

金冠/中砧 1 号苹果树耐低铁胁迫的评价

余 俊, 王 忆, 吴 婷, 张新忠, 韩振海*

(中国农业大学园艺植物研究所, 北京 100193)

摘 要: 为了对苹果砧木‘中砧 1 号’耐低铁能力进行评价, 本研究以金冠/山荆子为对照, 设正常供铁 ($40 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 和低铁胁迫 (0、4、10、20 和 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), 着重研究 2 年生金冠/中砧 1 号的形态以及生理生化指标的变化。研究表明, 金冠/中砧 1 号在 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 时, 叶片未出现黄化, 且新梢增长量、叶面积以及幼叶叶绿素含量、活性铁含量、光合速率与正常铁处理植株无显著差异; $0 \sim 20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 水平下, 虽然出现黄化现象, 但是其各项指标受影响程度均低于金冠/山荆子。金冠/山荆子在 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 下 15 d 严重黄化; $0 \sim 20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 水平下在秋梢生长期出现了严重的小叶焦梢现象。表明在金冠长期低铁环境下, 用中砧 1 号作砧木能耐 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 低铁胁迫且生长发育基本正常。

关键词: 苹果; 砧木; 低铁胁迫; 生长发育

中图分类号: S 661.1

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2015) 04-0769-09

Evaluation of Golden Delicious/Chistock 1 on Resistance to Low Iron Stress

YU Jun, WANG Yi, WU Ting, ZHANG Xin-zhong, and HAN Zhen-hai*

(Institute of Horticultural Plant, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to evaluate the capacity of Chistock 1 on resistance to low iron stress, this experiment was conducted on the phenotypic, physiological and biochemical characteristics of 2-year-old Golden Delicious/Chistock 1 (GD/Cs) under different iron conditions of 0, 4, 10, 20, 30 or $40 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe-EDTA. Compared to Golden Delicious/*Malus baccata* (GD/Mb), GD/Cs at $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe showed no chlorosis in the whole growth period, and had no significant differences at Fe levels between the normal concentration ($40 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) and low Fe stress ($30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) on shoot growth, leaf area, young leaf chlorophyll, photosynthetic rate, or active iron content. Furthermore, at 0 to $20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe, GD/Cs showed much slighter chlorosis than GD/Mb. However, GD/Mb showed severe chlorosis after 15 days at $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe, and reduced leaf area with shoot tip dieback from 0 to $20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe in autumn growth stage. Thus, the experiment lead a preliminary conclusion that Golden Delicious can grow normally under long-term low iron stress on rootstock of Chistock 1.

Key words: apple; rootstock; low iron stress; growth and development

收稿日期: 2015-01-23; **修回日期:** 2015-03-24

基金项目: 现代农业产业技术体系项目(CARS-28); 公益性行业(农业)科研专项(201203075); 国家科技支撑计划课题(2013BAD02B01); 农业部园艺作物营养与生理重点实验室项目; 北京市果树逆境生理与分子生物学重点实验室项目

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: rschan@cau.edu.cn)

铁是植物生长发育过程中重要的微量元素,是很多蛋白和酶氧化还原过程中的重要辅因子,参与植物光合作用、呼吸作用、固氮作用以及核酸合成等众多基础代谢过程中(Thoiron et al., 1997; Wu et al., 2012)。缺铁是植物严重的非生物胁迫之一,低铁条件下植物会出现幼叶黄化、生长减缓、产量品质下降等症状(Kobayashi & Nishizawa, 2014; Zha et al., 2014)。

山荆子是中国北方、尤其是华北北部和东北的主要苹果砧木,属铁敏感苹果砧木种,而小金海棠是苹果属耐低铁胁迫类型(Han et al., 1994a)。正常供铁条件下,小金海棠幼叶和根系活性铁含量分别为山荆子的1.34倍和1.27倍(Zha et al., 2014),小金海棠实生苗在整个生长周期内光合速率均高于山荆子(Han et al., 1994a)。低铁胁迫条件下,小金海棠铁吸收转运能力进一步加强,表现为根际pH显著下降,三价铁还原酶(FCR)活性显著上升,铁吸收基因(*HA7*、*FRO2*、*FIT1*、*IRT1*)和铁转运相关基因(*CSI*、*FRD3*)表达量显著上升,而山荆子均无显著变化(Wu et al., 2012; Zha et al., 2014)。

‘中砧1号’是从小金海棠自然实生后代中选育的耐缺铁苹果砧木新品种(韩振海等, 2013)。在含 $4\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 铁的沙培条件下处理6 d,1年生富士/中砧1号新叶叶片的*MfCSI*、*YSL5*的表达量约为山荆子的2倍;1年生富士/山荆子叶片在25 d出现黄化现象,而富士/中砧1号叶片在40 d尚未出现黄化,且新梢平均生长量比富士/山荆子高约5 cm,叶面积增长量高约3倍,活性铁含量高约 $5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Yu et al., 2014)。

本试验中以金冠/中砧1号、金冠/山荆子为试材,研究不同低浓度铁供给对植株形态发育、生长和生理生化指标的影响,以对中砧1号嫁接的耐低铁能力进行评价。

1 材料与方法

1.1 试材及其处理

2013年3月将金冠/中砧1号、金冠/山荆子1年生嫁接苗定植于沙培槽中,沙培槽长×宽×高为 $90\text{ cm}\times 30\text{ cm}\times 30\text{ cm}$,每个沙培槽种植3株。定植后以滴灌方式供应Hoagland营养液(Gao et al., 2011),每天3次,每次15 min,滴头出水量 $2\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$,每槽3个滴头。待新叶长出,于处理前3 d,用自来水每天冲洗河沙3遍,检测盆栽漏出液体铁含量约为0时,于2013年5月上旬开始进行处理。正常铁浓度为 $40\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Fe}^{3+}$ -EDTA,低铁处理设5个浓度,0、4、10、20和 $30\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Fe}^{3+}$ -EDTA,每个处理5株,3次重复。

2014年在2年生组合植株上重复试验,于4月25日处理。第1周每2 d、之后每14 d调查取样1次,记录嫁接苗生长状况,测定各项生理生化指标。

1.2 指标测定

测定新梢长度,每株测3个新梢,计算各低浓度铁处理新梢长度与正常铁处理新梢长度的比值作为相对增长量。

选取位于生长点以下第6~10片功能叶,用便携式叶面积仪(LI-3000C, LI-COR Inc)测量叶面积,每株测3个叶片。

用SPAD-502叶绿素仪测定叶绿素含量,每株测3个叶片,每个叶片取5个不同部位测定。

采幼叶,用去离子水洗净组织,并用吸水纸吸干其表面水分,置于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱中杀青20 min后,再放入 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘至恒质量。取烘干的材料0.1 g,加10 mL $1.0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{HCl}$ (用摇床连续

振荡 5 h), 过滤后取上清液, 用原子吸收法测过滤液中铁含量(Z-5000, Hitachi, Tokyo, Japan)(Takkar & Kaur, 1984; Han et al., 1994b)。

选择晴天上午 9:00—11:00, 每个重复随机抽取 9 个新梢, 用 LI-6400XT 便携式光合仪(LI-6400XT, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA)测定新梢生长点往下第 5 片功能叶净光合速率(P_n)。

焦梢率调查, 以新梢停止生长、枝梢顶端叶片坏死焦枯计为焦梢。焦梢率(%) = 焦梢株数/总株数 \times 100。

1.3 统计分析

试验数据用 DPS 数据分析软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 低铁胁迫下叶片黄化情况

从图 1 看出, 2013 年, 中砧 1 号作砧木的金冠叶片黄化较以山荆子作砧木的显症迟、症状轻。4 和 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 处理 7 d, 金冠/山荆子就出现新叶黄化现象; 至 49 d, 0 ~ 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 处理的金冠/山荆子均出现不同程度黄化, 而此时金冠/中砧 1 号仅在 0 ~ 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 下出现轻微黄化现象, 20 ~ 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 处理均未黄化。2014 年, 可能由早期气温较高及后期温度、湿度等因素的影响(周厚基和全月澳, 1987), 尽管供试材料的缺铁黄化时间都提前、金冠/山荆子以及金冠/中砧 1 号在相应时期表现的黄化现象均较 2013 年严重, 但金冠/中砧 1 号比金冠/山荆子在叶片黄化上显症迟、症状轻的趋势仍明显存在。

2.2 低铁胁迫下的新梢生长量情况

图 2 表明, 低铁胁迫抑制植株新梢生长, 0 ~ 4 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 下金冠/中砧 1 号新梢增长量显著低于 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 下的新梢增长量。0 ~ 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 下金冠/中砧 1 号的枝梢增长量也显著高于金冠/山荆子。与此相似, 30 ~ 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 下金冠/山荆子、10 ~ 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 下金冠/中砧 1 号的新梢增长量差异不显著; 表明中砧 1 号作砧木时, 基质中 10 ~ 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铁浓度即能维持植株正常的新梢生长。

2.3 低铁胁迫下的叶面积变化

如表 1 所示, 低铁胁迫抑制叶片生长, 导致叶面积减小。在 0 ~ 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 处理 91 ~ 133 d, 金冠/中砧 1 号叶面积显著低于 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 的叶面积; 而在 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 处理 77 ~ 161 d, 金冠/中砧 1 号始终能维持植株叶片的正常生长, 其叶面积与 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 的叶面积未见显著差异。可见中砧 1 号作砧木时, 基质中 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铁浓度能维持植株正常的叶片生长。

相比之下, 在 0 ~ 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 处理 77 ~ 161 d, 金冠/山荆子叶面积显著低于 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 的叶面积, 且明显低于 0 ~ 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 下金冠/中砧 1 号的叶面积; 在 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 处理 77 ~ 91 d, 金冠/山荆子叶面积显著低于 40 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 的叶面积, 在处理 105 ~ 161 d, 金冠/山荆子的叶面积才逐渐恢复正常。

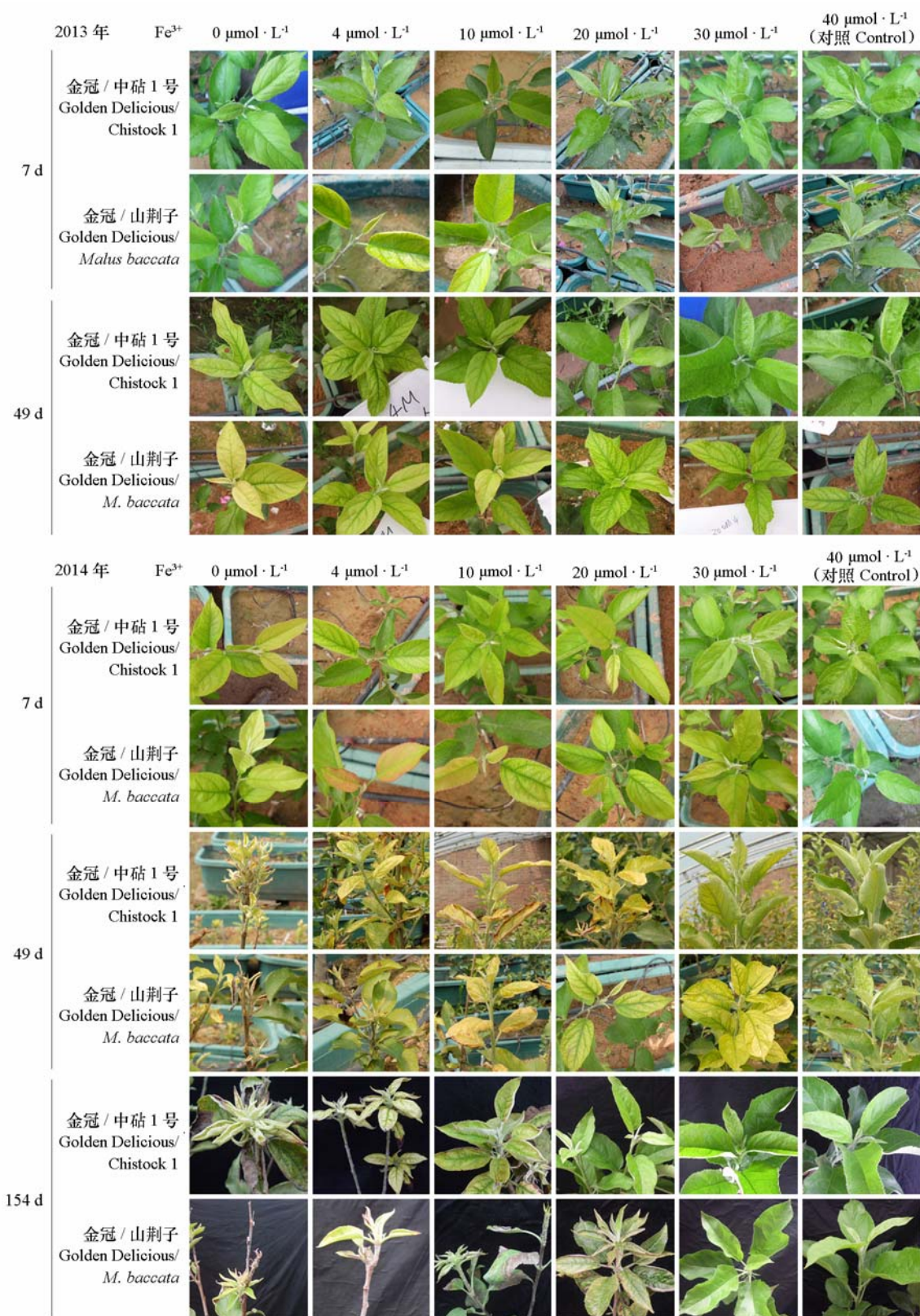


图 1 不同铁浓度处理对叶片黄化的影响

Fig. 1 The chlorosis of leaves under different iron conditions

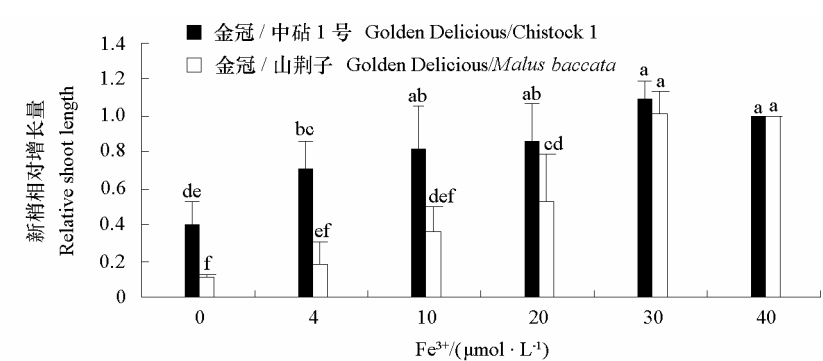


图 2 不同铁浓度处理对新梢生长的影响
Fig. 2 The shoot growth of two materials under different iron conditions

表 1 不同铁浓度处理下的叶面积
Table 1 Leaf area under different iron conditions

Fe ³⁺ / (μmol·L ⁻¹)	77 d		91 d		105 d		133 d		161 d	
	GD/Cs	GD/Mb	GD/Cs	GD/Mb	GD/Cs	GD/Mb	GD/Cs	GD/Mb	GD/Cs	GD/Mb
0	30.8 c	15.5 c	30.8 b	28.2 b	43.0 bc	35.0 bc	35.0 b	19.2 d	26.5 d	27.2 b
4	26.8 c	13.7 c	30.4 b	12.9 c	39.1 c	19.4 e	34.9 b	22.0 d	35.6 c	18.1 c
10	39.2 b	19.9 c	23.9 b	25.7 b	46.2 abc	29.6 cd	29.5 b	35.9 c	44.4 bc	25.7 b
20	50.2 a	16.7 c	34.3 b	14.4 c	43.1 bc	24.8 de	33.3 b	39.3 c	51.7 ab	30.9 b
30	47.9 a	29.8 b	51.4 a	28.9 b	54.5 ab	44.5 a	49.5 a	59.5 a	57.2 a	53.0 a
40 (对照 Contol)	49.4 a	43.0 a	52.9 a	44.3 a	57.0 a	39.9 ab	50.7 a	44.6 b	57.2 a	51.4 a

注：表中数据为平均值；同一列不同小写字母表示差异达显著水平（ $P=0.05$ ）。GD/Cs：金冠/中砧 1 号；GD/Mb：金冠/山荆子。下同。
Note: Data are means. Data followed by the same letter within the same column are not significantly different at the $P=0.05$ level. GD/Cs: Golden Delicious/Chistock 1; GD/Mb: Golden Delicious/*M. baccata*. The same below.

2.4 低铁胁迫下的焦梢率

表 2 表明，无论是金冠/中砧 1 号还是金冠/山荆子，随着铁胁迫加重、缺铁时间的延长，植株新梢的焦梢率均有升高的趋势。但即便如此，各个缺铁浓度条件下金冠/中砧 1 号焦梢率均远低于金冠/山荆子。30 μmol·L⁻¹ Fe 下的金冠/中砧 1 号，仅在 91 d 出现 5.88% 的轻微焦梢；相比之下，金冠/山荆子在 0~30 μmol·L⁻¹ Fe 下均出现焦梢，且 0~4 μmol·L⁻¹ Fe 下金冠/山荆子的焦梢率均在 60% 以上。

表 2 不同铁浓度处理下对叶片焦梢率的影响
Table 2 The dieback rate of two materials under different iron conditions

Fe ³⁺ / (μmol·L ⁻¹)	91 d		133 d		161 d	
	GD/Cs	GD/Mb	GD/Cs	GD/Mb	GD/Cs	GD/Mb
0	37.50	100.00	33.33	66.67	27.78	88.89
4	4.76	70.59	15.79	88.24	23.81	94.12
10	5.55	20.00	11.11	20.00	16.67	40.00
20	5.55	14.29	5.56	8.33	0	33.33
30	5.88	6.25	0	22.22	0	11.11
40 (对照 Contol)	0	0	0	0	0	0

2.5 低铁胁迫下的叶绿素和叶片光合速率

对金冠/中砧 1 号叶片叶绿素含量而言，30~40 μmol·L⁻¹ Fe 水平下基本保持稳定；0~20 μmol·L⁻¹ Fe 下呈下降趋势，且至 49 d 达到最低点，并从 63 d 开始逐渐恢复，其中 20 μmol·L⁻¹ Fe 的叶绿素回升最为明显。相比之下，金冠/山荆子仅 40 μmol·L⁻¹ Fe 的叶绿素含量基本稳定，而 0~30

$\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 的叶绿素含量迅速下降, 且在 49 d 达到最低点; 其中, $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下金冠/山荆子的叶绿素含量从 63 d 开始恢复正常 (图 3)。

金冠/中砧 1 号的叶片光合速率随处理天数的增加, 在 $0 \sim 10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 范围下均呈下降趋势, $20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下, 7~21 d 先下降后逐渐恢复, 至 63 d 恢复至正常水平; $30 \sim 40 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下, 光合速率始终稳定。而金冠/山荆子的叶片光合速率, $0 \sim 20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下均呈下降趋势; $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下, 7~35 d 先下降, 至 63 d 后逐渐恢复正常; 仅 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下的光合速率基本稳定 (图 3)。

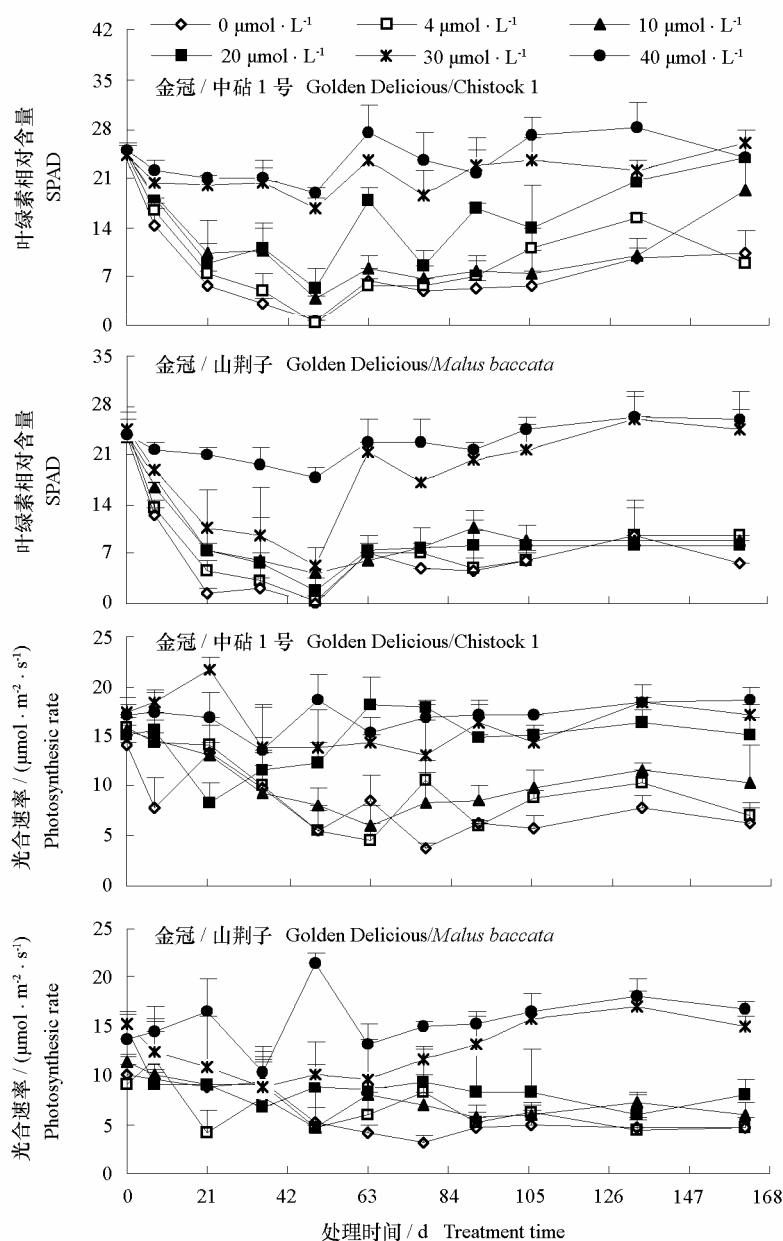


图 3 不同铁浓度处理下植株叶绿素含量和光合速率的变化

Fig. 3 Changes of chlorophyll content and net photosynthetic rate of two materials under different iron conditions

2.6 低铁胁迫下的叶片活性铁含量的变化

活性铁含量、叶绿素含量与植物铁营养状况关系更加密切 (Pierson & Clark, 1984)。从图 4 可以看出, 金冠/中砧 1 号的叶片活性铁含量, 在 $30 \sim 40 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下, 整个生长期基本保持稳定; 在 $0 \sim 20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下, 7 ~ 49 d 含量下降, 但 $20 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下从 63 d 后逐渐上升, 至 105 d 时恢复到正常水平。

对于金冠/山荆子, 仅 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下的叶片活性铁含量基本稳定; $0 \sim 30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下, 7 ~ 49 d 叶片活性铁含量持续下降, 至 63 d 时仅 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 的叶片活性铁含量逐渐上升, 至 91 d 恢复到正常水平 (图 4)。

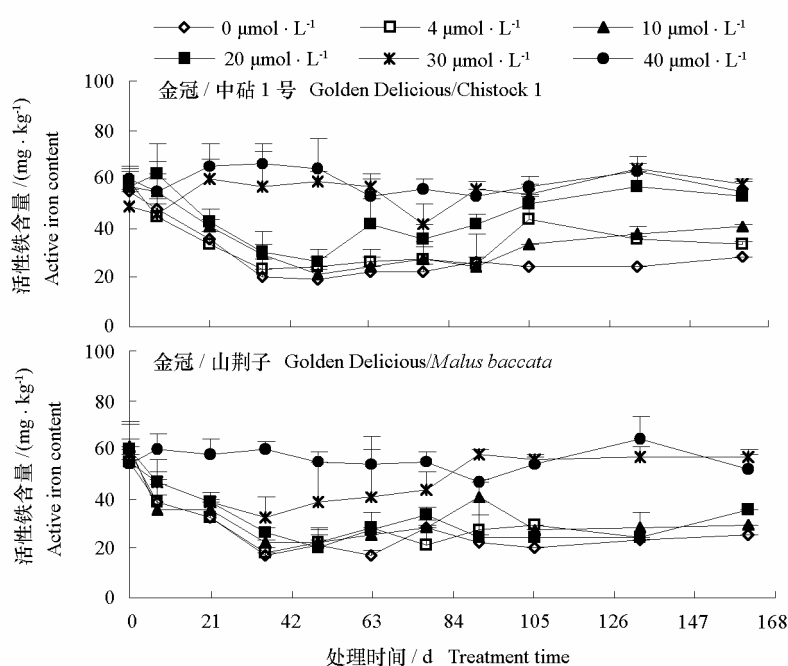


图 4 不同铁浓度处理植株活性铁含量的变化

Fig. 4 Changes of the active iron content of two materials under different iron conditions

3 讨论

2013 和 2014 年连续两年在 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 低铁胁迫下, 金冠/中砧 1 号始终未出现叶片黄化, 而金冠/山荆子两年均表现严重叶片黄化。 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 金冠/中砧 1 号叶面积始终不受影响, 而金冠/山荆子的叶面积在 77 ~ 91 d 显著低于 30 和 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (正常对照) 铁浓度。在 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Fe}$ 下, 金冠/中砧 1 号的植株叶绿素、活性铁含量、光合速率始终正常, 而金冠/山荆子的叶绿素在处理前 49 d 显著下降, 活性铁含量、光合速率在低铁处理前 35 d 也明显下降。说明金冠/中砧 1 号可耐 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 低铁。

金冠/中砧 1 号的耐缺铁能力明显强于金冠/山荆子。分析中砧 1 号可能的耐缺铁机理有二: 首先, ‘中砧 1 号’ 是从小金海棠自然实生后代中选育的耐缺铁苹果砧木 (韩振海 等, 2013)。小金海棠根系发达、根毛多, 对铁素的铁离子吸收动力学参数 K_m 值均小于山荆子 K_m 值, 小金海棠的 I_{\max} 值均大于山荆子 I_{\max} (韩振海 等, 1995, 李英慧 等, 2004)。在正常供铁水平下, 小金海棠根叶活

性铁含量、FCR 活性、*MxIRT1* 基因表达量均显著高于山荆子 (Zha et al., 2014)。其次, 在低铁胁迫下, 小金海棠铁吸收相关基因 *HA7*、*FRO1*、*IRT1* 表达量在低铁胁迫 1 ~ 3 d 分别加强 3.5 倍、7 倍和 6 倍, 导致小金海棠根部铁吸收能力显著加强, 而山荆子根系中这些铁吸收相关基因没有响应 (Zha et al., 2014)。在低铁胁迫条件下, 小金海棠根系自由空间铁累积量远比山荆子大, 且对根系自由空间铁库的活化利用能力也比山荆子强 (张福锁 等, 1996)。

生产实践中, 田间果树黄化常常发生在新梢旺长期 (Boxma, 1972; Baldi et al., 2009)。新梢旺长期恰逢根系生长缓慢期 (罗飞雄 等, 2014), 铁吸收量小、铁素在植株体内移动性差造成旺长的新梢得不到所需的大量铁素, 从而发生黄化、叶片变小 (Cañasveras et al., 2013; Yu et al., 2014)、光合速率下降 (Han et al., 1994a) 等现象。本试验中, 低铁胁迫处理 21 ~ 49 d 时也刚好处于春梢旺长期, 此时期叶片黄化现象严重, 新叶叶绿素含量、新叶活性铁含量以及光合速率下降明显。而缺铁 63 d 后, 新梢生长减慢, 20 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 的金冠/中砧 1 号和 30 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Fe 的金冠/山荆子叶片逐渐复绿, 叶片叶绿素含量、活性铁含量、光合速率以及叶面积也逐渐恢复至正常水平; 这一现象出现的原因, 可能是由于苹果根系发根高峰一般出现在新梢旺长后 (曲泽洲和韩其谦, 1983; Psarras et al., 2009), 且新梢生长减缓, 幼嫩器官需铁量减少, 从而使活跃、大量、持续生长的根系为幼苗提供了足够恢复正常生长发育的铁营养。

References

- Baldi E, Amadei P, Pelliconi F, Marangoni B. 2009. Efficacia dell'epoca di somministrazione del chelato di ferro nella prevenzione della clorosi ferrica in piante di actinida (*A. deliciosa*). *Italus Hortus*, 16 (5): 189 – 191.
- Boxma R. 1972. Bicarbonate as the most important soil factor in lime-induced chlorosis in the Netherlands. *Plant and Soil*, 37 (2): 233 – 243.
- Cañasveras J C, Sánchez-Rodríguez A R, del Campillo M C, Barrón V, Torrent J. 2013. Lowering iron chlorosis of olive by soil application of iron sulfate or siderite. *Agronomy for Sustainable Development*, 34 (3): 677 – 684.
- Gao C, Wang Y, Xiao D S, Qiu C P, Han D G, Zhang X Z, Wu T, Han Z H. 2011. Comparison of cadmium-induced iron-deficiency responses and genuine iron-deficiency responses in *Malus xiaojinensis*. *Plant Science*, 181 (3): 269 – 274.
- Han Z H, Shen T, Korcak R F, Baligar V C. 1994a. Screening for iron-efficient species in the genus *Malus*. *Journal of Plant Nutrition*, 17 (4): 579 – 592.
- Han Z H, Wang Q, Shen T. 1994b. Comparison of some physiological and biochemical characteristics between iron-efficient and iron-inefficient species in the genus *Malus*. *Journal of Plant Nutrition*, 17 (7): 1257 – 1264.
- Han Zhen-hai, Wang Yi, Zhang Xin-zhong, Xu Xue-feng, Sun Yang-wu, Shen Jun. 2013. Apple rootstock new variety Chistock 1. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 21 (7): 879 – 882. (in Chinese)
- 韩振海, 王 忆, 张新忠, 徐雪峰, 孙扬吾, 沈 隽. 2013. 苹果砧木新品种中砧 1 号. *农学生物技术学报*, 2 (7): 879 – 882.
- Han Zhen-hai, Wang Yong-zhang, Sun Wen-bin. 1995. Iron absorption kinetics for Fe-efficient and Fe-inefficient species in *Malus*. *Acta Horticulturae Sinica*, 22 (4): 313 – 317. (in Chinese)
- 韩振海, 王永章, 孙文斌. 1995. 铁高效及铁低效苹果基因型的铁离子吸收动力学研究. *园艺学报*, 22 (4): 313 – 317.
- Kobayashi T, Nishizawa N K. 2014. Iron sensors and signals in response to iron deficiency. *Plant Science*, 224: 36 – 43.
- Li Ying-hui, Han Zhen-hai, Xu Xue-feng. 2004. Fe-efficient traits and their relationships to chlorosis index in genus *Malus*. *Acta Horticulturae Sinica*, 31 (3): 350 – 352. (in Chinese)
- 李英慧, 韩振海, 许雪峰. 2004. 苹果铁高效相关性状与黄化指数相关性的研究. *园艺学报*, 31 (3): 350 – 352.
- Luo Fei-xiong, Hou Chang-wei, Ma Li, Wu Ting, Wang Yi, Zhang Xin-zhong, Han Zhen-hai. 2014. Dynamics of fine root turnover in different apple scion-stock combinations. *Acta Horticulturae Sinica*, 41 (8): 1525 – 1534. (in Chinese)
- 罗飞雄, 侯常伟, 马 丽, 吴 婷, 王 忆, 张新忠, 韩振海. 2014. 不同砧木苹果树细根周转动态的研究. *园艺学报*, 41 (8):

- 1525 - 1534.
- Pierson E E, Clark R B. 1984. Ferrous iron determination in plant tissue. *Journal of Plant Nutrition*, 7 (1 - 5): 107 - 116.
- Psarras G, Merwin I A, Lakso A N, Ray J A. 2000. Root growth phenology, root longevity, and rhizosphere respiration of field grown 'Mutsu' apple trees on 'Malling 9' rootstock. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 125 (5): 596 - 602.
- Qu Ze-zhou, Han Qi-qian. 1983. Studies on the relationship between root and top growth of apple. *Acta Horticulturae Sinica*, 10 (1): 25 - 33. (in Chinese)
- 曲泽洲, 韩其谦. 1983. 苹果根系生长与地上部生长的相互关系. *园艺学报*, 10 (1): 25 - 33.
- Takkar P N, Kaur N P. 1984. HCl method for Fe^{2+} estimation to resolve iron chlorosis in plants. *Journal of Plant Nutrition*, 7 (1 - 5): 81 - 90.
- Thoiron S, Pascal N, Briat J F. 1997. Impact of iron deficiency and iron re-supply during the early stages of vegetative development in maize (*Zea mays* L.). *Plant, Cell & Environment*, 20 (8): 1051 - 1060.
- Wu T, Zhang H T, Wang Y, Jia W S, Xu X F, Zhang X Z, Han Z H. 2012. Induction of root Fe(III) reductase activity and proton extrusion by iron deficiency is mediated by auxin-based systemic signalling in *Malus xiaojinensis*. *Journal of Experimental Botany*, 63 (2): 859 - 870.
- Yu C J, Wang Y, Zhang X Z, Hong Z H. 2014. A preliminary study on physiological and molecular effects of iron deficiency in Fuji/Chistock 1. *Journal of Plant Nutrition*, 37 (13): 2170 - 2178.
- Zha Q, Wang Y, Zhang X Z, Han Z H. 2014. Both immanently high active iron contents and increased root ferrous uptake in response to low iron stress contribute to the iron deficiency tolerance in *Malus xiaojinensis*. *Plant Science*, 214: 47 - 56.
- Zhang Fu-suo, Liu Shu-juan, Mao Da-ru. 1996. Genotype differences in Fe accumulation and mobilization in root apoplast of Fe-deficient apple seedling. *Acta Phytobiologica Sinica*, 22 (4): 357 - 362. (in Chinese)
- 张福锁, 刘书娟, 毛达如. 1996. 小金海棠和山定子幼苗根自由空间铁积累和活化量. *植物生理学报*, 22 (4): 357 - 362.
- Zhou Hou-ji, Tong Yue-ao. 1987. Advances in the research of iron chlorosis of apple plants. I. The influence of ecological factors on the severity of chlorosis. *Scientia Agricultura Sinica*, 20 (3): 23 - 27. (in Chinese)
- 周厚基, 仝月澳. 1987. 苹果树缺铁失绿研究的进展. I. 生态因子对缺铁失绿的影响. *中国农业科学*, 20 (3): 23 - 27.

消息

《园艺学报》英文版 《Horticultural Plant Journal》获准创刊

2014年11月《园艺学报》英文版《Horticultural Plant Journal》获国家新闻出版广电总局批准创刊(新广出审[2014]1447号),国内统一连续出版物CN号为CN10-1305/S,ISSN号为2095-9885,双月刊,大16开,国内外公开发行。《Horticultural Plant Journal》由中国科协主管,中国园艺学会、中国农业科学院蔬菜花卉研究所和中国农业科学技术出版社共同主办。办刊宗旨为报道国内外园艺科学领域重要研究成果和科研进展,反映学科研究水平和发展动向,以“科学性、创新性、对生产和科研发展有参考启迪作用”为标准,突出学报特色,服务学术交流,为促进学科发展作贡献。

近年来,中国园艺科学研究取得了世人瞩目的重大进展,《园艺学报》刊登了许多具有国际影响力的优秀学术论文,2014年9月中国科学技术信息研究所公布的“中国科技核心期刊综合排名”,《园艺学报》在全国1989种核心期刊中居第14位,并蝉联“中国精品科技期刊”和“百种中国杰出学术期刊”称号。《园艺学报》英文版的创办为广大科研人员提供了更好的国际学术交流平台,将进一步向世界展示中国园艺科学研究成果和产业发展水平,扩大国际影响力,同时也将吸引国际优秀稿源,促进国际学术交流。