

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^①

方畅宇, 屠乃美*, 张清壮, 易镇邪

(湖南农业大学农学院, 长沙 410128)

摘要: 为了综合评价中国南方稻田不同施肥模式对土壤速效养分及水稻产量的影响, 并找到最佳施肥模式, 本试验在浏阳市北盛镇、荷花镇和达浒镇 3 个不同基础地力水稻田块从 2013 年起进行田间定位试验, 比较不施肥、常规施肥、60% 化肥 + 40% 有机肥(秸秆+紫云英)和单纯施用化肥处理的水稻产量和土壤速效养分含量变化。3 年定位试验表明: 不同施肥模式相比无肥处理均能显著提高水稻生物产量, 以 60% 化肥 + 40% 有机肥处理最为显著, 且生物产量表现出逐年递增的趋势。通过提高水稻有效穗数和穗粒数使水稻产量显著高于其他处理, 60% 化肥 + 40% 有机肥处理相比不施肥、纯化肥、常规施肥处理分别增产 38.3% ~ 62.4%、1.7% ~ 9.6%、8.4% ~ 12.0%。土壤中速效养分含量表现出 60% 化肥 + 40% 有机肥处理显著高于其他处理的规律, 且速效养分含量逐年递增, 而纯化肥处理速效养分逐年递减。从当季作物产量而言, 低肥区应加大化肥在有机无机配施中的比例, 但从长远培肥地力方面, 应适当加大有机肥在配施中所占比例, 对于中高肥区则可逐步增加有机肥施用比例。不施肥会降低土壤肥力, 而施肥具有明显培肥地力的效果, 60% 化肥 + 40% 有机肥的施肥模式培肥地力效果最为显著, 有利于增加水稻有效穗数和穗粒数, 产量显著高于其他处理。

关键词: 施肥模式; 生物产量; 速效养分含量; 水稻产量

中图分类号: S158.1 **文献标识码:** A

化学肥料的施用对提高作物产量发挥了巨大作用。然而近年来, 为了追求作物高产, 生产上出现了不断加大农田化学肥料投入量的现象。长期大量施用化肥会使土壤板结, 速效养分和有机质含量下降、土壤酸化、肥料利用率下降^[1]、温室气体排放加剧、土壤酶活性降低等一系列问题, 从而影响土壤质量和作物产量^[2]。因此, 如何合理施肥, 提高作物产量同时培肥地力是人们长期以来关注的问题。有机无机配施能够很大程度上改善单施化肥所带来的土壤和环境的负面影响, 结合了化肥速效性和有机肥持久性的特点^[3], 有利于培肥地力、净化环境、实现作物高产优质^[4]。有研究表明, 有机无机配施通过增加水稻叶面积指数^[5], 提高水稻叶片相对叶绿素含量(SPAD 值), 延长叶片光合生理期, 提高水稻光合速率, 从而增加水稻干物质的产生与积累, 使水稻生物量显著增加^[6]。有机无机配施还能显著影响土壤理化生性质, 增加土壤速效养分、总有机碳和全氮含量^[7-9]。黄晶等^[10]长达 30 多年的红壤土定位试验结果表明, 有机无机配施相比纯化肥处理, 显著提高了土壤中氮磷钾含量

和有机质含量, 水稻产量显著高于无肥和纯化肥处理, 确保了水稻的稳产高产。

有关不同施肥模式对土壤肥力、水稻产量的影响, 国内外学者已做了大量研究^[11-13]。但本研究聚焦于不同基础地力下不同施肥模式对水稻产量及土壤肥力影响的差异性, 以浏阳市北盛镇、荷花镇、达浒镇 3 个土壤肥力定位监测点作为试验地, 比较了不施肥、常规施肥、等氮量条件下配合施用 40% 有机肥和施用纯化肥等 4 种不同施肥模式对水稻产量及土壤速效养分含量的影响, 以期揭示不同施肥模式与水稻产量及土壤速效养分含量的关系, 为湘东丘陵区不同肥力水平稻田高效施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

于 2013 年开始在湘东丘陵区浏阳市北盛镇百塘村、荷花办事处牛石岭村、达浒镇书香村建立 3 个土壤肥力定位监测点。监测点所在的浏阳市位于湖南省东部, 长江中下游以南, 罗霄山脉的北段(27°51' ~

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503123)资助。

* 通讯作者(tnm505@163.com)

作者简介: 方畅宇(1992—), 男, 湖南益阳人, 硕士研究生, 主要从事作物高产高效栽培理论与技术的研究。E-mail: 18684663642@163.com

28°34'N, 113°10'~114°15' E), 属中亚热带季风湿润气候区, 光热资源丰富, 全年无霜期 270 d。供试土壤为红壤土, 供试水稻品种为当地主推一季稻品种。各试验点土壤基础性状见表 1。

表 1 原始土壤的主要肥力特性
Table 1 Major fertility properties of the original soil

试验点	pH	有机质 (g/kg)	全氮(g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾(g/kg)	速效氮(mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
荷花镇	6.45	11.55	0.75	0.60	13.55	84.82	4.12	68.21
达浒镇	5.65	25.45	1.35	0.84	8.03	155.38	3.65	72.34
北盛镇	5.92	28.21	1.82	0.35	8.6	150.04	12.85	60.31

1.2 试验设计

每个监测点共设 4 个处理：不施肥(CK)；常规施肥(CF)；60% 化肥 + 40% 有机肥(NPKG)；纯化肥(NPK)。每个处理小区面积 24 m²(6 m × 4 m), 重复 3 次, 采用随机区组排列。每个小区用水泥埂隔开, 其地下埋深 0.5 m, 高出地表 0.2 m, 宽 0.2 m, 每一区组单排单灌。水稻移栽前进行人工翻耕, 灌水。氮肥用尿素(含 N 460 g/kg), 磷肥用过磷酸钙(含 P₂O₅ 120 g/kg), 钾肥用氯化钾(K₂O 600 g/kg)。有机肥以冬紫云英和水稻秸秆为主。

除空白对照外, 各处理施肥水平一致。CF 处理的施肥量为 N 180 kg/hm²、P₂O₅ 75 kg/hm²、K₂O 120 kg/hm², 并添加猪粪肥 12 000 kg/hm²(N 6 g/kg, P₂O₅ 4 g/kg, K₂O 4.4 g/kg)。NPKG 处理的 40% 的 N 以有机肥(紫云英: N 4 g/kg, P₂O₅ 1 g/kg, K₂O 3 g/kg; 水稻秸秆: N 6 g/kg, P₂O₅ 3 g/kg, K₂O 11 g/kg)的形式施入, 相对于纯化肥处理不足的氮磷钾以无机化肥的形式施入。有机肥、猪粪肥和磷肥全部作基肥施用, 氮、钾肥按基肥 蘖肥 穗肥=5 3 2 的比例分 3 次施入。有机肥是绿肥和秸秆, 同猪粪肥在翻耕前一天施用, 分蘖肥在水稻插秧后 7 d 均匀撒施, 穗肥在水稻插后 45 d 撒施。其他的田间管理措施与当地的大田管理相同。具体施肥量见表 2。

表 2 2013—2015 年肥料施用情况(kg/hm²)
Table 2 Fertilizer uses from 2013 to 2015

处理	无机肥			有机肥		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	猪粪	紫云英	秸秆
CK	0	0	0	—	—	—
CF	108	75	120	12 000	—	—
NPKG	108	75	120	—	12 600	3 600
NPK	180	75	120	—	—	—

1.3 测定项目和方法

土壤养分含量：水稻收获时进行土壤样品采集, 用五点采样法采集 0 ~ 20 cm 耕层土壤, 采集的耕层土壤经混合均匀后, 将样品中的根系、石块等挑出,

用四分法处理, 最后剩余约 1 kg 样品, 每个处理重复 3 次。样品经自然风干, 磨碎, 过 10 目和 60 目筛, 用于测定土壤理化指标。土壤基本养分指标采用常规分析法测定^[14]：碱解氮采用碱解氮扩散法；有效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法；速效钾采用 1.0 mol/L 中性 NH₄OAc 浸提-原子吸收分光光度法。

水稻产量与构成：水稻成熟后每个小区五点取样法定 5 个点, 每个点连续取 20 穴测量有效穗数, 计算每穴平均有效穗数, 据此取有代表性水稻植株 5 穴, 脱粒后用水选法区分实粒(沉入水底的稻粒)和空瘪粒, 分别计数实粒数和空瘪粒数, 计算结实率。再从实粒中取 3 个 1 000 粒, 测量千粒重。测算理论产量的植株取样之后各小区全部齐地采收, 测定生物产量和稻谷实际产量。

1.4 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2013 和 SPSS20.0 软件进行处理和统计分析。

(氮、磷、钾)边际产量=(施肥处理产量-无肥处理产量)/(氮、磷、钾施入量)

2 结果与分析

2.1 不同施肥模式对土壤速效养分的影响

由表 3 可知, 荷花镇基础地力可代表低肥力稻田, 而北盛镇和达浒镇可代表中高肥力稻田。2013 年荷花镇稻田土壤碱解氮含量表现出常规施肥>无肥处理>纯化肥处理>60% 化肥 + 40% 有机肥处理; 随年限延长, 60% 化肥 + 40% 有机肥处理土壤碱解氮含量显著提高, 而纯化肥处理逐渐下降, 至 2015 年土壤碱解氮含量常规施肥处理显著高于其他处理。北盛镇和达浒镇, 不同年份间稻田土壤碱解氮含量均表现出 60% 化肥 + 40% 有机肥处理显著高于其他处理, 而纯化肥处理有逐年下降的趋势。出现此现象的原因可能是, 对于基础肥力较低的地区, 有机肥是一个缓效释放过程, 随时间延长, 有机物质所含养分被微生物分解释放, 从而逐年递增。而对于碱解氮含

量丰富的地区，土壤中碱解氮足够满足植株养分需求，加上有机养分的分解释放，从而使有机无机处理的速效养分含量迅速增加，而纯化肥处理缺乏有机养分的持续输入，加之水稻生长不断吸收土壤中氮素，使土壤中碱解氮含量逐渐下降。3 个试验点，土壤有效磷含量变化与碱解氮含量变化大体一致，有机无机配施处理有效磷含量均表现出随年份增加而增加；至 2015 年，60% 化肥 + 40% 有机肥处理含量最高，

相比纯化肥、常规施肥和无肥处理分别提高了 4.2 ~ 9.8、0.2 ~ 3.8、5.9 ~ 8.8 mg/kg。不同施肥模式对土壤速效钾含量的影响与对碱解氮和有效磷影响总体上类似，均表现为在种植前期，有机无机配施处理土壤速效钾含量相对其他处理较低，至 2015 年，60% 化肥 + 40% 有机肥处理含量最高。综上所述，有机无机配施处理相比施用纯化肥处理更能达到提高土壤速效养分含量和提供水稻植株所需养分的目的。

表 3 不同施肥模式对红壤稻田土壤速效养分的影响(mg/kg)
Table 3 Effects of fertilization modes on available nutrient contents in reddish paddy fields

年份	处理	荷花镇			达浒镇			北盛镇		
		碱解氮	有效磷	速效钾	碱解氮	有效磷	速效钾	碱解氮	有效磷	速效钾
2013	CK	84.3 b	5.6 a	43.3 a	159.7 c	3.6 c	54.7 b	173.3 b	18.6 b	138.3 a
	CF	99.3 a	4.2 c	42.3 ab	164.0 b	3.7 c	52.0 c	158.7 c	20.5 a	112.7 c
	NPKG	66.7 d	4.6 b	44.0 a	180.3 a	5.1 a	57.7 a	203.0 a	17.2 c	127.3 b
	NPK	78.3 c	4.5 bc	38.3 b	182.7 a	4.3 b	50.3 c	144.7 d	14.6 d	114.0 c
2014	CK	88.3 a	5.7 a	44.7 a	158.7 c	3.7 b	139.7 a	176.0 c	5.9 a	138.7 a
	CF	91.3 a	4.7 b	46.7 a	158.3 c	3.6 b	125.7 b	167.7 d	5.9 a	120.3 c
	NPKG	69.3 c	4.8 b	41.3 b	179.0 a	4.8 a	120.3 c	198.0 a	6.1 a	127.0 b
	NPK	74.3 b	4.9 b	39.7 b	173.7 b	4.7 a	124.3 bc	185.0 b	6.1 a	115.7 d
2015	CK	89.5 b	8.0 c	66.0 b	151.8 c	24.4 c	73.3 a	149.5 b	7.0 b	50.7 b
	CF	95.5 a	10.4 b	74.0 a	160.7 b	27.5 b	80.7 a	141.8 c	15.6 a	50.0 b
	NPKG	87.5 b	14.2 a	76.0 a	163.3 a	30.3 a	77.3 a	254.8 a	15.8 a	80.7 a
	NPK	66.5 c	10.0 b	64.7 b	144.0 d	24.1 c	60.7 b	145.4 c	6.0 c	77.3 a

注：同列数据后小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平，表 6 同。

2.2 不同施肥模式对水稻产量的影响

由表 4 可知，除 2015 年达浒镇外，达浒镇和荷花镇水稻生物产量在 3 a 中变化规律一致，即 60% 化肥 + 40% 有机肥处理>纯化肥处理>常规施肥处理>无肥处理；除 2014 年外，60% 化肥 + 40% 有机肥处理随年份推移生物产量表现出递增的趋势，而其余处理均表现出递减的趋势。而北盛镇除 2014 年外，水稻生物产量在 2a 中 60% 化肥 + 40% 有机肥处理>常规施肥处理>纯化肥处理>不施肥处理，不同处理间达显著差异。由表 5 可知，不同施肥措施对水稻边际产量影响很大。对于基础地力水平较低的荷花镇，在试验前 2 a 60% 化肥 + 40% 有机肥处理氮边际产量低于单施化肥处理，到 2015 年 60% 化肥 + 40% 有机肥处理最高；对于基础地力较高的北盛镇和达浒镇均表现出 60% 化肥 + 40% 有机肥处理氮边际产量最高。而不同施肥模式对磷和钾边际产量影响与对氮边际产量影响相反，3 a 时间内，有机无机配施处理均小于单施化肥处理。其原因可能是有机肥中磷和钾元素的分解释放，导致土壤中磷和钾丰余，从而使磷、钾边际产量降低。因此在施用有机肥时，应综合

考虑有机肥中的磷和钾含量。由图 1 可知，荷花镇和达浒镇 3 a 中水稻产量均表现为 60% 化肥 + 40% 有机肥处理>纯化肥处理>常规施肥处理>无肥处理，北盛镇 3 a 中水稻产量均表现为 60% 化肥 + 40% 有机肥处理产量最高。到 2015 年，3 试点 60% 化肥 + 40% 有机肥处理分别比纯化肥处理、常规施肥处理和无肥处理增产 1.7%~9.6%、8.4%~12.0%、38.3%~62.4%。高生

表 4 不同施肥模式对水稻生物产量的影响(kg/667m²)
Table 4 Effects of fertilization modes on rice biomass yields

试验点	年份	CK	CF	NPKG	NPK
荷花镇	2013	751 d	1 116 c	1 190 a	1 152 b
	2014	716 c	1 137 b	1 190 a	1 143 b
	2015	1 039 d	1 323 c	1 501 a	1 426 b
达浒镇	2013	734 d	1 190 c	1 254 a	1 218 b
	2014	727 d	1 148 c	1 204 a	1 178 b
	2015	1 274 c	1 335 b	1 442 a	1 332 b
北盛镇	2013	717 d	1 038 b	1 090 a	1 010 c
	2014	706 d	1 076 c	1 133 a	1 095 b
	2015	1 035 d	1 335 b	1 524 a	1 304 c

注：同行数据后不同小写字母表示处理间差异达 $P<0.05$ 显著水平。

表 5 不同施肥模式对水稻氮磷钾边际产量的影响(kg/kg)
Table 5 Effects of fertilization modes on rice marginal yields under N, P and K

养分	年份	荷花镇			达浒镇			北盛镇		
		CF	NPKG	NPK	CF	NPKG	NPK	CF	NPKG	NPK
氮	2013	14.8	16.7	17.5	17.8	20.6	19.5	13.9	15.6	13.2
	2014	16.9	17.5	19.2	18.0	19.7	18.5	14.3	16.3	14.7
	2015	12.2	17.3	16.4	9.4	15.3	12.2	17.5	21.9	17.0
磷	2013	21.7	30.6	42.0	26.0	37.8	46.7	20.3	28.7	31.6
	2014	24.7	32.1	46.0	26.3	36.2	44.4	21.0	30.0	35.2
	2015	17.9	31.7	39.3	13.8	28.1	29.2	25.6	40.3	40.7
钾	2013	15.4	15.2	26.2	18.5	18.8	29.2	14.5	14.3	19.8
	2014	17.6	16.0	28.8	18.7	18.0	27.8	14.9	14.9	22.0
	2015	12.7	15.8	24.5	9.8	14.0	18.2	18.2	20.0	25.4

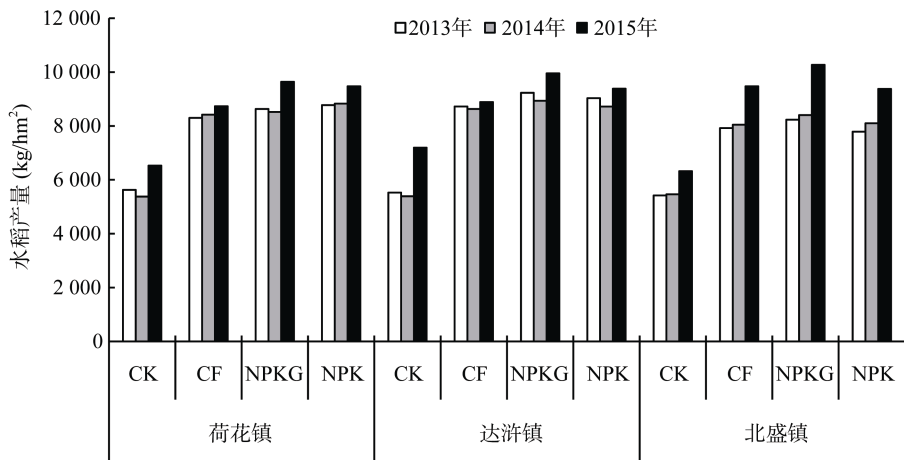


图 1 不同施肥模式对水稻实际产量的影响
Fig. 1 Effects of fertilization modes on rice actual yields

物产量对应高水稻产量潜力，无论低肥还是中高肥区，有机无机配施处理生物产量最高，水稻产量潜力最大。

2.3 不同施肥模式对水稻产量构成的影响

从表 6 水稻产量构成因素看，与不施肥相比，施肥处理显著增加了每穗粒数和有效穗数，处理间差异达到显著水平。3 个试点均表现为 60% 化肥 + 40% 有机肥处理水稻有效穗数最多，且与其他处理达到显著性差异；荷花镇与达浒镇纯化肥处理千

表 6 2015 年不同施肥模式对水稻产量构成的影响
Table 6 Effects of fertilization modes on rice yield components in 2015

试验点	处理	粒/穗	结实率(%)	千粒重(g)	有效穗(万/667m ²)	理论产量(kg/667m ²)
荷花镇	CK	132 c	80.3 a	27.3 c	13.39 d	387
	CF	167 b	71.4 d	27.3 c	15.80 c	514
	NPKG	177 a	77.6 b	27.8 b	16.76 a	640
	NPK	174 ab	76.6 c	28.1 a	16.28 b	610
达浒镇	CK	149 c	79.8 a	26.1 c	13.92 d	432
	CF	178 b	76.6 c	26.1 c	16.77 b	597
	NPKG	189 a	76.3 d	26.6 b	17.00 a	652
	NPK	180 b	77.1 b	27.6 a	16.30 c	624
北盛镇	CK	136 c	79.1 a	29.6 b	15.51 c	494
	CF	163 b	72.7 d	30.1 a	17.76 b	633
	NPKG	180 a	73.5 c	29.2 c	18.11 a	700
	NPK	164 b	74.4 b	29.3 bc	18.57 a	664

粒重最大,北盛镇则表现为常规施肥处理千粒重最大;结实率则表现为不施肥处理显著高于其他 3 种施肥模式。说明 60% 化肥 + 40% 有机肥处理提高水稻产量主要是因为其有效穗数显著增加,同时其每穗粒数相对较多;而不施肥处理产量低于其他处理是因为其每穗粒数和有效穗数显著低于其他 3 种施肥模式,但千粒重与其他处理相差不大,结实率甚至显著高于其他处理。

3 讨论

3.1 不同施肥模式对稻田土壤速效养分含量的影响

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^[15]。张成兰等^[16]提出,有机无机肥配施能够显著增加土壤中碱解氮含量。张小莉等^[17]提出有机无机复混肥相比化肥处理通过促进土壤中有益菌的生长,改善了土壤供氮特性,提高了氮素利用率,从而提高了土壤中碱解氮的含量。但也有试验表明,单施有机肥用量达 60 t/hm² 时,氮生理利用效率明显降低^[15],其主要原因可能是长期大量施用有机肥使土壤养分含量超过水稻利用的浓度范围。本试验结果显示,有机无机配施能显著增加土壤中碱解氮含量,对于基础地力较低稻田,随年限延长,碱解氮含量不断增加,这与贡付飞等^[18]试验结果一致。而对于中高肥力稻田,3 a 时间内 60% 化肥 + 40% 有机肥处理碱解氮含量显著高于其他处理,且显著高于常规施肥处理,说明绿肥和秸秆的混合施用更有利于土壤中氮的矿化。60% 化肥 + 40% 有机肥处理较单施化肥处理能够显著提高土壤碱解氮含量,原因可能是随着氮施用量的增加,土壤中氮素出现盈余,但有机无机配施处理能够有效降低盈余量,从而减少氮素渗漏、挥发等损失的风险^[9]。王敬等^[19]研究指出,有机肥显著提高了初级矿化-同化周转率。笔者认为,对于低肥区稻田,应适度增加施肥量并加大无机化肥在有机无机配施中的比例;而对于中高肥力稻田则与之相反,从而达到真正培肥土壤的效果。

有研究表明,施用有机肥料能减少土壤对磷的固定和磷素流失^[20],提高磷肥的有效性和利用率。本研究表明,3 个不同肥力地区,荷花镇土壤有效磷含量无肥处理显著高于其他处理,但随时间推移,60% 化肥 + 40% 有机肥处理有效磷含量增加,到 2015 年 60% 化肥 + 40% 有机肥处理含量最高;而北盛镇和达浒镇土壤有效磷含量在 3 a 时间内,60% 化肥 + 40% 有机肥处理均显著高于纯化肥处理,到 2015 年 60% 化肥 + 40% 有机肥处理相比纯化肥、

常规施肥和无肥处理分别提高了 4.2 ~ 9.8、0.2 ~ 3.8、5.9 ~ 8.8 mg/kg。表明秸秆+紫云英作为有机肥能显著增加土壤有效磷含量,原因可能是:有机肥本身含有一定数量的磷,这部分磷易于分解释放;有机肥施入后增加有机质含量,而有机质可减少无机磷的固定,并促进无机磷的降解^[21];长期有机无机肥配施显著增加了土壤中各形态无机磷的含量,增强了其在土壤中的移动,促进了土壤磷素向有效态转化^[22]。

周晓芬等^[23]曾提出有机肥与水溶性化肥相比,有机肥速效钾和缓效钾被土壤固定程度明显降低,故在土壤中有效性较高。本研究结果显示,相比碱解氮和有效磷含量变化,3 个地区土壤速效钾含量变化规律类似,到 2015 年,有机无机配施处理土壤速效钾含量显著高于其他处理。综上所述,60% 化肥 + 40% 有机肥通过加速氮磷钾元素循环与代谢,从而显著增加了土壤中速效养分的含量,改善了土壤质量。

3.2 不同施肥模式对红壤稻田水稻产量及产量构成的影响

关于施肥对水稻生物产量的影响,3 个试验点 3 a 时间内均表现出 60% 化肥 + 40% 有机肥处理显著高于其他处理,且有逐年递增的趋势。荷花镇和达浒镇水稻实际产量 3 a 数据均表现为 60% 化肥 + 40% 有机肥处理 > 纯化肥处理 > 常规施肥处理 > 不施肥处理,北盛镇为 60% 化肥 + 40% 有机肥处理 > 常规施肥处理 > 纯化肥处理 > 不施肥处理,不同地区均为有机无机配施处理水稻产量最高,这与前人研究结果一致^[24]。有研究表明,有机无机配施能显著增加每穗粒数^[25]、结实率^[26]、有效穗数^[27],从而实现水稻高产。本试验中,施肥处理相比无肥处理,穗粒数和有效穗数显著提高,但施肥处理结实率显著小于无肥处理。这与李先等^[1]研究结果相似。有研究结果表明,低量有机无机配施处理在水稻前期养分释放太多导致后期供应较弱;而高量有机无机配施处理水稻前期养分供应太少,从而导致水稻结实率和千粒重下降^[28]。因此本研究下一步将对不同肥力地区有机无机不同配施比例进行考察。本试验研究结果还表明,水稻磷、钾边际产量均随有机肥的施入而降低,单施化肥处理磷、钾边际产量最高,笔者认为,在有机无机配施条件下,不应只注重氮肥,还应注重磷钾肥的平衡施入,从而使经济效益最大化。综上,60% 化肥 + 40% 有机肥处理显著提高了水稻产量可能是因为有机无机配施提高了单位面积的有效穗数和每穗粒数,导致单位面积颖花数显著增加。

3.3 不同基础地力土壤对施肥模式响应的差异性

不同施肥对不同基础地力红壤稻田的影响不同。贾俊仙等^[29]研究表明,施用尿素条件下,高肥力红壤性水稻土硝化作用的增强幅度显著高于低肥力土壤。本试验中,对于基础地力较低的荷花镇,碱解氮含量表现出常规施肥处理含量最高,60%化肥+40%有机肥处理含量最低,但水稻产量表现为单施化肥处理最高,无肥处理最低。其原因可能是化肥迅速补充了水稻所需速效养分,而有机肥处理无法短期满足作物所需,但植株仍从土壤中获取养分,导致土壤中速效养分显著降低^[30-31]。对于基础地力中等的达浒镇和北盛镇2个试验点,水稻产量均为60%化肥+40%有机肥处理最高,土壤碱解氮和有效磷含量均表现出60%化肥+40%有机肥处理>常规施肥、单施化肥处理。因此根据土壤肥力水平,有针对性地调整施肥措施,才能更好发挥土地生产潜力,增加水稻产量。鲁艳红等^[32]通过盆栽试验表明对于地力水平较低的农田土壤,应注重合理施肥,培育和提高农田土壤肥力;地力水平较高的土壤也应注重高效合理补充养分。本试验结果表明,基础地力较低土壤,速效养分含量较低,有机肥无法短时间满足作物生长所需,而单施纯化肥能够及时满足水稻所需养分,显著提高水稻产量,而对于基础地力较高土壤,速效养分含量较高,大量无机化肥施入,土壤养分有盈余,使土壤中养分流失严重,而有机无机配施保证了土壤中养分持续供应,从而使水稻产量能够高产稳产。综上所述,笔者认为在施用有机肥时应考虑土壤肥力水平,对于肥力较低土壤,在增加施肥量的基础上,加大无机化肥比例;而对于肥力较高土壤则相反,从而实现水稻的高产稳产。

4 结论

红壤稻田长期施肥能够显著提高水稻产量和土壤速效养分含量,具体表现为60%化肥+40%有机肥处理通过增加有效穗数和穗粒数使水稻产量最高。水稻生物产量是水稻实际产量显著提高的基础,本研究表明60%化肥+40%有机肥处理相比其他处理显著提高了水稻生物产量,产量潜力最大,且表现出逐年递增的趋势。磷钾边际产量随有机肥的施入而降低。而对于土壤养分的影响,基础地力较低的稻田速效养分含量在前期以纯化肥处理较高,而中等肥力稻田,有机肥培肥效果好于单施化肥处理,但无论是低肥力还是高肥力稻田,有机无机配施处理速效养分含量均表现出逐年递增,并最终显著高于其他处

理。因此长期施肥具有明显培肥地力的作用,有机无机配合施用的施肥模式培肥地力的效果最为明显,但施用有机肥的同时须兼顾氮磷钾元素的平衡施入。

参考文献:

- [1] 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
- [2] 李燕青,赵秉强,李壮. 有机无机结合施肥制度研究进展[J]. 农学学报, 2017, 7(7): 22-30
- [3] 魏猛,张爱君,诸葛玉平,等. 长期不同施肥方式对黄潮土肥力特征的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(3): 838-846
- [4] 高菊生,徐明岗,王伯仁,等. 长期有机无机肥配施对土壤肥力及水稻产量的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(8): 211-214
- [5] 张辉,李维炯,倪永珍. 一种生物有机无机复合肥的养分释放规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(6): 1123-1126
- [6] 唐海明,程爱武,徐一兰,等. 长期有机无机肥配施对双季稻区水稻干物质积累及产量的影响[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(6): 1091-1098
- [7] 吴其聪,张丛志,张佳宝,等. 不同施肥及秸秆还田对潮土有机质及其组分的影响[J]. 土壤, 2015, 47(6): 1034-1039
- [8] 邹文秀,梁尧,郝翔翔,等. 黑土颗粒有机碳和氮含量对有机肥剂量响应的定量关系[J]. 土壤, 2016, 48(3): 442-448
- [9] 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
- [10] 黄晶,张杨珠,高菊生,等. 长期施肥下红壤性水稻土有机碳储量变化特征[J]. 应用生态学报, 2015, 26(11): 3373-3380
- [11] 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
- [12] Zhang H M, Xu M G, Shi X J, et al. Rice yield, potassium uptake and apparent balance under long-term fertilization in rice-based cropping systems in southern China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2010, 88: 341-349
- [13] 高学振,张丛志,张佳宝,等. 生物炭、秸秆和有机肥对砂姜黑土改性效果的对比研究[J]. 土壤, 2016, 48(3): 468-474
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析(第3版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007
- [15] 陈贵,赵国华,张红梅,等. 长期施用有机肥对水稻产量和氮磷养分利用效率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(1): 92-97
- [16] 张成兰,艾绍英,杨少海,等. 双季稻-绿肥种植系统下长期施肥对赤红壤性状的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(5): 184-189

- [17] 张小莉, 孟琳, 王秋君, 等. 不同有机无机复混肥对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 624-630
- [18] 贡付飞, 查燕, 武雪萍, 等. 长期不同施肥措施下潮土冬小麦农田基础地力演变分析[J]. 农业工程学报, 2013(12): 120-129
- [19] 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
- [20] 张玉平, 荣湘民, 刘强, 等. 有机无机肥配施对旱地作物养分利用率及氮磷流失的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(3): 44-48
- [21] 赵晓齐, 鲁如坤. 有机肥对土壤磷素吸附的影响[J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 7-13
- [22] 韩晓飞, 高明, 谢德体, 等. 长期定位施肥条件下紫色土无机磷形态演变研究[J]. 草业学报, 2016, 25(4): 63-72
- [23] 周晓芬, 张彦才, 李巧云. 有机肥料对土壤钾素供应能力及其特点研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 67-69
- [24] 董春华, 曾闹华, 高菊生, 等. 长期不同施肥模式下红壤性稻田水稻产量及有机碳含量变化特征[J]. 中国水稻科学, 2014, 28(2): 193-198
- [25] 刘红江, 陈虞雯, 孙国峰, 等. 有机肥-无机肥不同配施比例对水稻产量和农田养分流失的影响[J]. 生态学杂志, 2017, 36(2): 405-412
- [26] 鲁耀雄, 崔新卫, 范海珊, 等. 有机无机肥配施对湖南省晚稻生长、产量及土壤生物学特性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015, (5): 50-55
- [27] 向秀媛, 刘强, 荣湘民, 等. 有机肥和无机肥配施对双季稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(1): 72-77
- [28] 唐先干, 刘光荣, 徐昌旭, 等. 有机无机肥配施对稻穗不同部位粒重与结实率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1336-1342
- [29] 贾俊仙, 李忠佩, 刘明, 等. 施用氮肥对不同肥力红壤性水稻土硝化作用的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(4): 329-333
- [30] 严奉君, 孙永健, 马均, 等. 秸秆覆盖与氮肥运筹对杂交稻根系生长及氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(1): 23-35
- [31] 万水霞, 唐杉, 蒋光月, 等. 紫云英与化肥配施对土壤微生物特征和作物产量的影响[J]. 草业学报, 2016, 25(6): 109-117
- [32] 鲁艳红, 廖育林, 聂军, 等. 连续施肥对不同肥力稻田土壤基础地力和土壤养分变化的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(21): 4169-4178

Effects of Fertilization Modes on Available Nutrient Contents of Reddish Paddy Soils and Rice Yields

FANG Changyu, TU Naimei*, ZHANG Qingzhuang, YI Zhenxie
(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: A experiment was conducted from 2013 to 2015 in three reddish paddy fields under different nutrient levels to comprehensively evaluate the effects of different fertilization modes on available nutrient contents and rice yields in order to find the best fertilization mode. The tested fields were located respectively in Beisheng, Lotus and Dahu towns in Liuyang, eastern Hunan. The fertilization modes included CK, no-fertilizer; CF, conventional fertilizer; NPKG, 60% chemical fertilizer + 40% organic manure (straw + astragalus smicus, equivalent nitrogen substitution); and NPK, single chemical fertilizer. The results showed that compared with CK, other fertilization modes significantly increased rice biological yield, NPKG mode was the best and in which rice biomass yield showed a continuous increasing trend. Compared with CK, NPK and CF modes, rice yields under NPKG mode were increased 38.3%-62.4%, 1.7%-9.6% and 8.4%-12.0% respectively by promoting the number of productive ear and seeds per ear. The contents of rapid available nutrients in soils under NPKG mode showed an increasing trend and were significantly higher than those of other fertilization modes, while the contents of rapid available nutrients in soils under CF mode decreased gradually. From the aspect of crop yield, the proportion of chemical fertilizer in NPKG mode should be increased in the low fertility area, but the proportion of organic manure should be increased from the long term in terms of promoting soil fertility, while for the middle-high fertility area, the proportion of organic fertilizer should be increased gradually. Non-fertilization will decrease but fertilization increase soil available nutrients, in which NPKG mode is optimal in promoting soil fertility and rice yield.

Key words: Fertilization mode; Biomass yield; Rapid available nutrient content; Rice yield