

玉米锌肥有效施用条件研究

袁震林 任军 张淑芬 杨金

刘亚琴 仲伟荣 王成芳 李楠

(吉林省农科院土肥所)

(吉林农业大学土化系)

摘 要

本文指出了玉米缺锌土壤临界值为0.8PPm; 土壤pH>7.2、石灰含量>3.9%、砂粒含量>40%、代换量<15me/100克土、有机质含量<2%、土壤有效锌含量低于缺锌临界值0.8PPm施锌有效; 高磷引起与加重玉米缺锌是由于稀释作用, 降低土壤锌有效性, 影响锌在植物体内运转等多方面作用而引起的。吉单101、四单8等玉米品种对缺锌最为敏感, 施锌效果显著。锌肥是一种低毒微量元素肥料, 一次施硫酸锌不超过20公斤/亩, 就不会引起土壤与粮食的污染。

一、土壤供锌能力与锌肥效应的关系

(一) 土壤缺锌临界值

土壤供锌能力的大小是决定锌肥有效无效的关键^[1、2]。为了明确土壤缺锌临界值, 我们以玉米(吉单101、四单8)为指示作物, 在田间试验条件下研究土壤供锌能力与锌肥效应的关系式如下:

$$\hat{y} = 96.93 / e^{0.015/x} \quad r = 0.33 \quad n = 41$$

〔 \hat{y} —相对产量(%), x —土壤有效锌(DTPA提取)含量ppm〕。根据这个方程计算出相对产量为95%时, 土壤有效锌含量 $x = 0.8$ ppm, 为土壤缺锌临界值。这个值与Lindsay近期提出的临界值是一致的, 比国内外常用的0.5ppm及张乃凤在山东提出的0.6ppm、孙祖炎^[3]在河北提出的0.64ppm均高, 这可能与我省推广使用的玉米品种吉单101、四单8对缺锌特别敏感有关(见表6)。

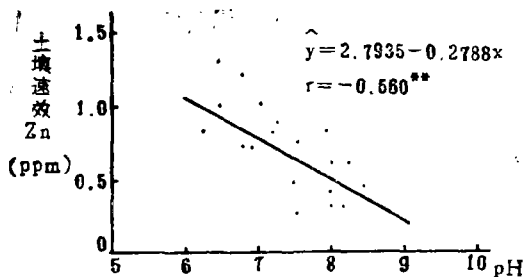
(二) 土壤供锌能力与锌肥效应的关系

据60个田间试验资料分析, 47个土壤有效锌含量<0.8ppm地块, 施锌增产5%以上的有38个, 占80.9%, 平均增产16.4%; 13个土壤有效锌含量>0.8ppm地块, 施锌增产5%以上的只有5个, 占38.5%, 效果不稳定, 说明上述土壤缺锌临界值是适用的。

(三) 土壤环境条件与土壤有效锌含量的关系

1. 土壤pH与土壤有效锌的关系

土壤pH是决定土壤锌的形态、有效性大小的重要因素。70个土壤pH与土壤有效锌含量的相关分析结果表明, 土壤pH在6.4—8.6间, 二者呈极显著的线性负相关(图1),



$$\hat{y} = 2.7935 - 0.2788x, \quad r = -0.560^{**}$$

(\hat{y} —土壤有效锌含量ppm, x —土壤pH),

令 $y = 0.8\text{ppm}$, 则 $x = 7.2$, 即当 $\text{pH} > 7.2$ 时, 土壤有效锌含量低于缺锌临界值 0.8ppm , 可作为施锌的参考指标。

2. 土壤中 CaCO_3 含量与土壤有效锌关系

土壤 CaCO_3 含量对土壤锌有效性影响亦很大。22个含 CaCO_3 土壤相关分析结果表明, 二者呈极显著的线性负相关, $\hat{y} = 2.107 - 0.337x$, $r = -0.559^{**}$ (图2), (\hat{y} —土壤有效锌含量ppm, x — $\text{CaCO}_3\%$)。令 $y = 0.8\text{ppm}$, 则 $x = 3.9\%$, 即当 $\text{CaCO}_3 > 3.9\%$ 时, 土壤有效锌含量低于缺锌临界值 0.8ppm , 此值亦可作为施锌的参考指标。

3. 土壤机械组成与土壤有效锌的关系

55个样本土壤机械组成与土壤有效锌含量的相关分析结果表明, 土壤有效锌含量与砂粒 ($>0.05\text{mm}$) 含量呈极显著的线性负相关, $\hat{y} = 3.33 - 0.0668x$, $r = -0.567^{**}$; 与粘粒含量呈极显著的线性正相关, $\hat{y} = 0.252x - 4.403$, $r = 0.456^{**}$ 。

根据上式计算出土壤砂粒含量 $>40\%$, 土壤有效锌含量低于缺锌临界值 0.8ppm , 此值亦可作为施用锌肥的参考指标 (图3、4)。

图1 土壤pH与土壤有效锌含量的关系

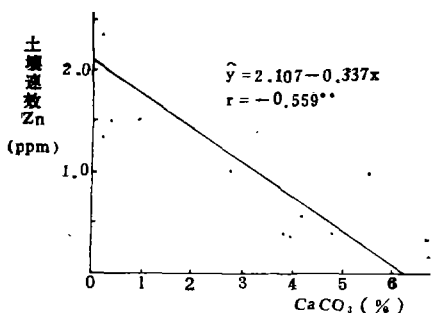


图2 土壤 CaCO_3 含量与土壤有效锌的关系

根据上式计算出土壤砂粒含量 $>40\%$, 土壤有效锌含量低于缺锌临界值 0.8ppm , 此值亦可作为施用锌肥的参考指标 (图3、4)。

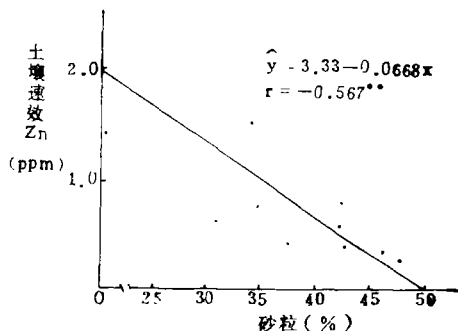
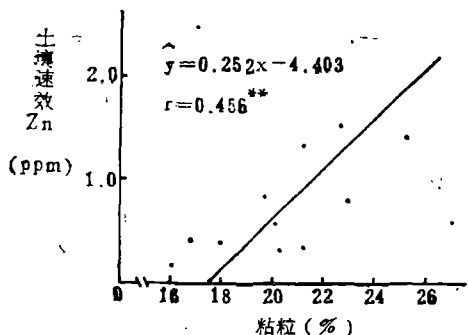


图3、图4 土壤机械组成与土壤有效锌含量的关系

4. 土壤代换量与土壤有效锌的关系

20个样本相关分析结果表明, 土壤代换量与土壤有效锌含量呈显著的线性正相关, $\hat{y} = 0.386x - 6.656$, $r = 0.464^*$ (\hat{y} —土壤有效锌, x —土壤代换量), 由上式计算出

土壤代换量 < 15 me / 100 克土，土壤有效锌含量低于缺锌临界值 0.8 ppm。

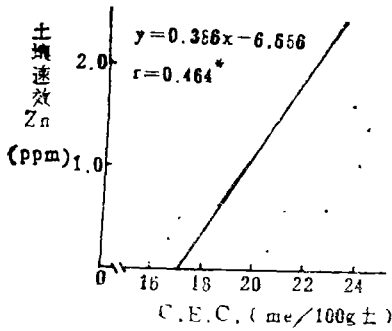


图 5 土壤代换量与土壤有效锌含量的关系

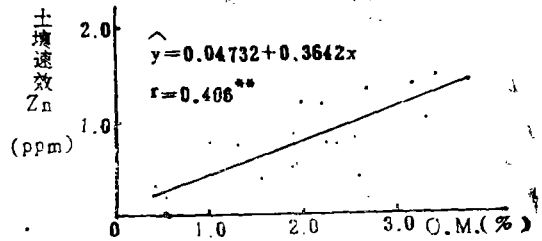


图 6 土壤有机质含量与有效锌的关系

5. 土壤有机质含量及其组成与土壤有效锌的关系

53 个样本分析结果表明，土壤有机质含量与土壤有效锌含量呈极显著的线性正相关， $\hat{y} = 0.04732 + 0.3642x$ ， $r = 0.406^{**}$ (\hat{y} —土壤有效锌 ppm， x —有机质 %)，令 $\hat{y} = 0.8 \text{ ppm}$ ，则 $x = 2\%$ ，即当土壤有机质含量 < 2% 时，土壤有效锌含量低于缺锌临界值 0.8 ppm。但是，土壤有效锌含量与有机质中胡敏酸的含量却呈极显著的线性负相关， $\hat{y} = 2.9177 - 4.2248x$ ， $r = -0.9508^{**}$ ，并且看到施用有机肥没有缓和土壤缺锌^[6]，玉米花白苗反而加重了。所以施用有机肥是否能增加土壤有效锌问题，有待研究。

二、磷、锌关系

(一) 土壤中磷、锌关系

早期的研究认为高磷引起与加重作物缺锌是由于磷和锌生成了 $Zn_3(PO_4)_2$ 沉淀，直到 Loneragan (1968) 等指出磷酸锌对某些作物是一种很好的锌源，并通过试验证明 $Zn_3(PO_4)_2$ 的解离常数不会引起锌的缺乏后，关于磷酸锌沉淀的说法似乎已被否定，但到目前仍有些报道施磷降低了土壤锌的活性^[3,7]，土壤中 DTPA 提取的锌明显的减少。我们的试验也取得了同样的结果 (如表 1)，在不施锌条件下降低 26% 左右，在施锌 25 ppm 条件下降低 6.5—8.9%，说明施磷对土壤中锌的活性确实有一定影响，但这种影响不是引起缺锌的根本原因。

表 1 不同剂量磷肥对土壤有效锌含量的影响

P ₂ O ₅ (ppm)	Zn (ppm)	土 壤	1982年		1983年		1986年	
			Zn (ppm)	± (%)	Zn (ppm)	± (%)	Zn (ppm)	± (%)
0	0	碳酸盐黑钙土	1.68		1.10			
100			1.25	-25.6	0.60	-36.4		
200			1.23	-26.8	0.60	-36.4		
0	25	淡黑钙土 (砂粒管 试验)					9.58	
100							8.95	-6.5*
200							8.72	-8.9**

(二) 植物体内的磷、锌关系

1. 施磷促进玉米的生育, 锌在植物体内被稀释

从表2可见, 磷、锌并非完全是拮抗作用, 适量磷肥不仅促进了玉米的生育, 同时也促进了对锌的吸收, 施磷25、50、100ppm处理, ^{65}Zn 吸收量分别增加53.7%、58.4%、97.0%; 施磷量增加到200ppm时, 则显著的抑制了锌的吸收, 仅有100ppm处理的58.4%。从玉米干物质和锌的积累速度来看, 前者积累速度远远大于后者, 故所有施磷处理地上部茎叶中 ^{65}Zn 浓度均比无磷处理的减少了, 特别是高磷处理区, 由于干物质积累速度比锌积累速度大50%, 植株体内的锌浓度减少三分之一以上。由此可见, 高磷引起与加重玉米缺锌主要是因为稀释作用而引起的, 这个结论与Olsen (1972)、彭琳^[4] (1980) 的报道是一致的。

表2 不同剂量磷肥对 ^{65}Zn 积累与植株体内 ^{65}Zn 浓度的影响 (玉米, 每盆)

P ₂ O ₅ (ppm)	干物重(g)		干物质增加(%)		吸收 ^{65}Zn 总量(mg)		^{65}Zn 增加(%)		^{65}Zn 浓度(ppm)		占 ^{65}Zn 总量(%)	
	总量	茎叶	总量	茎叶	总量	茎叶	总量	茎叶	茎叶	增减(%)	根	茎叶
0	52.2	29.5			0.430	0.213			7.22		50.5	49.5
25	62.0	34.6	18.8	17.3	6.661	0.230	53.7	8.0	6.65	-7.0	69.2	34.8
50	68.2	38.0	30.7	28.8	0.681*	0.248	58.4	16.4	6.60	-10.0	63.6	36.4
100	78.7	42.9	50.8	45.5	0.847*	0.306	97.0	43.7	7.13	-1.2	63.9	36.1
200	71.3	44.3	36.6	50.2	0.496	0.209	16.8	-1.9	4.71	-34.8	57.7	42.3

2. 施磷抑制了根中的锌向地上部运转

从表2还可以看到, 由于磷肥的施用, 被固结在根中的 ^{65}Zn 增加了7.2—14.7%, 也就是说由根中向茎、叶转移的锌量减少7.2—14.7%。为了进一步验证磷对锌运转的影响, 我们还用 ^{65}Zn 作了涂叶试验, 磷、锌混涂或在一个叶片的下部先涂磷、上部涂 ^{65}Zn , 24小时后测定向其他部位输出的 ^{65}Zn 比磷减少29%, 说明磷对锌的运转是有一定抑制作用的。这个结论与Dwivedi^[5] (1976) 报道是一致的。

3. 植物体内的磷、锌比值

从玉米植株全磷、全锌分析结果中看到, 二者之间存在着显著和极显著的线性负相关, 苗中 $\hat{y} = 162.1319 - 0.1918x$, $r = -0.6873^*$, $n = 9$; 根中 $\hat{y} = 422.8104 - 1.448x$, $r = -0.8516^*$, $n = 7$; 叶中 $\hat{y} = 52.778 - 0.0628x$, $r = -0.8839^{**}$, $n = 9$ (\hat{y} —全Zn ppm, x —全磷%), 因此, 施磷使植物体内P/Zn比值高达279—566, 比正常比值100以下, 高出2—4倍, 致使植株体内P/Zn比值失调, 影响作物正常生长发育而减产,

表3 施磷对玉米植株体内P/Zn比值的影响

处 理	1981年			1982年			1985年		
	P(%)	Zn(ppm)	P/Zn	P(%)	Zn(ppm)	P/Zn	P(%)	Zn(ppm)	P/Zn
P ₀ Zn ₀	0.266	50	53	0.147	20.0	73.5	6.47	59	74
P ₁₀₀	0.737	13	566	0.348	42.6	81.6	0.81	29	279
P ₁₀₀ Zn ₅	0.272	44	62	0.260	33.3	79.0	0.46	43	107

因此，磷、锌比值也是诊断作物缺锌的一个重要指标。

(三) 磷、锌配施的增产效果

22个田间试验，除黄岭子2个试验锌不增产外，其他20个试验最高产量均出现在磷、锌处理区，锌肥肥效随磷肥用量的增加而加大。亩施 P_2O_5 2、4、8公斤，分别增产15.5、23.2*、30.7*公斤/亩(*达5%显著水准)；在磷、锌处理中，磷肥增产47.4公斤/亩，比磷肥单独施用(增产39.6公斤)多增产7.8公斤/亩，提高磷肥肥效19.7% (见表4)。

表4 磷、锌配施增产效果 (单位: 亩、公斤)

年度	点数	CK	Zn1	P2	P2Zn1
1984	9	404.6±163.0	—	461.7±144.6	477.3±148.4
		148.8-613.1		254.4-641.1	263.2-658.1
1983	13	350.3±147.2	398.5±135.3	—	—
		161-561.2	157-623.0		

年度	P4	P4Zn1	P8	P8Zn1
1984	487.9±152.4	511.5±193.0	529.8±185.3	557.2±196.8
	253.1-710.8	301.4-733.0	286.0-781.4	318.5-810.9
1983	390±142.9	445.9±149.1	—	—
	170-673.9	203-695.0		

三、不同作物、不同品种与锌肥效应的关系

(一) 不同作物施锌的效果

不同作物对锌肥的反应差异很大(表5)，以玉米、水稻最为敏感，施锌效果最明

表5 锌肥在不同作物上的肥效

作物	试验点数	产量(公斤、亩)		增 产	
		CK	Zn	公斤/亩	%
玉米	9	482.4±101.5	522.5± 99.3	40.1*	9.2
		382.5-696.1	411.6-739.8		
高粱	9	329.8±62.7	359.5± 82.0	29.7*	9.1
		238.4-445.0	241.4-506.0		
水稻	14	428.7±65.7	462.6± 55.0	33.9*	8.6
		331.2-572.0	383-605.5		
大豆	3	96.7±31.8	110.4± 44.5	13.7	14.2
		76.7-133.3	134.4-161.7		
小麦	1	71.0	88.6	17.6	24.8
谷子	1	193.2	198.0	4.8	2.7

显，分别增产40.1、33.9公斤/亩，其次为高粱，增产29.7公斤/亩，再次为小麦、大豆，增产17.6与13.7公斤/亩，在谷子上的效果不明显，只增产4.8公斤/亩。

(二) 玉米不同品种对锌肥的反应

玉米不同品种由于遗传基因不同，对锌肥的反应差异亦很大，从表6可见，我省主推的玉米品种，四单8、吉单101对缺锌最为敏感，花白苗发生率高达24—40%，施锌增产8.3—25.5%。其次是铁单4、丹玉13，花白苗发生率4.8—17.5%，施锌增产8.3—11.3%。吉单118、中单2抗缺锌性能较强，施锌效果不明显。

表6 玉米不同品种施锌效果

地 点	项 目	品 种	四单8	吉单101	吉单118	中单2	铁单4	丹玉13
			花白苗 (%)	CK	24.0	24.0	1.3	3.8
	Zn	3.8	4.0	0	0.3	0.3	0.3	0.3
长岭县流水乡	产 量 (公斤/亩)	CK	250.0	271.3	263.5	315.2		321.0
		Zn	312.8	316.7	293.5	330.3		347.7
	锌 肥 增 产 (公斤/亩) (%)	公斤/亩	62.8**	45.4*	30.0	15.1		26.7*
	(%)	(%)	25.5	16.4	11.4	4.8		8.3
前郭县查干花乡	花白苗 (%)	CK	40.0	40.0	0	0	17.5	
		Zn	0	0	0	0	0	
	产 量 (公斤/亩)	CK	634.5	631.0	711.0	685.0	618.0	
Zn		687.0	692.0	735.0	695.5	688.0		
锌 肥 增 产 (公斤/亩) (%)	公斤/亩	52.5	61.0*	24.0	20.5	70.0*		
	(%)	(%)	8.3	8.8	3.4	1.5	11.3	

玉米不同自交系对缺锌反应差异亦很大，以门14系(门14、门14^{Ht}、系14)最为敏感，出现明显的缺锌症状。其次是B系(B70、B73、B76)、A632、吉813等，出现了轻微的缺锌症状。再次是Mo17、吉63、吉70等未发现缺锌症状。由此可见，选育抗缺锌品种，可能是解决作物缺锌最经济有效的办法。

四、锌肥的固定与后效

(一) 锌肥的固定率

盆栽装土13公斤，施硫酸锌325、650、975mg。第1年固定率为65—88%，第2年为86—92%，之后趋于稳定；在无苗培养休闲土壤上第1年固定率为66%，第2年为74.8%，第3年为85.3%，说明锌肥做基肥、口肥施用至少应有2—3年后效。

(二) 锌肥的后效

锌肥作基肥或口肥施用，每亩1公斤，后效第1年平均增产9%，第2年增产5%；在盆栽条件下，第1年增加生物学产量84%，第2年增加生物学产量56.8%，第3

年增加子实产量8.1% (见表7)。因此, 锌肥作基肥或口肥施用, 可隔2—3年施1次。

表7 锌肥作基或口肥施用时的后效* (单位: 亩、公斤)

地 点	第 1 年			第 2 年			第 3 年			第 4 年		
	CK	Zn	%	CK	Zn	%	CK	Zn	%	CK	Zn	%
公主岭市大岭	275.0	490.0	3.2	632.3	683.7	8.1						
前郭县查干花	244.5	263.5	7.8*	434.0	437.5	0.8						
长岭县流水	244.6	263.5	16.0*	289.0	304.1	5.2						
盆 裁	2.5克	4.6克	84.0	4.4克	6.9克	56.8	72.8克	78.7克	8.1	80.4克	87.2克	-2.3

* 盆栽试验第1、2年为生物学产量, 3、4年为子实产量。

五、锌中毒与污染问题

锌是一种低毒微量营养元素, 土壤中的锌一般很难达到中毒污染水平, Barnette⁸⁰报道玉米锌中毒为400ppm土壤代换锌, Gall⁸⁹报道为每公顷700磅硫酸锌(相当于每亩21公斤硫酸锌)。我们在淡黑钙土上的试验结果界于二者之间, 施锌40ppm(每亩硫酸锌32公斤)以下, 玉米生育正常, 施锌80ppm, 对玉米生育开始出现抑制作用, 生物学产量减少

表8 锌肥不同用量对玉米生育的影响

施 锌 量 (ppm)	干 物 重		含 锌 量 (ppm)	中 毒 程 度
	克/盆	增加 (%)		
0	0.27		20.1	生育正常
5	0.33	22.2	44.1	生育正常
10	0.34	25.9	73.6	生育正常
20	0.33	22.2	94.7	生育正常
40	0.29	7.4	131.7	生育正常
80	0.23	-14.8	216.8	未见明显症状
160	0.20	-25.9	238.7	整个叶片开始失绿, 变为淡黄白色
320	0.17	-37.0	262.6	整个叶片开始失绿, 变为淡黄白色
640	0.18	-33.3	427.9	整个叶片开始失绿, 变为淡黄白色

每盆装土0.5公斤, 种4株玉米, 生育15天扣盆测定结果

表9 施锌对粮食含锌量的影响 (单位: ppm)

作 物	CK	施 锌 肥 1 年		连续施锌2年	连续施锌3年
		1公斤/亩	3公斤/亩	1+1公斤/亩	1+1+1公斤/亩
玉米吉单101	14.5	15.7	15.8	15.5	
玉米吉单101	16.3	16.0	16.7		
玉米吉单118	19.7	19.5			
玉米丹玉13	14.2	15.2			
大 豆	34.9				35.0

14.8%，施锌160ppm以上，出现明显的锌中毒症状，全部叶片为淡黄白色，生物学产量减少30%以上。从植株锌含量看，锌含量>200ppm时对玉米生育有抑制作用。超过250ppm时出现中毒症状（见表8）。

从施锌对粮食中锌含量来看（见表9），每亩施硫酸锌1公斤、3公斤与施硫酸锌1公斤，施2年、3年的，玉米、大豆子实中锌含量变化不大，由此可见，按目前施肥水平，根本不会出现锌中毒与污染问题。

六、锌肥有效施用条件

为便于该项成果的推广应用，我们将锌肥有效施用条件概括为“四看、一定”施肥法：

（一）四看

1. 看土壤pH、石灰含量：

土壤pH>7.2，CaCO₃含量>3.9%，施锌有效。

2. 看土壤砂粘粒与土壤肥力：

土壤砂粒含量>40%，有机质含量<2%，施锌有效。

3. 看磷肥用量：

亩施P₂O₅ 4公斤以上地块，配施锌肥效果明显。

4. 看作物品种与长相：

栽培对缺锌敏感的四单8、吉单101等玉米品种时要注意施锌，发现玉米新叶（半展开叶）基部失绿变白，要及时喷锌。

（二）一定

关键是土壤缺锌临界值，土壤有效锌含量低于0.8ppm，一定要施锌，施锌增产机率在80%以上。

参 考 文 献

〔1〕鲁如坤等：《主要作物营养失调症状图谱》，农业出版社，1932：95—97。

〔2〕J.J.莫尔维德等：《农业中的微量营养元素》，中国农科院土肥所译，农业出版社，1984，232—236页。

〔3〕杨金：石灰性土壤玉米施锌效应的初步研究，《土壤通报》，1933。

〔4〕彭琳：黄土的锌肥效和磷锌关系，《土壤学报》，17卷1，1930，62—67页。

〔5〕R.Suchi Dwivedi Phosphorus—Zinc interaction. I. Sites of immobilization of zinc in maize at a high level of Phosphorus. Plant and soil 43: 639—48, 1975.

〔6〕M.C.Saxena Differential susceptibility zinc deficiency in soybean varis lhdiau J.Agra 18: 431—435, 1973.

〔7〕杨秀等：诱发缺锌条件下水稻植株和土壤中磷和锌，《全国同位素示踪农业应用会议学术讨论会（昆明）资料》，1983。

〔8〕中国农科院情报所：《农牧情报研究》，1983年，2期，55—56页。

〔9〕孙祖炎：玉米缺锌诊断及防治技术，《河北农业科技》，1936年，5—7页。