

供锌和添加碳酸钙对不同基因型小麦 幼苗生长及锌磷吸收的影响

陈 玲, 田霄鸿, 李 峰, 李生秀

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 以 Hoagland 营养液为介质, 在不同 Zn 与 CaCO₃ 用量下, 将以下 5 种基因型冬小麦进行营养液混合培养, 探讨小麦幼苗生长及 Zn 与 P 吸收的状况。根据生长量及缺 Zn 症状的严重程度, 把 S02-8、远丰 998 判定为缺 Zn 敏感型, 而中育 6 号、小偃 22 及西杂 1 号为缺 Zn 非敏感型; 适量供 Zn 比高量供 Zn 更有利于小麦生长; 低量 CaCO₃ 可在一定程度上促进小麦幼苗生长而高量 CaCO₃ 会抑制生长, 缺 Zn 敏感型的生长量显著低于非敏感型, 且前者的根冠比小于后者。加入 CaCO₃ 后对小麦植株 Zn、P 吸收的影响较小, 但地上部 P/Zn 随 CaCO₃ 添加量的增加而递减。根系与地上部含 Zn 量与吸收量均随供 Zn 量的增加而增加, 而高量供 Zn 时 Zn 在根部大量累积, 同时高 Zn 用量在一定程度上抑制小麦植株对 P 的吸收, P/Zn 随 Zn 用量的增加而降低。与不供 Zn 相比, 高量供 Zn 显著降低了小麦植株根系及地上部的 P/Zn 值, 而低量供 Zn 时, 地上部的 P/Zn 仅有轻微的降低。供试的 5 种基因型小麦的 P 含量均未超过 P 中毒临界值, 因此小麦幼苗出现的缺 Zn 症状与 P 无关。相对于缺 Zn 非敏感型小麦, 缺 Zn 敏感型更易于在根系中累积 Zn, 吸 P 量较低, 且地上部 P/Zn 较高。

关键词: 碳酸钙; 锌; 小麦基因型; 生物量; 磷; 磷锌比

中图分类号: S143.72, Q945.12 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006)06-0011-06

锌是动植物必需的微量元素。锌在人体新陈代谢过程中起着十分重要的作用, 人体所需的锌基本来源于食物, 粮食作物作为植物性食物的主体, 是人体锌营养的重要来源之一。我国北方居民膳食构成中以面食为主食, 因此禾谷类粮食作物的缺锌问题与人体健康息息相关。我国大约有 40% 的土壤缺锌^[1], 主要集中在北方的石灰性土壤地区, 而该地区又是小麦 (*Triticum aestivum* L.) 的主产区, 因而提高小麦籽粒中的锌含量对人体健康有着十分重要的意义。

近年来一些研究者认为石灰性土壤中存在的大量 CaCO₃ 结核使得土壤溶液中 HCO₃⁻ 浓度过高, 高浓度 HCO₃⁻ 和高 pH 值是影响锌吸收利用和限制作物生长的两个主要因子^[2]。石灰性土壤中石灰诱发性失绿现象极为普遍, 土壤中锌供给不足时农作物产量和品质会受到严重影响^[1]。在石灰性土壤地区主要粮食作物的锌营养研究方面, 目前除在水稻上已作了相当的工作外, 直接模拟石灰性土壤条件, 即把 CaCO₃ 与锌的吸收利用联系起来进行研究的, 在北方旱地大田作物上还是一个空白。

本试验以小麦为供试作物, 采用营养液培养方法, 把 CaCO₃ 添加到营养液中, 模拟石灰性土壤的

环境条件, 以弄清 Zn 与 CaCO₃ 共存对作物生长的影响, 尤其是对小麦幼苗的 Zn、P 营养以及对 P/Zn 的影响, 从而找到一种快速筛选小麦锌高效基因型的方法。

1 材料与方法

1.1 试验过程

试验以 CaCO₃ 用量及 Zn 用量为 2 个研究因子, 其中 CaCO₃ 用量设 4 个水平: Ca₀ (0 mg/L)、Ca₁ (10 mg/L)、Ca₂ (30 mg/L)、Ca₃ (60 mg/L); Zn 用量设 3 个水平: Zn₀ (0 mg/L)、Zn₁ (0.016 mg/L)、Zn₂ (0.082 mg/L)。共 12 个处理, 重复 4 次。同时, 选用 5 种基因型冬小麦, 于 2004 年冬季在西北农林科技大学温室中进行溶液混合培养, 即把 5 种不同基因型小麦置于同一盆中进行培养^[3]。

首先在室内进行育苗: 分别精选籽粒饱满、大小均匀的 5 种基因型小麦 (S02-8、小偃 22、中育 6 号、西杂 1 号、远丰 998) 的种子, 依次用 55℃ 热水浸泡 15 min, 3% 的 H₂O₂ 溶液浸泡 10 min, 再在室温下用去离子水浸泡 3 h, 然后将种子播种在沙盘中。发芽一周后挑选大小均一的植株移栽至盛有 4.5 L 营养液的褐色塑料盆中。大量元素采用 Hoagland

配方: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1180 mg/L、 KNO_3 510 mg/L、 KH_2PO_4 140 mg/L、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 490 mg/L、柠檬酸铁 6(原配方中为酒石酸铁);微量元素采用 Arnon 配方(Zn 除外): H_3BO_3 2.86 mg/L、 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1.81 mg/L、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.08 mg/L、 $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.09 mg/L^[4]。

培养盆盖子用塑料泡沫制成, 上有 15 个小孔, 每盆中均栽植有 5 种基因型小麦植株, 每孔用棉花固定 3 株同一基因型的幼苗, 每盆共 45 株。48 个培养盆在温室内实行局部控制, 分为 4 个区组。每次更换营养液后, 每个区组内部进行 1 次随机排列。

幼苗先预培养一周: 植株生长在 Hoagland 和 Arnon 营养液组成的 1/4 浓度的完全营养液中, Zn 供应量为 0.012 mg/L; 随后进行正式处理, 用 1/2 浓度的完全营养液进行培养, Zn 与 CaCO_3 按处理要求的用量加入。营养液均用去离子水配制, 采用自动通气装置每天通气 1 h, 每 10 d 更换一次营养液。温室内温度保持在 5~18℃, 每日光照时间约 10 h。培养 30 d 后结束试验。

1.2 测定方法与数据处理

试验结束前, 用 SPAD-502 便携式叶绿素仪测定植株叶绿素 SPAD 值。收获后的小麦植株, 洗净后分为根系和地上部两部分, 先在 80℃ 下杀青 20 min, 在 60℃ 下烘 48 h, 然后分别称取根系和地上部的干重。

植物样品中 Zn 含量的测定采用湿灰化法(浓 $\text{HNO}_3\text{--HClO}_4$)消解样品后, 用原子吸收分光光度法测定 Zn 含量, 用钒钼黄比色法^[5]测定 P 含量。

对所获得的数据采用 SAS8.1 统计软件进行处理; 方差分析后, 用 LSR 法进行平均数间的多重比较, 方差分析及多重比较的差异显著性标准均为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 添加 CaCO_3 和供 Zn 对不同基因型小麦生长的影响

表 1 表明, 供试条件下, 供 Zn 明显增加了小麦幼苗的地上部生长量, 尤其是适量供 Zn(Zn₁)比高量供 Zn(Zn₂)作用更为明显。三种 Zn 用量下, 根系与地上部干重值从大到小顺序均为 Zn₁>Zn₂>Zn₀。其次, 在营养液中添加低量 CaCO_3 (Ca₁、Ca₂), 对小麦地上部生长似乎有一定促进作用, 但是添加 CaCO_3 的量较高时(Ca₃, 60 mg/L), 显然抑制了根系和地上部的生长。另外, 五种基因型小麦植株的根系和地上部生长量存在着显著性差异, 单从根系生长量来看, 大体上分为三个层次, S02-8 与远丰 998 的根系生长量最低, 中育 6 号和小偃 22 处于中间水平, 西杂 1 号生长量最大。地上部生长量除中育 6 号外, 其它基因型也服从上述规律。由此可见, 适量施 Zn 时比高锌更有利于小麦生长; 较低量的 CaCO_3 可在一定程度上促进小麦幼苗生长而高量 CaCO_3 会抑制生长, 此外, 不同基因型对 CaCO_3 与 Zn 的不同用量组合的反应存在明显差异。

供 Zn 量对小麦叶片的叶绿素 SPAD 值无显著性影响, 但是叶绿素 SPAD 值随着 CaCO_3 添加量的递增而呈现递减趋势, 但降低幅度较小(表 1)。

表 1 不同 Zn 用量间、 CaCO_3 添加量间及不同基因型间的小麦植株生长量及叶绿素 SPAD 值

Table 1 Biomass of roots and shoots of winter wheat plants and SPAD values of leaf chlorophyll among different Zn supplying rates, or CaCO_3 additions, or different genotypes												
项目 Item	Zn ₀	Zn ₁	Zn ₂	Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	S02-8	远丰 998	中育 6 号	小偃 22	西杂 1 号
根系干重 Root(mg/pot)	338 _a	347 _a	343 _a	346 _a	353 _a	351 _a	321 _b	317 _c	299 _c	361 _b	345 _b	391 _a
冠部干重 Shoot(mg/pot)	591 _b	624 _a	613 _{ab}	598 _b	619 _{ab}	631 _a	590 _b	577 _{cd}	605 _{bc}	563 _d	629 _b	674 _a
根冠比 Root shoot ratio	0.58 _a	0.56 _a	0.56 _a	0.58 _a	0.57 _a	0.56 _a	0.55 _a	0.55 _b	0.49 _c	0.65 _a	0.55 _b	0.58 _b
SPAD 值 SPAD value	49.2 _a	49.3 _a	50.1 _a	50.2 _a	49.7 _{ab}	49.2 _b	49.1 _b	50.8 _a	49.4 _b	49.2 _b	47.4 _c	51.0 _a

* 方差分析后, 多重比较在三个因子即不同基因型间、不同 CaCO_3 添加量间及不同 Zn 用量的不同水平间进行, 下表同。
* After the variance analysis, the multiple comparisons were conducted within the three experimental factors; namely, among the Zn rates, or different CaCO_3 additions, or different genotypes of winter wheat. The same comparison was carried out in the following tables.

正式处理 20 d 之后冬小麦植株开始出现缺锌症状; 其中 S02-8、远丰 998 缺锌症状最为明显, 中育 6 号有轻微缺锌症状, 而小偃 22 与西杂 1 号未出现缺锌症状。无 Zn 但有 CaCO_3 加入的 3 个处理均出现缺锌症状, 其中 Ca₂ 处理下, 远丰 998 的缺锌症

状最为明显, Ca₁、Ca₃ 处理下, S02-8 的缺锌症状较明显。可见, 不供 Zn 条件下 CaCO_3 能加重冬小麦植株缺锌症状的显现。据前人研究, 一般情况下对缺锌敏感的小麦基因型在缺锌时地上部干重较不敏感基因型的要低^[6]。本试验表明, 在不供 Zn、不添

加CaCO₃时,5种基因型冬小麦地上部干重从大到小的顺序依次为:西杂1号>小偃22>中育6号>远丰998>S02-8,结合表1中5种基因型生长量的整体表现,我们推断这5种基因型冬小麦的缺锌敏感性顺序为:S02-8、远丰998>中育6号、小偃22>西杂1号,据此,把S02-8与远丰998划分为缺锌敏感型,而中育6号、小偃22、西杂1号为缺锌非敏感型。

表1还表明,Zn用量和CaCO₃添加量差别对小麦幼苗的根冠比无显著性影响,但根冠比大体上随着供Zn量和CaCO₃添加量增加而呈现下降趋势。就5种基因型冬小麦而言,S02-8、远丰998两种缺

锌敏感型小麦的根冠比最小,说明供试条件对敏感基因型根系的抑制作用大于非敏感型。

2.2 添加CaCO₃和供Zn对不同基因型小麦Zn含量与Zn吸收量的影响

表2表明,供Zn显著提高了小麦幼苗根系和地上部的Zn含量与吸Zn量,尤其是高量供Zn(Zn₂)使二者的量大幅度提高。而不同CaCO₃添加量对各基因型小麦根系和地上部Zn含量与Zn吸收量影响较小。总体来看,5种基因型中缺Zn敏感型的S02-8与远丰998的Zn含量与Zn吸收量低于三种非敏感型小麦。

表 2 不同 Zn 用量间、CaCO₃ 添加量间及不同基因型间的小麦根系和地上部 Zn 含量与 Zn 吸收量

Table 2 Zn concentration and zinc uptake in root and shoot of wheat plants among different Zn supplying rates, or CaCO₃ additions, or different genotypes

项目 Item	部位 Plant parts	Zn ₀	Zn ₁	Zn ₂	Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	S02-8	远丰 998	中育 6 号	小偃 22	西杂 1 号
Zn 含量 Zn Conc. (mg/kg)	根系 Root	78c	113b	241a	139a	142a	141a	154a	146a	138a	150a	148a	138a
	冠部 Shoot	96b	106b	143a	106b	125a	111ab	120ab	105b	102b	138a	119b	112b
平均 Mean	整株 Whole	87c	110b	192a	122b	133ab	126ab	137a	125b	121b	144a	133ab	125b
Zn 吸收 Zn Uptake (¹⁰ g/ ⁹ plants)	根系 Root	25c	38b	79a	46a	50a	46a	47a	42b	41b	54a	47ab	53a
	冠部 Shoot	42c	50b	60a	46b	57a	48b	52ab	43b	55a	60a	54a	42b
整株 Total	整株 Whole	67c	88b	139a	92b	107a	95b	99ab	85b	84b	113a	103a	106a

图 1a,b 表明,不供Zn(Zn₀)时,5种基因型小麦地上部Zn含量与Zn吸收量均高于各自根系的Zn含量与吸收量,但随着供Zn量的增加,根系与地上部的吸Zn量与Zn含量随之增加。低量供Zn时(Zn₁)时,5种基因型地上部吸Zn量仍较根系高,而根系与地上部的含Zn量却有一定变化,缺Zn敏感型的S02-8与远丰998根系中Zn含量已大于地上部Zn含量,但另外3种非敏感型小麦中,则仅有西杂1号根系Zn含量略高于地上部,而中育6号与小偃22的仍为根系低于地上部。高量供Zn时(Zn₂)时,5种基因型小麦根系与地上部含Zn量与吸Zn量均比不供Zn(Zn₀)时显著增加,而根系中的Zn含量与吸收量已明显高于地上部,S02-8与远丰998根系与地上部的Zn含量与吸Zn量均小于另3种基因型小麦。可见,Zn含量与Zn吸收量均随供Zn量的增加而增加,二者的趋势非常吻合,供Zn提高了小麦植株的Zn吸收量主要是通过提高Zn含量实现的;低量供Zn时,缺锌敏感型小麦根系与地上部相比Zn含量变化较大,而高量供Zn会导致Zn在根部大量累积,锌敏感的小麦基因型比非敏感基因型更易于在根系中累积Zn。

2.3 添加CaCO₃和供Zn对5种基因型小麦P吸收和磷锌比的影响

由表3可知,根系在不同的CaCO₃添加量下P含量与吸磷量无明显差异,但地上部在Ca₁时P含量与吸磷量值显著高于另三个添加量下,且另三个添加量下P含量与P吸收量均无明显差异。不同用量的Zn对植株根系中P含量和P吸收无影响,但地上部在三个Zn用量下P含量与吸收量均为Zn₁>Zn₀>Zn₂,且Zn₂用量时P含量与吸收量均显著低于Zn₀与Zn₁时;Zn₀、Zn₁、Zn₂三个Zn用量下根系与地上部P吸收量占整株吸磷量的百分含量分别为40.6、39.7、43.1与60.9、60.3、55.4。5种基因型小麦植株含P量高低顺序根系中为远丰998<西杂1号<S02-8<中育6号<小偃22,而地上部则为西杂1号<远丰998<中育6号<S02-8<小偃22。可见,含P量高低与缺锌敏感性无关。然而吸磷量却有S02-8、远丰998根系与地上部值在5种基因型中均明显较另三种基因型低,可见,CaCO₃的添加对小麦植株磷的吸收影响较小;低Zn用量对提高P含量与吸收量有一定的促进作用,而高Zn用量则抑制小麦根系对P的吸收,且缺锌可以促进磷从根部向地上部的转运^[7];缺锌敏感基因型小麦植株吸磷量较非敏感型低。

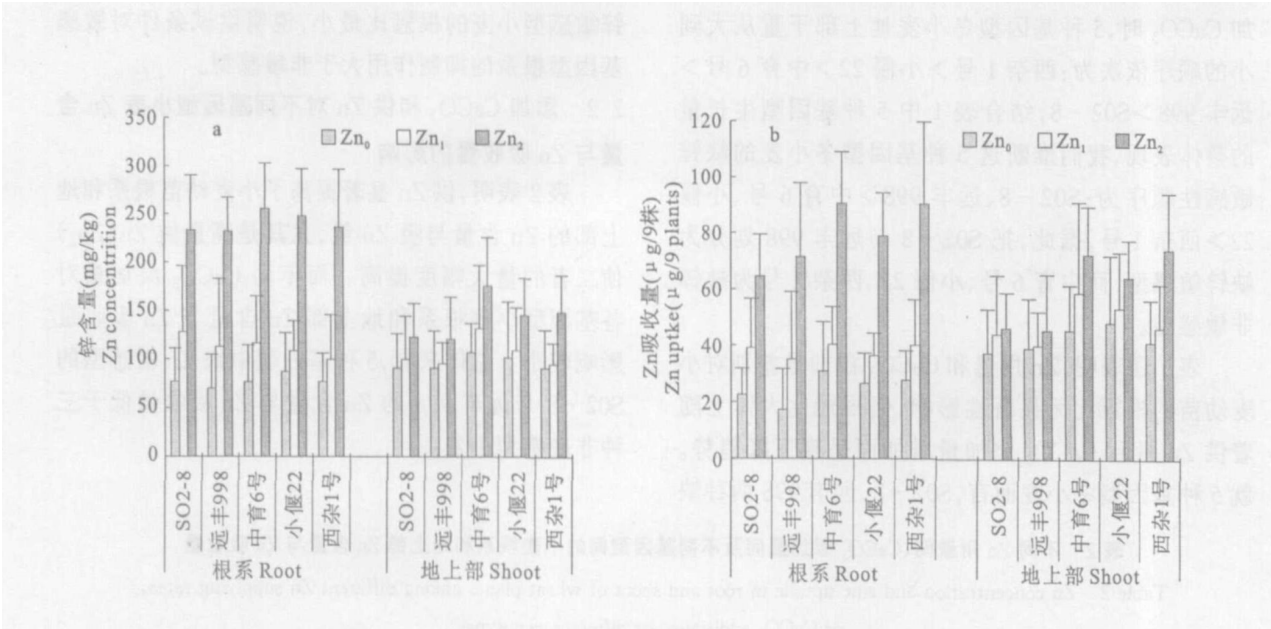


图 1 不同供 Zn 量下 5 种基因型小麦根系和地上部的 Zn 含量与吸 Zn 量

Fig. 1 Zinc concentration and uptake in root and shoot parts of winter wheat of five genotypes under the different Zn supplying rates

表 3 不同 Zn 用量间、CaCO₃ 添加量间及不同基因型间的含 P 量及吸 P 量

Table 3 P concentration and P uptake in roots and shoots of winter wheat plants among different Zn supplying rates, or CaCO₃ additions, or different genotypes

项目 Item	部位 Plant parts	Zn ₀	Zn ₁	Zn ₂	Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	S02—8	远丰 998	中育 6 号	小偃 22	西杂 1 号
P 含量 P Conc. (mg/g)	根系 Root	8.8 _a	8.8 _a	8.9 _a	8.7 _a	8.9 _a	8.7 _a	9.1 _a	8.3 _c	7.9 _c	9.2 _b	10.6 _a	8.2 _c
	冠部 Shoot	9.2 _a	9.4 _a	8.4 _b	8.8 _b	9.7 _a	8.6 _b	8.9 _b	9.3 _{ab}	8.4 _{bc}	9.2 _{abc}	9.9 _a	8.2 _c
平均 Mean	整株 Whole	9.0 _a	9.1 _a	8.6 _a	8.7 _b	9.3 _a	8.7 _b	9.0 _{ab}	8.8 _{bc}	8.1 _d	9.2 _b	10.3 _a	8.2 _{cd}
P 吸收 P Uptake (mg/9 plants)	根系 Root	2.8 _a	2.9 _a	2.8 _a	2.8 _a	3.0 _a	2.8 _a	2.8 _a	2.5 _c	2.0 _d	3.2 _{ab}	3.5 _a	3.1 _b
	冠部 Shoot	4.2 _a	4.4 _a	3.6 _b	3.9 _b	4.6 _a	3.9 _b	3.9 _b	3.9 _b	3.6 _b	4.0 _b	4.8 _a	4.0 _b
总量 Total	整株 Whole	6.9 _{ab}	7.3 _a	6.5 _b	6.8 _b	7.5 _a	6.7 _b	6.7 _b	6.4 _c	5.7 _d	7.2 _b	8.2 _a	7.1 _b

结果表明(表 4), 三种 Zn 用量下, 根系与地上部 P/Zn 均随着供 Zn 量增加而降低; 与不供 Zn 相比, 高量供 Zn 显著降低了小麦植株根系及地上部的 P/Zn, 而低量供 Zn 时, 地上部的 P/Zn 仅有轻微的降低。其次, 小麦植株地上部 P/Zn 似乎随着 CaCO₃ 添加量增加而降低, 但根系却有升高的趋势。

另外, 5 种基因型小麦根系间的 P/Zn 差异不明显, 地上部 P/Zn 以缺 Zn 敏感型的远丰 998 与 S02—8 二者的最高, 中育 6 号最低。可见, 随 Zn 用量的增加 P/Zn 降低, 且地上部 P/Zn 随 CaCO₃ 添加量的增加递减, 缺锌敏感基因型小麦植株地上部 P/Zn 较非敏感型高。

表 4 不同 Zn 用量间、CaCO₃ 添加量间及不同基因型间小麦植株的磷锌比(P/Zn)

Table 4 P/Zn ratios in root and shoot of winter wheat plants among Zn supplying rates, or CaCO₃ additions, or different genotypes

部位 Plant parts	Zn ₀	Zn ₁	Zn ₂	Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	S02—8	远丰 998	中育 6 号	小偃 22	西杂 1 号
根系 Root	100 _a	85 _{ab}	79 _b	86 _{ab}	90 _{ab}	77 _b	98 _a	83 _a	90 _a	86 _a	96 _a	84 _a
冠部 Shoot	114 _a	103 _a	65 _b	101 _a	98 _a	95 _a	83 _a	108 _a	103 _a	77 _b	98 _{ab}	86 _{ab}

3 讨 论

人们根据禾本科作物对缺 Zn 的敏感程度将它们分为两类:Zn 缺乏敏感型与 Zn 缺乏不敏感型^[8],而且不同作物之间与同一作物不同基因型间对缺素的敏感程度也有所差异^[3]。小麦属于对缺 Zn 较为敏感的谷类作物^[7],不同基因型之间同样存在一定差异性。本试验研究的五种冬小麦基因型缺锌敏感性大致为:S02-8、远丰 998>中育 6 号>小偃 22、西杂 1 号,据此,把 S02-8 与远丰 998 划分为缺锌敏感型,而中育 6 号、小偃 22、西杂 1 号为缺锌非敏感型。根冠比是衡量作物生长状况的一个重要指标,根冠比增大表明某一环境条件对植物地上部生长的抑制作用明显大于地下部,即对根系生长的影响不大^[9],根冠比也是植物自身调节地上部分与地下部分干物质分配的一种能力,以保证某一部分优先生长,为后期的生长打基础^[10],而较小的根冠比有利于地上部的生长发育^[11]。缺锌敏感基因型拥有较小的根冠比(表 1),表明不同 CaCO_3 用量和供 Zn 量构成的环境条件对敏感基因型根系的抑制作用大于非敏感型,缺锌时缺锌敏感型较不敏感型地上部分优先生长,环境条件对缺锌敏感型根系的影响较大。

Zn 是植物生长发育必需的微量元素,本试验中供 Zn 量强烈影响所有供试基因型小麦的根系与地上部的含 Zn 量与 Zn 吸收量,二者均随着供 Zn 量的增加而增加,不施 Zn 与适量施 Zn(Zn_1)地上部 Zn 吸收量较根系大,缺锌敏感基因型根系与地上部相比 Zn 含量变化较大,然而在高施 Zn 量(Zn_2)时根系中的 Zn 远高于地上部,可见,供锌充足时,锌可在根中累积,而其中一部分可能属于奢侈吸收^[12],且对缺锌敏感的小麦基因型比非敏感基因型更易于在根系中累积 Zn。

本研究为模拟石灰性土壤而直接将 CaCO_3 添加到营养液中。试验中对营养液 pH 的日变化进行测定,发现从更换营养液起 pH 值随着培养天数推移而呈上升趋势,上升范围在 0.79~2.37 个 pH 值单位之间,且最高 pH 值未超过 7.2,因此并未出现添加 CaCO_3 引起营养液 pH 升高进而诱导缺铁的现象发生。

不同 CaCO_3 添加量对各基因型小麦根系和地上部 Zn 含量与 Zn 吸收量影响较小。S02-8 与远丰 998 这两种缺锌敏感型小麦在高量 CaCO_3 下有明显的缺锌症状,但是,高量 CaCO_3 并未影响这两种基因型的 Zn 吸收量(表 2)。我们对营养液中

HCO_3^- 浓度的测定结果表明, HCO_3^- 浓度随着 CaCO_3 的加入量增加而提高,而高浓度的 HCO_3^- 会强烈地抑制锌的吸收和向地上部转移^[13],所以我们推测,可能高量 CaCO_3 加入营养液后生成的 HCO_3^- 被植物吸收后抑制了 Zn 在植物体内的生理活性而非影响了其吸收总量。

不同 CaCO_3 添加量与 Zn 用量对各基因型小麦间 P 含量有一定影响,供试的 5 种基因型中小偃 22 根系与地上部的 P 含量最高,但同一基因型根系与地上部在不同的 CaCO_3 添加量与 Zn 用量间无明显差异,P 含量的高低与植株体内 Zn 含量的高低不一致,这可能由于本实验中 P 不作为实验因子的缘故,因此不能以缺锌敏感性来确定不同基因型含磷量的高低。但小麦的磷吸收量却不同于磷含量, CaCO_3 的添加对小麦植株磷的吸收影响较小;低 Zn 用量对提高 P 含量与吸收量有一定的促进作用,而高 Zn 用量则抑制小麦根系对 P 的吸收,且缺锌时可以促进磷从根部向地上部的转运;缺锌敏感基因型小麦植株吸磷量较非敏感型低。

在生产中经常会发现,过量施用磷肥会降低锌的有效性,从而诱导缺锌(又称磷诱导性缺锌)。此外,还发现兰花锌含量并不受磷供应量的影响,并由此认为,磷诱导性缺锌的症状其实是磷中毒的症状,而不是缺锌的症状。一般植物叶片含磷量超过总干重的 2%就可以认为是磷中毒^[7]。本试验中磷供应量是按 Hoagland 营养液配方确定的,属正常供应,5 种基因型小麦的磷含量在 0.7%~1.1%范围内,并未超过磷中毒临界值,因此我们认为缺锌症状与磷无关。不同 CaCO_3 添加量对根系 P/Zn 的影响较地上部大,且地上部 P/Zn 有随 CaCO_3 量增加比值减小的趋势。随 Zn 用量的递增,5 种基因型小麦的 P/Zn 呈大幅降低趋势,且在地上部中表现明显。缺锌敏感基因型小麦地上部 P/Zn 较非敏感型高,这恰与含 Zn 量与吸 Zn 量的趋势相反,可见在供试条件下主要是供 Zn 量影响了 P/Zn。

参 考 文 献:

- [1] 刘 铮.我国土壤中锌含量的分布规律[J].中国农业科学,1994,27(1):30-37.
- [2] Hajiboland R, Yang X E. Effect of bicarbonate and high pH on growth of Zn-efficient and Zn-inefficient genotypes of rice, wheat and rye[J]. Plant and Soil, 2003, 250:349-357.
- [3] Brown J C and Jones W E. A technique to determine iron efficiency in plants [J]. Soil Sci. A M J. 1976, 40:398-405.
- [4] 白厚义,肖俊璋. 试验研究及统计分析[M]. 西安:世界图书出版公司,1998,46-47.

- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999. 268—270.
- [6] Cakmak O, Ozturk L, Karanlik S, Ozkan H, Kaya Z, and Cakmak I. Tolerance of 65 durum wheat genotypes to zinc deficiency in a calcareous soil[J]. Journal of Plant Nutrition, 2001, 24(11): 1831—1847.
- [7] 廖 红, 严小龙. 高级植物营养学[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 221—222.
- [8] Viets F G., JR, Boawn L C and Crawford C L. Zinc contents and deficiency symptoms of 26 crops grown on a zinc-deficient soil [J]. Soil Science, 1954, 78, 305—316.
- [9] 房 蓓, 武泰存, 王景安. 低锌和缺锌胁迫对不同基因型玉米的影响及机理[J]. 土壤通报, 2004, 35(5): 617—621.
- [10] 陈 丹, 李志洪, 孙晓秋, 等. 缺锌时玉米吸收的动力学及氨基酸分泌的影响[J]. 吉林农业大学学报, 1998, 20(4): 58—60.
- [11] 范爱武, 刘 伟, 李光正. 温室环境对黑心菊生长影响的实验研究[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2005, 9(33): 62—64.
- [12] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003. 95.
- [13] Marschner H. 高等植物的矿质营养[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001. 251.

Effect of supplying CaCO_3 and Zn in the nutrient solution on growth and Zn、P uptake of winter wheat plants of five genotypes

CHEN Ling, TIAN Xiao-hong, LI Feng, LI Sheng-xiu

(College of Resource and Environmental Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to investigate the effects of supplying rates of calcium carbonate (0, 10, 30, 60 mg/L) and zinc (0, 0.016, 0.082 mg/L) supplied in the nutrient solutions on wheat seedlings growth, zinc and phosphorus uptake, winter wheat plants of five genotypes were mix-cultured in Hoagland nutrient solution. Based on the biomass and the severity extent of Zn deficiency symptoms of five genotypes, S02—8 and Yuanfeng 998 was classified to susceptibility—types to Zn deficiency, and Zhongyu 6, Xiaoyan 22 and Xiza 1 were non-susceptibility types. Supplying Zn with low rate was more favorable for growth of wheat plants; Addition of CaCO_3 with low rates could promote the development of wheat plants to some extent, whereas, addition with high rate inhibited the growth. The biomass of roots and shoots for wheat plants of susceptibility types were significantly lower than that of non-susceptibility types, and also the ratios of root to shoot of the former were obviously lower than that of the latter. Adding CaCO_3 in the nutrient solution had little influence on Zn and phosphorus uptake by various wheat genotypes, but P/Zn ratios of shoot decreased with increasing CaCO_3 additions. With increasing Zn rates Zn uptake by roots and shoots of wheat plants increased, but P/Zn ratios were decreased, and at the high rate of zinc supply Zn was easily accumulated in the roots, but at the same time P uptake was inhibited. In comparison with no supplying Zn, supplying Zn at high rate significantly decreased P/Zn ratios of roots and shoots of wheat plants, whereas, supplying Zn at low rate only slightly decreased the P/Zn ratios of shoots. All phosphorus concentrations of wheat plants of five genotypes tested were lower than the critical value of P toxication, therefore, it was no doubt that Zn deficiency symptom occurred had no relationship with P. Comparing with non—susceptibility type, the wheat plants of susceptibility types easily accumulated zinc in roots, P uptake was relatively low, and P/Zn ratio of shoot was higher.

Keywords: CaCO_3 ; Zn; genotypes of winter wheat; biomass; P; P/Zn