

甘蔗施肥技术系统优化研究

李玉潜 陈伟栋 谭中文 梁计南

(华南农业大学农学系, 广州, 510642)

摘要 本文参照系统工程中的最佳模拟配合法,对甘蔗施肥技术系统优化研究。通过计算机模拟优化,得出若干组包括高、中、低产量、净产值和甘蔗蔗糖分等综合指标要求的相应配套施肥方案,并对有关问题进行了讨论,以期甘蔗科学施肥提供新的方法及其理论依据。

关键词 甘蔗;施肥;系统优化;模拟配合法

中图分类号 S 566.1

甘蔗施肥是甘蔗栽培技术系统中的一个子系统,对原料甘蔗实现高产、高糖和高效益起着重要作用。长期以来,对甘蔗施肥问题研究不少,但大多属简单比较试验,近期有关因子试验其结果报导也只是以单一性状为目标的施肥量及其相应的经济效益(沈有信等,1993;林堃等,1992)。本研究采用最佳模拟配合法(吴健等,1988),建立产量、产值、蔗糖分3项指标的数学模型,进行模拟寻优,并以交集法优选出符合高产、高值、高糖综合指标要求的相应施肥方案,对仿真系统进行分析比较,为甘蔗“三高”的肥料三要素合理搭配提供理论依据。

1 材料与方法

试验在本校实验农场进行,于1993年1月育苗,3月定植,地力分析结果是: pH5.39,有机质1.503%,全氮0.081%,碱解氮 $88.7\% \times 10^{-6}$,有效磷 43.2×10^{-6} ,有效钾 43.9×10^{-6} ,属中壤土,参试品种为粤糖71/210,小区面积为 23 m^2 ,三行区,试验以三元二次正交旋转组合回归设计,详见表1及说明。

表1 变量水平编码表

kg/hm²

变 量	间距	变 量 水 平				
		-1.682	-1	0	1	1.682
X_1 (过磷酸钙)	375	120	375	750	1125	1380
X_2 (氯化钾)	150	120	225	375	525	630
X_3 (尿素)	360	300	546	900	1260	1500

表1自变量 X_1 ——施过磷酸钙, X_2 ——施氯化钾, X_3 ——施尿素;5水平的水平编码值中0编码为目前认为各变量中最好的水平,以 m_0 表示, $m_0=9$; -1, +1分别为各变量的下水平和上水平,以 m_c 表示, $m_c=8$; -1.682, +1.682分别为各变量的下边界值和上边界值,以 m_r 表示, $m_r=6$; $N=m_0+m_c+m_r=9+8+6=23$,23个试验小区中以 m_0 为对照区,其余小

1994-02-05 收稿

区随机排列,各小区的磷、钾肥作基肥,尿素则从下边界全作基肥,上边界全作追肥,0 水平则基肥、追肥各占 50%,其间以施转式变化。田间管理与大田同。

甘蔗生长过程按常规标准调查田间性状,于 1994 年 1 月收获称产及测定锤度,各项指标性状按下列公式进行校订计算:

$$Y_a(\text{产量})=\text{某处理值/邻近}m_0\text{值}\times\text{试验区平均值}$$

$$Y_b(\text{净产量})=\text{农业产值(180/t 蔗)}-\text{成本(农药、肥料、人工、种苗)}$$

$$Y_c(\text{蔗糖分})=1.0825\times\text{锤度}-7.70(\text{梁子久等,1991}).$$

借助电子计算机及已编的程序建立各指标性状的数学模型,并模拟寻优。

2 试验结果

2.1 指标性状

23 个小区的产量、净产值、蔗茎蔗糖分 3 项指标性状结果见表 2。

表 2 指标性状试验结果

区 号	产量(Y_a) /t·(hm ²) ⁻¹	净产值(Y_b) /万元·(hm ²) ⁻¹	蔗茎蔗糖分(Y_c) /%
1	99.5	0.829	11.87
2	108.8	1.079	10.49
3	98.5	0.840	11.23
m_c 4	116.1	1.238	10.12
5	124.5	1.287	10.17
6	109.0	1.127	10.58
7	106.0	1.000	12.77
8	106.0	1.094	10.78
9	102.6	0.930	12.18
10	108.4	1.085	11.88
m_r 11	113.7	1.124	11.01
12	101.9	0.971	10.30
13	113.0	1.058	9.90
14	104.4	1.068	10.88
15	115.6	1.196	10.25
16	116.2	1.207	10.77
17	110.6	1.112	10.80
m_o 18	108.0	1.067	10.84
19	106.8	1.043	10.09
20	108.9	1.082	11.11
21	115.4	1.193	9.83
22	108.6	1.077	10.57
23	101.7	0.961	11.01
平均数	108.9	1.072	10.84
变异系数/%	4.13	7.15	5.20

2.2 数学模型

23 个小区的 3 项指标性状通过计算机已编的多元二次回归程序运算结果得出数学模型系数矩阵见表 3。

表 3 数学模型系数矩阵

回 归 项		产量 Y_a	净产值 Y_b	蔗茎蔗糖分 Y_c
截距	b_0	108.9	1.027	10.85
一	b_1	-2.38	-0.056 5	-0.007
次	b_2	2.56	0.029 1	-0.048
项	b_3	0.22	-0.042 9	0.177
交	b_{12}	-3.48	-0.059 8	0.478
互	b_{13}	-5.28	-0.090 6	0.115
项	b_{23}	3.00	0.051 6	-0.265
二	b_{11}	-1.39	-0.029 2	0.499
次	b_{22}	-0.56	-0.015 1	0.186
项	b_{33}	-0.24	-0.009 7	-0.080
回归平方和		595.4	0.214 3	7.028
离回归平方和		262.8	0.076 3	5.232
F 值		3.27	4.05	1.94
概率(> F)		0.03	0.01	0.13
复相关 R		0.693 8	0.737 4	0.573 3

根据系数矩阵得出各指标性状的回归方程:

$$\hat{Y}_a = 108.9 - 2.38X_1 + 2.56X_2 + 0.22X_3 - 3.48X_1X_2 - 5.28X_1X_3 + 3.00X_2X_3 - 1.39X_1^2 - 0.56X_2^2 - 0.24X_3^2 \pm 4.50 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\hat{Y}_b = 1.027 - 0.0565X_1 + 0.0291X_2 - 0.0429X_3 - 0.0598X_1X_2 - 0.0906X_1X_3 + 0.0516X_2X_3 - 0.0292X_1^2 - 0.0151X_2^2 - 0.0097X_3^2 \pm 0.77 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\hat{Y}_c = 10.85 - 0.007X_1 - 0.048X_2 + 0.177X_3 + 0.478X_1X_2 + 0.115X_1X_3 - 0.265X_2X_3 + 0.499X_1^2 + 0.186X_2^2 - 0.080X_3^2 \pm 0.63 \quad \dots\dots\dots(3)$$

方程(1)、(2)的概率分别为 0.03、0.01, 达到显著和极显著的标准, 说明方程与实际结果拟合较好, 方程(3)的概率为 0.13, 也有一定的拟合能力。

为查明方程(1)、(2)、(3)的置信率, 以 $DF=13$ 查 t 分布表, 得 $t_{0.05}=2.160$, 95% 置信区域为:

$$\text{产量结果: } -9.72 + \hat{Y}_a \leq Y_a \leq \hat{Y}_a + 9.72$$

$$\text{净产值结果: } -1.66 + \hat{Y}_b \leq Y_b \leq \hat{Y}_b + 1.66$$

$$\text{蔗茎蔗糖结果: } -1.36 + \hat{Y}_c \leq Y_c \leq \hat{Y}_c + 1.63$$

2.3 模拟

模拟是把上述各回归方程中各变量的回归系数输入计算机中已编的程序进行运算,模拟出三因子五水平(约束条件为 $1.682 \geq X_i \geq -1.682$)共 125 个农艺组合方案,结果见表 4、表 5、表 6。

表 4 表明:第 II、III 号的中产区间机率最高,分别为 51, 53, 而最高产的 I 区间和最低

表 4 产量区间取值频次及自变量取值统计

方案 ⁽¹⁾	产量区间 /t·(hm ²) ⁻¹	统计量	过磷酸钙(X ₂)	氯化钾(X ₂)	尿素(X ₃)
I n=14	>120	平均数	-0.695	0.695	0.646
		标准误	0.339	0.339	0.360
		95% 置信区间	-1.420~0.032	-0.032~1.420	-0.126~1.418
		平均施肥量/kg·(hm ²) ⁻¹	489	480	1 133
II n=51	105 至 120	平均数	-0.033	0.020	-0.328
		标准误	0.149	0.149	0.151
		95% 置信区间	-0.332~0.226	-0.280~0.320	-0.631~-0.025
		平均施肥量/kg·(hm ²) ⁻¹	730	378	781
III n=53	90 至 105	平均数	0.069	-0.139	-0.014
		标准误	0.180	0.183	0.169
		95% 置信区间	-0.291~0.429	-0.507~0.229	-0.353~0.326
		平均施肥量/kg·(hm ²) ⁻¹	775	354	896

(1) <90 t/hm², n=7

表 5 净产值区间取值频次及自变量取值统计

方案	产量区间/ 万元(hm ²) ⁻¹	统计量	过磷酸钙(X ₂)	氯化钾(X ₂)	尿素(X ₃)
I n=25	>1.20	平均数	-0.242	0.147	-0.095
		标准误	0.278	0.260	0.267
		95% 置信区间	-0.815~0.331	-0.389~0.683	-0.645~0.455
		平均施肥量/kg·(hm ²) ⁻¹	660	398	866
II n=30	1.05 至 1.20	平均数	-0.189	0.480	-0.379
		标准误	0.156	0.169	0.199
		95% 置信区间	-0.507~0.129	0.135~0.825	-0.785~0.027
		平均施肥量/kg·(hm ²) ⁻¹	684	447	764
III n=36	0.9 至 1.05	平均数	-0.224	-0.148	-0.485
		标准误	0.207	0.205	0.181
		95% 置信区间	-0.644~0.196	-0.568~0.272	-0.852~0.118
		平均施肥量/kg·(hm ²) ⁻¹	666	353	726

表 6 蔗茎蔗糖分区间取值频次及自变量取值统计

方案	产量区间 / %	统计量	过磷酸钙 (X_2)	氯化钾 (X_2)	尿素 (X_3)
I $n=39$	>11%	平均数	0.099	-0.113	0.250
		标准误	0.34	0.29	0.29
		95% 置信区间	-0.236 ~ 0.434	-0.430 ~ 0.177	-0.040 ~ 0.560
		平均施肥量/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2)^{-1}$	787	358	990
II $n=64$	10% 至 11%	平均数	-0.271	0.303	-0.279
		标准误	0.27	0.36	0.35
		95% 置信区间	-0.540 ~ 0	-0.057 ~ 0.663	-0.630 ~ 0.07
		平均施肥量/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2)^{-1}$	649	420	799
III $n=22$	<10%	平均数	0.364	-0.390	-0.504
		标准误	0.72	0.96	0.94
		95% 置信区间	-0.356 ~ 1.084	-1.350 ~ 0.570	-1.440 ~ 0.440
		平均施肥量/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2)^{-1}$	886	317	720

产是少数, 分别只有 14, 7, 但最高产的 I 区间其施肥特点是低磷、高钾再配以高氮的结果; 相反, 在 III 区间如用的是高磷、低钾, 则即使供应较高的氮量也是不能收到很高产的效果。

表 5 表明: 不同净产值区间机率差异不太大。净产值高的 I 区间主要是提高了施氮量和钾量又不太低的结果; 而 III 区间施钾、氮量均低, 则净产值也低。

表 6 表明: 含高、中蔗糖分的 I、II 区间均是低或较低磷, 高或较高钾、氮的结果; 如高磷低钾, 则即使施较低量氮, 其含蔗糖分也是不高的。

上述是三项指标各自的高、中、低区间频次及其相应的施肥量, 如果要把三项指标综合起来, 统筹兼顾, 则必须进行下一步的交集、寻优。

2.4 寻优

寻优就是寻找在产量、净产值、蔗茎蔗糖分 3 者均统筹兼顾的优化方案, 本试验交集的结果见表 7。

表 7 不同产量、净产值和糖分综合指标的方案及其施肥量

方案	综合指标 ⁽¹⁾	变量	95% 置信区间	平均施肥量 / $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2)^{-1}$
I $n=13$	$Y_a > 120(130)$	X_1	-1.491 ~ -0.006	469
	$Y_b > 1.20(1.30)$	X_2	-0.115 ~ 1.353	468
	$Y_c (10.07)$	X_3	-0.216 ~ 1.348	1 104
II $n=43$	$Y_a > 105(115)$	X_1	-0.534 ~ -0.214	610
	$Y_b > 1.05(1.17)$	X_2	0.260 ~ 0.800	454
	$Y_c > 10.0(10.74)$	X_3	-0.519 ~ 0.161	836
III $n=26$	$Y_a 90 \sim 105(101)$	X_1	-0.820 ~ 0.180	629
	$Y_b 0.9 \sim 1.05(0.97)$	X_2	-0.440 ~ 0.600	386
	$Y_c > 10.0(11.57)$	X_3	-1.230 ~ -0.570	576

(1) 括号内数据为平均值

寻优结果,把方案分成 3 组,每组均有 3 项指标要求及其相应的施肥量,在 3 组的方案中以方案 II 出现机率最大,有 43 个,此方案的指标要求是:产量 $Y_a > 105 \text{ t/hm}^2$;净产值 $Y_b > 1.05 \text{ 万元/hm}^2$;蔗糖分 $> 10.0\%$,其施肥量是:过磷酸钙 610 kg/hm^2 ;氯化钾 454 kg/hm^2 ;尿素 836 kg/hm^2 ,如与设计中的 O 水平施肥量比较,则可每公顷减少磷肥量 140 kg ;增加钾肥 79 kg ;尿素量则相仿或略减,也即在 O 水平施肥方案中减磷、增钾,这可望更稳定地获得本方案的综合指标要求。

在本试验条件下,要想达到最高的产量和净产值的第 I 方案的指标要求,即产量 $Y_a > 120 \text{ 万元/hm}^2$;净产值 $Y_b > 1.20 \text{ 万元/hm}^2$,此方案的机率较少,只有 13 个,但说明可能性是存在的,只要在施肥量上作一定的调整,即把过磷酸钙减至 469 kg/hm^2 ;只相当于 O 水平施磷量的 63% ;氯化钾增至 468 kg/hm^2 ,多于 O 水平 25% ;尿素量增至 1104 kg/hm^2 ,比 O 水平增加 23% ;这样本方案的综合指标是有可能达到的,但其中的蔗茎蔗糖分指标则偏低,平均为 10.07% ,最低的只有 8.94% ,所以,如实施此方案时,应特别注意配合其他的高糖措施,以防止甘蔗过迟熟低糖的现象。

如果在施肥量方面不显地减磷、加钾,而施氮量又有所减少,即每公顷施过磷酸钙 629 kg ;氯化钾 386 kg ;尿素 576 kg ,其结果则 3 项指标均最低,见第 III 方案。

鉴于上述结果,作者认为在本试验的条件下,以选用第 II 方案较为实际,并以此达到在产量、净产值,蔗糖分三项指标均较优的统筹兼顾的目的。

3 讨论

上述多因子多水平的试验采用最佳模拟配合法,亦即多元二次正交旋转组合设计,可巧妙地安排田间试验,以最少的试验次数获得最大的信息量,并使数据具有更好的统计性;建立各项指标性状的数学模型,找出各项变量与指标性状的效应关系,在此基础上本文进行模拟寻优,这既能模拟出各项指标性状的全部 125 个方案,并划分区间,又能综合得出具有多项指标要求的高、中、低档次的统筹兼顾的模式,供有关地区作为“因地制宜,分类指导”的依据。

如在不同类型蔗区进行同类试验,这可积累大量试验模式,建立数据库,形成网络,以进一步建立大范围的甘蔗施肥技术自动管理系统,可为科学决策提供有力的依据。

参 考 文 献

- 吴 健,庄郁华,吕富保. 1988. 农作物栽培技术系统优化设计. 济南: 山东科学技术出版社, 62 ~ 103
沈有信,邓纯章,候建萍. 1993. 不同氮、磷、钾配比对甘蔗产量和品质的影响. 甘蔗糖业, 2: 11 ~ 15
林 堃,李绍武. 1992. 应用二次回归饱和 D 最优设计研究甘蔗氮、磷、钾肥料效应. 甘蔗糖业, 5: 9 ~ 15
萧 兵,钟俊维. 1985. 农业多因素试验设计与统计分析. 长沙: 湖南科技出版社, 5: 332 ~ 379

STUDIES ON THE SYSTEMATIC OPTIMIZATION OF APPLYING FERTILIZER TECHNIQUE IN SUGARCANE

Li Yuqian Chen Weidong Tan Zhongwen Liang Jinan

(Dept. of Agronomy, South China Agr. Univ., Guangzhou, 510642)

Abstract

The systematic optimization of applying fertilizer technique in sugarcane was studied by the best modeling approach according to the principle of systematic engineering. A set of combining apply fertilizer method accorded with the systhentic targets including the yields of high, medium and low, net profit and sucrose content of cane was worked out by the systematic optimization of the best modeling approach using computer. Other results were also discussed. The results provided the method and theory of reasonable applying fertilizer in sugarcane production.

Key words sugarcane; applying fertilizer; systematic optimization; the best modeling approach