

红壤上施石灰对硼的有效性及油菜生长的影响*

徐俊祥 徐永福 唐永良

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

研究了两种盆栽红壤在不同石灰和硼水平下,对土壤有效硼和油菜生长的影响,并探讨了石灰对油菜钙、硼平衡和钼营养的影响。

红壤旱地上石灰和硼配合施用,对油菜和花生有显著的互作增产效应。本文在过去田间试验^[1,2]的基础上,进行了油菜盆栽试验,系统研究了红壤上不同石灰和硼用量下,对硼的有效性,及对油菜生长和硼、钙、钼营养的影响。

一、材料与方法

供盆栽试验的 2 种红壤均采自江西余江县刘家站垦殖场,基本理化性质列于表 1。土壤经晾干,粉碎过 2mm 筛后装盒(每盆装土 3 千克)。

表 1 供试土壤理化性质

土 壤	母 质	pH	有机质 (g/kg)	<0.001mm 粘粒 (%)	全 硼 (μg/g)	有效硼 (μg/g)
红壤 I	第三纪红砂岩	4.7	6.0	13.1	29.9	0.12
红壤 II	第四纪红色粘土	4.6	7.1	35.0	86.8	0.10

试验设计:红壤 I 设 4 个水平石灰用量,红壤 II 设 5 个水平,同一水平石灰用量下又设 3 个水平的硼用量,二个土壤各设无石灰和无硼的处理,石灰及硼用量见表 2。红壤 I 共设 13 个处理,红壤 II 共设 16 个处理(表 3),每处理 3 次重复,共计 87 盆。所用的硼肥为四硼酸钠(含 B 110 克/千克)。土壤加入硼和石灰后 40 天播种,播种前,每千克土加 0.24 克磷酸二氢铵、0.32 克硝酸钾、0.37 克硝酸铵和 0.05 克硫酸镁。供试作物品种为“79601”甘兰型油菜,用去离子水灌溉,10 月 20 日播种,80 天后收获(全株)。收获植株用去离子水洗尽后于 60℃ 下烘干、称重、粉碎后待用。收获后还采集每处理的 3 次重复混合土样,风干,过 1 毫米孔筛,测定土壤的有效硼(HWS-B)、pH^[3],水溶性钼(土水比 1:10,25℃ 振荡 8 小时),并进行土壤硼的分

* 本工作在刘铮研究员指导下进行。

表2 各处理的石灰及硼用量

石灰用量			硼用量		
处理代号	g/kg土	kg/亩	处理代号	硼 $\mu\text{g/g}$ 土	硼砂 kg/亩
L ₀	0	0	B ₀	0	0
L ₁	0.6	90	B ₁	0.1	0.14
L ₂	1.2	180	B ₂	0.5	0.68
L ₃	2.4	360	B ₃	1.0	1.36
L ₄	4.8	720	—	—	—

级测定^[4]；植物及土壤中硼和钼的测定分别用甲亚铵分光光度法^[5]和催化极谱法^[3]，用EDTA容量法^[3]测定植株中的钙含量。

二、结果与讨论

(一)石灰和硼对油菜干重的影响

表3表明，两种红壤在等硼用量下，当石灰用量在2.4克/千克(L₃)以下时，随石灰用量增加，油菜干重增加0.8—3.8倍，而不施石灰时，施硼与不施硼(B₀L₀)比较，干重增加0.3—1.8倍，但不显著；而等量石灰用量下，随硼用量的增加对干重的影响也不显著。硼与石灰配合施用的各处理与B₀L₀比较，油菜全株干重增加2.5—7.5倍，均达显著水准，由此证明了硼和石灰在红壤上对油菜干重有显著的互作正效应。

表3还表明，在3种等硼用量下，不同石灰用量均以L₂或L₃处理的干重最高，但当石灰用量增至L₄时(红壤Ⅱ)，油菜干重显著降低，因此在相宜的土壤条件下，石灰用量以不超过

表3 石灰和硼用量对油菜全株干重的影响

处 理	红壤Ⅰ		红壤Ⅱ	
	干重 ¹⁾ (g/盆)	5%显著 性**	干重 (g/盆)	5%显著性
B ₀ L ₀	0.49	d	0.59	g
B ₁ L ₀	0.95	cd	1.01	efg
B ₁ L ₁	1.91	b	2.16	de
B ₁ L ₂	3.89	a	3.25	bc
B ₁ L ₃	3.92	a	4.39	ab
B ₁ L ₄			1.30	defg
B ₂ L ₀	1.01	cd	1.68	defg
B ₂ L ₁	1.80	b	2.65	de
B ₂ L ₂	3.81	a	3.26	bc
B ₂ L ₃	3.97	a	5.03	a
B ₂ L ₄			1.30	defg
B ₃ L ₀	0.82 ²⁾	cd	0.78	fg
B ₃ L ₁	1.53 ²⁾	bc	3.40	bc
B ₃ L ₂	3.62	a	3.71	b
B ₃ L ₃	3.91	a	3.34	bc
B ₃ L ₄			1.82	def

注：1)各处理油菜全株干重3次重复的平均值；2)油菜叶片出现硼中毒症状；**邓肯法显著性检验。

1.2克/千克为宜。

油菜出苗约30天后，红壤Ⅰ在高硼用量下(B₃)，不施或施少量石灰的，油菜叶片出现硼中毒症状，说明酸性砂质红壤上施用1.0微克/克土的硼已显过量，而当石灰用量增大到1.2克/千克(B₂L₂)时，中毒症状即行消失，表明增加石灰用量，提高土壤pH可有效的消除酸性土壤上的硼中毒现象^[6]。

(二)施石灰对油菜硼营养的影响

土壤有效硼(HWS-B)和油菜全株硼含量列于表4。如表4所示，在加入等量硼的情况下，砂质红壤Ⅰ的有效硼含量大于粘质红壤Ⅱ，当石灰用量为1.2克/千克时，红壤ⅠpH为5.7，红壤Ⅱ为5.4。在该石灰用量下，要达到土壤有效硼含量0.5微克/克左右时，硼的加入量在红壤Ⅰ应为0.5微克/克，红壤Ⅱ应为1.0微克/克，这时的油菜植株含硼量在38.6和32.1微克/克，属正常的含硼值。

表 4 石灰和硼用量对油菜硼、钙营养的影响

处 理 代 号	红 壤 I					红 壤 II				
	植 株			土 壤		植 株			土 壤	
	B($\mu\text{g/g}$)	Ca(mg/g)	Ca/B ¹⁾	HWS-B ($\mu\text{g/g}$)	pH	B($\mu\text{g/g}$)	Ca(mg/g)	Ca/B	HWS-B ($\mu\text{g/g}$)	pH
B ₀ L ₀	16.8h ²⁾	24defg	246a	0.12	4.7	13.0g	19e	259c	0.10	4.6
B ₁ L ₀	27.6f	23dfg	150d	0.24	4.7	16.2f	16f	177de	0.11	4.6
B ₁ L ₁	29.5f	22fg	136de	0.19	5.1	19.1e	20de	191d	0.11	4.9
B ₁ L ₂	29.1f	28bc	173c	0.18	5.7	16.4f	24bc	261c	0.11	5.4
B ₁ L ₃	27.0f	34a	229ab	0.12	7.2	13.0g	29a	395b	0.10	6.5
B ₁ L ₄	—	—	—	—	—	10.9g	30a	500a	0.10	7.9
B ₂ L ₀	39.1de	21g	98f	0.44	4.7	26.5cd	16f	111gh	0.29	4.6
B ₂ L ₁	37.9e	27cde	124e	0.63	5.1	31.1b	21de	125fg	0.24	4.9
B ₂ L ₂	38.6de	29bc	137de	0.44	5.7	31.9b	25bc	140ef	0.26	5.4
B ₂ L ₃	39.7de	32ab	146de	0.28	7.2	25.0d	26b	185d	0.17	6.5
B ₂ L ₄	—	—	—	—	—	21.0e	30a	256c	0.12	7.9
B ₃ L ₀	62.0a	17h	49g	0.77 ³⁾	4.7	28.4c	16f	99h	0.55	4.6
B ₃ L ₁	55.7b	27cde	89f	0.84 ³⁾	5.1	34.9a	21de	108gh	0.58	4.9
B ₃ L ₂	47.5c	29bc	111ef	0.84	5.7	32.1ab	22cd	126fg	0.48	5.4
B ₃ L ₃	40.7de	34a	150d	0.51	7.2	31.6b	29a	156e	0.39	6.5
B ₃ L ₄	—	—	—	—	—	27.7c	29a	189d	0.19	7.9

注:1)为 Ca、B 当量之比;2)邓肯法检验 5%显著性差异,下表均同;3)该处理油菜叶片出现硼中毒症状。

将两种红壤施用石灰的 pH 值和该 pH 值下 3 个硼水平的土壤有效硼含量(平均值)作直线回归分析,它们的相关系数分别为红壤 I, $r = -0.8863^*$ ($n=4$),红壤 II, $r = -0.9994^*$ ($n=5$),土壤有效硼与土壤 pH 呈显著的直线负相关,即随 pH 升高,土壤有效硼含量下降。而在不同的 pH 值时,对土壤有效硼和油菜植株硼含量的影响是不同的。当 pH 提高到 5.1 或 4.9 (L_1)时,土壤有效硼含量在 6 个处理中有 3 个增加,植株硼含量有 4 个处理增加,说明红壤加少量石灰,对土壤硼的有效性或作物的硼吸收量多有增加的趋势;而当土壤 pH 上升至 5.7 或 5.4 (L_2)以上时,上述硼含量均随石灰用量的提高(pH 值的增加)而下降,二种土壤 pH 升高至 6.5 或 7.2 (L_3)时的土壤有效硼含量与 L_1 比较,红壤 I 平均减少 44%,红壤 II 减少 24%。同样植株硼含量也分别减少 13%和 20%。红壤 II 当 pH 上升到 7.9 (B_3L_4)时,土壤有效硼从 B_3L_1 的 0.58 微克/克下降至 0.19 微克/克,已低于 0.25 微克/克严重缺硼的临界含量。如前所述,当土壤 pH 既大于 5.5 又处于高硼的情况下,土壤 pH 与土壤有效硼及植株间则显示负相关关系,反之,变化呈无规律态。也有报道^[6]表明,当土壤 pH>6.5,这种负相关才存在,红壤施用石灰,土壤 pH 值对上述硼含量的影响要低于此 pH 值。依据以上规律,红壤上施用石灰宜将 pH 调节至 5.5,而不超过 6.5。

(三)红壤中硼的分级形态和施用石灰的关系

表 5 土壤各形态硼的分配率

土 壤	CaCl ₂ -B		甘露醇-B		NHOX-B(黑)		NHOX-B(紫)		残硼	
	$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%
红壤 I	0.05	0.17	0.05	0.17	3.23	10.8	3.72	12.4	22.8	76.4
红壤 II	0.06	0.07	0.07	0.08	3.71	4.27	8.56	9.85	74.4	85.8

由表 1 可知,供试土壤有效硼含量很低,2 种土壤分别占全硼的 0.40%和 0.13%。对土壤硼的分级测定表明(表 5),水溶及非专性吸附的硼($\text{CaCl}_2\text{-B}$)与专性吸附的硼(甘露醇-B)之和,占红壤 I 全硼为 0.34%,红壤 II 为 0.15%,通常认为,它们是作物可吸收利用的。铁锰氧化物非结晶(NH_4OX 黑-B)与结晶(NH_4OX 紫-B)物中的硼在二个土壤上分别占 23.2%和 14.1%,硅酸盐物中的硼(残硼)分别占 76.4%和 85.7%,此 3 级硼之和分别占全硼的 99.7%和 99.8%,与我国红壤中酸溶态和酸不溶态硼之和的分配状况相似^[6]。

供试土壤各形态硼含量及有效硼(HWS-B)与油菜植株中的硼含量的相关系数 r 值列于表 6。表 6 表明,只有 $\text{CaCl}_2\text{-B}$ 和甘露醇-B 像 HWS-B 一样,有极显著的线性相关,而与其他形态的硼相关不大,证实前者为作物可吸收利用,而后者对作物是无效的^[4]。

表 6 土壤各形态硼(x)与油菜植株硼(y)含量间的相关系数 r 值

形 态	红 壤 I (n=13)	红 壤 II (n=16)
$\text{CaCl}_2\text{-B}$	0.8827**	0.7974** ¹⁾
甘露醇-B	0.7541**	0.7822** ¹⁾
NH_4OX (黑)-B	0.2873	0.1282
NH_4OX (紫)-B	0.2548	0.0187
残 硼	0.2172	0.2338
HWS-B	0.8921**	0.8960** ¹⁾

注: 1) 相关方程为 $y=a+b\log x$,其余均为 $y=a+bx$

表 7 资料显示了土壤 pH 对 $\text{CaCl}_2\text{-B}$ 及甘露醇-B 的影响,它们相互呈负相关,其中红壤 II 相关达显著和极显著水准。特别是当石灰用量增至 2.4 克/千克时,上述硼含量下降幅度更大。红壤施用石灰后,红壤中大量的铝离子和羟基铝被钙离子所代换,并形成氢氧化铝沉淀,它们能吸附固定土壤中的可溶硼^[6]。

表 7 土壤 pH 对两种形态硼含量的影响¹⁾

石灰用量代号	红 壤 I			红 壤 II		
	pH	$\text{CaCl}_2\text{-B}$ ($\mu\text{g/g}$)	甘露醇-B ($\mu\text{g/g}$)	pH	$\text{CaCl}_2\text{-B}$ ($\mu\text{g/g}$)	甘露醇-B ($\mu\text{g/g}$)
L_0	4.7	0.21	0.24	4.6	0.14	0.29
L_1	5.1	0.22	0.32	4.9	0.13	0.19
L_2	5.7	0.23	0.30	5.4	0.12	0.14
L_3	7.2	0.16	0.15	6.5	0.09	0.13
L_4				7.9	0.07	0.11
pH 与硼含量的 相关系数 r 值		-0.7968	-0.7239		-0.9856**	-0.8167*

注: 1) 等量石灰下 B_1, B_2, B_3 处理含量平均值。

(四)石灰对油菜钙硼平衡的影响

酸性土壤施用石灰后的缺硼现象,不仅因土壤 pH 的提高降低了土壤有效硼含量,而且因作物体内钙离子的增加而影响了钙与硼的平衡,钙硼平衡常用 Ca/B 值(当量之比,下同)表示,作物不同, Ca/B 值不同^[6]。正常油菜叶片的 Ca/B 值尚未见报道,我们的研究结果表明^[2],在田间试验的条件下,油菜叶片 Ca/B 值在 100 左右,与甜菜叶片相似。如前所述,两种土壤的 B_0L_0 处理的 Ca/B 值分别为 246 和 259,这显然与缺硼有关。在同一硼水平下,随石灰用量的增加因植株钙含量增加而使 Ca/B 值升高,最高的为红壤 II 的 B_1L_4 处理达 500,同一水平石灰用量下,随硼用量的增加因植株硼含量的升高 Ca/B 值降低,最低的为红壤 I 的 B_3L_0 , Ca/B 值仅 49(出现硼中毒症状)。

在石灰用量 1.2 克/千克(L_2)条件下,硼用量红壤 I 为 0.5 微克/克(B_2),红壤 II 为 1.0 微

克/克(B₃)时,油菜全株 Ca/B 值,红壤 I 为 137,红壤 II 为 126(表 4),比田间正常的油菜叶片的 Ca/B 值要高,可能是植株部位间的差异所致。严重缺硼或石灰施用过量的红壤,Ca/B 值往往很高,通常通过施硼或加大硼用量来纠正。相反硼中毒的土壤,可通过大量施用石灰加以纠正。在本试验条件下,红壤 I 出现过硼中毒症状,当石灰用量加大至 1.2 克/千克(pH5.7)时,油菜植株钙含量增加 7%,植株硼含量减少 15%,这时 Ca/B 值由 89 上升至 111,硼中毒症状也随之消失。所以在红壤上施用石灰和硼时,应注意钙硼之间的平衡。

(五)施石灰对油菜铝营养的影响

表 8 pH 对土壤水溶铝和油菜植株含铝量的影响

代 号	红 壤 I			红 壤 II		
	pH	土壤水溶 Mo	植株 Mo	pH	土壤水溶 Mo	植株 Mo
L ₀	4.7	0.007	0.08	4.6	0.009	0.16
L ₁	5.1	0.007	0.11	4.9	0.011	0.16
L ₂	5.7	0.009	0.18	5.4	0.012	0.15
L ₃	7.2	0.010	0.68	6.5	0.017	0.26
L ₄	—	—	—	7.9	0.022	0.59
5%L. S. D		0	0.079		0.0019	0.086

表 9 土壤 pH、水溶铝与油菜植株铝含量间相关性(r 值)

相 关 因 子	红 壤 I (n=13)	红 壤 II (n=16)
土壤 pH→土壤水溶铝	0.9493**	0.9786**
土壤 pH→植株铝	0.9283**	0.9165**
土壤水溶铝→植株铝	0.8714**	0.9077**

盆栽试验中,土壤水溶态铝和植株含铝量均随石灰用量的增加,pH 值的提高而增加(表 8)。它们之间并有很好的直线正相关(表 9)。如表 8 所示,当二种土壤 pH 为 7.2 和 6.5 时(L₃),土壤水溶铝,油菜植株铝含量,在红壤 I 上分别增加 0.43 和 7.5 倍,红壤 II 增加 89%和 63%,而 pH5.5 左右时(L₂),增加幅度很小,红壤 II 植株铝含量甚至未增加,故有人提议,在酸性土壤上施用石灰,pH 小于 6.5 时,仍需补充铝^[6]。

三、小 结

油菜盆栽试验表明,施入红壤中的硼,当施用石灰使 pH 大于 5.5 时,随石灰用量增加,pH 提高,土壤有效硼和油菜植株硼含量减少。缺硼或石灰用量高的油菜,Ca/B 值高,通过施硼或加大硼用量纠正而获得营养平衡的 Ca/B 值。建议红壤上的石灰用量以使土壤 pH 在 5.5—6.5 间为宜,硼的用量,在砂质土上硼砂为 0.7 千克/亩(B 0.5 微克/克),粘质土 1.4 千克/亩(B 1.0 微克/克)。若加工成含硼复合肥后集中施用,上述硼用量可减少,红壤施石灰当土壤 pH 低于 6.5 时,土壤中铝的有效性虽提高,但对需铝高的作物供应仍不足。

参 考 文 献

[1] 中国科学院红壤生态实验站,红壤生态系统研究,第一集,科学出版社,135—140 页,1992。
[2] 徐俊祥、唐永良、徐永福,红壤施用石灰和硼对油菜的增产效应及钙硼平衡,土壤学报,31(1): 109—112,1994。
[3] 中国土壤学会农业化学专业委员会,土壤农业化学常规分析方法,科学出版社,154—162,279—282,297—298,1983。
[4] Jin—Yun Jin, D. C. Martens and L. W. Zelazny, Soil. Sci. Soc. AM. J. Vol. 51, 1228—1231, 1987.
[5] Jouko Sippola and Raimo Erviö, Finn. Chem Lett. 138—140, 1977.
[6] 刘铮,微量元素的农业化学,农业出版社,108—132 页,1991。