

不同基因型冬小麦幼苗对缺锌的敏感性反应

孙 刚^{1,2}, 杨习文¹, 田霄鸿¹, 李生秀¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100 2. 江西省农业科学院 土壤肥料研究所, 江西 南昌 330200)

摘要: 采用砂培试验研究了不同小麦基因型对施锌的反应。通过比较小麦幼苗根冠比的大小(是否大于 1), 以及根据培养过程中植株的生长表现, 将供试的 25 种小麦基因型划分为两类: 即缺 Zn 敏感型和非敏感型。结果还表明, 供 Zn 可以促进小麦地上部和根系的生长, 均较大幅度提高了叶绿素 SPAD 值(25 个小麦基因型中 18 个的增幅都超过 10%), 而根冠比则相对保持稳定。小麦种子中的锌含量、幼苗根冠比与小麦叶片叶绿素 SPAD 值之间均无显著性相关关系。由于地上部积累了较高浓度的 Zn, 缺 Zn 非敏感型可有效减轻缺 Zn 对其造成的危害。非敏感型与敏感型相比较, 缺 Zn 条件下地上部和根系锌含量平均值分别高出 96.6% 和 28.8%, 而在供 Zn 条件下则高出 47.6% 和 10.9%。施 Zn 对敏感型与非敏感型小麦体内磷含量并无显著性影响。小麦幼苗中 P/Zn 的大小主要受到小麦体内 Zn 含量变化的影响, 与磷含量则无明显的关系。

关键词: 冬小麦; 基因型; 锌用量; 缺锌敏感型

中图分类号: S512.1⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2009)06-0054-06

Response of Zinc on Wheat Seedling of Different Sensitivity under Zinc Deficiency

SUN Gang^{1,2}, YANG Xi-wen¹, TIAN Xiao-hong¹, LI Sheng-xiu¹

(1. College of Resource and Environmental Science, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China; 2. Soil and Fertilizer Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

Abstract: The sand experiment was conducted to study the responses of different wheat genotypes on zinc supply. According to the comparison among the root to shoot ratios, based on whether the root to shoot ratios were more than 1 or less than 1, as well as the observation results were considered, the 25 genotypes of wheat were classified into two types, namely, susceptible genotypes and non-susceptible genotypes, this classification was mainly based on the severity and time of occurrence of zinc deficiency. The result showed that zinc supply could accelerate the growth of wheat shoot and root and increase the chlorophyll SPAD value (The increased range of 18 wheat genotypes among 25 genotypes were more than 10%), the root shoot ratio hold the comparative stabilization. The correlation was not significant between the zinc content of seed and chlorophyll SPAD value, and between the root shoot ratio of seedling and chlorophyll SPAD value. Because zinc content in the shoot was relatively high, the zinc non-sensitivity type can mitigate effectively damage caused by zinc deficiency. The comparison between the zinc non-sensitivity and zinc sensitivity was carried out, the mean of zinc content in the shoot and root increased 96.6% and 28.8% under zinc deficiency, respectively; it increased 47.6% and 10.9% under zinc supply, respectively. Zinc supply could not affect phosphorus content of the non-zinc sensitivity and zinc sensitivity wheat plant. The P/Zn ratios were affected mainly by the change of zinc content in wheat plant and did not have obvious relation to phosphorus content.

Key words: Wheat; Genotype; Zinc rate; Susceptible genotypes to zinc deficiency

收稿日期: 2009-09-26

基金项目: 2006 年教育部新世纪优秀人才支持计划及西北农林科技大学 2006 年科研专项 (06ZR045); 农业部“948”重大研究项目 (2003-Z53)

作者简介: 孙 刚 (1977-), 男, 陕西凤翔人, 助理研究员, 硕士, 主要从事土壤养分调控方面的研究。

通讯作者: 田霄鸿 (1967-), 男, 甘肃天水人, 教授, 博士, 主要从事植物营养调控方面的研究。

农作物缺锌在世界范围内广泛存在,通过对 19 个国家的土壤养分状况调查发现超过 40% 土壤不同程度存在着缺 Zn 问题^[1]。我国缺锌土壤面积也超过 40%^[2]。作物缺锌正成为世界农业生产中必须予以关注的重要植物营养问题。研究表明,在水稻生产上缺锌是仅次于氮和磷的重要营养障碍,在水稻锌营养方面人们已做了大量研究工作^[3]。水稻缺锌主要集中在石灰性水稻土上^[4,5],不同水稻品种对缺锌反应的敏感性存在差异^[6],近年来国际水稻研究所(IRRI)等研究机构根据水稻对缺锌表现出的基因型差异,选育锌高效基因型水稻品种来解决水稻锌缺乏问题^[7]。

小麦是我国北方地区的主导农作物,虽然小麦对缺锌的反应不很敏感,然而北方石灰性土壤上缺锌问题一直大量存在,只不过长期以来未引起人们足够的重视而已。在澳大利亚和土耳其等国,石灰性土壤上存在大面积缺锌现象,严重影响了当地冬小麦的产量和品质^[8,9]。Graham 发现,用于禾谷类作物生产的土壤,约 50% 的面积 Zn 利用率较低^[10]。在发展中国家,对禾谷类粮食消耗量较大的人群普遍存在着人体缺 Zn 问题。缺 Zn 导致多种人体疾病发生^[11]。在土耳其,一半以上旱地土壤有效锌含量较低,对居民健康尤其是少年儿童生长发育产生了严重危害^[12],成为影响人体健康的“隐形饥饿”(Hidden hunger)^[9]问题。研究发现,不同小麦品种对土壤缺 Zn 的反应迥然不同,它们的锌效率存在极大差异^[13]。锌高效基因型是指那些在缺锌土壤上仍能生长正常并有较好产量的基因型^[14];而锌低效基因型则会出现明显的缺锌症状,对植物的生长形成严重的障碍并导致产量明显的降低,如果缺锌严重会导致植株的枯萎死亡。通过对锌高效和锌低效基因型的比较研究,人们认为二者在缺 Zn 环境中存在差异的原因可能有:高效型会显著地促进根系生长^[15],其根系会释放锌载体物质^[16],而且高效型根系的吸收能力较强^[17],这些均是锌高效表现的反应机理。在我国,对人体锌营养与作物锌营养间的关系方面所作的工作较为有限^[18,19]。本试验对 20 余种小麦的对缺锌的敏感性和锌效率进行比较研究,以期为提高小麦的锌营养价值,为揭示作物锌营养与人体锌营养间的关系提供理论依据。

1 材料和方法

选用在陕西关中地区播种面积较大的 25 个冬小麦(*Triticum aestivum* L.)基因型(品种)进行砂培试验,这些品种均由本校农学院提供。试验采用新

鲜河砂,过筛使其粒径在 0.5~2 mm 范围内,先用自来水洗去砂子中含有的泥土和其他杂质,然后用蒸馏水淘洗 3 遍后晾干,备用。

培养试验使用每桶可装干砂 3.0 kg 的红色塑料小桶,试验 Zn 用量分为 2 个水平(0 和 0.5 mg/kg 干砂),采用完全试验方案,重复 3 次,共计 150 盆。发芽阶段及前期培养在室内进行:对经挑选的籽粒饱满的种子先用 3% 的 H₂O₂ 浸泡消毒 30 min,再用蒸馏水洗净后浸种 24 h。2004 年 10 月 14 日装盆,每盆播种 13 粒,并浇足量蒸馏水保证出苗,4 d 后移入室外进行培养。7 d 后进行间苗处理并开始浇 Hoagland 大量元素和无 Zn 的 Amon 微量元素混合营养液^[20]。播种 10 d 后进行间苗和施锌处理:每盆留小麦幼苗 10 株,施 Zn 处理以溶液的形式施入 ZnSO₄·7H₂O,无 Zn 处理则浇等量蒸馏水。每隔 7 d 浇无 Zn 营养液 150 mL。由于冬季室外的气温很低,砂子出现结冰现象。为防止冬季低温使小麦根系受冻,于 12 月 24 日移入一个小型的人工温室中进行培养,2005 年 2 月 28 日移出温室,继续培养了 20 d 后收获。从出苗到收获共培养 156 d。

砂培过程中,对小麦幼苗的长势和叶色变化都及时作了观察和记载。收获时首先对地上部进行刈割,然后将小麦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℃ 下烘 15 min,然后在 60℃ 烘 48 h,称量干质量。

对不同小麦基因型种子中 P、Zn 含量进行了测定: P 含量采用 H₂SO₄-H₂O-钼锑抗比色法测定^[20], Zn 含量采用干灰化法处理、原子吸收分光光度计法(AA320CRT)测定^[21]。小麦幼苗地上部和根系的 P、Zn 含量的测定:采用湿灰化法消解^[21],钒钼黄比色法测 P 含量,原子吸收分光光度计法测定 Zn 含量。在收获前,还对小麦叶片叶绿素 SPAD 值进行了测定(SPAD-502 便携式叶绿素测定仪)。

试验数据采用 SAS8.1 统计软件进行方差分析和多重比较(SSR 法, $\alpha=5\%$)。

2 结果与分析

2.1 缺 Zn 和供 Zn 对不同小麦基因型幼苗生长的影响

通过对不同供 Zn 条件下小麦幼苗生物量的比较(表 1)。结果表明,在缺 Zn 和供 Zn 条件下,不同基因型小麦幼苗的生物量之间存在着显著性差异。与缺 Zn 条件相比,供 Zn 后小麦幼苗根系和地上部生物量都有不同程度增加。表明供 Zn 不仅可以促进地上部生长,而且也可以促进根系生长。小麦幼苗的根冠比反映小麦幼苗整体协调生长的特性。通

过对不同施 Zn 水平下小麦幼苗根冠比的比较发现,不同基因型的小麦根冠比都分布在 1.0 的附近,并将其自然可以分为两类:根冠比 ≥ 1.0 和根冠比 < 1.0 。根冠比 ≥ 1.0 和 < 1.0 的品种数分别为 10 和 15。与不供 Zn 条件相比,供 Zn 后小麦幼苗根冠比虽有变化,但仍然保持相对的稳定。可见与外界条件影响相比较,小麦幼苗根冠比受基因型的影响较

大。在试验过程中通过观察发现根冠比较大的 10 个基因型出现缺 Zn 症状时间较晚,缺锌程度也较轻,或无缺锌症状产生。而在缺 Zn 条件下陕 253 比较早出现缺 Zn 症状。可认为第一类为对缺 Zn 非敏感型,而其余的为对缺 Zn 敏感型,用根冠比作为衡量缺锌敏感型的一个重要的指标有一定的合理性。

表 1 缺 Zn 和供 Zn 对不同基因型小麦幼苗生物量和根冠比的影响

基因型 Genotype	生物量(g/ pot) Biomass				根冠比 Root to shoot ratio	
	- Zn		+ Zn		- Zn	+ Zn
	地上部 Shoot	根系 Root	地上部 Shoot	根系 Root		
西杂 1 Xiza 1	5.05 b	7.62 a	5.81 b	8.52 a	1.57 a	1.48 ab
新麦 13 Xinmai 13	4.56 c	6.99 ab	4.83 d	7.49 b	1.53 a	1.54 ab
中育 6 Zhongyu6	4.49 cd	6.73 b	4.59 de	7.72 ab	1.51ab	1.69 a
武农 148 Wunong148	4.72 bc	6.29 b	5.23 cd	6.58 c	1.33ab	1.26 b
绵阳 26 Mianyang26	4.52 c	5.30 c	5.01 cd	5.50 de	1.15 b	1.08 bc
周麦 9 Zhoumai9	4.46 cd	5.38 c	5.19 cd	5.79 cd	1.20 ab	1.09 bc
陕麦 981 Shanmai981	4.69 bc	4.70 cd	5.31 c	5.59 d	1.00 bc	1.05 bc
小偃 22 Xiaoyan22	4.64 bc	5.07 c	5.75 bc	5.95 d	1.07 bc	1.04 bc
邯 6172 Han6172	3.82 d	3.93 d	4.27 e	4.73 e	1.01 bc	1.10 bc
S02-8	3.89 d	4.17d	4.30 e	5.12 de	1.06 bc	1.19 bc
郑麦 9023 Zhengmai9023	5.23 ab	4.53 cd	6.30 a	5.3 de	0.88 bc	0.86 c
绵阳 19 Mianyang19	4.91 bc	4.66 cd	5.96 ab	5.04 de	0.94 bc	0.84 c
8839-3	4.93 bc	4.33 d	5.55 bc	5.23 cd	0.86 bc	0.94 bc
8242	4.91 bc	4.89 cd	5.27 c	5.00 de	0.98 bc	0.94 bc
远丰 998 Yuanfeng998	5.43 ab	4.93 cd	5.79 bc	6.01 cd	0.89 bc	0.96 bc
陕麦 78 Shanmai78	5.02 bc	4.26 d	5.38 c	5.09 cd	0.83 bc	0.95 bc
陕麦 150 Shanmai150	5.21 ab	4.72 cd	5.38 c	5.17 de	0.88 bc	0.96 bc
小偃 6 Xiaoyan6	4.61 c	4.10 d	5.52 bc	4.82 de	0.90 bc	0.89 bc
小偃 986 Xiaoyan986	5.26 ab	4.79 cd	5.53 bc	5.42 de	0.90 bc	0.97 bc
西农 383 Xinong383	4.32 cd	4.02 d	4.96 cd	4.54 de	0.93 bc	0.92 bc
西农 9766 Xinong9766	5.30 ab	4.90 cd	5.51 bc	5.06 de	0.90 bc	0.88 c
西农 918 Xinong918	4.08 d	3.95 d	4.84 d	4.34 e	0.97 bc	0.88 c
陕 512 Shan512	5.52 a	3.55 d	5.73 bc	4.36 e	0.65 c	0.77 c
陕 253 Shan253	5.47 ab	4.03 d	5.63 bc	4.72 e	0.75 c	0.83 c
陕优 225 Shanyou 225	4.85 c	4.02 d	5.10 cd	4.64 e	0.83 bc	0.90 bc

注:多重比较采用 Duncan 氏新复极差法对不同小麦基因型的生物量进行多重比较,下表同。
Note: Duncan's new multi-range method was adopted to compare biomass of different wheat genotype in multiple comparisons of means; the indication with letters is the same as in the following tables.

2.2 缺 Zn 和供 Zn 对不同小麦基因型幼苗叶绿素 SPAD 值的影响

对不同处理小麦幼苗叶片叶绿素 SPAD 值的比较(图 1)发现:供 Zn 比缺 Zn 均不同程度上提高了供试的 25 种小麦基因型的叶片叶绿素 SPAD 值。其中提高幅度较大的有新麦 13、西农 383、西农 9766、陕 512、S02-8 共 5 个品种,提高幅度超过了 20%。增加幅度较小的品种有:绵阳 19、陕麦 981、陕麦 150、小偃 6 号、西农 918、陕 253、陕优 225 共 7 个品种,其增幅均小于 10%。但是无论什么品种,施锌都会不同程度提高叶绿素 SPAD 值。而敏感型与非敏感型两类小麦幼苗叶绿素 SPAD 值并无明显

的差异。

在播种两个月后观察到了小麦缺 Zn 现象:在早晨缺 Zn 的小麦植株叶尖会有棕褐色的叶滴吐出,随后从叶尖开始枯萎。中部叶片首先表现出缺锌症状,叶脉间出现失绿现象,显浅白色或淡黄色。在缺 Zn 和供 Zn 两种条件下,对不同基因型小麦种子中的 Zn 含量与叶片中叶绿素 SPAD 值进行了相关分析(相关系数 r 分别为-0.179 7和-0.156 7),说明小麦种子中的锌含量与小麦叶片中的叶绿素之间并无显著的相关关系。两类幼苗叶绿素 SPAD 值之间并无明显的差异,小麦幼苗根冠比的不同对幼苗叶绿素的并无显著的影响。

2.3 不同处理对不同小麦基因型锌吸收的影响

用根冠比的差异将不同基因型的小麦分为敏感型与非敏感型, 通过对两类不同基因型在缺锌和供锌条件下, 地上部和根系的锌含量、吸收量进行比较(表 2)后发现: 小麦缺 Zn 非敏感型的叶片和根系中的 Zn 含量普遍高于敏感的小麦基因型(邯 6172 和 S02-8 例外)。在缺 Zn 条件下地上部和根系锌含量平均值分别高出 96.6%和 28.8%, 在供 Zn 条件下

则高出47.6%和 10.9%。锌吸收量也同样具有这样的规律。可见在缺 Zn 条件下, 非敏感的叶片中积累了较高浓度的 Zn, 这也正说明缺 Zn 非敏感型由于在地上部积累了较高浓度的 Zn 从而可以有效的减轻缺 Zn 对其生长造成的危害, 不使其表现缺锌症状和对其生长产生负面的影响, 这也正是缺锌非敏感型适应缺锌环境的结果。

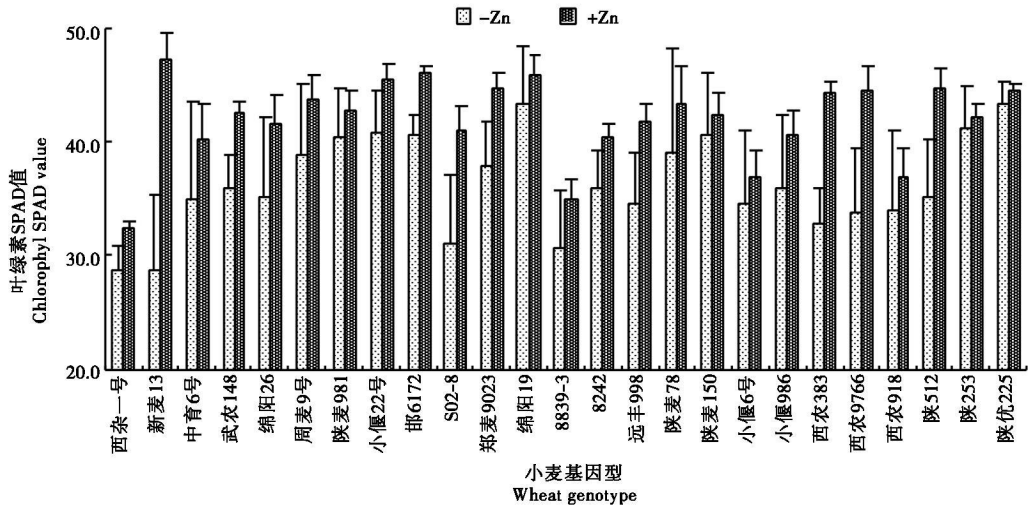


图 1 缺 Zn 和供 Zn 对不同小麦基因型幼苗叶绿素 SPAD 值的影响

Fig.1 Effect of Zn deficiency and Zn addition on leaf chlorophyll SPAD value of different wheat genotypes

表 2 不同处理对不同小麦基因型锌吸收的影响

Tab.2 Effect of different treatments on zinc uptake of different wheat genotypes

基因型 Genotype	锌含量/(mg/kg) Zn content				锌吸收量/(μ g/pot) Zinc uptake			
	-Zn		+Zn		-Zn		+Zn	
	冠 Shoot	根 Root	冠 Shoot	根 Root	冠 Shoot	根 Root	冠 Shoot	根 Root
西杂 1 Xiza 1	46.4 ab	72.7 bc	52.3 ab	91.5 a	234 a	553 a	302 a	774 a
新麦 13 Xinmai13	60.2 a	69.3 bc	63.2 a	82.4 ab	275 a	478 bc	303 a	606 d
中育 6 Zhongyu6	57.8 a	84.8 ab	59.3 a	85.9 ab	259 a	570 a	272 ab	659 c
武农 148 Wunong 148	38.1 ab	74.0 ab	39.2 bc	77.9 ab	181 b	512 b	207 bc	507 e
绵阳 26 Mianyang26	38.2 ab	41.9 cd	40.5 b	46.5 c	184 b	251 fg	215 bc	283 i
周麦 9 Zhoumai 9	37.5 ab	76.6 ab	20.9 c	86.7 ab	181 b	451 b	126 d	607 d
陕麦 981 Shanmai981	22.7 b	44.3 cd	26.8 bc	45.6 c	39 d	245 gh	78 e	317 hi
小偃 22 Xiaoyan22	36.7ab	69.1 bc	37.1 bc	59.9 bc	180 b	384 d	212 bc	441 f
邯 6172 Han6172	13.0 b	40.9 cd	14.3 c	45.9 c	48 d	181 h	61 e	266 i
S02-8	24.4 b	61.5 bc	30.6 bc	88.3 a	102 cd	252 fg	138 d	504 e
平均值 Mean	37.5	63.5	38.4	71.0	168	388	188	496
郑麦 9023 Zhengmai 9023	8.9 b	16.5 e	16.0 c	43.7 c	45 d	176 hi	95 de	256 ij
绵阳 19 Mianyang19	22.0 b	34.1 d	24.7 bc	38.8 c	110 cd	194 h	157 cd	256 ij
8839-3	22.7 b	54.9 c	38.9 bc	91.2 a	122 c	281 fg	230 b	633 cd
8242	26.2 b	71.4 bc	33.6 bc	79.5 ab	139 bc	390 d	183 c	448 f
远丰 998 Yuanfeng998	24.4 b	89.8 a	27.4 bc	97.2 a	140 bc	445 c	174 cd	712 b
陕麦 78 Shanmai78	10.8 b	48.2 cd	35.5 bc	91.6 a	115 cd	247 g	142 cd	271 i
陕麦 150 Shanmai150	25.5 b	51.3 cd	34.6 bc	62.2 bc	128 c	265 fg	202 bc	662 c
小偃 6 Xiaoyan6	19.7 b	48.5 cd	26.1 bc	55.9 bc	149 bc	330 e	194 bc	377 g
小偃 986 Xiaoyan986	20.9 b	40.6 cd	29.5 bc	45.7 c	87 cd	211 h	134 d	277 i
西农 383 Xinong383	26.0 b	45.9 cd	26.3 bc	52.6 bc	115 cd	246 gh	183 c	319 h
西农 9766 Xinong9766	24.4 b	44.9 cd	27.2 bc	55.0 bc	116 cd	221 gh	133.3 d	362.4 g
西农 918 Xinong918	9.3 b	50.9 cd	9.4 c	59.4 bc	157 bc	285 f	181.5 c	371.4 g
陕 512 Shan512	17.6 b	52.4 c	19.7 c	68.5 b	95 cd	208 h	113 de	319.3 h
陕 253 Shan253	14.2 b	34.8 d	14.3 c	42.8 c	75 d	144 i	73.2 e	224.2 j
陕优 225 Shanyou225	13.6 b	55.7 c	27.4 bc	76.8 ab	65 d	207 h	144 cd	389.2 i
平均值 Mean	19.1	49.3	26.0	64.1	110	256	156	392

2.4 不同小麦基因型幼苗磷锌比与缺锌敏感性的关系

通过对小麦在缺锌和供锌条件下体内磷含量、P/Zn 的测定(表 3)可以看出: 对缺 Zn 不同敏感型的小麦幼苗, 无论是根系还是地上部, 其含磷量均无显著性差异。进一步说明无论施锌与否, 对小麦体内

磷的积累没有明显的影响, 缺 Zn 敏感型的小麦根系与地上部的磷含量与非敏感型的差异也同样不显著。而缺 Zn 非敏感型的小麦幼苗地上部和根系 P/Zn 较低, 说明小麦幼苗中 P/Zn 的变化主要是受到小麦体内锌含量的影响, 与磷含量并不明显的关系。

表 3 不同处理对不同小麦基因型磷含量与磷锌比的影响

Tab. 3 Effect of different treatment on phosphor content and P/ Zn ratio of different wheat genotypes								
基因型 Genotype	磷含量/(mg/kg) Phosphor content				P/ Zn ratio			
	- Zn		+ Zn		- Zn		+ Zn	
	冠 Shoot	根 Root	冠 Shoot	根 Root	冠 Shoot	根 Root	冠 Shoot	根 Root
西杂 1 Xiza 1	0. 43 a	0. 52 a	0. 51 a	0. 75 a	92 f	98 d	71 e	82 bc
新麦 13 Xinmai13	0. 70 a	0. 49 a	0. 66 a	0. 60 a	117 ef	104 d	71 e	72 c
中育 6 Zhongyu6	0. 52 a	0. 78 a	0. 72 a	0. 70 a	89 f	122 d	92 de	81 bc
武农 148 Wunong 148	0. 56 a	0. 59 a	0. 63 a	0. 58 a	148 de	160 cd	79 e	74 c
绵阳 26 Mianyang26	0. 32 a	0. 62 a	0. 45 a	0. 58 a	83 f	112 d	148 cd	126 ab
周麦 9 Zhoumai 9	0. 55 a	0. 74 a	0. 39 a	0. 73 a	148 de	185 c	97 de	84 bc
陕麦 981 Shanmai981	0. 31 a	0. 71 a	0. 33 a	0. 71 a	135 ed	124 d	159 c	157 a
小偃 22 Xiaoyan22	0. 51 a	0. 48 a	0. 42 a	0. 63 a	139 ef	112 d	111 de	69 c
邯 6172 Han6172	0. 43 a	0. 64 a	0. 41 a	0. 53 a	328 b	287 ab	150 cd	157 a
S02-8	0. 59 a	0. 62 a	0. 41 a	0. 65 a	240 cd	132 d	86 de	86 bc
平均值 Mean	0. 49	0. 62	0. 49	0. 65	152	144	107	100
郑麦 9023 Zhengmai 9023	0. 32 a	0. 51 a	0. 44 a	0. 61 a	362 ab	275 b	310 a	104 ab
绵阳 19 Mianyang19	0. 43 a	0. 81 a	0. 42 a	0. 51 a	194 d	172 cd	237 b	132 ab
8839-3	0. 53 a	0. 65 a	0. 54 a	0. 50 a	233 cd	139 cd	118 d	55 c
8242	0. 44 a	0. 6 a	0. 46 a	0. 67 a	170 de	138 cd	83 de	84 bc
远丰 998 Yuanfeng998	0. 42 a	0. 65 a	0. 48 a	0. 77 a	174 de	177 cd	72 e	79 bc
陕麦 78 Shanmai78	0. 37 a	0. 62 a	0. 39 a	0. 62 a	387 a	122 d	158 c	158 a
陕麦 150 Shanmai150	0. 48 a	0. 55 a	0. 40 a	0. 62 a	143 e	112 d	81 de	122 ab
小偃 6 Xiaoyan6	0. 42 a	0. 60 a	0. 42 a	0. 54 a	246 c	154 d	99 de	114 b
小偃 986 Xiaoyan986	0. 40 a	0. 70 a	0. 40 a	0. 63 a	202 cd	144 cd	104 de	147 ab
西农 383 Xinong383	0. 40 a	0. 70 a	0. 41 a	0. 77 a	154 de	151 cd	118 d	153 a
西农 9766 Xinong9766	0. 34 a	0. 53 a	0. 51 a	0. 89 a	163 de	150 cd	119 d	155 a
西农 918 Xinong918	0. 50 a	0. 58 a	0. 33 a	0. 81 a	370 ab	337 a	139 cd	105 bc
陕 512 Shan512	0. 22 a	0. 54 a	0. 41 a	0. 59 a	283 bc	169 cd	116 de	111 bc
陕 253 Shan253	0. 39 a	0. 64 a	0. 40 a	0. 66 a	155 de	289 ab	119 d	156 a
陕优 225 Shanyou225	0. 39 a	0. 58 a	0. 41 a	0. 65 a	289 bc	145 cd	138 cd	114 b
平均值 Mean	0. 40	0. 62	0. 43	0. 66	231	178	134	119

3 讨论

作物的缺锌问题在世界范围内广泛存在, 在中国就有超过 40% 的陆地面积存在着缺锌问题^[2]。锌的缺乏被认为是影响人体生长发育、免疫和认知能力的重要因素, 锌的缺乏还大大增加了人体 DNA 损伤和癌症的风险^[15-16]。我国的缺锌土壤主要集中在北方干旱和半干旱地区, 小麦种植也主要集中在这一区域。土壤全锌含量平均仅为 78 mg/kg, 低于全国土壤和酸性土壤的平均含量(分别为 100 mg/kg 和 163 mg/kg), 有效锌含量则常低于缺锌临界含量(0. 5 mg/kg)^[2]。国际水稻研究所曾对多达 2 474 种水稻基因型进行过耐缺锌能力的田间鉴定和筛选^[24]。吴兆明研究发现不同品系小麦种子中的金属元素含量是有差异的。锌的含量范围在 14 ~ 49 mg/L, 变异系数为 33%。而 880691 品系种子中的锌含量高达 34. 3 mg/L, 但对缺锌反应比较敏感,

并认为是与磷和氮的比例有关。品系间种子中磷和锌的比例不同, 因之对磷和锌的敏感性也不同。同时他也认为种子元素高含量可能反映该品系对土壤元素具有高效吸收利用的特征^[18]。笔者通过对种子中氮、锌含量, 以及 P/Zn 比的测定, 发现种子中的氮、磷与锌含量没有显著相关性(相关系数 r 分别为 0. 124 5 和 0. 174 8), 而与吴兆明认为缺锌反应敏感性与磷和氮的比例有关并不一致。本次试验的 25 种不同小麦基因型的锌含量进行研究发现锌含量范围虽然明显的偏低, 从 3. 24 ~ 28. 63 mg/kg, 但变异幅度也比较大。而含锌量与种子中的磷锌比就有比较显著的相关性($r = -0. 802 4$), 表明在小麦种子中, 含锌量会受到磷锌比的影响, 而与磷含量的绝对值没有必然的联系。小麦种子中锌含量与幼苗的生物量没有明显的相关。可见在不同的小麦基因型中, 种子中的锌含量对小麦生长的影响是非常有限的。

前期的研究发现根冠比是反映作物对养分缺乏最直接和敏感的指标之一。通过对本试验中 25 个基因型小麦幼苗根冠比的比较,并用根冠比将不同基因型的小麦划分为两类(敏感型和非敏感型),虽然这种划分方式可能会比较粗糙,但与观察到的缺锌敏感性具有比较好的一致性。表明用根冠比的大小来比较它们的缺锌敏感性有一定的合理性。另外,小麦种子中的锌含量与小麦叶片中的叶绿素 SPAD 值之间并无显著的相关关系,杨习文等^[25]的研究也发现了这一情况。而两类幼苗叶绿素 SPAD 值之间也无明显的差异。表明小麦幼苗根冠比的不同对幼苗叶绿素的并无显著的影响,小麦叶片中的叶绿素含量是一个生理指标,与其中子锌含量的关系不大。

小麦缺 Zn 非敏感型的叶片和根系中的 Zn 含量和锌吸收量普遍高于敏感的小麦基因型。这可能正是小麦非敏感型不易出现缺锌症状的一个重要的原因。研究发现磷锌之间存在着明显的拮抗作用^[26],通过比较发现,缺 Zn 非敏感型的小麦幼苗地上部和根系 P/Zn 也较低,说明小麦幼苗的高 Zn 含量会降低植株 P/Zn,这种降低与磷锌之间存在着的拮抗作用并无明显的联系。而在判断缺锌敏感性时,P/Zn 仍然也作为判断缺锌敏感性的一个重要的依据。

参考文献:

- [1] Graham R D, Asher J S, Hynes S C. Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soil of low zinc status [J]. *Plant and Soil*, 1992, 146: 241—250.
- [2] 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.
- [3] Rattan P K, Shukla L M. Critical limits of deficiency and toxicity of zinc in paddy rice [J]. *Common Soil Sci and Plant Anal.*, 1984, 15(9): 1041—1050.
- [4] 徐晓燕, 杨肖娥, 杨玉爱. HCO_3^- 对水稻品种 Zn 吸收运输的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(6): 532—535.
- [5] 徐晓燕, 杨肖娥, 杨玉爱. 重碳酸氢根对水稻根区重要有机酸分布的影响与水稻品种耐缺 Zn 关系的研究[J]. *作物学报*, 2001, 27(3): 387—391.
- [6] 徐晓燕, 杨肖娥, 杨玉爱. 水稻品种对石灰性土壤缺 Zn 耐性机理的研究[J]. *土壤学报*, 2000, 37(3): 396—401.
- [7] 王人民, 杨肖娥, 何慈信. 不同锌离子活度下水稻耐高效基因型农艺特性的遗传分析[J]. *作物学报*, 2003, 29(2): 181—187.
- [8] Zdenko Rengel, Robin D Graham. Importance of seed Zn con-

- tent for wheat growth on Zn-deficient soil [J]. *Plant and Soil*, 1995, 173: 259—266.
- [9] Cakmak A, Yilmaz M, Kalayci M, *et al.* Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in central Anatolia [J]. *Plant and Soil*, 1996, 180: 165—172.
- [10] Gakmak I, Tonun B, Erenol B. Morphological and physiological differences in the response of cereals to zinc deficiency [J]. *Euphytica*, 1998, 100: 349—357.
- [11] 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.
- [12] Eyüpoglu F, Kurucu N, Sanysag U. Status of plant available micronutrients in Turkish soils [M] // *Soil and Fertilizer Research Institute Annual Report*. Ankara, Turkey, 1993: 118.
- [13] Graham R D, Asher J S, Hynes S C. Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status [J]. *Plant and Soil*, 1992, 146: 241—250.
- [14] Graham R D. Breeding for nutritional characteristics in cereals [J]. *J Plant Nutr.*, 1984, 1: 57—102.
- [15] Dong B, Rengel Z, Graham R D. Root morphology of wheat genotypes differing in zinc deficiency [J]. *J Plant Nutr.*, 1995, 9: 2761—2773.
- [16] Cakmak I, Gülüt K Y, Marschner H, *et al.* Effect of zinc and iron deficiency on phytosiderophores release in wheat genotypes differing in zinc efficient [J]. *J Plant Nutr.*, 1994, 17: 1—17.
- [17] Rengel Z, Graham R. Uptake of zinc from chelate-buffered nutrient solutions by wheat genotypes differing in zinc efficiency [J]. *J Exp Bot.*, 1996, 47: 217—226.
- [18] 吴兆明, 王玉琦, 孙景信, 等. 小麦种子含锌量在幼苗中的分配与对缺锌敏感性的关系[J]. *植物学通报*, 1998, 15(4): 51—54.
- [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] 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.
- [21] 南京农业大学. 土壤农化分析(第一版)[M]. 北京: 农业出版社, 1981.
- [22] Gibson R S. Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries [J]. *Proc Nutr Soc.*, 2006, 65: 51—60.
- [23] Prasad A S. Zinc: Mechanisms of host defense[J]. *J Nutr.*, 2007, 137: 1345—1349.
- [24] 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的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 1998, 4(3): 284—293.
- [25] 杨习文, 田霄鸿, 武绍飞, 等. 不同基因型冬小麦对氮肥与锌铁肥配施的反应[J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(3): 17—22.
- [26] 刘文菊, 张西科, 尹 君, 等. 磷胁迫对水稻基因型根系形态和吸收铁锰铜锌的影响[J]. *生态环境*, 2003, 12(1): 49—51.