植物营养与肥料学报 2001,7(1):117～120
Plant Nutrition and Fertilizer Science

敏感度不同的生菜品种对缺铁的适应机制

陈贵林[1],李式军[2],张福锁[3],李春俭[3]
(1 河北农业大学园艺系,河北保定 071001; 2 南京农业大学园艺系,江苏南京 210095;
3 中国农业大学植物营养系,北京 100094)

The adaptive mechanism of Fe deficiency to susceptibility of Fe stress of lettuce cultivars

CHEN Gui-lin[1], LI Shi-jun[2], ZHANG Fu-suo[3], LI Chun-jian[3]
(*1 Dept.of Hort., Hebei Agric.Univ., Baoding 071001, China; 2 Dept.of Hort., Nanjing Agric.Univ., Nanjing 210095, China; 3 Dept.of Plant Nutr., CAU, Beijing 100094, China*)

中图分类号:S945.78　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2001)01-0117-04

蔬菜无土栽培中常因铁营养失调而引发失绿症。通过改善铁的利用形态和水质,调节 pH 值,降低 HCO_3^- 浓度等措施可以防治[1],但效果不佳。南京农业大学园艺系通过 3 年研究,筛选出耐缺铁的生菜品种—黑核,从而为以生物学途径解决生菜无土栽培中铁营养失调奠定了基础。缺铁胁迫下,耐缺铁生菜黑核根际介质 pH 下降,根系外观正常,心叶叶绿素含量和过氧化氢酶活性均高于对缺铁敏感的玻璃生菜[1]。但是,有关耐缺铁生菜黑核的耐缺铁机理尚缺乏深入研究。为此,本试验着重从根细胞质膜对 Fe^{3+} 的还原力以及 Fe 从根部和老叶向心叶的运移效率两方面进行了研究,旨在阐明不同生菜品种耐缺铁的生理机制,为生菜无土栽培营养液铁素管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

试验于 1995～1996 年在中国农业大学植物营养开放实验室进行。供试生菜(*Lactuca sativa* L.)为缺铁敏感度不同的 2 个品种,黑核系耐缺铁的品种,玻璃生菜系缺铁敏感品种[1]。

生菜种子在饱和 $CaSO_4$ 中浸泡 2 h 后 ,置于经高压灭菌的石英砂中,在 25℃ 下催芽 24 h,然后在昼温 20～25℃ ,夜温 15～18℃ 下培养,待第 1 片真叶长出时,选择生长一致的生菜苗,移入装有 1.8 L 1/2 剂量的完全营养液的塑料盆中预培养 3 d 后,转入完全营养液中培养[2]。每盆 20 株,电动气泵连续通气。15 d 后,在完全营养液培养和缺铁营养液 2 种处理下进行培养试验,8 次重复(其中 4 个重复用于测定根系 Fe^{3+} 还原力,另外 4 个重复烘干后测定铁含量)。营养液的初始 pH 值为 6.30,每天光照 14 h,光强度 200$\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,昼/夜温度 20～25℃ /15～18℃ 。不同供铁状况处理后第 2 d 开始,每隔 1 d 测定 1 次幼

收稿日期:1999-09-29
基金项目:高等学校博士学科点基金;河北省教委博士基金资助项目。
作者简介:陈贵林(1961—),男,内蒙古呼和浩特市人,教授,主要从事设施农业与无土栽培的教学与科研工作。

苗根系细胞原生质膜对 Fe^{3+} 还原力;处理后第 12 d 将生菜幼苗分心叶、老叶和根系 3 部分,在 70℃ 下烘 24h,称干重后备用。

1.2 分析测定方法

1.2.1 根系细胞原生质膜 Fe^{3+} 还原力的测定 将供铁和缺铁 2 个处理的各 4 次重复的生菜苗分别移入 0.1mmol/L 含有 Fe^{3+} 的 EDTA 和 2,2′—联吡啶 0.4mmol/L 营养液中,光照下连续通气 2 h,移去生菜苗将留下的溶液在 520nm 处比色,以没有加入幼苗根系的混合液作为空白对照,重复 4 次。Fe^{2+}-联吡啶的摩尔吸光系数为 8650 $mol \cdot L^{-1} \cdot cm^{-1}$。

1.2.2 植株铁含量的测定 称取 0.5g 磨碎的植物样品,在 550℃ 马福炉中灰化 6~8 h,冷却后,加入 1:1 HCl 溶解残渣,定容过滤,用原子吸收分光度计测定铁含量,重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 不同供铁状况下生菜幼苗根系 Fe^{3+} 还原力的差异

由图 1 可见,缺铁处理后 2~6 d,耐缺铁生菜的黑核幼苗根系 Fe^{3+} 还原力与缺铁敏感的玻璃生菜差异不大。缺铁培养至第 8 d,黑核根系 Fe^{3+} 还原力迅速升高,第 10 d 升至最高达 67.32$\mu mol \cdot g^{-1} \cdot 2h^{-1}$(鲜体);而供铁处理根系 Fe^{3+} 还原力只有 9.82 $\mu mol \cdot g^{-1} \cdot 2h^{-1}$(鲜体),二者相差近 6 倍;缺铁培养至第 12 d,黑核根系 Fe^{3+} 还原力又开始下降。玻璃生菜在缺铁处理第 10 d 升高至 19.44 $\mu mol \cdot g^{-1} \cdot 2h^{-1}$(鲜体),而供铁处理的仅为 11.02 $\mu mol \cdot g^{-1} \cdot 2h^{-1}$(鲜体),二者相差不到 1 倍。缺铁处理第 10 d,黑核根系 Fe^{3+} 还原力是玻璃生菜的 2.5 倍;供铁处理中,无论是耐缺铁的黑核还是缺铁敏感的玻璃生菜根系 Fe^{3+} 还原力始终变化不大。缺铁条件下黑核和玻璃生菜根系 Fe^{3+} 还原力高峰出现期尽管一致,但二者还原力的大小差异显著,表明基因型是决定根系 Fe^{3+} 还原力大小的主要因素之一。

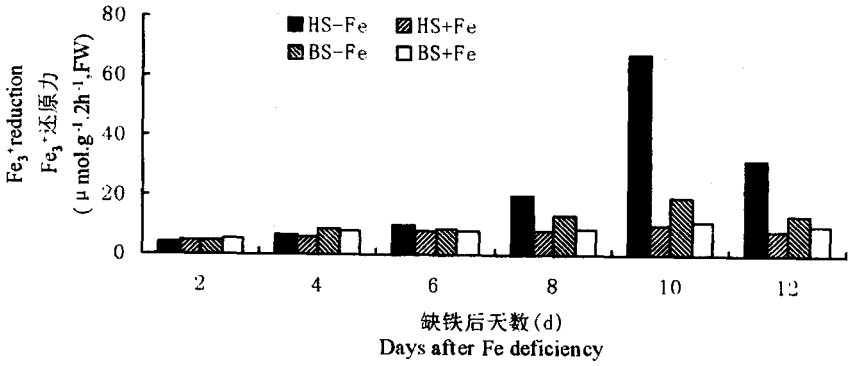

图 1 不同处理生菜幼苗根系 Fe^{3+} 还原力变化

Fig.1 Changes of Fe^{3+} reduction capacity of lettuce with different Fe treatments

(HS-黑核 Heihe salad;BS-玻璃生菜 Boli salad,下同 same as follows.)

2.2 不同供铁状况下生菜幼苗含铁量的差异

供铁处理时,黑核和玻璃生菜老叶含铁量均维持较高水平,黑核老叶含铁量显著高于玻璃生菜;缺铁处理第 12 d,黑核和玻璃生菜老叶含铁量均显著降低,但黑核老叶含铁量显著

高于玻璃生菜(图 2)。表明缺铁胁迫下黑核老叶比玻璃生菜具有较高的铁的蓄积能力。

图 2 还看出，无论是供铁处理还是缺铁处理黑核心叶含铁量均显著高于玻璃生菜，说明缺铁胁迫下耐缺铁的黑核心叶仍具有较高的铁利用效率。

以上结果表明，无论供铁或缺铁处理，二个品种老叶的含铁量远高于心叶；缺铁处理后耐缺铁的黑核无论老叶还是心叶其含铁量均高于玻璃生菜，说明耐缺铁的黑核心叶和老叶对铁的利用效率都高于玻璃生菜。

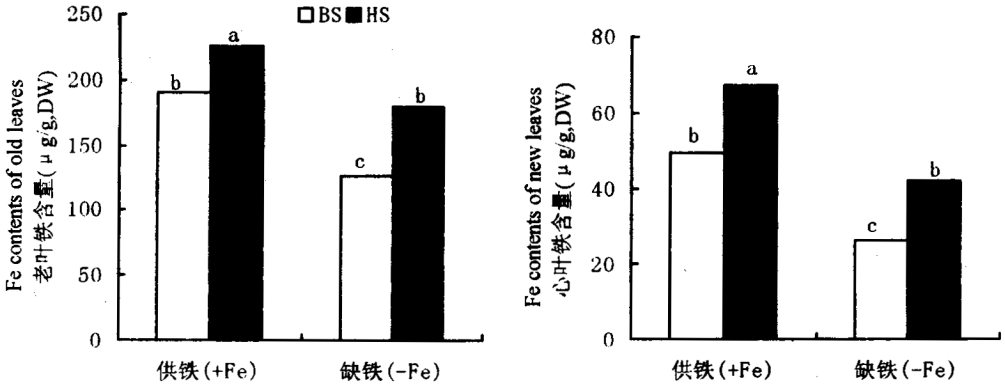

图 2　不同供铁处理生菜老叶和心叶铁含量的变化(处理后第 12 天，下同。)

Fig.2　Changes of Fe contents in old and new leaves of lettuce with different Fe supplied

(12 d after treated, same as follows.)

图 3 看出，缺铁处理后黑核和玻璃生菜根系含铁量均显著降低，但无论是缺铁还是供铁处理的黑核幼苗根系含铁量均分别显著高于玻璃生菜。表明耐缺铁品种黑核根系吸收铁以及向地上部运输铁的能力都高于玻璃生菜。

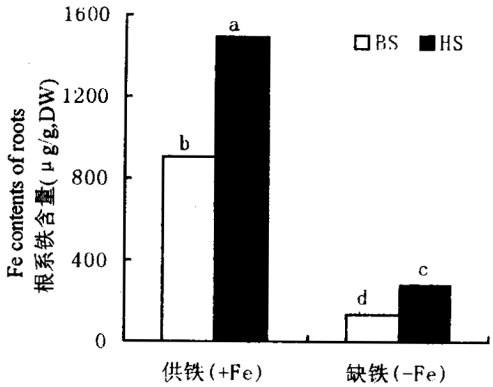

图 3 不同供铁处理生菜幼苗根系含铁量差异

Fig.3 Genotypic differences of Fe concentration in roots of lettuce with different Fe supplied

3　讨论

研究表明，铁高效双子叶植物在缺铁胁迫下都会表现出根系 Fe^{3+} 还原力增加等特点，这一特点对植物更有效的吸收和利用根际无机铁化合物和 Fe^{3+} 螯合物是非常重要的[3~5]。本试验结果表明，缺铁后第 10 d，耐缺铁的生菜黑核根系 Fe^{3+} 还原力是玻璃生菜的 2.5 倍。由于缺铁条件下耐缺铁生菜黑核根系 Fe^{3+} 还原力增加，并向根际分泌的大量 H^+ 可以酸化根际[1]，根际可溶性 Fe^{2+} 增多，使更多 Fe^{3+} 被还原。一般认为 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} 是植物吸收铁的前提[3]，而根系 Fe^{3+} 还原力的增强主要是缺铁诱导产生的根系质膜上可诱导还原酶活性增强的结果[6]。可见，耐缺铁生菜对缺铁的适应机制应包括缺铁条件下，根系对 Fe^{3+} 还原力的增加，H^+ 和还原物质分

泌增多的过程。

缺铁处理下不同植物根系 Fe^{3+} 还原力出现的高峰时间有很大差异。如菜豆在缺铁处理后第 6～8 d 根系 Fe^{3+} 还原力即达最高;而垂叶榕则在缺铁处理后第 56 d 根系 Fe^{3+} 还原力才达最高,即使是同一种植物其不同基因型根系 Fe^{3+} 还原力差异也很大[7]。本试验结果表明,在诱导根系缺铁后不同时期其根系 Fe^{3+} 还原力高峰出现早晚及峰值大小也不同。因此以根系 Fe^{3+} 还原力作为筛选耐缺铁品种的指标时,应该在诱导缺铁后的最佳时期测定,这样才会达到最佳的效果。本试验中生菜在具有 2 片真叶时诱导缺铁,至第 10 d 根系 Fe^{3+} 还原力达最高峰。可见,根系 Fe^{3+} 还原力高峰出现时间早晚及峰值大小最根本的原因是植物基因型差异造成的,当然也与测定方法不同有关。

一般认为,铁在韧皮部的移动性很差,植物体内积累的铁不能再转移到新生组织被重新利用,因而铁在植物体内的利用和再利用效率很低。近年来发现韧皮部中的铁并不是不能移动,其移动性的大小与植物基因型及环境条件有关[8～9]。本研究结果表明,耐缺铁生菜黑核在缺铁胁迫下心叶、老叶和根系均保持了较高的含铁量,说明缺铁处理后黑核心叶可能从老叶和根系中也获得铁的补充。这表明缺铁胁迫下耐缺铁生菜基因型可以通过韧皮部使铁被再利用。

参考文献:

[1] 李式军,汪李平. 水培生菜耐缺铁胁迫品种的筛选及其生理特性研究[J]. 园艺学报,1995,22(2):147-152.

[2] 张福锁,刘书娟,毛达如,韩振海. 苹果抗缺铁基因型差异的生理生化指标研究[J]. 园艺学报,1995,22(1):1-6.

[3] Chaney R L, Brown J C, Tiffin L O. Obligatory reduction of ferric chelates in iron uptake by soybeans[J]. Plant Physiol., 1972, 50:208-213.

[4] Marschner H, Romheld V, Kissel M. Different strategies in higher plant in mobilization and uptake of iron[J]. J. Plant Nutr., 1986, 9:695-713.

[5] Bienfait H F. Mechanism in Fe-efficiency reactions of higher plants[J]. J. Plant Nutr., 1988, 11(6-11):605-629.

[6] Bienfait H F, Duivenvoorden J, Verkerke W. Ferric reduction by roots of chlorotic bean plants: indications for an enzymatic process[J]. J. Plant Nutr., 1982, 5:451-456.

[7] Rubinstion B, Stern A T, Stout R G. Redox activity at the surface of oat root cells[J]. Plant Physiol., 1984, 76:386-391.

[8] Maas FM, van de Wetering D A M, Van Beusichem M L and Bienfait H F. Characterization of phloem iron and its possible role in the regulation of Fe-efficiency reactions[J]. Plant Physiol., 1988, 87:167-171.

[9] Mengel K and Geurtzen G. Relationship between iron chlorosis and alkalinity in *Zea mays* [J]. Physiol. Plant, 1988, 72:460-465.

更正:本刊第 6 卷第 4 期 p.458 第 3 行、p.461 4.2 段中第 1 行分子量单位 mg/mol 应为 Mg/mol。