

毛竹施用硅肥的效应研究*

胡炳堂 洪顺山

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所)

摘要 探讨了在有效硅含量水平较低的流纹岩风化物发育的土壤上,中、低产毛竹林施用硅肥的效应。试验结果表明:在中、低产毛竹林中施用硅肥是没有增产效果的;土壤中有效硅的含量尽管较低,但足够毛竹生长对硅素的需要。综合诊断施肥法(DRIS)对硅素营养的诊断结果提示:即使在具有较高竹材产量的竹林中,无论施用N、P、K三要素肥料与否,硅的营养状况仍然是接近适宜水平的。鉴于中国大多数竹林的实际情况,认为目前生产上尚无施用硅肥的必要。

关键词 毛竹; 硅肥; 土壤有效硅; 硅素营养; 综合诊断施肥法

毛竹是含硅量较高的禾本科植物之一,其含硅量与土壤中有效硅的含量有极强的相关关系,在一定条件下影响着竹林的生产能力^[1]。自日本学者对竹林施肥开展系统研究,认为硅肥能使竹材提早成熟,并有一定的增产作用以来,我国开始出现施用含硅复合肥的趋势^[2~4]。然而施用硅肥也出现了许多新的问题:施硅会抑制出笋,使笋的品质下降;纸浆用竹则增加了制浆工艺中化学浆黑液碱回收的难度。故毛竹施用硅肥仍有争议,有必要进行较为细致的试验研究。本文通过分析土壤与竹株对硅肥的反应,及毛竹的硅素营养状况,来探讨硅肥的效应。

一、试验地概况

对由四种母岩(石灰岩、页岩、流纹岩、长英岩)发育土壤上的竹林进行立地调查和研究^[1],最后选择了位于浙江省毛竹主产地安吉县山河乡老窝岭、土壤有效硅含量较低的竹林进行试验。竹林土壤由流纹岩风化物发育而成,土层厚达80 cm,通气性良好(表1)。竹林基本上属于中产偏低林分,立竹数为每公顷2300株(度平均),眉围平均27.85 cm,竹材蓄积量

表1 试验地土壤的理化性质^[1]

剖面层次	土层厚度 (cm)	容重 (g/cm ³)	pH	有机质 (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	代换性K (ppm)	有效硅 (mg/100g土)
表层 A	34.5	1.04	5.19	6.82	0.220	0.06	71.8	6.77
心土层 B	42.9	1.10	5.00	2.66	0.078	0.09	26.2	10.86

本文于1989年10月16日收到。

* 硅肥材料由富春江冶炼厂提供,杭州铸石厂加工,其选择承蒙戚惠林高级工程师和秦遂初教授指导;试验所在地山河乡政府给予支持;样品的部分项目由本所土壤分析室完成;在作者分析样品的过程中,曾得到李桂梅、陆哲、裴致达、王舟莲等的大力支持,谨此一并致谢。

(度平均)达16 t/ha。管理上实行较强度钩梢，一般大年冬季劈山抚育。

二、材料与方法

(一) 硅肥材料

参考臧惠林的调查研究结果^[6]，在试验准备阶段对几种硅肥材料的有关性状进行了比较测定。本试验所用硅肥材料是一种鼓风炉水淬渣，呈黑灰色玻璃体状细粒，为冶炼贵金属(Au、Ag、Cu)后的剩余物。主要成份为Ca、Fe、Zn的硅酸盐，及少量的Pb、Cu、Al、S等，一般含量为：SiO₂ 30%~35%，Fe 27%~31%，CaO 10%~14%，MgO 4%~5%，P₂O₅ 0.4%~2.5%，具较低的P、Ca含量。实验室内0.5 N HCl浸提的有效硅含量为32.4%。由于原状材料粒度不均，小于1 mm粒径的粉末仅占22.61%，因此施用前采用小型球磨机粉碎过60目筛，以达到生产应用的物理性要求。

(二) 试验方法

1. 试验设计 据已有的研究^[2,5,8]，确定硅肥的施用量为0、625、1250 kg/ha三个水平。随机区组设计，重复4次。为了检验三要素肥料对硅肥施用的影响，随机抽取两个重复安排施N、P、K肥(组成：尿素225 kg/ha，过磷酸钙300 kg/ha，氯化钾225 kg/ha)。小区面积400 m²，方形，顺坡横向设置，周围设保护带。1987年8月和1988年7月(毛竹孕笋前期)按设计撒施N、P、K、Si肥料，施后松土覆盖。

2. 室外调查 本试验经历了毛竹生长的一个大小年(通称为一度)，试验前设置小区时进行了各区内三度底竹的每竹调查。之后每年进行笋期观测和新竹调查。林分的竹材蓄积量(产量)参考有关的竹材鲜重估算公式计算^[2]。

3. 采样方法与实验室样品分析 于施硅肥前(1987年7月)、后(1988年12月)分别采集小区表土(0~20 cm)混合样品(5点梅花形采样法)测定土壤有效硅含量；另于大年孕笋期施肥前2天和施肥后5个月时采集毛竹嫩叶(1988年7月施肥前采样时叶龄约2个月的一年生竹的叶)和老叶(叶龄约14个月的二年生竹的叶)，分别测定其硅的含量等，并计算硅的自然累积量。

测试方法^[1,3]：土壤有效硅用pH4.0的HOAC-NaOAC缓冲液浸提，硅钼兰比色法测定，竹叶全N用DDy-I型定N仪凯氏法测定，P、K、SiO₂用三酸(HNO₃、HClO₄、H₂SO₄)消化样品后，P用钒钼黄比色法，K用火焰光度计法，SiO₂用重量法测定。

三、结果分析

(一) 施硅对土壤的影响

1. 土壤有效硅含量的变化 试验前竹林表土层样品的分析结果，其有效硅含量范围为3.06~6.87 mg/100g土，平均4.62 mg/100g土，基本上属于有效硅含量较低的土壤。鼓风炉渣硅肥施入土壤后，有效成份能否象N、P、K肥料那样释放出来，从而为植物所吸收？图1显示了施入硅肥后引起土壤有效硅含量变化的情况。从图1左可见，在施硅肥量为625 kg/ha的处理中，表土的有效硅含量较施硅前增加了2.02 mg/100g土，为土壤本底值的44%。

这时即使再增加施硅量(1 250 kg/ha),也没有使有效硅含量出现更为明显的增加(增量仅为2.40 mg/100g土)。而不施硅肥的变化不大,甚至有所下降,这可能是毛竹的吸收或土壤的淋溶等原因所造成的差异^[1]。施硅引起土壤有效硅含量较大幅度升高这一现象,既可表明硅肥中有效硅能顺利地向土壤有效硅转化,也证明本试验所选用的硅肥材料是可行的。

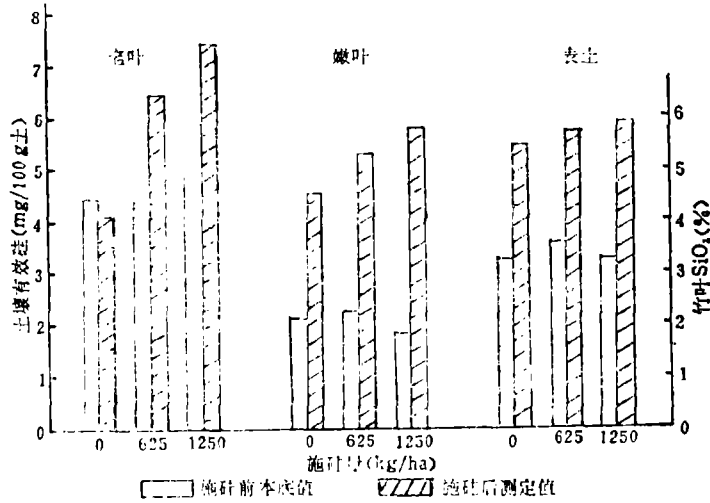


图1 土壤有效硅和竹叶全硅量的积累动态

(二) 毛竹的硅素营养

1. 毛竹叶片硅素的累积 为考察施硅肥后竹株体内硅素的吸收、积累和运转,分别测定了试区大年孕笋期施肥前2天和5个月后的两种不同叶龄功能叶的硅含量,并计算了硅累积量。图1指出,在采样间隔期间(约半年),不论老叶还是嫩叶,其生理性的硅素自然累积量(施硅量为0的累积)皆约为2.2%。由于施硅引起了土壤有效硅的升高,因此使施硅肥1 250 kg/ha的毛竹嫩叶在半年后对硅的累积增量要比自然累积量(对照)多出1.58个百分点,而老叶亦多出了0.44个百分点,施硅肥625 kg/ha的,其增量则分别为0.59和0.04个百分点。这种因施硅量的不同,而导致竹叶全硅量增加幅度不一的情况,说明了竹叶对硅素存在着被动吸收现象,而两种叶片累积增量的不同,则显示了被动吸收的特性及其速率的差异。

2. 施肥后毛竹硅素的营养诊断 依据近年发展起来的综合诊断施肥法(DRIS)的诊断参数(表2)^[3,9],对毛竹施硅后功能叶的营养状态进行了处理,按施用硅肥及三要素肥料两者

表2 用于计算DRIS指标的参数^[3]

养分浓度比	参 数			参数可靠性检验	
	\bar{X}	S_z	CV %	F	F_{α}
N/P	20.315 6	2.724 0	13.4	4.31*	$F_{0.05}(9,11) = 2.90$
SiO ₂ /N	1.553 0	0.521 3	33.6	2.95*	
SiO ₂ /P	32.284 6	10.151 1	31.4	2.91*	$F_{0.01}(9,11) = 4.63$
K/SiO ₂	0.410 54	0.246 54	60.1	2.03	

分列的 DRIS 指数结果(表3)表明:在不施 N、P、K 肥料的处理中,竹林产量为低产偏中水平,竹叶中 N、P、K 处于缺乏状态,因此该地竹林增施三要素肥料将会有增产效果。硅在各

处理中均呈富足状态，且有随硅肥施用量的增加而使指数值升高的倾向，表示在硅已呈富足的情况下，施硅提高了竹株内硅素的富足程度。在此营养状况和林分产量基础上，硅的奢侈吸收现象说明不需通过施硅来增加土壤硅素。

表 3 毛竹施肥后的 DRIS 诊断

处理号	施肥量(kg/ha) ^①	竹叶养分含量(%)				DRIS 指数				竹材产量 ^② (t/ha)
		N	P	K	SiO ₂	N	P	K	SiO ₂	
A-1	0-0-0-0	2.532	0.136	1.161	5.325	-6.4	0.5	-4.8	10.7	17.22
A-2	0-0-0-625	2.476	0.133	1.278	5.995	-9.7	-2.7	-2.4	14.9	15.00
A-3	0-0-0-1250	2.457	0.120	1.154	6.273	-7.1	-7.6	-5.2	19.8	13.19
B-1	225-300-225-0	2.614	0.138	1.066	6.304	-6.8	-7.9	-10.2	17.8	24.53
B-2	225-300-225-625	2.648	0.117	1.265	5.928	-2.6	-11.1	-1.8	15.6	22.19
B-3	225-300-225-1250	2.624	0.144	1.422	5.246	-8.2	0.4	0.7	7.1	31.10

① 施肥品种依次为：尿素—过磷酸钙—氯化钾—鼓风炉渣硅肥，

② 为1989年大年产量估算值。

在配合施用 N、P、K 肥料的各处理中，竹材产量达到了比不施的要高出近一倍的中产偏高水平。毛竹叶片的营养平衡发生了某些改变。虽然各处理的竹叶硅浓度因本底值不一而出现差异，但由于 N、P、K 营养状况的改善，使该产量水平时的叶片整体营养平衡状态变得相对缓和，表现在硅指数随施硅量的增加而减少，即随产量的升高，硅的富足状态受到了较大程度的削弱，过渡到了渐次适宜状态。在这种情况下，土壤的有效硅含量仍能满足毛竹对硅素的需求，故仍不需施硅。

(三) 施硅对毛竹经济性状的影响

1. 春笋状况 对1988~1989两年春季笋期观测的数据(表4)进行方差分析,结果(表5)表明:处理间(硅肥)的方差均未达到显著水平,说明硅肥的施用对毛竹春笋的产量指标没有多大影响。

表 4 毛竹硅肥试验的春笋状况

(算数单位:株/ha)

处理代号	施肥量 ^① (kg/ha)	1988年		1989年		一度总计		
		出笋数	退笋数	出笋数	退笋数	出笋数	退笋数	退笋率(%)
I-1	225-300-225-0	575	100	2150	1100	2725	1200	44.0
I-2	225-300-225-625	475	275	2625	1400	3100	1675	54.0
I-3	225-300-225-1250	650	300	2950	1575	3600	1875	52.1
II-1	0-0-0-0	450	225	1675	1100	2125	1325	62.4
II-2	0-0-0-625	400	25	1375	575	1775	600	33.8
II-3	0-0-0-1250	250	100	1275	700	1525	800	52.5
III-1	0-0-0-0	175	50	1300	475	1475	525	35.6
III-2	0-0-0-625	350	75	1650	725	2000	800	40.0
III-3	0-0-0-1250	700	260	1100	400	1800	600	33.3
IV-1	225-300-225-0	450	275	2175	1000	2625	1275	48.6
IV-2	225-300-225-625	100	50	2100	1200	2200	1250	56.8
IV-3	225-300-225-1250	300	175	2325	1075	2625	1250	47.6

① 施肥品种顺序同表3。

表5 1988~1989年春笋产量F检验结果

变 因 项 目	区 组 间	处 理 间	F_a
出 笋 数	9.852**	0.19<1	$F_{0.05}^{(3;9)} = 4.76$ $F_{0.01}^{(3;9)} = 9.78$
退 笋 数	5.465*	0.14<1	
退 笋 率	1.60 ns	0.03<1	

2. 成竹及竹材产量 调查整理了设置试区时前三度(1982~1987年)保存完整的底竹数据, 以及施肥后一度(两年)的成竹数、新竹眉围和竹材产量(表6), 表明底竹对新竹的回归方差极显著(F 值分别为: 立竹数25.08**, 竹眉围40.61**, 竹材蓄积量13.96*), 采用协方差分析统计(表7)可见: 处理间的方差均不显著, 说明在本试验所属林分上, 施用硅肥没有增产效果。

表6 毛竹硅肥试验的成竹及产量结果

项 目 处理代号	1982~1987年底竹①度平均			1988~1989年一度新竹		
	立竹数 (株/ha)	眉 围 (cm)	竹材蓄积量 (t/ha)	成竹数 (株/ha)	眉 围 (cm)	竹材产量 (t/ha)
I-1	966.7	26.15	16.253	1525	26.25	26.120
I-2	925.0	25.42	14.618	1425	25.81	23.690
I-3	1258.3	24.75	18.777	1725	26.33	29.342
II-1	833.3	30.28	19.316	800	29.75	17.948
II-2	1158.3	26.90	20.711	1175	25.17	18.699
II-3	858.3	30.17	19.584	725	28.86	15.258
III-1	633.3	30.54	14.947	950	30.53	22.742
III-2	966.7	24.68	14.553	1200	25.23	18.587
III-3	908.3	26.27	15.405	1200	26.00	19.942
IV-1	833.3	30.85	19.851	1350	29.20	31.415
IV-2	816.7	31.47	20.639	950	31.26	23.578
IV-3	1150.0	33.67	33.363	1375	33.74	40.074

①试区异龄竹林的完整现存竹株。

表7 新竹的协方差分析显著性检验

变 因 项 目	修正了的处理间			修正了的误差			F	F_a
	SS	DF	MS	SS	DF	MS		
成 竹 数	48302.61	2	24151.31	49429.45	5	9885.89	2.44 ns	$F_{0.05}^{(2;5)} = 5.79$
眉 围	0.8215	2	0.4108	3.1038	5	0.6208	0.66<1	$F_{0.01}^{(2;5)} = 13.27$
竹 材 产 量	21.116	2	10.558	30.400	5	6.080	1.74 ns	

3. 与配合施用 N、P、K 肥料效果的比较 据作者前期的研究^[2], 表明在与本试验大致相同的立地条件下, 施入 N、P、K 肥能使竹材产量增加 19%~59%。当配比为 N:P₂O₅:K₂O=1:0.6:0.4 时, 效果最佳。本项试验以此作为配合肥料施用于 2 个重复中, 与不施的作相同硅肥处理的另 2 个重复配对比较。t 检验的结果表明: 施用三要素肥料后, 竹林出笋数 ($t=6.282^{**}$)、退笋数 ($t=5.298^{**}$)、成竹数 ($t=3.968^*$) 和竹材产量 ($t=4.259^*$) 的提高具有极显著或显

著的效果，而对竹眉围和退笋率的影响不显著。说明 N、P、K 对竹林的增产是以出笋、成竹数量的增加为主要形式实现的。

四、小结与讨论

(一) 在有效硅含量较低的毛竹林土壤上，施用硅肥能较大幅度地提高表土有效硅的含量，当施用量为 625 kg/ha 时增加幅度即可达本底值的 44%。施硅后，由于毛竹功能叶片的被动奢侈吸收，使竹叶全硅的增量比自然累积增量多出 1.58(嫩叶)和 0.44(老叶)个百分点(施硅肥 1 250 kg/ha 后半年)。N、P、K 三要素肥料在竹林中施用具有稳定的增产效果，在一般施用量时就会有较大的增产能力。

(二) 在本试验的中低产毛竹林中施用硅肥，对春笋、成竹等竹林生长指标均无显著的效应。表明在有效硅含量类同或高于本试验的土壤中，施用硅肥没有增产效果。该结论与杨士德(1982)的对比试验结果(硅肥品种为普通水泥)^[6]不同，区别所在，值得进一步探讨。对竹株功能叶片的硅素营养进行的 DRIS 诊断，较为精确地提示了中低产竹林施硅无效的原因：竹林处于低水平的营养平衡时，硅素的丰缺状况受 N、P、K 的制约；而较高水平的营养平衡时，硅的丰缺则可能会对毛竹生长产生较显著的影响。说明只有在生产经营水平(特别是 N、P、K 肥料的施用量)达到较高的程度后，才可能需要施硅于竹林。

若在我国广大的竹区存在有效硅含量更低的土壤，并且竹林为丰产林分，经营技术集约，则其竹株体内营养元素的平衡状态特别是硅的 DRIS 指数值将比表 3 的要低，甚至会转化为负值，这时在竹林中施用硅肥就有望获得增产。这一推论尚需在适当的条件下继续试验，方可确证。

参 考 文 献

- [1] 胡炳堂等, 1987, 毛竹土壤有效硅的初步研究, 亚热带林业科技, 15(2):136.
- [2] 洪顺山, 1987, 毛竹配方施肥研究初报, 竹子研究汇刊, 6(1):35.
- [3] 洪顺山等, 1989, 毛竹营养诊断的研究, 林业科学研究, 2(1):15.
- [4] 傅懋毅等, 1988, 不同用途毛竹林的施肥研究, 林业科学研究, 1(5):541.
- [5] 臧惠林, 1987, 钢渣在我国南方土壤施用效果的初步研究, 土壤, 19(6):299.
- [6] 杨士德, 1982, 毛竹林增施硅酸肥效果显著, 竹类研究, 1(1):76.
- [7] Koichiro Ueda, 1960, Studies on the physiology of bamboo with reference to practical application, Resources Bureau Reference Data, 34:103.
- [8] Beaufrils, E. R. et al., 1976, Application of the DRIS approach in calibrating soil and plant parameters for sugarcane, Proc. South African Sugar Tech. Assoc., 50:118.

EFFECT OF SILICON FERTILIZATION ON MAO BAMBOO STANDS

Hu Bingtang Hong Shunshan

(The Research Institute of Subtropical Forestry CAF)

Abstract Silicon fertilizer application was studied with bamboo (*Phyllostachys pubescens*) stands of mid-low yield on the rhyolite weathing crust soil which has lower available silicon content in Anji county, Zhejiang Province. Randomized complete block design (RCBD) was used in the field plan. The results of statistical analysis for 12 experimental plots are as follows: Applying silicon fertilizer to increase bamboo yields was ineffective despite of lower soil available silicon content (4.62 mg/100 g soil). Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) was used for evaluating nutrient status of Si for bamboo function leaves, it indicated that Si nutrient level was suitable in the midst of stands, even if bamboo stands may obtain higher yield for N, P and K fertilizer system. On the basis of realtical status of widespread bamboo natural range in China, applying silicon fertilizer is not necessary.

Key words Mao bamboo, Silicon fertilizer, soil available Silicon, silica nutrition, DRIS

全国第四次林业化学除草技术研讨会 在海南省召开 中国林学会化学除草研究会成立大会

中国林科院林研所和中国林学会科普部于1990年5月16~20日,在海南省农垦总局畅好农场召开了全国第四次林业化学除草技术研讨会和中国林学会造林学会化学除草研究会成立大会。来自全国各地科研、教学、生产单位和行政部门的70位代表济济一堂,畅谈了化学除草在“科技兴林”中的重要作用和突出成绩。会议共收到学术论文和实验报告41篇,有23位专家宣读了论文和报告,有19篇论文被评选为优秀论文。

中国林学会科普部副主任邱守华同志代表中国林学会宣布成立中国林学会造林学会化学除草研究会,并民主选举了委员、理事、理事长和副理事长。会上全体代表认真讨论,制定了研究会学术活动计划和章程(草案)。

这次会议是全国林业化学除草科技工作者代表们的一次团结的盛会,是一次化学除草现场会、经验交流会、技术研讨会。会议参观学习了畅好农场杉木幼林和胶园化学除草的现场和先进技术。这次会议开得很成功,达到了预期目的。

(中国林业科学研究院林业研究所 陈国海)