

常规水稻氮磷钾养分测土配方施肥肥料效应研究

付春燕

(云南省弥勒市农业技术推广中心, 云南弥勒 652399)

摘要 应用“3414”最优回归设计原理, 设置常规水稻种植区常规稻氮磷钾测土配方施肥肥料效应研究试验。结果表明, 氮肥利用率提高 9.47%, 磷肥利用率提高 11.09%, 钾肥利用率提高 22.00%, 得出肥料效应方程; 由此数学模型得出, 常规水稻种植区最佳施肥指标为纯 N 331.20 kg/hm²、P₂O₅ 103.50 kg/hm²、K₂O 113.10 kg/hm², 最佳产量为 10 605.15 kg/hm², 利润为 16 814.40 元/hm², 产投比为 7.94。

关键词 常规稻; 氮磷钾养分; 测土配方施肥; 肥料效应

中图分类号 S511; S147.5 **文献标识码** A **文章编号** 1007-5739(2019)11-0022-02

测土配方施肥是促进农业生产持续发展、提高耕地综合能力、促使农业生产增产节支的一项有效技术措施^[1-2]。测土配方施肥技术实施人员在弥勒市常规稻种植区弥阳镇阿乌村一农户的责任田中设置“3414”肥料效应研究试验。现将试验结果总结如下。

1 材料与方法

1.1 试点地概况

试验地设在弥阳镇阿乌村委会阿乌二村一农户的责任田中, 前茬作物为油菜, 一年两熟, 土壤为潴育型冲积性水稻土, 土种为鸡粪土田, 质地为冲积物, 海拔 1 553 m, 东经 103°31'37"、北纬 24°20'51", 年降雨量 987.7 mm。耕地土壤 pH 值 6.81、有机质 77.33 g/kg、全氮 3.83 g/kg、碱解氮 296.4 mg/kg、速效磷 11.5 mg/kg、缓效钾 202.8 mg/kg、速效钾 130.4 mg/kg, 属当地中等肥力田。

1.2 供试肥料

供试水稻品种为当地主栽品种合系 24。

供试肥料: 硫酸钾, 为芬兰产, 含 K₂O 50%; 过磷酸钙, 为红河州磷肥厂生产, 含 P₂O₅ 16%; 尿素, 为云南东风氮肥厂生产, 含纯 N 46%。

1.3 试验设计

试验采用农业部测土配方施肥“3414”最优回归设计^[3-5], “3414”是指氮、磷、钾 3 个因素, 4 个水平, 14 个处理; 4 个水平的含义: 0 水平指不施氮、磷、钾肥; 2 水平指本地常规施肥量(N:P₂O₅:K₂O=18:7:6); 1 水平=2 水平×0.5; 3 水平=2 水平×1.5。试验因素及各水平施肥量见表 1, “3414”完全实施方案见表 2。试验小区面积 13.33 m²(5.33 m×2.50 m)。处理间沟宽 30 cm, 重复间沟宽 80 cm, 行距 25 cm, 10 行, 株距 12 cm (44 丛), 每小区 440 丛, 折合 33 万丛/hm²。四周设保护区。

表 1 氮、磷、钾各水平施肥量

水平	施用量/kg·hm ⁻²		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0	0	0	0
1	135	52.5	45
2	270	105.0	90
3	405	157.5	135

1.4 试验实施

水稻 5 月 12 日移栽, 氮肥总量的 50% 作底肥、30% 作分蘖肥(移栽后 5 d 追施)和 20% 作穗粒肥(移栽后 55 d 追

作者简介 付春燕(1985-), 女, 云南开远人, 农艺师, 从事农业技术试验、示范推广工作。

收稿日期 2019-02-13

表 2 “3414”试验施肥完全实施方案

处理	编码	施肥量/kg·hm ⁻²		
		N(X ₁)	P ₂ O ₅ (X ₂)	K ₂ O(X ₃)
1	N ₀ P ₀ K ₀	0	0	0
2	N ₀ P ₂ K ₂	0	105.0	90
3	N ₁ P ₂ K ₂	135	105.0	90
4	N ₂ P ₀ K ₂	270	0	90
5	N ₂ P ₁ K ₂	270	52.5	90
6	N ₂ P ₂ K ₂	270	105.0	90
7	N ₃ P ₂ K ₂	270	157.5	90
8	N ₃ P ₂ K ₀	270	105.0	0
9	N ₂ P ₂ K ₁	270	105.0	45
10	N ₂ P ₂ K ₃	270	105.0	135
11	N ₃ P ₂ K ₂	405	105.0	90
12	N ₁ P ₁ K ₂	135	52.5	90
13	N ₁ P ₂ K ₁	135	105.0	45
14	N ₂ P ₁ K ₁	270	52.5	45

施), 磷肥和钾肥总量的 100% 作底肥一次施用。其余栽培管理与大田相同^[6-8]。9 月 2 日收获, 收获时分小区脱粒称量, 折算单位面积产量。

2 结果与分析

2.1 对产量的影响

从表 3 可以看出, 产量表现为处理 11(N₃P₂K₂)>处理 6(N₂P₂K₂)>处理 10(N₂P₂K₃)>处理 7(N₂P₂K₂), 处理 11、6、10、7 产量分别较处理 1(N₀P₀K₀) 增产 54.59%、53.70%、51.95%、50.17%。方差分析(表 4)结果表明, $F=44.41>F_{0.01}=14.66$, 差异极显著。由此说明, 不同用量的氮、磷、钾肥配合施用是引起常规稻产量差异的重要因素。

表 3 不同处理水稻产量

处理	编码	产量/kg·hm ⁻²			平均(Y)
		I	II	III	
1	N ₀ P ₀ K ₀	6 832.5	6 705.0	6 645.0	6 727.50
2	N ₀ P ₂ K ₂	8 977.5	8 910.0	8 863.5	8 917.00
3	N ₁ P ₂ K ₂	9 772.5	9 682.5	9 630.0	9 695.00
4	N ₂ P ₀ K ₂	9 537.5	9 547.5	9 502.5	9 529.17
5	N ₂ P ₁ K ₂	10 140.0	10 080.0	10 042.5	10 087.50
6	N ₂ P ₂ K ₂	10 402.5	10 342.5	10 275.0	10 340.00
7	N ₂ P ₂ K ₂	10 170.0	10 095.0	10 042.5	10 102.50
8	N ₃ P ₂ K ₀	9 345.0	9 285.0	9 217.5	9 282.50
9	N ₂ P ₂ K ₁	9 547.5	9 600.0	9 675.0	9 607.50
10	N ₂ P ₂ K ₃	10 282.5	10 215.0	10 170.0	10 222.50
11	N ₃ P ₂ K ₂	10 335.0	10 402.5	10 462.5	10 400.00
12	N ₁ P ₁ K ₂	9 442.5	9 487.5	9 600.0	9 510.00
13	N ₁ P ₂ K ₁	9 090.0	9 127.5	9 172.5	9 130.00
14	N ₂ P ₁ K ₁	9 292.5	9 345.0	9 375.0	9 337.50

通过对试验结果进行回归分析, 得出施肥量与产量的数学模型为

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_1^2 + b_3X_2 + b_4X_2^2 + b_5X_3 + b_6X_3^2 + b_7X_1X_2 + b_8X_1X_3 +$$

表 4 方差分析

变异来源	自由度	方差	均方	F 值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
回归	9	48 589.57	5 398.8	44.41	6	14.66
残差	4	486.25	121.56			
总体	13	49 075.82				

 $b_9X_2X_3$

回归系数见表 5。其中 $R^2=0.96$, 标准差为 23.8。因此, 回归方程为

$$Y=447.51+5.849 1X_1-0.093X_1^2+13.106X_2+0.588X_2^2+27.138 X_3-0.727X_3^2+0.222 1X_1X_2-0.129X_1X_3-1.267X_2X_3$$

由此数学模型得出, 常规稻栽培最佳施肥指标为纯 N 331.20 kg/hm²、P₂O₅ 103.50 kg/hm²、K₂O 113.10 kg/hm², 最佳产量为 10 605.15 kg/hm², 产值为 18 931.05 元/hm², 纯收入为 16 814.40 元/hm², 新增纯收入 4 704.90 元/hm², 产投比 7.94。

表 5 回归方程系数

方程系数	方程系数值	方程系数	方程系数值
b_0	447.510 0	b_5	27.138 0
b_1	5.849 1	b_6	-0.727 0
b_2	-0.093 0	b_7	0.222 1
b_3	13.106 0	b_8	-0.129 0
b_4	0.588 0	b_9	-1.267 0

2.2 对经济效益的影响

由表 6 可知, 处理 11 (N₃P₂K₂) 水稻产值最高, 达到 18 720.00 元/hm², 较处理 1 (N₀P₀K₀) 增加 6 610.50 元/hm², 增幅为 54.59%; 纯收入以处理 6 (N₂P₂K₂) 最高, 为 16 725.52 元/hm², 较处理 1 (N₀P₀K₀) 增加 4 616.02 元/hm², 增幅为 38.12%; 新增纯收益以处理 6 (N₂P₂K₂) 最高, 其产投比 7.90。处理 6 (N₂P₂K₂) 纯收入较处理 11 (N₃P₂K₂)、7 (N₂P₃K₂)、10 (N₂P₂K₃) 分别增加 2.73%、3.62%、2.74%, 较处理 1 (N₀P₀K₀) 增加 38.12%。

表 6 不同处理水稻经济效益分析

处理	编码	产量/kg·hm ⁻²	产值/元·hm ⁻²	肥料投入/元·hm ⁻²	纯收入/元·hm ⁻²	较处理 1±/元·hm ⁻²	产投比
1	N ₀ P ₀ K ₀	6 727.50	12 109.50	0	12 109.50		
2	N ₀ P ₂ K ₂	8 917.00	16 050.60	783.00	15 267.60	3 158.10	19.50
3	N ₁ P ₂ K ₂	9 695.00	17 451.00	1 334.74	16 116.26	4 006.76	12.07
4	N ₂ P ₀ K ₂	9 529.17	17 152.51	1 571.48	15 581.03	3 471.53	9.91
5	N ₂ P ₁ K ₂	10 087.50	18 157.50	1 728.98	16 428.52	4 319.02	9.50
6	N ₂ P ₂ K ₂	10 340.00	18 612.00	1 886.48	16 725.52	4 616.02	8.87
7	N ₂ P ₃ K ₂	10 102.50	18 184.50	2 043.98	16 140.52	4 031.02	7.90
8	N ₂ P ₂ K ₀	9 282.50	16 708.50	1 418.48	15 290.02	3 180.52	10.78
9	N ₂ P ₂ K ₁	9 607.50	17 293.50	1 652.48	15 641.02	3 531.52	9.47
10	N ₂ P ₂ K ₃	10 222.50	18 400.50	2 120.48	16 280.02	4 170.52	7.68
11	N ₃ P ₂ K ₂	10 400.00	18 720.00	2 438.22	16 281.78	4 172.28	6.68
12	N ₁ P ₁ K ₂	9 510.00	17 118.00	1 177.24	15 940.76	3 831.26	13.54
13	N ₁ P ₂ K ₁	9 130.00	16 434.00	1 100.74	15 333.26	3 223.76	13.93
14	N ₂ P ₁ K ₁	9 337.50	16 807.50	1 494.98	15 312.52	3 203.02	10.24

注: 尿素 1.88 元/kg, 过磷酸钙 0.48 元/kg, 硫酸钾 2.60 元/kg, 稻谷 1.80 元/kg 计算。

处理 6 (N₂P₂K₂) 纯收入较处理 3 (N₁P₂K₂)、5 (N₂P₁K₂)、9 (N₂P₂K₁) 分别增加 3.78%、1.81%、6.93%。

2.3 对氮磷钾元素的吸收量和肥料当季利用率的影响

由表 7 可知, 常规稻随着氮、磷、钾素吸收量的增加, 肥料当季利用率随之增加。处理 6 (N₂P₂K₂) 较处理 11 (N₃P₂K₂) 的氮肥利用率提高 9.47%, 较处理 7 (N₂P₃K₂) 的磷肥利用率提

高 11.09%, 较处理 10 (N₂P₂K₃) 的钾肥利用率提高 22.00%, 常规稻氮、磷、钾的吸收量与肥料当季利用率成正比。

氮、磷、钾三要素中某一要素缺乏时, 肥料当季利用率下降; 某一要素处于低施用水平时, 肥料当季利用率有所提高。因此, 氮、磷、钾三要素合理配比施用, 不但能提高常规稻单位面积产量, 还能提高经济效益和肥料当季利用率。

表 7 不同处理对常规稻氮、磷、钾素的吸收量和肥料当季利用率的影响

处理	编码	籽粒产量 kg·hm ⁻²	植株产量 kg·hm ⁻²	籽粒含量/%			植株含量/%			总吸收量/kg·hm ⁻²			肥料当季利用率/%		
				N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1	N ₀ P ₀ K ₀	6 727.50	5 673.75	1.05	0.40	0.14	0.34	0.08	0.89	90.00	31.35	60.00			
2	N ₀ P ₂ K ₂	8 917.00	7 346.55	1.40	0.43	0.15	0.28	0.09	0.79	145.35	45.00	71.25		2.71	-7.33
3	N ₁ P ₂ K ₂	9 695.00	7 823.85	1.33	0.39	0.18	0.29	0.13	1.14	151.65	48.00	106.65	4.67	5.57	31.83
4	N ₂ P ₀ K ₂	9 529.17	7 625.25	1.54	0.36	0.15	0.37	0.10	0.88	175.50	42.15	81.45	11.17		3.83
5	N ₂ P ₁ K ₂	10 087.50	8 267.55	1.33	0.39	0.16	0.57	0.13	0.90	181.20	50.10	90.60	13.28	15.14	14.00
6	N ₂ P ₂ K ₂	10 340.00	8 432.70	1.47	0.43	0.17	0.60	0.15	1.14	202.50	57.00	113.70	21.17	14.14	39.67
7	N ₂ P ₃ K ₂	10 102.50	8 244.00	1.19	0.35	0.18	0.62	0.14	0.89	171.30	46.95	91.50	9.61	3.05	15.00
8	N ₂ P ₂ K ₀	9 282.50	7 347.30	1.47	0.38	0.16	0.64	0.16	0.86	183.45	46.95	78.00	14.11	3.05	
9	N ₂ P ₂ K ₁	9 607.50	7 695.75	1.19	0.43	0.16	0.55	0.16	0.91	156.60	53.55	85.50	4.17	10.86	16.67
10	N ₂ P ₂ K ₃	10 222.50	8 340.00	1.26	0.38	0.18	0.54	0.14	1.00	173.85	50.55	101.85	10.65	8.00	17.67
11	N ₃ P ₂ K ₂	10 400.00	8 265.90	1.40	0.33	0.14	0.55	0.15	1.14	192.75	47.25	108.75	11.70	4.86	34.17
12	N ₁ P ₁ K ₂	9 510.00	7 778.40	1.26	0.36	0.15	0.39	0.09	0.81	150.15	41.25	77.25	3.56	-1.71	-1.41
13	N ₁ P ₂ K ₁	9 130.00	7 417.05	1.12	0.36	0.16	0.47	0.16	0.99	137.10	44.70	88.05	-6.11	2.41	9.57
14	N ₂ P ₁ K ₁	9 337.50	7 601.85	1.19	0.38	0.15	0.38	0.13	0.76	132.00	45.45	71.70	-4.96	6.29	-12.00

3 结论与讨论

试验结果表明, 水稻产量表现为 N₃P₂K₂>N₂P₂K₂>N₂P₂K₃>N₂P₃K₂, 处理 N₃P₂K₂、N₂P₂K₂、N₂P₂K₃、N₂P₃K₂ 产量较处理 N₀P₀K₀ 分别增产 54.59%、53.70%、51.95%、50.17%。方差分析可知,

$F=44.41>F_{0.01}=14.66$, 差异极显著。由此说明, 不同用量的氮、磷、钾配合施用是引起常规水稻产量差异的重要因素。处理 N₂P₂K₂ 的纯利润最高, 分别较处理 N₃P₂K₂、N₂P₃K₂、N₂P₂K₃ (下转第 25 页)

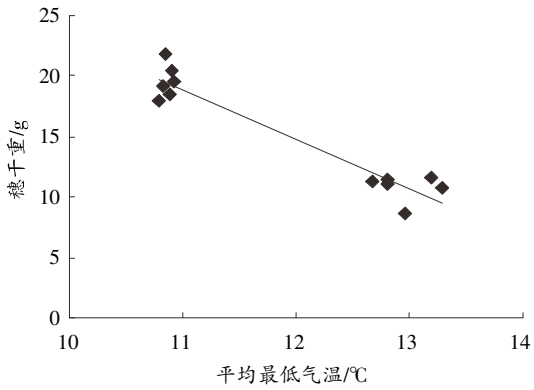


图3 平均最低气温与小麦穗干重的关系

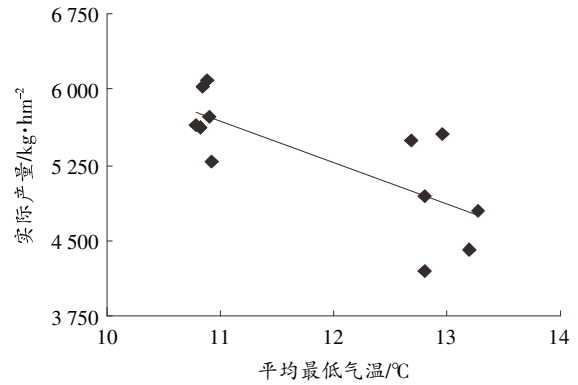


图5 平均最低气温与小麦实际产量的关系

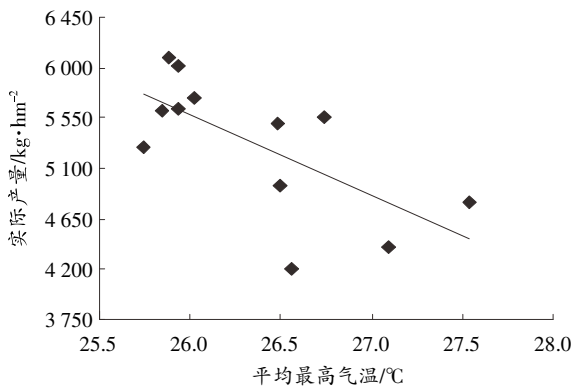


图4 平均最高气温与小麦实际产量的关系

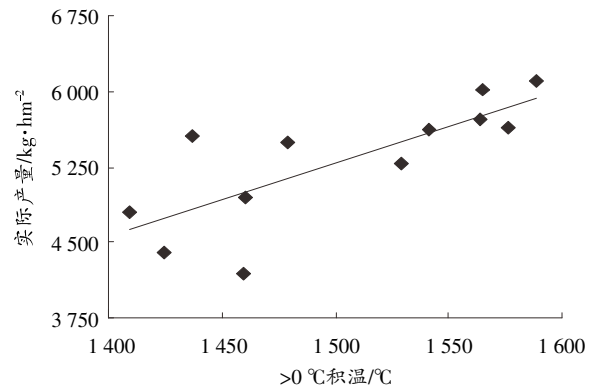


图6 >0℃积温与小麦实际产量的关系

$R=0.687, F=8.879$, 该等式可靠性达到 0.01。

2.3 平均最低温度、>0℃积温与实际产量的关系

由图 5 可以看出,贺兰县试验品种宁春 39 号的实际产量和平均最低温度也呈现出明显的负相关关系:

$$Y=-283.9T_s+8\ 662$$

$R=0.72, F=11.21$, 方程通过信度为 0.01 的检验。

由图 6 可以看出,通过分析得出贺兰县宁春 39 号的实际产量与积温满足最优方程:

$$Y=5.722\sum T_{>0}-3\ 234$$

$R=0.76, F=14.69$, 方程通过信度为 0.01 的检验。

3 结论

研究结果表明,在整个生长期中,平均最高气温、最低(上接第 23 页)

增加 2.73%、3.62%、2.74%,较处理 $N_0P_0K_0$ 增加 38.12%。

处理 $N_2P_2K_2$ 的肥料利用率较处理 $N_3P_2K_2$ 氮肥利用率提高 9.47%,较处理 $N_2P_3K_2$ 磷肥利用率提高 11.09%,较处理 $N_2P_2K_3$ 钾肥利用率提高 22.00%。回归分析可得常规稻施肥量与产量的数学模型为 $Y=447.51+5.849\ 1X_1-0.093X_1^2+13.106X_2+0.588X_2^2+27.138X_3-0.727X_3^2+0.222\ 1X_1X_2-0.129X_1X_3-1.267X_2X_3$ 。由此得出,常规稻最佳施肥量为纯 N 331.20 kg/hm²、P₂O₅ 103.50 kg/hm²、K₂O 113.10 kg/hm²,最佳产量 10 605.15 kg/hm²,纯收入为 16 814.40 元/hm²,新增纯收入为 4 704.90 元/hm²,较处理 $N_2P_2K_2$ 增加 88.50 元/hm²,产投比 7.94。

氮、磷、钾三要素对常规稻产量都有不同程度的影响,其交互作用均为 $NP(0.222\ 1)>NK(-0.129\ 0)>PK(-1.267\ 0)$ 。

氮、磷、钾三要素中某一要素缺乏时,该要素的肥料利

气温和产量关键因子穗干重成负相关关系,>0℃积温与叶干重成显著负相关关系,平均最高温度和平均最低温度、>0℃积温和干物质积累、产量显著相关。

4 参考文献

- [1] 郑光华.植物栽培生理学[M].济南:山东科技出版社,1980.
- [2] 袁汉民.宁夏小麦生产发展中存在的问题及对策[J].宁夏农林科技,1999(5):13-15.
- [3] 王雅鑫,修丽娜.基于 TM 数据的天津市静海县小麦产量估算研究[J].内蒙古科技与经济,2018(14):16-18.
- [4] 任新庄,闫娟娟,李广,等.陇中旱地春小麦产量对降水与温度变化的响应模拟[J].干旱地区农业研究,2018,36(3):125-129.
- [5] 王云彬.气候变化对不同春小麦品种产量构成相关因素的影响[J].科技经济导刊,2018,26(30):125.
- [6] 吴冰洁,王靖,唐建昭,等.华北平原冬小麦产量变异的气象影响因子分析[J].中国农业气象,2018,39(10):623-635.

用率下降;某一要素处于低施用水平时,肥料当季利用率有所提高。

4 参考文献

- [1] 李雪佳.最新测土配方施肥技术培训指导与监督管理[M].北京:中国知识出版社,2005.
- [2] 韩琅丰,苏德纯.土壤、植株测试及应用[M].北京:中国农业出版社,1997.
- [3] 蔡志鑫,黎庆刚,陈仕军.江门地区水稻肥料利用率研究[J].现代农业科技,2017(15):22-23.
- [4] 高辉.不同施肥方式与配比对水稻产量性状和肥料利用率的影响[D].合肥:安徽农业大学,2018.
- [5] 邹记.水稻肥料利用率试验初报[J].农业科技通讯,2017(9):79-81.
- [6] 杨成林,王丽妍,赵红玉.侧深施肥对寒地水稻产量及肥料利用率的影响[J].广东农业科学,2017,44(8):61-65.
- [7] 张天斌.三亚市水稻肥料利用率试验初探[J].中国农技推广,2018,34(11):56-57.
- [8] 高学双.宿迁市水稻氮磷钾利用率试验[J].安徽农学通报,2018,24(16):73-75.