

# 大麦磷锌相互关系的研究

练春兰 鲍士旦 史瑞和

(南京农业大学土化系, 210014)

## 摘 要

本文通过盆栽和水培试验,从植物生长、养分吸收、运输和积累、根叶细胞膜透性以及磷和锌的关系等方面初步探讨了磷锌相互作用的机理,结果表明:施锌对大麦产量的影响取决于土壤有效锌的含量和 P/Zn 比;施用大量磷肥并不影响土壤有效锌的浓度,但啤酒大麦植株体内锌的浓度降低,锌的吸收量减少,锌在根部的积累量相对增加;同时施锌也不影响土壤有效磷的浓度,这表明磷锌拮抗作用发生在植物体内;缺锌使植株地上部磷浓度增加,根部磷浓度降低;缺锌使大麦根、叶细胞膜的透性增加,有利于磷的吸收并促进从根向地上部运输。

**关键词** 磷, 锌, 啤酒大麦, 细胞膜透性, P-Zn 相互作用

锌是作物生长必需的微量元素,它与作物的N代谢、有机酸代谢、酶促反应以及生长素的合成等有密切的关系。缺锌会引起作物的生理病害,严重影响作物正常生长<sup>[1]</sup>。

江苏省盐城市是全国啤酒大麦主要的生产基地,该市大部分地区的土壤呈石灰性反应, pH 偏高,土壤有效磷和有效锌的含量普遍偏低。近年来,由于作物产量和商品率的提高,从土壤中移走的有效养分越来越多,另外有机肥的积造、使用量减少,在目前的轮作管理中锌的补充减少,而且该市连续多年大量施用磷肥,常引起诱发缺锌的现象。因此研究磷和锌相互作用的机理,对提高该地区作物的产量和品质具有重要的意义。

## 一、材料与方 法

### (一) 供试土壤

江苏省盐城市海相沉积的黄泥土和黄沙土,土壤有效锌含量分别为 0.32 和 0.44 $\mu\text{g/g}$  土,有效磷含量分别为 7.38 和 11.8 $\mu\text{g/g}$  土。

### (二) 作物

啤酒大麦——苏啤一号

### (三) 试验方法

1. 盆栽试验: 采用盐城地区海相沉积的黄泥土和黄沙土,按完全随机设计,磷肥四个水平 ( $\text{P}_2\text{O}_5$  kg/ha 土), 即: 0( $\text{P}_0$ )、108( $\text{P}_1$ )、216( $\text{P}_2$ )、432( $\text{P}_3$ ); 锌肥两个水平 (Zn kg/ha 土): 0( $\text{Zn}_0$ )、13.6 ( $\text{Zn}_1$ )。共 8 个处理, 即  $\text{P}_0\text{Zn}_0$ 、 $\text{P}_1\text{Zn}_0$ 、 $\text{P}_2\text{Zn}_0$ 、 $\text{P}_3\text{Zn}_0$ 、 $\text{P}_0\text{Zn}_1$ 、 $\text{P}_1\text{Zn}_1$ 、 $\text{P}_2\text{Zn}_1$ 、 $\text{P}_3\text{Zn}_1$ , 黄沙土重复 9 次, 黄泥土重复 3 次, 按生育期采样分析磷和锌等。管理过程中严格控制微量元素的污染。

2. 水培试验: 设四个磷水平 (Pmmol/L): 0.5(P<sub>1</sub>), 1.0(P<sub>2</sub>), 2.0(P<sub>3</sub>), 4.0(P<sub>4</sub>); 两个锌水平 (Zn mmol/L): 0(Zn<sub>0</sub>), 0.01(Zn<sub>1</sub>), 共 8 个处理, 即 P<sub>1</sub>Zn<sub>0</sub>, P<sub>2</sub>Zn<sub>0</sub>, P<sub>3</sub>Zn<sub>0</sub>, P<sub>4</sub>Zn<sub>0</sub>, P<sub>1</sub>Zn<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>Zn<sub>1</sub>, P<sub>3</sub>Zn<sub>1</sub>, P<sub>4</sub>Zn<sub>1</sub>。每处理重复 3 次。试验用聚乙烯塑料箱, 装营养液 6000ml, 每盆移栽用石英砂培养一个星期的大麦苗 20 棵, 用海绵固定, 每天通气两次, 每次 15 分钟, 分别在第 28 天和 48 天采样, 进行植株样品分析。

#### (四) 分析方法

土壤有效磷: 0.5mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提, 钼兰比色法测定。

土壤有效锌: pH7.3 的 DTPA 浸提, 原子吸收分光光度法测定。

土壤 P/Zn 比: 本文是指土壤有效磷和有效锌之比。

植株全磷: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮, 钒钼黄比色法测定。

植株全锌: 1mol/L HCl 浸提 30 分钟, 原子吸收分光光度法测定。

植株 P/Zn 比: 本文指植株全磷和全锌之比。

粗蛋白质: K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-CuSO<sub>4</sub>-Se 混合催化剂消煮, KJELTEC AUTO 1030 Analyzer 测定。

叶绿素: 新鲜叶用 85% 丙酮多次提取后, 用比色法测定。

根、叶细胞膜透性: 样品用 25ml 去离子水在 25℃ 下浸提 3 小时, 测其电导率, 然后加热煮沸 20 分钟后再测其电导率, 渗透率用煮沸前后电导率的百分数表示<sup>(4)</sup>。

磷吸收速率<sup>(4)</sup>:

$$\bar{V} = (\ln W_{A_2} - \ln W_{A_1})(M_2 - M_1) / (t_2 - t_1)(W_{A_2} - W_{A_1})$$

t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub> 表示时间, W<sub>A1</sub>、W<sub>A2</sub> 表示 t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub> 时期的根鲜重, M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 表示 t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub> 时期整株磷含量。

## 二、结果与讨论

### (一) 磷、锌肥对大麦籽粒产量的影响

土培试验结果表明(见表 1), 施磷肥可以显著提高啤酒大麦的产量, 施锌对啤酒大麦产量的影响取决于土壤有效磷和有效锌之比和土壤有效锌的含量。黄沙土有效锌含量为 0.44 μg/g 土, 土壤的 P/Zn 比为 35.6 和 45.0 时, 施锌对啤酒大麦产量没有明显影响, 只有在 P<sub>3</sub> 水平, 土壤的 P/Zn 比为 93.8 时, 施用锌肥可以增产 10%。黄泥土有效锌含量为 0.32 μg/g 土, 土壤 P/Zn 比为 74.4、81.6、162.6 时, 施锌可分别增产 7.1%、9.4%、

表 1 不同 P、Zn 水平对啤酒大麦产量的影响 (g/盆)

Table 1 Effect of P and Zn levels on grain yield (g/pot) of brewer's barley

土壤 Soil	处理 Treatment	P <sub>1</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>2</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>3</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>4</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>1</sub> Zn <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> Zn <sub>1</sub>	P <sub>3</sub> Zn <sub>1</sub>	P <sub>4</sub> Zn <sub>1</sub>	P <sub>1</sub> Zn <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> Zn <sub>1</sub>
黄沙土	产量	8.1	15.9	19.8	18.0	15.9	15.1	19.8	19.5	18.0	19.8
	增产产量(%)		95.9	143.6	122.0		-5.2		-1.3		10.0
	土壤 P/Zn	9.3	35.6	45.0	93.8	35.6	6.7	45.0	9.8	93.8	17.0
黄泥土	产量	7.3	13.2	14.3	15.8	13.2	14.1	14.3	15.6	15.8	18.1
	增产产量(%)		80.9	96.4	117.1		7.1		9.4		14.4
	土壤 P/Zn	16.0	74.4	81.6	162.6	74.4	5.0	81.6	7.3	162.6	13.8

14.4%, 土壤 P/Zn 比越大, 增产越显著。在本试验范围内, 石灰性土壤有效锌浓度为 0.32—0.44 μg/g 土之间, 大麦增产与土壤 P/Zn 比呈直线相关, 达极显著水平 (r=

0.8925\*\*  $n = 6$ )。

因此在既缺磷又缺锌的石灰性土壤上,应注意磷、锌肥的配合使用。

### (二) 磷、锌肥对啤酒大麦籽粒品质的影响

根据啤酒工业生产的要求,籽粒中粗蛋白质含量一般以 90—120g/kg 为好,表 2 结果表明,增施磷肥可以降低大麦籽粒中粗蛋白质的含量,  $F$  检验达极显著 ( $F = 19.73 > F_{0.01} = 10.92$ ), 施锌对粗蛋白质含量影响不显著 ( $F = 0.19 < F_{0.05} = 6.60$ )。

表 2 P、Zn 对啤酒大麦籽粒中粗蛋白质含量的影响 (g/kg)

Table 2 Effect of P and Zn on rough protein content of brewer's barley grain

锌水平 Zn level		磷水平 Phosphorus level		
		P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>
黄沙土	Zn <sub>0</sub>	112	96.9	100
	Zn <sub>1</sub>	119	102	99.7
黄泥土	Zn <sub>0</sub>	144	126	124
	Zn <sub>1</sub>	143	122	108

土培试验表明,施锌对啤酒大麦籽粒含锌量有很大影响。增施磷肥,籽粒中锌浓度明显降低(见表 3),在相同磷水平下,施用锌肥,显著地增加籽粒中锌的浓度,黄沙土和黄泥土施锌与未施锌处理相比,籽粒中锌的浓度分别提高 15.6 和 15.0  $\mu\text{g/g}$ 。

表 3 P、Zn 对啤酒大麦籽粒中锌浓度的影响 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 3 Effect of P and Zn on Zn concentration of brewer's barley grains

锌水平 Zinc level	磷水平 Phosphorus level				平均 Zn 浓度 Average Zn conc.	增加 Zn 浓度 Increased Zn conc.
	P <sub>0</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>		
黄沙土	Zn <sub>0</sub>	61.8	51.8	53.0	43.0	52.4
	Zn <sub>1</sub>	83.0	72.5	58.2	58.3	68.0
	平均 Zn 浓度	72.4	62.2	55.6	50.7	
黄泥土	Zn <sub>0</sub>	40.5	25.0	24.2	20.1	27.5
	Zn <sub>1</sub>	54.4	43.0	35.1	37.4	42.5
	平均 Zn 浓度	47.5	34.0	29.7	28.8	

### (三) 土壤中 P-Zn 的相互作用

P-Zn 相互作用的场所是一个长期有争议的问题。从表 4 可以看出,磷肥用量对土壤有效锌含量没有明显影响 ( $F$  检验不显著),施锌对土壤有效磷浓度也未产生明显影响。

### (四) 大麦植株体内 P-Zn 的相互作用

由表 5 可见,随着施磷量的增加,啤酒大麦植株各部位锌的浓度明显降低,尤以茎、叶为甚。在施锌的情况下, P<sub>3</sub> 处理的叶,锌浓度比 P<sub>1</sub> 处理低 69.6  $\mu\text{g/g}$ ,植株出现缺锌症状。在土壤有效锌含量较低的石灰性土壤上,过量施用磷肥,常常导致作物缺锌。

表4 啤酒大麦各生育期土壤有效锌和有效磷的浓度(黄土地,  $\mu\text{g/g}$ 土)  
Table 4 Available Zn and P concentrations of yellow sandy soil at various growth stages of brewer's barley

生育期 Growth stage	处理 Treatment							
	$P_0Zn_0$	$P_1Zn_0$	$P_2Zn_0$	$P_1Zn_0$	$P_0Zn_1$	$P_1Zn_1$	$P_2Zn_1$	$P_1Zn_1$
苗期(1月15日)								
Zn		0.64	0.76	0.66		3.12	3.61	3.66
P	11.3	22.8	34.2	61.9		20.8	35.2	62.4
拔节期(3月14日)								
Zn	0.52	0.64	0.64	0.48	3.00	2.89	3.13	3.55
P	10.5	16.9	27.0	53.8	10.8	18.4	29.4	33.9
齐穗期(4月19日)								
Zn	0.41	0.76	0.59	0.54	2.89	3.24	3.20	3.13
P	8.53	13.8	22.8	46.9	8.62	14.7	25.8	47.8
成熟期(5月12日)								
Zn	0.68	0.61	0.68	0.68	2.80	3.42	2.97	3.66
P	7.50	11.0	20.2	38.2	7.87	13.1	18.7	39.6

表5 齐穗期啤酒大麦植株各部位锌浓度( $\mu\text{g/g}$ )  
Table 5 Zn concentration in different parts of brewer's barley at fully-heading stage

部位 Plant part	处理 Treatment					
	$P_1Zn_0$	$P_2Zn_0$	$P_3Zn_0$	$P_1Zn_1$	$P_2Zn_1$	$P_3Zn_1$
根	63.1	51.7	37.3	92.1	87.1	66.1
茎	18.5	17.8	11.9	67.2	54.6	28.1
叶鞘	25.4	17.9	21.4	37.1	35.9	26.2
叶片	136.3	70.7	70.8	112.5	83.4	42.9
穗	47.3	51.7	43.9	69.3	68.7	44.9
全株	62.3	40.8	39.3	78.3	66.6	40.0

有人认为,施磷降低植株含锌量是由于“稀释效应”引起的,笔者认为并不尽然。由图1可知,不同磷处理,每株大麦吸锌量是  $P_1$  处理  $>$   $P_2$  处理  $>$   $P_3$  处理。在黄土地上,啤酒大麦齐穗期时,每株锌的吸收量  $P_2Zn_0$ 、 $P_3Zn_0$  处理比  $P_1Zn_0$  处理分别减少 30.5% 和 32.1%。因此,随着磷肥用量增加,不仅植株锌浓度降低,而且吸收量也降低。由此可见, P-Zn 的相互作用发生在植株体内。

此外,施锌还可以提高大麦体内锌在籽粒中的比重。在黄土地上,籽粒中的锌占吸锌总量的比重由 36.4% 提高到 43.6%,在黄泥土上,由 30.3% 提高到

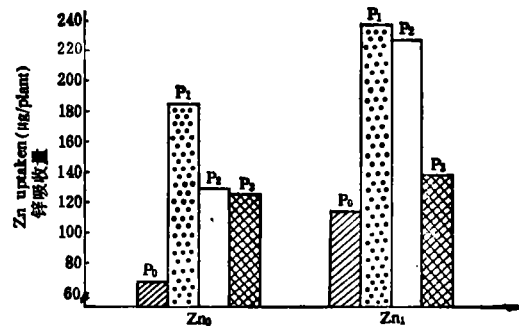


图1 齐穗期不同处理啤酒大麦锌吸收量(黄土地,  $\mu\text{gZn/Plant}$ )

Fig 1 Effect of different treatments on Zn uptake by brewer's barley at fully-heading stage ( $\mu\text{gZn/whole plant}$ )

41.7%，表明施锌促进了锌向籽粒运输。

从表 6 可以看出，随着磷肥用量的提高，锌在啤酒大麦根部的积累量相对增加，在低磷的条件下更为明显。许多研究也报道过这种现象，这表明，高磷抑制了锌由根部向地上部运输。

表 6 齐穗期啤酒大麦根部的吸锌量占大麦植株吸锌总量的百分数

Table 6 Percentages of Zn contents ( $\mu\text{g Zn/whole plant}$ ) of roots in the total Zn uptaken by brewer's barley at fully-heading stage

各部位 Zn 含量 Zn content of plant part	处理 Treatment		
	$P_1Zn_0$	$P_2Zn_0$	$P_3Zn_0$
根	32.1	25.8	33.7
地上部	155	104	93.0
全株	187	130	127
根所占比例(%)	17.2	19.9	26.5

### (五) 土壤与植株 P/Zn 比与缺锌症的关系

在有效锌浓度为  $0.44 \mu\text{g/g}$  土的黄沙土上，未施锌的三个磷水平处理，苗期土壤的 P/Zn 比分别为 35.6、45.0 和 93.8，这三个处理在啤酒大麦播种一个月左右(越冬期)时，叶色变淡，老叶叶尖枯干，同时出现了缺锌症状的白条叶。这种缺锌症状与水稻<sup>[1]</sup>、玉米的缺锌症状相似。在有效锌浓度为  $0.32 \mu\text{g/g}$  土的黄泥土上，未施锌的三个磷水平处理，苗期土壤的 P/Zn 比分别为 74.4、81.6、162.6，这三个处理，啤酒大麦苗期叶色变淡与老叶叶尖枯干症状比黄沙土更加严重。因此土壤有效锌的浓度和 P/Zn 比与植株的缺锌症状密切相关。当土壤有效锌浓度低于  $0.44 \mu\text{g/g}$  土，P/Zn 比大于 35.6 时，啤酒大麦苗期叶片出现缺锌症状，这种症状在拔节后逐渐消失，P/Zn 比小于 45.0 时，不致造成对产量的影响。

另外，啤酒大麦植株 P/Zn 比与缺锌症状有密切的关系，本试验中，拔节期全株的 P/Zn 比在 18.2—22.8，地上部的 P/Zn 比在 18.3—28.6 时，大麦生长正常；当全株的 P/Zn 比大于 32.8，地上部 P/Zn 比大于 44.0 时，越冬期至拔节期出现缺锌症状。

### (六) 植株缺锌对磷吸收、运输和积累的影响

从水培试验观察到，啤酒大麦幼苗移栽到营养液后 20 天左右，不施锌处理下部叶片出现了褐色坏死斑点，叶尖枯干， $P_3Zn_0$  处理尤为严重，随时间的推

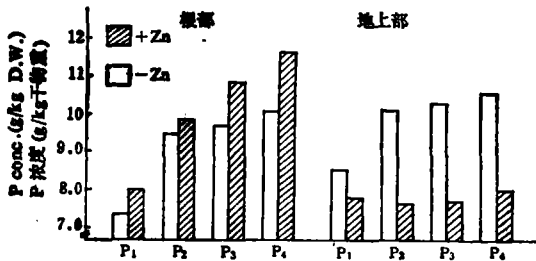


图 2 啤酒大麦移栽后 48 天植株体内磷的浓度 (水培试验)

Fig 2 Phosphorus concentrations inside brewer's barley at 48 days after being transplanted (in solution culture)

移，症状更加明显。

从图 2 可以看出，缺锌处理啤酒大麦地上部磷浓度明显高于施锌处理，生长时间越

长,这种差异也越大。在相同磷浓度下,加锌处理大麦根部磷的浓度增加,因此,缺锌促进磷从根部向地上部运输。缺锌的啤酒大麦地上部磷浓度在移栽后 28 天和 48 天分别达到 8.7—9.3g/kg 和 8.5—10.5g/kg。Green 曾报道,大麦地上部磷浓度达 8—12g/kg 时,可能发生磷中毒<sup>[7]</sup>。因此,本试验条件下,啤酒大麦叶片上出现的褐色坏死斑点可能是由于缺锌所引起的磷中毒症状。许多研究者就不同的作物作了类似报道<sup>[1,4]</sup>。

表 7 磷、锌对移栽 48 天后啤酒大麦根吸收磷速率的影响

(水培试验,单位: mgP/根克鲜重·天)

Table 7 Effect of P and Zn on P uptake rate (mg P/g F. W/day) of roots at 48 days after being transplanted

处理 Treatment	P <sub>1</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>2</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>3</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>4</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>1</sub> Zn <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> Zn <sub>1</sub>	P <sub>3</sub> Zn <sub>1</sub>	P <sub>4</sub> Zn <sub>1</sub>
P 吸收速率 P uptake rate	1.80	2.15	2.74	3.48	2.29	1.81	1.47	1.61

从表 7 可以看出: 水培条件下,缺锌时,随着磷浓度的提高,根部磷的吸收速率提高。而加锌后,在相同磷浓度下,大麦根吸收磷的速率明显降低。因此,缺锌能够提高植株根吸收磷的速率,这种作用在高磷浓度下更加明显。

缺锌促进磷的吸收和运输的作用是专性的,因为在缺 Fe、Mn 和 Cu 的植物中没有发生这种作用<sup>[6]</sup>。因此,锌对磷的吸收和磷从根部向地上部的运输具有特殊的作用。

表 8 P、Zn 对移栽 48 天啤酒大麦根、叶细胞膜透性的影响(水培试验,%)

Table 8 Effect of P and Zn on membrane permeability of brewer's barley roots and leaves at 48 days after being transplanted(%)

部 位 Plant part	处理 Treatment							
	P <sub>1</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>2</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>3</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>4</sub> Zn <sub>0</sub>	P <sub>1</sub> Zn <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> Zn <sub>1</sub>	P <sub>3</sub> Zn <sub>1</sub>	P <sub>4</sub> Zn <sub>1</sub>
根	6.99	6.98	8.28	9.89	7.97	6.37	7.61	7.42
叶	3.33	3.52	3.72	4.08	2.91	2.88	2.67	2.76

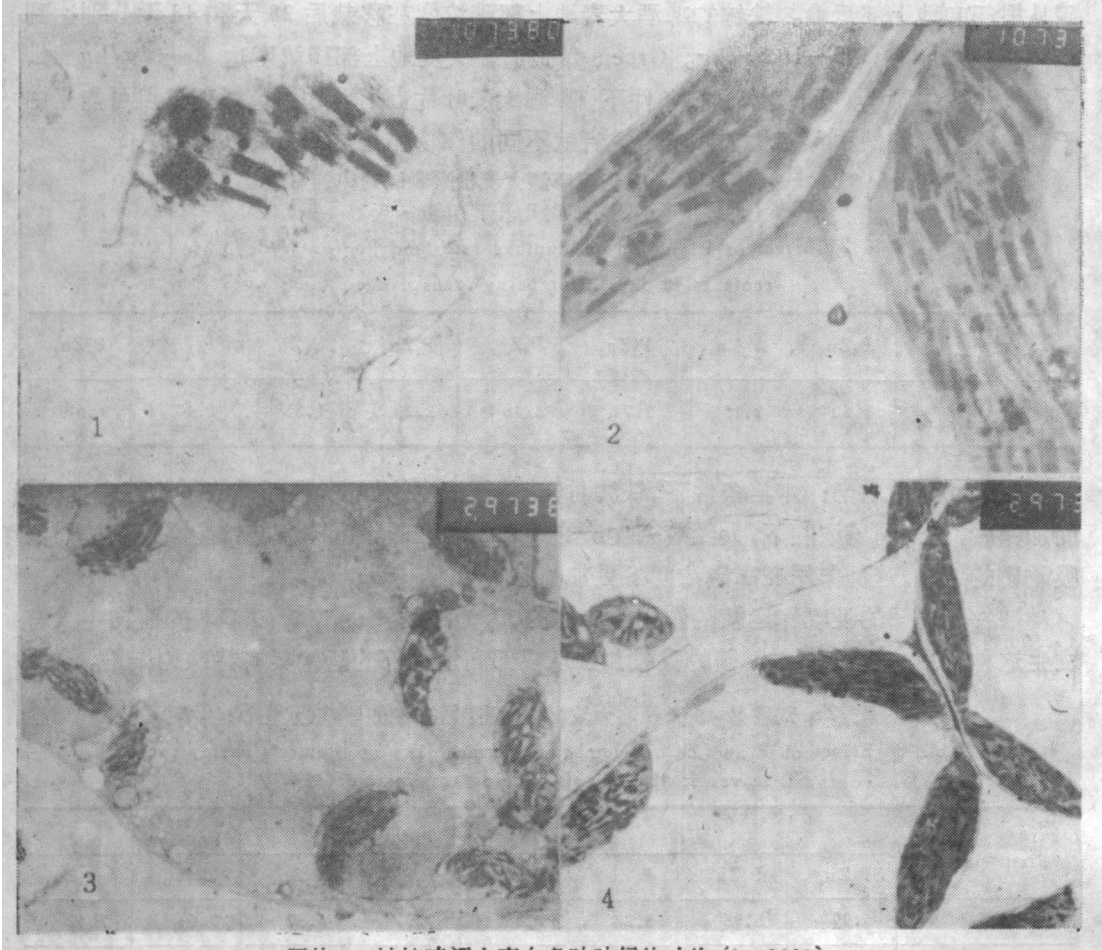
表 8 结果表明: 缺锌条件下,随着磷浓度的提高,根和叶细胞膜的渗透率增加,施锌后根和叶细胞膜的渗透率明显下降。根细胞膜的渗透率与磷吸收速率之间有一定关系,经分析用下列方程式表示:  $P_{\text{吸收速率}} = -1.561 + 1.154 \times \text{根细胞膜渗透率}$  ( $r = 0.878^*$ ,  $n = 6$ )

因此,缺锌提高啤酒大麦根对磷的吸收速率是由于增加了根和叶细胞膜的渗透率而引起的。Welch 等的试验结果也表明,缺锌小麦的根细胞对 P 和 Cl 的透性增加,他们认为锌对细胞膜的稳定具有一定的作用,缺锌增加了细胞膜的透性<sup>[3]</sup>,这可能与超氧化物歧化酶(SOD 酶)的活性有关<sup>[2]</sup>。

水培试验的结果还表明,营养液加锌后,大麦叶片叶绿素含量增加,与不施锌处理相比,平均提高了 16.8%。通过电镜观察(见照片 1, 2, 3, 4)发现,正常大麦叶片细胞的叶绿体沿细胞壁分布,叶绿体大,基粒丰富且分散在整个叶绿体中,基质多;而缺锌叶片细胞的叶绿体小,分散在整个细胞中,基质和基粒少,基粒分布不均匀,同时有基质外流现象。

缺锌影响叶绿体的结构和叶绿体的含量可能是由于在缺锌条件下,Cu-Zn-SOD 酶活性下降,使叶绿体中活性氧浓度增加,从而对叶绿体产生破坏作用,据报道 Cu-Zn-SOD

酶主要存在于叶绿体中,因而 SOD 酶可能与叶绿体的发育有密切的关系<sup>[2]</sup>。



照片 1 缺锌啤酒大麦白条叶叶绿体结构 (1:10000)

Photo 1 Chloroplast construction in the Zn-deficient brewer's barley leaves (1:10000)

照片 2 正常啤酒大麦叶片叶绿体结构 (1:10000)

Photo 2 Chloroplast construction in the normal brewer's barley leaves (1:10000)

照片 3 缺锌啤酒大麦白条叶叶片细胞结构 (1:2900)

Photo 3 Cell construction in the Zn-deficient brewer's barley leaves (1:2900)

照片 4 正常啤酒大麦叶片细胞结构 (1:2900)

Photo 4 Cell construction in the normal brewer's barley leaves (1:2900)

### 三、结 论

1. 石灰性土壤施用磷肥, 显著地提高啤酒大麦的产量, 与对照相比, 产量提高 80—140%, 施锌对大麦产量的影响取决于土壤有效锌的浓度和土壤有效磷和有效锌之比。例如土壤的有效锌浓度低于  $0.44 \mu\text{g/g}$  土,  $\text{P/Zn}$  比大于 74.4 时, 施锌能增产,  $\text{P/Zn}$  比越大, 施锌增产的幅度也越大。

2. 施大量磷肥并不影响土壤有效锌的浓度, 施锌也不影响土壤有效磷的浓度。

3. 随着磷肥施用量的增加, 啤酒大麦对锌的吸收量减少, 植株体锌含量降低, 但锌在根部的积累量相对增加, 即磷抑制了锌向地上部代谢活性区运输, 导致 P/Zn 比失调, 表明 P/Zn 拮抗作用发生在植物体内。

4. 缺锌可以使大麦地上部磷浓度增加, 根部磷浓度降低。缺锌使大麦根和叶细胞膜的透性增加, 有利于磷的吸收并促进磷从根向地上部运输。

5. 随着磷肥用量的增加, 明显地降低啤酒大麦籽粒中粗蛋白的含量和锌的浓度。施用锌肥, 大麦籽粒中锌浓度增加 (15.0—15.6  $\mu\text{g/g}$ ), 但对粗蛋白的含量没有影响。

6. 缺锌减少啤酒大麦叶片中叶绿素的含量, 与施锌相比, 平均减少 16.8%, 缺锌大麦叶片的叶绿体膜破损, 叶绿体基粒的数量减少, 且排列不均, 基质外流。

### 参 考 文 献

- [1] 杨 琇、黄子蔚 1986: 诱发缺锌条件下水稻植株中的磷和锌农牧渔业部农业局编《微量元素肥料研究与应用》p172—190, 湖北科学技术出版社。
- [2] 王荣福、崔继林、袁毓琦, 1987: 水稻品种超氧歧化酶 (SOD) 活性与氧抑光合的关系。植物生理学报, 13(3): 257—264。
- [3] R. M. Welch, 1982: 锌在细胞膜上的功能及其与磷毒害的关系《植物营养生理进展》p119—121, 周燮、沈康主编, 南京农业大学。
- [4] I. Cakmak and H. Marschner 1986a: Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. I. Zinc deficiency enhanced uptake of phosphorus. *Physiol. Plantarum*. 68: 480—490.
- [5] J. F. Loneragan etc. 1982: Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 345—352.
- [6] I. Cakmak and H. Marschner (1987) Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants. *Physiol. Plantarum*. 70: 13—20.

## STUDY ON RELATIONSHIP BETWEEN PHOSPHORUS AND ZINC IN BARLEY

Lian Chunlan, Bao Shidan and Shi Ruihe

(Departments of Soil Science and Agrochemistry, Nanjing Agricultural University, 210014)

### Summary

Pot and solution culture experiments were conducted to study the mechanism of phosphorus-zinc interaction in brewer's barley grown on calcareous soils. The results showed that the effect of Zn supply on the yield depended on the available Zn concentration and P/Zn ratio in soil; high rate of phosphorus did not affect the available Zn concentration in soil and the Zn application did not affect the available P concentration in soil, either; Zn-deficiency increased P concentration in shoots but decreased P concentration in roots; and Zn-deficiency increased membrane permeability, which enhanced P uptake and translocation from roots to shoots.

**Key words** Phosphorus, Zinc, Brewer's barley, Membrane permeability, P-Zn interaction