

不同玉米基因型幼苗缺锌敏感性评价^{*}

孙 刚^a, 杨习文^a, 田霄鸿^a, 曹翠玲^b, 李生秀^a

(西北农林科技大学 a 资源环境学院; b 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 采用砂培试验方法, 在缺锌条件下对 35 个玉米基因型的缺锌敏感性及相关影响因子进行了比较和评价。根据培养试验中玉米幼苗叶片缺锌症状出现的严重程度和时间早晚, 将供试玉米基因型划分为缺锌敏感型、中等敏感型和非敏感型 3 种类型。对 10 个缺锌敏感型和非敏感型玉米基因型进行比较发现, 外界缺锌对玉米幼苗期的生物量影响不大, 敏感型玉米基因型仅仅从外观上显示出缺锌症状。缺锌能显著降低缺锌敏感型玉米基因型叶片的叶绿素含量, 而对非敏感型玉米基因型的叶绿素含量影响较小。缺锌敏感型玉米基因型的根冠比普遍较大, 其根冠比均大于 1, 而非敏感型玉米基因型的根冠比却等于或小于 1。缺锌敏感型玉米基因型种子中 P/Zn 较高, 非敏感型玉米基因型的 P/Zn 较低。在缺锌条件下, 缺锌敏感型玉米基因型锌从种子向地上部转移的转移率更高。总的来看, 玉米种子中的 P/Zn 可以作为判断玉米生长期中缺锌敏感性的一个重要指标, 玉米幼苗的根冠比可以作为鉴别缺锌敏感性的另一指标。

[关键词] 玉米; 基因型; 缺锌敏感性; 磷锌比

[中图分类号] Q 945 18; S513

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)03-0165-07

Study on susceptibility of different maize genotypes to zinc deficiency

SUN Gang^a, YANG Xiwen^a, TIAN Xiao-hong^a, CAO Cui-ling^b, LI Sheng-xiu^a

(a College of Resource and Environmental Sciences; b College of Life Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The two sand experiments were carried out successively to assess the susceptibility of thirty five maize genotypes to zinc deficiency and their corresponding factors under the conditions of zinc deficiency. Based on the severity and occurrence time of zinc deficiencies, the tested maize genotypes were classified into three types, namely, susceptible genotypes, medium susceptible genotypes and non-susceptible genotype. In addition, the respective five genotypes for susceptible genotypes and non-susceptible genotypes were carefully studied, which indicated that there was no obvious influence of zinc deficiency in environment on yields of maize seedlings, and zinc deficiency symptoms occurred only on the leaves of susceptible genotypes. Zinc deficiency obviously decreased the chlorophyll content of the leaves for susceptible types to zinc deficiency, whereas the leaf chlorophyll content still maintained higher level for non-susceptible genotypes. The susceptible genotypes to zinc deficiency had higher root shoot ratios with more than 1, however, the root shoot ratios were less than or equal to 1 for non-susceptible genotypes. The P/Zn ratios of seeds for the susceptible genotypes were higher than that of non-susceptible genotypes. What's more, under the conditions of zinc deficiency, the translocation rates of zinc from seed to shoot were higher for susceptible genotypes to zinc deficiency compared with non-susceptible genotypes. In conclusion, the P/Zn ratio of maize seeds can be regarded as an important index to predict the susceptibility of young seedlings to zinc

* [收稿日期] 2006-02-23

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目(30230230); 农业部“948”重大项目(2003-Z53); 西北农林科技大学 2006 年校专项(06ZR045)

[作者简介] 孙 刚(1977-), 男, 陕西凤翔人, 硕士, 现在江西省农科院土壤肥料研究所工作, 主要从事土壤养分调控研究。

[通讯作者] 田霄鸿(1967-), 男, 甘肃天水人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事旱地养分资源调控研究。E-mail: txhong@hotmail.com

deficiency, and the root to shoot ratios is also an adequate indicator to evaluate the sensitivity of maize plants to zinc deficiency.

Key words: maize; genotype; zinc deficiency susceptibility; P/Zn

自 1926 年锌被证明是植物必需营养元素以来,全世界陆续发现了大范围的缺锌土壤,因缺锌而造成作物大面积减产^[1]。目前仅亚洲就有 200 万 hm^2 缺锌稻田,我国也有 40% 的缺锌土壤^[2]。近年来,土壤和粮食作物的缺锌问题,尤其是禾谷类作物锌营养与人类健康之间的关系问题日益受到人们重视。这不仅因为人体内微量元素中的锌含量仅次于铁,人体缺锌会引起很多疾病,如侏儒症、糖尿病、高血压、白内障、肝硬化等^[3];而且还因为以禾谷类粮食为主食且动物性食物摄入量相对较低地区,也往往是缺锌人群的主要分布区^[4]。为此,从现有水稻、小麦和玉米的种质资源中寻找锌含量高的基因型,在生产中大力推广应用,对于提高人们的健康水平具有重要意义。

玉米主要作为人们的辅助性食物和动物饲料,提高玉米籽粒中的锌含量对人体健康具有重要意义。玉米是对锌最为敏感的作物之一,玉米缺锌大多发生在我国西北、东北和山东等地区的石灰性土壤上^[5]。玉米缺锌时不仅生长发育受阻,而且还会导致产量低下,品质降低^[6]。研究发现,不同植物或同一植物的不同基因型,对同一微量元素缺乏或毒害的敏感程度和适应能力有较大差异^[7],玉米的不同基因型对缺锌的敏感性也是如此^[8]。我国玉米基因型数量众多,研究不同玉米基因型的缺锌敏感性差异,对于进一步筛选耐缺锌基因型以及寻找耐缺锌基因资源,提高玉米的产量、营养品质以及土壤锌资源的利用效率均具有十分重要的意义。目前,有关不同玉米基因型幼苗缺锌敏感性的研究还较少。本研究对陕西关中地区播种面积较大的 35 个玉米基因型幼苗缺锌的敏感性进行了评价,旨在为筛选耐缺锌玉米基因型、提高玉米的产量和品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

选用在陕西关中地区播种面积较大的 35 个玉米(*Zea mays* L.) 基因型(均由西北农林科技大学农学院提供)进行砂培试验,这些基因型分别为:登峰 4、晋玉 42、陕单 902、掖单 19、陕单 911、农大 60、中单 2、陕资 1、户单 2000、陕单 8806、冀玉 9、农大 3138、掖单 13、屯玉 65、沈单 16、豫玉 22、陕单 9、登

海 3、农大 108、登海 11、陕单 16、沈单 10、秦玉 4、登海 1、陕单 308、鲁单 981、屯玉 51、新陕资 1、郑单 958、户单 4、陕单 8813、登海 9、高农 1、秦龙 9、屯玉 2; 试验采用新鲜的河砂,过筛使其粒径为 0.5~2 mm,先用自来水洗去砂中含有的泥和其他杂质,然后用蒸馏水淘洗 3 遍后晾干,备用。

1.2 方法

1.2.1 幼苗培养试验 I 玉米发芽阶段及前期培养均在室内进行。培养使用 10 cm × 10 cm (直径 × 高) 的黑色营养钵,每钵装干砂 0.8 kg。每个玉米基因型种植 4 钵,共计 140 钵。种子在体积分数 3% H_2O_2 溶液中浸泡 30 min 进行消毒后,于 2004-04-16 直接播种于营养钵内,每钵播 6 粒,充分灌水以保证出苗。04-21 进行间苗,每钵留苗 4 株,随后将幼苗移入有人工光源的培养室中进行培养,每日光照时间 12 h,光强 2 750 lx,温度 $(25 \pm 4)^\circ\text{C}$ 。播种 7 d 后浇灌 1/4 浓度的 Hoagland 营养液供应大量元素^[9],同时用 1/4 浓度的 Arnon 微量元素营养液(无 Zn)提供微量元素^[9],Hoagland 营养液原配方中的酒石酸铁(0.005 g/L)用柠檬酸铁(0.005 g/L)代替。随后每隔 3 d 浇灌 1 次 50 mL 1/2 浓度的 Hoagland 营养液和 1/2 浓度 Arnon 微量元素混合液(无 Zn)。在培养室内培养 35 d 后,将幼苗转移至自然光照条件下的网室内(屋顶为玻璃,四周为铁丝网),继续培养 20 d 后收获,测定地上部和根系的生物量。试验过程中仅观察幼苗长势和是否出现缺锌症状,若缺锌症状出现早,培养结束时缺锌症状发展得已很严重,则划分为缺锌敏感型;若缺锌症状出现较迟,收获时仅出现了轻微的缺锌症状,则划分为中等敏感型;若培养阶段未出现缺锌症状,则划分为非敏感型。

1.2.2 幼苗培养试验 II 为验证幼苗培养试验 I 的结果,利用上述 35 个玉米基因型再次进行培养试验。培养使用的黑色营养钵容积较大(13 cm × 13 cm),每钵装干砂 1.3 kg,每个基因型重复 3 次,共计 105 钵。利用体积分数 3% H_2O_2 对种子消毒,于 05-26 播种,每钵播种 4 粒,出苗后将营养钵移入玻璃网室进行培养,播种 7 d 后间苗,每钵留 2 株幼苗。同时开始浇 1/4 浓度的 Hoagland 营养液和 1/4 浓度 Arnon 无 Zn 微量元素营养液(配方同 1.2.1)。

随后每隔 4 d 浇灌 1 次 1/2 浓度的 Hoagland 营养液和 1/2 浓度 Arnon 无 Zn 微量元素营养液直至试验结束。于播种 40 d 后收获幼苗。培养期间观察和记载玉米幼苗的长势和叶色。收获时首先对地上部进行刈割, 然后将玉米根系用自来水反复冲洗, 再用蒸馏水冲洗并擦干。随后将地上部和根系样品放入烘箱, 先在 80 ℃ 烘 15 min, 然后在 60 ℃ 烘 48 h, 称量。

1.3 测定项目

在培养试验 I 结束后随机选取缺锌敏感型和非敏感型玉米基因型各 5 个, 测定其叶片叶绿素含量。从幼苗培养试验 II 的观察结果中随机挑选 5 个缺锌敏感型玉米基因型与 5 个非敏感型玉米基因型, 测定不同玉米基因型的根冠比、千粒重、种子 P 和 Zn 含量及幼苗地上部 Zn 含量。干灰化法处理样品后, Zn 含量采用原子吸收法测定^[10]。种子 P 含量采用 H₂SO₄-H₂O-钼锑抗比色法测定^[10]。玉米叶片的叶绿素含量采用直接浸提法测定^[11]。

1.4 数据处理

数据进行方差分析后, 用 SSR 法进行多重比较 (采用 SAS 8.2 统计软件)。

2 结果与分析

2.1 35 个玉米基因型的缺锌敏感性、生物量和种子 Zn 含量

由 2 次幼苗培养试验结果可知, 收获时, 大部分

培养钵内的幼苗均出现缺锌症状, 即玉米叶尖有黄褐色液滴吐出, 随后从叶尖开始枯萎; 新芽发白; 新叶叶脉间失绿, 显淡黄色或淡白色, 叶片基部表现尤为明显。根据培养试验中观察到的玉米幼苗叶片在培养过程中缺锌症状出现的严重程度和时间差异, 将供试的 35 种玉米基因型划分为缺锌敏感型、中等敏感型和非敏感型 3 种类型。

幼苗培养试验 I 中的 35 个玉米基因型的缺锌敏感性、根系和地上部生物量及种子 Zn 含量如表 1 所示。由表 1 可知, 供试的 35 种玉米基因型中, 缺锌敏感型、中等敏感型和非敏感型分别有 13, 12 和 10 种。在缺锌条件下, 35 种玉米基因型的根系、地上部和整株生物量均存在较大差异。培养试验主要在玉米幼苗期进行, 外界不供应锌时, 缺锌玉米植株已从外观上显示出缺锌症状, 表明某些玉米品种对缺锌比较敏感。屯玉 51 种子的 Zn 含量最高为 9.85 μg/粒, 户单 4 最低仅为 3.92 μg/粒, 相差 2.51 倍, 说明不同玉米基因型种子 Zn 含量存在着较大的差异。但是屯玉 51 和户单 4 个基因型均为非敏感型, 说明种子 Zn 含量与幼苗的缺锌敏感性无直接关系。对不同玉米基因型种子锌含量与幼苗根系、地上部和整株生物量进行相关分析, 结果表明, 前者与后三者间的相关系数分别为 0.039 1, 0.006 4 和 0.027 3, 相关性均不显著。

表 1 35 个玉米基因型的缺锌敏感性及生物量和种子 Zn 含量

Table 1 Susceptibility to zinc deficiency, biological yield and Zn content in grain for 35 maize genotypes

玉米基因型 Genotype	缺锌敏感性 Susceptibility to Zn deficiency	生物量/(mg·盆 ⁻¹) Yield			种子 Zn 含量/ (μg·粒 ⁻¹) Zinc content	种子 Zn 含量与 均值之差/ (μg·粒 ⁻¹) Difference between zinc content and mean content
		根系 Root	地上部 Shoot	整株 Root+ shoot		
登峰 4 Dengfeng4	++	288±39	290±36	578±75	7.43	-0.12
晋玉 42 Jinyu 42	++	386±75	277±47	663±122	7.24	-0.31
陕单 902 Shandan 902	++	352±99	395±73	748±172	6.39	-1.16
掖单 19 Yedan 19	++	345±22	373±128	718±150	7.45	-0.10
陕单 911 Shandan 911	++	590±57	400±120	990±177	8.09	0.54
农大 60 Nongda 60	++	423±95	407±50	829±145	8.27	+0.72
中单 2 Zhongdan 2	++	377±141	414±29	791±170	5.87	-1.68
陕资 1 Shanzi 1	++	382±24	264±101	646±125	7.28	-0.27
户单 2000 Hudan 2000	++	559±152	499±150	1058±302	6.44	-1.11
陕单 8806 Shandan 8806	++	392±114	293±81	685±195	6.73	-0.82
冀玉 9 Jiyu 9	++	337±22	211±14	548±36	8.12	+0.57
农大 3138 Nongda 3138	++	652±115	592±103	243±218	7.66	+0.11
掖单 13 Yedan 13	++	486±48	378±40	864±88	6.87	-0.69
屯玉 65 Tunyu 65	+	471±123	434±115	905±238	9.17	+1.62
沈单 16 Shendan 16	+	631±81	404±75	1035±155	7.07	-0.48
豫玉 22 Yuyu 22	+	317±102	365±76	682±178	9.80	+2.25

续表 1 Continued of Table 1

玉米基因型 Genotype	缺锌敏感性 Susceptibility to Zn deficiency	生物量/(mg·盆 ⁻¹) Yield			种子 Zn 含量/ (μg·粒 ⁻¹) Zinc content	种子 Zn 含量与 均值之差/ (μg·粒 ⁻¹) Difference between zinc content and mean content
		根系 Root	地上部 Shoot	整株 Root+ shoot		
陕单 9 Shandan 9	+	235 ± 85	296 ± 62	531 ± 147	7.51	- 0.04
登海 3 Denghai 3	+	298 ± 108	360 ± 112	658 ± 230	7.68	+ 0.13
农大 108 Nongda 108	+	332 ± 111	281 ± 105	613 ± 116	8.43	+ 0.88
登海 11 Denghai 11	+	511 ± 96	350 ± 76	861 ± 172	8.72	+ 1.17
陕单 16 Shandan 16	+	393 ± 88	449 ± 85	842 ± 173	8.04	+ 0.49
沈单 10 Shendan 10	+	257 ± 37	234 ± 33	491 ± 70	8.59	+ 1.04
秦玉 4 Qinyu 4	+	313 ± 52	347 ± 50	660 ± 102	6.02	- 1.53
登海 1 Denghai 1	+	490 ± 22	377 ± 19	867 ± 41	6.07	- 1.48
陕单 308 Shandan 308	+	317 ± 64	355 ± 46	672 ± 110	4.75	- 2.80
鲁单 981 Ludan 981	-	464 ± 97	270 ± 67	735 ± 164	6.77	- 0.78
屯玉 51 Tunyu 51	-	486 ± 127	343 ± 82	829 ± 209	9.85	+ 2.30
新陕资 1 Xinshanzi 1	-	343 ± 84	344 ± 69	687 ± 155	8.98	+ 1.43
郑单 958 Zhengdan 958	-	326 ± 89	468 ± 45	794 ± 134	9.17	+ 1.62
屯玉 2 Tunyu 2	-	395 ± 30	272 ± 30	667 ± 60	8.00	+ 0.45
陕单 8813 shandan 8813	-	359 ± 82	410 ± 66	769 ± 148	8.10	+ 0.55
登海 9 Denghai 9	-	292 ± 11	274 ± 69	565 ± 80	8.55	+ 1.00
高农 1 Gaonong 1	-	465 ± 62	428 ± 34	894 ± 96	7.65	+ 0.10
秦龙 9 Qinnong 9	-	514 ± 97	365 ± 85	879 ± 162	7.60	+ 0.05
户单 4 Hudan 4	-	292 ± 59	314 ± 67	607 ± 176	3.92	- 3.63
平均值 Mean		402 ± 95	358 ± 64	760 ± 159	7.55	
LSD 0.05 值 LSD 0.05 value		66.96	45.93	92.45	1.49	

注: +, +, +, - 分别表示该玉米基因型为缺锌敏感型、中等敏感型和非敏感型。
Note: +, +, +, - represent the susceptibility of a given maize genotype to zinc deficiency is very sensitive, moderate sensitive and insensitive, respectively.

2.2 缺锌敏感型与非敏感型玉米基因型叶片的叶绿素含量
缺锌敏感型玉米基因型和非敏感型玉米基因型叶片颜色的差异极为明显。缺锌敏感型与非敏感型玉米基因型叶片的叶绿素含量见表 2。
由 2 次幼苗培养试验结果可知, 试验后期敏感型玉米基因型均表现出极明显的缺锌失绿症状, 缺

表 2 缺锌敏感型和非敏感型玉米基因型叶片的叶绿素含量

Table 2 Leaf chlorophyll content of various maize genotypes tested which have different susceptibility to zinc deficiency under zinc deficiency mg/g

缺锌敏感性 Susceptibility to zinc deficiency	基因型 Genotypes	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	类胡萝卜素 Carotino id	总量 Total
敏感型 Sensitive genotypes	陕单 902 Shandan 902	1.836 d	0.196 a	1.059 c	3.091 f
	陕单 911 Shandan 911	1.615 de	0.153 a	1.323 b	3.091 f
	农大 60 Nongda 60	2.224 c	0.355 a	1.267 b	3.846 d
	中单 2 Zhongdan 2	2.267 c	0.369 a	0.858 d	3.494 e
	户单 2000 Hudan 2000	1.318 e	0.287 a	0.859 d	2.464 e
	平均值 Mean	1.852	0.272	1.073	3.198
非敏感型 Insensitive genotypes	新陕资 1 Xinshanzi 1	4.578 b	0.345 a	1.892 a	6.815 b
	郑单 958 Zhengdan 958	4.626 b	0.355 a	1.840 a	6.821 b
	陕单 8813 Shandan 8813	6.316 a	0.589 a	1.878 a	8.783 a
	高农 1 Gaonong 1	4.353 b	0.348 a	1.839 a	6.540 c
	户单 4 Hudan 4	4.578 b	0.345 a	1.892 a	6.815 b
	平均值 Mean	4.890	0.396	1.868	7.155

由表 2 可知, 缺锌敏感型玉米基因型的叶绿素 a 含量、类胡萝卜素含量及叶绿素总量均显著低于

非敏感型玉米基因型, 表明缺锌能显著降低缺锌敏感型玉米基因型叶片的叶绿素含量, 而非敏感型玉米基因型对缺锌的反应较为迟钝。非敏感型玉米基因型陕单 8813 叶片的叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、类胡萝卜素含量及叶绿素总量较缺锌敏感型玉米基因型户单 2000 分别高出 37.9 2%, 105.2 2%, 118.6 6% 和 256.5 5%, 表明在缺锌条件下, 非敏感型玉米基因型叶片叶绿素含量能维持在较高水平, 而缺锌敏感型玉米基因型叶片叶绿素含量则大幅度降低。

2.3 缺锌敏感型与非敏感型玉米基因型幼苗的生物量、锌吸收量及锌转移率

由表 3 可知, 缺锌敏感型与非敏感型玉米基因型幼苗的平均地上部生物量差异较小, 而敏感型玉米基因型的平均根系生物量较非敏感型基因型高 28.21%; 二者的根冠比差异较为明显, 其中敏感型玉米基因型幼苗的根冠比均大于 1, 非敏感型玉米

基因型幼苗的根冠比均等于或小于 1, 5 种敏感型玉米基因型的平均根冠比较非敏感型玉米基因型高 25.8%。表明在缺锌条件下, 敏感型玉米基因型的幼苗对缺锌反应强烈, 缺锌刺激了根系生长, 从而有利于吸收更多的锌。

在缺锌条件下, 玉米幼苗中的锌主要来自种子。由表 3 还可知, 不同玉米基因型的地上部锌含量存在显著性差异。与缺锌敏感型玉米基因型相比, 非敏感型玉米基因型的平均地上部锌含量和锌吸收量分别高 10.11% 和 5.48%, 即两种类型间平均锌吸收量的差异较小。缺锌敏感型玉米基因型平均锌转移率与非敏感型玉米基因型差异较大, 敏感型玉米基因型的平均锌转移率较非敏感型玉米基因型高 22.52%。说明在缺锌条件下, 与非敏感型玉米基因型相比, 缺锌敏感型玉米基因型种子中的锌更易向幼苗地上部转移。

表 3 缺锌敏感型和非敏感型玉米基因型幼苗的生物量、锌吸收量及锌转移率
Table 3 Yield of seedlings, zinc uptake and zinc transfer ratio of Zn-deficiency susceptibility genotypes and non-susceptibility genotypes

缺锌敏感性 Susceptibility deficiency to Zn	基因型 Genotypes	生物量/(g · 盆 ⁻¹) Dry weight		根冠比 Root shoot ratio	地上部 锌含量/ (μg · kg ⁻¹) Zinc content of shoot	锌吸收量/ (μg · 株 ⁻¹) Zinc uptake of shoot	锌转移率/% Translo- cation ratio of zinc
		地上部 Shoot	根系 Root				
敏感型 Genotypes of sensitive	陕单 902 Shandan 902	0.352 a	0.395 a	1.12 ab	24.99 f	4.4 d	71.1 c
	陕单 911 Shandan 911	0.379 a	0.461 a	1.22 a	29.00 d	5.5 bc	69.6 c
	农大 60 Nongda 60	0.407 a	0.423 a	1.04 b	27.21 e	5.54 bc	66.7 d
	中单 2 Zhongdan 2	0.377 a	0.414 a	1.10 ab	31.39 c	5.92 b	80.7 a
	户单 2000 Hudan 2000	0.499 a	0.559 a	1.12 ab	27.81 e	6.94 a	73.2 b
	平均值 Mean	0.403	0.450	1.12	28.08	5.66	72.2
非敏感型 Genotypes of insensitive	新陕资 1 Xinshanzi 1	0.344 a	0.343 a	1.00 bc	36.87 b	6.34 a	65.4 e
	郑单 958 Zhengdan 958	0.468 a	0.326 a	0.70 d	22.24 g	5.21 c	51.5 i
	陕单 8813 Shandan 8813	0.407 a	0.362 a	0.89 c	32.26 c	6.57 a	63.0 f
	高农 1 Gaonong 1	0.465 a	0.428 a	0.92 bc	24.26 f	5.64 bc	55.1 h
	户单 4 Hudan 4	0.312 a	0.294 a	0.94 bc	38.97 a	6.08 b	59.9 g
	平均值 Mean	0.399	0.351	0.89	30.92	5.97	59.0

注: 锌转移率/% = 地上部锌吸收量/(μg · 株⁻¹)/种子中含锌量/(μg · 粒⁻¹) × 100%。
Note: The translocation rate/% = Zinc uptake of shoot (μg/plant)/zinc total of seeds (μg/seed) × 100%.

2.4 缺锌敏感型与非敏感型玉米基因型千粒重及种子磷和锌含量

10 个玉米基因型的千粒重、P 含量和 Zn 含量见表 4。表 4 表明, 除中单 2 外, 4 种缺锌敏感型玉米基因型千粒重均显著低于非敏感型玉米基因型(户单 4 除外), 表明千粒重对缺锌敏感性有较大影响;

此外, 缺锌敏感型玉米基因型和非敏感型玉米基因型种子的含锌量均较高, 表明玉米种子中锌含量的高低与缺锌敏感性之间关系并不密切。但是, 缺锌敏感型玉米基因型与非敏感型玉米基因型相比, 前者的 P/Zn 较高, 而后的 P/Zn 较低, 表明 P/Zn 可以作为判断玉米缺锌敏感性的一个重要指标, 用以

预测玉米生长期内玉米对缺锌的反应程度。

表 4 缺锌敏感型与非敏感型玉米基因型千粒重及种子磷和锌含量

Table 4 1000-seeds weight and P, Zn contents in seeds of Zn-deficiency susceptibility genotypes and non-susceptibility genotypes

缺锌敏感性 Susceptibility to zinc deficiency	基因型 Genotypes	千粒重/g Weight of one thousand grains	P 含量/ (mg · 粒 ⁻¹) P content	Zn 含量/ (μg · 粒 ⁻¹) Zn content	P/Zn
敏感型 Genotypes of sensitive	陕单 902 Shandan 902	204.1 ± 14.1 h	0.304 ± 0.063 e	6.39 ± 1.43 bc	48.3 ± 9.0 b
	陕单 911 Shandan 911	312.8 ± 12.8 e	0.425 ± 0.059 b	8.09 ± 2.71 ab	53.0 ± 8.3 ab
	农大 60 Nongda 60	300.9 ± 10.9 f	0.370 ± 0.081 c	8.27 ± 1.01 ab	55.1 ± 9.9 ab
	中单 2 Zhongdan 2	334.7 ± 14.7 c	0.479 ± 0.037 a	5.87 ± 2.06 bc	58.7 ± 8.2 a
	户单 2000 Hudan 2000	261.3 ± 11.3 g	0.334 ± 0.073 d	6.44 ± 1.83 b	52.0 ± 6.2 b
	平均值 Mean	282.8 ± 12.8	0.383 ± 0.063	7.01 ± 1.81	53.4 ± 8.3
非敏感型 Genotypes of insensitive	新陕资 1 Xinshanzi 1	325.7 ± 11.3 d	0.414 ± 0.049 b	8.98 ± 2.73 a	46.2 ± 6.3 b
	郑单 958 Zhengdan 958	380.4 ± 10.4 a	0.354 ± 0.107 cd	9.17 ± 1.16 a	38.6 ± 3.2 c
	陕单 8813 Shandan 8813	258.4 ± 18.4 b	0.326 ± 0.057 dc	8.10 ± 1.22 ab	40.2 ± 4.7 c
	高农 1 Gaonong 1	333.6 ± 13.6 c	0.374 ± 0.047 c	7.65 ± 2.56 ab	48.8 ± 6.1 b
	户单 4 Hudan 4	166.1 ± 16.1 i	0.264 ± 0.033 f	3.92 ± 1.59 c	40.4 ± 4.6 c
	平均值 Mean	292.8 ± 14.0	0.346 ± 0.058	7.56 ± 2.05	42.9 ± 5.0

注: P/Zn= 每粒籽粒 P 含量/每粒籽粒 Zn 含量。

Note: P/Zn= Zinc total of every seed/Zinc total of every seed

3 讨 论

不同作物对缺锌的敏感性存在差异^[11-13]。根据作物对缺锌的敏感程度不同, Clark^[14]和 V iet s 等^[15]通过大量田间试验,将一些禾谷科作物划分为两大类:敏感型和非敏感型;还有专家将作物分为 3 类,即最敏感的作物:水稻、玉米、高粱、大豆、棉花等;中等敏感的作物:马铃薯、洋葱、甜菜、三叶草等;不敏感的作物:小麦、大麦、胡萝卜、苜蓿、豌豆等^[11]。但同一作物不同基因型对缺锌的敏感程度也不一致^[12]。禾谷类作物的缺锌临界值(以质量(干)计)为 15~ 20 mg/kg,双子叶植物为 20~ 30 mg/kg^[12]。本试验中缺锌玉米基因型地上部的锌含量普遍高于上述数值,可能是由于测定玉米地上部包括了锌含量较高的茎秆。

由本研究结果可知,锌从玉米种子向地上部的转移率均高于 50%,表明幼苗地上部的锌主要来自种子。然而相关分析结果表明,不同玉米基因型种子锌含量与幼苗根系、地上部和整株生物量之间的相关系数均不显著,缺锌对玉米幼苗期的生物量影响较小,而仅在外观上显示出缺锌症状;尽管不同玉米基因型种子的 Zn 含量差异较大,但是种子的锌含量(μg/粒)与幼苗锌吸收量(μg/株)之间的关系系数仅为 0.347,这也进一步说明种子的 Zn 含量不是影响幼苗缺锌敏感性的主要因素。

有研究表明,不同小麦基因型籽粒中锌含量的差异可高达 3 倍^[16]。种子中贮藏的微量元素在根系

吸收养分之前对其生长很重要,锌含量高的种子会使其植株生物量增加。种子大小对种子的活力和幼苗早期的生长也很重要^[17]。但小麦对缺锌的敏感性差异与籽粒和地上部的锌含量无关^[17],而主要与地上部锌的总量有较为密切的关系^[18]。本研究中,不同玉米千粒重和种子中的锌含量存在差异,通过较长时间缺锌条件下的培养,种子锌含量对幼苗生长的影响并不显著,据此可以认为,玉米不同基因型遗传学上的差异(基因型的差异)可能是导致幼苗缺锌敏感性不同的主要原因。不同品系小麦和小黑麦种子中微量元素含量上的差异,可能与它们长期在不同土壤营养环境中形成的遗传特性密切相关,在微量元素含量高或含量低土壤环境中长期适应形成基因型特性,小麦种子某种元素含量高可能反映该品系对土壤某种元素具有高效吸收利用的特性^[19]。本研究中,除测定了不同玉米基因型种子 Zn 含量之外,还测定了 Fe、Cu、Mn 含量(数据未列出),非敏感型玉米基因型种子中的 4 种微量平均值均高于缺锌敏感型玉米基因型,这可能是由不同玉米基因型遗传特性决定的。除了 Cu 以外,其他元素含量在不同玉米基因型间均存在显著差异。

有研究表明,不同品系小麦和小黑麦种子中磷和锌的比例有差异,因此对磷和锌的敏感性也不同^[20]。本研究中缺锌敏感型玉米基因型种子的 P/Zn 较高,可能与植物缺锌时吸收了过量的磷,以致引起“磷中毒”有关。P/Zn 曾一度被众多学者用来衡量植株磷、锌营养状态的诊断指标^[20]。本试验结果表明,

不同缺锌敏感型玉米基因型种子中 P/Zn 差异明显, 可以用来初步判断玉米的缺锌敏感性。这种差异可能是由于植株体内高 P/Zn 影响了籽粒的 P/Zn 。

本试验表明, 供试的不同玉米基因型之间的缺锌敏感性存在差异。国际水稻研究所曾对 2 474 种水稻基因型进行了耐缺锌能力的田间鉴定和筛选^[21]。本研究选用的玉米基因型主要种植在陕西关中平原地区, 数量有限, 但是本研究旨在通过采用较为简单的砂培试验评价供试玉米基因型的缺锌敏感性, 将来在田间进一步验证砂培方法与田间栽培的符合程度。就这方面的工作而言, 研究玉米对缺锌的敏感程度与土壤缺锌临界值的关系也将具有十分重要的生产意义。本研究从 35 个玉米基因型中筛选出了一些缺锌敏感型和非敏感型的玉米基因型, 为进一步研究提供了材料, 将有助于搞清楚不同玉米基因型缺锌敏感性差异的内在机理。

[参考文献]

- [1] 孙桂芳, 杨光穗 土壤—植物系统中锌的研究进展[J]. 华南热带农业大学学报, 2002, 8(2): 22-30
- [2] 王景安, 张福锁 缺锌和低锌对玉米幼苗生长发育的影响[J]. 土壤肥料, 1995, 5: 18-20
- [3] 徐晓燕, 杨肖娥, 杨玉爱 锌从土壤向食物链的迁移[J]. 广东微量元素科学, 1996, 3(7): 21-29
- [4] Cakmak I, Kalayci M, Ekiz H, et al Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in turkey: a NATO-science for stability project[J]. Field Crops Research, 1999, 60: 175-188
- [5] 浙江农业大学 作物营养与施肥[M]. 北京: 农业出版社, 1990: 402-403
- [6] 董爱平, 周建民, 俞林祥 施锌对玉米产量和品质的影响[J]. 土壤肥料, 1995(5): 49
- [7] 张福锁 植物营养生态生理学和遗传学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993
- [8] 任 军, 袁震霖, 张淑芬, 等 玉米锌素营养基因型差异及遗传特性初探[J]. 玉米科学, 1995, 3(2): 68-70
- [9] 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: 42-51
- [10] 南京农业大学 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1981
- [11] Cakmak I, Yilmaz A. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia[J]. Plant and Soil, 1996, 181: 165-172
- [12] 廖 红, 严小龙 高级植物营养学[M]. 北京: 科学出版社, 2003
- [13] 赵同科 植物锌营养研究综述与展望[J]. 河北农业大学学报, 1996, 19(1): 102-107
- [14] Clark R B. Physiology of cereals for mineral nutrient uptake, use, and efficiency[M] // Balligar V C, Duncan R R. Crops as enhancers of nutrient use San Diego: Academic Press, 1990: 131-209
- [15] Viets F J, Boawn L C, Crawford C L. Zinc contents and deficiency symptoms of 26 crops grown on a zinc deficient soil[J]. Soil Sci, 1954, 78: 305-316
- [16] Rengel Z, Graham R D. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn-deficient soil I. Vegetative growth[J]. Plant and Soil, 1995, 173: 259-266
- [17] Mian A R, Nafziger E D. Seed size effects on emergence head number and grain yield of winter wheat[J]. J Pro Agric, 1992, 5: 265-268
- [18] Cakmak I, Ekiz H, Yilmaz A, et al Differential response of rye, triticale, bread and durum wheat to zinc deficiency in calcareous soils[J]. Plant and Soil, 1997, 188: 1-10
- [19] 吴兆明, 王玉琦, 孙景信 不同品系小麦和小黑麦种子中金属元素含量的比较研究[J]. 作物学报, 1996, 22(5): 565-567
- [20] Neue H U, Quijano C, Sejnadhira D, et al Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in low land rice systems[J]. Field Crops Research, 1998, 56: 139-155
- [21] 王人民, 杨肖娥, 杨玉爱 水稻耐低锌基因型的生长发育和若干生理特性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 284-293