

# 氮磷钾肥对甘蔗产量和含糖量的影响\*

沈有信 邓纯章 侯建莘

(中国科学院昆明生态研究所, 昆明 650223)

**摘要** 在采用 3 因素 5 水平最优试验设计进行连续两年的田间试验基础上, 通过回归分析, 论述了试验条件下氮、磷、钾肥对甘蔗产量和含糖量的影响. 结果表明, 无论是新植蔗还是宿根蔗, 氮、磷、钾的施用与产量和潜在产糖量之间都存在着二次回归关系, 其单因素效应及交互效应对产量和潜在产糖量都产生影响, 相对而言, 氮对产量、磷对潜在产糖量的影响分别较其它两者为大; 产量、纯经济效益及潜在产糖量最佳时的施肥组合为: 新植蔗:  $X_N$ : 358.5~390,  $X_P$ : 115.5~171,  $X_K$ : 264~292.5, 其取中值时的配比为 1:0.38:0.74. 宿根蔗:  $X_N$ : 430.5~526.5,  $X_P$ : 267~273,  $X_K$ : 358.5~396, 其取中值时的配比为 1:0.56:0.79.

**关键词** 甘蔗; 氮磷钾; 产量; 品质; 最佳施肥组合

中图分类号 S 566.1; S 143

氮、磷、钾是甘蔗生长需要量多而土壤往往又满足不了的养分, 因此生产上常常要用施肥手段来补充. 虽然氮、磷、钾营养元素对甘蔗产量和品质的影响已有不少报道, 但所研究元素多为单因素或两因素试验, 即使涉及 3 因素的研究, 也仅为一般性的对比研究. 本文在采用 3 因素 5 水平最优混合设计试验基础上, 论述了试验条件下氮、磷、钾对甘蔗产量和品质的影响, 以期对甘蔗的多元配比施肥提供科学依据.

## 1 试验材料与方法

供试土壤耕层基础养分含量为<sup>[1]</sup>: 有机质 43.6 g/kg、全氮 1.2 g/kg、全磷 ( $P_2O_5$ ) 1.0 g/kg、全钾 ( $K_2O$ ) 9.8 g/kg、速效氮 41.1  $\mu\text{g/g}$  土、速效磷 ( $P_2O_5$ ) 26.5  $\mu\text{g/g}$  土、速效钾 ( $K_2O$ ) 124.8  $\mu\text{g/g}$  土、pH 5.0.

试验用氮、磷、钾分别来自尿素 (N 46%)、普通过磷酸钙 ( $P_2O_5$  20%)、硫酸钾 ( $K_2O$  50%). 每处理肥料拌匀后, 40% 作底肥, 以后结合小培土和大培土各施 30%. 除肥料外, 甘蔗品种及其它管理形式都与当地一致.

试验设计系采用 3 因素 5 水平的多元最优混合设计方案, 共计 12 个处理<sup>[2]</sup> (见表 1), 于 1990~1992 年的 2 个蔗季在云南甘蔗主产区的陇川农场进行了 2 年同点同量同方法连续试验. 小区面积 66.7  $\text{m}^2$ , 3 次重复, 随机区组排列, 仅 3 次重复的平均值作为处理的产量和含糖量.

结果通过计算机处理后, 分别得出氮、磷、钾 3 因素对甘蔗新植和宿根状况下影响的回归效应方程并进行相应的频率分析和降维分析.

## 2 结果与讨论

2 年的试验结果总结于表 1, 以下分别对营养元素与产量、品质进行讨论.

表 1 不同氮磷钾处理对甘蔗产量和含糖量的影响

Tab. 1 Influence of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O on yield and sugar content of sugarcane

处 理	N kg/hm <sup>2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/hm <sup>2</sup>	K <sub>2</sub> O kg/hm <sup>2</sup>	新植蔗 (1990~ 1991 年)			宿根蔗 (1991~ 1992 年)		
				平均产量 kg/hm <sup>2</sup>	含糖量 %	蔗茎糖量 kg/hm <sup>2</sup>	平均产量 kg/hm <sup>2</sup>	含糖量 %	蔗茎糖量 kg/hm <sup>2</sup>
1	276	150	450	88 365	13.8	12 195	80 655	16.4	12 003
2	276	150	0	83 460	13.9	11 601	68 145	15.6	10 596
3	77.25	42	337.5	79 530	13.6	10 816.5	60 390	15.1	9 118.5
4	474.75	42	337.5	90 360	14.8	13 374	70 230	15.7	1 1019
5	77.25	258	337.5	84 075	14.3	12 022.5	75 000	16.1	12 045
6	474.75	258	337.5	88 095	15.3	13 479	90 960	14.8	13 471.5
7	552	150	112.5	80 190	14.0	11 226	79 725	15.6	12 460.5
8	0	150	112.5	81 870	14.1	11 544	64 515	15.8	10 194
9	276	300	112.5	89 525	13.3	11 904	73 995	15.2	11 262
10	276	0	112.5	88 380	14.0	12 373.5	66 255	15.1	10 030.5
11	276	150	225	94 080	14.3	13 453.5	73 545	15.8	11 590.5
12	0	0	0	66 480	13.6	9 042	45 000	15.1	6 795

注: 表中 N, P 的编码值都为 -2, -1, 414, 0, 1, 414, 2; K 的编码值为: -2, -1, 0, 1, 2.

**2.1 氮、磷、钾与产量** 2 年的试验中, 不同的氮、磷、钾施用组合导致的产量变动于 66.5~ 94.1 t/hm<sup>2</sup> 和 45.0~ 91.0 t/hm<sup>2</sup> 之间. 经统计分析, 处理间产量差异分别达 10% (新植) 和 5% (宿根) 显著水准, 区组间差异不显著, 用计算机进行进一步处理, 得到了 2 个蔗季试验的产量结果与施肥量的回归关系式方程:

$$\text{新植蔗: } Y (\text{产量}) = 67\ 080 + 85.58X_N + 80.53X_P + 67.80X_K - 0.15X_N^2 - 0.16X_P^2 - 0.18X_K^2 - 0.09X_NX_P + 0.087X_NX_K - 0.01X_PX_K \quad (F = 22.56^*, R = 0.9953^{**}) \quad (1)$$

$$\text{宿根蔗: } Y (\text{产量}) = 46\ 797 + 37.48X_N + 94.60X_P + 57.67X_K - 0.02X_N^2 - 0.17X_P^2 - 0.09X_K^2 + 0.05X_PX_K \quad (F = 8.68^*, R = 0.968^{**}) \quad (2)$$

上述方程中的一次项系数都为正值, 说明氮、磷、钾的施用对甘蔗均有增产作用; 二次项系数均为负值, 表明氮、磷、钾任一元素施用超过一定量时, 将导致甘蔗产量降低. 新植蔗时氮、磷、钾三者之间都存在着交互作用, 氮磷、磷钾之间为负交互, 氮钾之间为正交互. 宿根时仅只磷钾之间存在着上述关系.

经过无量纲线性因子编码代换将偏回归系数标准化后比较各因子对甘蔗产量的贡献大小<sup>[3]</sup>, 其顺序为:

$$\text{新植蔗: } N > K > P \quad [b_N (1\ 156) > b_K (891) > b_P (405)]$$

$$\text{宿根蔗: } P > N > K \quad [b_P (4\ 010) > b_N (3\ 293) > b_K (2\ 922)]$$

为了深入探讨各个因子对甘蔗产量的单独影响, 我们把模型 (1)、(2) 进行降维处

理<sup>[4]</sup> (表 2), 以便了解各因子的作用及规律. 表 2 中的  $b_2$  值均为负值, 说明氮、磷、钾 3 个因子对新植和宿根甘蔗产量均有极大值, 抛物线均为报酬递减型. 而无论是  $b_0$  还是  $b_1$  都随另两者的固定水平而变动, 说明氮、磷、钾三者配合施用的必要性. 结合交互效应分析, 新植蔗时, 当磷的用量高于钾用量时, 氮效应的  $b_1$  呈递减趋势, 氮效应随磷、钾用量增加而增加, 反之则降低; 无论另两者如何变动, 磷效应的  $b_1$  都随另两者的升高而降低, 磷效应呈递减趋势, 而钾效应则呈递增趋势. 宿根时, 氮效应不受另两者的影响; 磷、钾的效应随另一者的增加而提高.

表 2 各因子的固定水平及降维方程

Tab. 2 The fixed level and its dimension-reduced equation of factors on yield

因子	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	新 植			宿 根		
				b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
N 的效应		0.0	0.0	67 080	85.6	-0.15	46 797	37.5	-0.02
		150.0	112.5	75 452	91.4	-0.15	56 088	37.5	-0.02
		258.0	225.0	81 282	91.2	-0.15	67 401	37.5	-0.02
		300.0	337.5	79 925	90.7	-0.15	73 736	37.5	-0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 的效应	0.0		0.0	67 080	80.5	-0.16	46 797	94.6	-0.17
	77.25		112.5	78 864	72.2	-0.16	54 920	100.5	-0.17
	276.0		225	90 663	52.6	-0.16	63 783	106.5	-0.17
	474.75		337.5	89 864	33.0	-0.16	68 471	112.4	-0.17
K <sub>2</sub> O 的效应	0.0	0.0		67 080	67.8	-0.18	49 797	57.7	-0.09
	77.25	150.0		75 602	74.0	-0.18	53 214	59.9	-0.09
	276.0	258.0		83 933	90.1	-0.18	65 568	65.6	-0.09
	474.75	300.0		72 900	106.2	-0.18	71 945	71.3	-0.09

应用频率分析, 对上述两个模型进行全因子搭配预报, 每个模型共有 125 套组合. 以当年试验的最高产量的 90% 和按当年价格计算的纯经济效益最大值的 90% 为标准<sup>[5]</sup>, 筛选出符合标准的组合, 新植时符合标准的组合有 40 套, 因素取 95% 的置信区间时的对应施肥量为  $X_N$ : 291~390,  $X_P$ : 115.5~184.5,  $X_K$ : 225~292.5. 宿根时符合标准的组合有 11 套, 因素取 95% 的置信区间时的对应施肥量为  $X_N$ : 24.8~35.1,  $X_P$ : 267~295.5,  $X_K$ : 360~438. 宿根时高产组合的施用量比新植时高, 可能与新植时大量消耗有关.

2.2 氮磷钾肥的施用与蔗茎含糖量 蔗汁的蔗糖分是衡量甘蔗的品质的一项最重要指标, 试验中, 任一元素的变化都会使收获时的糖分含量发生变化, 但各因素在 2 年的试验中的表现略有不同 (表 1). 新植蔗时, 氮 0~474.75, 磷 0~258, 钾 0~225 范围内增施任一元素都能提高收获时的糖分含量, 超过此限度则起相反作用. 而在宿根蔗上则显示, 低磷 (或氮) 情况下, 适量的钾 (或磷) 能增糖, 高则相反, 钾未表现出此效应. 定量分析表明, 单位面积 ( $hm^2$ ) 所产甘蔗的蔗茎内含糖量 (潜在产糖量) 与氮、磷、钾肥施用量存在如下三元二次回归关系:

$$\begin{aligned}
 \text{新植: } Y = & 9\ 128 + 10.07X_N + 15.29X_P + 11.87X_K - 0.020X_N^2 + 0.034X_P^2 - 0.036X_K^2 - \\
 & 0.048X_NX_P + 0.024X_NX_K \quad (F = 9.67^*, R = 0.981^{**}) \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$\text{宿根: } Y = 7184 + 7.93X_N + 18.55X_P + 7.80X_K - 0.006X_N^2 - 0.051X_P^2 - 0.019X_K^2 + 0.026X_PX_K \quad (F = 19.29^{**}, R = 20.986^{**}) \quad (4)$$

对上述方程的进一步分析可看出各元素对蔗茎含糖量的影响与产量效应曲线相似. 偏回归系数无量纲编码代换显示; 新植蔗 ( $b_P = 605$ ;  $b_N = 371$ ;  $b_K = 263$ ) 和宿根蔗 ( $b_P = 669$ ;  $b_N = 623$ ;  $b_K = 332$ ) 时都表现为磷效应 > 氮效应 > 钾效应, 新植蔗上与产量效应方程所得结果 (氮 > 钾 > 磷) 不一致. 说明氮对产量有显著影响, 而适量磷对品质影响较大, 这与同类地区研究结果一致<sup>[6, 7]</sup>.

对模型 (3), (4) 进行降维处理 (表 3) 后可看出, 各元素糖效应与它元素的关系与产量效应方程反映相一致.

表 3 各因子的固定水平及降维方程

Tab. 3 The fixed level and its dimension-reduced equation of factors on sugar

因子	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	新 植			宿 根		
				b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>
N 的效应		0	0	9 182	10.1	- 0.020	7 184	7.9	- 0.006
		150	112.5	10 593	10.7	- 0.020	8 627	7.9	- 0.006
		258	225	11 519	8.2	- 0.020	10 454	7.9	- 0.006
		300	337.5	9 408	5.8	- 0.020	11 217	7.9	- 0.006
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 的效应	0		0	9 182	15.3	- 0.034	7 184	18.6	- 0.051
	77.25		112.5	10 877	11.6	- 0.034	8 393	21.4	- 0.051
	2 764		225	12 735	2.1	- 0.034	9 677	24.3	- 0.051
	474.75		337.5	13 188	- 7.4	- 0.034	9 981	27.2	- 0.051
K <sub>2</sub> O 的效应	0	0		9 182	11.9	- 0.036	7 184	7.8	- 0.019
	77.25	150		10 215	13.7	- 0.036	8 448	8.9	- 0.019
	276	258		9 950	18.4	- 0.036	10 533	11.7	- 0.019
	474.75	300		5 276	23.2	- 0.036	10 920	14.4	- 0.019

频率分析结果表明, 新植和宿根时产糖量大于最高产糖量的 90% 的组合有 41 和 18 套, 因素取 95% 的置信区间时的对应施肥量为:

新植:  $X_N$ : 358.5~ 445.5,  $X_P$ : 102~ 171,  $X_K$ : 264~ 330

宿根:  $X_N$ : 430.5~ 529.5,  $X_P$ : 211.5~ 273,  $X_K$ : 303~ 396.

宿根时高产组合的施用量比新植时高.

**2.3 最佳施肥组合的确定** 甘蔗的产量及与之对应的纯经济效益直接影响蔗农的种植收入, 而甘蔗的品质及与之对应的单位面积的潜在产糖量则关系到糖生产厂家的利益. 从前面的分析结果中可看出, 模型 (1) 与 (3) 之间; (2) 与 (4) 之间的置信区间都存在交集, 因此可通过取交集的办法来获得既满足农户利益而又不损害生产厂家利益的施肥组合. 本试验条件下的交集为: 新植蔗:  $X_N$ : 358.5~ 390,  $X_P$ : 115.5~ 171,  $X_K$ : 264~ 292.5, 其取中值时的配比为 1: 0.38 0.74. 宿根蔗:  $X_N$ : 430.5~ 526.5,  $X_P$ : 267~ 273,  $X_K$ : 358.5~ 396, 其取中值时的配比为 1: 0.56 0.79. 宿根时的施用量和磷、钾比例比新植时高.

### 3 结论

3.1 氮、磷、钾对甘蔗产量和品质有显著影响, 其优良的配比组合能获得较高产量、较高经济效益和较高产糖量, 在施肥时应根据土壤养分状况、甘蔗的生理状况 (新植或宿根) 及其它栽培条件合理施用。

3.2 本试验条件下, 氮对产量的贡献相对较大, 而磷对甘蔗品质的影响较大, 合理的配施比例为: 新植蔗:  $X_N: 358.5 \sim 390$ ,  $X_P: 115.5 \sim 171$ ,  $X_K: 264 \sim 292.5$ , 其取中值时的配比为 1: 0.38: 0.74。宿根蔗:  $X_N: 430.5 \sim 526.5$ ,  $X_P: 267 \sim 273$ ,  $X_K: 358.5 \sim 396$ , 其取中值时的配比为 1: 0.56: 0.79。

#### 参 考 文 献

- 1 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1983. 62~ 135
- 2 杨义群主编. 回归设计及多元分析在农业中的应用. 咸阳: 天则出版社, 1990. 92~ 114, 286~ 289
- 3 吴健, 庄郁华, 吕富保. 农作物栽培技术系统优化设计. 济南: 山东科学技术出版社, 1988. 96~ 102
- 4 郭世伟, 周百娟, 曹国军等. 氮、磷、钾、硅肥配施对一年生落叶松苗生长状况的影响. 土壤通报, 1995, 26 (1): 24~ 27
- 5 何天秀. 钾与氮磷肥配施对苋菜产量和硝酸盐含量的影响研究. 土壤通报, 1992, 23 (5): 225~ 227
- 6 张业海, 张守贵, 白雄昌等. 氮磷钾肥不同配施对新植蔗产量的影响. 甘蔗糖业, 1987, (4): 44~ 47
- 7 张业海, 杨林涛, 白雄昌等. 氮磷钾肥配施对宿根蔗产量和品质的影响. 甘蔗糖业, 1988, (2): 22~ 25

## Effect of N, P, K on Yield and Sugar Content of Sugarcane

Shen Youxin Deng Chunzhang Hou Jianping

(Kunming Institute of Ecology, C A S, Kunming 650223)

**Abstract** A experiment with three factors and five Levels has been conducted for two years, to check the effect of N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  on yield and sugar content of sugarcane. Results showed that they are regression relationship between N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  and yield, potential sugar yield both planting and stubble cane. Whether nutrient or interaction among three nutrient influences the yield and sugar content of sugarcane, but the effect of N on yield,  $P_2O_5$  on sugar content is more significant relatively than that of others. The simultaneous rate of fertilizer combination for optimal yield, sugar content and economic income is X 23.9~ 26.0, X 7.7~ 11.4, X 17.6~ 19.5 for planting cane and X 28.7~ 35.1, X 17.8~ 18.2, X 23.9~ 26.4 for stubble cane.

**Key words** Sugarcane; N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ; Sugar content; Yield; Optimal simultaneous rate