

郑麦 366 优质小麦目标产量氮磷钾推荐施肥及数学模型研究

孙克刚 李丙奇 和爱玲

(河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所 河南 郑州 450002)



摘要: 采用三因素二次通用旋转组合设计, 对郑麦 366 优质强筋小麦施用氮、磷、钾肥进行定量研究。建立了郑麦 366 优质强筋小麦目标产量函数模型; 通过模型解析选优, 确定了每亩小麦目标产量 ≥ 600 公斤 ≥ 500 公斤 ≥ 480 公斤及最高产量的施肥推荐措施。产量在 600 公斤/亩以上时, 氮磷钾肥施肥措施为: 氮肥施用量为 14.6~16.2 公斤/亩, 磷肥施用量为 9.6~10.75 公斤/亩, 钾肥施用量为 11.4~12.7 公斤/亩; 产量在 500 公斤/亩以上时, 氮磷钾肥施肥措施为: 氮肥施用量为 14.4~15.5 公斤/亩, 磷肥施用量为 9.3~10.1 公斤/亩, 钾肥施用量为 10.9~11.9 公斤/亩; 产量在 480 公斤/亩以上时, 氮磷钾肥施肥措施为: 氮肥施用量为 14.4~15.4 公斤/亩, 磷肥施用量为 9.1~9.9 公斤/亩, 钾肥施用量为 10.5~11.6 公斤/亩。

关键词: 优质小麦 函数模型 优选方案

河南省是我国小麦主产区之一, 常年播种面积在 7500 万亩以上。近年来, 随着优质小麦的更新换代和施肥管理水平的提高, 优质小麦产量有了明显的增长, 但在生产上仍存在进一步提高产量和品质、降低成本等问题。这些问题在我国加入 WTO 以后面临更加激烈的竞争环境下, 会变的更加突出。据调查, 我省优质小麦产区施肥管理上存在的突出问题主要表现在三个方面, 一是施肥不科学, 主要表现在忽视 NPK 肥的平衡施用。二是不能根据优质小麦品种的营养特性进行针对性科学施肥, 使得优质小麦品种的产量潜力和品种优势难以发挥。三是不同地区对优质小麦高产施肥技术的推广与土壤管理力度不够, 导致优质小麦生产水平存在很大差距。

针对生产实践中存在的问题, 开展了大量

的农作物高产优质施肥技术的田间试验、示范和技术推广工作。全面推动了河南省农作物科学合理施肥。为了探讨氮、磷、钾肥对优质小麦产量的影响, 为优质小麦高产施肥提供理论与技术依据。现总结如下:

1 材料与方法

供试土壤主要理化性状见表 1。品种为郑麦 366 优质强筋小麦, 播种量为 7.5 公斤/亩。小区面积为 4 米 \times 5 米, 试验采用三因素二次通用旋转组合回归设计, 三因素分别为氮(N)肥用量(X_1)、磷(P_2O_5)肥用量(X_2)和钾(K_2O)肥用量(X_3), 因素水平及编码列表 2。小区田间管理和一般丰产田管理相同, 小区产量单收单记。

地 点	pH	OM	K	N	P	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		(%)		(毫克/升)							
平 陵	8.06	0.4	46.1	1.3	19.7	15	1.07	0.3	4.8	3.9	0.5

变 量		-1.682	-1	0	1	1.682	Δj
施肥量氮肥 (N) (公斤/亩)	X_1	0	4.866	12	19.134	24	7.134
施肥量磷肥 (P_2O_5) (公斤/亩)	X_2	0	3.244	8	12.756	16	4.756
施肥量钾肥 (K_2O) (公斤/亩)	X_3	0	4.055	10	15.945	20	5.945

注：小麦价格 1.6 元/公斤，肥料价格 N 3.91 元/公斤， P_2O_5 4 元/公斤， K_2O 4 元/公斤

代号	结构矩阵			农艺措施 (公斤/亩)			小麦产量 (公斤/亩)
	X_1	X_2	X_3	氮肥	磷肥	钾肥	
1	1	1	1	19.1	12.7	15.9	581
2	1	1	-1	19.1	12.7	4.1	545
3	1	-1	1	19.1	3.2	15.9	524
4	1	-1	-1	19.1	3.2	4.1	510
5	-1	1	1	4.9	12.7	15.9	536
6	-1	1	-1	4.9	12.7	4.1	529
7	-1	-1	1	4.9	3.2	15.9	515
8	-1	-1	-1	4.9	3.24	4.1	503
9	-1.68	0	0	0	8	10	370
10	1.68	0	0	24	8	10	610
11	0	-1.68	0	12	0	10	400
12	0	1.68	0	12	16	10	583
13	0	0	-1.68	12	8	0	450
14	0	0	1.68	12	8	20	560
15	0	0	0	12	8	10	608
16	0	0	0	12	8	10	629
17	0	0	0	12	8	10	631
18	0	0	0	12	8	10	630
19	0	0	0	12	8	10	623
20	0	0	0	12	8	10	640

2 结果与分析

2.1 试验结果与数学模型

试验结构矩阵及郑麦 366 优质强筋小麦产量结果列表 3。将表 3 中产量结果经微机处理，分别求得氮肥施用量、磷肥施用量和钾肥施用量对产量的数学模型。

$$Y=625.6+35.2 \times N+32.7 \times P+18.6 \times K+5.6 \times N \times P+3.9 \times N \times K+2.1 \times P \times K-39.4 \times N^2-38.9 \times P^2-34.1 \times K^2 \quad (1)$$

失拟性检验结果： $F_1 = 43.1^{**}$ 回归式显著性测定结果： $F_2 = 84.7^{**}$

偏回归系数显著性检验表明，其各个系数均达到显著或极显著水平。

2.2 边际产量及其效应分析

$$Y_2 = 625.64 + 32.71P - 38.898P^2 \quad (2)$$

采用“降维法”，对模型（1）分别将两个变量固定在零水平得：

$$Y_1 = 625.64 + 35.19N - 39.428N^2$$

$Y_3 = 625.64 + 18.60K - 34.128K^2$
将各个试验处理编码值代入（2）函数求得表 4。

变量因素	试验水平					变异系数 (CV) %
	-1.682	-1	0	1	1.682	
X ₁	455	551	626	621	573	12.26
X ₂	461	554	626	619	571	11.71
X ₃	498	573	626	610	560	8.70

表 4 变异系数表明，氮肥施用量对产量的影响最大，磷肥次之，钾肥最小。

任意其中两因子在 0 水平，可分别求得单因子的边际效应方程（表 5）。

对模型（1）分别求一阶偏导数，并固定

边际效应方程	X ₀	AF
Y = 35.19 - 78.85N (3)	0.446	15.1
Y = 32.71 - 77.79P (4)	0.420	9.997
Y = 18.60 - 68.256K (5)	0.0824	10.49

注：AF 为边际产量=0 时，实际施用量（公斤/亩）。

由 3-5 式可得各因子边际产量=0 时的 X 值 (X₀) (N、P、K)，在 X₀ (N、P、K) 处产量最高；当 X (N、P、K) < X₀ (N、P、K) 时，各因素增产率大于零，此时产量随施肥量增加而增加，施肥产生正效应；当 X (N、P、K) > X₀ (N、P、K) 时，增产效应小于零，随施肥量的增加，产量开始下降，X₀ (N、P、K) 值及综合农艺措施见表 5。

2.3 优化氮磷钾肥施肥措施方案

2.3.1 最高产量及最佳产量优化综合氮磷钾肥施肥措施方案

郑麦 366 优质小麦最高产量可达 644 公斤/亩，相应的氮磷钾肥施肥措施为氮肥施用量为 15.5 公斤/亩，磷肥为 10.2 公斤/亩，钾肥为 11.7 公斤/亩。

2.3.2 目标产量范围内优化氮磷钾肥施肥措施方案

由表 6 看出：郑麦 366 优质小麦产量在 600 公斤/亩以上时，组合数 77 个，综合氮磷钾肥施肥措施为：氮肥施用量为 14.6~16.2 公斤/亩，磷肥施用量为 9.6~10.7 公斤/亩，钾肥施用量为 11.4~12.7 公斤/亩；产量在 500 公斤/亩以上时，组合数为 378 个，氮磷钾肥施肥措施为：氮肥施用量为 14.4~15.5 公斤/亩，磷肥施用量为 9.3~10.1 公斤/亩，钾肥施用量为 10.8~11.9 公斤/亩；产量在 480 公斤/亩以上时，组合数为 429 个，氮磷钾肥施肥措施为：氮肥施用量为 14.4~15.4 公斤/亩，磷肥施用量为 9.1~9.9 公斤/亩，钾肥施用量为 10.5~11.6 公斤/亩。

表 6 目标产量氮磷钾肥施肥措施方案

变量取值	X ₁		X ₂		X ₃	
	次数	频率	次数	频率	次数	频率
目标产量≥600 公斤/亩 氮磷钾肥施肥措施						
-1.682	0	0	0	0	0	0
-1.2615	0	0	0	0	0	0
-0.841	0	0	0	0	0	0
-0.4205	7	9.09	7	9.09	11	14.2
0	17	22.07	19	24.67	21	27.27
0.4205	22	28.57	22	28.57	22	28.57
0.841	20	25.97	19	24.67	16	20.78
1.2615	11	14.28	10	12.98	7	9.09
1.682	0	0	0	0	0	0
合计	77	100	77	100	77	100
X 平均值	0.48057		0.4532		0.3495	
标准误	0.05697		0.0564		0.0568	
95%置信区间	0.3689~0.59224		0.3425~0.5639		0.2382~0.4608	
农艺措施 (公斤/亩)	14.6~16.2		9.6~10.7		11.4~12.7	
目标产量≥500 公斤/亩 氮磷钾肥施肥措施						
-1.682	0	0	0	0	5	1.322
-1.2615	0	0	14	3.7	25	6.613
-0.841	37	9.7	40	10.5	45	11.9
-0.4205	54	14.3	54	14.3	52	13.7
0	59	15.6	58	15.3	57	15.0
0.4205	61	16.1	61	16.1	57	15.0
0.841	59	15.6	57	15.0	54	14.3
1.2615	53	14.0	53	14.0	46	12.2
1.682	42	11.1	41	10.8	37	9.8
合计	378	100	378	100	378	100
X 平均值	0.4205		0.3582		0.2381	
标准误	0.0396		0.04296		0.04585	
95%置信区间	0.3426~0.4983		0.2739~0.4424		0.1481~0.3279	
农艺措施 (公斤/亩)	14.4~15.5		9.3~10.1		10.8~11.9	
目标产量≥480 公斤/亩 氮磷钾肥施肥措施						
-1.682	0	0	0	0	12	2.8
-1.2615	0	0	25	5.8	37	8.6
-0.841	45	10.5	47	10.9	51	11.8
-0.4205	58	13.5	58	13.5	58	13.5
0	65	15.1	65	15.2	59	13.7
0.4205	67	15.6	66	15.3	59	13.8
0.841	64	15.0	63	14.7	58	13.5
1.2615	58	13.5	56	13.1	52	12.1
1.682	50	11.7	49	11.4	48	10.0
合计	429	100	429	100	429	100
X 平均值	0.4126		0.3224		0.1803	
标准误	0.03762		0.04192		0.04555	
95%置信区间	0.3389~0.4863		0.2403~0.4046		0.091~0.2696	
农艺措施 (公斤/亩)	14.4~15.4		9.14~9.9		10.5~11.6	

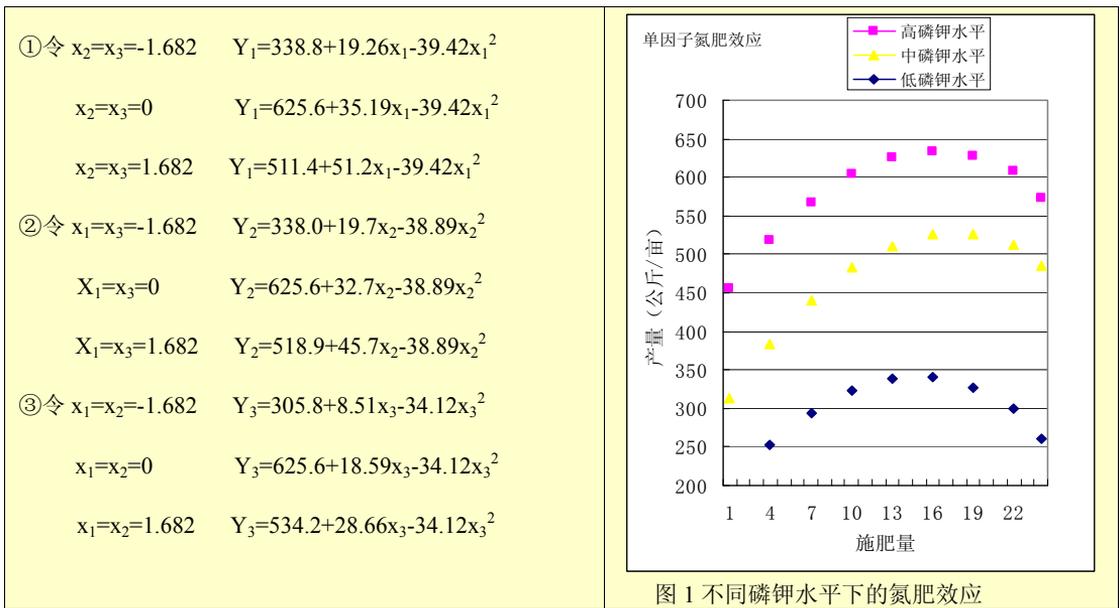
2.3.3 单因素产量效应分析

由于试验是在正交旋转设计的基础上进行,所以模型中各项效应不仅线性可知,且各项偏回归系数彼此独立,因而可以分析试验各因子的独立效应和交互效应。将模型 Y (1) 采用降维法分析,固定其中两因子的取值水平,便可求出另一自变量的偏回归子模型,由模型可以考察其不同取值水平的变化规律,正好相当于特定条件下的单因子试验,现分别将两因子固定在-1.682、0、1.682水平上用降维法求出各因子的一元二次回归子模型:

将各因素的不同水平值分别代入其子模型,得出各因素在不同水平值的理论产量(图1)。其中图1描述了产量与施氮量的关系,氮肥的增产效应无论磷和钾肥处于那一个水平值均呈抛物线,最高产量均在氮1水平。然

而氮肥的增产效应受磷和钾肥的水平制约,磷和钾肥中量水平时氮的增产效应最高,其次是高量水平,低量水平是最低。图2描述了产量与磷肥的关系。磷增产效应也呈抛物线型,但曲线比较平缓,最高产量是在磷中等水平,而且也呈现出氮和钾肥处于中量水平时磷的增产效应最高,其次是高量水平,低量水平时最低,差异比较明显。图3描述了产量与钾肥的关系。

当氮磷水平最低或中等时,产量与钾肥用量增加关系极为密切,呈正相关。当氮磷水平处于高量时,钾肥增产效应也呈抛物线型,最高产量为中量水平。由此可见在中等肥力麦田,小麦高产的施肥措施必须使氮、磷和钾肥适量配合,才能充分发挥肥料的增产效应。



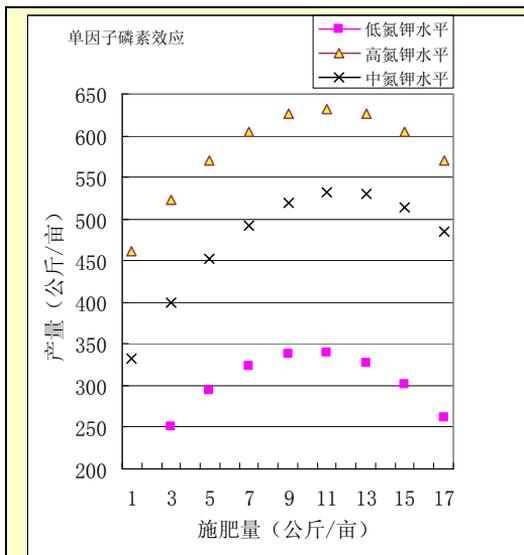


图 2 不同氮钾水平下的磷效应

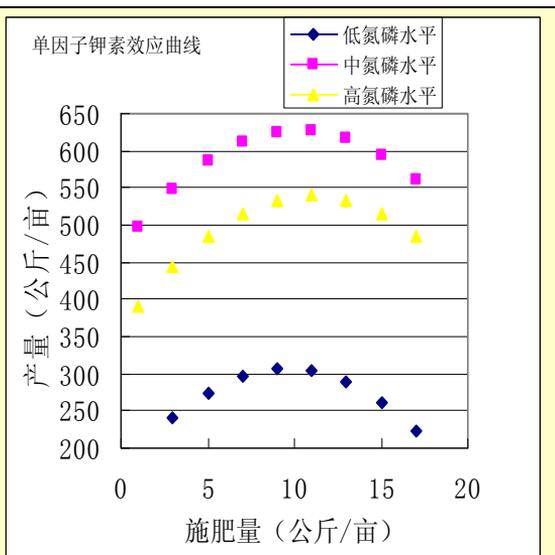


图 3 不同氮磷水平下的钾效应

2.3.4 三因素的交互效应

在模型 (1) 中将任何一个因素固定在 0 水平分析另两个因素的交互效应:

(1) N、P 互作 令 K=10, 由模型 (1) 可得以下回归模式:

$$Y=625.7+35.2 \times N+32.7 \times P+5.6 \times N \times P-39.4 \times N^2-38.9 \times P^2 \quad (6)$$

由模型 (6) 计算氮、磷互作效应表, 由表 7 看出, 当氮在 0~12 公斤/亩水平, 施磷 0~8 公斤/亩水平时, 交互作用表现增产, 当

不施氮时, 施少量磷肥增产, 过多则减产。施氮取 12 公斤/亩, 磷取 8 公斤/亩水平产量达最大值, 超过用量使出现减产。由此说明, 当钾肥以中量水平值, 氮磷配合中氮肥起主导作用。

(2) N、K 互作 令 P=8, 由模型 (1) 可得回归模型:

$$Y=625.6+35.2 \times N+18.6 \times K+3.9 \times N \times K-39.4 \times N^2-34.1 \times K^2 \quad (7)$$

表 7 氮与磷肥的互作效应

X ₂ 编码值	X ₁ 编码值				
	-1.682	-1	0	1	1.682
-1.682	305.7	395.4	460.6	446.9	392.3
-1	392.8	485.0	554.0	544.2	492.2
0	454.9	551.0	625.6	621.4	573.3
1	439.3	539.2	619.5	620.9	576.6
1.682	384.0	486.5	570.6	575.8	534.2

由模型(7)计算氮、钾肥交互效应(表),由表8看出,当氮在0~12公斤/亩水平,施钾0~10公斤/亩水平时,交互作用表现增产,当不施氮时,施少量钾肥增产,过多则减产。

施氮12公斤/亩,钾10公斤/亩水平产量达最大值,超过用量使出现减产。由此说明当磷肥以中量水平值,氮钾配合中氮肥起主导作用。

表8 氮与钾肥交互效应

X ₃ 编码值	X ₁ 编码值				
	-1.682	-1	0	1	1.682
-1.682	338.0	429.7	497.8	487.1	434.5
-1	408.7	502.2	572.9	564.8	514.1
0	454.9	551.0	625.6	621.4	573.3
1	432.9	531.6	610.1	609.8	564.3
1.682	378.7	479.2	560.4	562.7	519.0

(3) P、K 交互 令 N=12, 由模型(1)可得回归模型:

$$Y=625.6+32.7 \times P+18.6 \times K+2.1 \times P \times K-38.9 \times P^2-34.1 \times K^2 \quad (8)$$

由模型(8)计算磷、钾肥交互效益(表9),由表看出,当磷在0~8公斤/亩水平,

施钾0~10公斤/亩水平时,交互作用表现增产,当不施磷时,施少量钾肥增产,过多则减产。施磷取8公斤/亩,钾取10公斤/亩水平产量达最大值,超过用量使出现减产。由此说明当氮肥以中量水平值,磷钾配合中磷肥起主导作用。

表9 磷、钾肥交互效应

X ₃ 编码值	X ₂ 编码值				
	-1.682	-1	0	1	1.682
-1.682	338.8	429.8	497.8	488.1	436.8
-1	411.4	503.4	572.9	564.6	514.3
0	460.6	554.0	625.6	619.5	570.6
1	441.5	536.4	610.1	606.1	558.7
1.682	389.3	485.2	560.4	557.8	511.4

2.3.5 最佳经济效益组合方案

在生产实践中往往最高产量组合方案不一定是最佳经济效益方案。为取得最大经济效益,实现低投高产,将各因素的成本,按每公斤小麦 1.6 元,氮 3.91 元,磷 4 元、钾肥 4 元计算,解得最佳经济效益方案为:
 $N=0.458141$ (折纯 N 15.2 公斤/亩);
 $P=0.428299$ (折 P_2O_5 10 公斤/亩);
 $K=0.250772$ (折 K_2O 11.4 公斤/亩);
 $Y=644.65$ 公斤/亩。

由此可见最佳经济施肥方案与达到最高产量的施肥方案十分接近,而且也在频数法分析的施肥组合方案以内。说明最佳施肥组合方案不仅可以获得高产,而且也可得到最大的施肥经济效益。

小结

优质小麦郑麦 366 最高产量可达 644.8 公



斤/亩,相应的氮磷钾肥施肥措施为氮肥施用量为 15.5 公斤/亩,磷肥为 10.2 公斤/亩,钾肥为 11.7 公斤/亩。

优质小麦郑麦 366 产量在 600 公斤/亩以上时,组合数 77 个,氮磷钾肥施肥措施为:氮肥施用量为 14.6~16.2 公斤/亩,磷肥施用量为 9.6~10.75 公斤/亩,钾肥施用为 11.4~12.7 公斤/亩;产量在 500 公斤/亩以上时,组合数为 378 个,氮磷钾肥施肥措施为氮肥施用量为 14.4~15.5 公斤/亩,磷肥施用量为 9.3~10.1 公斤/亩,钾肥施用为 10.9~11.9 公斤/亩;产量在 480 公斤/亩以上时,组合数为 429 个,氮磷钾肥施肥措施为:氮肥施用量为 14.4~15.4 公斤/亩,磷肥施用量为 9.1~9.9 公斤/亩,钾肥施用量为 10.5~11.6 公斤/亩。

参考文献:

- [1] 徐兆飞,张定一. 水地小麦高产施肥模型及其应用研究[J], 华北农学报, 1991, 6 (2): 69-77.
- [2] 孙克刚,李贵宝,王英,等. 芝麻高产优化施肥推荐模型建立及其应用[J].土壤通报, 1997.28 (3): 135-136
- [3] 王茂秋,陈万民,朱化良.丘陵旱地花生氮磷钾配比施肥模型及优化方案[J], 花生科技, 1995, (3): 19-21
- [4] 王才斌,成波,张礼凤,等. 不同类型优质花生新品种需肥特点及优化施肥研究[J].土壤.1999, 31 (3): 324-327.

