

优化施肥对小麦品质和产量的效应研究

吴兰云 徐茂林

(安徽宿州市农科所 宿州 234000)

摘 要 采用正交旋转组合设计, 针对 N、P、K、Zn 4 种肥料对小麦产量和品质的效应进行探讨, 结果表明: N、P 对产量都达显著正效应, N 对湿面筋含量达极显著正效应, P 与湿面筋含量呈显著负效应, K、Zn 对产量和品质效应微弱。4 种肥料对产量的影响顺序为: N>P>Zn>K, 对湿面筋含量的影响顺序为: N>P>K>Zn。小麦产量和品质都较理想的施肥区间为 N 252.8~294.2 kg/hm², P 111.0~139.1 kg/hm², K 145.8~153.0 kg/hm², Zn 9.8~12.1 kg/hm², 合理的配比为 N:P₂O₅:K₂O:ZnSO₄=1:0.46:0.55:0.04

关键词 施肥; 小麦; 品质; 产量; 效应

中图分类号 S512.106

加入 WTO 以后, 为了增强我国小麦在国际市场中的竞争力, 满足人民生活水平进一步提高的需要, 除选育高产优质品种外, 通过栽培技术来提高小麦的品质和产量, 也是一种极为重要的措施。但只有施肥合理才能达到产量高、品质优、消耗低的目标。因此, 我们于 1999~2001 年连续 2 年采用 4 因子正交旋转组合设计方法, 对 N、P、K、Zn 4 种肥料与小麦品质和产量的效应进行探讨。本研究采用 2001 年的试验结果, 通过计算机模拟寻优, 筛选出小麦产量>7125 kg/hm², 小麦湿面筋含量>33% (二级强筋麦标准) 的最佳施肥方案, 总结出施用 4 种肥料的合理配比, 为优质麦的大面积高产栽培及推广应用提供科学理论依据。

1 试验材料与方法

本试验设在宿州市农科所试验田, 土质为砂姜黑土, 土壤基础肥力是: 有机质 16.2 g/kg, 水解 N 82 mg/kg, 速效 P (P) 15 mg/kg, 速效 K (K) 200 mg/kg。指示品种是强筋小麦 PH9401。前茬作物为大豆, 试验采用 4 因子正交旋转组合设计方法, 共 36 个处理, 随机排列, 小区面积 13.4 m² (6.7 m×2 m), 设 8 行区, 行距 25 cm。肥料: 磷酸二铵 (N:18%, P₂O₅:46%), KCl (K₂O:60%), ZnSO₄, 都作基肥一次施入; 尿素 (N:46%) 基施 70%, 30% 作拔节肥追施。4 种肥料的施用水平如表 1。

试验的田间管理, 除平时的观察记载外, 其它同大田。收获后在各处理产量中随机取样 500 g,

于 2001 年 8 月 20 日送宿州市粮油化验中心进行湿面筋分析。

表 1 4 种肥料的编码及用量 (单位: kg/hm²)

Table 1 Coding and application rate of four different fertilizers

因素	编码	变化区间	-2	-1	0	1	2
N (x ₁)	60	105	165	225	285	345	
P ₂ O ₅ (x ₂)	37.5	45	82.5	120	157.5	195	
K ₂ O (x ₃)	52.6	45	97.5	150	202.5	255	
ZnSO ₄ (x ₄)	6.75	0	6.75	13.5	20.25	27	

2 试验结果分析

2.1 肥料效应方程

36 个处理的产量结果和湿面筋含量的分析结果列于表 2。

2.1.1 产量的肥料效应方程 根据结构矩阵及产量结果, 通过计算机统计分析得出产量与 4 个因子之间的多元回归方程:

$$y = 6688.7 + 138.8x_1 + 135.8x_2 + 42.2x_3 + 49.4x_4 - 0.29x_1x_2 - 42.5x_1x_3 - 83.1x_1x_4 + 45.6x_2x_3 - 34.4x_2x_4 - 52.7x_3x_4 + 56.3x_1^2 + 0.48x_2^2 + 69.5x_3^2 + 22.7x_4^2$$

通过对方程中多项偏差平方和 Q=A·B 自由度进行显著性测验, 产量回归方程的失拟 F 值 < F (10, 11) 临界值, 即说明试验没有不可忽视的因子影响, 可继续进行比较。N 肥的回归 F 值是 4.84^{*}; P 肥的回归 F 值是 4.64^{*}, 均达到显著水平; K 肥、Zn 肥及 4 种肥料交互作用都不显著。从效应方程的偏回归系数也可看出, N、P 肥对优质小麦的产量增加有

表 2 各处理的产量结果和湿面筋含量

Table 2 Yields and wet Gluten contents

处理 编号	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	产量 (kg/hm ²)	湿面筋 (%)
1	1	1	1	1	7084.5	33.3
2	1	1	1	-1	7147.5	32.4
3	1	1	-1	1	6994.5	32.8
4	1	1	-1	-1	7095.0	35.5
5	1	-1	1	1	6580.5	32.7
6	1	-1	1	-1	6681.0	33.5
7	1	-1	-1	1	6804.0	35.2
8	1	-1	-1	-1	6505.5	33.1
9	-1	1	1	1	7017.0	28.4
10	-1	1	1	-1	6919.5	28.0
11	-1	1	-1	1	6883.5	32.7
12	-1	1	-1	-1	6394.5	28.9
13	-1	-1	1	1	6567.0	32.2
14	-1	-1	1	-1	6222.0	29.9
15	-1	-1	-1	1	6552.0	31.0
16	-1	-1	-1	-1	6120.0	31.7
17	2	0	0	0	6856.5	33.7
18	-2	0	0	0	6307.5	28.9
19	0	2	0	0	6817.5	27.9
20	0	-2	0	0	6469.5	33.8
21	0	0	2	0	6720.0	31.5
22	0	0	-2	0	6411.0	31.4
23	0	0	0	2	6207.0	28.6
24	0	0	0	-2	6202.5	34.1
25	0	0	0	0	7122.0	32.7
26	0	0	0	0	6567.0	31.4
27	0	0	0	0	6561.0	32.1
28	0	0	0	0	6682.5	33.8
29	0	0	0	0	6933.0	31.7
30	0	0	0	0	6862.5	30.6
31	0	0	0	0	6657.0	30.2
32	0	0	0	0	6763.5	29.1
33	0	0	0	0	6868.5	33.3
34	0	0	0	0	7125.0	32.4
35	0	0	0	0	6787.5	32.6
36	0	0	0	0	6307.5	29.9

注：不施肥区产量：6118.3kg/hm² 湿面筋含量 25.7%

明显的促进作用，K、Zn 肥对产量是正效应，但促进作用不太大；4 种肥料的互作对产量影响微弱。

2.1.2 湿面筋含量的肥料效应方程 各处理湿面筋含量输入微机处理后，得出湿面筋含量的肥料效应方程：

$$Y=31.69+1.47x_1-0.80x_2-0.43x_3-0.0237x_4+0.39x_1x_2+0.069x_1x_3-0.39x_1x_4-0.32x_2x_3-0.31x_2x_4+0.019x_3x_4+0.032x_1^2-0.08x_2^2+0.07x_3^2+0.045x_4^2。$$

经过对方程的显著性回归测验，回归 F 值为 2.74* 达显著水平，表示回归方程成立，并具有一定的代表性。各因子的回归分析是 N 肥 F = 24.86**，极显著正效应；P 肥 F = 7.29* 显著负效应；K 肥、Zn 肥及 4 种肥料的互作效应都不显著。说明小麦籽粒中湿面筋含量随施 N 量的递增而极明显的增加，这与前人研究施 N 量与蛋白质含量正相关是一致的。湿面筋含量随着 P 肥施量的增加而明显减少，这与 Blanche Benzicm(1986)报道的土壤中 P 的含量一般与籽粒蛋白质含量呈负相关的结果相符。K、Zn 对面筋的积累影响很小。

2.2 最高产量，湿面筋最大含量的最佳施肥方案

两个方程反应出，4 种肥料对小麦品质和产量作用的效果不同，所以最高产量要求的优化施肥方案与较好品质要求的施肥方案有区别。在自变量设计范围内，取步长为 1 时，在 625 个方案中分别筛选出产量 > 7125kg/hm²，湿面筋含量 > 33% 的不同施肥区间如表 3。

结果表明：产量 > 7125kg/hm² 的优化施肥方案是 N:52.8~276.3kg/hm²，P₂O₅:139.1~151.8kg/hm²。K₂O:145.8~167.8 kg/hm²，ZnSO₄：12.8~15.5 kg/hm²；合理的配比为 N:P：K：Zn=1:0.55:0.59:0.054。湿面筋含量 > 33% 的优化施肥方案为 N:294.2~309.0 kg/hm²，P₂O₅:97.5~111.0 kg/hm²，K₂O:132.0~153.0 kg/hm²，ZnSO₄:9.8~12.1 kg/hm²；合理配比为：N:P:K:Zn = 1:0.35:0.47:0.036。从上述两种方案可知产量方案，除 N 肥施用量比湿面筋方案低外，其它 3 种肥料都比湿面筋方案高，说明夺取小麦高产 4 种肥料都要相对增施，而小麦品质要求重视 N 肥用量，其它 3 种肥料要合理配比。在大田种植中，兼顾产量和品质，降低成本，减少风险，一般年份既有理想产量又有较高品质，建议施肥方案为：N 肥：252.8~294.2kg/hm²，P 肥：111.0~139.1kg/hm²，K 肥：145.8~153.0kg/hm²，Zn 肥：9.8~12.1kg/hm²；N:P₂O₅:K₂O:ZnSO₄=1:0.46:0.55:0.04。

2.3 主因子效应

经无量纲编码代换，回归系数标准化，消除各偏回归系数间的相关性，可直接从回归系数绝对值大小，判断各肥料因子对产量的影响大小顺序为：N > P > Zn > K；对籽粒湿面筋含量的影响大小顺序为：N > P > K > Zn。

2.4 单因子效应

将产量方程和湿面筋含量方程作降维处理，即将其它 3 个自变量固定在零水平，分别得到两组单

表 3 4 种肥料的优化措施方案

Table 3 Optimal recommendation of the four fertilizers

自变量 水平	产量>7125kg/km ²								湿面筋含量>33%							
	X ₁		X ₂		X ₃		X ₄		X ₁		X ₂		X ₃		X ₄	
	频数	频率	频数	频率	频数	频率	频数	频率	频数	频率	频数	频率	频数	频率	频数	频率
-2	36	0.1622	19	0.0856	57	0.2566	46	0.2072	5	0.0234	66	0.3099	54	0.25	57	0.2676
-1	21	0.0946	26	0.1171	35	0.1577	41	0.1847	3	0.0304	46	0.216	44	0.2066	52	0.2441
0	21	0.0946	39	0.1757	21	0.0946	40	0.1802	24	0.1127	40	0.1878	37	0.1737	43	0.2019
1	48	0.2162	61	0.2708	40	0.1802	35	0.1577	76	0.3568	33	0.1549	40	0.1878	36	0.169
2	96	0.4324	77	0.3468	69	0.3108	60	0.2703	105	0.493	28	0.1315	39	0.1837	25	0.1174
T	222	1	222	1	222	1	222	1	213	1	213	1	213	1	213	1
X	0.6592		0.6771		0.130		0.0987		1.2757		-0.4159		-0.1495		-0.3738	
	0.1005		0.086		0.1078		0.1003		0.0609		0.095		0.099		0.092	
95%置	0.4623		0.5081		-0.08123		-0.09789		1.1563		-0.6035		-0.3437		-0.5542	
信区间	~		~		~		~		~		~		~		~	
	0.8561		0.8461		0.3413		0.2952		1.3951		0.2282		0.0446		-0.1935	

因子效应方程：

$$\begin{aligned}
 \text{产 量：} & y_1=6688.7+138.8x_1+56.3x_1^2 \\
 & y_2=6688.7+135.8x_2+0.48x_2^2 \\
 & y_3=6688.7+42.2x_3^3+69.5x_3^2 \\
 & y_4=6688.7+49.4x_4+22.7x_4^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{湿面筋：} & y_1=31.69+1.47x_1+0.032x_1^2 \\
 & y_2=31.69-0.8x_2-0.08x_2^2 \\
 & y_3=31.69-0.43x_3+0.07x_3^2 \\
 & y_4=31.69-0.024x_4+0.045x_4^2
 \end{aligned}$$

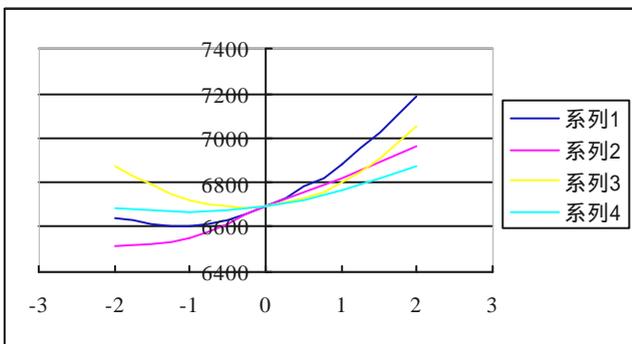


图 1 产量效应曲线

Fig. 1 Curve of yield effect

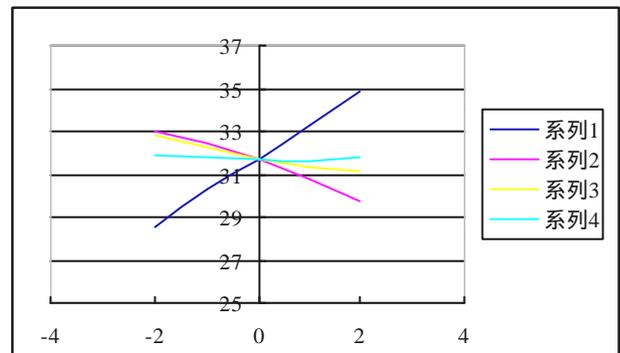


图 2 湿面筋效应曲线

Fig. 2 The curve of wet Gluten content

从图 1 曲线分析，强筋小麦肥料对产量效应与一般小麦基本一致，产量随施 N 量的增加而增加，且在本试验设计范围内没达到上限。图 2 曲线反应，湿面筋含量随施 N 量的增加而几乎直线增加，这说明优质小麦无论是产量增加，还是品质提高，都离不开 N 肥的作用，并且高蛋白含量的小麦比低蛋白质小麦需 N 总量要高，这与徐兆飞等报道是一致的。P 肥产量曲线表明：产量是随施 P 量的增加而增加，且随施量的递增，增产幅度加大；P 的湿面筋曲线则反应，小麦子粒中湿面筋含量随施 P 的增加而降

低。图 1 曲线还反应当施 K 多于 134kg/hm² 时，产量随施 K 的增加而迅速增加；K 的湿面筋曲线反应，随 K 肥用量的增加，子粒中湿面筋含量缓慢下降。PK 两种曲线反应出，由于两种肥料的增产作用，稀释了子粒中 N 的含量，引起了湿面筋含量的相对减少，这与徐兆飞等报道的 PK 对蛋白质含量的作用不稳定相似。Zn 肥作用的产量曲线是缓慢上升的，而 Zn 肥作用的湿面筋含量曲线下下降趋势更小，几乎是直线，这反应出 Zn 肥对品质和产量作用都非常弱。

3 小 结

1. 试验产量结果表明：NP 肥对强筋小麦产量达显著正效应，KZn 肥的正效应不明显，这 4 种肥料对产量的影响顺序为：N>P>Zn>K，所有互作效应都不显著。

2. 通过电脑模拟寻优：找出了优质小麦产量 >7125kg/hm² 时，4 种肥料的最优区间为 N：252.8~276.3kg/hm²，P₂O₅：139.1~151.8kg/hm²，K₂O：145.8~167.9 kg/hm²，ZnSO₄：12.8~15.5 kg/hm²，合理配比为 N:P:K:Zn=1:0.55:0.59:0.054。

3. 湿面筋含量的分析结果为：N 肥对湿面筋达极显著正效应，P 肥呈显著负效应，KZn 负效应不明显，4 种肥料对小麦品质的影响顺序为：N>P>K>Zn。所有互作效应都不显著。

4. 通过模拟寻优，筛选出湿面筋含量>33%（二级面包标准）的 4 种肥料的施肥区间为：

N:294.2~309.0kg/hm²，P₂O₅ :97.5~111.0kg/hm²，K₂O :132.0~153.0 kg/hm²，ZnSO₄:9.8~12.1 kg/hm²，合理的配比为 N:P:K:Zn=1:0.35:0.47:0.036。

5. 品质和产量都较理想的建议施肥方案为：

N:252.8~294.2kg/hm² P₂O₅:111.0~139.1kg/hm²
K₂O:145.8~153.0kg/hm² ZnSO₄ :9.8~12.1 kg/hm²
N:P:K:Zn=1:0.46:0.55:0.04。

参考文献

- 1 徐兆飞等. 小麦品质及其改良. 北京: 气象出版社, 2000
- 2 萧兵等. 农业多因素试验与统计分析. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1985
- 3 张定一等. 小麦 NPK 配合施用的研究. 土壤肥料, 1997, (4): 22~25
- 4 武雪萍等. 配方施肥对冬小麦生物学效应的影响. 土壤肥料, 1998, (1): 36~38
- 5 吴兰云等. 淮北地区夏播玉米制种优化施肥方案的研究. 土壤, 1999, 31(3): 161~163

EFFECTS OF OPTIMIZED FERTILIZATION ON QUALITY AND YIELD OF WHEAT

Wu Lanyun Xu Maolin

(Suzhou institute of agricultural sciences Suzhou 234000)

Abstract Based on the quadrature rotary composition designing method, an experiment was conducted on effects of application of Nitrogen, Phosphate, Potassium and Zinc, respectively, on yield and quality of wheat. The Results indicate that yield is significantly and positively related to N and P application, and wet Gluten content to N, but significantly and negatively to P. The effect of K and zn application on yield and quality of wheat is very limited. In terms of effect on yield, the four kinds of fertilizer are in a decreasing order, i.e. N>P>Zn>K, while in terms of effect on quality, the content of wet Gluten, the order is N > P > K > Zn. Analysis of the results shows that reasonable yield and quality can be obtained when the application rate of N ranges within 252.8~294.2kg/hm², of P 111.0~139.1 kg/hm², of K 145.8~153.0 kg/hm², and of Zn 9.8~12.1kg/hm² and that a reasonable proportion of the four nutrient elements N, P₂O₅, K₂O and ZnSO₄ in formulated fertilization should be 1:0.46:0.55:0.04.

Key words Fertilizer, Application rate, Formulated fertilization, Wheat quality yield effect