植物营养与肥料学报 2005,11(2):236-242
Plant Nutrition and Fertilizer Science

磷、钾与钙配合对保护地番茄钙吸收的影响

陈明昌[1], 许仙菊[2], 张 强[1], 杨治平[1], 程 滨[1], 刘 平[1], 李 磊[1]
(1 山西省土壤环境与养分管理重点实验室,山西省农业科学院土壤肥料研究所,山西太原 030031;
2 中国农业科学院土壤肥料研究所,北京 100081)

摘要:采用随机区组设计方法研究了石灰性土壤磷、钾与钙配合对保护地番茄钙吸收的影响,并利用差值法计算了钙的利用率。研究结果表明,CaP_1 和 CaK_2 处理最佳,可以显著提高保护地番茄总吸钙量和果实吸钙量,提高钙的利用率;与单纯施钙处理相比,钙的利用率分别提高 10.3 和 16.1 个百分点,同时,CaP_1 和 CaK_2 处理能明显改善保护地番茄生物学特性,显著提高番茄果实产量;与单施钙处理相比,番茄的果实产量分别提高了 16.1% 和 22.9%。研究结果同时证明钙磷配合或钙钾配合施用可以提高番茄果实中 Vc 的含量、糖分含量,降低酸度含量和脐腐病果的数量,明显地改善果实的品质。

关键词:保护地番茄;磷钙配合;钾钙配合;钙吸收;钙素利用率
中图分类号:S641.206;Q945.12　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2005)02-0236-07

Effects of the phosphorus, potassium cooperated with calcium on Ca absorption of tomato in greenhouse

CHEN Ming-chang[1], XU Xian-ju[2], ZHANG Qiang[1], YANG Zhi-ping[1], CHENG Bin[1], LIU Ping[1], LI Lei[1]
(*1 Key Lab. of Soil Envir. and Nutr. Res. of Shanxi, Inst. of Soil and Fertilizer, Shanxi AAS, Taiyuan 030031, China;*
2 Inst. of Soil and Fertilizer, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: An experiment was conducted to determinate effects of P, K cooperated with Ca on Ca absorption of tomato on a calcareous soil in Greenhouse. The utilization ratio of Calcium was studied using differential method. The experimental design was random block design. Results showed that treatments of CaP_1 and CaK_2 were best among all treatments. In treatment CaP_1 and CaK_2, the quantity of total Ca absorption and Ca absorption in fruit were significantly promoted, and the utilization ratio of Calcium was improved. Comparing with the treatments of CaP_0 and CaK_0, the utilization ratio of Calcium in treatment of CaP_1 and CaK_2 increased by 10.3% and 16.1% separately. Meanwhile, biological properties of tomato was improved and the tomato fruit yield was increased markedly. The increment of yield was 16.1% and 22.9% for treatment of CaP_1 and CaK_2 respectively, comparing with the treatment of single applying Calcium. The experiment also indicated that CaP_1 and CaK_2 could increase Vc and sugar content in tomato fruits, reduced the acidity in tomato fruit and the quantity of the rotten fruit. We can concluded that P, K cooperated with Ca could significantly improve the quality of the tomato fruit.

Key words: tomato in greenhouse; cooperation of phosphorus and calcium; cooperation of potassium and calcium; calcium absorption; utilization ratio of calcium

钙是植物生长发育所必需的重要营养元素之一。当土壤溶液中钙离子的浓度约为 10^{-2} mol/L 时[1],一般都能满足作物生长发育对钙营养的需求,因此,在北方石灰性土壤上大田作物缺钙的现象并不多见。随着农业种植结构的调整,经济类作物、蔬菜、果树等需钙量较大作物种植面积的增加和产量

收稿日期:2004-04-13　　**修改稿收到日期**:2004-07-20
基金项目:山西省科技攻关项目(NO.971012)资助。
作者简介:陈明昌(1959—),山西省万荣县人,研究员,博士生导师,主要从事植物营养、养分资源管理和荒漠化治理等方面的研究工作。

的提高，北方石灰性土壤也出现缺钙现象，这方面已有一些相关报道[1-3]。近年来我国保护地蔬菜种植面积得到了迅猛发展，在许多地方大棚蔬菜已成为当地农民增加收入的支柱产业。在追求更高经济效益的同时，保护地蔬菜栽培管理上的问题日益突出。据对山西省68个村247个大棚蔬菜施肥状况抽样调查，发现保护地蔬菜生产中连作障碍和营养失调尤其严重，菜农大量和超量施用氮素化肥导致蔬菜产量和品质的下降，病虫害频繁发生，经济效益降低。其中，番茄脐腐病是目前保护地栽培中比较常见的一种生理病害，而导致脐腐病最主要原因是生理性缺钙[4]。为此，本研究通过磷、钾和钙配合施用探讨保护地番茄生长发育和对钙吸收影响，协调保护地蔬菜养分供应和减少生理病害的发生。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验在山西清徐大棚中进行。土壤为石灰性褐土，0—20cm土层pH为7.18，电导率(EC)0.51 mS/cm，有机质29.1 g/kg，硝态氮、有效磷、速效钾、有效钙、有效镁分别为15.82、95.23、107.5、432.0、34 mg/kg。供试番茄品种为“合作903”(上海长征良种试验场)。试验分为两组进行。

1.1.1　磷钙配合试验　设5个处理：1)对照，只施肥底(N 900 kg/hm^2，K_2O 600 kg/hm^2)；2) CaP_0，肥底+钙肥(CaO 600 kg/hm^2)；3) CaP_1，肥底+钙肥+磷低量(P_2O_5 300 kg/hm^2)；4) CaP_2，肥底+钙肥+磷中量(P_2O_5 600 kg/hm^2)；5) CaP_3，肥底+钙肥+磷高量(P_2O_5 1200 kg/hm^2)。

1.1.2　钾钙配合试验　设5个处理：1)对照，只施肥底(N 900 kg/hm^2，P_2O_5 600 kg/hm^2)；2) CaK_0，肥底+钙肥(CaO 600 kg/hm^2)；3) CaK_1，肥底+钙肥+钾低量(K_2O 300 kg/hm^2)；4) CaK_2，肥底+钙肥+钾中量(K_2O 600 kg/hm^2)；5) CaK_3，肥底+钙肥+钾高量(K_2O 1200 kg/hm^2)。

两组试验均为随机区组排列，3次重复。试验小区面积为5m×1m，每小区种2行，共20株。

小区统一翻耕，按照设计对每个小区均匀施肥。育苗移栽，于2002年2月22日定植到大棚中。统一管理，及时锄草、浇水、防治病虫害。到幼果期开始追肥，共追3次尿素(每次用量为N 15 kg/hm^2)。分期采收计算实产，同时记录每小区脐腐病的果数。

1.2　样品的采集和分析

基础土样在未施肥前采集。在番茄生长过程中，分苗期(4月4日)、开花期(4月19日)、幼果期(4月28日)、盛果期(6月4日)、成熟期(7月17)采集土样和植株样。土样风干后，研碎、过筛后备用；植株样称鲜重后，分茎、叶、根、果实分别烘干(60℃)，称重，粉碎备用。

土壤和植物样品分析均采用标准方法进行。土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法—外加热法[5]；土壤硝态氮为2mol/L KCl浸提，三通道流动分析仪直接测定[6]；土壤速效磷测定为ASI浸提，钼蓝比色法测定[7]；土壤速效钾测定为1mol/L NH_4OAc浸提，火焰光度法[5]；土壤有效钙测定为ASI浸提，原子吸收分光光度法[7]；土壤pH用电位法(水土比2.5:1)；EC用电导法(水土比5:1)测定[5]。植株样品全钙采用HNO_3—$HClO_4$消煮，原子吸收分光光度法；酸度采用酸碱滴定法；Vc用2,6—二氯靛酚滴定法[5]测定；糖分采用糖分计直接测定。数据采用SAS统计分析软件进行处理。钙的利用率由差值法计算，其公式为：

$$R = A - B/C \times 100\%$$

式中R为钙的利用率(%)，A为施钙区作物的吸钙量，B为对照(不施钙)区作物的吸钙量，C为施用钙肥的总含钙量(肥料含钙量×施用量)。

2　结果与分析

2.1　磷钙配合施用对保护地番茄钙吸收的影响

2.1.1　磷钙配合施用对番茄钙吸收量和钙肥利用率的影响　有研究证明，施钙能促进番茄对氮磷钾的吸收，减少镁的吸收；同时，施用水溶性磷肥能增加植物对钙的吸收[8]。也就是说，肥料的配合施用方式和比例会影响到番茄对钙的吸收和利用。在保护地生产条件下，磷钙配合施用对番茄总吸钙量和钙利用率的影响(表1)看出，CaP_1处理能显著提高番茄的总吸钙量，与对照相比总钙吸收量增加了71.7%，钙素利用率最高达22.9%，在所有处理中表现最佳。在供试条件下，单施钙(CaP_0)处理番茄钙吸收量增加也十分明显，相对增加量达到了39.1%，钙的利用率达到了12.6%。但是随着磷肥用量的进一步增加，总钙吸收量的增幅逐渐减小，与对照相比CaP_2处理相对增加量只有11.4%，利用率降为3.6%，远低于CaP_0处理。当磷肥施用量提高到P_2O_5 1200 kg/hm^{2}时，钙磷配合则出现了负交互作用。与对照相比，CaP_3处理钙的吸收量降低了33.6%。说明只有磷钙配比合适时才能提高保护地

番茄对钙的吸收和利用。在实际生产中,保护地蔬菜磷肥的用量远远高于 P_2O_5 300 kg/hm²。据对 274 个塑料大棚蔬菜磷肥施用情况的调查,平均磷肥用量高达 P_2O_5 969 kg/hm²,其中有机肥中 P_2O_5 为 322.9 kg/hm²,化肥中 P_2O_5 为 646.1 kg/hm²。由此推论,磷肥施用量过高是导致石灰性土壤保护地番茄频繁发生生理性缺钙或脐腐病原因之一。

表 1 磷钙配合施用对保护地番茄总吸钙量和钙利用率的影响

Table 1 Effects of P and Ca blended application on total Ca uptake and recovery efficiency by tomato in greenhouse

处理 Treat.	吸钙量(g/plot) Ca uptake			平均 Average	增加 Increase	Ca RE[1)]
	I	II	III	(g/plot)	(%)	(%)
CK	47.7	47.7	48.9	48.1 D	—	—
CaP_0	67.3	67.2	66.6	67.0 B	39.4	12.6
CaP_1	81.5	81.9	84.1	82.5 A	71.7	22.9
CaP_2	54.4	52.3	53.9	53.5 C	11.4	3.6
CaP_3	32.1	33.3	30.3	31.9 E	-33.6	-10.8

1)Ca RE:钙利用率 Calcium recovery efficiency.

表中不同大、小写字母表示差异达 1%和 5%显著水平,下同。

Different capital and small letters mean significant at 1% and 5% levels, same as follows.

2.1.2 磷钙配合施用对保护地番茄钙含量的影响

表 2 看出,在供试条件下,CaP_1 处理明显提高了保护地番茄果实中钙的含量。与对照相比,番茄果实中钙的含量增加了 16.7%,差异达极显著水平;单施钙(CaP_0)处理对提高番茄果实中钙的含量效果并不明显,仅比对照提高了 2.5%,无明显的差异;CaP_2 和 CaP_3 处理对果实钙的含量没有影响,甚至降低了果实中钙的含量。

为了进一步说明磷钙配合施用对番茄植株体钙含量影响的动态变化过程,分别在苗期、开花期、坐果期和采收期测定了根、茎、叶和果实等部位钙的含量,结果见图 1。图 1 看出,4 个时期钙在植株体不同部位的分布或含量基本一致,即叶 > 茎 > 幼果 > 根 > 成熟果;而每一个时期,CaP_1 处理都明显要优于其它处理。进一步分析表明,不同的磷钙配合比例对植株体不同部位钙含量的影响与番茄的生长发育时期有关,其作用程度也不一致。在苗期(4 月 4 日),不论是单施钙处理还是磷钙配合施用处理,番茄茎叶和根系中的钙含量与对照相比都有不同程度的提高,其中以 CaP_1 处理表现最佳。虽然茎叶和根系中的钙含量随着磷肥用量的提高其增加幅度在逐渐降低,但没有出现负的增加(图 1a)。在开花期(4 月 19 日),磷钙配合施用显著提高了番茄叶中的钙含量,尤以 CaP_1 处理效果最明显,但对根系和茎中的钙含量作用不明显(图 1b)。到了坐果期(4 月 28 日),除 CaP_1 处理根的钙含量高于其它处理外,各处理间叶、茎、幼果的钙含量基本趋于一致(图 1c)。在采收期(6 月 4 日),虽然番茄叶中的钙含量明显高于根、茎和果实含钙量,但各处理间的差异也不明显(图 1d)。由此可知,CaP_1 处理提高保护地番茄钙吸收量和钙含量的作用主要是在营养生长期,当番茄进入营养生长和生殖生长后,磷钙配合对钙的吸收作用则随之降低。

2.2 磷钙配合施用对保护地番茄果实产量的影响

磷钙配合施用对保护地番茄果实产量的影响(表 3)看出,CaP_1 处理的增产效果最明显,番茄的果实产量比对照增加了 29.4%,差异达极显著水平;与其它处理间的差异也达到了显著水平。在供试条件下,单施钙(CaP_0)处理的产量比对照增加 11.5%,CaP_2 处理的产量增加了 20.1%。统计分析发现,CaP_0 和 CaP_2 处理的产量与对照之间差异不显著。随着磷肥用量的增加,CaP_3 处理的产量比对照降低了 3.4%,但没有达到显著性差异。可见,在供试条

表 2 磷钙配合施用对保护地番茄果实含钙量的影响

Table 2 Effects of P and Ca blended application on Ca content of tomato fruits in greenhouse

处理 Treat.	含钙量(g/kg) Ca Content			平均 Average	增加 Increase
	I	II	III	(g/kg)	(%)
CK	1.2	1.2	1.2	1.2 b B	—
CaP_0	1.2	1.3	1.2	1.2 b B	2.5
CaP_1	1.3	1.5	1.4	1.4 a A	16.7
CaP_2	1.2	1.2	1.2	1.2 b B	0
CaP_3	1.2	1.1	1.2	1.2 b B	-2.5

表 3 磷钙配合施用对保护地番茄果实产量的影响

Table 3 Effects of P and Ca blended application on fruit yield of tomato in greenhouse

处理 Treat.	果实产量(kg/plot) Fruit yield			平均 Average	增加 Increase
	I	II	III	(kg/plot)	(%)
CK	32.5	32.5	35.5	33.5 b B	—
CaP_0	37.5	35.5	39.0	37.4 b AB	11.5
CaP_1	44.0	41.0	45.0	43.4 a A	29.4
CaP_2	43.0	40.3	37.5	40.3 b AB	20.1
CaP_3	33.5	30.0	33.5	32.4 b AB	-3.4

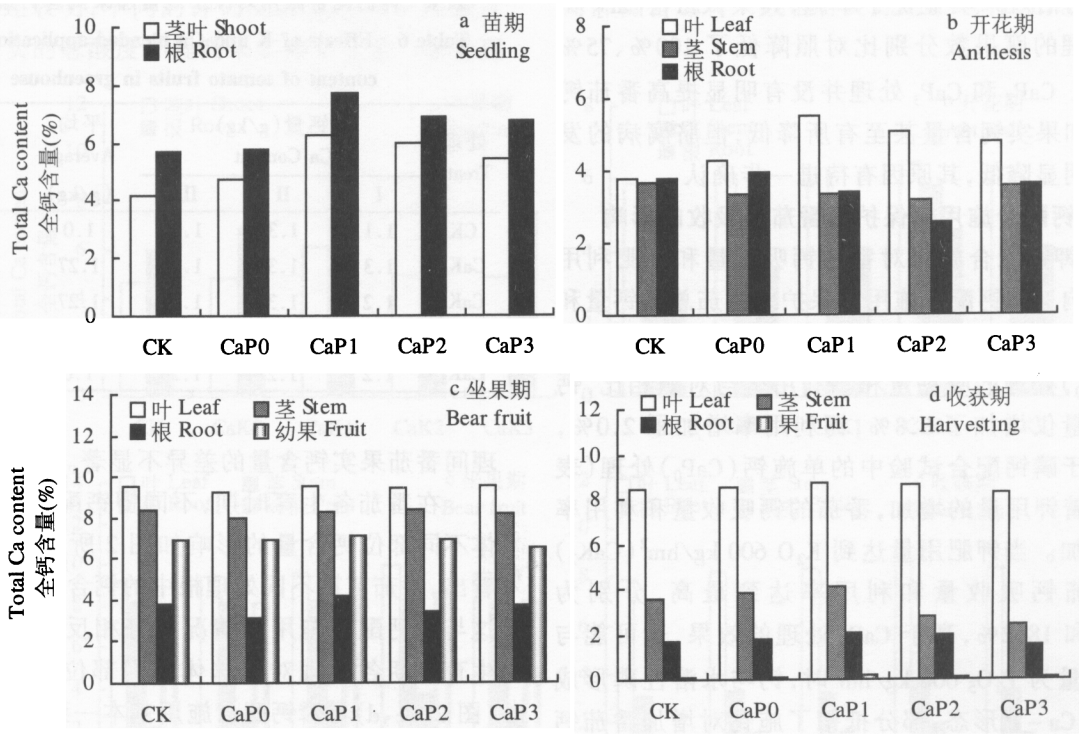

图 1　磷钙配合施用对不同生育期保护地番茄不同部位钙含量的影响

Fig.1　Effects of P and Ca blended application on Ca content in various parts of tomato in greenhouse at different growth stage

件下适宜的磷钙配比有利于保护地番茄产量的提高，这与果实中钙含量的结果一致。

2.3　磷钙配合施用对保护地番茄果实品质的影响

维生素是番茄的主要营养品质之一。Vc 对阻断体内亚硝胺的形成和消除体内过剩的自由基，提高体内 SOD 的活性，增加机体免疫力，对防癌、抗癌和抗衰老有显著作用[9]。表 4 表明，供试条件下，单施钙或磷钙配合处理在一定程度上提高了番茄果实中的 Vc 含量。与对照相比，CaP_1 处理果实中 Vc 含量增加了 18.1%，达到了极显著差异，明显优于其它处理。虽然 CaP_0、CaP_2 和 CaP_3 处理果实中的 Vc 含量分别增加了 1.5%、4.7%和 2.3%，但与对照之间无明显差异。

酸度和糖分也是衡量番茄果实品质重要指标。一般番茄果实中的有机酸不超过 0.5%[10]，酸度过高会严重影响番茄果实风味。表 4 还看出，单施钙或磷钙配合均不同程度降低了番茄果实总酸度和提高了糖分，其中，尤以 CaP_1 处理的效果最佳。与对照相比，其总酸度降低 14.61%，糖分提高了 22.4%。脐腐病果数是指每小区在整个采收期所收获的病果数。大量研究证明，施用钙肥（例如硝酸钙）可以明显降低大白菜干烧心病和番茄脐腐病的发病率[11]。从本研究结果（表 4）看，单施钙处理（CaP_0）比对照的脐腐病发病率降低了 63%，防止效果是十分明显的。同时发现，磷钙配合施用对番茄

表 4　磷钙配合施用对保护地番茄果实品质的影响

Table 4　Effects of P and Ca blended application on fruit quality of tomato in greenhouse

处理	Vc		总酸度 Acidity		糖分 Sugar		腐果数 Rotten fruit	
Treatment	(%)	± %	(%)	± %	(%)	± %	(No.)	± %
CK	17.62 b B	—	0.88	—	4.9	—	2.7	—
CaP_0	17.88 b AB	0.26	0.79	-10.78	5.5	12.2	1.0	-63.0
CaP_1	20.83 a A	3.12	0.75	-14.61	6.0	22.4	0.0	-100.0
CaP_2	18.44 b AB	0.82	0.83	-5.18	5.6	14.3	0.7	-75.3
CaP_3	18.02 b AB	0.40	0.80	-9.50	5.5	12.2	1.7	-38.3

脐腐病防治效果明显优于单施，其中，CaP_1、CaP_2 和 CaP_3 处理的腐果数分别比对照降低了 100%、75% 和 38%。CaP_2 和 CaP_3 处理并没有明显提高番茄钙吸收量和果实钙含量甚至有所降低，但脐腐病的发病率则明显降低，其原因有待进一步确认。

2.4 钾钙配合施用对保护地番茄钙吸收的影响

2.4.1 钾钙配合施用对番茄钙吸收量和钙肥利用率的影响 钾钙配合施用对保护地番茄总吸钙量和钙利用率的影响(表 5)看出，钾钙配合试验中单施钙(CaK_0)处理的吸钙量和钙利用率与对照相比，钙的吸收量仅增加了 5.8%，钙利用率增加了 2.0%，明显低于磷钙配合试验中的单施钙(CaP_0)处理(表 2)。随着钾用量的增加，番茄的钙吸收量和利用率随之增加。当钾肥用量达到 K_2O 600 kg/hm^2(CaK_2)时，番茄钙吸收量和利用率达到最高，分别为 54.4%和 18.2%，高于 CaP_2 处理的效果，这可能与磷肥用量为 P_2O_5 600 kg/hm^{2}时，钙与水溶性磷形成了不同 Ca-P 形态，部分抵销了施钙对增加番茄钙吸收量和利用率的影响有关。CaK_1 和 CaK_3 处理的钙利用率基本一致，表明增施钾肥可提高番茄对钙的吸收和利用，但过量钾肥的施用不会提高钙吸收量和利用率，这与钾离子的存在抑制代换性钙的解吸有关[12]。

表 5 钾钙配合施用对保护地番茄总吸钙量和钙利用率的影响

Table 5 Effects of K and Ca blended application on total Ca uptake and recovery efficiency by tomato in greenhouse

处理 Treat.	吸钙量(g/plot) Ca uptake			平均 Average	增加 Increase	Ca RE[1)]
	I	II	III	(g/plot)	(%)	(%)
CK	47.7	53.5	49.8	50.3c C	—	—
CaK_0	55.4	50.2	54.2	53.3c C	5.8	2.0
CaK_1	63.2	59.2	61.1	61.2b B	21.5	7.2
CaK_2	79.2	76.0	77.9	77.7b B	54.4	18.2
CaK_3	64.5	63.6	58.5	62.2a A	23.6	7.9

2.4.2 钾钙配合施用对番茄钙含量的影响 表 6 表明，单施钙或合适的钾钙配合处理均可提高番茄果实的钙含量。与对照相比，CaK_2 处理番茄果实的钙含量提高了 13.9%，在所有的处理中效果最佳。CaK_3 处理果实的钙含量没有增加，这可能与植物对钾和钙的吸收机制有关。业已证明，合适的钾钙浓度对二者之间有相互促进作用，反之钾的浓度过高二者之间存在着颉颃作用[13]。在供试条件下，各处理间番茄果实钙含量的差异不显著。

表 6 钾钙配合施用对保护地番茄果实含钙量的影响

Table 6 Effects of K and Ca blended application on Ca content of tomato fruits in greenhouse

处理 Treat.	含钙量(g/kg) Ca Content			平均 Average	增加 Increase
	I	II	III	(g/kg)	(%)
CK	1.1	1.3	1.2	1.0	—
CaK_0	1.3	1.3	1.2	1.27	5.6
CaK_1	1.2	1.3	1.3	1.27	5.6
CaK_2	1.3	1.3	1.5	1.37	13.9
CaK_3	1.2	1.2	1.2	1.0	0

在番茄各生育时期，不同钾钙配合处理对植株体不同部位钙含量的影响如图 2 所示。由图 2a 可看出，番茄苗期不同处理根中的钙含量均大于茎叶，这与磷钙配合施用的情况正好相反(图 1a)。其它生育时期各处理对植株体不同部位钙含量的影响(图 2b、c、d)与磷钙配合施用基本一致(图 1b、c、d)，且以 CaK_2 处理对番茄植株体不同部位钙含量的影响效果最佳。

2.5 钾钙配合施用对保护地番茄果实产量的影响

统计分析结果(表 7)表明，CaK_1 和 CaK_2 处理对保护地番茄果实产量的影响与对照之间存在着显著性差异，但 CaK_0 和 CaK_3 处理与对照之间的差异不显著。与对照相比，CaK_1 和 CaK_2 处理的果实产量分别增加了 15.0%和 23.8%，而 CaK_0 和 CaK_3 处理仅增加了 0.7%和 3.1%。

表 7 钾钙配合施用对保护地番茄果实产量的影响

Table 7 Effects of K and Ca blended application on fruit yield of tomato in greenhouse

处理 Treat.	果实产量(kg/plot) Fruit yield			平均 Average	增加 Increase
	I	II	III	(kg/plot)	(%)
CK	35.0	34.0	35.0	34.7 c C	—
CaK_0	36.0	34.5	35.0	35.2 c C	0.7
CaK_1	43.0	40.0	37.5	40.2 b AB	15.0
CaK_2	44.5	42.0	43.5	43.3 a A	23.8
CaK_3	35.5	36.0	37.5	36.3 c BC	3.8

2.6 钾钙配合施用对保护地番茄果实品质的影响

单施钙或钾钙配合施用能明显增加番茄果实 Vc 含量，各处理与对照之间均达到了显著性差异。在各个处理中，CaK_2 对果实 Vc 含量的影响最明显，比对照增加了 19.4%，但与 CaK_1 处理差异不显著。

试验结果还表明，不同的钾钙配合处理均不同程度地降低果实的总酸度和提高果实糖分含量。各处理对降低番茄腐果数也有良好的影响（表 8）。

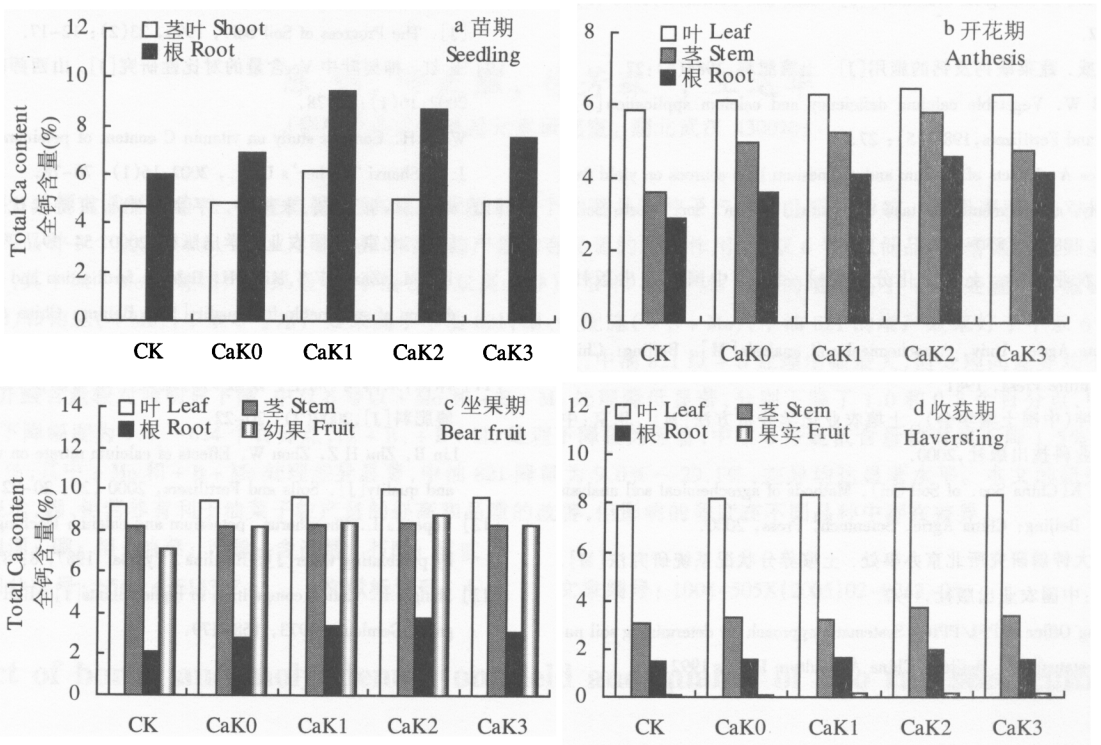

图 2　钾钙配合施用对不同生育期保护地番茄不同部位钙含量的影响

Fig.2　Effects of K and Ca blended application on Ca content in various parts of tomato in greenhouse at different growth stage

表 8　钾钙配合施用对保护地番茄果实品质的影响

Table 8　Effects of K and Ca blended application on fruit quality of tomato in greenhouse

处理	Vc		总酸度 Acidity		糖分 Sugar		腐果数 Rotten fruit	
Treatment	(%)	± %	(%)	± %	(%)	± %	(No.)	± %
CK	16.6 d C	—	0.79	—	5.4	—	2.7	—
CaK_0	18.4 bc BC	10.8	0.74	- 6.5	5.5	2.5	0.7	- 74.1
CaK_1	19.3 ab AB	15.8	0.71	- 10.1	5.6	3.1	0.0	- 100.0
CaK_2	19.9 a A	19.4	0.65	- 17.3	5.7	6.2	0.0	- 100.0
CaK_3	17.9 c BC	7.5	0.73	- 7.4	5.5	2.5	0.7	- 74.1

3　结论

本试验条件下，无论是磷钙配合还是钾钙配合施用均不同程度地增加了保护地番茄钙的吸收量和钙肥利用率，番茄果实产量和品质得到了较明显的改善。当钙肥（CaO）和钾肥（K_2O）用量为 600 kg/hm^2 时，保护地番茄磷肥的最佳施用量为 P_2O_5 300 kg/hm^2，超过此用量时，番茄的产量和品质下降，钙的吸收和利用严重受阻。这是造成目前生产上保护地番茄营养失调，产量和品质下降，脐腐病发生的重要原因之一。当钙肥（CaO）和磷肥（P_2O_5）用量为 600 kg/hm^2 时，保护地番茄钾肥最佳施用量为 K_2O 600 kg/hm^2，但过多地施用钾肥（K_2O 1200 kg/hm^2）会导致番茄产量、品质和钙吸收下降，肥料成本提高。由此推论，在石灰性土壤上保护地番茄钙、磷、钾的施用比例为 1:0.5:1 时，对增加番茄钙的吸收量，提高和改善产量和品质较为有利。

参 考 文 献：

[1] 陆景陵，胡蔼堂. 植物营养学[M]. 北京：农业出版社，1994.
Lu J L, Hu A T. Plant nutrition[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1984.

[2] 周卫，林葆. 土壤中钙的化学行为与生物有效性研究进展[J].

土壤肥料,1996(5):19-22.

Zhou W, Lin B. The progress in study on the chemical behavior of calcium and its biological availability[J]. Soils and Fertilizers, 1996 (5): 19-22.

[3] 卢必威. 蔬菜缺钙及钙的施用[J]. 土壤肥料,1984(5):27.

Lu B W. Vegetable calcium deficiency and calcium application[J]. Soils and Fertilizers, 1984 (5): 27.

[4] Charles A. Effects of calcium and magnesium lime sources on yield fruit quanity, and elemental up take of tomato[J]. Am. Soc. Hort. Sci., 1983, 108(5): 850-854.

[5] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 1981.

Najing Agric. Univ. Agrochemical soil analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1981.

[6] 鲁如坤(中国土壤学会). 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.

Lu R K(China Soc. of Soil Sci). Methods of agrochemical soil analysis [M]. Beijing: China Agric. Scientech. Press, 2000.

[7] 加拿大钾磷研究所北京办事处. 土壤养分状况系统研究法[M]. 北京:中国农业出版社,1992.

Beijing Office of PPI/PPIC. Systematic approach for determining soil nutrient status[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1992.

[8] 周卫,林葆. 植物钙营养机理研究进展[J]. 土壤学进展[J], 1995,23,(2):12-17.

Zhou W, Lin B. The progress of plant calcium nutritional mechanism [J]. The Progress of Soil Sci., 1995, 23(2): 12-17.

[9] 王红. 柿树叶中Vc含量的对比性研究[J]. 山西师范大学学报, 2002,16(1):76-78.

Wang H. Contrast study on vitamin C content of persimmon leaves[J]. J. of Shanxi Teacher's Univ., 2002,16(1): 76-78.

[10] 李晓林,张福锁,米国华. 平衡施肥与可持续优质蔬菜生产[M]. 北京:中国农业大学出版社,2000. 54-59.

Li X L, Zhang F S, Mi G H. Balance fertilization and vegetable production of sustainable fine quality[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2000.54-59.

[11] 林葆,朱海舟,周卫. 硝酸钙对蔬菜产量与品质的影响[J]. 土壤肥料[J],2000(2): 20-22.

Lin B, Zhu H Z, Zhou W. Effects of calcium nitrate on vegetable yield and quality[J]. Soils and Fertilizers, 2000 (2): 20-22.

[12] Vopenka L. Phosphorus, potassium and calcium leaching from the soil by percolating water[J]. Rostlina. Vyroba. 1987, 8: 813-818.

[13] Mengel K. Cation competition in higher plants[J]. Bull. Research Agron. Gemloux. 1973, 168-179.