

基于“3414”试验的江西省吉安市晚稻施肥效果及推荐肥料用量

叶祥盛¹ 文建平² 汪伟平³

1. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 2. 江西省吉安市农业局, 吉安 343000;
3. 华中农业大学理学院, 武汉 430070

摘要 2008—2010年在江西省吉安市13个县(市、区)开展42个“3414”晚稻田间肥效试验。结果表明:各试验点土壤有较高的土壤碱解氮含量(116~209 mg/kg),但相对产量(60%~85%)较低,施用氮肥增产效果显著,推荐施氮量为110~210 kg/hm²;试验区土壤速效钾含量为61~119 mg/kg,相对产量为85%~100%,按土壤速效钾丰缺指标划分为中高等级,施用钾肥有较好的增产效果,推荐施钾量为0~130 kg/hm²;试验区土壤有效磷含量为11~31 mg/kg,相对产量为85%~100%,按土壤有效磷丰缺指标划分为中高等级,推荐施磷量为0~80 kg/hm²,施用磷肥效果低于氮肥和钾肥。

关键词 晚稻;“3414”试验;养分分级指标;相对产量;推荐施肥量

中图分类号 S 143 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)04-0066-07

施肥是作物增产稳产的主要栽培措施,在保障国家粮食安全中具有非常重要的地位。施肥在大幅度提高作物产量的同时,也给生态环境带来潜在的风险^[1]。研究表明,肥料可以提高单位面积粮食产量55%,总产量30%,为进一步实现高产目标,化肥用量不断提高,不合理施肥已对环境产生了不良影响^[2]。因此,必须提高肥料的利用率,在提高粮食单产的同时,控制肥料的用量,从而达到提高经济效益及保护环境的目的^[3]。然而,我国的施肥技术在很长一段时期内主要依靠经验施肥,肥料资源并未充分发挥其增产作用,而且还延缓了农业发展的进程^[4]。为了解决这些问题,农业部全国农业技术推广服务中心为建立测土配方施肥技术指标,将“3414”试验作为推荐的主要田间试验方案,从2005年开始在不同农业生态区、不同作物体系开展测土配方施肥项目,进行了大量的“3414”田间试验。“3414”设计是陈伦寿等^[5]在国外“3411”多点肥料试验方案的基础上,增加3个处理后得到的“3414”方案,此方案已在国内广泛应用^[6-10],为山东省的冬小麦、川中丘陵地区的水稻及福建省晚稻等建立了测土配方施肥技术指标^[11-13]。水稻是江西省吉安市的主要粮食作物,该地区主要种植双季稻及少量单季

稻。2008—2010年,在吉安市辖区13个县(市、区)连续开展3年的“3414”田间试验。该试验以试验点土壤肥力为依据,通过田间试验,考察最佳肥料施用量和最佳施肥配比,为当地水稻高产高效的科学施肥技术研究提供依据,同时为我国其他地区的水稻高产高效施肥技术研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

在江西省吉安市13个测土配方施肥项目县(市、区)共14个试验点(吉水县布置2个试验点)连续开展3年(2008—2010年)的晚稻“3414”试验(表1)。各地土壤肥力为:pH 4.48~5.49,平均4.98;有机质含量26.1~34.4 g/kg,平均30.2 g/kg;碱解氮116.3~209.7 mg/kg,平均162.9 mg/kg;有效磷在11.7~30.6 mg/kg,平均21.1 mg/kg;速效钾61.2~123.5 mg/kg,平均92.4 mg/kg。试验的晚稻品种为当地主要种植品种,包括五丰优T025、汕优998、益禾8号、天优998、岳优P113、湘晚粳16号、泰国丝苗、美香粘二号、香晚粳17号、丰源优299、丰源优272、中优432、岳优9113、容优5号、天优998、先农20、淦鑫608、淦鑫

收稿日期:2012-08-18

基金项目:农业部公益性行业(农业)科研专项(201003016)

叶祥盛,硕士,高级工程师。研究方向:植物营养与肥料。E-mail: xiangshengye@mail.hzau.edu.cn

通讯作者:文建平,高级农艺师。研究方向:作物营养诊断与施肥技术。E-mail: jaswjp@163.com

688、天优 998 等。

“3414”试验设计和方案根据农业部的推荐执行,具体包括氮、磷、钾 3 个因素,每个因素 4 个水平,共 14 个处理。14 个处理分别为:(1) $N_0P_0K_0$; (2) $N_0P_2K_2$; (3) $N_1P_2K_2$; (4) $N_2P_0K_2$; (5) $N_2P_1K_2$; (6) $N_2P_2K_2$; (7) $N_2P_3K_2$; (8) $N_2P_2K_0$; (9) $N_2P_2K_1$; (10) $N_2P_2K_3$; (11) $N_3P_2K_2$; (12) $N_1P_1K_2$; (13) $N_1P_2K_1$; (14) $N_2P_1K_1$ 。各处理中 N、P、K 的下角标 0,1,2,3 分别表示 4 个施肥水平,即 0 水平,不施肥;1 水平(施肥不足水平)=2 水平 $\times 0.5$;2 水平,当地最佳施肥量的近似值;3 水平(施肥过量水平)=2 水平 $\times 1.5$ 。各县(市)水稻“3414”试验连续 3 年 2

水平氮、磷、钾肥用量见表 1。各试验小区面积均为 20 m^2 。

“3414”试验设计中包含 N、P、K 单因素,NP、NK、PK 双因素和 NPK 三因素交互作用 3 种方案。单因素试验中 N 试验包括处理(2)、(3)、(6)、(11); P 试验包括处理(4)、(5)、(6)、(7);K 试验包括处理(8)、(9)、(6)、(10);双因素交互作用试验中 NP 试验包括处理(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7)、(11)、(12); NK 试验包括处理(2)、(3)、(6)、(8)、(9)、(10)、(11)、(13);PK 试验包括处理(4)、(5)、(6)、(7)、(8)、(9)、(10)、(14);NPK 三因素交互作用试验包括处理(1)、(3)、(4)、(6)和(8)。

表 1 水稻“3414”试验 2 水平肥料的施用量

Table 1 The fertilizer rates of the second level on rice “3414” field experiments

kg/hm²

县(市、区) Counties or cities	氮肥 Nitrogen fertilizer			磷肥 Phosphate fertilizer			钾肥 Potassium fertilizer		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
井冈山市 Jingtangshan City	150	173	150	64	60	54	105	162	105
吉州区 Jizhou District	180	175	167	45	57	63	144	113	117
青原区 Qingyuan District	152	158	152	45	72	54	126	130	135
新干县 Xingan County	207	180	180	98	81	81	250	150	150
永丰县 Yongfeng County	159	159	145	72	50	50	128	126	126
吉安县 Ji'an County	166	158	147	54	63	54	162	117	109
万安县 Wan'an County	179	179	179	45	45	45	144	144	144
吉水县 Jishui County	166	152	166	54	54	54	126	126	126
永新县 Yongxin County	173	155	150	60	59	64	162	113	105
安福县 Anfu County	138	152	152	54	54	54	108	135	108
泰和县 Taihe County	173	173	173	54	45	45	180	135	135
峡江县 Xiajiang County	188	188	188	36	54	54	113	129	128
遂川县 Suichuan County	150	150	150	75	75	75	150	150	150

1.2 试验处理

1)土壤 N、P、K 养分分级指标。采用目前国内常用的“3414”试验数据处理和统计方法^[12],根据水稻产量结果计算出相对产量,以直线方程获得相对产量与对应土壤速效养分测试值之间的数学关系式。计算相对产量 50%、60%、70%、80%、90%、95%的土壤养分含量,以此划分土壤养分分级指标。相对产量的计算方法:将单因素处理试验中缺素区产量与最高产量区产量相比较得出相对产量,即 N 试验处理(2)、(3)、(6)、(11)中缺氮处理(2)的产量与最高产量相比较,获得 N 的相对产量,P 试验处理(4)、(5)、(6)、(7)中缺 P 处理(4)的产量与最高产量相比较;K 试验处理(6)、(8)、(9)、(10)中缺钾处理(8)的产量与最高产量相比较。

2)氮、磷、钾肥推荐施肥量。N、P、K 肥推荐施肥量的计算参考王圣瑞等^[6]、Cerrato 等^[14]的方法。对 2008—2010 年所有“3414”试验数据进行分析,设定晚稻产量为目标 y,肥料用量为变量 x,分别采

用三元二次、一元二次和线性加平台肥料效应模型进行模拟,计算最高产量时每个试验点氮、磷、钾肥的施用量,通过边际效应分析确定每个试验点的最佳经济 N、P、K 肥的施肥量。通过 42 个“3414”试验区各点速效养分(N、P、K)含量与分别对应的晚稻最佳施肥量(N、 P_2O_5 和 K_2O)做散点图,拟合成方程,再根据方程计算出土壤速效养分各分级的最佳推荐施肥量。

选择三元二次肥料效应模型进行拟合,方程为:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_{12} + b_3x_2 + b_4x_{22} + b_5x_3 + b_6x_{32} + b_7x_1x_2 + b_8x_1x_3 + b_9x_2x_3 \quad (1)$$

式中,y 为籽粒产量, x_1 、 x_2 和 x_3 分别为 N、 P_2O_5 和 K_2O 用量。如上述方程拟合成功(二次项系数为负值,一次项系数为正值,F 检验显著),根据边际收益(dy/P_y)等于边际成本(dx/P_x)的原则,即 $dy/P_y = dx/P_x$,计算最佳经济施肥量。

选择一元二次肥料效应模型进行拟合,所采用的方程为:

$$y = a + bx + cx^2 \quad (2)$$

(2)式中, y 为籽粒产量, x 为肥料用量, a 为截距, b 为一次回归系数, c 为二次回归系数,选用处理(2)、(3)、(6)、(11)的产量结果模拟氮肥的推荐用量,选用处理(4)、(5)、(6)、(7)的产量结果模拟磷肥的推荐用量,选用处理(6)、(8)、(9)、(10)的产量结果模拟钾肥的推荐用量。如上述方程模拟成功(F 检验显著),根据边际收益等于边际成本的原则,即 $dy/P_y = dx/P_x$,计算最佳经济施肥量。选择线性加平台肥料效应模型进行拟合,所采用的方程为:

$$y = a + bx \quad (x \leq C) \quad (3)$$

$$y = p \quad (x > C) \quad (4)$$

(3)和(4)式中, y 为籽粒产量, x 为肥料用量, a 为截距, b 为回归系数, C 为直线与平台的交点,即最佳产量施肥量; p 为平台产量,即最高籽粒产量。

N、P、K肥以N、 P_2O_5 和 K_2O 计,肥料价格和粮食价格以吉安市市场价格均值计算。所有方程的拟合、最佳施肥量的计算以及图表制作均采用Excel 2003软件和“3414”试验分析器SG-2.2。

2 结果与分析

2.1 施用氮、磷、钾肥对晚稻产量的影响

13个县市14个晚稻试验点3年的平均产量见表2。空白对照($N_0P_0K_0$)和缺氮($N_0P_2K_2$)产量都很低,与最佳产量区($N_2P_2K_2$)的产量相差较大,而缺磷($N_2P_0K_2$)和缺钾($N_2P_2K_0$)区与最佳产量区的产量相差较少,表明吉安市水稻田普遍缺氮严重,磷和钾相对丰富,因此,吉安市水稻生产应重视合理施用氮肥,酌情施用磷肥和钾肥。

表 2 施用氮、磷、钾肥对晚稻平均产量的影响¹⁾

Table 2 Effect of applying nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on average yield of late rice

kg/hm²

地点 Position	空白对照 ($N_0P_0K_0$) Control	缺氮产量($N_0P_2K_2$) Yield at N_0	缺磷产量($N_2P_0K_2$) Yield at P_0	缺钾产量($N_2P_2K_0$) Yield at K_0	最佳产量($N_2P_2K_2$) Optimal yield
井冈山市 Jinggangshan City	4 572.6	5 210.9	7 000.4	6 943.9	7 418.6
吉州区 Jizhou District	4 897.1	6 358.0	7 071.2	7 267.6	7 452.5
青原区 Qingyuan District	4 345.0	5 320.0	6 950.0	6 530.0	6 665.0
新干县 Xingan County	3 935.0	5 625.0	6 850.0	6 495.0	7 105.0
永丰县 Yongfeng County	4 111.9	4 718.6	6 754.1	6 557.3	7 000.9
吉安县 Ji'an County	5 790.5	6 671.5	8 458.0	7 787.5	8 805.0
万安县 Wanan County	4 532.3	5 021.2	7 600.4	6 963.4	7 647.4
吉水县 Jishui County	4 695.0	5 100.0	6 300.0	6 385.0	7 020.0
吉水县 Jishui County	4 355.0	5 105.0	6 755.0	6 880.0	7 575.0
永新县 Yongxin County	5 056.5	5 343.0	7 119.5	7 235.5	7 477.0
安福县 Anfu County	3 935.0	5 625.0	6 850.0	6 495.0	7 105.0
泰和县 Taihe County	3 881.0	4 269.5	6 826.5	6 933.0	7 214.0
峡江县 Xiajiang County	5 040.5	5 210.5	7 129.0	6 474.5	7 445.0
遂川县 Suichuan County	3 911.0	5 088.5	6 561.0	6 568.0	7 268.5

1)表中 $N_0P_0K_0$ 、 $N_0P_2K_2$ 、 $N_2P_0K_2$ 、 $N_2P_2K_0$ 、 $N_2P_2K_2$ 处理的施肥量见表1,数据为试验点3年的平均产量。The application rates of $N_0P_0K_0$ 、 $N_0P_2K_2$ 、 $N_2P_0K_2$ 、 $N_2P_2K_0$ 、 $N_2P_2K_2$ were listed in Table 1, and the data is average yield from three-year field trials.

2.2 速效氮、磷、钾养分分级指标的建立

1)土壤碱解氮分级指标的建立。根据晚稻试验缺氮处理的相对产量与土壤碱解氮含量作散点图,并求得直线回归方程(图1-A)。14个试验点3年土壤碱解氮含量与缺氮处理晚稻相对产量建立的模型关系式为 $y = 0.1523x + 50.1750$,相关系数为0.630($r_{0.05} = 0.288, n = 42$),相关性达到显著水平。所有晚稻试验缺氮处理相对产量为64.7%~85.1%,平均为73.6%。相对产量60%、70%、80%和90%对应的土壤碱解氮含量分别为64.5、

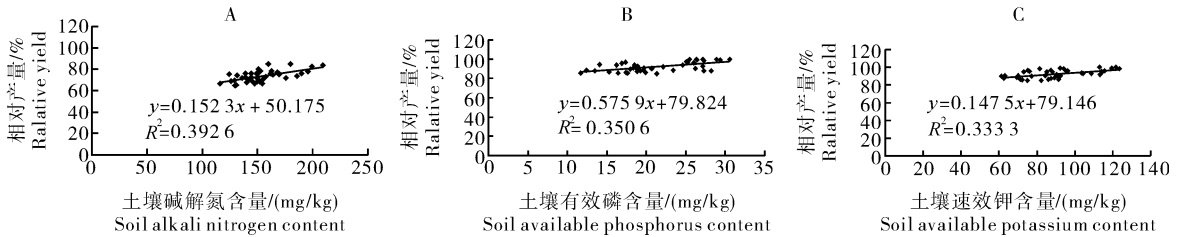
130.2、195.8、261.5 mg/kg,即为土壤碱解氮分级指标值。因此,将土壤碱解氮分为5个等级:相对产量小于60%,土壤碱解氮含量低于64.5 mg/kg为低等级;相对产量60%~70%,土壤碱解氮含量64.5~130.2 mg/kg为较低等级;相对产量70%~80%,土壤碱解氮含量130.2~195.8 mg/kg为中等等级;相对产量80%~90%,土壤碱解氮含量大于195.8~261.5 mg/kg为较高等级。相对产量大于90%,土壤碱解氮含量大于261.5 mg/kg为高等级;考虑到实际操作简便,将土壤碱解氮指标值进一步

简化,即土壤碱解氮含量低于 60 mg/kg 的土壤为低等级;60~130 mg/kg 的土壤为较低等级;130~190 mg/kg 的土壤为中等级;190~260 mg/kg 的土壤为较高等级;大于 260 mg/kg 的土壤为高等级。

2)土壤有效磷分级指标的建立。根据晚稻试验缺磷处理的相对产量与土壤有效磷含量作散点图,并求得直线回归方程(图 1-B)。14 个试验点 3 年土壤有效磷含量与缺磷处理晚稻相对产量建立的模型关系式为 $y=0.5759x+79.824$,相关系数为 0.592 ($r_{0.05}=0.288, n=42$),相关性达到显著水平。所有晚稻试验点缺磷处理相对产量为 85.2%~100%,平均值为 92.1%。相对产量 85%、90% 和 95% 对应的土壤有效磷含量分别为 9.0、17.7、26.4 mg/kg,即为土壤有效磷分级指标值。因此,将土壤有效磷分成 4 个等级,即缺磷处理相对产量小于 85%,土壤有效磷含量低于 9.0 mg/kg 为低等级;缺磷处理相对产量 85%~90%,土壤有效磷含量 9.0~17.7 mg/kg 为中等级;缺磷处理相对产量 90%~95%,土壤有效磷含量 17.7~26.4 mg/kg 为较高等级;缺磷处理相对产量高于 95%,土壤有效磷含量高于 26.4 mg/kg 为高等级。考虑到实际操作的方便性,将土壤有效磷的指标值进一步简化,即土壤有效磷含量低于 10 mg/kg 的土壤为低等

级;土壤有效磷含量在 10~18 mg/kg 的土壤为中等级;土壤有效磷含量在 18~26 mg/kg 的土壤为较高等级;高于 26 mg/kg 的土壤高等级。

3)土壤速效钾分级指标的建立。根据晚稻试验缺钾处理的相对产量与土壤速效钾含量作散点图,并求得直线回归方程(图 1-C)。14 个试验点 3 年土壤速效钾含量与缺钾处理晚稻相对产量建立的模型关系式为 $y=0.1475x+79.146$,相关系数为 0.577 ($r_{0.05}=0.288, n=42$),相关性达到显著水平。所有晚稻试验点缺钾处理相对产量为 85.2%~100%,平均值为 92.6%,相对产量 85%、90% 和 95% 对应的土壤速效钾含量分别为 39.7、73.6 和 107.5 mg/kg,即为土壤速效钾分级指标值。因此,将土壤速效钾分为 4 个等级,相对产量小于 85%,土壤速效钾含量低于 39.7 mg/kg 为低等级;相对产量在 85%~90%,土壤速效钾含量 39.7~73.6 mg/kg 为中等级;相对产量 90%~95%,土壤速效钾含量 73.6~107.5 mg/kg 为较高等级;相对产量在 95% 以上,土壤速效钾含量大于 107.5 mg/kg 为高等级。考虑到实际操作简便,将土壤速效钾的指标值进一步简化,即土壤速效钾含量低于 40 mg/kg 为低等级;土壤速效钾含量在 40~70 mg/kg 中等级;介于 70~110 mg/kg 为较高等级;大于 110 mg/kg 为高等级。



A: 缺氮相对产量与土壤碱解氮含量关系 The relationship of relative yield at N deficiency with soil alkali nitrogen content; B: 缺磷相对产量与土壤有效磷含量关系 The relationship of relative yield at P deficiency with soil available phosphorus content; C: 缺钾相对产量与土壤速效钾含量关系 The relationship of relative yield at K deficiency with soil available K content.

图 1 晚稻相对产量与土壤有效养分含量的关系 (n=42)

Fig. 1 The relationship between late rice relative yield and soil available nutrient content

2.3 氮肥、磷肥和钾肥的推荐施肥量

对试验区 3 年“3414”试验进行三元二次回归分析,42 个试验模拟成功仅有 4 个,成功率仅为 10%。进一步对 N、P、K 分别进行一元二次拟合,结果 N 拟合成功 32 个,成功率为 76%;P 拟合成功 22 个,成功率为 52%;K 拟合成功 26 个,成功率为 62% (表 3)。对于分别采用一元二次方程拟合不成功的

试验点再用线性加平台方程进行拟合,结果 N 拟合成功 8 个,成功率为 80%;P 拟合成功 13 个,成功率为 65%;K 拟合成功 11 个,成功率为 69% (表 3)。对所有方程拟合不成功且增产效果不明显的点,设定最佳施肥量为 0;对于推荐施肥量高于试验的最高施肥量的点,设定试验的最高施肥量为推荐施肥量。

表 3 42 个“3414”田间试验施肥效应方程拟合成功率比较

Table 3 Comparison on the percentage of successful fertilization effect models for forty-two “3414” field experiments

模型 Model	三元二次方程 Three-factor model	一元二次方程 One-factor model			直线加平台 Line and platform		
		N	P	K	N	P	K
模型拟合成功率/% The percentage of successful models	10	76	52	62	80	65	69

1) 氮肥推荐施肥量指标体系的建立。参考 Fageria 等方法^[15], 利用 14 个试验点 3 年 42 个“3414”试验区各点碱解氮含量与对应的晚稻最佳施用氮肥量 (N) 做散点图, 拟合方程为 $y = -68.342\ln x + 494.02$ (y 表示最佳施肥量, x 为对应的碱解氮含量), 其相关系数为 0.650 ($r_{0.05} = 0.325, n = 40$) (表 4), 相关性达到显著水平。土壤碱解氮含量为 60、130、190 和 260 mg/kg 时最佳施肥量分别为 214、162、135 和 114 kg/hm²。同时, 42 个试验点氮肥最高施肥量为 196~271 kg/hm², 平均为 243 kg/hm², 因而, 取施氮量 240 kg/hm² 为极低等级的土壤推荐施肥量为上限。考虑到实际操作的简便, 等级划分进行适当调整后确定了在不同碱解氮分级指标范围内氮肥推荐施用量 (表 5)。

2) 磷肥推荐施肥量指标体系的建立。利用 14 个试验点 3 年 42 个“3414”试验区各点有效磷含量与对应的晚稻最佳施用磷肥量 (P₂O₅) 做散点图, 拟合方程为 $y = -48.095\ln x + 187.82$ (y 表示最佳施肥量, x 为对应的有效磷含量), 相关系数为 0.795 ($r_{0.05} = 0.349, n = 35$) (表 4), 相关性达到显著水平。

土壤有效磷含量为 10、18、26 mg/kg 时最佳施肥量分别为 77、49、31 kg/hm²。同时, 42 个试验点磷肥最高施肥量为 31~123 kg/hm², 平均值为 98 kg/hm², 因此取 100 kg/hm² 为高等级土壤推荐施肥量为上限。考虑到实际操作的简便, 等级划分进行适当调整后确定了在不同有效磷分级指标范围内磷肥推荐施肥量 (表 5)。

3) 钾肥推荐施肥量指标体系的建立。利用 14 个试验点 3 年 42 个“3414”试验区各点速效钾含量与对应的晚稻最佳施用钾肥量 (K₂O) 做散点图, 拟合方程为 $y = -64.258\ln x + 370.03$ (y 表示最佳施肥量, x 为对应的速效钾含量), 相关系数为 0.715 ($r_{0.05} = 0.325, n = 37$) (表 4), 相关性达到显著水平。土壤速效钾含量为 40、70、110 mg/kg 时最佳施肥量分别为 133、97、68 kg/hm²。同时, 42 个试验点钾肥最高施肥量为 84~189 kg/hm², 平均值为 151 kg/hm², 因此取 150 kg/hm² 为高等级土壤推荐施肥量为上限。考虑到实际操作的简便, 等级划分进行适当调整后确定了在不同速效钾分级指标范围内钾肥推荐施肥量 (表 5)。

表 4 土壤速效养分含量与最佳施肥量拟合关系¹⁾

Table 4 The fitting relationship between paddy soil available nutrients content and optimum amount of fertilization

养分 Nutrient	拟合方程 Fitting equation	决定系数 Determination coefficient	相关系数 Correlation coefficient	样本数 Sample numbers
碱解氮 Available nitrogen	$y = -68.342\ln x + 494.02$	0.423	0.650	40
有效磷 Available phosphorus	$y = -48.095\ln x + 187.82$	0.632	0.795	35
速效钾 Available potassium	$y = -64.258\ln x + 370.03$	0.511	0.715	37

1) y 表示最佳施肥量, x 为对应的速效养分含量。 y indicates the optimum amount of fertilization and x indicates soil available nutrients content.

表 5 土壤有效养分含量分级指标和推荐施肥量

Table 5 The classification indexes of available nutrient content and the fertilizer recommendation rates

等级 Grade	相对产量/% Relative yield			含量/(mg/kg) Available content			推荐施用量/(kg/hm ²) Recommend rate			最高施用量/(kg/hm ²) Highest rate		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
较高 Higher	80~90	90~95	90~95	190~260	18~26	70~110	110~140	30~50	60~100			
中 Medium	70~80	85~90	85~90	130~190	10~18	40~70	140~160	50~80	100~130			
低 Lower	60~70	<85	<85	60~130	<10	<40	160~210	>80	>130	240	100	150

3 讨论

建立合理的土壤养分分级指标是有效利用土壤养分测试值进行推荐施肥的基础。缺素区相对产量是制定土壤养分分级指标的重要参数,国内外科研工作曾用不同的相对产量进行土壤分级^[11]。针对土壤碱解氮的分级,农业部在2008年3月制定的《测土配方施肥技术规范》中,建议把相对产量<50%所对应的土壤碱解氮等级划分为极低、50%~60%为低、60%~70%为较低、70%~80%为中、80%~90%为较高、>95%为高。对于土壤磷、钾养分的分级,戢林等^[11]提出相对产量<80%为低、80%~85%为较低、85%~90%为中、90%~95%为较高、>95%为高。42个试验中土壤碱解氮的实测值虽然较高(116~209 mg/kg),但相对产量(60%~85%)很低,施用氮肥增产效果非常明显。其原因可能是当前推广的高产杂交水稻品种对氮肥的需求较多,相应土壤碱解氮丰缺临界值随之提高。土壤有效磷含量分布在11~31 mg/kg,相对产量较高(85%~100%),参照戢林等^[11]提出的养分分级方法,该地区土壤有效磷分级等级定为高等级水平^[16]。这一结果与江西省吉安市水稻土有效磷含量比较丰富、施磷肥效果不明显是一致的。试验区域土壤速效钾含量较高(61~119 mg/kg),相对产量也较高(85%~100%),同样参照戢林等^[11]提出的养分分级方法,土壤速效钾分级等级定为较高等级水平^[13]。可见江西省吉安市水稻土速效钾含量和土壤有效磷含量均比较丰富,在生产实践中要根据土壤情况酌情施用磷、钾肥。

施肥的目的是提高农作物产量、改善农产品品质、提高耕地产出率和土壤肥力,保证农业生产可持续发展,同时也可提高农民的收入^[17]。科学施肥技术能否得到大面积推广应用,关键在于是否能提高农民收入。推荐氮肥施用量的增加不仅会降低农民的收入,而且还会污染环境,影响农业生产可持续发展。本研究的施肥模型拟合结果与前人一致,采用三元二次模型拟合试验成功率很低^[11-12],本试验仅为10%。三元二次模型拟合试验成功率低的原因与大田试验环境影响因素有关,受影响的因素越多越复杂,试验误差可能就越大。本试验三元二次方程同时涉及氮、磷、钾3个因素,如果某1个或2个因素产生误差,就可能导致拟后成功率低,即拟合不成功,而一元二次方程或一元一次方程加平台模型

只考虑1个因素,容易控制,误差较少,所以模型拟合试验成功率较高。因此,肥料效应分析涉及多因素多水平。采用农业部“3414”试验统一方法分析时,控制试验条件的一致性,是拟合成功的关键。因此,本研究在对三元二次肥料效应回归模型进行拟合的基础上,采用一元二次模型进行拟合,对一元二次模型拟合不成功的,进而使用线性加平台模型进行拟合。对模型计算出的推荐施肥量高于试验最高施肥量的点,设定试验最高施肥量为最佳施肥量,对于拟合均不成功且增产效果不明显的点,设定最佳施肥量为0。根据这一原则,发现江西省吉安市缺氮相对产量(60%~85%)很低,提出推荐最佳施肥量为110~210 kg/hm²,施用氮肥增产效果显著;缺磷相对产量(85%~100%)较高,推荐最佳施肥量为0~80 kg/hm²。缺钾相对产量(85%~95%)较高,推荐最佳施肥量为0~130 kg/hm²,施用磷肥和钾肥有一定的增产效果。与目前当地农民习惯施肥水平比较,氮肥推荐施用量偏高,磷、钾肥推荐施用量较低。因此,在实践生产中,应根据土壤基础养分状况和水稻产量,合理施用氮肥,对于有效磷和速效钾丰富的区域,在一定时期内可减少施用或隔季施用。

参 考 文 献

- [1] 张福锁. 测土配方施肥技术要览[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006.
- [2] 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.
- [3] 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 450-459.
- [4] 彭少兵, 黄见良, ROLAND B, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1095-1103.
- [5] 陈伦寿, 李仁岗. 农田施肥原理与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 49-107.
- [6] 王圣瑞, 陈新平, 高祥照, 等. “3414”肥料试验模型拟合的探讨[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 409-413.
- [7] 杨俐苹, 自由路, 王贺, 等. 测土配方施肥指标体系中“3414”试验方案应用研讨——以内蒙古海拉尔地区油菜“3414”试验为例[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 1018-1023.
- [8] 李承力, 杨特武, 徐君驰, 等. 丹江口库区麦套稻适宜施肥量及养分利用率研究[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(5): 532-538.
- [9] 童军, 吴家琼, 甘曦, 等. 江汉平原主要中稻品种施肥模型的研究及应用[J]. 湖北农业科学, 2011(24): 5067-5071.
- [10] 杨利, 丁亨虎, 范先鹏, 等. 江汉平原棉麦套种方式下小麦施肥

- 模型的建立及其应用研究[J]. 湖北农业科学, 2012(14):2932-2937.
- [11] 戴林, 张锡洲, 李廷轩. 基于“3414”试验的川中丘陵区水稻测土配方施肥指标体系构建[J]. 中国农业科学, 2011, 44(1): 84-92.
- [12] 孙义祥, 郭跃升, 于舜章, 等. 应用“3414”试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 197-203.
- [13] 孔庆波, 章明青, 李娟, 等. 福建省晚稻测土配方施肥指标体系的研究[J]. 热带作物学报, 2010, 31(11):1873-1880.
- [14] CERRATO M E, BLACKMER A M. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer[J]. *Agronomy Journal*, 1990, 82:138-143.
- [15] FAGERIA N K, BALIGAR V C, JONES C A. Growth and mineral nutrition of field crops[M]. New York: Marcel Dekker Inc, 1997.
- [16] 黄美福, 谢如林, 谭宏伟, 等. 赤红壤有效磷分级指标的研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(5):1165-1168.
- [17] 高祥照, 马常宝, 杜森. 测土配方施肥技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.

Fertilization recommendation for late rice based on “3414” field trials in Ji’an, Jiangxi Province

YE Xiang-sheng¹ WEN Jian-ping² WANG Wei-ping³

1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Agricultural Bureau of Ji’an City, Ji’an 343000, China;

3. College of Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract To use chemical fertilizers rationally, reduce the resources waste and enhance fertilization efficiency, 42 “3414” field experiments for late rice were conducted in 13 counties and regions in Ji’an city, Jiangxi Province from 2008 to 2010 to study the effect of soil testing and formulated fertilization on rice production. The results showed that the relative yield of late rice was 60%-85% when soil alkali-N content ranged from 116 mg/kg to 209 mg/kg. The recommendation of fertilizer N rate for late rice was 110-210 kg/hm². The relative yield of late rice was 85%-100% when soil available K content ranged from 61 mg/kg to 119 mg/kg, indicating applying potassium fertilizer could improve yield. The recommended amount of K fertilizer application was 0-130 kg/hm². There were high soil available P content and relative yield of late rice in the experimental regions, which were 11-31 mg/kg and 85%-100%, respectively. Fertilizing quantity recommended for P was 0-80 kg/hm². The effect of P fertilizer was inferior to N and K. The recommended nitrogen fertilizing level calculated according to the high soil alkali-N content and low relative yield of late rice was relatively high.

Key words late rice; “3414” field experiment; nutrient classification index; relative yield; fertilization recommendation

(责任编辑:陆文昌)