

淮北砂姜黑土钾肥对生姜增产效应的研究

李录久¹ 郭熙盛¹ 高杰军² 张琳¹ 丁楠² 过鸣祥²

(1 安徽省农科院土肥所 合肥 230031; 2 安徽省临泉县农业局 临泉 236400)

摘 要 1999~2001 年在淮北平原砂姜黑土地区,连续 3 年多点试验研究表明:增施 K 肥对生姜产量及品质都有明显的正效应,姜块产量提高 15.3%~58.4%,平均增产率为 29.8%。K 肥的增产效率在 2 种 N 肥水平下都较高,高 N 水平下增加 K 肥施用量可以极大地提高 K 肥的增产效率。生姜单位 K 肥的增产量与土壤 K 素含量及施 K 量呈显著负相关,淮北砂姜黑土地区,生姜 K 肥适宜施用量为 K_2O 375~450 kg/hm²。施用 K 肥能有效提高生姜维生素 C 与可溶性糖分含量,显著降低硝酸盐含量,改善姜块的内在品质,大幅度提高种植生姜的经济效益。3 年 4 地试验,平均增收 7946~11065 元/hm²,施用 K 肥的产投比为 10.4~22.2:1。

关键词 钾肥施用;生姜产量;增产效率;品质;砂姜黑土

中图分类号 S156.99; S632.5

淮北砂姜黑土是黄淮海平原 3 大中低产土壤类型之一,总面积 157.5 万 hm²,约占全国砂姜黑土总面积的 39.3%,占淮北地区耕地面积的 70.1%,是安徽省面积最大的中低产类型土壤。第 2 次全国土壤普查时,砂姜黑土全 K 平均含量为 18.1 g/kg,速效 K 含量 152 mg/kg,属于富 K 土壤,所以 20 世纪 90 年代前增施 K 肥没有明显的增产效果^[1]。近年随着农业生产的发展,NP 化肥施用量不断提高,复种指数增加,产量提高,需 K 较多的经济作物种植面积扩大,从土壤中带走的 K 素逐渐增多,K 投入小于产出,导致土壤速效 K 含量迅速下降,施 K 的增产效果愈来愈显著^[1,2]。

生姜是需 K 量较多的经济作物,产量高,吸收的养分多。据报道每公顷生姜吸收的 K 素高达 803.2 kg^[3],对 K 素营养十分敏感。淮北平原砂姜黑土地

区,生姜种植户偏施 NP 肥,不施或少施 K 肥现象十分突出,NPK 比例严重失调,导致生姜病虫害加剧,产量剧减,品质变差,种姜经济效益低下^[4]。因此开展生姜高产高效 K 肥施用技术研究,对指导农民合理施肥,促进生姜生产向优质高效方向发展有积极作用。1999~2001 年,在淮北砂姜黑土地区开展了生姜 K 肥增产效应研究,现将结果整理如下。

1 材料与方法

1.1 供试土壤和作物

试验在安徽省临泉县谭棚、杨集、牛庄等乡镇及农业局农场等地普通砂姜黑土上进行,试验前各试验地耕层土壤肥力状况列于表 1。供试作物是生姜,品种分别为当地狮子头姜和柴姜。

表 1 供试土壤的基本农化性状*
Table 1 Basic chemical properties of tested soils

试 验		pH	有机质 (g/kg)	土壤有效养分含量 (ug/ml)								
年份	地点			N	P	K	S	B	Fe	Cu	Mn	Zn
1999	杨集	6.1	8.2	26.4	8.6	66.5	14.2	0.32	12.2	1.9	11.0	1.9
1999	牛庄	6.8	9.8	19.1	5.8	62.6	28.5	0.16	12.4	1.6	19.7	1.6
2000	(谭棚	6.4	5.7	12.0	24.9	70.4	8.8	0.00	21.3	1.3	1.9	0.9
2000	农场	6.2	7.8	12.9	15.3	82.1	7.6	0.00	41.6	1.6	5.2	2.4
2001	谭棚	6.9	5.1	13.5	33.2	83.6	2.4	0.69	38.6	3.3	16.8	1.8
2001	农场	6.2	5.7	15.0	40.1	77.2	3.6	0.48	84.3	2.9	83.3	1.5

* 北京中-加合作土壤测试实验室分析,ASI 法测定。

该研究得到了加拿大钾磷肥研究所(PPI/PPIC)的资助。

1.2 试验设计

试验在施用 P_2O_5 90 kg/hm² 的等 P 量基础上进行。1999 年试验设置 2 个 N 肥水平 300、375 kg/hm², 4 个 K 肥 (K_2O) 水平: 0、150、300、450 kg/hm², 共 6 个处理: N_1K_0 ; N_1K_1 ; N_1K_2 ; N_2K_1 ; N_2K_2 ; N_2K_3 。

2000 年起, 谭棚试验仍用上述 6 个处理, 农场试验 2 个 N 肥用量改用 375 和 450 kg/hm², 4 个 K 肥水平相应改为 0、375、450 和 525 kg/hm², 共 7 个处理: N_1K_0 ; N_1K_1 ; N_1K_2 ; N_1K_3 ; N_2K_1 ; N_2K_2 ; N_2K_3 。供试肥料品种: N 为尿素 (临泉产, 含 N 46.3%)、P 为磷酸二铵 (美国产, 含 N 18%, P_2O_5 46%)、K 为氯化钾 (加拿大产, 含 K_2O 60%)。全部 P、K 肥和 60% 的 N 肥做基肥, 余下的 40% N 肥分 2 次追施。

小区面积 18.0~21.0 m², 4 次重复, 完全随机区组排列。生姜种植密度为 10.6~11.6 万株/hm²。3 月底催芽, 4 月下旬至 5 月上旬移栽, 10 月下旬至

11 月上旬收获。其他栽培管理措施同当地一般大田生姜。

1.3 分析方法

植株全 N、全 P 和全 K 分析采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮, 开氏定 N 法测全 N、钒钼黄比色法测全 P、火焰光度计法测全 K。维生素 C 用 2,6-二氯靛酚滴定法, 水溶性糖采用 HCl 转化-铜还原-直接滴定法, 硝酸盐含量用酚二磺酸比色法测定^[5]。

2 结果和讨论

2.1 淮北砂姜黑土施 K 的增产效应

表 2 的结果说明, 原来含 K 量较为丰富的淮北平原砂姜黑土地区, 由于 K 投入小于产出, 土壤速效 K 含量大幅度下降, 施用 K 肥具有极为显著的增产效果。在施用 NP 肥的基础上, 配合施用 K 肥可以大幅度提高生姜的产量, 两种不同 N 肥水平条件下, 姜块的产量都是随着 K 肥施用量的增加而提高, 特别是在高 N 用量时, 生姜产量增加的幅度很大。

表 2 不同施 K 处理对生姜产量的影响 (单位: t/hm²)

Table 2 Effect of Potassium application rate on ginger yield

处理	1999 年 杨集	1999 年 牛庄	2000 年 谭棚	2001 年 谭棚	平 均	2000 年 农场	2001 年 农场	平 均
N_1K_0	39.9 c C	19.0 c B	32.0 b B	29.2 b B	30.0 c B	31.6 b B	31.2 b B	31.4 b B
N_1K_1	53.3 ab AB	25.3 b A	39.2 a AB	35.6 a A	38.4 ab A	40.8 a A	42.9 a A	41.9 a A
N_1K_2	52.8 b AB	27.0 ab A	42.3 a A	37.5 a A	39.9 ab A	38.7 a AB	43.2 a A	41.0 a A
N_1K_3	-	-	-	-	-	37.8 a A	43.0 a A	40.4 a A
N_2K_1	50.3 b B	21.9 bc AB	38.2 a AB	34.5 a AB	36.2 b A	40.1 a AB	43.7 a A	41.9 a A
N_2K_2	51.9 b AB	24.7 b AB	39.7 a AB	35.9 a A	38.1 ab A	38.0 a AB	44.0 a A	41.0 a A
N_2K_3	58.6 a A	30.1 a A	43.2 a A	37.7 a A	42.4 a A	38.1 a AB	41.9 a A	40.0 a A

注: 不同处理经方差分析后, 用 LSR 法进行差异显著性比较。小写字母表示 $\alpha = 0.05$ 水平下差异显著, 大写字母表示 $\alpha = 0.01$ 水平下差异显著。

3 年 6 个试验点的产量数据统计结果表明, 不同 KN 配施处理间产量差异达显著或极显著水平。在低 N 或高 N 条件下, 配合施用 K 肥, 杨集试验点生姜的增产效果极显著, 牛庄、谭棚和农场试验达显著或极显著水平。其中低 N 水平下, N_1K_1 、 N_1K_2 处理的姜块产量较对照 (N_1K_0) 增加 21.9%~33.2% 和 28.4%~42.1%, 平均增产姜块 27.7% 和 32.9%; 高 N 条件下, N_2K_1 、 N_2K_2 、 N_2K_3 与对照 N_1K_0 相比, 生姜产量提高 15.3%~58.4%, 平均增产率为 29.5%。农场试验, N_1K_1 、 N_1K_2 和 N_1K_3 处理的姜块产量较对照 (N_1K_0) 提高 19.6%~21.9% 和 37.5%~38.5%, 平均增产率为 29.6%。

表 2 的结果还表明, 不同 K 肥施用量之间, 杨集与牛庄试验, 生姜产量之间差异达到显著或极显著水准, 而谭棚与农场 2 年试验, 姜块产量之间差异均不显著。其中杨集点 N_2K_3 与 N_2K_1 间差异极显著, 与 N_2K_2 间差异显著; 牛庄试验 N_2K_3 与 N_2K_2 、 N_1K_1 间差异显著。杨集、牛庄和谭棚 3 年 4 地平均, N_2K_3 与 N_1K_2 增产率最高, 但只有 N_2K_3 与 N_2K_1 间产量差异达到 5% 的显著水平。农场 2 年试验, N_1K_1 平均产量最高。因此, 淮北平原砂姜黑土地区, 生姜适宜 K 肥施用量为 K_2O 375~450 kg/hm²。

2.2 土壤 K 素含量与生姜 K 肥增产效应的关系

2.2.1 K 肥的增产效率 利用差减法计算 K 肥

的增产效应,再根据增施 K 肥的数量求出 K 肥对生姜的增产效率,即单位养分增加的产量数。表 3 的结果表明,杨集、牛庄和谭棚 3 年 4 地试验,由于

施 K 水平较低 ($K_1 = 150 \text{ kg/hm}^2$), K 肥的增产效率在两种 N 肥水平下都较高, N_1 水平下 K_1 的增产效率为 $41.6 \sim 89.7 \text{ kg/kg K}_2\text{O}$, 平均增产姜块 55.5 kg/kg

表 3 施用 K 肥对生姜块茎产量的增产效率* (单位: $\text{kg/kg K}_2\text{O}$)

Table 3 Effect of Potassium application on increasing rate of ginger yield

处理	1999 年杨集	1999 年牛庄	2000 年谭棚	2001 年谭棚	平均	2000 年农场	2001 年农场	平均	总平均
N_1K_0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N_1K_1	89.7	41.6	48.1	42.5	55.5	24.6	31.3	28.0	46.3
N_1K_2	-3.7	11.7	20.8	12.6	10.3	-27.4	3.7	-11.8	2.9
N_1K_3	-	-	-	-	-	-12.5	-3.2	-7.8	-7.8
N_2K_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N_2K_2	10.3	19.1	10.0	9.9	12.3	-28.6	4.3	-12.1	4.2
N_2K_3	44.9	36.1	23.7	11.7	29.1	2.0	-27.7	-12.9	15.1

* 肥增产效率 = 姜块产量差额($K_n - K_{n-1}$)/施用 K_2O 量差额($K_n - K_{n-1}$)

K_2O ; 在 K_1 的基础上进一步提高施 K 量后, K 肥的增产效率降低, K_1 处理的增产效率高于 K_2 处理。高 N 条件下, K_3 的增产效率较 K_2 水平下大幅度提高, 增加 K 肥施用量可以极大地提高 K 肥的增产效率, K_3 处理的增产效率远高于 K_2 处理。除杨集试验点外, 两种 N 肥水平下, K 素用量由 K_1 增加至 K_2 或 K_3 时, K 素的增产效率仍较高, 说明在 K_1 的基础上继续增加钾肥施用量可以进一步提高生姜的产量。农场二年试验, 由于施 K 水平很高 ($K_1 = 375 \text{ kg/hm}^2$, 相当于杨集等试验的 K_2 与 K_3 之间), 仅 K_1 的增产效率较高, K_2 和 K_3 的增产效率较低, 甚至变为负数。这在一定程度上证明, 在适宜的 N 肥用量时, 适当增加 K 肥施用量, KN 配比合理时, 对提高 K 肥增产效率及生姜产量都有积极的促进作用。

2.2.2 土壤有效 K 含量及施 K 量与生姜单位 K 肥增产量的关系 将表 1 中各试验田块土壤 K 素含量的测定值和施 K 量作为自变量 (x_1) (x_2), 所对应的单位 K 肥对生姜块茎产量的增产量作为因变量

(y), 进行回归分析, 建立回归方程 $y = 169.36935 - 1.35938x_1 - 0.09015x_2$, 来表示以上 3 个变量之间的关系 (表 4)。回归方程方差分析结果, $F = 16.0$ ($F_{0.01(9,2)} = 8.02$), 回归方程检验结果达 1% 的极显著水平, 建立的回归方程有效, 表明单位 K 肥增产生姜量与土壤有效 K 含量和施 K 量的关系很密切。

进一步对每个自变量在回归方程中作用的大小进行检验, 结果表明, $F_1 = 6.42$, $F_2 = 12.5$ ($F_{0.05(9,1)} = 5.12$, $F_{0.01(9,1)} = 10.56$), 检验结果 F_1 达显著水准, F_2 达极显著水准, 说明单位 K 肥对生姜的增产量与土壤有效 K 含量有密切关系, 与 K 肥施用量的关系也很密切, 它们均可作为推断单位 K 肥增产量的依据。当施 K 量一定时, 单位 K 肥增产生姜量与土壤有效 K 含量之间成显著负相关, 即土壤 K 素含量越高, 单位 K 肥的增产数量就越低, 反之亦然。同理, 当土壤含 K 量一定时, 单位 K 肥施用量对生姜的增产数量与施 K 量之间呈极显著负相关, 施 K 量越高, 单位 K 肥增产的生姜数量也就越低, 这与施肥的报酬递减率是一致的。

表 4 土壤含 K 量及施 K 量与生姜单位 K 肥增产量的关系

Table 5 Effect of soil K content and K application rate on increase institute yield of ginger tuber per $\text{kg K}_2\text{O}$

变 量	杨集		谭棚				农场					
	1999 年		2000 年		2001 年		2000 年		2001 年		2001 年	
X_1 -含 K 量 (ug/ml)	66.5	66.5	70.4	70.4	83.6	83.6	82.1	82.1	82.1	77.2	77.2	77.2
X_2 -施 K 量 (kg/hm^2)	150	300	150	300	150	300	375	450	525	375	450	525
Y-增产量 ($\text{kg/kg K}_2\text{O}$)	89.7	43.0	48.1	34.4	42.5	27.6	24.6	15.9	11.9	31.3	26.7	22.5
$y = 169.36935 - 1.35938x_1 - 0.09015x_2$ $F = 16.0$ $F_{0.01(9,2)} = 8.02$												

2.3 施用 K 肥对生姜品质的改善作用

施用 K 肥能有效提高姜块维生素 C 和可溶性糖

分含量, 显著降低硝酸盐等有害物质的含量, 改善生姜的内在品质 (表 5)。两种 N 肥水平下, 维生素

C 含量都是随着 K 肥施用量的增加而提高,较不施 K 的对照相对增长 6.37 % ~ 32.1 %和 9.23 % ~ 19.5 %。水溶性糖分含量,低 N 水平下也随施 K 量的增加而提高,高 N 条件下,K₂ 水平时达到高峰;继续加大 K 肥施用量,水溶性糖分含量下降。N₁K₁ 处理,

硝酸盐含量最低,较对照下降 27.0 %;高 N 水平下,硝酸盐含量随 K 肥施用量的增加而降低。

2.4 施用 K 肥的经济效益

表 6 的结果说明,在施用 NP 肥的基础上配合施用 K 肥,可大幅度提高生姜的产值,农民种姜收

表 5 施用 K 肥对姜块 Vc、糖分和硝酸盐含量的影响

Table 5 Effect of potassium application on content of Vitamin C, soluble sugar and nitrate in ginger tuber

处理	维生素 C 含量				可溶性糖分含量				硝酸盐含量	
	1999 年		2000~2001 年		1999 年		2000 ~ 2001 年		2000 ~ 2001 年	
	平均 (杨集牛庄)		平均 (农场)		平均 (杨集牛庄)		平均 (农场)		平均 (农场)	
	(mg/kg)	(%)	(mg/kg)	(%)	(g/kg)	(%)	(g/kg)	(%)	(mg/kg)	(%)
N ₁ K ₀	45.5	100	29.9	100	118.0	100	102.0	100	117.6	100
N ₁ K ₁	48.4	106.4	32.6	109.0	123.5	104.7	113.9	111.7	85.9	73.0
N ₁ K ₂	50.9	111.9	38.3	128.1	128.0	108.5	114.6	112.3	97.9	83.2
N ₁ K ₃	-	-	39.5	132.1	-	-	114.6	112.3	112.0	95.2
N ₂ K ₁	49.7	109.2	33.3	111.4	127.5	108.1	120.5	118.1	111.1	94.5
N ₂ K ₂	51.3	112.7	34.8	116.3	132.5	112.3	122.6	120.2	103.8	88.3
N ₂ K ₃	52.2	114.7	35.7	119.5	131.5	111.4	120.5	118.1	89.1	75.8

表 6 生姜施用 K 肥的经济效益分析(3 年平均)

Table 6 Economic benefit from K application on ginger (The average of three years)

处 理	总收入*	肥料投入**	纯收入	增收	施 K 投入	施用 K 肥的 产投比
	(元/hm ²)	(元/hm ²)	(元/hm ²)	(元/hm ²)	(元/hm ²)	
N ₃₀₀ P ₉₀	30038	1260	28778	-	-	-
N ₃₀₀ P ₉₀ K ₁₅₀	38359	1635	36724	7946	375	22.2 : 1
N ₃₀₀ P ₉₀ K ₃₀₀	39909	2010	37899	9121	750	13.2 : 1
N ₃₇₅ P ₉₀ K ₁₅₀	36203	1860	34343	5602	375	16.0 : 1
N ₃₇₅ P ₉₀ K ₃₀₀	38051	2235	35816	7075	750	10.4 : 1
N ₃₇₅ P ₉₀ K ₄₅₀	42416	2610	39806	11065	1125	10.8 : 1

* 姜块按当时当地收购价格 1.00 元/kg 计算。 ** 肥料按当时当地零售价 N = 3.00 元/kg, P₂O₅ = 4.00 元/kg, K₂O = 2.50 元/kg 计算。

入显著增加,种姜经济效益相对较好。3 年 4 地试验平均,施 K 与不施 K 的对照相比,增收 7946 ~ 11065 元/hm²,施用 K 肥的产投比高达 10.4 ~ 22.2:1。在施用 K₂O 150 kg/hm² 的基础上进一步加大 K 肥的施用量,产投比降低,施 K 的经济效益下降,但高 N 高 K 配施处理 N₃₇₅K₄₅₀ 的产投比仍达到 10.8:1,施 K 的效益仍很高,说明合理施用 K 肥是提高 K 素施用效益的有效和重要途径。从经济效益分析,生姜适宜施 K 量为 K₂O 450 kg/hm² 左右。

3 小 结

(1) 淮北平原砂姜黑土地区,增施 K 肥可以大幅度提高生姜的产量。低 N 水平下,施用 K 肥增产 21.9 % ~ 42.1 %,平均增产姜块 30.3 %;高 N 条件

下,生姜产量提高 15.3 % ~ 58.4 %,平均增产率为 29.6 %。

(2) K 肥的增产效率在两种 N 肥水平下都较高,高 N 水平下增加 K 肥施用量可以极大地提高 K 肥的增产效率。适当增加 K 肥施用量,KN 配比合理时,对提高 K 肥的增产效率及生姜产量都有积极的促进作用。

(3) 生姜单位 K 肥的增产量与土壤 K 素含量及施 K 量呈显著负相关。淮北砂姜黑土地区,生姜适宜 K 肥施用量为 K₂O 375 ~ 450 kg/hm²。

(4) 施用 K 肥能有效提高姜块维生素 C 和可溶性糖分含量,显著降低硝酸盐等有害物质的含量,改善生姜的内在品质。

(5) 在施用 NP 肥的基础上配合施用 K 肥,可

大幅度提高生姜的产值，增加农民种姜收入。3 年 4 地试验，施 K 平均增收 7946 ~ 11065 元/hm²，施用 K 肥的产投比高达 10.4 ~ 22.2:1。

参考文献

- 1 曹树钦. 安徽省土壤钾素供需状况浅析. 土壤, 1993, 25 (1): 34 ~ 36
- 2 戴志新, 殷广德. 增肥补钾提高棉花单产. 土壤, 1996, 28 (3): 151 ~ 155
- 3 葛晓光. 蔬菜学概论 (北方本). 北京: 中国农业出版社, 1984
- 4 谢建昌, 马茂桐. 钾氮配合的效用和配比问题. 《农业生产中钾氮的交互作用》. 南京: 江苏科技出版社, 1985, 49 ~ 57
- 5 南京农业大学主编. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1994

EFFECT OF POTASSIUM APPLICATION ON GINGER YIELD RESPONSE IN SHAJIANG BLACK SOIL IN HUAIBEI PLAIN

LI Lu-jiu¹ GUO Xi-sheng¹ GAO Jie-jun² ZHANG Lin¹ DING Nan² GUO Min-xiang²

(1 Institute of Soil and Fertilizer, Anhui Academy of Agriculture Science, Hefei 230031; 2 Linquan Agriculture Bureau, Anhui Linquan 236400)

Abstract A three year multi-point field experiment from 1999 to 2001 was conducted at six sites of Shajiang black soil in the Huaibei plain. The results showed that the crop of ginger responded positively to Potassium application in both yield and quality. The yield of ginger increased by 15.3 % ~ 58.4 % with an average rate of 29.8 %. The yield increasing effect of Potassium fertilizer was quite high with two rates of Nitrogen application. Coupled with a high rate of N, increased Potassium application rate may show higher yield increasing effect. A notable negative relationship between increase institute yield of ginger tuber per kg K₂O applied and soil K content and K application rate was observed. The proper Potassium application rate for ginger was 375 ~ 450 kg K₂O/hm² in the Shajiang black soil region of the Huaibei plain. Potassium fertilizer application could effectively enhance the content of Vitamin C and soluble sugar and reduce nitrate content in ginger tuber conspicuously, resulting in improvement of inner quality, and raising economic benefit of growing ginger substantially. For the experiments conducted at the four sites in the three years, the income was increased by 7946 ~ 11065 Yuan/hm² averagely, and the value cost ratio for Potassium application was 10.4 ~ 22.2:1

Key words Potassium application, Ginger yield, Yield increase rate, Quality, Shajiang black soil