植物营养与肥料学报 2006,12(5):687－693
Plant Nutrition and Fertilizer Science

湖南省柑橘园土壤硫素及施硫效应研究

戴平安[1]，刘崇群[2]，郑圣先[1]，樊明宪[3]，易国英[1]，聂 军[1]
（1 湖南省土壤肥料研究所，湖南长沙 410125；2 中国科学院南京土壤研究所，江苏南京 210008；
3 国际硫肥研究所，美国）

摘要：为了探明湖南省柑橘园土壤硫素含量丰缺程度和柑橘施硫效应，2000～2004年开展了柑橘园土壤硫素含量调查与田间试验研究。结果表明，湖南省柑橘园0—20cm土层有效硫含量平均为47.7 mg/kg，低于临界值的占9.9%、潜在缺硫的占17.3%。随着土层加深，有效硫含量逐渐增加、全硫含量依次减少。土壤有效硫的地区分布，0—20 cm土层，81.3%的调查县中有10.0%～75.0%的柑橘园存在缺硫和潜在缺硫。柑橘叶片全硫含量平均为2.32 g/kg，有27.2%的柑橘园低于临界值。在有效硫含量不同的土壤中，柑橘连续4～5年施硫肥平均增产5.3%～30.0%，4个基点平均增产10.7%。连续施硫肥明显提高了柑橘叶片硫和氮含量，柑橘果皮中硫含量提高、氮含量降低，有利于果实品质的改善。施硫肥的增产优质效应表现为有效硫含量缺乏的土壤＞潜在缺乏土壤＞中等和丰富土壤；较长树龄＞较短树龄。随着施硫肥年数延长，施硫增产优质效应更加明显。

关键词：柑橘园；土壤硫素；硫肥；产量；品质
中图分类号：S143.71　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2006)05-0687-07

Soil sulphur status and citrus sulphur application response

DAI Ping-an[1], LIU Chong-qun[2], ZHENG Sheng-xian[1], FAN Ming-xian[3], YI Guo-ying[1], NIE Jun[1]
(*1 Soil and Fertilizer Inst. of Hunan Province, Changsha, Hunan 410125, China;*
2 Nanjing Institute of Soil Sci., CAS, Nanjing, Jiangsu 210008, China; 3 The Sulphur Institute, USA)

Abstract: In order to investigate the status of soil S in citrus gardens in Hunan Province and citrus in response to S application, we carried out a survey of soil S in 81 citrus gardens, and conducted field experiments in 4 citrus gardens of Taoyuan county and Zhuzhou county of Hunan Province during 2000—2004. Results showed that for available S content at the surface 0—20 cm layer of citrus gardens soils, 9.9% was lower than critical level, and 17.3% was potentially deficiency (average 47.7 mg/kg). Soil available S content increased gradually with increase in soil depth, whereas total S content decreased stepwise. Regarding the available S regional distribution, there were 10.0%—75.0% citrus gardens that soil available S in 0—20 cm soil layer was deficient or potentially deficient in 81.3% of all the investigated counties. The citrus garden in which total S content of citrus leaves was lower than critical value accounted for 27.2% (average 2.32 g/kg). Field experiments results showed that citrus yields increased by 5.3%—30.0% after continuous S fertilization for 4—5 years. Continuous S fertilization evidently enhanced S and N content in citrus leaves and S content in citrus fruit skin, reduced N content in citrus fruit skin, consequently improved quality of fruit. The order of yield and quality response to S fertilization was as follows: Available S deficient soil > available S latent deficient soil > available S medium and sufficient soil, and older tree－ages > younger tree－ages. With the years of S fertilizer application extending, the yield and quality response of S fertilization became more distinctively.

收稿日期：2005-07-04　　**修改稿收到日期**：2006-02-13
基金项目：国际硫肥研究所项目资助。
作者简介：戴平安(1946—)，男，湖北大悟人，研究员，主要从事土壤肥料研究工作。
洪江市胡思军，会同县甄继海，隆回县阳征炉，洞口县刘检保，东安县周魁铁，江永县何源委，石门县蔡云庭，桃源县彭华初，慈利县李波，泸溪县杨七生、唐家春，保靖县石建智，岳阳县李望星，平江县何袁隆、邓言福，株洲县钟桂平，衡山县袁迪仁等参加了部分野外调查取样工作，谨表谢意。

Key words: citrus gaden; soil sulphur element; sulphur application; yield; quality

作物的需硫量与磷接近,为第四位植物生长必需营养元素[1]。植物体内的含硫功能团对植物的生理代谢、物质转化和转运以及多种生化酶的活化等均产生重要作用[2-3]。柑橘是我国南方农村的支柱产业,随着其生产集约化程度的提高,单产增加,从土壤中带走的硫素等养分必然增加。由于含硫有机肥施用量减少,不含硫复合肥用量增加,且我国南方属亚热带湿润地区,雨水充沛而集中,硫酸盐在土壤中易被淋失,人们环保意识的增强使空气中含硫减少等因素的影响,土壤中硫素的亏缺有日趋加剧的可能;柑橘缺硫和潜在缺硫的可能性增加,使得某些柑橘园土壤硫素营养日益成为影响柑橘产量和品质的限制因子之一。为了掌握湖南省柑橘园全层土壤硫素含量的丰缺程度及施硫效应,开展了本项研究,以期为柑橘园的合理施用硫肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 柑橘园调查及采样

根据不同柑橘种类及品种、产量和品质水平、分布地域及土壤类型等的代表性,于2000—2004年在湖南省柑橘主产地洪江等16个县的几种土壤和柑、橘、甜橙、柚等柑橘种类的15个品种上,采集了可代表约26万公顷的81个典型柑橘园0—20、20—40、40—60 cm土层土样243个。经风干后过1mm和0.25mm筛,分别用于土壤有效硫和全硫、有机质、pH的测定。在取土样周围的柑橘树冠腰部四方采集当年生春梢叶供全量硫、氮养分测定。

1.2 田间试验设计

柑橘施硫的肥效试验在湖南省桃源县盘塘镇(2000～2004年)和株洲县白关镇(2001～2004年)进行,每个县安排2个试验。供试土壤桃源县为红泥土和红沙土,株洲县为麻沙土,其硫素状况见表1。供试柑橘种类桃源县2个试验和株洲县1个试验均是起始树龄为7年生椪柑,株洲县另1个试验起始树龄为12年的哈姆林甜橙。栽植密度桃源县为1320株/hm^2,株洲县为900株/hm^2。肥料处理每个试验均设施硫(+S)和不施硫(-S)2个处理。每小区5株,4次重复,随机排列,小区间设间隔株。试验用硫肥为硫磺粉,每株67g,于3月下旬在柑橘树冠边缘开双环沟一次施入。其它肥料施用及田间管理一致。11月中、下旬采收,并取树冠腰部东西南北四方的果实样测定品质;2004年试验结束时采取柑橘挂果枝和未挂果枝各1/2的叶片及柑橘果皮测定硫、氮含量。

1.3 测定项目与方法

土壤全硫用燃烧碘量法,有效硫用硫酸钡比浊法,pH用酸度计法,有机质用容量法测定。柑橘叶片全硫用硫酸钡比浊法,全氮用凯氏法。柑橘果实总糖用斐林试剂滴定法,可滴定酸用氢氧化钠中和法,维生素C用2,6-二氯靛酚滴定法,可溶性固形物用手持糖量计法。可食率为果肉重量/果实总重×100%,果皮厚度用游标卡尺法测定。

表1 供试土壤耕层(0—20cm)理化状况

Table 1 Some physico-chemical properties of tested soils

地点 Location site	柑橘名称 Citrus name	土壤名称 Soil name	pH (H_2O)	有机质 OM (g/kg)	全硫 Total S (g/kg)	有效硫 Available S (mg/kg)	备注 Note
桃源	椪柑 Pengkan	红泥土 RCS	5.2	22.2	0.152	12.2	
Taoyuan	椪柑 Pengkan	红沙土 RSS	5.1	23.4	0.170	24.5	
株洲	椪柑 Pengkan	麻沙土 CSS	6.7	10.1	0.110	6.1	低硫 Low S
Zhuzhou	哈姆林甜橙 Hamulin sweet orange	麻沙土 CSS	5.3	15.0	0.190	59.1	高硫 High S

Note: RCS—Red clayey soil; RSS—Red sandy soil; CSS—Coarse sandy soil.

2 结果与分析

2.1 湖南省柑橘园土壤及柑橘硫素含量

2.1.1 土壤硫素含量状况 81个柑橘园0—20cm土层的有效硫平均含量为47.7 mg/kg。其中有效硫含量<10 mg/kg的土样占样品总数的9.9%,10～16 mg/kg样品占17.3%,16.1～25 mg/kg的占13.6%,>25 mg/kg的占59.2%;20—40和40—60

cm土层的有效硫平均含量分别为75.6 mg/kg和87.3 mg/kg。按有关标准[4],土壤有效硫含量<10 mg/kg为缺硫土壤,介于10～16 mg/kg为潜在缺硫土壤,湖南省柑橘园表层(0—20 cm)土壤缺硫和潜在缺硫土壤占27.2%(表2),约有7.1万hm^2。

土壤有效硫的垂直分布随土层加深而逐渐提高,20—40和40—60 cm土层比0—20 cm土层的含量分别增加58.5%和83.0%(表2),这与硫酸盐在土壤中易淋溶下渗有关。由于柑橘树根系较浅,根毛少[5],因而硫酸盐下渗不利于根系吸收。表2还显示,土壤全硫含量则表现出上层较高而下层较低,20—40和40—60 cm比0—20cm土层分别下降18.9%和24.9%。

表2　湖南省柑橘园各层土壤硫含量及丰缺状况

Table 2　Sulphur status in different soil layers of citrus garden in Hunan Province

土层 Soil depth (cm)	全硫 Total S (g/kg)	有效硫 Avail. S 平均 Average (mg/kg)	有效硫 Avail. S 变幅 Range (mg/kg)	CV (%)	有效硫丰缺状况(%) Status of sufficiency or deficiency available S in soils <10 mg/kg 缺乏 Deficiency	10～16 mg/kg 潜在缺乏 Potential deficiency	16.1～25 mg/kg 中等 Medium	>25mg/kg 丰富 Sufficient
0—20	0.233±0.102	47.7	2.5～219.2	92.0	9.9	17.3	13.6	59.2
20—40	0.189±0.086	75.6	6.3～255.0	77.4	4.9	12.4	9.9	72.8
40—60	0.175±0.093	87.3	7.4～276.9	78.2	2.4	9.9	9.9	77.8

柑橘园0—20 cm土层有效硫含量存在地区差异。洪江等6个县有20.0%～27.3%的柑橘园低于临界值,泸溪等10个县有10.0%～66.7%的柑橘园潜在缺硫,衡山等3个县含量丰富。柑橘园存在缺硫和潜在缺硫的县占总数的81.3%。土壤全硫含量与有效硫含量高低呈类似变化趋势(表3)。

2.1.2　柑橘叶片全硫、氮含量　81个柑橘园柑橘叶片全硫含量平均为2.32 g/kg,其中低于临界值(2.0

表3　湖南省不同地区柑橘园土壤硫素含量状况(0—20 cm)

Table 3　Sulphur status of citrus garden soil in different region of Hunan Province

县名 County name	有效硫 Avail. S (mg/kg)	有效硫丰缺状况(%) Status of sufficiency or deficiency available S in soils <10mg/kg	10～16mg/kg	16.1～25mg/kg	>25mg/kg	全硫 Total S (g/kg)	调查橘园数 (n)
洪江 Hongjiang	41.4±38.4	27.3	0.0	18.2	54.5	0.261±0.064	11
株洲 Zhuzhou	22.8±24.7	25.0	50.0	0.0	25.0	0.124±0.051	4
江永 Jiangyong	32.8±42.9	25.0	50.0	0.0	25.0	0.167±0.044	4
长沙 Changsha	21.1±11.5	25.0	0.0	25.0	50.0	0.193±0.064	4
会同 Huitong	35.5±19.7	25.0	0.0	0.0	75.0	0.315±0.112	4
慈利 Cili	27.0±25.0	20.0	20.0	20.0	40.0	0.205±0.072	5
泸溪 Luxi	28.4±25.5	0.0	66.7	0.0	33.3	0.324±0.239	3
保靖 Baojing	52.9±53.6	0.0	50.0	0.0	50.0	0.207±0.021	2
平江 Pingjiang	34.1±33.3	0.0	40.0	20.0	40.0	0.137±0.090	5
桃源 Taoyuan	77.3±82.7	0.0	25.0	25.0	50.0	0.207±0.076	4
隆回 Longhui	32.6±21.1	0.0	16.7	33.3	50.0	0.317±0.177	6
石门 Shimen	62.8±49.7	0.0	16.7	16.7	66.6	0.192±0.079	6
东安 Dongan	48.4±24.7	0.0	10.0	20.0	70.0	0.236±0.078	10
洞口 Dongkou	63.3±41.8	0.0	0.0	0.0	100.0	0.281±0.026	5
岳阳 Yueyang	68.3±28.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.244±0.041	4
衡山 Hengshan	126.0±90.7	0.0	0.0	0.0	100.0	0.266±0.102	4

g/kg)[5]的柑橘园占27.2%,这与柑橘园0—20cm土层缺硫和潜在缺硫比率相吻合。柑橘叶片全氮平均26.4 g/kg,低于临界值(23.0 g/kg)[5]的点占17.3%(表4)。说明湖南省柑橘不仅缺硫比率较大,而且氮亦不足。叶片的N/S比平均为12.0±3.5。

表4 湖南省柑橘园柑橘叶片硫和氮含量

Table 4 Total S and total N content of citrus leaves at citrus gardens in Hunan Provence

养分 Nutrient	含量范围(g/kg) Content	平均值(g/kg) Average	变异系数(%) CV	低于临界值(%) Less than critical value
全硫 Total S	1.10～4.00	2.32	25.0	27.2
全氮 Total N	15.3～35.2	26.4	14.0	17.3

2.2 柑橘园施硫肥效应

2.2.1 连续施硫肥对柑橘产量的影响 表5表明,各试验点施硫肥显效大小及快慢存在明显差别,并与供试土壤上、中层所含有效硫的丰缺及树龄大小有关。麻沙土(椪柑)施硫试验,由于供试土壤含有效硫(6.1mg/kg)低于临界值,且其中层(20—40 cm)土壤含有效硫亦仅6.4 mg/kg,因而施硫效果4年均最大,且显效最快;连续施硫2年即具有极显著的增产效果,连续3年施硫其效果仍继续大幅度提高,连续4年施硫后其增效提高速率变慢;4年各重复产量加权平均增产30.0%,其差异达到5%的显著水平。含有效硫潜在缺乏的红泥土试验,因其中层土壤含有效硫仅9.7 mg/kg,所以连续2年施硫亦具有显著的增产效果,并随着施硫年数的延长,其效果呈逐渐提高的趋势,但每年的增产率和几年的平均增效均低于前者。含有效硫中等的红沙土,因其中层土壤含有效硫丰富(29.8mg/kg),导致连续施硫不仅显效慢、增幅小而且不稳定;5年平均增产5.3%。麻沙土(哈姆林甜橙)尽管供试土壤含有效硫(59.1mg/kg)丰富,其中层含量亦达到134.9 mg/kg,但连续2、3年施硫亦有一定的增产效果,连续4年施硫增效则明显下降;4年平均增产8.7%,略高于含有效硫中等的红沙土效果,这可能与其起始树龄长5年有关。中层土壤有效硫含量的高低不仅影响表层土壤对产量的效果,还影响到对柑橘养分和品质的效应。

表5 连续施硫肥对柑橘产量的效应(t/hm²)

Table 5 Effect of continuous S fertilizer application on citrus fruit yields

柑橘名称 Citrus name	土壤名称 Soil name	处理 Treatment	第1年 1st	第2年 2nd	第3年 3rd	第4年 4th	第5年 5th	平均 Average
椪柑	红泥土	-S	35.56	34.14	37.39	28.27	15.14	29.81
Pengkan	Red clayey soil	+S	35.34	36.94*	41.57	33.21	18.91	33.08*
		Increase rate (%)	-0.6	8.2	11.2	17.5	24.9	11.0
椪柑	红沙土	-S	35.58	19.00	72.07	46.77	77.77	50.24
Pengkan	Red sandy soil	+S	35.46	19.29	77.22	47.70	84.83*	52.90*
		Increase rate (%)	-0.3	1.5	7.1	2.0	9.1	5.3
椪柑	麻沙土	-S	10.88	11.87	12.90	24.11	—	14.94
Pengkan	Coarse sandy soil	+S	11.26	15.25**	17.67	33.50	—	19.42*
		Increase rate (%)	3.5	28.5	37.0	38.9	—	30.0
哈姆林甜橙	麻沙土	-S	16.91	25.35	16.06	28.66	—	21.74
Hamulin	Coarse sandy soil	+S	17.23	27.26	18.72*	31.35	—	23.64
sweet orange		Increase rate (%)	1.9	7.5	16.6	9.4	—	8.7
	平均 Average	-S	23.18	22.83	32.11	30.96	41.98	28.89
		+S	23.31	25.04	36.23**	35.69*	47.16*	31.98*
		Increase rate (%)	0.6	9.7	12.8	15.3	12.3	10.7

注(Note):*,** 表示差异分别达到5%和1%的显著水平,下同。*, ** indicate difference significance at $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively, same as follows.

由表 5 还可看出，4 个试验平均，施硫肥比不施硫肥第 1 年几乎无效果，这可能与柑橘属多年生植物，施硫肥当年产量与前一年的挂果量和施肥等有密切关系；同时，可能与硫磺粉为元素硫，在土壤中需被氧化为 SO_4^{2-} 才能被植物吸收，而这种转化在旱土中速度慢，持续时间长[6]有关。此后随着施硫年数的延长，增产效果呈逐渐提高的趋势。可见硫肥在柑橘上的施用效果不及一年生作物显效快[7]。因此，应连续 2～3 年施用才有助于产量的提高。4 个试验几年加权平均，施硫比不施硫增产 10.7%，其差异达到 1%的极显著水平。

2.2.2　连续施硫肥对柑橘叶及果皮养分的影响　表 6 表明，与未施硫肥比较，柑橘连续 4、5 年施硫肥后，其叶片的含硫浓度得到不同程度地提高；并表现为有效硫缺乏土壤 > 潜在缺乏土壤 > 中等和丰富土壤的趋势，其中长树龄的哈姆林甜橙又大于短树龄的椪柑（红沙土）；4 个试验平均提高 18.1%。同时，连续施硫能使柑橘叶片全氮提高。柑橘叶硫、氮含量的提高，为其增产优质效应的获得提供了营养基础。连续 4、5 年不施硫肥处理，柑橘叶的含硫浓度有 50%降低到临界值以下，这无疑给柑橘生产带来不利影响。施用硫肥能促进硫素从柑橘叶向果实中转运，使橘皮的含硫率较不施硫处理平均提高 8.1%，差异达到极显著水平；而柑橘皮的含氮率则平均下降 10.8%（表 6），这可能是施硫处理青果率下降的原因之一。相关统计，柑橘叶硫、氮含量的提高率，果皮硫含量的提高率和氮含量的降低率与供试土壤有效硫含量间呈负相关和显著负相关，相关系数（r）分别为 - 0.4662、- 0.9031*、- 0.4024 和 - 0.9341*。说明柑橘施用硫肥对叶片及果皮硫、氮含量的影响受土壤有效硫含量的制约，硫含量的提高还受树龄长短的影响。

表 6　连续施用硫肥对柑橘叶片及果皮中硫、氮含量的影响（g/kg）

Table 6　Effect of continuous S fertilizer application on S、N content in citrus leaves and fruits skin

柑橘名称 Citrus name	土壤名称 Soil name	处理 Treatment	叶片 Leaves		果皮 Fruits skin	
			全硫 Total S	全氮 Total N	全硫 Total S	全氮 Total N
椪柑	红泥土	- S	2.08	24.7	0.56	12.4
Pengkan	Red clayey soil	+ S	2.45	29.6	0.61	11.5
		Increase rate (%)	17.8	19.8	8.9	- 7.3
椪柑	红沙土	- S	1.90	26.6	0.78	12.4
Pengkan	Red sandy soil	+ S	2.00	31.7	0.83	11.8
		Increase rate (%)	5.3	19.2	6.4	- 4.8
椪柑	麻沙土	- S	1.66	16.3	0.70	10.0
Pengkan	Coarse sandy soil	+ S	2.28	21.7	0.76	9.5
		Increase rate (%)	37.3	33.1	8.6	- 5.0
哈姆林甜橙	麻沙土	- S	2.52	24.2	0.91	9.5
Hamulin sweet orange	Coarse sandy soil	+ S	2.91	26.0	0.98	6.7
		Increase rate (%)	15.5	7.4	7.7	- 29.5
平均 Average		- S	2.04	23.0	0.74	11.1
		+ S	2.41	27.3*	0.80**	9.9
		Increase rate (%)	18.1	18.7	8.1	- 10.8

2.2.3　连续施用硫肥对柑橘品质的效应　柑橘果实营养品质因施用硫肥而得到不同程度地改善。4 个施硫试验几年的测定结果平均，与不施硫肥比较，果实的维生素 C 和总糖含量得到极显著地提高，分别为 5.1%和 3.7%，可溶性固形物显著增加 0.2 个百分点，并能使可滴定酸降低 3.6%。各项品质的改善程度又因供试土壤有效硫含量的丰缺而异（图 1），在有效硫含量缺乏的麻沙土（椪柑）、潜在缺乏的红泥土、中等的红沙土和丰富的麻沙土（哈姆林甜橙，较长树龄）上施硫比不施硫果实的 Vc 含量分别提高 8.3%、7.7%、2.0%和 3.8%；总糖分别增加 5.4%、4.6%、4.6%和 - 0.7%；可溶性固形物依次提高 0.3、0.3、0.2 和 0 个百分点；可滴定酸则依次下降 10.6%、3.4%、1.8%和 1.2%。其中 Vc 和总糖在缺硫和潜在缺硫土壤中的施硫效应均达到 5%的显著水平。可见，柑橘连续施硫对品质的改善程度

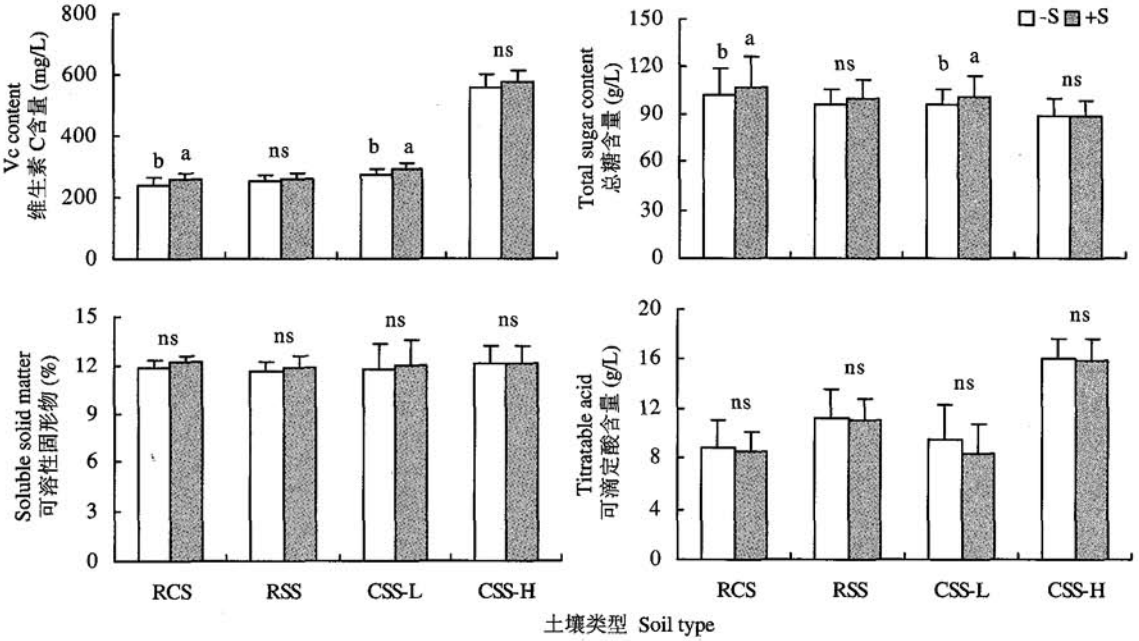

图1 连续施用硫肥对柑橘果实营养品质的影响

Fig.1 Effect of continuous S fertilizer application on nutrient quality of citrus fruit

(RCS—红泥土 Red clayey soil; RSS—红沙土 Red sandy soil;
CSS-L—麻沙土(低硫)Coarse sandy soil with low S; CSS-H—麻沙土(高硫)Coarse sandy soil with high S)

与土壤有效硫含量呈负相关,相关系数(r)分别为 -0.6342、-0.9705**、-0.6881 和 -0.9941**,有效硫含量低的土壤施硫效应大,反之则小;其中 Vc 含量效应还受到树龄的影响。

与对照比较,施硫肥对柑橘营养品质的改善效应有随施硫年数的延长而呈提高的趋势。4 个试验平均,连续施硫肥第 4、5 年比第 1 年的变化率,Vc 和总糖分别提高 2.3 和 4.1 个百分点,可滴定酸下降 4.4 个百分点,可溶性固形物变化不及其它品质改善明显。其中施硫肥改质效应提高较快的时间各试验点略存差异,总的趋势是土壤有效硫缺乏和潜在缺乏的试验点快于中等及丰富的试验点。

连续施硫肥还能改善柑橘果实的外观品质。几年平均,麻沙土(椪柑)、红泥土、红沙土及麻沙土(哈姆林甜橙,较长树龄),其青果率依次下降 25.0、15.0、6.5 和 17.0 个百分点,平均为 14.2 个百分点,可食率依次提高为 1.4、0.9、0.3 和 0.5 个百分点,平均为 0.8 个百分点,差异均为极显著;果皮厚度依次减少 9.1%、5.9%,差异显著,和 3.3%、5.6%,平均为 5.8%,达到极显著水平。说明,对果实外观品质改善效应亦表现出有效硫含量缺乏土壤最大,潜在缺乏土壤次之,中等和丰富土壤较小,其中起始树龄长的哈姆林甜橙施硫效应又大于起始树龄短的椪柑施硫效应。由于施硫肥对外观品质的改善,从而提高果实的商品价值及市场竞争能力。

3 讨论

对于土壤硫素的研究大多局限于耕作层[8],部分旱地土壤研究到 20—45 cm 土层[9],更深层土壤硫素状况尚未涉及到。本研究结果表明,湖南省柑橘园 0—20、20—40、40—60 cm 土层土壤有效硫含量随土层加深呈渐增的趋势,其中 0—20 cm 土层低于潜在缺乏值(< 16 mg/kg)的柑橘园占 27.2%,大于湖南省旱地[9]和耕地土壤[8];土壤全硫则上高、下低。柑橘叶硫、氮低于临界值的柑橘园分别占 27.2%和 17.3%。

在缺硫和潜在缺硫土壤中施用硫肥,一年生作物和多年生作物均有增产效果[10-11]。本试验结果指出,柑橘连续 4～5 年平均,施硫比不施硫肥的增产效果表现出:在品种和起始树龄相同时,有效硫含量缺乏土壤(30.0%) > 潜在缺乏土壤(11.0%) > 中等土壤(5.3%);在起始树龄长 5 年的不同种类时,含有效硫丰富的土壤仍能增产 8.7%。因此,对于柑橘来说,土壤有效硫临界值的划分尚有待进一步探讨。施硫肥的增幅大小不仅与供试土壤有效硫含量高低关系密切,而且还受柑橘树龄的影响,树龄长的柑橘可能需要土壤中含有更高的有效硫,施硫肥的效果亦更佳。并显示出随着施硫年数的延长,

其增产效果呈逐渐提高的趋势(含有效硫丰富土壤例外)。

硫肥能改善品质,如施用硫肥使蔬菜的Vc含量提高[12],西瓜含糖量增加[13],烟草烟碱提高,并有降低还原糖及有机酸的趋势[14],使桑叶增加含硫氨基酸及总氨基酸浓度,而总糖含量有降低倾向[11]。本研究结果表明,柑橘施用硫肥可改善果实的营养品质(维生素C、总糖、可溶性固形物含量增加、酸度下降)和外观品质,其改质作用显示出土壤有效硫含量低的大于含量高的,Vc的提高效应表现为起始树龄长的哈姆林甜橙又稍强于起始树龄短的椪柑;连续施用硫肥的优质效应表现更佳。

研究表明,施用硫肥可增加花生[15]、小麦[10]、烟草[16]等作物植株的硫、氮含量。本研究结果显示,连续施用硫肥能有效地提高柑橘叶片及果皮的硫、氮含量(果皮含氮量降低),从而有利于柑橘产量和品质的提高。其中有效硫含量缺乏土壤的效应最大,其次是潜在缺硫的土壤,含有效硫中等和丰富的土壤效应较小,并且树龄长的效应大于树龄短的效应。因此,在缺硫和潜在缺硫的柑橘园中,应平衡施用硫肥,以利柑橘生产的持续发展。

参考文献:

[1] Singh M V. A review of the sulphur research activities of the ICAR-AICRP micro and secondary nutrients project[J]. Sulphur in Agriculture, 1995(19): 35-46.

[2] Nhkhth wen A. 农业中硫的循环与平衡[J]. 土壤学进展, 1986(5): 30.
Nhkhth wen A. Cycle and balance of sulphur in farming[J]. Progress in Soil Science, 1986(5): 30.

[3] Schnug E. The sulphure nutrition and quality of vegetable[J]. Sulphur in Agriculture, 1990, 14: 3-7.

[4] 刘崇群,曹淑卿,陈国安, 吴锡军. 中国南方农业中的硫[J]. 土壤学报,1990,27(4): 398-404.
Liu C Q, Cao S Q, Chen G A, Wu X J. Sulphur in the agriculture of China[J]. Acta Pedologica Sinica, 1990, 27(4): 398-404.

[5] 刘铮. 微量元素供应与柑橘生长的关系[J]. 土壤学报,1965, 13(4): 470-480.
Liu C. Effect of the supply of micro-nutrients in soils on the growth of citrus trees[J]. Acta Pedologica Sinica, 1965, 13(4): 470-480.

[6] He Z L, A G O'Donnell, Wu J, Syers J K. Oxidation and transformation of elemental sulphur in soils[J]. J. Sci. Food Agric., 1994, 65: 59-65.

[7] 孟赐福,吕晓男,曹志洪,胡正义. 水稻和油菜施硫的增产效应及土壤有效硫临界指标的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004,10(2): 218-220.
Meng C F, Lu X N, Cao Z H, Hu Z Y. Effect of sulphur fertilizer on the yields of rice and oil rape and the critical values of soil available sulphur[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(2): 218-220.

[8] 刘念龙,明承州,马晓华,等. 湖南省土壤硫素状况及硫肥肥效[J]. 湖南农业科学,2000(3): 22-25.
Liu N L, Ming C Z, Ma X H *et al*. Sulphur status in soils and sulphur effects on crops in Hunan Province[J]. Hunan Agric. Sci., 2000(3): 22-23,25.

[9] 黄启为,杨志辉,刘鹏,等. 湖南省旱地土壤硫素状况及作物施硫效应[J]. 土壤,2003(2): 126-130, 135.
Huang Q W, Yang Z H, Liu P *et al*. Sulphur status in upland field and crop responses to sulphur fertilizer in Hunan Province[J]. Soils, 2003(2):126-130,135.

[10] 杨安中. 硫肥对小麦产量及品质的影响[J]. 土壤通报,2000, 31(5): 236-237.
Yang A Z. Effect of Sfertilizer on the yield and quality of wheat[J]. Chinese J. of Soil Sci., 2000, 31(5): 236-237.

[11] 鲁剑巍,陈防,陈行春,等. 钾、硫肥配施对作物产量与品质的影响[J]. 土壤通报,1994,25(5): 216-218.
Lu J W, Chen F, Chen X C *et al*. Effects of recipe application of K and S fertilizers on crop yield and quality[J]. Chinese J. of Soil Sci., 1994, 25(5): 216-218.

[12] 李家康,徐美德,梁德印,等. 我国北方施用硫酸钾对提高蔬菜和果树产量与品质的作用[J]. 土壤肥料,1996(6): 1-5.
Li J K, Xu M D, Liang D Y *et al*. Effect of potassium sulfate on improving yields and qualities of vegetables and fruits in North China [J]. Soils and Fertilizers, 1996 (6): 1-5.

[13] 朱洪勋,张翔,沈阿林,孙春河. 西瓜需肥特点与平衡施肥研究[J]. 园艺学报,1996,23(2): 145-149.
Zhu H X, Zhang X, Shen A L, Sun C H. Studies on the nutrients uptake and balanced fertilization of watermelon[J]. Acta Horticulturae Sinica, 1996, 23(2): 145-149.

[14] 刘勤,曹志洪. 烟草硫素营养与烟叶品质研究进展[J]. 土壤, 1998(6): 320-323, 327.
Liu Q, Cao Z H. Progress in study on tobacco sulphur nutrition in relation to tobacco leaf quality[J]. soils, 1998, 30(6): 320-327.

[15] 汪仁,安景文,张士义,等. 施硫对花生产量品质及植株体内硫积累的影响[J]. 土壤通报,1998,29(4): 177-178.
Wang R, An J W, Zhang S Y *et al*. The effect of sulphate application on the yield and quality of peanut and on the accumulation of S in peanut plants[J]. Chinese J. of Soil Sci., 1998, 29(4): 177-178.

[16] 刘勤,赖辉比,曹志洪. 不同供硫水平下烟草硫营养及对N、P、Cl等元素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(1): 63-68.
Liu Q, Lai H B, Cao Z H. Effect of sulphate rates supplied on sulphur metabolism and N, P and Cl absorption [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(1): 63-68.