植株总吸氮量-空白区植株总吸氮量) (5)

1.5 数据分析

数据分析使用 Excel 2003 和 DPS 7.05 完成, 多重比较采用 Duncan 新复极差法。

2 结果分析

2.1 长期有机无机肥配施对水稻产量的影响

由图 2A 可以看出, 随着试验进行, 由于受到气候、品种(每 3~5 a 更换一次品种以避免种子退化)等因素的影响, 早稻产量随年际波动很大, 如 1993

年、2012 年早稻产量较低可能是由于该年份早春温度较低而引起(图 1)。在各处理中, CK(不施氮)产量最低, 显著低于其他施肥处理, 可见施氮肥显著增加了早稻的产量; NPK 处理产量除在试验前几年及试验中期个别年份外, 其余年份均低于有机无机肥配施处理, 以 30 a 平均产量来看, 表现为 30F+70M>70F+30M>50F+50M>NPK>CK(表 1)。有机无机肥配施处理产量高于化肥 NPK 处理, 其中 30F+70M、70F+30M 处理增量达到显著水平($P<0.05$), 可见有机无机肥配施有利于早稻的高产, 有机肥高量配施和低量配施效果最明显。不同比例有机无机肥配施处理之间也有显著性差异, 30F+70M 处理显著高于处理 50F+50M($P<0.05$)。

由图 2B 可知, 与早稻产量变化相似, 晚稻产量随年际波动很大, 如在 2005 年产量明显低于其他年份, 可能是由于该年温度较低, 受到寒露风的影响所致。各处理中 CK 产量最低, 显著低于其他施肥处理; 等养分条件下, 有机无机肥配施处理产量除个别年份外, 均高于 NPK 处理, 30 a 平均产量结果(表 1)显示, 30F+70M>70F+30M>50F+50M>NPK>CK。其中有机无机肥配施处理均显著高于 NPK 处理($P<0.05$), 不同比例有机无机肥配施处理间也有显著性差异, 30F+70M 处理显著高于 50F+50M 处理($P<0.05$)。

等氮条件下, 施肥处理 30 a 平均年产量表现为 30F+70M>70F+30M>50F+50M>NPK>CK(表 1)。其中有机无机肥配施处理均显著高于 NPK 处理, 较其增产幅度为 2.47%~5.73%($P<0.05$), 不同比例有机无机肥配施处理间有显著性差异, 30F+70M 处理显著高于处理 50F+50M($P<0.05$)。有机无机肥配施比例以有机肥高量和低量配施增产效果更明显。

为了充分反映不同有机无机肥配施处理水稻产量演变规律, 将 30 a 间双季稻(早稻和晚稻)总产量以每 5 年平均值进行分析, 结果如图 3 所示, 与 CK、NPK 处理相比, 有机无机肥配施处理显著提高双季稻年产量; 在等氮量条件下, 有机无机肥配施比例显著影响双季稻年产量, 在试验开始前 5 a(1984—1988), 70F+30M 处理产量最高, 显著高于 50F+50M 处理, 之后均以 30F+70M 处理产量最高, 显著高于 50F+50M 处理。可见, 有机无机肥配施在试验前期表现为有机肥低量配施最佳、中后期以有机肥高量配施最佳, 20 a 以后表现为 30F+70M>50F+50M>70F+30M, 随着有机肥配施比例的增加产量有增加趋势。

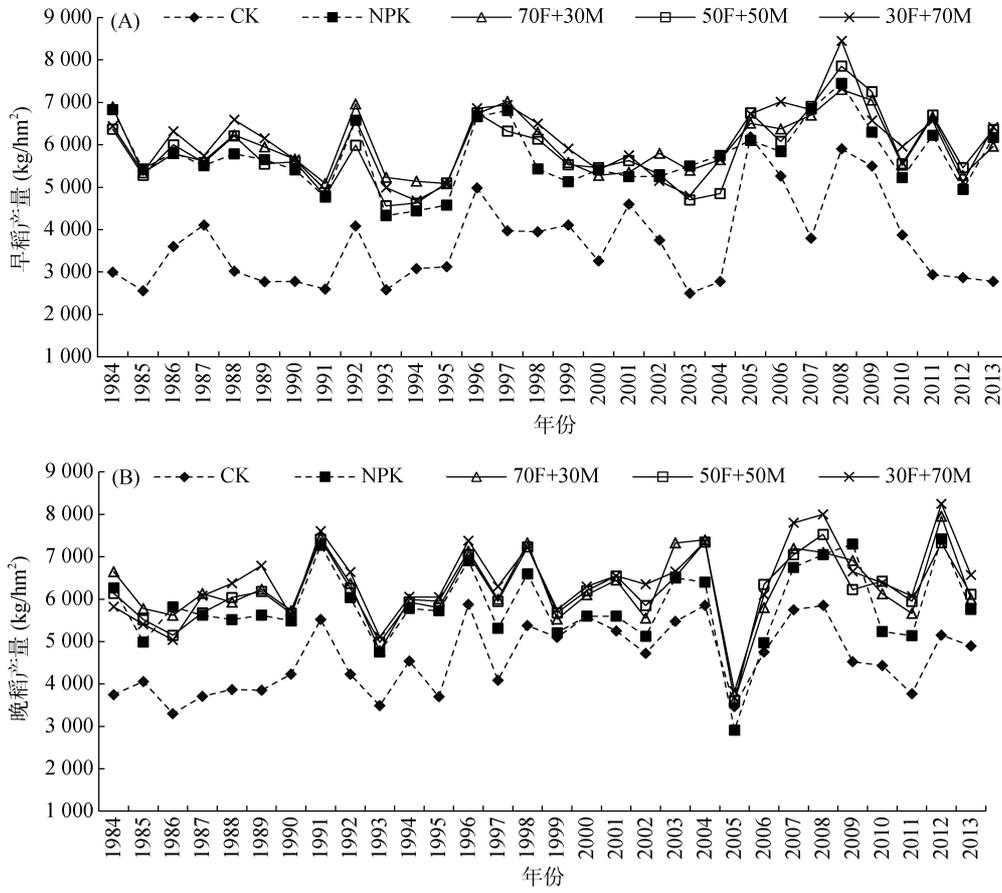


图 2 长期有机无机肥配施早稻(A)、晚稻(B)产量变化

Fig. 2 Yields of early rice (A) and late rice (B) under long-term combined application of organic manure and inorganic fertilizer

表 1 不同处理平均稻谷产量比较(1984—2013) (kg/hm²)
Table 1 Comparison of average grain yield under different treatments (1984—2013)

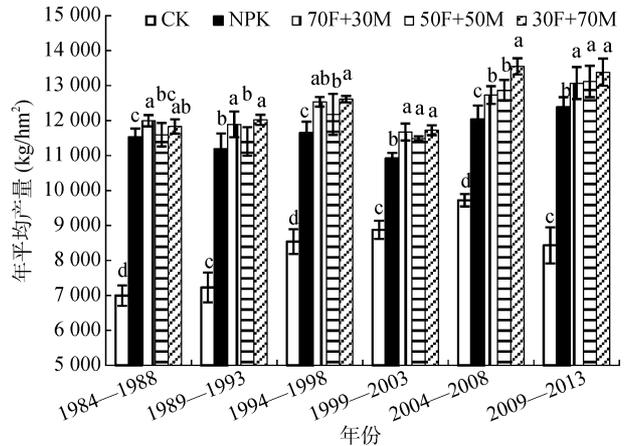
处理	早稻产量	晚稻产量	年产量
CK	3 687 d	4 643 d	83 31 d
NPK	5 738 c	5 872 c	11 610 c
70F+30M	6 003 ab	6 311 ab	12 315 ab
50F+50M	5 864 bc	6 240 b	12 106 b
30F+70M	6 061 a	6 458 a	12 520 a

注：同列不同小写字母表示处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平，下同。

2.2 长期有机无机肥配施对水稻吸氮量的影响

30 a 间水稻平均吸氮量如图 4 所示，可以看出，CK 吸氮量在所有年份均最低；等氮条件下，不同时间段水稻年均吸氮量有所不同，在试验开始前 5 a(1984—1988)，NPK 处理吸氮量最高，表现为 $NPK > 70F+30M > 30F+70M > 50F+50M$ ，在之后 15 a(1989—2003)，70F+30M、30F+70M 处理较高，50F+50M 处理最低，在后 10 a(2004—2013)，50F+50M、30F+70M 处理较高，70F+30M、NPK 处

理较低。以 30 a 总体平均来看，等氮处理之间无显著差异。表明在试验初期，低肥力条件下，化肥处理吸氮量最高，显著高于有机无机肥配施处理；随着试验进行，土壤肥力的提高，有机肥低量配施和高量配



(图柱上方小写字母不同表示同一时期不同处理间差异在 $P < 0.05$ 水平上显著，下同。)

图 3 长期有机无机肥配施双季稻年产量变化

Fig. 3 Annual average yields of double-cropping rice under long-term combined application of organic manure and inorganic fertilizer

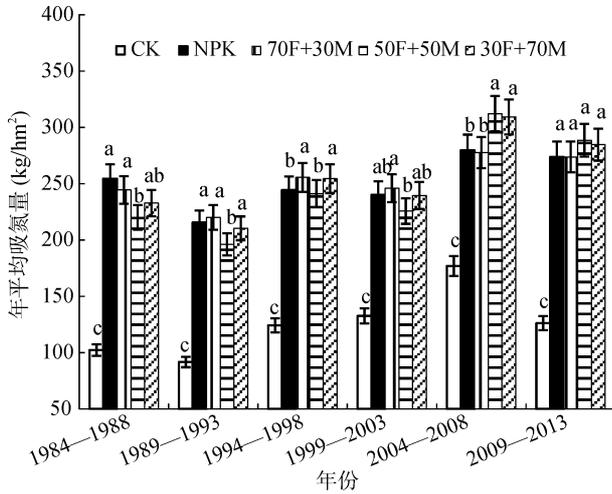


图 4 长期有机无机肥配施双季稻年吸氮量变化

Fig. 4 Nitrogen uptake of double-cropping rice under long-term combined application of organic manure and inorganic fertilizer

施处理吸氮量超过化肥处理和有机肥中量配施处理；在试验后期阶段，随着土壤肥力的丰富，有机肥中量、高量配施处理吸氮量最高，有机肥低量配施和化肥处理吸氮量较低。

分析显示，水稻籽粒产量与地上部吸氮量存在极显著相关关系(图 5)，不同施肥处理拟合的关系式其斜率存在明显差异，即不同施肥模式下每生产 1 t 水稻籽粒对氮的需求量存在差异。CK、NPK、70F+30M、50F+50M、30F+70M 处理每生产 1 t 水稻籽粒平均吸收氮素分别为 15.17、21.77、20.94、20.60、20.57 kg，其中施氮处理中，有机无机肥配施处理吸氮量均低于 NPK 处理，有机无机肥配施处理具有较高的氮利用效率。在有机无机配施处理中，70F+30M、30F+70M 处理斜率大于 NPK 处理，说明低量、高量有机肥配施具有较高的氮利用效率。

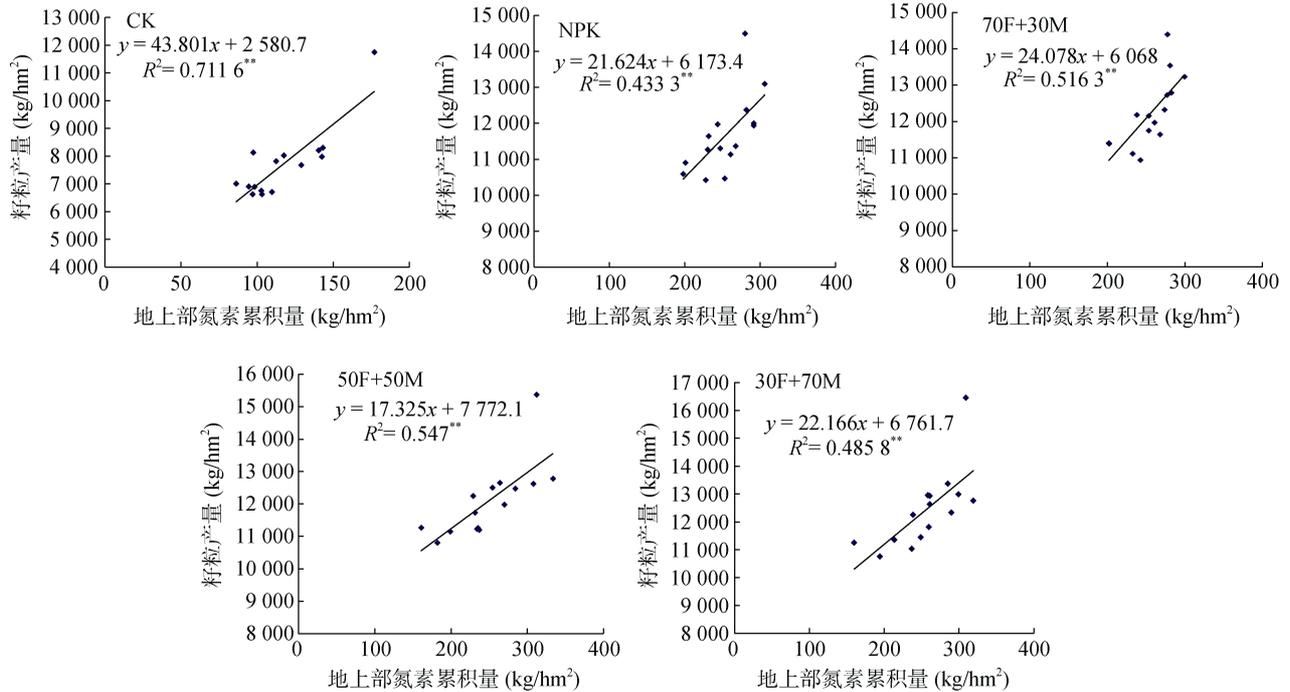


图 5 不同施肥处理水稻地上部分吸氮量与产量的关系

Fig. 5 Correlation between nitrogen uptake by rice above ground and rice yield under different fertilization treatments

2.3 长期有机无机肥配施对水稻氮素利用率的影响

由表 2 可知，水稻氮素收获指数，以 CK 处理最高，显著高于其他施肥处理($P < 0.05$)，有机无机肥配施处理显著高于 NPK 处理($P < 0.05$)，比 NPK 处理高 2.0~2.4 个百分点；水稻的氮肥吸收利用率，NPK 处理与有机无机肥配施处理之间无显著差异；水稻氮肥农学利用率、偏生产力、生理利用率均以 NPK 处理最低，有机无机肥配施处理显著高于 NPK 处理($P < 0.05$)，有机无机肥配施处理之间除偏生产力

表 2 长期有机无机肥配施对双季稻氮素利用率的影响

Table 2 Nitrogen use efficiency of double-cropping rice under long-term combined application of organic manure and inorganic fertilizer

处理	氮素收获指数	氮肥吸收利用率 (%)	氮肥农学利用率 (kg/kg)	氮肥偏生产力 (kg/kg)	氮肥生理利用率 (kg/kg)
CK	0.710 a				
NPK	0.646 c	42.57 a	12.05 b	35.67 c	28.30 b
70F+30M	0.666 b	41.60 a	13.82 ab	37.44 ab	33.22 a
50F+50M	0.670 b	39.09 a	13.44 ab	37.08 b	34.39 a
30F+70M	0.667 b	41.67 a	14.70 a	38.32 a	35.28 a

30F+70M 处理显著高于 50F+50M 处理($P<0.05$), 农学利用率和生理利用率之间无显著差异。

3 讨论

3.1 不同有机无机肥配施比例对水稻产量的影响

董春华等^[6]、高菊生等^[20]研究指出, 有机无机肥配施能促进红壤性稻田早、晚稻稻谷和地上部产量的增加, 对水稻高产稳产的促进作用最大。Shah 等^[21-22]通过研究不同有机肥源、不同配施比例, 指出有机无机肥配施能显著提升小麦、玉米产量, 有机氮比例在 25%、矿质氮供应比例在 75% 时, 小麦、玉米获得最高产。孟琳等^[23]指出氮用量为 180 kg/hm² 并且有机肥料氮的替代率在 15% ~ 30% 或氮用量为 240 kg/hm² 并且有机肥料氮的替代率在 10% ~ 20% 时, 能够显著提高水稻的稻谷产量; 此时土壤氮素养分释放比较稳定, 土壤矿质氮含量在比较高的水平, 水稻氮素累积量最大, 因此显著提高水稻的稻谷含量。这些研究与本研究基本一致, 低量有机肥配施处理(70F+30M)在试验前期对产量提升作用最大, 表现为随配施比例的增加, 产量有降低趋势。原因可能是在试验前期, 肥力水平比较低的情况下, 化肥丰富的速效养分供应, 对产量水平有很大的提升作用。本研究 30 a 长期有机无机肥配施试验表明, 等氮条件下, 有机无机肥配施能显著提高双季稻产量, 不同比例有机无机肥配施处理表现为 30F+70M>70F+30M>50F+50M>NPK, 高量和低量有机肥配施处理增产效果更加显著。低量有机肥配施处理在试验初期产量水平较高, 随着高量有机肥的施入, 土壤肥力迅速提升, 高量有机肥配施处理水稻产量也迅速提升, 试验中后期一直保持较高的产量。中量有机肥配施处理在试验前期, 土壤肥力较低条件下, 速效养分供应不如低量有机肥配施处理, 土壤肥力的提升速度不如高量有机肥配施处理的提升, 当土壤肥力提升到一定的水平, 其增产幅度也超过 70F+30M 处理, 产量也达到较高的水平, 本试验表明, 水稻产量基本表现为随着有机肥配施比例的提升而提高。可见, 不同的有机肥配施比例在不同时期对产量的提升作用表现不同。

3.2 不同有机无机肥配施比例对水稻吸氮量和氮素利用率的影响

长期施用化肥、有机肥均能提高土壤供氮能力, 但是有机肥的供氮方式有渐进性的特性, 其供氮方式更适合作物根系对氮的吸收利用, 有机肥与化肥的配施既能快速提升土壤中有效氮的含量, 又能长久保存氮素^[6]。有机无机肥配施土壤供氮更加协调, 与施化

肥相比, 更多的化肥氮被固定在微生物体内, 避免了前期过多的无机氮存在于土壤中而遭受挥发损失^[23]。随着有机肥配施比例的增加, 微生物固定的氮素增加, 引起供给作物的养分不足。本试验中, 低量有机肥配施处理在试验一开始就具有较高的产量、中高量有机肥配施处理产量较低可能也是这个原因。随着有机肥残效的连续叠加, 土壤供氮能力的持续增加, 能满足作物各时期对氮素的需求, 有机肥所能替代比例也逐渐增加。此时, 有机肥高量配施处理土壤有机质含量最高, 供氮能力最强, 因此在中后期产量最高。徐明岗等^[11]研究指出, 有机无机肥配施有利于水稻中后期干物质累积和养分吸收, 能提高水稻产量和肥料利用率。不同化肥有机肥料配比, 其对水稻增产和土壤培肥效果存在一定差异。刘益仁等^[24]研究指出, 有机无机肥配施处理的土壤微生物生物量碳、氮和矿质态氮在水稻分蘖期前低于化肥处理, 而在抽穗期至灌浆期显著高于其他处理, 土壤氮素供应动态与水稻吸收利用氮素规律吻合程度最高, 促进了水稻产量、生物量和氮素累积量的增加, 显著提高了水稻的氮肥利用率。Shah 等^[21-22]通过 2 a 定位试验得出, 有机肥配比在 25% 时, 小麦、玉米产量最高, 氮肥的吸收利用率和农学利用率均最高, 但有机肥配比在 50%、75% 时, 肥料利用率无明显变化。杨晓梅等^[25]认为, 有机肥配施比例在 30%、50% 时能显著提高小麦产量, 提高肥料利用率。许小伟等^[26-27]认为, 配施 40% 的有机肥能显著提高作物的产量和经济效益。刘红江等^[28]、方畅宇等^[29]认为, 有机肥替代化肥的合适比例为 50% 时产量最高。强久次仁^[30]研究指出, 高量有机肥配施(75%)显著提高了小麦产量和氮生理效率, 但氮回收率、农学利用率却低于单施化肥处理。综上, 在不同肥力水平下不同作物上, 有机无机肥配施的合适比例有所不同, 应该根据作物生长发育规律及养分吸收特点, 选择合适的肥料类型和配施比例。本试验初始肥力较低条件下, 化肥处理产量、吸氮量最高, 有机无机肥配施处理适宜替代比例在 30% 左右具有较高产量和吸氮量、氮利用效率, 与 Shah 等^[21-22]、孟琳等^[23]结果一致; 之后, 70% 有机肥配施处理具有较高的产量, 氮肥生理利用效率最高, 但吸氮量却低于低量有机肥配施处理, 与强久次仁^[30]研究一致; 直到试验进行 20 a 后, 此时土壤有机质含量非常丰富, 中高量有机肥配施处理吸氮量才高于有机肥低量配施处理, 水稻吸氮量和氮吸收利用效率均较高, 表现为随着有机肥配施比例的增加水稻吸氮量和氮吸收利用率增加。综合 30 a 试验结果可

以看出,与单施化肥处理相比,有机无机肥配施处理水稻吸氮量、氮肥吸收利用率无显著差异,但是氮肥生理利用率、农学利用率显著提高。

4 结论

1) 与不施肥、施化肥处理相比,长期有机无机肥配施处理显著提高双季稻年产量,不同配施比例之间随着年际变化表现出不同的趋势,30 a 总体表现为 $30F+70M>70F+30M>50F+50M$ 。在试验前期土壤中低肥力水平下 30% 有机肥配施,水稻产量水平最高;在试验后期土壤高肥力水平下,可以增加有机肥配施比例,50%、70% 有机肥配施比例均保持了较高的水稻产量。

2) 不同时间段水稻年均吸氮量有所不同,总体变化趋势与产量相似,在试验前期,化肥处理吸氮量最高,之后是低量有机肥配施处理吸氮量最高,到后期是中高量有机肥配施处理吸氮量最高。以 30 a 总体平均来看,等氮处理之间无显著差异。水稻的地上部吸氮量与产量存在极显著的相关性,不同有机肥配施比例之间,以低量配施和高量配施氮利用效率较高。

3) 有机无机肥配施处理与化肥处理比较,30 a 平均氮肥吸收利用率无显著差异,但氮肥农学利用率、偏生产力、生理利用率均显著提高。

参考文献:

- [1] 宇万太,姜子绍,周桦,等. 不同施肥制度对作物产量及肥料贡献率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(6): 54–58.
- [2] 石元亮,王玲莉,刘世彬,等. 中国化学肥料发展及其对农业的作用[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 852–864.
- [3] 王伟妮,鲁剑巍,李银水,等. 当前生产条件下不同作物施肥效果和肥料贡献率研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(19): 3997–4007.
- [4] 刘守龙,童成立,吴金水,等. 等氮条件下有机无机肥配比对水稻产量的影响探讨[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 106–112.
- [5] 劳秀荣,孙伟红,王真,等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618–623.
- [6] 董春华,高菊生,曾希柏,等. 长期有机无机肥配施下红壤性稻田水稻产量及土壤有机碳变化特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 336–345.
- [7] Malhi S S, Nyborg M, Solberg E D, et al. Improving crop yield and N uptake with long-term straw retention in two contrasting soil types[J]. Field Crops Research, 2011, 124(3): 378–391.
- [8] Jaffar Basha S, Basavarajappa R, Babalad H B. Influence of organic and inorganic nutrient management practices on yield, economics and quality parameters of aerobic rice[J]. Research on Crops, 2016, 17(2): 178–187.
- [9] Avalew A, Dejene T. Combined application of organic and inorganic fertilizers to increase yield of barley and improve soil properties at Fereze, In Southern Ethiopia[J]. Journal of Surgical Research, 2012, 3(1):455–460.
- [10] Khatun A, Bhuiya M S U, Saleque M A. Nitrogen uptake from organic manures and chemical fertilizer and yield of lowland rice[J]. Bull. Inst. Trop. Agr. Kyushu Univ., 2016, (39): 13–27.
- [11] 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.
- [12] 侯红乾,刘秀梅,刘光荣,等. 有机无机肥配施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.
- [13] 冀建华,侯红乾,刘益仁,等. 长期施肥对双季稻产量变化趋势、稳定性和可持续性的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(3): 607–619.
- [14] Hou X Q, Wang X J, Li R, et al. Effects of different manure application rates on soil properties, nutrient use, and crop yield during dryland maize farming[J]. Soil Research, 2012, 50(6): 507–514.
- [15] 谢军,赵亚南,陈轩敬,等. 有机肥氮替代化肥氮提高玉米产量和氮素吸收利用效率[J]. 中国农业科学, 2016, 49(20): 3934–3943.
- [16] Pan G X, Zhou P, Li Z P, et al. Combined inorganic/organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake region, China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2009, 131(3): 274–280.
- [17] 周卫军,王凯荣,张光远. 有机无机结合施肥对红壤稻田土壤氮素供应和水稻生产的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 914–921.
- [18] 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.
- [19] 侯红乾,黄永兰,冀建华,等. 缓/控释肥对双季稻产量和氮素利用率的影响[J]. 中国水稻科学, 2016, 30(4): 389–396.
- [20] 高菊生,黄晶,董春华,等. 长期有机无机肥配施对水稻产量及土壤有效养分影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 314–324.
- [21] Shah S A, Mahmood Shah S, Mohammad W, et al. N uptake and yield of wheat as influenced by integrated use of organic and mineral nitrogen[J]. International Journal of Plant Production, 2009, 3(3): 45–56.
- [22] Shah S A, Shafi M, Bakht J, et al. Effect of intrgrated use of nitrogen on yield and N uptake of maize crop[J]. Pak. J. Bot., 2010, 42(5): 3633–3638.
- [23] 孟琳,张小莉,蒋小芳,等. 有机肥料氮替代部分化

- 肥氮对稻谷产量的影响及替代率[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 532-542.
- [24] 刘益仁, 李想, 郁洁, 等. 有机无机肥配施提高麦-稻轮作系统中水稻氮肥利用率的机制[J]. 应用生态学报, 2012, 23(1): 81-86.
- [25] 杨晓梅, 李桂花, 李贵春, 等. 有机无机配施比例对华北褐土冬小麦产量与氮肥利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014(4): 48-52.
- [26] 许小伟, 樊剑波, 陈晏, 等. 不同有机无机肥配施比例对红壤旱地花生产量、土壤速效养分和生物学性质的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(18): 5182-5190.
- [27] 魏静, 郭树芳, 翟丽梅, 等. 有机无机肥配施对水稻氮素利用率与氮流失风险的影响[J]. 土壤, 2018, 50(5): 874-880.
- [28] 刘红江, 郭智, 张丽萍, 等. 有机-无机肥不同配施比例对稻季 CH_4 和 N_2O 排放的影响[J]. 生态环境学报, 2016, 25(5): 808-814.
- [29] 方畅宇, 屠乃美, 张清壮, 等. 不同施肥模式对稻田土壤速效养分含量及水稻产量的影响[J]. 土壤, 2018, 50(3): 462-468.
- [30] 强久次仁. 不同比例有机无机肥配施对冬小麦产量及氮效率的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.