

# 水培条件下花生对缺铁的生理反应

任小平, 姜慧芳, 黄家权, 张晓杰, 廖伯寿

(中国农业科学院油料作物研究所/农业部油料作物生物学重点实验室, 武汉 430062)

**摘要:**通过对 5 份花生(中国 3 份和印度 2 份)种质资源在水培缺铁条件下各种生理性状的研究,明确花生耐铁的生理或农艺指标,为花生耐缺铁种质资源的筛选和利用提供理论和实践依据。结果表明,缺铁明显影响品种(中花 5 号、远杂 9102 和 ICG 11855)的生物产量;7d 内中花 8 号、远杂 9102 和 ICG 12672 培养液的 pH 值下降 3 个单位,而中花 5 号和 ICG 11855 仅下降 2 个单位。缺铁处理 25d 后,中花 5 号、远杂 9102 和 ICG 11855 幼叶的叶绿素含量、SOD、POD 和 CAT 活性下降非常明显,而中花 8 号和 ICG 12672 幼叶的叶绿素含量、SOD、POD 和 CAT 活性基本维持不变,这说明缺铁对中花 8 号和 ICG 12672 的叶绿素含量降低和细胞膜伤害较小。从膜氧化产物 MDA 的变化值也印证了缺铁对中花 8 号和 ICG 12672 的细胞膜伤害较小。综上所述,认为中花 8 号和 ICG 12672 对缺铁不敏感,而中花 5 号、远杂 9102 和 ICG 11855 对铁敏感,同时表明利用水培技术研究花生耐铁是一种简单有效的方法。根据相关分析,选择缺铁处理 25 d 后的叶绿素含量作为耐缺铁筛选的指标。

**关键词:**花生;缺铁;生理性状;水培

## Physiological Responses of Peanuts (*Arachis hypogaea* L.) to Iron Deficiency in Nutrient Solutions

REN Xiao-ping, JIANG Hui-fang, HUANG Jia-quan, ZHANG Xiao-jie, LIAO Bo-shou

(Oil Crop Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory  
of Oil Crops Biology, Ministry of Agriculture, Wuhan 430062)

**Abstract:** In order to investigate physiological responses of peanut varieties to iron deficiency, in the nutrient solution instead of calcareous soils, five accessions of peanuts, including three cultivars from China and two cultivars from India were controlled in 0 or 30  $\mu\text{mol/L}$  Fe of nutrient solutions. Some traits were analyzed in 0, 12 and 25 days, including plant growth, chlorophyll concentration, capacity of the roots to acidify the medium, and SOD, POD, CAT, MDA. The results showed that iron deficiency significantly affected the whole plant biomass in Zhonghua No. 5, Yuanza 9102 and ICG11855. pH value decreased at least 3.5 units during the measure period (7 days), in Zhonghua No. 8, Yuanza 9102 and ICG 12672, but slightly exceeding two units in Zhonghua No. 5 and ICG 11855. After 25 days of treatment, they significantly decreased in total chlorophyll concentration of leaves and SOD, POD, CAT activities in Zhonghua No. 5, ICG 11855 and Yuanza 9102. However, compared to the CK, Zhonghua No. 8 and ICG 12672 maintained at the same level. Those results identified that iron deficiency could not be harmful to Zhonghua No. 8 and ICG 12672 in chlorophyll and cell membrane, which was testified by MDA concentration (Oxidation outcome of cell membrane). To sum up the above arguments, Zhonghua No. 8 and ICG 12672 are not more sensitive to Iron deficiency than Zhonghua No. 5, Yuanza 9102 and ICG 11855. At the same time, it is a simple and effective

收稿日期: 2009-02-16

修回日期: 2010-04-19

基金项目: 植物种质资源平台项目(2005DKA21002-13); 国家自然科学基金(30571132); 国家“863”项目(2006AA10A115); 国家科技支撑计划(2006BAD13B05-2); 农作物种质资源保护项目(NB07-2130135-35)

作者简介: 任小平, 助理研究员, 主要从事花生品种资源及分子生物学研究。E-mail: renxp1972@hotmail.com

通讯作者: 廖伯寿, 研究员, 博士生导师, 从事花生品种资源及分子生物学研究。E-mail: lboshou@hotmail.com

姜慧芳, 研究员, 博士生导师, 从事花生品种资源及分子生物学研究。E-mail: peanutlab@oilcrops.cn

technique to study peanut iron deficiency using nutrient solutions. Based on correlation analysis, total chlorophyll concentration in leaves after 25 days of treatment could be acted as index for tolerance to iron deficiency.

**Key words:** Panut (*Arachis hypogaea* L.); Iron deficiency; Physiological traits; Nutrient solutions

铁是植物生长发育的必需元素,是叶绿素和血红蛋白的主要成分。虽然自然界存在大量铁,但是它们几乎都是以  $\text{Fe}^{3+}$  形式存在,很难溶解,特别是在碱性和有氧存在条件下,从而造成植物营养所需的  $\text{Fe}^{2+}$  不足,出现叶片缺铁黄化症现象。大量研究表明,在碱性的石灰性土壤中,能提供植物利用的有效铁不足 10%<sup>[1]</sup>,由于吸收的有效铁量不足和铁の利用存在困难,缺铁黄化症的主要特征就是叶绿素明显降低<sup>[2]</sup>,尤其以收获种子的豆科作物(花生、大豆)更加明显<sup>[3,4]</sup>。中国花生缺铁黄化症主要发生在黄淮地区沙壤性土壤和华北、西北地区的石灰性土壤<sup>[5-6]</sup>。花生缺铁黄化症在山东冠县受灾面积 15km<sup>2</sup>,降水较大的年份可达 20km<sup>2</sup>,一般减产 15%~30%,严重地块减产 50%~70%,甚至绝产<sup>[6]</sup>。解决缺铁的方法有土壤改良、灌溉和叶面喷洒提供铁盐或铁的螯合物<sup>[7-10]</sup>。但是这些方法成本较高,而有时并不能提高植物的铁营养<sup>[11-12]</sup>。因此最经济有效的方法就是筛选耐缺铁资源,选育铁高效品种。筛选耐缺铁资源的前提就是从形态学、生理学和生物化学等方面阐明耐缺铁的机制,找到相应判断指标<sup>[13-14]</sup>。利用金属氧化物如超氧化物酶、过氧化物酶、过氧化氢酶作为生化指标来诊断植物营养不平衡已有报道。Romheld 等<sup>[15]</sup>认为对铁敏感的花生比不敏感的花生品种在缺铁条件下过氧化物酶活性降低更快;Leidi 等<sup>[16]</sup>和 Sijmons 等<sup>[17]</sup>报道铁影响水培条件下的大豆过氧化物酶的形式;Bendary 等<sup>[18]</sup>认为过氧化物酶活性的变异可以作为遗传标记判断玉米自交系铁营养状态和铁的有效性。Piagnani 等<sup>[13]</sup>和 Schikora 等<sup>[14]</sup>研究表明释放  $\text{H}^+$  导致根际酸化来适应低铁环境。

由于花生耐缺铁筛选尚缺乏必要的指标,从而造成资源筛选困难;而且筛选耐缺铁资源都是在土壤中进行<sup>[19-21]</sup>,对铁离子的浓度不好控制。因此采用水培方法,分析 5 个花生品种在缺铁和正常条件下的叶绿素含量、根系酸化能力(pH 值表示)、SOD、POD、CAT、MDA,获得部分评价指标来判断花生耐缺铁能力。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

中花 5 号、中花 8 号及远杂 9102 来源于中国,

ICG 11855 和 ICG 12672 来源于 ICRISAT。据田间观察,ICG 12672 对低铁不敏感,而中花 5 号对低铁敏感,其他不祥。

### 1.2 试验方法

每个品种 50 粒种子,用次氯酸钙消毒 2min,然后用蒸馏水冲洗干净,在 25℃ 黑暗条件下催芽至胚根长 2cm,然后种在装有 1000ml 蒸馏水的塑料盆中,每盆 4 棵。种植 1 周后采样,同时将其他盆分为两组。第 1 组为对照,其营养液包含下列成分:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (0.125mmol/L)、 $\text{KNO}_3$  (0.75mmol/L)、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (0.625mmol/L)、 $\text{MgSO}_4$  (0.25mmol/L)、 $\text{H}_3\text{BO}_3$  (0.5  $\mu\text{mol/L}$ )、 $\text{MnSO}_4$  (0.5  $\mu\text{mol/L}$ )、 $\text{CuSO}_4$  (0.045  $\mu\text{mol/L}$ )、 $\text{ZnSO}_4$  (0.05  $\mu\text{mol/L}$ )、 $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (0.02  $\mu\text{mol/L}$ ),另外还有 30  $\mu\text{mol/L}$  的  $\text{Fe}^{3+}$ -Na-EDTA;第 2 组作为处理,营养液除了不含 Fe 外,其他成分一样。两组溶液的原始 pH 值为 8.0,并 1 周更新 1 次溶液。所有的试验材料都生长在日照 16h,温度在 25℃ 左右,相对湿度为 60%~80%,光强为 150  $\mu\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$  的条件下。采样方法为单株采样,每个品种 2 盆,共 8 株,3 次采样时间分别为处理 0、12 和 25d。

花生幼叶的叶绿素含量采用轻便式叶绿素测定仪 (Minolta SPAD 502) 测定<sup>[22]</sup>;SOD 活性的测定采用抑制 NBT 光化还原法<sup>[23]</sup>;POD 活性的测定采用愈创木酚比色法<sup>[24]</sup>;CAT 活性的测定采用紫外吸收法<sup>[24]</sup>;MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸比色法<sup>[25]</sup>;pH 值用便携式 pH 仪测定<sup>[26]</sup>。

### 1.3 数据分析

采用 Fisher's LSD 检测,  $P < 0.05$ , 8 个重复。

## 2 结果与分析

### 2.1 花生缺铁症状及植株生长情况

铁是植物生长发育的必需元素,铁营养的不足必定影响花生植株的生长。在对照条件下,不同花生品种在水培条件下的生长势表现并不一样,在培养前期,中花 5 号和中花 8 号的生长势明显强于其他 3 个花生品种,但是 25d 后,中花 8 号的生长势明显弱于 ICG 12672、远杂 9102 和 ICG 11855。5 个花生品种在缺铁处理 6d 后,植株叶片未出现黄化现象,12d 后,植株叶片出现黄化现象

差异,对铁敏感品种中花 5 号的幼叶出现明显黄化现象,而耐铁品种 ICG 12672 未表现黄化现象;而缺铁处理 25d 后,所有品种都出现不同程度的黄化现象。同时缺铁处理明显影响植株生物产量,缺铁处理 12d 后,中花 5 号生物产量比对照下降 20%,而其他品种下降并不明显;处理

25d 后,中花 5 号、远杂 9102 和 ICG11855 的生物产量比对照明显下降(31%、29%和 26%),而中花 8 号和 ICG 12672 变化不明显(表 1)。因此缺铁严重影响花生幼苗生长,特别是对铁敏感的花生品种。

表 1 花生品种在缺铁和不缺铁条件下生物产量的表现

Table 1 Whole plant biomass of peanut cultivars in the absence or the presence of Fe (g)							
品种 Variety	0d	12d			25d		
		+ Fe	- Fe	增减	+ Fe	- Fe	增减
中花 5 号	2.34 ± 0.02	5.48 ± 0.06	4.36 ± 0.08	-20% c	6.53 ± 0.09	4.49 ± 0.08	-31% b
中花 8 号	2.13 ± 0.05	5.05 ± 0.05	4.89 ± 0.07	-3.2% b	5.60 ± 0.08	5.47 ± 0.10	-2.3% a
远杂 9102	1.60 ± 0.05	4.23 ± 0.10	4.11 ± 0.05	-2.9% b	6.14 ± 0.13	4.36 ± 0.09	-29% b
ICG 11855	1.50 ± 0.08	4.37 ± 0.12	4.25 ± 0.05	-2.7% b	6.29 ± 0.10	4.65 ± 0.07	-26% b
ICG 12672	1.68 ± 0.02	4.09 ± 0.08	4.06 ± 0.10	-0.7% a	6.28 ± 0.08	5.95 ± 0.05	-5.3% a

+ Fe:表示对照;- Fe:表示处理;数值用平均数±标准差表示,显著性检验  $P < 0.05$ ,  $n = 8$ 。下同  
+ Fe stands for CK, - Fe stands for control; Values are means ± s, Differences values were significant at  $P < 0.05$ ,  $n = 8$ . The same as below

2.2 叶绿素含量及根际酸化能力

叶绿素含量则可直观反映叶片黄化程度,判定植物铁营养状况,因此测定了供试花生品种幼叶的叶绿素含量(表 2)。在对照条件下,花生品种的叶绿素含量在整个培养期间变化很小,但是在缺铁处理过程中叶绿素含量波动较大。缺铁处

理 12d 后,ICG 12672 和中花 8 号的幼叶叶绿素含量仅下降了 1.8% 和 0.7%,其他 3 个品种下降都在 10% 以上;缺铁处理 25d 后,叶绿素含量变化更加明显,中花 5 号和 ICG 11855 幼叶的叶绿素含量下降都在 50% 以上,而品种 ICG 12672 仅下降 1.4%。

表 2 花生品种在缺铁和不缺铁条件下叶绿素含量

Table 2 Chlorophyll concentrations of peanut cultivars in the absence or the presence of Fe (SPAD 单位)							
品种 Variety	0d	12d			25d		
		+ Fe	- Fe	增减	+ Fe	- Fe	增减
中花 5 号	42.3 ± 0.12	40.8 ± 0.98	34.4 ± 0.82	-16% b	42.4 ± 1.12	15.2 ± 0.22	-64% d
中花 8 号	42.6 ± 0.90	42.6 ± 1.04	42.4 ± 0.71	-0.7% a	42.7 ± 1.00	38.1 ± 0.44	-11% b
远杂 9102	43.1 ± 0.87	42.3 ± 1.03	36.5 ± 0.91	-14% b	40.3 ± 1.08	27.9 ± 0.52	-31% c
ICG 11855	42.9 ± 0.67	40.4 ± 0.67	30.8 ± 0.82	-24% c	39.0 ± 0.98	17.2 ± 0.61	-56% d
ICG 12672	41.2 ± 1.30	39.3 ± 0.31	38.7 ± 0.82	-1.8% a	39.2 ± 0.97	38.6 ± 0.73	-1.4% a

根系的酸化能力在处理 3 周后用溶液的 pH 来评价(图 1)。在对照处理条件下,5 个花生品种的根系酸化能力没有明显变化,而缺铁处理的 pH 变化比较明显,缺铁处理 3d 后,远杂 9102、ICG 12672 和中花 8 号溶液的 pH 值比对照组下降了 2 个单位

左右,而中花 5 号和 ICG 11855 下降不到 1 个单位。可见,在水培条件下,缺铁明显影响幼叶叶绿素含量及根际的酸化能力,而且花生耐缺铁胁迫的能力存在显著的基因型差异。

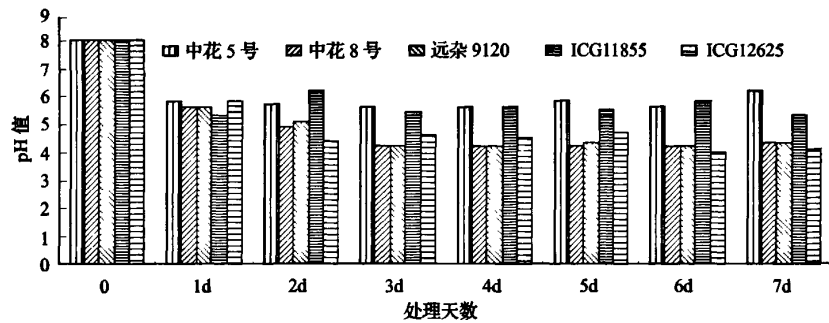


图 1 花生品种在缺铁和不缺铁水培条件下溶液的 pH 值

Fig.1 Changes in pH of nutrient solution peanut plants cultivated in presence (+ Fe) or absence (- Fe) of iron during the third week of treatment

2.3 SOD、POD、CAT 的活性及 MDA 含量

超氧化物酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)作为植物体内抗氧化酶系统的重要组成部分,在清除自由基方面发挥重要作用,被称为保护酶系统。SOD 和 POD 都是含 Fe 的金属蛋白质,因此缺铁将影响酶的生物活性。从本试验中可以看出,缺铁影响 3 种酶的活性(表 3、4、5),3 种酶活性都存在先上升后下将的现象。在缺铁处理

12d 后,3 种酶的活性比对照组明显升高;在缺铁处理 25d 后,3 种酶的活性比对照组明显降低,在 5 个供试品种中,SOD、POD 和 CAT 存在显著差异,中花 8 号和 ICG 12672 在 SOD、POD 和 CAT 活性的绝对含量比其他 3 个品种高,而活性的下降程度比其他 3 个品种低,这说明中花 8 号和 ICG 12672 的膜伤害比较小,比较耐缺铁,远杂 9102 和 ICG 11855 对铁敏感。

表 3 花生品种在缺铁和不缺铁条件下 SOD 的活性

Table 3 SOD activities of peanut cultivar in the absence or in the presence of Fe		(U/μg prot)					
品种 Variety	0d	12d			25d		
		+ Fe	- Fe	增减	+ Fe	- Fe	增减
中花 5 号	0.50 ± 0.08	0.86 ± 0.06	1.06 ± 0.05	23% a	1.03 ± 0.08	0.78 ± 0.07	-24% b
中花 8 号	0.77 ± 0.05	0.98 ± 0.08	1.21 ± 0.08	23% a	1.15 ± 0.08	1.02 ± 0.09	-11% a
远杂 9102	0.47 ± 0.05	0.78 ± 0.05	1.04 ± 0.02	33% a	0.91 ± 0.04	0.70 ± 0.09	-23% b
ICG 11855	0.66 ± 0.07	1.02 ± 0.10	1.92 ± 0.11	88% b	1.12 ± 0.04	0.87 ± 0.07	-29% b
ICG 12672	0.78 ± 0.08	1.01 ± 0.02	1.75 ± 0.07	73% b	1.09 ± 0.06	0.97 ± 0.06	-11% a

表 4 花生品种在缺铁和不缺铁条件下 POD 的活性

Table 4 POD activities of peanut cultivar in the absence or in the presence of Fe		(U/mg prot)					
品种 Variety	0d	12d			25d		
		+ Fe	- Fe	增减	+ Fe	- Fe	增减
中花 5 号	17.4 ± 0.15	15.4 ± 0.90	21.1 ± 0.78	37% ab	16.3 ± 0.67	11.5 ± 0.47	-29% b
中花 8 号	21.4 ± 0.89	20.2 ± 1.00	30.7 ± 0.80	52% b	22.7 ± 0.79	19.0 ± 0.53	-16% a
远杂 9102	29.5 ± 0.72	20.6 ± 0.72	34.9 ± 1.21	69% c	23.7 ± 0.78	17.0 ± 0.72	-28% b
ICG 11855	13.1 ± 0.75	17.2 ± 0.54	21.6 ± 0.79	26% a	19.4 ± 0.86	15.0 ± 0.32	-23% b
ICG 12672	11.6 ± 0.65	18.5 ± 0.67	23.6 ± 1.23	28% a	24.2 ± 0.63	21.3 ± 0.32	-12% a

表 5 花生品种在缺铁和不缺铁条件下 CAT 活性

Table 5 CAT activities of peanut cultivar in the absence or in the presence of Fe (U/mg prot)							
品种 Variety	0d	12d			25d		
		+ Fe	- Fe	增减	+ Fe	- Fe	增减
中花 5 号	32.0 ± 2.57	30.4 ± 2.39	41.6 ± 2.79	37% c	38.7 ± 1.12	8.9 ± 0.45	- 77% b
中花 8 号	53.0 ± 2.24	47.4 ± 2.95	48.7 ± 3.10	2.7% a	46.6 ± 2.32	20.9 ± 0.42	- 55% a
远杂 9102	43.5 ± 3.12	34.9 ± 3.27	45.1 ± 1.59	29% c	52.9 ± 2.58	16.9 ± 0.52	- 68% b
ICG 11855	50.7 ± 2.56	39.0 ± 1.98	46.1 ± 1.47	18% b	40.2 ± 1.94	17.4 ± 0.32	- 57% a
ICG 12672	52.7 ± 4.18	42.9 ± 1.78	43.8 ± 4.57	2.1% a	52.0 ± 0.98	20.4 ± 0.42	- 61% a

MDA 是膜脂氧化的最终产物,是膜系统受伤害的重要标志之一。其含量可以表示膜脂过氧化作用的程度。本实验中缺铁对花生幼苗叶片中 MDA 含量的影响见表 6。由表 6 可以看出,在缺铁处理 12d 和 25d 后,MDA 的含量呈现上升的趋势,但是上升的程度在花生基因型间存在差异。中花 8 号和 ICG 12672 的 MDA 含量,缺铁处理比对照增加 50%

左右,不同时间的增加量相似;其他 3 个品种都增加 100% 以上,第 25d 的缺铁处理比对照组增加幅度最大,因此,中花 8 号和 ICG 12672 膜系统受伤害的程度比其他 3 个品种低,印证了中花 8 号和 ICG 12672 在 SOD、POD 和 CAT 活性的绝对含量比其他 3 个品种高,而活性的下降程度比其他 3 个品种低,因此它们属于耐缺铁品种。

表 6 花生品种在缺铁和不缺铁条件下 MDA 含量

Table 6 MDA concentrations of peanut cultivar in the absence or in the presence of Fe (μmol/L)							
品种 Variety	0d	12d			25d		
		+ Fe	- Fe	增减	+ Fe	- Fe	增减
中花 5 号	0.26 ± 0.03	0.37 ± 0.02	0.64 ± 0.08	73% b	0.25 ± 0.01	0.69 ± 0.10	176% b
中花 8 号	0.16 ± 0.04	0.39 ± 0.07	0.62 ± 0.11	59% a	0.32 ± 0.03	0.50 ± 0.06	56% a
远杂 9102	0.41 ± 0.01	0.29 ± 0.04	0.67 ± 0.05	131% d	0.29 ± 0.03	0.76 ± 0.04	162% b
ICG 11855	0.35 ± 0.05	0.32 ± 0.05	0.64 ± 0.01	100% c	0.27 ± 0.05	0.78 ± 0.09	189% b
ICG 12672	0.34 ± 0.04	0.43 ± 0.06	0.66 ± 0.07	53% a	0.39 ± 0.04	0.58 ± 0.06	49% a

3 讨论

田间产量是检验花生品种铁效率的最终指标,但田间条件下黄化程度易受土壤 pH 值、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量、气候等多种因素影响,铁效率基因型差异在各种环境作用下有时不能真正表现出来,重现性较差,且田间试验工作量较大、需时长,受到季节的限制<sup>[12,19-21,27-28]</sup>。而水培条件比较容易控制,在此条件下,研究缺铁对花生的生长和生理影响,可以更加真实反映缺铁的影响,选择相应的指标来筛选鉴定耐缺铁的花生种质更加有效。

花生叶片失绿黄化主要原因是氮、铁、锌及钼等元素的缺乏,根据花生叶片失绿后植株的主要特征可与缺铁黄化症与其他元素引起的失绿区分开来<sup>[29]</sup>。比如花生缺氮和钼主要表现为叶变小,叶色发黄,植株生长缓慢、弱小;花生缺锌主要表现为植

株矮化,叶片失绿,常由小叶基部开始,条斑较宽,而不贯通整个叶长;而花生缺铁最明显的症状是上部新叶的叶脉间失绿或新叶全叶白化。对花生叶片黄化症的防治最有效的办法是施用铁肥并辅助其他元素<sup>[29]</sup>。叶片缺铁黄化症的程度是植物是否缺铁最明显的表现<sup>[27]</sup>,叶片缺铁黄化症的程度主要用叶绿素含量表示,因此叶绿素含量是判断植物是否缺铁的有效指标<sup>[12,21]</sup>。本研究中发现叶绿素含量在耐缺铁和铁敏感的花生上明显不同,耐缺铁花生品种中叶绿素含量明显高于铁敏感花生品种,此现象与花生在缺铁土壤中的生长表现相同<sup>[28]</sup>。同样的现象在向日葵和小扁豆也发现<sup>[26,30]</sup>,但是,在小麦上叶绿素含量并不能很好地评价小麦基因型对缺铁的反应,在严重缺铁黄化病情况下,小麦仍然可以旺盛生长,说明正常叶绿素含量大大超过光合反应最佳反应速率的含量<sup>[22]</sup>。

缺铁诱导的黄化症影响植株生长、改变幼叶物质的积累<sup>[12]</sup>。根系酸化能力和根系 Fe 还原力的提高,是铁高效双子叶和非禾本科植物适应缺铁胁迫的主要生理机制<sup>[31-33]</sup>。然而不同作物,其适应机制也不相同。大豆的抗黄化程度与分泌  $H^+$  浓度呈正相关关系,抗性越强,分泌的质子量越多<sup>[34]</sup>。本试验结果表明根系酸化能力在缺铁胁迫下品种间变化较大,且不同效率基因型间差异显著。ICG12672 和中花 8 号在缺铁条件下,显示强的根系酸化能力,表明它们比较耐缺铁能力较强。但是远杂 9102 也有较强的根系酸化能力,但是综合其他指标来看,其耐缺铁能力并不强,因此根系酸化能力并不能很好地作为筛选耐缺铁种质的指标。

SOD 和 POD 是细胞内清除活性氧系统中的重要酶。SOD 和 POD 的共同作用能把体内具有潜在危害的  $O_2^-$  和  $H_2O_2$  转化为无害的  $H_2O$  和  $O_2$ ,并能减少  $OH^-$  的形成,从而有效地阻止  $O_2^-$  和  $H_2O_2$  在植物体内积累,使细胞内自由基维持在一个低水平,防止细胞受自由基的毒害<sup>[16-17,35]</sup>。本研究中 ICG12672 和中花 8 号的 SOD 和 POD 活性在缺铁处理 12d 后明显聚积,处理 25d 时仍然维持在较高水平,有利于减少  $OH^-$  的形成,防止细胞受自由基的毒害。MDA 是膜脂过氧化的最终产物,是膜系统受伤害的重要标志之一。其含量可以表示膜脂过氧化作用的程度,而氧化作用破坏细胞膜结构<sup>[35]</sup>。本研究中 ICG12672 和中花 8 号与其他品种相比,MDA 含量维持较低水平,说明他们膜系统受伤害比较轻,与 ICG12672 和中花 8 号的 SOD 和 POD 较高水平的活性有关。

采用花生品种在 25d 缺铁处理下各性状的测定值作相关分析。除 CAT 外,其他性状间都显著相关。例如,MDA 与其他性状也显著相关(叶绿素含量 0.96;生物产量 0.93;SOD 0.99;POD 0.90),叶绿素含量与其他性状都显著相关(生物产量 0.87;SOD 0.90;POD 0.83;MDA 0.93)。因此,可以选择简单易测的叶绿素含量在 25d 缺铁处理下的数值作为花生耐铁的指标:叶绿素含量降低在 10% 以下的品种为高耐品种;叶绿素含量降低在 10% ~ 20% 之间的品种为耐品种;叶绿素含量降低在 20% ~ 50% 以内的品种为敏感品种;叶绿素含量降低在 50% 以上的品种为高敏感品种。根据此项分类,可以将 ICG12672 划为高耐品种,中花 8 号为耐铁品种,远杂 9102 为敏感品种,ICG11855 和中花 5 号为高敏感品种。

#### 参考文献

- [1] Mortvedt J J. Correcting iron deficiencies in annual and perennial plants; present technologies and future prospects [J]. *Plant and Soil*, 1991, 130: 273-279
- [2] Pestana M, Correia P J, Varennes A, et al. Effectiveness of different foliar iron applications to control iron chlorosis in orange trees grown on a calcareous soil [J]. *J Plant Nutr*, 2001, 24 (4 & 5): 613-622
- [3] Zaïter H Z, Ghalayini A. Iron deficiency in lentils in the Mediterranean region and its control through resistant genotypes and nutrient application [J]. *J Plant Nutr*, 1994, 17 (6): 945-952
- [4] Zuo Y M, Zhang F S. The effects of peanut intercropping with different gramineous species and their intercropping model on iron nutrition of peanut [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2003, 2 (3): 289-296
- [5] 张鲁江, 梁树芝, 王新颖, 等. 花生缺铁性黄叶病发生规律及防治技术探讨 [J]. *花生学报*, 2003, 32 (增刊): 498-499
- [6] 郑毅, 张福锁. 石灰性土壤上花生缺铁黄化与土壤水分和重碳酸盐的关系 [J]. *中国农业科技导报*, 2000, 2 (3): 73-76
- [7] 刘秀梅, 张夫道, 冯兆滨, 等. 纳米氧化铁对花生生长发育及养分吸收影响的研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11 (4): 551-555
- [8] Lucena J J. Fe chelates for remediation of Fe chlorosis in strategy I plants [J]. *J Plant Nutr*, 2003, 26: 1969-1984
- [9] Kosegarten H, Hoffmann B, Mengel K. The paramount influence of nitrate in increasing apoplastic pH of young sunflower leaves to induce Fe deficiency chlorosis, and the re-greening effect brought about by acidic foliar sprays [J]. *Soil Sci Plant Nutr*, 2001, 164: 155-163
- [10] Yunta F, Sierra M A, Gómez-Gallego M, et al. Methodology to screen new iron chelates; prediction of their behavior in nutrient solution and soil conditions [J]. *J Plant Nutr*, 2003, 26: 1955-1968
- [11] Tagliavini M, Abadía J, Rombola A D, et al. Agronomic means for the control of iron deficiency chlorosis in deciduous fruit trees [J]. *J Plant Nutr*, 2000, 23: 2007-2022
- [12] Tagliavini M, Rombola A D. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems [J]. *Eur J Agro*, 2001, 15 (2): 71-92
- [13] Piagnani C, Zocchi G. Physiological responses of grapevine callus cultures to iron deficiency [J]. *J Plant Nutr*, 1997, 20 (11): 1539-1549
- [14] Schikora A, Schmidt W. Iron stress-induced changes in root epidermal cell fate are regulated independently from physiological responses to low iron availability [J]. *Plant Physiol*, 2001, 125: 1679-1687
- [15] Romheld V, Marschner H. Effect of Fe-stress on utilization of Fe-chelates by efficient and inefficient plant species [J]. *J Plant Nutr*, 1981, 3: 551-556
- [16] Leidi E O, GoÁmez M, Del Rio L A. Peroxidase isozyme patterns developed by soybean genotypes in response to manganese and iron stress [J]. *Biochem Physiol Pflanz*, 1989, 185: 391-396
- [17] Sijmons P C, Kolattukudy P E, Bienfait H F. Iron deficiency decreases suberization in bean roots through a decrease in suberin-specific peroxidase activity [J]. *Plant Physiol*, 1985, 78: 115-120
- [18] Bendary A A, Mabrouk Y, El-Metainy A. Peroxidase isozyme variants as genetic markers for early evaluation of Fe-efficiency and Fe-nutritional status in maize lines [J]. *Field Crops Res*, 1998, 59: 181-185
- [19] 高丽, 史衍玺, 杨守祥. 花生耐低铁性的基因型差异及其生理特性研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9 (4): 480-483

- [20] 高丽,史衍玺.铁胁迫对花生某些生理特性的影响[J].中国油料作物学报,2003,25(3):51-54
- [21] 高丽,史衍玺,周健民.不同耐低铁基因型花生铁营养特性的差异[J].土壤通报,2009,40(6):1393-1397
- [22] Rengel Z, Römheld V. Differential tolerance to Fe and Zn deficiencies in wheat germplasm [J]. Euphytica, 2000, 113: 219-225
- [23] Noboru O, Yasuhiro O, Noriyuki O, et al. Physiological function of bromoperoxidase in the red marine alga, *Corallina pilulifera*: Production of bromoform as an allelochemical and the simultaneous elimination of hydrogen peroxide [J]. Phytochemistry, 2001, 58: 683-692
- [24] Ou M M, Wang Y, Cai W M. Physiological and biochemical changes in *Microcystis aeruginosa* qut. in Phosphorus limitation [J]. J Integr plant Biol, 2005, 47(6): 692-702
- [25] Wang R G, Chen S L, Ma H Y, et al. Genotypic differences in antioxidative stress and salt tolerance of three poplars under salt stress[J]. Frontiers for China, 2006, 1(1): 82-88
- [26] Henda M, Riadh K, Mohamed G, et al. Differences in responses to iron deficiency between two legumes; lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*) [J]. J Plant Physiol, 2005, 162: 1237-1245
- [27] Reddy K B, Ashalatha M, Venkaiah K. Differential response of groundnut genotypes to iron-deficiency stress[J]. J Plant Nutr, 1993, 16(3): 523-531
- [28] 任丽轩,左元梅,江荣凤,等.石灰性土壤上  $\text{HCO}_3^-$  诱导花生缺铁失绿机制[J].生态学报,2005,25(4):795-801
- [29] 李绍伟,任丽,李军华,等.花生黄化症的发生及防治[J].陕西农业科学,2006(5):97-98
- [30] Mengel K, Plänker R, Hoffmann B. Relationship between leaf apoplast pH and iron chlorosis of sunflower (*Helianthus annuus* L.) [J]. J Plant Nutr, 1994, 17: 1053-1065
- [31] Marschner H, Römheld V. Strategies of plants for acquisition of iron [J]. Plant and Soil, 1994, 165: 261-274
- [32] Wei L C, Loeppert R H, Ocumpaugh W R. Fe-deficiency stress response in Fe-deficiency resistant and susceptible subterranean clover: importance of induced  $\text{H}^+$  release [J]. J Exper Bot, 1997, 48: 239-246
- [33] Sueyoshi K, Hirata O, Oji Y. Characterization of plasma membrane-bound  $\text{Fe}^{3+}$ -chelate reductase from Fe-deficient and Fe-sufficient cucumber roots [J]. Soil Sci Plant Nutr, 1997, 43(1): 149-156
- [34] Ksouri R, Gharsalli M, Lachaal M. Physiological responses of Tunisian grapevines varieties to bicarbonate-induced iron deficiency [J]. J Plant Physiol, 2005, 162: 335-341
- [35] Ranieri A, Castagna A, Baldan B, et al. Iron deficiency differently affects peroxidase isoforms in sunflower [J]. J Exp Bot, 2001, 52: 25-35

作者: [任小平](#), [姜慧芳](#), [黄家权](#), [张晓杰](#), [廖伯寿](#), [REN Xiao-ping](#), [JIANG Hui-fang](#),  
[HUANG Jia-quan](#), [ZHANG Xiao-jie](#), [LIAO Bo-shou](#)  
作者单位: [中国农业科学院油料作物研究所/农业部油料作物生物学重点实验室](#), 武汉, 430062  
刊名: [植物遗传资源学报](#) **ISTIC** **PKU**  
英文刊名: [JOURNAL OF PLANT GENETIC RESOURCES](#)  
年, 卷(期): 2010, 11(4)

## 参考文献(35条)

1. [Ranieri A;Castagna A;Baldan B](#) [Iron deficiency differently affects peroxidase isoforms in sunflower](#) [外文期刊] 2001
2. [Ksouri R;Gharsalli M;Lachaal M](#) [Physiological responses of Tunisian grapevines varieties to bicarbonate-induced iron deficiency](#) [外文期刊] 2005(3)
3. [Noboru O;Yasuhire O;Noriyuki O](#) [Physiological function of bromoperoxidase in the red marine alga, Corallina pilulifera: Production of bromoform as an allelochemical and the simultaneous elimination of hydrogen peroxide](#) [外文期刊] 2001(5)
4. [Zaiter H Z;Ghalayini A](#) [Iron deficiency in lentils in the Mediterranean region and its control through resistant genotypes and nutrient application](#) 1994(06)
5. [Piagnani C;Zocchi G](#) [Physiological responses of grapevine callus cultures to iron deficiency](#) 1997(11)
6. [Tagliavini M;Rombola A D](#) [Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems](#) [外文期刊] 2001(02)
7. [Tagliavini M;Abadia J;Rombola A D](#) [Agronomic means for the control of iron deficiency chlorosis in deciduous fruit trees](#) 2000
8. [Kosegarten H;Hoffmann B;Mengel K](#) [The paramount influence of nitrate in increasing apoplastic pH of young sunflower leaves to induce Fe deficiency chlorosis, and the re-greening effect brought about by acidic foliar sprays](#) [外文期刊] 2001
9. [Lucena J J](#) [Fe chelates for remediation of Fe chlorosis in strategy I plants](#) 2003
10. [刘秀梅;张夫道;冯兆滨](#) [纳米氧化铁对花生生长发育及养分吸收影响的研究](#) [期刊论文]-[植物营养与肥料科学](#) 2005(04)
11. [郑毅;张福锁](#) [石灰性土壤上花生缺铁黄化与土壤水分和重碳酸盐的关系](#) 2000(03)
12. [张鲁江;梁树芝;王新颖](#) [花生缺铁性黄叶病发生规律及防治技术探讨](#) [期刊论文]-[花生学报](#) 2003(增刊)
13. [Zuo Y M;Zhang F S](#) [The effects of peanut intercropping with different gramineous species and their intercropping model on iron nutrition of peanut](#) [期刊论文]-[Agricultural Sciences In China](#) 2003(03)
14. [Sueyoshi K;Hirata O;Oji Y](#) [Characterization of plasma membrane-bound Fe<sup>3+</sup>-chelate reductase from Fe-deficient and Fe-sufficient cucumber roots](#) [外文期刊] 1997(01)
15. [Wei L C;Loeppert R H;Ocumpaugh W R](#) [Fe-deficiency stress response in Fe-deficiency resistant and susceptible subterranean clover: importance of induced H<sup>+</sup> release](#) [外文期刊] 1997(307)
16. [Marschner H;Römheld V](#) [Strategies of plants for acquisition of iron](#) [外文期刊] 1994
17. [Mengel K;Plänker R;Hoffmann B](#) [Relationship between leaf apoplast pH and iron chlorosis of](#)



sunflower(Helianthns annuus L.) 1994

18. 李绍伟;任丽;李军华 花生黄化症的发生及防治[期刊论文]-陕西农业科学 2006(05)
19. 任丽轩;左元梅;江荣凤 石灰性土壤上HCO<sub>3</sub>-3诱导花生缺铁失绿机制[期刊论文]-生态学报 2005(04)
20. Reddy K B;Ashalatha M;Venkaiah K Differential response of groundnut genotypes to iron-deficiency stress 1993(03)
21. Henda M;Riadh K;Mohamed G Differences in responses to iron deficiency between two legumes:lentil(Lens culinaris)and chickpea(Cicer arietinum)[外文期刊] 2005(11)
22. Wang R G;Chen S L;Ma H Y Genotypic differences in antioxidative stress and salt tolerance of three poplars under salt stress 2006(01)
23. Ou M M;Wang Y;Cai W M Physiological and biochemical changes in Microcystis aeruginosa quiz. in Phosphorus limitation[期刊论文]-Journal of Integrative Plant Biology 2005(06)
24. Pestana M;Correia P J;Varennes A Effectiveness of different foliar iron applications to control iron chlorosis in orange trees grown on a calcareous soil 2001(4 - 5)
25. Rengel Z;R(omheld V Differential tolerance to Fe and Zn deficiencies in wheat germplasm[外文期刊] 2000(3)
26. 高丽;史衍玺;周健民 不同耐低铁基因型花生铁营养特性的差异[期刊论文]-土壤通报 2009(06)
27. 高丽;史衍玺 铁胁迫对花生某些生理特性的影响[期刊论文]-中国油料作物学报 2003(03)
28. 高丽;史衍玺;杨守祥 花生耐低铁性的基因型差异及其生理特性研究[期刊论文]-植物营养与肥科学报 2003(04)
29. Bendary A A;Mabrouk Y;El-Metainy A Peroxidase isozyme variants as genetic markers for early evaluation of Fe-efficiency and Fe-nutritional status in maize lines[外文期刊] 1998(3)
30. Sijmons P C;Kolattukudy P E;Bienfait H F Iron deficiency decreases suberization in bean roots through a decrease in suberinspecific peroxidase activity[外文期刊] 1985
31. Leidi E O;Go(A)mez M;Del Rio L A Peroxidase isozyme patterns developed by soybean genotypes in response to manganese and iron stress 1989
32. Romheld V;Marschner H Effect of Fe-stress on utilization of Fe-chelates by efficient and inefficient plant species 1981
33. Schikora A;Schmidt W Iron stress-induced changes in root epidermal cell fate arc regulated independently from physiological responses to low iron availability[外文期刊] 2001(4)
34. Yunta F;Sierra M A;Gómez-Gallego M Methodology to screen new iron chelates:prediction of their behavior in nutrient solution and soil conditions 2003
35. Mortvedt J J Correcting iron deficiencies in annual and perennial plants:present technologies and future prospects[外文期刊] 1991

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zwyczyxb201004020.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zwyczyxb201004020.aspx)