

混料设计在花椒配肥试验研究中的应用*

张国桢¹, 孙丙寅¹, 黄占斌^{2,3}, 钱栓提¹, 郝乾坤¹, 弓有辉¹

(1 杨凌职业技术学院, 陕西 杨陵 712100; 2 中国科学院 水利部 水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与

旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100; 3 中国矿业大学 北京校区, 北京 100083)

[摘 要] 采用田间试验, 研究了混料设计中的单形重心设计在花椒氮、磷、钾配肥上的应用, 测定了花椒的产量及其构成, 配置了各因子的产量回归方程, 并应用降维分析, 绘制了 2 因素产量图。结果表明, 当钾素的比例为 0.00~0.29 时, 花椒产量递增, 当钾素的比例为 0.29~1.00 时, 花椒产量递减; 当磷素的比例为 0.00~0.31 时, 花椒产量递增; 当磷素的比例为 0.31~1.00 时, 花椒产量递减; 当氮素的比例为 0.00~0.40 时, 花椒产量递增, 当氮素的比例为 0.40~1.00 时, 花椒产量递减。降维分析结果表明, 花椒的最佳肥料配比为 $m_N \ m_P \ m_K = (0.398 \sim 0.413) \ (0.298 \sim 0.313) \ (0.286 \sim 0.289)$ 。

[关键词] 花椒; 混料设计; 单形重心设计; 降维分析; 肥料配比

[中图分类号] S573+.906.2; S158.5

[文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2003)06-0135-04

混料试验就是研究各因子在混料中的比例, 而不涉及混料的总量。早期混料设计主要应用于冶金、化工等领域^[1], 并取得了良好的效果, 近年来在农业领域有一些报道, 但主要集中在农药、饲料和农田作物复合肥方面^[1~4], 在经济林方面尚未见报道。花椒 (*Znathoxylum bungeanum*) 是我国栽培历史悠久、经济价值高的香料、油料树种。目前, 在花椒生产中, 施肥的单一性和盲目性导致养分比例严重失调, 从而影响了花椒的产量和品质, 致使生产成本加大, 经济效益降低。针对这一突出问题, 本研究于 2002 年进行了花椒配方施肥田间试验, 以探索花椒施肥的最佳配比, 为花椒的优质、高产施肥提供参考。

1 材料与方法

试验地概况 试验地设在陕西凤县黄牛铺镇红

花沟村山坡中部, 坡向正南, 坡度 15°, 海拔 1 450 m, 为弃耕地, 有效土层厚 80 cm 以上。

土壤为棕壤, pH 7.0, 有机质含量 28.4 g/kg, 全氮 2.13 g/kg, 全磷 0.68 g/kg, 全钾 17.5 g/kg, 园间管理为免耕法。

试验设计 试验树为 10 年生大红袍花椒。供试肥料中氮肥为尿素 ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), 含纯氮 460 g/kg; 磷肥为过磷酸钙 ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), 含五氧化二磷 (P_2O_5) 160 g/kg; 钾肥为氯化钾 (KCl), 含氧化钾 (K_2O) 480 g/kg。

试验方法采用 {3, 3} 单形重心设计^[4], 以不施肥为对照。每处理重复 5 株, 处理间设隔离带, 随机排列, 共 8 个处理 (表 1)。

表 1 N、P、K 配比 {3, 3} 单形重心设计

Table 1 {3, 3} Simplex centroid design under combination of nitrogen, phosphorus and potassium

试验号 Treatment	编码值 Coding value			实际施肥量/(kg·株 ⁻¹) Actual fertilizer rate		
	$x_1(\text{N})$	$x_2(\text{P}_2\text{O}_5)$	$x_3(\text{K}_2\text{O})$	N	P_2O_5	K_2O
1	1(0.60)	0(0.20)	0(0.20)	2.188	3.571	0.833
2	0(0.30)	1(0.50)	0(0.20)	1.141	8.929	0.833
3	0(0.30)	0(0.20)	1(0.50)	1.141	3.571	2.083
4	1/2(0.45)	1/2(0.35)	0(0.20)	1.712	6.250	0.833
5	1/2(0.45)	0(0.20)	1/2(0.35)	1.712	3.571	1.458
6	0(0.30)	1/2(0.35)	1/2(0.35)	1.141	6.250	1.458
7	1/3(0.40)	1/3(0.30)	1/3(0.30)	1.575	5.357	1.250
CK				0	0	0

注: 各处理 N、P、K 总量纯养分为 0.5 kg/株。

Note: The total rate of N, P, K fertilizer application under different treatments were 0.5 kg pure nutrient per tree

[收稿日期] 2002-11-29

[基金项目] 杨凌科研专项基金项目 (02KJ-10-1, 02KJ-10-2); 杨凌职业技术学院科研基金项目 (A 32002003)

[作者简介] 张国桢 (1965-), 男, 陕西杨陵人, 实验师, 主要从事水肥耦合及其应用研究。

2002-02 底在树冠外围穴施。考虑养分平衡和花椒需肥特点^[5], 氮素按试验设计量的 70% 施给, 4 月底(果实膨大前期)补齐余量; 磷、钾肥按试验设计量的全部施用。采收期分别调查产量(鲜椒重)及其构成, 依试验结果配置回归方程。在 $x_1 + x_2 + x_3 = 1$ 条件限制下, 将回归方程进行降维处理以便分析各因子的作用及其规律。应用 MATLAB 6.01 软件进行数据处理及制图^[6]。

表 2 产量比较及差异显著性(LSD 法)

Table 2 Yield comparison and difference significance

处理 Treatment	平均值/kg Average	5%	1%	处理 Treatment	平均值/kg Average	5%	1%
7	4.98	a	A	1	4.19	ab	AB
4	4.49	ab	AB	2	4.19	ab	AB
6	4.41	ab	AB	3	3.82	b	B
5	4.22	ab	AB	CK	3.05	c	BC

注: 表 2 中的产量为每 5 株的平均数。LSD_{0.05} = 0.779, LSD_{0.01} = 1.050。

Note: The yield in this table was the average per 5 trees LSD_{0.05} = 0.779, LSD_{0.01} = 1.050。

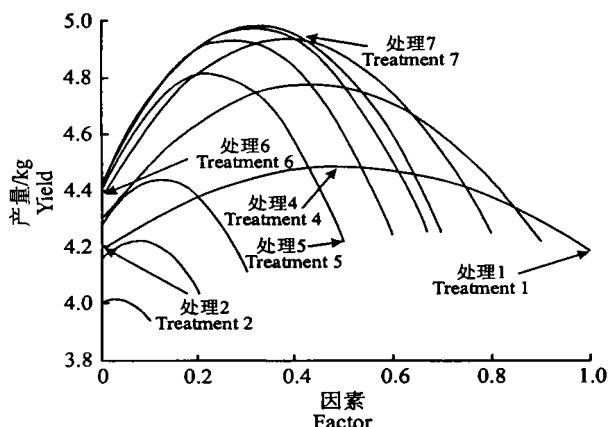
依据产量测定结果配置回归方程:

$$y = 4.19x_1 + 4.19x_2 + 3.82x_3 + 1.2x_1x_2 + 0.86x_1x_3 + 1.62x_2x_3 + 13.6x_1x_2x_3$$

经控制点检验^[4], 所有控制点的 $\Delta y_i < 3S_{\bar{y}_i}$ 。其中, Δy_i 为每个控制点的平均值 $\bar{y}$ 与预测值 y_i 差数的绝对值; $S_{\bar{y}_i}$ 为均数标准差。说明配置的回归方程是适宜的。

2.2 回归方程的降维分析

为了深入探讨各因子对花椒产量的影响, 利用混料设计的特点($x_1 + x_2 + x_3 = 1$)对回归方程进行降维处理^[2]。 x_1, x_2, x_3 分别赋值 0, 1/10, 1/5, 3/10, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 7/10, 4/5, 9/10 时, 分别得到 x_1, x_2, x_3 和产量各 11 条共 33 条曲线(图 1~3)。从图 1 还可以看到, 在 x_3 赋值为 0, 1/3, 1/2 和 1 时, 试验设计的 7 个处理中有 6 个结果可以相应显示出来;

图 1 不同 x_1 水平时 x_3 的效应图Fig 1 x_1 influenced yield for presetting x_3

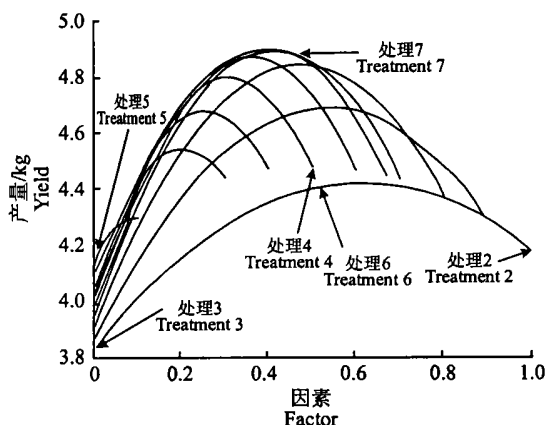
2 结果与分析

2.1 产量的方差分析及回归方程的建立

由表 2 可看出, 不施肥(CK)的产量显著低于施肥处理。处理 3 的产量低于其他施肥处理, 这与该处理钾比例偏高, 而氮、磷比例偏低有关, 说明钾供应过量会影响花椒产量的提高。处理 4~6 的增产效果明显, 说明氮、磷、钾配比比较适量。处理 7 的产量最高, 说明氮、磷、钾施用均衡, 为最佳施肥方案。

$x_3 = 1$ 时, x_1 和产量的关系为 1 个点值, 说明配置的回归方程是适宜的。图 2, 3 具有相似结果, 需要说明的是 x_2 是随 x_1 做相应变化的。

2.2.1 氮、磷、钾的作用规律 在图 1 中, 当 $x_3 = 0.00 \sim 0.30$ 时, 钾素的比例与产量呈正相关; 当 $x_3 = 0.30 \sim 1.00$ 时, 钾素的比例与产量呈负相关。在图 2 中, 当 $x_2 = 0.00 \sim 0.37$ 时, 磷素的比例与产量呈正相关; 当 $x_2 = 0.37 \sim 1.00$ 时, 磷素的比例与产量呈负相关。在图 3 中, 当 $x_1 = 0.00 \sim 0.33$ 时, 氮素的比例与产量呈正相关; 当 $x_1 = 0.33 \sim 1.00$ 时, 氮素的比例与产量呈负相关。由以上结果推断, 当 $x_1, x_2, x_3 = 0.33, 0.37, 0.30$ 时产量最高。从图 1~3 还可以找出固定某一因素水平, 另外 2 个因素的最佳配比点, 即 33 条曲线的峰值点。

图 2 不同 x_1 水平时 x_2 的效应图Fig 2 x_2 influenced yield for presetting x_1

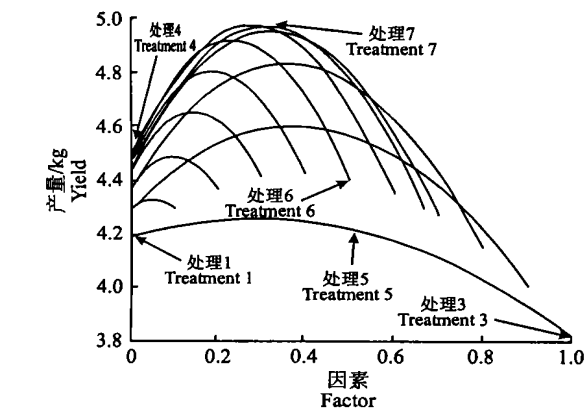


图 3 不同 x_3 水平时 x_1 的效应图

Fig 3 x_1 influenced yield for presetting x_3

2 2 2 氮、磷、钾最佳配合点的确定 为了求出较为准确的氮、磷、钾最佳配合点,由各因子固定水平、降维方程的系数(表 3),利用降维方程绘制 x_1, x_2, x_3 与产量的关系曲线(图 4)。图 4 中,曲线 1~ 3 为 x_1 与产量的关系,曲线 4~ 6 为 x_2 与产量的关系,曲线 7~ 9 为 x_3 与产量的关系。在曲线 2, 5, 8 上, y (产量)有最大值。在软件的数据库中,查找到最高产量

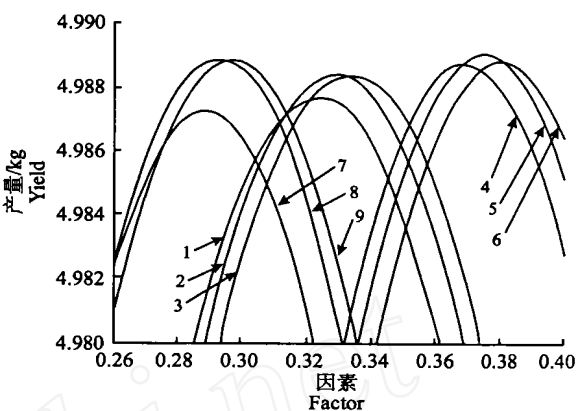


图 4 各因素的效应图

Fig 4 Yield influenced by each factor

(4 988 9 kg) 及对应的 x_1, x_2, x_3 取值。将编码值转换为氮、磷、钾的实际用量,当 $m_N \quad m_P \quad m_K =$ (0 398 1~ 0 413 4) (0 298 1~ 0 313 4) (0 286 4~ 0 289 1)时,产量最高(4 988 9 kg)。应用此法可以通过控制因素的水平精度,从而达到不同精度的试验结果。

表 3 各因子的固定水平及降维方程

Table 3 Grades of every factor and data reduction function

因子 Factor	x_1	x_2	x_3	b_0	b_1	b_2	编号 Mark
x_1 的效应方程 x_1 Action function		0 71- x_1	0 29	4 416	3 432	- 5 144	1
		0 70- x_1	0 30	4 419	3 468	- 5 280	2
		0 69- x_1	0 31	4 422	3 501	- 5 416	3
x_2 的效应方程 x_2 Action function	0 32		0 68- x_2	4 126	4 540	- 5 972	4
	0 33		0 67- x_2	4 132	4 575	- 6 108	5
	0 34		0 66- x_2	4 139	4 607	- 6 244	6
x_3 的效应方程 x_3 Action function	0 63- x_3	0 37		4 470	3 497	- 5 892	7
	0 62- x_3	0 38		4 473	3 527	- 6 028	8
	0 61- x_3	0 39		4 475	3 554	- 6 164	9

注: b_0, b_1 和 b_2 分别代表降维方程的常数项、一次项和二次项系数。

Note: b_0, b_1 and b_2 represents the constant item of the data reduction function, a time item and two times item coefficient, respectively.

3 结 论

1) 本研究在应用混料设计得到回归方程后,在 $x_1 + x_2 + x_3 = 1$ 的限制条件下,应用 MATLAB 6.01 软件,代入消元法求出 x_1, x_2, x_3 不同赋值时的 x_1, x_2, x_3 降维方程,并分别将降维方程制成二维平面图。根据各个曲线的变化规律,分析 x_1, x_2, x_3 与产量(y)的关系。从而获得已知某一因素时另外 2 因素的最佳养分分配方案,或者 3 因素最佳养分分配方案。该方法在试验前提条件允许下,通过控制 $x_1,$

x_2, x_3 赋值的精度,可提高试验因素配比精度,且图表直观性强,反映信息量大,是研究肥料配比行之有效的一种方法。

2) 当钾素的比例为 0.00~ 0.29 时花椒产量递增,比例为 0.29~ 1.00 时产量递减;当磷素的比例为 0.00~ 0.31 时花椒产量递增,比例为 0.31~ 1.00 时产量递减;当氮素比例为 0.00~ 0.40 时花椒产量递增,比例为 0.40~ 1.00 时产量递减。因而,花椒的最佳肥料配比为 $m_N \quad m_P \quad m_K =$ (0 398~ 0 413) (0 298~ 0 313) (0 286~ 0 289)。

[参考文献]

- [1] 刘春光, 周建斌, 董竹君. 混料设计在肥料配比研究中的应用[J]. 西北农林科技大学学报, 2001, 29(1): 59- 62
- [2] 郭世伟, 周百娟, 曹国军, 等. 氮、磷、钾、硅肥配施对一年生落叶松生长状况的影响[J]. 土壤通报, 1995, (1): 24- 27.
- [3] Schrevens E, Cornell J. Design and analysis of mixture systems application in hydroponic plant nutrition research[J]. Plant and Soil, 1993, 154: 45- 52
- [4] 白厚义, 肖俊璋. 试验研究及统计分析[M]. 西安: 世界图书出版社, 1998
- [5] 吴宗兴, 周荣乾, 李洪兵, 等. 阿坝州大红袍花椒生物学特性的调查研究[J]. 四川林业科技, 1997, (3): 61- 64
- [6] 姚兆林. MATLAB 6.X 图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002

Study of mixture experiment design in fertilizer combination of the *Znathoxylum bungeanum*

ZHANG Guo-zhen¹, SUN Bing-yin¹, HUANG Zhan-bin², QIAN Shuan-ti¹, GONG You-hui¹

(1 Yangling Vocational and Technological College, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation,

Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3 Beijing Campus, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The *Znathoxylum bungeanum*'s yield and its composing were measured in this paper using the field experiments to study the simplex centroid design in the combination of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer. Yield regression models of each factor were established. With the application of the data reduction analysis, yield diagram of 2 factors was drawn. The result was that: the yield of the *Z. bungeanum* is increased when the combination of the potassium is at 0.00- 0.29, and it is decreased when the combination of the potassium is at 0.29- 1.00; When the combination of the phosphorus is at 0.00- 0.31, it is increased; when the combination of the phosphorus is at 0.31- 1.00, it is decreased; it is increased when the combination of the nitrogen is at 0.00- 0.40, and it is decreased when the combination of the nitrogen is at 0.40- 1.00. The result of data reduction analysis shows that the best fertilizer composition for the *Z. bungeanum* is m_N m_P m_K = (0.398- 0.413) (0.298- 0.313) (0.286- 0.289).

Key words: *Znathoxylum bungeanum*; mixture experiment design; simplex centroid design; data reduction analysis; fertilizer composition