

长期施肥对南方黄泥田水稻养分吸收利用的影响

戴竞雄¹, 王 飞^{2*}

(1. 福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350002;
2. 福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福建 福州 350013)

摘 要: 黄泥田为南方广泛分布的一类中低产田, 为探明长期不同施肥模式对水稻养分吸收利用的影响, 基于南方黄泥田连续 35 年长期定位试验平台, 设置 1) 不施肥 (CK), 2) 单施化肥 (NPK), 3) 化肥 + 牛粪 (NPKM), 4) 化肥 + 稻秆还田 (NPKS) 4 个处理, 于试验的第 35 年分析水稻各生育期的植株养分与累积吸收利用。结果表明, 长期施肥均提高了水稻籽粒和秸秆产量, 其中籽粒产量增幅 61.1% ~ 97.7%, 以 NPKM 与 NPKS 处理最高, 其籽粒产量分别较 NPK 处理提高 22.7% 和 20.4%。与 CK 相比, 各施肥处理成熟期籽粒 N、P、K 吸收量分别增幅 137.6% ~ 206.2%、86.0% ~ 172.4% 和 71.6% ~ 142.5%, 茎叶 N、P、K 吸收量分别增幅 98.4% ~ 240.8%、145.7% ~ 419.8%、94.4% ~ 142.8%, 且均以 NPKM 处理最高。施肥的土壤有机质、碱解 N、速效 K 含量分别较 CK 增幅 21.0% ~ 42.1%、34.0% ~ 86.0% 和 40.9% ~ 127.3%, 差异均达显著水平, 有机质、碱解 N 及有效 P 含量以 NPKM 处理提升最为显著, 速效 K 含量以 NPKS 处理提升最为明显。不论是籽粒、茎秆还是地上部植株, 成熟期 N、P、K 养分吸收量均与土壤有机质含量呈极显著正相关, 且 N、P、K 养分吸收量分别与相应的土壤碱解 N、有效 P 及速效 K 含量呈显著正相关。综合考虑施肥对水稻产量、养分利用与稻田土壤肥力的影响, NPKM 与 NPKS 处理优于 NPK, 而 NPKM 与 NPKS 二者产量基本相当。土壤有机质是影响黄泥田水稻植株 N、P、K 养分吸收累积的关键因子。

关键词: 长期施肥; 黄泥田; 水稻; 吸收量; 养分吸收

随着我国人口不断增加与耕地面积逐年减少, 提高粮食单产成为保障粮食安全的重要目标。水稻土是南方最主要的农田土壤, 其植稻面积占全国的 82%, 但南方稻区低产水稻土占 1/3, 改造中低产田是提高粮食综合生产能力, 保证我国粮食安全的重要途径^[1]。黄泥田为南方低产水稻田发育程度较低的一类水稻土, 因其水耕熟化时间短, 熟化程度低, 土质粘重, 有机质含量低, 磷、钾元素缺乏, 抵御自然灾害能力差等, 导致水稻产量低^[2-4]。黄泥田主要分布在我国广东、广西、福建、贵州、湖北、江西等省, 面积约有 140 万 hm^2 ^[5]。因此, 对低产黄泥田进行科学改良有助于提高粮食单产, 同时, 我国每年秸秆产量有 9 亿 t, 加工副

产物有 5.8 亿 t, 这些加工副产物综合利用率平均不到 40%, 2011 年, 按照中国畜禽粪尿年排放量折算成氮肥纯量为 1 009 万 t, 磷肥纯量 281.6 万 t, 钾肥纯量 1 037.4 万 t, 合计折算化肥总纯量约为 2 328 万 t, 并可提供有机质约为 1.96 亿 t^[6]。作物秸秆和畜禽粪便均是重要的有机肥源, 长期秸秆还田与施用畜禽粪便有机肥对水稻产量及土壤肥力影响已有较多报道^[7-9], 但长期施用畜禽粪肥与秸秆还田对黄泥田水稻养分吸收利用影响的研究尚少见报道, 而后者有利于揭示黄泥田长期有机无机肥配施下的养分利用状况, 进而构建水稻养分高效利用施肥模式。为此, 本研究以福建黄泥田连续 35 年的定位试验为平台, 探讨长期不同施肥对黄泥田水稻生育期养分变化及吸收利用的影响, 旨在为有机肥源养分高效利用及农田质量提升进而提高单产提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与试验地概况

试验设在闽侯县白沙镇溪头村农业农村部福建

收稿日期: 2019-09-27; 录用日期: 2019-12-30

基金项目: 国家重点研发计划子课题 (2018YFD02003035*); 闽侯农田生态系统福建省野外科学观测研究站 (闽科基 [2018] 17 号); 福建省属公益类科研院所基本科研专项 (2016R1021-2)。

作者简介: 戴竞雄 (1995-), 男, 安徽省六安人, 硕士研究生, 从事植物营养与肥料研究。E-mail: 1463538756@qq.com。

通讯作者: 王飞, E-mail: fjwangfei@163.com。

耕地保育观测实验站内。供试土壤为渗育型水稻土黄泥田土属,成土母质为低丘坡积物,土壤初始基本化学性状:pH 4.90,有机质 $21.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮 $141 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效磷 $12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。试验始于1983年,设4个处理:1)不施肥(CK);2)单施化肥(NPK);3)化肥+牛粪(NPKM);4)化肥+全部稻草回田(NPKS)。每处理设3次重复,小区面积 12 m^2 ,随机区组排列。每季施用化肥量为 $\text{N } 103.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $27 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。牛粪养分平均含量为有机质 $394.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $\text{N } 15.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 P_2O_5 $8.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 K_2O $11.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,每茬施用量 $3750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,稻草施用量为上茬稻草全部回田,稻草平均养分含量为有机C $377.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $\text{N } 8.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 P_2O_5 $2.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 K_2O $29.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。N、K肥的50%作基肥,50%作分蘖追肥,P肥全部作基肥施肥。N肥为尿素、P肥为过磷酸钙、K肥为氯化钾。各处理除施肥外,其它管理措施一致。水稻品种每3~4年轮换一次,与当地主栽品种保持一致。2017年水稻种植品种为‘中浙优8号’。

1.2 分析测试及指标计算

分别于2017年水稻的分蘖期、抽穗期和成熟期采集植株分析,于每个试验小区随机取两丛植株进行养分分析。参照鲁如坤^[10]方法,植物全氮测定用 H_2SO_4 -混合加速剂-蒸馏法,植物全磷测定用钒钼黄比色法,植物全钾测定用 H_2SO_4 - H_2O_2 消煮-火焰光度法。于水稻成熟期采集各小区土壤分析化学特性,按常规方法测定,参照鲁如坤^[10]方法。

养分吸收量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 收获物干重 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) $\times$ 收获物养分含量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

1.3 统计分析

采用Excel 2016和DPS 2006进行数据处理、统计与方差分析,采用Origin 8作图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥模式对分蘖期水稻长势的影响

图1显示,不同施肥模式均提高了水稻分蘖期的分蘖数,从7月25日至8月22日5次观测结果来看,NPK处理的分蘖数比CK增幅2.6~4.6穗/丛,NPKM处理增幅2.8~5.0穗/丛,NPKS处理增幅3.0~5.8穗/丛,说明不同施肥模式以NPKS与NPKM分蘖期分蘖数增长最为明显;从株高5次观

测结果来看(图2),NPK处理较CK增幅7~23.4 cm,NPKM处理增幅7~35.6 cm,NPKS处理增幅7.2~25.8 cm,说明施肥均明显促进了株高生长,且NPKM与NPKS处理的分蘖期株高生长速率要优于NPK处理,这为后期水稻高产打下良好基础。

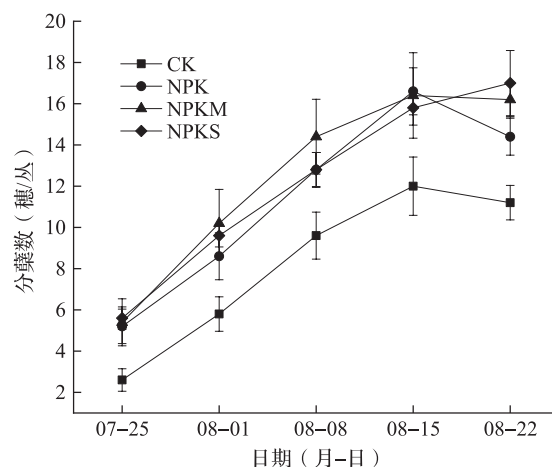


图1 不同施肥下水稻分蘖期分蘖数

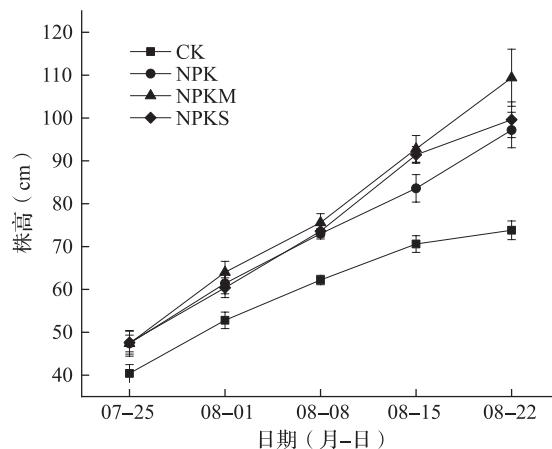


图2 不同施肥下水稻分蘖期株高

2.2 不同施肥模式对成熟期水稻产量的影响

表1显示,长期施肥均提高了水稻籽粒产量与秸秆产量,其中当季籽粒产量增幅61.1%~97.7%,秸秆产量增幅69.5%~112.0%,差异均显著。与NPK处理相比,NPKM与NPKS处理的籽粒产量分别增产22.7%与20.4%,差异均显著($P<0.05$),秸秆产量分别增产25.0%和15.0%,差异均显著($P<0.05$),但NPKM和NPKS的籽粒产量与秸秆产量均无显著差异。

从成熟期水稻经济性状因子来看,施肥的有效穗较CK增幅40.7%~80.5%,差异均显著

($P<0.05$), 且以 NPKM 最高, 施肥的每穗实粒数较 CK 增幅 40.7% ~ 80.5%, 其中 NPKM 与 NPKS 处理与 CK 差异均显著 ($P<0.05$), 同样以 NPKM 处理提高最为明显, 不同施肥处理的千粒重以 NPK 处理最为明显, 较 CK 提高 2.5%, 差异显著 ($P<0.05$), NPKM 与 NPKS 处理的籽粒千粒重则较 NPK 处理分别降低 4.1% 与 5.3%, 差异显著 ($P<0.05$)。

表 1 不同施肥下水稻成熟期产量及经济性状因子

处理	有效穗 ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	每穗 实粒数 (粒)	千粒重 (g)	籽粒产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	秸秆产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
CK	118c	124.1c	23.11b	4 164c	2 943c
NPK	166b	142.6bc	23.69a	6 709b	4 989b
NPKM	213a	175.8a	22.73bc	8 231a	6 238a
NPKS	178b	157.4ab	22.42c	8 078a	5 737a

注: 同一列中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.3 不同施肥模式对水稻生育期植株养分含量的影响

2.3.1 不同施肥模式对各生育期茎叶养分含量的影响

图 3 显示, 各生育期茎叶 N、P、K 养分含量均以分蘖期含量最高, 随着生育期的延长, N、P 养分含量呈总体降低趋势, K 素呈先降低后升高的趋势。图 3a 显示, 施肥均不同程度提高了各生育期茎叶 N 含量, 其中分蘖期较 CK 增幅 10.4% ~ 32.0%, 以 NPKM 处理最高, NPKM 与 NPKS 处理的茎叶含量也显著高于 NPK 处理 ($P<0.05$), 施肥同样均提高了抽穗期的茎叶 N 含量, 但与 CK 无显著差异, 成熟期施肥均提高了茎叶 N 含量, 其中 NPKM 和 NPKS 处理的茎叶 N 含量分别比 CK 提高 61.0% 和 42.0%, 差异显著 ($P<0.05$); 从茎叶 P 素含量来看 (图 3b), 不同施肥模式均不同程度提高了各生育期茎叶 P 素含量, 其中分蘖期较 CK 增幅 35.1% ~ 85.1%, 以 NPKM 处理最高, 与 CK 差异显著, 抽穗期各处理茎叶 P

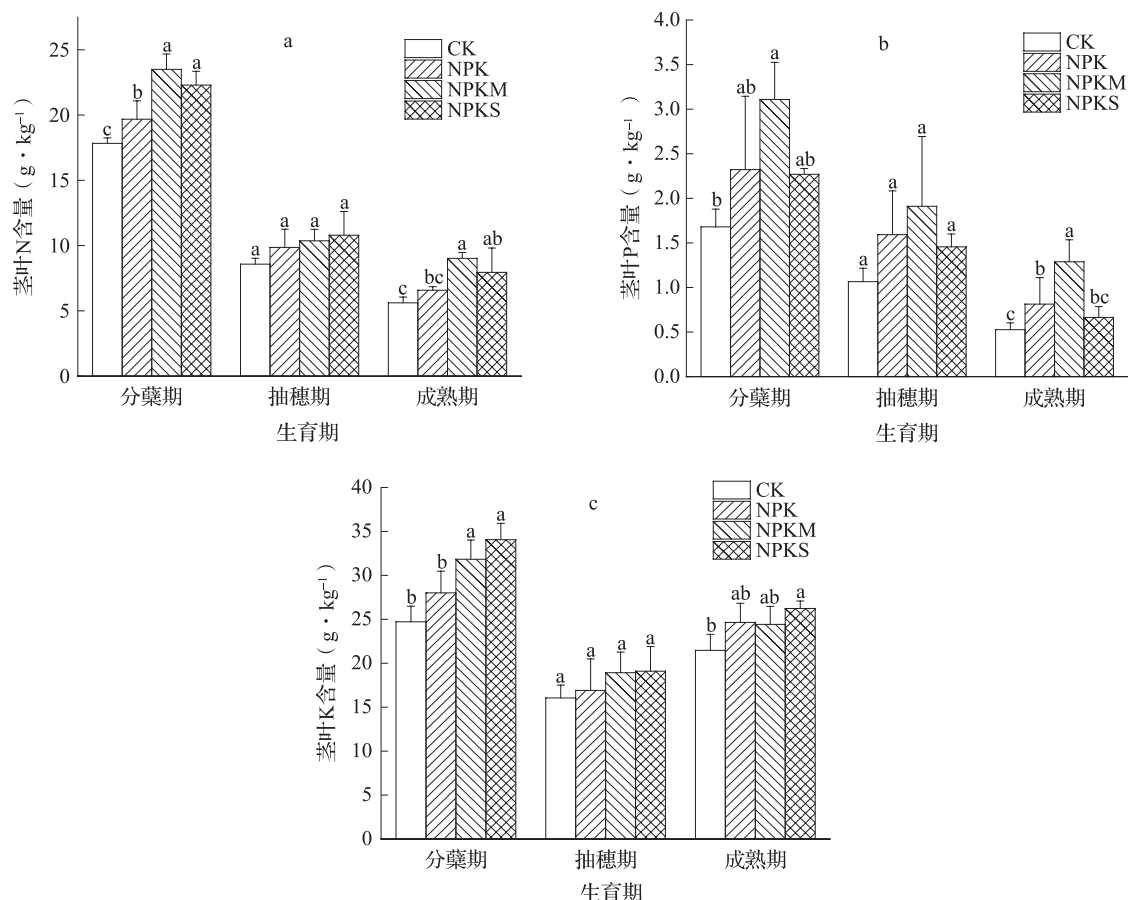


图 3 不同施肥下水稻各生育期茎叶 N、P、K 养分含量

含量无显著差异,而成熟期各施肥模式茎叶 P 含量较 CK 增幅 26.0% ~ 144.2%, 同样以 NPKM 处理最为明显,其次为 NPK 处理,与 CK 差异均显著 ($P<0.05$)。从茎叶 K 素含量来看 (图 3c), 施肥均不同程度提高了分蘖期茎叶 K 素含量,其中 NPKS 与 NPKM 处理分别较 CK 提高 38.0% 和 29.0%, 差异均显著 ($P<0.05$), 二者的茎叶 K 含量也显著高于 NPK 处理 ($P<0.05$), 分别提高 14.0% 和 22.0%, 抽穗期不同处理的茎叶 K 含量无显著差异, 成熟期各施肥均不同程度提高了茎叶 K 素含量, 其中

NPKS 处理的 K 素含量最高, 较 CK 提高 22.2%, 差异显著 ($P<0.05$)。

2.3.2 不同施肥模式对成熟期籽粒养分含量的影响

由图 4 可得, 不同施肥模式均不同程度提高了籽粒中 N 含量 (图 4a), 以 NPKM 处理最高, 但差异不显著; 施肥均提高了籽粒 P 素含量, 以 NPKM 与 NPKS 处理较高, 但各处理差异未达到显著水平 (图 4b), 从籽粒 K 素来看 (图 4c), 施肥均提高了籽粒 K 含量, 增幅 5.9% ~ 22.0%, 其中以 NPKM 处理最高, 与 CK 差异达到显著水平 ($P<0.05$)。

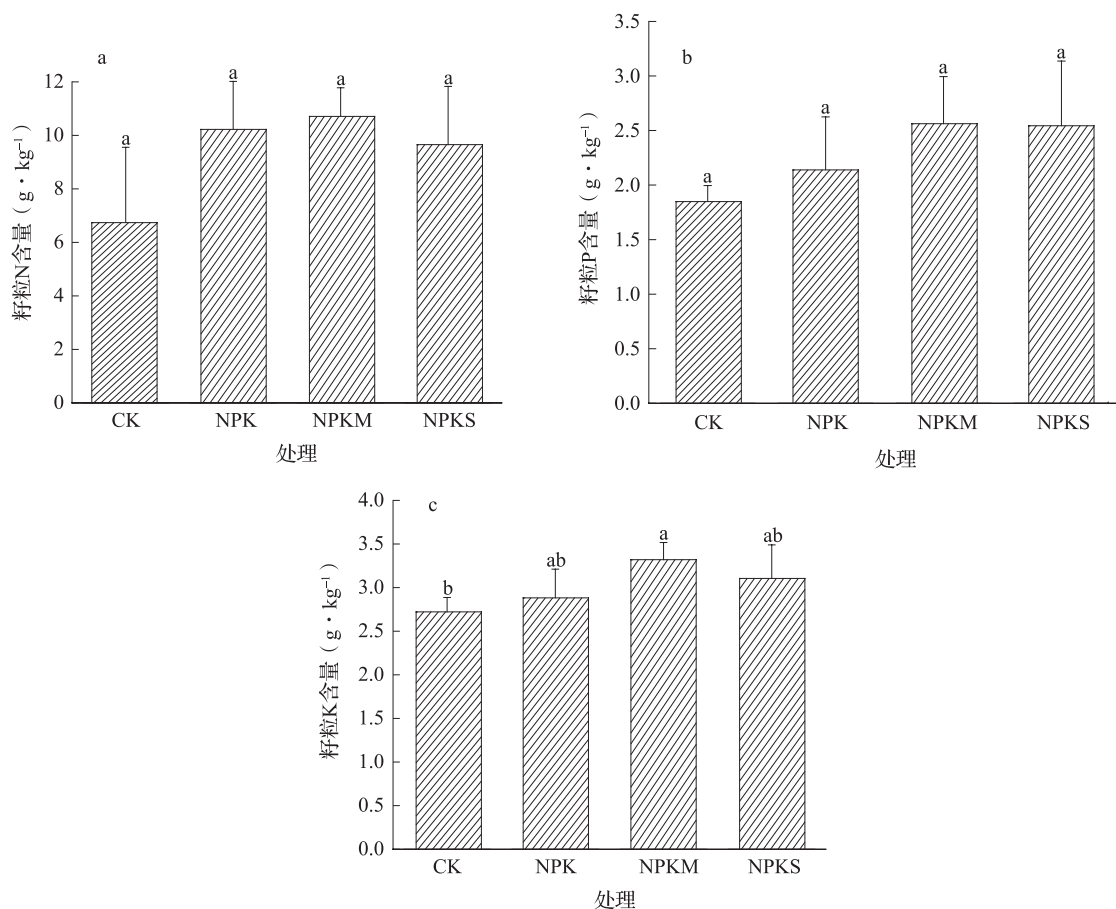


图 4 不同施肥下水稻成熟期籽粒养分含量

2.4 不同施肥模式对生育期水稻 N、P、K 养分吸收的影响

由表 2 可得, 施肥均不同程度提高了各生育期 N 吸收量, 其中分蘖期较 CK 增幅 123.5% ~ 225.3%, 以 NPKM 处理最高, 与 CK 差异均显著 ($P<0.05$); 抽穗期 N 吸收量较 CK 增幅 67.1% ~ 90.1%, 以 NPK 处理最高, 但 NPK、NPKM 和 NPKS 处理间无显著差异; 成熟期施肥籽粒的 N 吸收量较 CK 增幅 137.6% ~ 206.2%, 与 CK 差异均达到显著

水平 ($P<0.05$), 但 NPK、NPKM 和 NPKS 处理间无显著差异, 成熟期施肥茎叶 N 吸收量较 CK 增幅 98.4% ~ 240.8%, 与 CK 差异均显著 ($P<0.05$), 以 NPKM 处理最为明显。

从 P 吸收量来看, 施肥处理分蘖期 P 吸收量较 CK 增幅 136.7% ~ 349.8%, 以 NPKM 处理最高, 其次是 NPK 处理, 二者与 CK 差异均显著 ($P<0.05$); 不同施肥处理均提高了抽穗期茎叶 P 吸收量, 但差异未达显著水平; 成熟期施肥处理的籽

粒 P 吸收量较 CK 提高 86.0% ~ 172.4%，茎叶 P 吸收量较 CK 增幅 145.7% ~ 419.8%，差异均显著 ($P<0.05$)，均以 NPKM 处理最高。

从 K 素吸收量来看，分蘖期各施肥处理的 K 吸收量较 CK 增幅 147.1% ~ 216.7%，差异均显著 ($P<0.05$)，以 NPKM 处理最高；抽穗期施肥的茎

叶 K 吸收量较 CK 增幅 60.5% ~ 82.4%，其中 NPK 与 NPKS 处理较 CK 差异显著 ($P<0.05$)；成熟期施肥的籽粒 K 吸收量较 CK 增幅 71.6% ~ 142.5%，茎叶中 K 吸收量较 CK 增幅 94.4% ~ 142.8%，差异均显著 ($P<0.05$)，且均以 NPKM 处理最高。

表 2 不同施肥下水稻地上部植株 N、P、K 养分吸收量 ($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$)

养分	处理	分蘖期茎叶	抽穗期茎叶	成熟期		
				籽粒	茎叶	地上部
N	CK	47.03c	54.95b	28.85b	16.56c	45.41c
	NPK	127.65ab	107.78a	68.55a	32.85b	101.40b
	NPKM	152.96a	91.82a	88.35a	56.43a	144.78a
	NPKS	105.10b	104.45a	77.68a	46.00ab	123.68ab
P	CK	4.52c	6.87a	7.75c	1.56c	9.31c
	NPK	15.25ab	17.47a	14.42b	4.13b	18.55b
	NPKM	20.32a	16.51a	21.11a	8.11a	29.21a
	NPKS	10.69bc	14.62a	20.30ab	3.83b	24.13a
K	CK	65.20b	102.92b	11.29c	63.01c	74.30c
	NPK	181.90a	187.74a	19.37b	122.47b	141.84b
	NPKM	206.49a	165.18ab	27.37a	152.98a	180.36a
	NPKS	161.13a	184.10a	24.91a	150.52a	175.43a

2.5 不同施肥模式对土壤有机质及 N、P、K 养分的影响

表 3 显示，长期不同施肥表现出明显的肥力差异。从有机质含量来看，各施肥处理较 CK 增幅 21.0% ~ 42.1%，差异均显著 ($P<0.05$)，NPKM 与 NPKS 处理的有机质含量也显著高于 NPK 处理 ($P<0.05$)，分别提高 17.4% 与 14.7%，而 NPKM 与 NPKS 处理间无显著差异；从碱解 N 来看，施肥

较 CK 差异显著 ($P<0.05$)，增幅 34.0% ~ 86.0%，以 NPKM 处理最高，不同施肥模式有效 P 含量以 NPKM 处理最高，较 CK 提高 177.4%，差异显著 ($P<0.05$)，且 NPKM 处理有效 P 含量也明显高于 NPK 与 NPKS 处理 ($P<0.05$)；从速效 K 来看，各施肥处理较 CK 增幅 40.9% ~ 127.3%，差异均显著 ($P<0.05$)，其中以 NPKS 处理最高，且 NPKS 处理的速效 K 含量也显著高于 NPKM 与 NPK 处理。

表 3 不同施肥下土壤有机质与 N、P、K 养分含量

处理	有机质 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碱解 N ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效 P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效 K ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
CK	21.45c	93.89c	3.59b	23.21c
NPK	25.96b	125.56b	4.61b	35.86b
NPKM	30.47a	174.36a	9.96a	32.70b
NPKS	29.78a	143.82b	5.50b	52.74a

表 4 成熟期植株养分吸收量 (y) 与土壤肥力因子 (x) 回归方程

项目	有机质	碱解 N	有效 P	速效 K
籽粒 N 吸收量	$y=5.526 5x-82.883,$ $R^2=0.703^{**}$	$y=0.667 1x-23.806,$ $R^2=0.650 9^{**}$	—	—
籽粒 P 吸收量	$y=1.336 9x-20.087,$ $R^2=0.735 5^{**}$	—	$y=1.509 2x+6.967 1,$ $R^2=0.425 9^*$	—
籽粒 K 吸收量	$y=1.610 8x-22.619,$ $R^2=0.915 4^{**}$	—	—	$y=0.333 4x+8.689 7,$ $R^2=0.344 3^*$
茎秆 N 吸收量	$y=3.596 9x-58.858,$ $R^2=0.709 5^{**}$	$y=0.482 8x-26.934, R^2=0.812 1^{**}$	—	—
茎秆 P 吸收量	$y=0.506 9x-9.238,$ $R^2=0.539 9^{**}$	—	$y=0.821 8x-0.455 3,$ $R^2=0.644 6^{**}$	—
茎秆 K 吸收量	$y=8.562 1x-108.2,$ $R^2=0.740 9^{**}$	—	—	$y=2.149 4x+44.59,$ $R^2=0.41^*$
地上部 N 吸收量	$y=9.123 6x-141.74,$ $R^2=0.836 2^{**}$	$y=1.149 9x-50.739,$ $R^2=0.844^{**}$	—	—
地上部 P 吸收量	$y=1.843 8x-29.325,$ $R^2=0.835 9^{**}$	—	$y=2.331x+6.511 8,$ $R^2=0.607^{**}$	—
地上部 K 吸收量	$y=10.172 9x-130.82,$ $R^2=0.785 4^{**}$	—	—	$y=2.482 8x+53.28,$ $R^2=0.410 8^*$

注: * 表示 $P<0.05$; ** 表示 $P<0.01$ 。

表 4 显示,成熟期植株不论是籽粒、茎秆还是地上部植株,N、P、K 养分吸收量均与土壤有机质呈极显著正相关($P<0.01$),回归方程显示,每增加 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的土壤有机质,地上部植株 N、P、K 吸收量分别增加 15.73 、 3.18 、 $17.54\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。籽粒、茎秆及地上部植株 N 吸收量均与碱解 N 含量呈极显著正相关($P<0.01$),回归方程显示,每增加 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的碱解氮,地上部植株 N 吸收量增加 $11.50\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。籽粒、茎秆与地上部植株 P 吸收量也均与有效 P 含量呈显著或极显著正相关,回归方程显示,每增加 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的有效 P,地上部植株 P 吸收量增加 $23.31\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。同样,籽粒、茎秆与地上部植株 K 吸收量也均与速效 K 含量呈显著正相关($P<0.05$),回归方程显示,每增加 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的速效 K,地上部植株 K 吸收量增加 $24.83\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。上述说明,有机质是影响黄泥田水稻植株 N、P、K 养分吸收累积的关键因子,一定范围内植株养分吸收与有机质含量存在定量关系,另外,N、P、K 养分吸收累积与相应的土壤有效养分含量关系也较密切。

3 讨论

3.1 长期有机无机肥配施对黄泥田产量的影响及机制

本研究表明,长期不同施肥模式的黄泥田水稻

产量以 NPKM 与 NPKS 较高,均明显优于 NPK 处理,在经济性状上主要表现为有效穗和每穗实粒数较高,刘红江等^[11]研究也表明,合理的有机无机肥配施主要通过增加单位面积穗数和穗粒数提高了产量。这一方面可能与有机物料矿化的养分有关,黄泥田有效 P、速效 K 均较为缺乏,通过粪肥与秸秆等有机物料还田使用,在南方高温高湿条件下有机物料经过矿化直接增加了 N、P、K 等速效养分含量,提升了肥力水平,荣勤雷等^[5]研究结果表明化肥与畜禽粪肥配施土壤的有效 P 和速效 K 含量显著高于其他施肥措施,也更有利于水稻吸收利用。氮、磷、钾等有效养分的增加直接促进了水稻分蘖期分蘖与株高生长,且长期施用有机物料,养分矿化过程稳长,后期不易脱肥,这为全过程产量增加打下良好的基础。另一方面可能与有机物料还田改善土壤物理性状有关。黄泥田多分布于南方丘陵山地坡残积物母质上,由地带性红壤水耕熟化而来,土质较为粘重^[12],持续施用有机物料后土壤有机质明显提高,土壤物理性状得到改善,扩大了根部的生长范围,进而促进了养分吸收利用,这可从籽粒、茎秆及地上部养分吸收量均与有机质含量呈显著正相关得到佐证。

NPKM 与 NPKS 处理的当年产量基本相当(表 1),这与多年观测的结果基本一致^[13],主要

原因从有机物料投入的养分来看,牛粪的 N、P 实际投入量要高于稻草,而稻草还田的 K 还田量要高于牛粪,这可能形成二者在各自养分投入上的优势,其在土壤 N、P、K 有效养分指标差异上也得到体现,即 NPKM 处理的碱解 N 与有效 P 含量要显著高于 NPKS,而 NPKS 的速效 K 含量要显著高于 NPKM。此外,有机物料的投入,促进了土壤有机质的提升,使二者均处在相对较高的培肥水平上,有效削减了黄泥田土壤粘重等不利的物理性状,使产量趋于平衡,这有待进一步研究。

3.2 土壤肥力对产量及植株养分吸收累积的影响

前人研究表明,水稻籽实、秸秆与产量受土壤性质的影响显著,江西潯育型水稻土定位试验表明,全 P、有效 P 及碱解 N 与水稻总生物量极显著相关^[14],不同肥力水平也影响植株养分的吸收富集,连续 5 年的定位试验表明,供试土壤肥力的明显差异,导致玉米对养分的吸收量和吸收比例不同^[15],施用生物炭显著增加了土壤肥力,并显著增加春小麦对 N、P 和 K 的吸收,还对春小麦产量及构成具有积极的促进作用^[16],在白土稻田上,翻耕 20 cm 后增施有机肥有利于提高水稻产量,促进养分吸收,改善白土耕层土壤理化性状,是适合白土区大力推广的施肥模式^[17]。盆栽试验表明,同样施肥下低产黄泥田水稻成熟期籽粒、茎叶的氮素吸收量较灰泥田分别低 10.8% 和 17.3%,磷素吸收量分别低 12.5% 和 46.2%,钾素吸收量分别低 16.6% 和 28.5%^[18]。本研究条件下,长期不同施肥模式下的土壤肥力差异显著,尤其是土壤有机质,回归方程显示土壤有机质是影响植株 N、P、K 吸收的重要因子,且在一定范围内养分吸收与有机质含量存在定量关系,因此,对于南方中低产黄泥田而言,应通过持续培肥措施,稳步提升土壤有机质与地力水平,进而提高植株养分吸收利用与肥料利用率,这也是协调中低产黄泥田稳产增产与化肥减施的重要途径。从中也可看出,NPKM 与 NPKS 的培肥效果明显优于 NPK 模式,且二者培肥效果与产量基本相当,是黄泥田较理想的施肥模式。

4 结论

长期不同施肥模式下第 35 年的黄泥田水稻籽粒产量与秸秆产量均以 NPKM 与 NPKS 最高,且二者的籽粒产量分别较 NPK 模式提高 22.7% 与 20.4%,但二者产量无显著差异。

长期不同施肥下分蘖期地上部植株 N、P、K 养分含量均以 NPKM 处理最高,施肥处理成熟期籽粒 N、P、K 养分吸收量分别较 CK 增幅 137.6% ~ 206.2%、86.0% ~ 172.4% 与 71.6% ~ 142.5%,茎叶 N、P、K 养分吸收量分别较 CK 增幅 98.4% ~ 240.8%、145.7% ~ 419.8%、94.4% ~ 142.8%,且均以 NPKM 处理最高。

不论是籽粒、秸秆还是地上部植株,成熟期 N、P、K 养分吸收量均与土壤有机质呈极显著正相关,与相应的土壤速效养分含量呈显著正相关。综合考虑施肥对水稻产量、养分利用与稻田土壤肥力的影响,NPKM 与 NPKS 处理明显优于 NPK 模式,二者均是高产高效培肥模式。有机质是影响黄泥田水稻植株 N、P、K 养分吸收累积的关键因子。

参考文献:

- [1] 周卫. 低产水稻土改良与管理理论·方法·技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [2] 胡诚, 刘东海, 乔艳, 等. 不同施肥措施对黄泥田土壤养分及水稻产量的影响 [J]. 贵州农业科学, 2017 (4): 12-15.
- [3] 刘彦伶, 来庆, 徐早增, 等. 不同氮肥类型对黄泥田双季稻产量及氮素利用的影响 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2013, 39 (4): 403-412.
- [4] 林诚, 王飞, 李清华, 等. 不同施肥制度对黄泥田土壤酶活性及养分的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2009 (6): 24-27.
- [5] 荣勤雷, 梁国庆, 周卫, 等. 不同有机肥对黄泥田土壤培肥效果及土壤酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (5): 1168-1177.
- [6] 梁华东, 何迅, 巩细民, 等. 中国畜禽粪便污染问题、无害化处理及开发生产有机肥料技术与政策 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (Z): 75-80.
- [7] 廖育林, 郑圣先, 鲁艳红. 长期施钾对红壤水稻土水稻产量及土壤钾素状况的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (6): 1372-1379.
- [8] 王凯荣, 刘鑫, 周卫军. 稻田系统养分循环利用对土壤肥力和可持续生产力的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2004, 23 (6): 1041-1045.
- [9] 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): 108-114.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [11] 刘红江, 陈虞雯, 孙国峰, 等. 有机肥-无机肥不同配比比例对水稻产量和农田养分流失的影响 [J]. 生态学杂志, 2017 (2): 405-412.
- [12] 福建省土壤普查办公室. 福建土壤 [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1991. 178-186.
- [13] 王飞, 李清华, 林诚, 等. 不同施肥模式对南方黄泥田耕层有机碳固存及生产力的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,

- 2015, 21 (6): 1447–1454.
- [14] 要文倩, 秦江涛, 张继光, 等. 江西进贤水田长期施肥模式对水稻养分吸收利用的影响 [J]. 土壤, 2010, 42 (3): 141–146.
- [15] 张爱君, 张明普, 张洪源. 土壤基础肥力对夏玉米养分吸收和产量的影响 [J]. 玉米科学, 1999 (2): 71–74.
- [16] 张宏, 李俊华, 高丽秀, 等. 生物炭对滴灌春小麦产量及土壤肥力的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2016 (2): 55–60.
- [17] 吴萍萍, 王家嘉, 李录久. 不同耕作与施肥方式下白土的水稻产量及养分吸收量 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (3): 754–760.
- [18] 王飞, 李清华, 林诚, 等. 南方低产黄泥田与高产灰泥田基础地力的差异 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (5): 773–781.

Effects of long-term fertilization on nutrient uptake and utilization of rice in yellow-mud paddy soils in southern China

DAI Jing-xiong¹, WANG Fei^{2*} (1. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou Fujian 350002; 2. Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou Fujian 350013)

Abstract: To investigate the effects of different fertilization patterns on nutrient absorption and utilization of rice, based on the long-term experiment of yellow-mud paddy field for 35 consecutive years, four treatments are set up: 1) No fertilizer (CK); 2) chemical fertilizer (NPK); 3) chemical fertilizer+manure (NPKM); 4) chemical fertilizer+straw (NPKS). In the 35th year of the trial, the nutrient content, cumulative absorption and utilization of rice in different growth periods are analyzed. The results show that the long-term fertilization increases both the grain and straw yield of rice, and the grain yields increase from 61.1% to 97.7%, of which NPKM and NPKS are the highest, which are 22.7% and 20.4%, respectively, compared with NPK. Compared with CK, the N, P and K absorption of grain increase from 137.6% to 206.2%, 86.0% to 172.4% and 71.6% to 142.5%, respectively, of which NPKM is the highest. N, P and K absorptions of stem increase from 98.4% to 240.8%, 145.7% to 419.8% and 94.4% to 142.8%, respectively, N and P are the highest with NPKM and K is the highest with NPKS. Compared with CK, the contents of soil organic matter, alkali-hydrolyzed N and available K increase significantly from 21.0% to 42.1%, 34.0% to 86.0%, and 40.9% to 127.3%, respectively, with the significant differences. Soil organic matter, alkali-hydrolyzed N and available P content increased are the highest with NPKM and available K content increased is the highest with NPKS. Regardless of the grain, the stem or the plants above the ground, the uptake of N, P and K are highly positively correlated with soil organic matter, and the uptake of N, P and K were positively correlated with alkalolytic N, available P and available K significantly, respectively. Considering the effect of fertilization on rice yield, nutrient utilization and soil fertility of paddy field, the treatments of NPKM and NPKS are significantly better than NPK while the yield of them are almost equivalent. Soil organic matter is a key factor affecting nutrient uptake and accumulation of rice plants N, P and K in yellow-mud field.

Key words: long-term fertilization; yellow-mud paddy soil; rice; uptake; nutritive absorption