

不同氮肥用量与施肥时期对冷浸田单季稻生长及农学效率的影响^①

王 飞, 林 诚, 李清华, 何春梅, 林新坚

(福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福州 350013)

摘 要:冷浸田为福建省主要低产田类型之一。基于福建省浅脚烂泥田、青泥田与锈水田主要冷浸田类型, 通过田间 3 个点试验研究不同氮肥用量(105、150 与 195 kg/hm²)与施用时期(基肥: 穗肥 = 10: 0 与基肥: 穗肥 = 7: 3) 运筹组合对单季稻生长的影响。结果表明, 增施氮肥促进了各类型冷浸田水稻分蘖期分蘖生长速率。不同氮肥组合的锈水田、青泥田与浅脚烂泥田水稻籽粒产量分别较不施肥(CK)增幅 14.5%~45.5%、9.4%~13.5% 和 10.4%~15.9%, 但在 105 kg/hm² 用量基础上再进一步增施氮肥, 籽粒增产效果明显放缓。施用氮肥显著增加了成熟期水稻有效穗数, 但对每穗实粒数及千粒重影响不明显。105、150、195 kg/hm² 3 种氮肥用量下各类型冷浸田的农学效率均值分别为 17.4、13.3 与 12.8 kg/kg。除浅脚烂泥田施用穗肥的秸秆产量有显著差异外, 其余氮肥不同施肥时期的籽粒与秸秆产量均无显著差异。增施氮肥有提高籽粒氮的趋势, 但同时降低了籽粒钾含量。鉴于冷浸田土壤氮素水平较高, 单季稻氮肥经济用量宜控制在 105~150 kg/hm² 中低水平, 超过 150 kg/hm², 农学效率递减, 且无明显增产效果。另从人工成本及效益考虑, 宜选择基肥: 穗肥=10: 0 的施氮方式。

关键词:冷浸田; 水稻; 氮肥; 农学效率; 推荐施肥

中图分类号: S156.8; S143.1 **文献标识码:** A

江南冷浸田是一类特殊的中低产田, 主要分布在山丘谷地、平原湖沼低洼地带, 以地下水位高、还原性有毒物质多、有效养分低、土体构型发育不良等为主要特征^[1], 其面积在 200 万 hm² 以上, 以赣、湘、闽、云、贵、川、粤、桂等省(自治区)面积较大, 浙、鄂、皖、苏和台湾等地也有分布^[2]。冷浸田土壤有机质含量高, 增产潜力巨大, 故对其改造治理对保证国家粮食安全意义重大。养分供应是制约冷浸田水稻产量的重要因子, 以往对冷浸田施肥多集中于土壤磷素与钾素研究, 由于冷浸田土壤有效磷、钾水平普遍较低, 增施磷钾肥增产效果明显^[3-5], 但对冷浸田氮肥如何施用以提高产量与效益尚鲜见报道。氮肥对提高农作物的产量具有重要作用, 但过量施氮不仅会影响作物产量和品质, 还会对生态环境产生负面影响, 而适当减量施氮, 既能保证作物产量、提高肥料利用率, 又能减少对环境的危害^[6]。与非冷浸田相比, 冷浸田土壤有机质含量较高, 其相应的氮素也处于较高水平^[7]。目前我国正在推进化肥使用零增长的落实, 冷浸田在土壤氮素

水平较高的情况下, 其与常规稻田氮肥施用有何区别? 可否达到减氮控肥的目标? 为此, 本研究于 2014—2015 年以福建主要类型冷浸田为研究对象, 研究冷浸田单季稻不同氮肥用量及施肥时期运筹的施肥效应, 以期冷浸田配方施肥及轻简化改良技术提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试冷浸田为福建省主要的冷浸田类型, 分别为锈水田、青泥田与浅脚烂泥田, 试验地点与土壤理化性质见表 1。土地利用模式为单季稻制。氮肥运筹管理设施氮量与施氮时期 2 个因子。施氮量设 3 个水平, 分别为 105、150、195 kg/hm² (分别用 A1、A2、A3 代号表示, 代表低、中、高施氮水平); 氮肥施肥时期设 2 个水平, 分别为基肥: 穗肥=10: 0 与基肥: 穗肥=7: 3 (分别用 B1、B2 代号表示), 二者因子完全组合, 另设不施氮肥处理, 分别为: 0 氮区(CK)、

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003059-08)和福建省农科院 PI 创新团队项目(2016PI-31)资助。

作者简介: 王飞(1976—), 男, 福建福州人, 副研究员, 主要从事土壤资源评价与持续利用研究。E-mail: fjwangfei@163.com

A1B1、 A1B2、 A2B1、 A2B2、 A3B1、 A3B2 共 7 个处理，每处理 3 次重复，共 21 个小区，随机区组排列。每小区面积 12 m²。上述基肥为基肥：分蘖肥=2：1，穗肥在促花肥或保花肥施用。每

处理配施磷肥 (P₂O₅) 90 kg/hm²，钾肥(K₂O) 135kg/hm²，磷肥作基肥一次性施用，钾肥按基肥：穗肥=5：5 施用。单季稻 7 月上旬插秧，10 月中旬收割。收获期各小区单打单收计产。

表 1 供试土壤基本性状与供试水稻品种
Table 1 Basic properties of tested soil and rice varieties

试验地点	冷浸田类型	pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	水稻品种
顺昌双溪(SC)	锈水田	5.17	27.6	1.56	139.5	10.0	37.2	深两优 5814
闽侯白沙 1(MH1)	青泥田	5.32	49.7	2.75	165.9	8.8	145.2	中浙优 1 号
闽侯白沙 2(MH2)	浅脚烂泥田	4.23	38.8	1.96	196.8	8.2	388.7	中浙优 1 号

1.2 指标测定及计算方法

收获期采集小区水稻进行考种,选取有代表性的水稻 5 穴,调查测定有效穗数、每穗实粒数以及千粒重,并采集土壤进行氮素养分分析,另采集水稻籽粒样品分析氮磷钾养分含量。土壤理化指标与籽粒氮磷钾养分按常规方法分析^[8]。

氮肥农学效率(kg/kg)=(施氮肥处理产量-未施氮肥处理产量)/施氮肥量

1.3 数据处理

采用 DPS 7.05 软件和 Excel 2007 软件进行数据分析,不同处理采用 LSD 法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥用量与施肥时期运筹组合对水稻分蘖期生长的影响

图 1 显示,不同氮肥运筹管理均提高了水稻分蘖期生长速度,其中锈水田(SC)点 4 次观测分蘖数均值较 CK 增幅 37.2%~71.4%,青泥田(MH1)点 5 次均值增幅 21.4%~35.8%,浅脚烂泥田(MH2)点 5 次均值增幅 28.2%~35.9%,差异均显著,其中 SC 点与 MH2 点均以 A3B2 处理最高,而 MH1 点以 A2B1 处理最高,其次为 A3B2 处理。说明增施氮肥促进了冷浸田分蘖期分蘖生长速率。

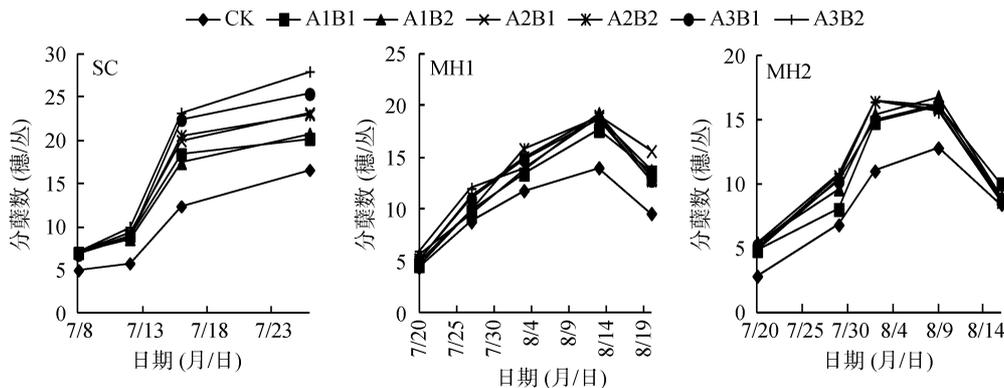


图 1 不同氮肥用量与施肥时期运筹组合对水稻分蘖期分蘖生长的影响

Fig. 1 Effects of different combinations of nitrogen application rates and fertilizing time on rice tillering rates

2.2 不同氮肥用量与施肥时期运筹组合对水稻产量及经济性状的影响

表 2 显示,氮肥运筹管理施肥不同程度地提高了成熟期水稻籽粒产量,与 CK 相比,不同氮肥用量与施肥时期运筹组合的锈水田点(SC)增幅 14.5%~45.5%,青泥田点(MH1)增幅 9.4%~13.5%,浅脚烂泥田点(MH2)增幅 10.4%~15.9%,其中 MH2 点施肥处理与 CK 差异均显著。相应各点的秸秆产量较 CK 增幅为 30.5%~65.0%、48.8%~86.6%、7.3%~27.0%,其中 MH1、SC 点不同氮肥组合与 CK 差异均显著。

从不同氮肥用量单因素来看,各类型冷浸田籽粒产量总体随着施氮量的增加而增加,与不施氮比较,SC 点增幅 26.7%~46.9%,MH1 点增幅 9.0%~12.7%,MH2 点增幅 10.9%~14.1%,但高、中、低不同氮肥用量间差异未达到显著水平。施氮肥也均显著提高了秸秆产量,MH2 点氮肥 150 kg/hm²与 195 kg/hm²用量水平的产量要显著高于 105 kg/hm²用量。另从施氮时期单因素来看,氮肥不同施肥时期施用方法对籽粒产量影响不大,但 MH2 点的基肥：穗肥=7：3 的秸秆产量较基肥：穗肥=10：0 的增产 5.2%,差异显著。

表 2 不同氮肥用量与施肥时期运筹组合对水稻产量的影响
Table 2 Effects of different combinations of nitrogen application rates and fertilizing time on rice yields

因素	处理	籽粒产量(kg/hm ²)			秸秆产量(kg/hm ²)		
		SC	MH1	MH2	SC	MH1	MH2
组合	CK	5 918 c	7 185 b	7 669 b	2 808 c	3 200 b	4 621 d
	A1B1	6 972 abc	7 862 ab	8 525 a	3 665 b	4 901 a	4 957 cd
	A1B2	6 779 bc	7 815 ab	8 488 a	3 834 b	4 763 a	5 156 cd
	A2B1	7 251 abc	7 962 a	8 463 a	3 971 ab	5 972 a	5 212 bc
	A2B2	7 334 abc	7 889 ab	8 550 a	4 176 ab	5 256 a	5 727 ab
	A3B1	8 139 ab	8 036 a	8 613 a	4 062 ab	5 136 a	5 752 a
	A3B2	8 612 a	8 154 a	8 888 a	4 632 a	4 988 a	5 869 a
施氮量 (kg/hm ²)	0	5 918 b	7 185 b	7 669 b	2 808 b	3 200 b	4 621 c
	105	7 499 ab	7 838 ab	8 506 a	3 750 a	4 832 a	5 057 b
	150	8 147 a	7 925 a	8 507 a	4 074 a	5 615 a	5 470 a
	195	8 694 a	8 094 a	8 751 a	4 347 a	5 063 a	5 811 a
施氮时期	基肥: 穗肥 = 10 : 0	7 454 a	7 953 a	8 534 a	3 900 a	5 336 a	5 307 b
	基肥: 穗肥 = 7 : 3	7 575 a	7 956 a	8 642 a	4 214 a	5 003 a	5 584 a

注: 表中大小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平, 下表同。

从施肥对水稻产量经济性影响来看(表 3), 不同氮肥用量与施肥时期运筹组合均显著提高了各试验点成熟期有效穗数, SC、MH1 与 MH2 各冷浸田类型分别比 CK 增幅 27.9%~41.3%、23.7%~41.3%、37.9%~60.2%。而对每穗实粒数、千粒重影响不大(除了 MH1 点千粒重)。具体对不同施氮

量而言, 低、中、高氮肥用量有效穗均显著高于 CK, 其中 SC 点增幅 29.8%~40.4%, MH1 点增幅 30.1%~45.2%, MH2 点增幅 40.8%~57.3%; 而不同氮肥用量下水稻每穗实粒数、千粒重与 CK 均无显著差异。氮肥不同施肥时期组合对水稻经济性影响无明显影响。

表 3 不同氮肥用量与施肥时期运筹组合对水稻产量经济性影响
Table 3 Effects of different combinations of nitrogen application rates and fertilizing time on economic traits of rice yields

因素	处理	有效穗数			每穗实粒数			千粒重(g)		
		SC	MH1	MH2	SC	MH1	MH2	SC	MH1	MH2
组合	CK	10.4 b	9.3 c	10.3 b	160.8 a	167.3 a	114.2 b	21.05 a	25.94 c	23.96 a
	A1B1	13.3 a	12.5 ab	14.8 a	144.7 a	177.7 a	123.2 ab	22.39 a	26.41 abc	24.10 a
	A1B2	13.7 a	12.6 ab	14.2 a	157.8 a	160.8 a	118.7 ab	21.48 a	26.10 bc	23.83 a
	A2B1	13.5 a	11.5 b	15.3 a	151.1 a	158.2 a	121.2 ab	21.93 a	26.24 abc	24.43 a
	A2B2	13.9 a	12.7 ab	14.5 a	147.2 a	150.8 a	117.3 ab	20.81 a	27.26 ab	24.27 a
	A3B1	14.4 a	12.5 ab	16.5 a	151.2 a	161.8 a	114.8 b	22.05 a	26.59 abc	24.33 a
	A3B2	14.7 a	14.4 a	15.8 a	175.2 a	159.5 a	134.7 a	22.54 a	27.37 a	24.20 a
施氮量 (kg/hm ²)	0	10.4 b	9.3 b	10.3 b	160.8 a	167.3 a	114.2 a	21.05 a	25.94 a	23.96 a
	105	13.5 a	12.6 a	14.5 a	151.2 a	169.2 a	120.9 a	21.94 a	26.26 a	23.96 a
	150	13.7 a	12.1 a	14.9 a	149.2 a	154.5 a	119.3 a	21.37 a	26.75 a	24.35 a
	195	14.6 a	13.5 a	16.2 a	163.2 a	159.1 a	124.8 a	22.30 a	26.98 a	24.26 a
施氮时期	基肥: 穗肥=10 : 0	13.7 a	12.2 a	15.6 a	149.0 a	165.9 a	119.7 a	22.12 a	26.41 a	24.29 a
	基肥: 穗肥=7 : 3	14.1 a	13.2 a	14.8 a	160.1 a	159.3 a	123.6 a	21.61 a	26.91 a	24.10 a

上述结果说明, 冷浸田施氮肥提高了水稻籽粒与秸秆产量, 但中、高用量的氮肥用量, 无论是籽粒产量还是秸秆产量, 均无显著差异, 故冷浸田施氮量应控制在 150 kg/hm² 以内。另除浅脚烂泥田(MH2)点不

同施肥时期的秸秆产量有显著差异外, 其余氮肥不同施肥时期的籽粒与秸秆产量均无显著差异, 故从人工成本及效益考虑, 应选择基肥: 穗肥 = 10 : 0 的施氮方式。

2.3 不同施氮量对水稻籽粒相对产量及农学效率的影响

从不同施氮量对水稻籽粒相对产量的影响来看(表 4), 0、105、150、195 kg/hm² 氮肥用量下各类型冷浸田相对产量均值分别为 0.78、0.89、0.92、0.95。一般而言, 0.90 以上可视为施肥与最高产量(1.00)较为接近, 说明冷浸田施用氮肥有明显的增产效果。但在 105 kg/hm² 用量基础上再进一步增施氮肥 增产效果明显放缓。另从施氮肥籽粒农学效率来看, 各类型冷浸田施用 105、150、195 kg/hm² 氮肥的农学效率均值分别为 17.4、13.3 与 12.8 kg/kg, 说明随着氮肥用量的增加, 氮肥农学效率逐渐降低, 氮肥中、高用量分别比低用量降低 4.1 与 4.6 kg/kg。从中也可看出, 同一区域浅脚烂泥田(MH2)相对青泥田(MH1)有较高的氮肥农学效率。

表 4 不同施氮量对水稻籽粒相对产量及农学效率的影响
Table 4 Effects of different combinations of nitrogen application rates on relative yields and agronomic efficiencies of rice grains

施氮量 (kg/hm ²)	籽粒相对产量			籽粒农学效率(kg/kg)		
	SC	MH1	MH2	SC	MH1	MH2
0	0.61	0.87	0.86	-	-	-
105	0.77	0.95	0.96	9.1	18.3	24.7
150	0.84	0.96	0.96	9.2	13.4	17.3
195	0.89	0.98	0.98	12.6	11.2	14.5

注: 籽粒相对产量为各处理小区籽粒产量与该试验点最高产量的比值。

2.4 不同氮肥用量与施肥时期对水稻籽粒养分含量的影响

表 5 显示, 施用氮肥均有提高籽粒氮含量的趋势。不同施氮水平与施氮时期组合中, 青泥田点(MH1)与浅脚烂泥田点(MH2)的 A2B2、A3B1、A3B2 处理的籽粒氮素含量均较 CK 显著提高, 其中 MH1 点上述 3 处理较 CK 增幅 14.0%~17.6%, MH2 点增幅 5.9%~9.7%。从施氮肥对籽粒磷钾养分的影响来看, 不同氮肥组合对籽粒磷素含量无明显影响, 但随着施氮量的增加, 籽粒钾含量有降低的趋势。从施氮量单因素来看, 随着施肥量的增加, 籽粒氮素含量有提高的趋势。施用 195 kg/hm² 氮肥的籽粒氮含量均显著高于 CK, 而在该高量用肥下, MH1 的籽粒钾含量较 CK 显著降低。表 5 同时可看出, 氮肥不同施肥时期单因素对籽粒氮、磷、钾养分含量均无明显影响。

3 讨论

3.1 冷浸田氮素营养供给特性及不同施氮方式效果评价

本研究表明, 冷浸田水稻分蘖期, 其高氮用量的水稻分蘖速率要明显高于无氮与低氮处理, 到收获期, 105、150 与 195 kg/hm² 氮肥用量下水稻籽粒产量均显著高于 CK, 但 3 种氮肥用量的籽粒产量并无明显差异; 不同氮肥用量下的秸秆产量, 除了浅脚烂泥田(MH2)有显著差异外, 其余差异均不显著。说明

表 5 不同氮肥用量与施肥时期运筹组合对水稻籽粒养分含量的影响

Table 5 Effects of different combinations of nitrogen application rates and fertilizing time on nutrient contents of rice grains

因素	处理	N (g/kg)		P (g/kg)		K (g/kg)	
		MH1	MH2	MH1	MH2	MH1	MH2
组合	CK	12.54 d	12.50 c	2.71 a	2.83 a	3.27 a	3.77 a
	A1B1	13.14 cd	12.85 bc	2.83 a	2.92 a	3.14 a	3.87 a
	A1B2	13.70 bc	12.93 bc	2.40 a	2.71 a	2.48 b	3.39 ab
	A2B1	14.60 ab	12.88 bc	2.86 a	2.21 a	3.00 ab	2.90 b
	A2B2	14.30 ab	13.24 ab	2.81 a	2.32 a	3.14 a	3.19 ab
	A3B1	14.37 ab	13.71 a	2.89 a	2.34 a	2.86 ab	3.19 ab
	A3B2	14.75 a	13.22 ab	2.50 a	2.24 a	2.74 ab	3.19 ab
施氮量 (kg/hm ²)	0	12.54 c	1.25 b	2.71 a	2.83 a	3.27 a	3.77 a
	105	13.42 b	1.29 ab	2.61 a	2.81 a	2.81 ab	3.63 a
	150	14.45 a	1.31 ab	2.83 a	2.26 a	3.07 ab	3.09 a
	195	14.56 a	1.35 a	2.70 a	2.29 a	2.80 b	3.19 a
施氮肥时期	基肥: 穗肥=10:0	14.03 a	13.15 a	2.86 a	2.49 a	3.00 a	3.32 a
	基肥: 穗肥=7:3	14.25 a	13.13 a	2.57 a	2.42 a	2.79 a	3.25 a

冷浸田在低氮用量基础上再增施氮肥对增产并不明显,这与增施磷钾肥促进冷浸田水稻增产规律并不一致。其主要原因与土壤有机质类似,冷浸田土壤累积的氮素较丰富,丰富的氮素通过长期矿化保证了水稻生育期大部分的营养需求,本研究条件下,浅脚烂泥田(MH2)点收获期各处理土壤全氮与碱解氮处于较高水平且无显著差异进一步证实了这一点(表 6)。冷浸田在适宜用量基础上增施的氮肥一部分可能通过营养生长转移到秸秆中,另一部分,冷浸田在长期浸水环境下也容易通过地表径流而损失。故对冷浸田氮素管理应采取控制策略,氮肥经济用肥量控制在 105 ~ 150 kg/hm² 范围较适宜,超过 150 kg/hm²,农学效率递减,既达不到明显增产效果,又浪费养分资源,并可能造成环境风险。此外,高氮用量一定程度上提高了籽粒氮素营养,但可造成籽粒钾素含量降低,从而影响籽粒营养品质。以往研究表明,福建区域常规稻田单季氮肥推荐用量为 160 kg/hm² 左右^[9],从中比较可看出,冷浸田氮肥推荐用量要比常规稻田的用量低 10% 以上。与近年农业部推荐的江南华南单双季稻区(中稻)氮肥用量 140 ~ 206 kg/hm² 相比,冷浸田氮肥推荐用量属于低限范围^[10]。这主要是由于常规稻田的产量比冷浸田水稻产量高 20% 以上,且稻田土壤氮素含量普遍低于冷浸田^[1,5]。另外,本研究表明不同氮肥用量条件下各类冷浸田农学效率平均为 14.5 kg/kg,而目前全国水稻氮肥农学效率为 12.7 kg/kg^[10],这一方面固然与常规稻田的施氮量较高有关,但一定程度上也反映冷浸田的氮肥农学效率要高于常规稻田。本课题组研究也表明,冷浸田基础地力贡献率比相应的非冷浸田低 6.8 ~ 7.0 个百分点,但施肥农学效率比相应的非冷浸田每千克肥料提高 0.1 ~ 3.2 kg 籽粒产量^[11]。这进一步佐证了冷浸田通过施肥农艺措施提升产量潜力巨大。

此外,本研究表明,除浅脚烂泥田的秸秆外,氮肥不同施肥时期的籽粒与秸秆产量均无显著差异,故从人工成本及效益考虑,宜采用基肥:穗肥=10:0 的施氮方式。一般而言,水稻在幼穗分化发育期(水稻分蘖末期叶色褪淡之后)施肥,为促花肥、促粒肥,可促使穗大、增加颖花数量,退化枝梗和颖花减少^[12]。以超级稻品种为材料的氮肥不同施肥时期效应表明,氮肥后移中后期干物质积累显著增加,两个品种均是基肥:分蘖肥:促花肥:保花肥:粒肥为 3:1:1:1:0 的处理产量最高^[13]。而冷浸田施用穗肥增产不明显可能是由于冷浸田氮素丰富,供肥稳长,相对常规稻田而言,后期不易脱肥,故施用穗肥增产不明显。从本研究中可看出,冷浸田不同氮肥组合产量性状差异主要体现在有效穗因子,而有效穗主要由分蘖期决定,因而提高冷浸

田产量的途径是保证分蘖期有足够的氮素营养,并合理配施磷、钾养分,以发育形成足够的有效分蘖数。

表 6 不同氮肥用量与施肥时期运筹组合对水稻收获期土壤氮素养分的影响(MH2)

Table 6 Effects of different combinations of nitrogen application rates and fertilizing time on soil nutrient contents in rice harvest stage

处理	全氮(g/kg)	碱解氮(mg/kg)
CK	1.96 a	145.3 a
A1B1	1.87 a	136.2 a
A1B2	1.93 a	148.0 a
A2B1	1.97 a	149.5 a
A2B2	1.89 a	142.7 a
A3B1	1.82 a	143.0 a
A3B2	1.83 a	149.8 a

3.2 冷浸田单季稻氮、磷、钾配方施肥探讨

冷浸田为福建省主要低产田类型之一,约占低产水稻土的 33%^[14]。合理施肥是提高冷浸田生产力的重要途径之一,如增施钾肥可缓解冷浸田铁毒等障碍因子而获得高产^[4]。但长期以来,冷浸田氮、磷、钾如何配施仍较为盲目。随着我国对气候变化及生态环境保护的关注与重视,对冷浸田水稻施肥,要协同考虑提高产量、经济效益与生态效益。由于冷浸田多分布于偏远山区与山垄谷地,自然条件相对优越,稻田生产应因地制宜,以绿色生态高值大米为目标。过高的施氮量可能对环境造成威胁,甚至氮累积导致的负面效应要高于产量增益^[15]。鉴于冷浸田氮素水平较高,对冷浸田氮素施用应采取控制的管理策略,即氮肥经济用肥量控制在 105 ~ 150 kg/hm² 范围。结合冷浸田土壤磷、钾养分调查及水稻磷、钾肥施肥效应研究成果^[3-5],提出冷浸田水稻施肥推荐比例:N:P₂O₅:K₂O=1:(0.5~0.7):(1.0~1.2),从中可看出,冷浸田磷钾施肥比例要比一般常规稻田 1:0.4:0.8 高^[9]。如以氮肥 120 kg/hm² 计算,需施磷肥 60 ~ 84 kg,钾肥 120 ~ 144 kg。以这样的施肥配方连续进行 3 ~ 5 年的监测,再根据耕层养分作适当调整。

4 结论

本研究表明,福建主要类型冷浸田施氮肥 105 ~ 195 kg/hm² 均显著提高了籽粒产量。0、105、150、195 kg/hm² 氮肥用量下各冷浸田类型的相对产量均值分别为 0.78、0.89、0.92、0.95,说明在 105 kg/hm² 用量基础上再进一步增施氮肥,籽粒增产效果明显放缓。从施氮肥籽粒农学效率来看,105、150、195 kg/hm² 氮肥用量下各冷浸田类型均值分别为 17.4、13.3 与 12.8 kg/kg。增施氮肥有提高籽粒氮含量的趋势,但籽粒钾含量呈降低的趋势。故从冷浸田改良治理提升

综合生产力及经济、生态效益综合考虑，冷浸田以 105 ~ 150 kg/hm² 的氮肥中低水平用量与基肥：穗肥=10：0 的施肥时期较为适宜。

参考文献：

- [1] 王飞, 林诚, 李清华, 等. 江南冷浸田治理利用研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(9): 1151–1160
- [2] 刘光荣, 徐昌旭. 江南地区冷浸田治理技术研究与应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014
- [3] 张祥明, 郭熙盛, 王文军, 等. 不同磷源及用量对冷浸田水稻磷素吸收利用的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(34): 16604–16606
- [4] 李清华, 王飞, 林诚, 等. 增施钾肥对冷浸田水稻生理及植株铁吸收累积的影响[J]. 福建农业学报, 2015, 30(3): 243–248
- [5] 林诚, 李清华, 王飞, 等. 不同施磷水平对冷浸田水稻磷含量、光合特性及产量的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(5): 553–558
- [6] 刘兆辉, 薄录吉, 李彦, 等. 氮肥减量施用技术及其对作物产量和生态环境的影响综述[J]. 中国土壤与肥料, 2016(4): 1–8
- [7] 王飞, 李清华, 林诚, 等. 福建冷浸田土壤质量评价因子的最小数据集[J]. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1461–1468
- [8] 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, 2000: 146–292
- [9] 李娟, 章明清, 姚宝全, 等. 福建单季稻氮磷钾推荐施肥量研究[J]. 福建农业学报, 2015, 30(10): 933–938
- [10] 于飞, 施卫明. 近 10 年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1311–1324
- [11] 王飞, 李清华, 林诚, 等. 不同地形发育冷浸田水稻施肥响应特征[J]. 福建农业学报, 2013, 28(8): 802–806
- [12] 王永锐, 周天生. 水稻氮、磷、钾营养和合理施肥[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(5): 384–385
- [13] 杨安中, 吴文革, 李泽福, 等. 氮肥运筹对超级稻库源关系、干物质积累及产量的影响[J]. 土壤, 2016, 48(2): 254–258
- [14] 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: 335–344
- [15] Huang J, Huang Z, Jia X, et al. Long-term reduction of nitrogen fertilizer use through knowledge training in rice production in China[J]. Agricultural Systems, 2015, 135: 105–111

Effects of Different Combinations of Nitrogen Applying Rates and Fertilizing Time on Single Cropping Rice Growth and Agronomic Efficiency in Cold-waterlogged Paddy Field

WANG Fei, LIN Cheng, LI Qinghua, HE Chunmei, LIN Xinjian

(Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China)

Abstract: Cold-waterlogged (CW) paddy fields are low-yield paddy fields in Fujian Province. Based on main CW paddy field types (including shallow-foot mud paddy field, blue mud field and paddy field with rust) in Fujian Province, the effects of different combinations of nitrogen applying rates (105, 150 and 195 kg/hm²) and fertilizing time (base and tillering fertilizer: earing fertilizer=10:0; base and tillering fertilizer: earing fertilizer=7:3) on single cropping rice growth and agronomic efficiency were investigated by field experiments conducted in three sites. The results showed that increasing nitrogen applying rate improved rice growth rate at the tillering stage. Compared to CK, nitrogen combination treatments increased rice grain yields by 14.5%—45.5%, 9.4%—13.5% and 10.4%—15.9% for paddy field with rust, blue mud field and shallow-foot mud paddy field, respectively, but the yield increasing effect significantly slowed down when nitrogen applying rate was over 105 kg/hm². Applying nitrogen fertilizer significantly increased the effective panicles of rice in the harvest stage, but there was no significant difference in the grain number per panicle and 1 000-grain weight for all treatments. The agronomic efficiencies of different CW paddy field types were 17.4, 13.3 and 12.8 kg/kg respectively under the 105, 150 and 195 kg/hm² of nitrogen applying rates. Except for the shallow-foot mud paddy field in which the straw yield showed significant differences with earing fertilizer, the yields of rice grains and straws had no significant difference between other different fertilizing time treatments. Increasing nitrogen applying rate had tended to improve nitrogen content but decreased potassium content of rice grains. Given the higher nitrogen levels of CW paddy fields, the suitable nitrogen applying rate should be controlled within 105—150 kg/hm², otherwise the agronomic efficiency will diminish and the yield-increasing effect is little when it is over 150 kg/hm². In addition, considering labour cost and economic benefit, all the nitrogen fertilizer should be used as of base and tillering fertilizer.

Key words: Cold-waterlogged paddy field; Rice; Nitrogen fertilizer; Agronomic efficiency; Fertilizer recommendation