

氮磷钾硼对甘蓝型黄籽油菜产量和品质的影响*

李宝珍^{1,3} 王正银¹ 李加纳² 武杰² 谌利²

(1 西南农业大学资源与环境学院, 重庆 400716)

(2 西南农业大学农学与生命科学学院, 重庆 400716)

(3 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要 采用四元二次回归正交旋转组合设计, 以氮(N)、磷(P)、钾(K)、硼(B)肥为主要探讨因子进行田间试验, 建立 N、P、K、B 4 因素与黄籽油菜籽粒产量、含油量、产油量以及蛋白质含量的施肥模型。对模型解析发现, 在供试条件下 N、P、K、B 单因子对产量和产油量的影响均是 $X_1(N) > X_2(P_2O_5) > X_4(B) > X_3(K_2O)$, 对含油量的影响是 $X_1(N) > X_4(B) > X_2(P_2O_5) > X_3(K_2O)$, 对蛋白质的影响为 $X_1(N) > X_4(B) > X_3(K_2O) > X_2(P_2O_5)$ 。施肥模型寻优结果表明施 N 163.7~179.2 kg hm⁻²、P₂O₅ 85.0~95.0 kg hm⁻²、K₂O 100.7~124.3 kg hm⁻²、B 6.7~8.3 kg hm⁻², 可使黄籽油菜产油量达到 1 000 kg hm⁻², 饼粕蛋白质含量达 40% 以上; 饼粕蛋白质含量大于 45% 时, 各养分因子的取值区域分别是施 N 236.6~255.4 kg hm⁻²、P₂O₅ 80.3~99.7 kg hm⁻²、K₂O 103.2~126.8 kg hm⁻²、B 8.9~10.3 kg hm⁻²。

关键词 黄籽油菜; 营养品质; 施肥模式; 氮; 磷; 钾; 硼

中图分类号 S153.8

文献标识码 A

油菜是我国重要的油料作物, 随着人们生活水平的提高, 迫切需要更多的优质油菜。甘蓝型黄籽油菜“渝黄 1 号”是西南农业大学近年来选育的优质油菜新品种, 具有产量高、出油率高、油质清澈透明、饼粕蛋白质含量高特征^[1], 目前已在重庆、四川等地大面积推广应用。迄今为止, 对甘蓝型黄籽油菜基本性状的研究主要侧重于遗传学方面^[2~4], 很少从植物营养角度探索不同矿质养分(肥料)组合对其品质性状的影响。国内外在油菜营养与产量和品质的研究方面, 早期以单一因子研究为多, 主要针对 N、P、K、S、B 等进行研究^[5~12], 近年来已涉及到氮磷钾比例、用量对优质油菜产量和品质(脂肪酸组分、含油量等)影响^[13~15]。然而这些研究均以针对一定的品种为特点, 且研究的环境条件(土壤、气候等)不尽一致, 故研究结果尚缺乏广泛的实践意义。为此, 田间试验条件下采用正交旋转试验设计法研究 N、P、K、B 四因子组合对甘蓝型黄籽油菜“渝黄 1

号”产量(籽粒和油脂)和品质(油脂和饼粕蛋白质含量)的效应, 旨在寻求甘蓝型黄籽油菜高品质栽培的最适施肥比例, 为大面积优质高产规范化栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料及试验处理

供试土壤为三叠系侏罗纪沙溪庙组母质发育的中性紫色水稻土, 其基本农化性状见表 1。供试油菜为西南农业大学选育的甘蓝型黄籽油菜(“渝黄 1 号”); 供试肥料为尿素(N, 46%)、过磷酸钙(P₂O₅, 12%)、氯化钾(K₂O, 60%)和硼酸(B, 17%; 分析纯)。氮肥分 3 次施用, 返青肥、苗肥和薹肥分别占 10%、50% 和 40%; 磷、钾与硼酸一起均在返青期施用。甘蓝型黄籽油菜于 2002 年 9 月 24 日播种, 10 月 30 日移栽, 次年 5 月收获。

* 国家“863”项目“优质高效杂交油菜新型授粉控制系统研究与新组合选育”(2002AA207009)和国家自然科学基金重点项目“甘蓝型油菜黄籽性状遗传基础研究”(30330430)资助

作者简介: 李宝珍(1977~), 女, 山西人, 博士研究生, 从事植物营养与分子生物学研究。现通讯地址: 南京农业大学资源与环境科学学院植物营养专业, 邮编: 210095

收稿日期: 2004-06-18; 收到修改稿日期: 2004-12-15

表 1 供试土壤主要农化性状

Table 1 Basic agrochemical properties of soil used

土壤类型 Soil type	取样地点 Site	pH	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	速效 N Readily available N (mg kg ⁻¹)	速效 P Readily available P (mg kg ⁻¹)	速效 K Readily available K (mg kg ⁻¹)	有效 S Available S (mg kg ⁻¹)	有效 B Available B (mg kg ⁻¹)	有效 Zn Available Zn (mg kg ⁻¹)
紫色土 Purple soil	重庆北碚 Beibei, Chongqing	6.95	48.14	178.2	37.3	143.4	133.5	0.68	1.52

试验于 2002 年 9 月至 2003 年 5 月在西南农业大学试验农场进行。试验采用四元二次回归正交旋转组合设计,以 N、P、K、B 四因素为养分因子(设计变量

水平及编码见表 2),田间设 36 个处理(表 3),随机排列,2 次重复,共 72 个小区,每区 8 行,每行 10 窝,小区面积 7.4 m²(3.2 m × 2.3 m),每一小区定株 80 株。

表 2 因子水平及编码

Table 2 Levels and coding of factors

编码值 Coding	因子 Factors			
	X ₁ (N)	X ₂ (P ₂ O ₅)	X ₃ (K ₂ O)	X ₄ (B)
+ 2	300	180	225	15
+ 1	225	135	168.8	11.2
0	150	90	112.5	7.5
- 1	75	45	56.2	3.8
- 2	0	0	0	0
变化区间 Interval	75	45	56.2	3.8

注:氮(N)以纯 N 计,磷(P)以 P₂O₅ 计,钾(K)以 K₂O 计,硼(B)以硼酸计,单位均为 kg hm⁻² Notes: The amount of nitrogen fertilizer was calculated on the basis of pure N, phosphate fertilizer of P₂O₅, potassium fertilizer of K₂O, and boron fertilizer of boric acid, all in the unit of kg hm⁻²

表 3 正交旋转试验结构矩阵

Table 3 Structural matrix of the orthogonal rotation experiment

处理号 Treatment No.	编码 Code			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B
1	- 1	- 1	- 1	- 1
2	1	- 1	- 1	- 1
3	- 1	1	- 1	- 1
4	1	1	- 1	- 1
5	- 1	- 1	1	- 1
6	1	- 1	1	- 1
7	- 1	1	1	- 1
8	1	1	1	- 1
9	- 1	- 1	- 1	1
10	1	- 1	- 1	1
11	- 1	1	- 1	1
12	1	1	- 1	1
13	- 1	- 1	1	1
14	1	- 1	1	1

续表

处理号 Treatment No	编码 Code			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B
15	- 1	1	1	1
16	1	1	1	1
17	- 2	0	0	0
18	2	0	0	0
19	0	- 2	0	0
20	0	2	0	0
21	0	0	- 2	0
22	0	0	2	0
23	0	0	0	- 2
24	0	0	0	2
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0
28	0	0	0	0
29	0	0	0	0
30	0	0	0	0
31	0	0	0	0
32	0	0	0	0
33	0	0	0	0
34	0	0	0	0
35	0	0	0	0
36	0	0	0	0

收获测产时,取 5 行作为一小区产量(小区面积为 $7.4 \times 5/8 = 4.6 \text{ m}^2$),然后折合成每公顷的产量,产量(kg hm^{-2})= 小区产量 \times 实验株数 $\times 1000/(\text{实际株数} \times 4.6)$,产油量(kg hm^{-2})= 产量(kg hm^{-2}) \times 含油量(%).土壤基本性状采用常规分析方法进行测定^[16],种子含油量采用脱脂残余法测定^[16],饼粕粗蛋白质含量采用开氏蒸馏法定氮,再乘以系数 6.25 而得。

1.2 数据分析方法

数据经异常值剔除后输入计算机,利用 DPS 分析软件对数据处理,建立回归模型并进行回归分析等^[17]。

2 结果与讨论

2.1 建立回归模型

由表 4 试验结果,经计算机统计分析后,建立油菜产量(\hat{Y}_1)、含油量(\hat{Y}_2)、产油量(\hat{Y}_3)和蛋白质(\hat{Y}_4)

与各因子间的二次多项式肥料效应数学模型如下:

$$\hat{Y}_1 = 2737 + 131.0^{**} X_1 + 41.43X_2 - 1.442X_3 + 8.633X_4 - 98.24^{**} X_1^2 - 80.96^{**} X_2^2 - 18.60X_3^2 - 42.28^{*} X_4^2 - 15.69X_1X_2 - 56.34X_1X_3 + 41.59X_1X_4 + 21.91X_2X_3 - 34.86X_2X_4 + 48.86X_3X_4$$

$$\hat{Y}_2 = 39.21 - 1.062^{**} X_1 - 0.1847X_2 - 0.0333X_3 + 0.2641X_4 - 0.0719X_1^2 - 0.2556^{*} X_2^2 - 0.0717X_3^2 + 0.1517X_4^2 - 0.3387X_1X_2 + 0.2143X_1X_3 + 0.0308X_1X_4 + 0.2373X_2X_3 - 0.0547X_2X_4 - 0.1804X_3X_4$$

$$\hat{Y}_3 = 1073 + 24.93^{*} X_1 + 11.42X_2 - 0.7667X_3 + 9.775X_4 - 42.11^{**} X_1^2 - 37.96^{**} X_2^2 - 8.985X_3^2 - 12.47X_4^2 - 15.24X_1X_2 - 16.76X_1X_3 + 17.61X_1X_4 + 14.89X_2X_3 - 14.81X_2X_4 + 14.71X_3X_4$$

$$\hat{Y}_4 = 43.45 + 0.7792^{**} X_1 + 0.0292X_2 + 0.0542X_3 + 0.3875^{**} X_4 + 0.0219X_1^2 + 0.2094^{**} X_2^2 + 0.1594^{*} X_3^2 -$$

$$0.078 1X_1^2 - 0.106 3X_1X_2 - 0.093 8X_1X_3 + 0.043 8X_1X_4 - 0.081 3X_2X_3 + 0.181 3X_2X_4 + 0.318 8^* X_3X_4$$

对模型进行检验, 产量(\hat{Y}_1)、含油量(\hat{Y}_2)、产油量(\hat{Y}_3)和蛋白质(\hat{Y}_4)的回归关系 F_2 分别达 6.244、4.778、3.833 和 8.678, 均大于 $F_{0.01(14, 21)} = 3.070$, 达到极显著水平, 失拟 F_1 分别为 0.815、0.774、1.098 和 1.220, 均小于 $F_{0.25(10, 11)} = 1.520$, 未达到显著性水

平, 即非试验因素对它们的影响不显著。说明以上模型理论值与实测值拟合较好, 可为目标施肥提供决策方案。

同时对模型中各回归系数进行显著性检验, 凡达到 0.05(*) 和 0.01(**) 显著性水平直接标注在方程中, 说明氮磷硼与产量、氮磷与含油量和产油量、氮磷钾硼与饼粕蛋白质含量存在显著或极显著的函数关系。

表 4 正交旋转试验结果

Table 4 Results of the orthogonal rotation experiment

处理号 Treatment No	产量 Yield (kg hm ⁻²)	含油量 Oil content (%)	产油量 Oil yield (kg hm ⁻²)	蛋白质 Protein (%)
1	2.445	39.92	976.2	42.51
2	2.562	37.62	963.8	44.65
3	2.466	39.51	974.3	42.89
4	2.677	36.28	971.2	43.97
5	2.273	39.05	887.8	42.58
6	2.379	37.85	900.6	43.65
7	2.598	40.72	1.058	42.43
8	2.568	38.35	984.8	43.81
9	2.212	40.37	893.0	42.17
10	2.628	38.30	1.007	44.49
11	2.229	40.74	908.0	43.84
12	2.671	37.76	1.009	45.02
13	2.429	39.59	961.6	43.92
14	2.651	39.02	1.034	45.31
15	2.562	40.65	1.042	44.12
16	2.549	37.67	960.3	45.58
17	1.932	40.88	789.8	41.80
18	2.769	36.99	1.024	45.14
19	2.356	39.30	925.8	44.56
20	2.483	37.10	921.3	43.81
21	2.707	39.74	1.076	44.06
22	2.631	38.13	1.003	43.94
23	2.513	39.44	991.2	42.72
24	2.635	40.21	1.060	43.40
25	2.959	39.08	1.157	43.68
26	2.684	39.22	1.053	43.14
27	2.964	40.23	1.192	43.49
28	2.709	39.52	1.071	43.38
29	2.737	38.60	1.056	43.65
30	2.541	40.35	1.025	44.14
31	2.796	39.07	1.092	43.80
32	2.653	38.69	1.027	42.97
33	2.723	38.47	1.047	43.10
34	2.748	38.60	1.061	44.02
35	2.671	38.21	1.021	43.19
36	2.660	40.53	1.078	42.82

2.2 模型解析

2.2.1 主效应分析 由于本试验采用无量纲编码, 根据文献[18]线性系数绝对判别法, 可从一次项回归系数绝对值大小直接判断对应因素对所研究指标的影响程度。其顺序产量为: $X_1(131.0) > X_2(41.43) > X_4(8.633) > X_3(1.442)$; 含油量为: $X_1(1.062) > X_4(0.2641) > X_2(0.1847) > X_3(0.0333)$; 产油量为: $X_1(24.93) > X_2(11.42) > X_4(9.775) > X_3(0.7667)$; 蛋白质为: $X_1(0.7792) > X_4(0.3875) > X_3(0.0542) > X_2(0.0292)$ 。从以上四个模型中看出, 氮肥与产量、产油量和蛋白质呈显著或极显著正相关, 而与含油量呈极显著负相关, 这与前人的研究是一致的^[5,19,20]; 硼肥与蛋白质含量达到极显著正相关, 可能是硼可以增强油菜茎叶等器官的光合作用, 促进碳氮代谢的结果。

2.2.2 单因子效应分析 采用降维分析法, 令其中一因子处于 5 个水平, 固定其他 3 个因子为 0 水平, 由以上四个模型可得该因子不同水平对所研究的指标动态变化的子模型:

$$\begin{aligned} \text{产 量: } \hat{Y}_{11} &= 2\ 737 + 131.0X_1 - 98.24X_1^2 \\ \hat{Y}_{12} &= 2\ 737 + 41.43X_2 - 80.96X_2^2 \\ \hat{Y}_{13} &= 2\ 737 - 1.442X_3 - 18.60X_3^2 \\ \hat{Y}_{14} &= 2\ 737 + 8.633X_4 - 42.28X_4^2 \\ \text{含油量: } \hat{Y}_{21} &= 39.21 - 1.062X_1 - 0.0719X_1^2 \\ \hat{Y}_{22} &= 39.21 - 0.1847X_2 - 0.2556X_2^2 \\ \hat{Y}_{23} &= 39.214 - 0.0333X_3 - 0.0717X_3^2 \\ \hat{Y}_{24} &= 39.21 + 0.2641X_4 + 0.1517X_4^2 \\ \text{产油量: } \hat{Y}_{31} &= 1\ 073 + 24.93X_1 - 42.11X_1^2 \\ \hat{Y}_{32} &= 1\ 073 + 11.42X_2 - 37.96X_2^2 \\ \hat{Y}_{33} &= 1\ 073 - 0.7667X_3 - 8.985X_3^2 \\ \hat{Y}_{34} &= 1\ 073 + 9.775X_4 - 12.47X_4^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{蛋白质: } \hat{Y}_{41} &= 43.45 + 0.7792X_1 + 0.0219X_1^2 \\ \hat{Y}_{42} &= 43.45 + 0.0292X_2 + 0.2094X_2^2 \\ \hat{Y}_{43} &= 43.45 + 0.0542X_3 + 0.1594X_3^2 \\ \hat{Y}_{44} &= 43.45 + 0.3875X_4 - 0.0781X_4^2 \end{aligned}$$

降维分析所得到的子模型, 相当于特定水平对某一变量所做的单因子试验。从以上子模型, 可以看出氮、磷、硼对产量和产油量具有正效应, 钾则为负效应; 四因子对饼粕蛋白质含量均有正效应, 而对含油量除硼对其有积极作用外, 其他均是负效应。本试验条件下, 施用氮肥对油菜产量, 及其产油量和蛋白质含量增加仍有很大的作用, 但对含油量的提高不利; 施用钾肥对产量和含油量的作用均不明显, 这与他人的研究不一致^[9,21], 可能是由于供试品种营养特性不同和土壤肥力较高(表 1)等原因所致。土壤缺硼的临界值为 $0.5\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}$, 供试土壤硼不缺乏, 施用适量的硼肥对产量、含油量以及蛋白质含量仍有提高的作用。表明甘蓝型黄籽油菜需硼量大, 在高产栽培中增施硼肥是十分必需的。

2.2.3 互作效应分析 由以上四个效应模型交互项绝对值大小看出, 对产量的影响以 $X_1X_3 > X_3X_4 > X_1X_4 > X_2X_4 > X_2X_3 > X_1X_2$; X_1X_2 ($F = 3.3334$) 互作效应对含油量的影响最大, 其次为 $X_2X_3 > X_1X_3 > X_3X_4 > X_2X_4 > X_1X_4$; 对产油量的影响为 $X_1X_4 > X_1X_2 > X_1X_3 > X_2X_3 > X_2X_4 > X_3X_4$; 对蛋白质影响顺序是 $X_3X_4 > X_2X_4 > X_1X_2 > X_1X_3 > X_2X_3 > X_1X_4$, 且 X_3X_4 ($F = 7.9963$) 达到极显著水平。所以, 现以对蛋白质影响极显著的交互项 X_3X_4 作互作效应分析。令 $X_1 = 0, X_2 = 0$ 为标准进行分析, 代入函数模型得子模型为: $Y_{X_3X_4} = 43.45 + 0.0542X_3 + 0.3875X_4 + 0.1594X_3^2 - 0.0781X_4^2 + 0.3188X_3X_4$, 以 $X_1 \in [-2, 2], X_2 \in [-2, 2]$, 滑动变化求得蛋白质含量(表 5)。由表 5 看出, 当 $-2 \leq X_3 \leq 2, 0 \leq X_4 \leq 2$ 时, \bar{Y} 值较高, 变异系数也比较小, 即在该水平内进行农艺措施调节, 蛋白质含量既高且稳, 其变化范围为 43.45% ~ 46.14%。

表 5 $X_3 \cdot X_4$ ~ 蛋白质联应分析

Table 5 Joint analysis of $X_3 \cdot X_4$ ~ Protein (%)

水平 Levels	X_4 (B)					\bar{Y}	
	- 2	- 1	0	1	2		
X_3	2	42.04	43.06	44.09	45.11	46.14	44.09
(K_2^0)	1	42.20	42.90	43.61	44.32	45.02	43.61

续表

水平 Levels	X ₄ (B)					\bar{Y}	
	- 2	- 1	0	1	2		
0	42.68	43.06	43.45	43.84	44.23	43.45	
X ₃ (K ₂ O)	- 1	43.47	43.54	43.61	43.68	43.75	43.61
	- 2	44.59	44.34	44.09	43.84	43.59	44.09
\bar{Y}	42.99	43.38	43.77	44.16	44.54		
变异系数(%) Coefficient of variation	2.44	1.35	0.68	1.33	2.36		

综合上述,要获得油菜高产油量和高蛋白质含量,除单因子作用外,因子间的交互作用也是非常重要的。因此,在肥力水平较高的紫色水稻土上种植黄籽油菜,注重多种养分的合理配施尤其是针对油菜生长发育影响大的氮磷钾硼进行科学优化组配施用,是优质油菜高产的基本措施。

2.3 施肥模型寻优

本试验具有正交性,消除了回归系数间的相关性,所以可直接剔除 t 检验不显著的回归项,但为了最大限度地保留原有试验信息,更客观地寻优,我们采用原始数学模型,在 $-2 \leq X \leq 2$ 区域内,通过计算

机运算得到 $5^4 = 625$ 套全部组合方案。

2.3.1 产油量预测 依据产油量模型,进行全因子优化组合频次分析(表6),产油量大于 1000 kg hm^{-2} 的方案为 175 个方案,占全部组合的 28%,各因子(X_i)的编码取值最大频率分别是 $X_1(N)$ 和 $X_2(P_2O_5)$ 均为 0 和 1; $X_3(K_2O)$ 和 $X_4(B)$ 各水平的频率都相同,说明其各水平对产油量的影响差异不大。产油量大于 1000 kg hm^{-2} 的条件下,各因子取值适宜范围分别为施 N $163.7 \sim 179.2 \text{ kg hm}^{-2}$, P_2O_5 $85.0 \sim 95.0 \text{ kg hm}^{-2}$, K_2O $100.7 \sim 124.3 \text{ kg hm}^{-2}$, B $6.7 \sim 8.3 \text{ kg hm}^{-2}$,同时菜籽粕蛋白质含量可达 40% 以上。

表 6 产油量大于 1000 kg hm^{-2} 的 175 个方案中各变量取值的频率分布

Table 6 Frequency distribution of factors affecting total oil yield of rapeseed ($\geq 1000 \text{ kg hm}^{-2}$)

水平 Levels	X ₁ (N)		X ₂ (P ₂ O ₅)		X ₃ (K ₂ O)		X ₄ (B)	
	频次 Frequency	频率(%) Relative frequency	频次 Frequency	频率(%) Relative frequency	频次 Frequency	频率(%) Relative frequency	频次 Frequency	频率(%) Relative frequency
- 2	0	0	0	0	35	20	35	20
- 1	25	14.2	50	28.6	35	20	35	20
0	75	42.9	75	42.9	35	20	35	20
1	75	42.9	50	28.6	35	20	35	20
2	0	0	0	0	35	20	35	20
加权平均 Weighted average	0.286		0		0		0	
标准差 Standard deviation	0.053		0.057		0.107		0.107	
95% 置信域 Confidence interval	0.182~ 0.389		- 0.112~ 0.112		- 0.210~ 0.210		- 0.210~ 0.210	
取值范围(kg hm^{-2}) Optimum range	163.7~ 179.2		85.0~ 95.0		100.7~ 124.3		6.7~ 8.3	

2.3.2 菜籽粕蛋白质含量预测 依蛋白质模型算出菜籽粕蛋白质含量高于 45% 的组合方案有 200

个,占全部组合的 32%。由表 7 频率分析结果看出,各因子的编码取值最大频率分别为: $X_1(N)$ 和

$X_4(B)$ 为 2, $X_2(P_2O_5)$ 和 $X_3(K_2O)$ 是 - 2 和 2; 且各因子的取值区域分别是施 N 236.6~ 255.4 $kg\ hm^{-2}$ 、 P_2O_5 80.3~ 99.7 $kg\ hm^{-2}$ 、 K_2O 103.2~ 126.8 $kg\ hm^{-2}$ 、B 8.9~ 10.3 $kg\ hm^{-2}$ 。

表 7 蛋白质含量大于 45% 的 200 个方案中各变量取值的频率分布

Table 7 Frequency analysis of the factors for protein ($\geq 45\%$)

水平 Levels	$X_1(N)$		$X_2(P_2O_5)$		$X_3(K_2O)$		$X_4(B)$	
	频次 Frequency	频率(%) Relative frequency	频次 Frequency	频率(%) Relative frequency	频次 Frequency	频率(%) Relative frequency	频次 Frequency	频率(%) Relative frequency
- 2	2	1	53	26.5	47	23.5	21	10.5
- 1	9	4.5	32	16	35	17.5	25	12.5
0	23	11.5	30	15	30	15	39	19.5
1	63	31.5	32	16	38	19	50	25
2	103	51.5	53	26.5	50	25	65	32.5
加权平均 Weighted average	1.28		0		0.045		0.565	
标准差 Standard deviation	0.064		0.11		0.107		0.094	
95% 置信域 Confidence interval	1.154~ 1.406		- 0.216~ 0.216		- 0.165~ 0.225		0.380~ 0.750	
取值范围($kg\ hm^{-2}$) Optimum range	236.6~ 255.4		80.3~ 99.7		103.2~ 126.8		8.9~ 10.3	

3 结 论

1) 氮、磷、钾、硼单因子对甘蓝型黄籽油菜籽粒产量和产油量的影响均为 $X_1(N) > X_2(P_2O_5) > X_4(B) > X_3(K_2O)$, 对含油量影响程度是 $X_1(N) > X_4(B) > X_2(P_2O_5) > X_3(K_2O)$, 蛋白质为 $X_1(N) > X_4(B) > X_3(K_2O) > X_2(P_2O_5)$, X_3X_4 (钾硼交互作用) 达到极显著水平。

2) 寻优分析得“渝黄 1 号”产油量大于 1 000 $kg\ hm^{-2}$ 且菜籽粕蛋白质高于 40% 的各养分因子适宜取值范围分别为施 N 163.7~ 179.2 $kg\ hm^{-2}$ 、 P_2O_5 85.0~ 95.0 $kg\ hm^{-2}$ 、 K_2O 100.7~ 124.3 $kg\ hm^{-2}$ 、B 6.7~ 8.3 $kg\ hm^{-2}$; 菜籽粕蛋白质含量大于 45% 时, 各因子的取值区域分别为施 N 236.6~ 255.4 $kg\ hm^{-2}$ 、 P_2O_5 80.3~ 99.7 $kg\ hm^{-2}$ 、 K_2O 103.2~ 126.8 $kg\ hm^{-2}$ 、B 8.9~ 10.3 $kg\ hm^{-2}$ 。

3) 黄籽油菜“渝黄 1 号”在四川、重庆进行大面积推广应用时, 应适当增加氮肥和硼肥用量, 配合一定量的磷肥, 少施钾肥, 以达到油菜高产油量和高蛋白含量的目的。

参 考 文 献

- [1] 谌利, 李加纳, 唐章林, 等. 甘蓝型黄籽杂交油菜新品种渝黄 1 号的选育. 西南农业大学学报, 2002, 24(1): 45~ 47. Shen L, Li J N, Tang Z L, et al. Breeding of "Yuhuang 1"-a new yellow-seeded hybrid cultivar of rape (*Brassic napus* L.) (In Chinese). Journal of Southwest Agricultural University, 2002, 24(1): 45~ 47
- [2] 李建萍, 杨雄年. 我国油菜品质育种的现状与发展趋势. 中国油料, 1996, 18(2): 76~ 77. Li J P, Yang X N. Present status and development trend of quality breeding in rape in china(In Chinese). Chinese Oil Crops, 1996, 18(2): 76~ 77
- [3] 官春云. 油菜品质改良和分析方法. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1985. Guan C Y. Quality Improvement in Rape and Analysis Methods (In Chinese). Changsha: Hunan Science and Technology Press, 1985
- [4] 唐湘如, 官春云. 油菜栽培密度与几种酶活性及产量和品质的关系. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2001, 21(4): 264~ 267. Tang X R, Guan C Y. Effects of culture density on activities of several enzymes in rapeseed and its relationships with yield and quality (In Chinese). Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2001, 21(4): 264~ 267
- [5] 朱洪勋, 李贵宝, 张翔, 等. 高产油菜营养吸收规律及施用氮磷钾对产量和品质的影响. 土壤肥料, 1995, (5): 34~ 37. Zhu H X, Li G B, Zhang X, et al. Effect of nitrogen phosphor and potassium application on yield and quality and the regulation of ab

- sorption in high yield rape (In Chinese). Soil and Fertilizer, 1995, (5): 34~ 37
- [6] 薛建明, 杨玉爱, 叶正钱. 硼对不同油菜品种生长发育及产量和品质的影响. 浙江农业大学学报(农业与生命科学版), 1995, 21(1): 66~ 70. Xu J M, Yang Y A, Ye Z Q. Effect of boron on the growth, yield and quality of different rape cultivars(In Chinese). Journal of Zhejiang Agricultural University (Agriculture and Life Science). 1995, 21(1): 66~ 70
- [7] 徐俊祥, 唐永良, 徐永福. 红壤施用石灰和硼对油菜的增产效应及钙硼平衡. 土壤学报, 1994, 31(1): 109~ 112. Xu J X, Tang Y L, Xu Y F. Response of rape yield to lime and boron application and calcium boron balance in red soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1994, 31(1): 109~ 112
- [8] 宋光泉, 陈清泉, 欧阳静仁. 油菜的硼素效应研究. 仲恺农业技术学院学报, 1995, 8(1): 27~ 34. Song G Q, Chen Q Q, O' Yang J R. A study on boron- effect to rape (In Chinese). Journal of Zhongkai Agrotechnical College, 1995, 8(1): 27~ 34
- [9] 郭熙盛, 朱宏斌, 叶舒娅, 等. 低钾土壤上油菜钾素效应研究. 土壤, 1999, (1): 36~ 38. Guo X S, Zhu H B, Ye S Y, *et al.* A study on potassium effect to rape in low potassium soil (In Chinese). Soils, 1999, (1): 36~ 38
- [10] 范巧佳, 牛应泽, 倪苏. 几个油菜品种氮磷钾吸收积累特性的初步研究. 四川农业大学学报, 1997, 15(2): 205~ 210, 228. Fan Q J, Niu Y Z, Ni S. A preliminary study on the content and absorption of nitrogen phosphorus and potassium to several varieties of oilseed rape (In Chinese). Journal of Sichuan Agricultural University, 1997, 15(2): 205~ 210, 228
- [11] Zhao F J. Influence of sulphur and nitrogen on composition of glucosinolate of oil seed rape (*Brassica napus L.*). Sci. Food Agric., 1994, 64: 295~ 304
- [12] Chen J X, Xuan J X, Du C L, *et al.* Effect of potassium and moisture on rape growth and its nutrient uptake (In Chinese). Pedosphere, 1996, 6(1): 81~ 88
- [13] 刘枫, 张辛未, 黄运生, 等. 油菜高产高效施肥模式研究. 安徽农业科学, 1995, 23(3): 247~ 248, 250. Liu F, Zhang X W, Huang Y S, *et al.* A study on fertilizer model of high yield and high effect to rape (In Chinese). Journal of Anhui Agricultural Sciences, 1995, 23(3): 247~ 248, 250
- [14] 陶晓明, 王华银, 任勤. 华杂 4 号不同因素处理组合对其产量影响研究. 南京农专学报, 2002, 18(1): 31~ 34. Tao X M, Wang H Y, Ren Q. Influence of different factors and their combinations on the yield of Huaza 4 (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural Technology College, 2002, 18(1): 31~ 34
- [15] 涂运昌, 周平贞, 谢立华, 等. 油菜的氮、磷营养及其经济施肥量. 土壤学报, 1996, 33(4): 428~ 432. Tu Y C, Zhou P Z, Xie L H, *et al.* N and P nutrients and their economic application for rape(In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(4): 428~ 432
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 1999. 61~ 68, 257~ 282, 332~ 340. Bao S D. Soil and Agrochemistry Analysis(3rd Ed.) (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1999. 61~ 68, 257~ 282, 332~ 340
- [17] 白厚义, 肖俊璋. 试验研究及统计分析. 西安: 世界图书出版公司, 1998. 23~ 24, 199~ 229. Bai H Y, Xiao J Z. Experimental Study and Statistic Analysis (In Chinese). Xian: World Books Publish Company. 1998. 23~ 24, 199~ 229
- [18] 李少峰, 马荣宪, 朱炫. 钾肥对优质油菜性状及产量的影响. 云南农业大学学报, 2000, 15(2): 133~ 135. Li S F, Ma R X, Zhu X. Effect of potassium fertilizer on characters and yield in quality rape (*Brassica napus L.*) (In Chinese). Journal of Yunnan Agricultural University, 2000, 15(2): 133~ 135
- [19] 冷锁虎, 单玉华, 周宝梅. 氮素营养对油菜成熟期生物产量的调控. 中国油料作物学报, 2000, 22(2): 53~ 56. Leng S H, Shan Y H, Zhou B M. Regulation of N nutrition to biomass of oilseed rape in ripening stage (In Chinese). Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2000, 22(2): 53~ 56
- [20] Ibrahim A F, Abustei E Q, Metwally E A. Response of rapeseed (*Brassica napus L.*) growth, yield, oil content and its fatty acids to nitrogen rates and application times. J. Agronomy & Crop Science, 1989, 162: 107~ 112
- [21] 刘昌智, 蔡常被, 陈仲西, 等. 氮磷钾对油菜籽产量、蛋白质和含油量的影响. 中国油料, 1982, (3): 25~ 29. Liu C Z, Cai C B, Chen Z X, *et al.* Effect of nitrogen phosphorus and potassium application on yield, protein and oil content in rapeseed (In Chinese). Chinese Oil Crops, 1982, (3): 25~ 29

EFFECT OF NITROGEN, PHOSPHORUS, POTASSIUM AND BORON ON YIELD AND QUALITY OF YELLOW SEEDED RAPESEED

Li Baozhen^{1, 3} Wang Zhengyin¹ Li Jiana² Wu Jie² Shen Li²

(1 College of Resources and Environment Sciences, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

(2 College of Agronomy and Life Sciences, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

(3 College of Resources and Environment Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract An orthogonal quadratic regression rotation combinatorial design with 4 factors, i. e. nitrogen(N), phosphorus(P), potassium(K), and boron(B), was adopted in field experiments. Fertilization models were built up and analysed for yield, oil content, oil yield and protein of yellow-seeded rape. The single factor effect analysis shows that in terms of effect of fertilization on seed yield and oil yield, the four single factor fertilizers were in the order of $X_1(N) > X_2(P_2O_5) > X_4(B) > X_3(K_2O)$; while in terms of effect on oil content and protein, they were in the order of $X_1(N) > X_4(B) > X_2(P_2O_5) > X_3(K_2O)$ and $X_1(N) > X_4(B) > X_3(K_2O) > X_2(P_2O_5)$, respectively. Based on the fertilization models for oil yield and protein, in order to get an oil yield higher than $1\ 000\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ and a protein content higher than 40% in the rapeseed cakes, the optimum fertilization rate should be recommended as N 163.7~179.2 kg, P_2O_5 85.0~95.0 kg, K_2O 100.7~124.3 kg and B 6.7~8.3 kg per hm^2 ; and to get a protein content higher than 45%, the fertilization rate as N 236.6~255.4 kg, P_2O_5 80.3~99.7 kg, K_2O 103.2~126.8 kg, and B 8.9~10.3 kg per hm^2 .

Key words Yellow-seeded rapeseed; Nutrient quality; Fertilization model; Nitrogen; Phosphorus; Potassium; Boron