

# 果树“铁素黄化悖论”现象探讨

刘泽军, 赵越, 殷文娟, 何天明

(新疆农业大学 林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:**“铁素黄化悖论”现象会对果树缺铁叶片诊断造成困扰。该文在介绍“铁素黄化悖论”现象定义的基础上,综述了“铁素黄化悖论”现象的研究进展;阐述了果树缺铁失绿症致病机理假说、不同生长条件、不同测定指标、铁的不同测定方法及形态与“铁素黄化悖论”的关系;同时还分析了“铁素黄化悖论”现象存在的问题,并对今后的研究方向进行了展望。

**关键词:**“铁素黄化悖论”;果树;探讨

**中图分类号:**S 436.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)18-0174-05

多年来,各国学者通过分析果树叶片内各种营养元素的含量和研究它们之间的比例来指导施肥、灌水和其它管理技术措施,取得了明显效果,使单位面积产量和果实品质大幅度提高。近年来,国内许多科研单位对于应用叶分析进行果树营养诊断给予了较多的关注。从发展趋势看,通过叶分析指导果园合理施肥,将成为我国果园科学管理的一项基本技术,也是果树矿质营养研究的一种基本手段<sup>[1]</sup>。

果树缺铁失绿症是因树体内缺乏铁素营养或铁素与其它营养元素之间比例失调所引起的一种生理病害<sup>[2]</sup>。以叶片营养分析来诊断矫治果树的缺铁失绿症(黄化病)理论上是可行的。然而在生产上对叶片进行缺铁诊断时,却常常会遇到黄叶中单位干物质全铁含量很高,有时甚至高于正常绿叶中全铁含量,从而导致叶中铁浓度和叶绿素含量相关性极低的现象。后来, Morales等<sup>[3]</sup>和 Römhild<sup>[4]</sup>对此现象作了正式定义,称之为“*Iron Chlorosis Paradox*(铁素黄化悖论)”。该文综述了目前国内外有关“铁素黄化悖论”的研究现状及进展,以为为相关研究提供参考。

## 1 国内外关于“铁素黄化悖论”现象的相关报道

对于果树缺铁的分析,以前大都是测定果树叶片中干物质全铁的含量,而这种分析所带来的问题在于人为

可控条件下(包括盆栽试验和水培试验)失绿叶片全铁含量与田间失绿叶片全铁含量有较大差异<sup>[5-6]</sup>。在人为可控条件下而出现的果树缺铁失绿植株叶片全铁含量(无论是以干物质计还是以叶面积为基数计)都低于正常植株叶片,并且铁含量与叶绿素含量呈良好的线性相关关系<sup>[7-8]</sup>。而在田间发生的缺铁失绿植株叶片全铁含量相对可控条件下的却比较高,与叶片叶绿素含量也无较好的相关性。虽然对果树缺铁黄化现象发现时间较早<sup>[9]</sup>,但从发现“铁素黄化悖论”现象到集中研究是从20世纪70年代末期到21世纪初期,特别对在石灰性土壤中易于发生缺铁失绿的葡萄、梨和桃等树种研究较多。表1是国内外关于此现象的一些研究报道。

表1 “铁素黄化悖论”现象在国内外的相关报道

Table 1 Reports of ‘Iron chlorosis paradox’ all in fruit trees over the world

序号 NO.	作者 Authors	时间 Time	发生植株 Plant species	报道文献 Reference
1	Kovanci et al.	1978	柑橘 Citrus	[10]
2	Scholl	1979	葡萄 Grapevine	[11]
3	Mengel and Malissiovas	1981	葡萄 Grapevine	[12]
4	Booss et al.	1982	葡萄 Grapevine	[13]
5	Hamze and Nimah	1982	柑橘 Citrus	[14]
6	Mengel and N. Malissiovas	1982	葡萄 Grapevine	[15]
7	Mengela et al.	1984	葡萄 Grapevine	[16]
8	Häussling et al.	1985	葡萄 Grapevine	[17]
9	Abadia et al.	1985	桃 Peach	[18]
10	Abadia et al.	1989	梨 Pear	[19]
11	Schmidt	1995	葡萄 Grapevine	[20]
12	Köseoglu	1995	桃 Peach	[21]
13	黎秀丽	2010	梨 Pear	[22]
14	El-Jendoubi et al.	2012	梨,桃 Pear, Peach	[23]

## 2 “铁素黄化悖论”现象成因分析

### 2.1 果树缺铁失绿症致病机理假说与“铁素黄化悖论”的关系

果树“铁素黄化悖论”的成因与果树缺铁黄化致病

**第一作者简介:**刘泽军(1986-),男,硕士研究生,研究方向为果树栽培与生理。E-mail:smcz456@163.com.

**责任作者:**何天明(1970-),男,博士,副教授,现主要从事果树栽培技术等研究工作。E-mail:hetianming@eyou.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31160382);国家林业公益性行业科研专项资助项目(201004085);新疆维吾尔自治区果树学重点学科资助项目(201007)。

**收稿日期:**2013-06-24

机理密切相关,对于果树缺铁黄化的机理,目前学术界有 2 种假说。第 1 种假说认为引起果树缺铁黄化的原因是石灰性土壤的微环境阻碍了植株对铁的吸收和转运,包括  $\text{HCO}_3^-$ 、pH、土壤透气状况、有机质状况、生物因子、磷、钾、铜、锰、锌、镁等矿质金属离子等(图 1A)<sup>[24-28]</sup>。第 2 种假说认为是  $\text{HCO}_3^-$  的远距离效应引起叶片质外体碱质化(质外体 pH 升高),转运来的  $\text{Fe}^{3+}$  易为  $\text{OH}^-$  或  $\text{PO}_4^{3-}$  捕获而沉淀,导致铁失活而沿着叶脉分布(图 1B)<sup>[29-30]</sup>。Köseoglu<sup>[31]</sup> 对正常绿叶、中度黄化、严重黄化的叶片进行干物质全铁和 2 mol/L 盐酸浸提铁测定时,发现严重黄化叶片的全铁含量高于中度黄化和正常叶片的,而盐酸浸提的铁含量是依次降低的,这是第 2 种假说的背景之一。另一个强有力的证据就是通过放射性<sup>55</sup>Fe 标记的铁溶液与  $\text{HCO}_3^-$  混合注入葡萄的叶柄处,经分析发现黄化叶片中的铁确实是沿着叶脉分布的<sup>[32]</sup>。

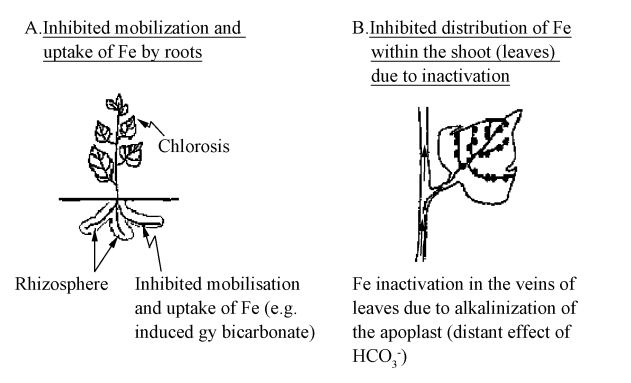


图 1 导致果树缺铁黄化的 2 种假说  
Fig. 1 Two different working hypothesis for the possible cause of Fe deficiency chlorosis<sup>[33]</sup>

2.2 不同生长条件对“铁素黄化悖论”现象发生的影响

由表 2 可知,“铁素黄化悖论”现象与叶生长过程中所处的严重的抑制条件有密切关系。除都处在石灰性土壤环境之外,土壤高水分含量、低温以及土壤中  $\text{CO}_2$  浓度的提升等都可能都会导致“铁素黄化悖论”现象的发生。值得注意的是,仅有一例可控盆栽试验葡萄叶片发生了“铁素黄化悖论”现象,其余的皆是在大田条件下发生的,Bavaresco 等<sup>[33]</sup> 在对田间葡萄叶片的鲜基铁含量和叶绿素含量进行观察测定时,发现二者呈高度线性相关,而在盆栽试验中二者并无明显相关性。说明“铁素黄化悖论”现象发生条件的复杂性。

Mengel 等<sup>[12]</sup> 认为石灰性土壤中有高浓度的  $\text{HCO}_3^-$ ,而  $\text{HCO}_3^-$  主要通过以下几方面影响铁の利用:一是高浓度  $\text{HCO}_3^-$  降低了铁的吸收,使叶片中活性铁的含量降低;二是高浓度的  $\text{HCO}_3^-$  影响了铁和其它矿质元素的运输,抑制细胞色素氧化酶的活性;三是高浓度  $\text{HCO}_3^-$  使植物组织碱质化,pH 值升高,引起植物体内铁的固定,使铁从质外体向幼嫩组织的运输受阻,从而降低植物体内铁的有效性。关于高浓度  $\text{HCO}_3^-$  引起石灰性土壤上植物缺铁的机理目前尚不清楚,其机制可能有以下几个方面:一是高浓度  $\text{HCO}_3^-$  增加了  $\text{Ca}^{2+}$  的溶解性,使土壤中的 Ca-P 溶解,导致土壤溶液中磷的浓度提高,植物吸收的磷明显增加,这可能是植物缺铁黄化的主要原因之一<sup>[34]</sup>;二是  $\text{HCO}_3^-$  导致根际  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{K}^+$  浓度降低,叶片中磷的浓度上升,铁浓度下降<sup>[35]</sup>;三是  $\text{HCO}_3^-$  降低了铁的吸收和转移速率<sup>[36]</sup>。在石灰性土壤含水量过高的情况下,土壤水分处于饱和状态,土壤中积累的  $\text{CO}_2$  与  $\text{CaCO}_3$  反应生成重碳酸盐  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,重碳酸盐能阻碍铁在植物体内的运转也是造成植物缺铁失绿的原因之一<sup>[37]</sup>。

表 2 “铁素黄化悖论”现象与生长条件之间的关系

试验 Experiments	发生植株 Plant species	作者 Authors	生长条件 Growth conditions	报道文献 Reference
盆栽试验(石灰性土壤) Pot experiments(calcareous soil)	葡萄 Grapevine	Mengel and Malissiovas	严重的生长抑制 Severe growth inhibition	[12]
	葡萄 Grapevine	Scholl	严重的生长抑制 Severe growth inhibition	[11]
大田实验 (石灰性土壤) Field experiments (calcareous soil)	葡萄 Grapevine	Booss et al.	生长抑制 Growth inhibition	[13]
	葡萄 Grapevine	Häussling et al.	生长抑制 Growth inhibition	[17]
	葡萄 Grapevine	Schmidt	生长抑制 Growth inhibition	[20]
	桃 Peach	Köseoglu	生长抑制 Growth inhibition( $\text{HCO}_3^-$ )	[21]

朱和明<sup>[37]</sup>认为高浓度  $\text{CO}_2$ 、乙烯、低氧环境、低温这些土壤因素的 1 个或者多个逆境因素会导致根的生长受到严重抑制,在根内外通过减少生成和转移细胞激肽类物质而使叶片生长受阻。另外,因为灌溉水的减少或者别的土壤因素而导致的树体部分干旱胁迫,使木质部和叶片质外体 pH 以及脱落酸的浓度升高,从而抑制叶片的生长<sup>[38]</sup>。这可能是抑制在半干旱气候的石灰性土壤中果树叶片扩大生长的另外一个重要因素,也是“铁素黄化悖论”现象发生的一个先决条件(图 2)。

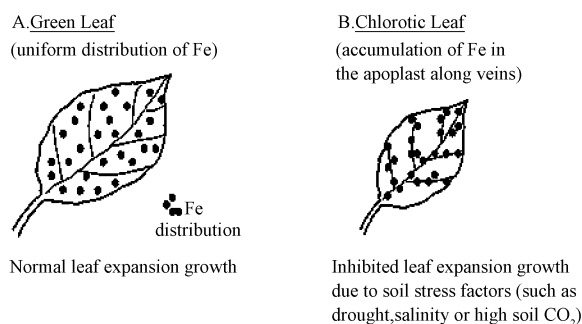


图 2 土壤胁迫因素(干旱、盐或者土壤中的高  $\text{CO}_2$  浓度)提高了木质部和叶片质外体液的 pH 而导致葡萄黄化叶片中原先聚集的铁沿叶脉分布<sup>[33]</sup>

Fig. 2 Preferential accumulation of Fe along leaf veins of chlorotic grapevines as a possible consequence of a pH increase in xylem and a leaf apoplastic fluid induced by different stress factors such as drought, salinity or high soil  $\text{CO}_2$ <sup>[33]</sup>

### 2.3 不同测定指标与“铁素黄化悖论”现象的关系

Morales 等<sup>[3]</sup>在研究果树“铁素黄化悖论”现象时,分别调查了桃树和梨树正常叶片和黄化叶片的叶绿素含量( $\text{nmol}/\text{cm}^2$ ),叶片厚(mm),单个叶片干基重(g),单个叶片鲜基重(g),叶面积( $\text{cm}^2$ ),比叶重( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ),干基中的铁含量( $\mu\text{g}/\text{g DW}$ ),单位面积铁含量( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ),单位体积铁含量( $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ),单个叶片铁含量( $\mu\text{g}$ )。研究发现,单个叶片铁含量最能代表缺铁失绿引起的叶片铁含量的变化,与叶绿素含量呈高度线性相关,单位面积铁含量和单位体积铁含量也能很好的代表这种变化。但是以干基中的铁含量来表示黄化叶片和正常叶片的铁浓度时,差异却并不显著,与叶绿素含量也无明显相关性。黄化叶片和正常叶片的厚度没有明显变化。桃树叶片的比叶重因缺铁黄化下降了 10%,梨树叶片因缺铁黄化比叶重下降了 35%<sup>[3]</sup>。“铁素黄化悖论”现象正是由于对叶片干基中全铁的测定才发现的<sup>[4]</sup>。虽然黄化叶片中铁在质外体中出现了沉淀或失活,这部分铁留在质外体内而不能被叶肉细胞所利用,但是用单位面积或单位体积或者单个叶片为基数来表征全铁含量仍然很贴切<sup>[9,22]</sup>。

如图 3 所示,随着黄化程度的加深,叶片吸收的铁

(单个叶片铁含量)逐渐减少,中度黄化叶片比正常叶片减少了约 21%~29%,严重黄化叶片比中度黄化叶片下降了约 50%,比正常叶片下降了约 61%~64%。而用叶片干基为基数来表示铁含量时,就发现虽然中度黄化叶片低于正常叶片,但严重黄化叶片却高于或等于正常叶片,这正是“铁素黄化悖论”现象的原因所在<sup>[4]</sup>。

### 2.4 铁的不同测定方法及形态对“铁素黄化悖论”现象的影响

董慕新<sup>[39]</sup>研究果树叶片中不同形态铁含量与失绿黄化病的关系认为叶片的全铁含量有时不能完全反映植物铁营养状况。在绿叶中全量铁和 HCl 提取铁的比率保持着一定的稳定平衡,失绿黄叶由于活性铁减少而使比率增大,从而使植株中铁营养代谢失调,全量铁/酸提取铁比率能较好的反映植株铁营养状况。对于全铁含量的测定方法,有  $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$  消煮提取并结合原子吸收分光光度法<sup>[22]</sup>,干灰化法<sup>[40]</sup>,硫氰化物法和邻二氮杂菲法<sup>[41]</sup>。对于有效铁的测定方法,尚存在争议。有研究表明,根据络合剂对  $\text{Fe(II)}$  的络合能力高于对  $\text{Fe(III)}$  的络合能力这一机理提取的有效铁,有可能一半是全铁<sup>[42]</sup>。Oserkowsky<sup>[43]</sup>和 Jacobson<sup>[44]</sup>在研究缺铁失绿梨叶片和正常梨叶片中铁与叶绿素之间的关系时,曾用

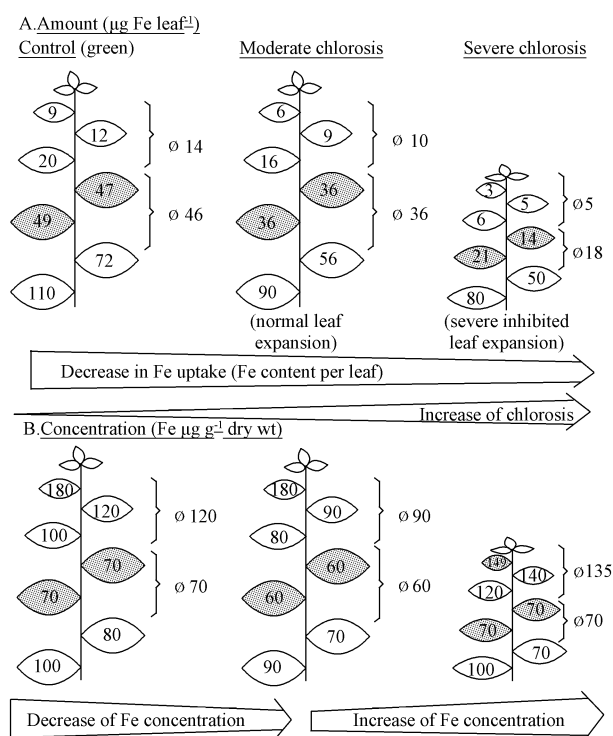


图 3 不同黄化分级的葡萄单个叶片铁含量和叶片干基铁浓度与叶片扩大生长的关系<sup>[33]</sup>

Fig. 3 Amount ( $\mu\text{g} \cdot \text{leaf}^{-1}$ ) and concentration ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  DW) of Fe in grapevine leaves with different rating of chlorosis in relation with leaf expansion growth<sup>[33]</sup>

1 mol/L 盐酸浸提的叶片铁,称之为“酸溶性铁”。以这种酸溶性铁与叶绿素所做的回归直线在 X 轴(表示酸溶性铁含量)有 10 mol/L 以上的截距,则称这部分铁为“酸溶性非活性铁”。以酸溶性总铁减去酸溶性非活性铁即得酸溶性活性铁<sup>[44-45]</sup>。黄宏文<sup>[2]</sup>通过试验比较优化了盐酸浸提铁的方法,并认为以 0.1 mol/L 盐酸浸提的叶片活性铁能准确反映出果树叶片的铁素状况与田间果树缺铁失绿的关系。

### 3 “铁素黄化悖论”现象研究中存在的问题及展望

对于假设因为是叶片中 pH 值高而使铁失活引起的悖论现象,Römhelt<sup>[4]</sup>的试验证明,不同黄化程度叶片木质部的 pH 基本相同。对于假设由于黄叶生长受抑制,绿叶中的铁被稀释降低而引起的悖论现象,通过以单位叶面积中铁的含量为基础进行比较可以用来消除这种矛盾<sup>[46-47]</sup>。所以“铁素黄化悖论”现象产生的原因与果树黄化病致病机理一样还需要进一步的探究。到现在为止,对于是否是土壤因素(包括高浓度 CO<sub>2</sub>、乙烯、低氧环境、低温等)阻碍叶片扩大生长作为“黄化悖论”的前提条件仍然不是很清楚。虽然公认“活性铁”可以表征叶片中铁的真实含量,但关于叶片“活性”铁的测定方法的探讨结果仍不理想,最主要的原因是对活性铁的状态及存在位置缺乏了解<sup>[47]</sup>。

无论是以什么为底数来表征叶片中的铁,黄化叶片中存在铁含量还是比较高的,这就为矫正果树缺铁黄化提供了物质基础。通过研究黄化叶片中铁库的存在位置及让这些固定失活的铁重新恢复活性,从而使叶片复绿,恢复其原有的生理功能是解决“铁素黄化悖论”现象的关键所在。

#### 参考文献

- [1] 李港丽,苏润宇,沈隽,等.建立果树标准叶样的研究[J].园艺学报,1985,12(4):217-222.
- [2] 黄宏文.果树缺铁失绿症的叶片诊断研究[J].中国果树,1986(1):5-8.
- [3] Morales F,Grasa R,Abadía A,et al. Iron chlorosis paradox in fruit trees[J]. J Plant Nutr,1998,21:815-825.
- [4] Römhelt V. The chlorosis paradox; Fe inactivation as a secondary event in leaves of grapevine[J]. J Plant Nutr,2000,23:1629-1643.
- [5] Abadía J. Leaf responses to Fe deficiency; A review[J]. J Plant Nutr,1992(15):1699-1731.
- [6] Terry N,Abadía J. Function of iron in chloroplasts[J]. J Plant Nutr,1986(9):609-646.
- [7] Terry N. Limiting factors in photosynthesis. Use of iron stress to control photochemical capacity in vivo[J]. Plant Physiol,1980,65:114-120.
- [8] Terry N,Low G. Leaf chlorophyll content and its relation to the intracellular localization of iron[J]. J Plant Nutr,1982(5):301-310.
- [9] 何念祖译.植物的铁营养[J].土壤学进展,1980,14(1):19-21.
- [10] Kovanci I,Hakerlerer H,Höfner W. Ursachen der chlorosen an mandarin (Citrus reticulata, Blanco) der ägäischen region[J]. Plant Soil,1978,50:193-205.
- [11] Scholl W. Über die Chlorose der Weinrebe; Erfahrungen und neuere Erkenntnisse[J]. Weinberg und Keller,1979,26:289-306.
- [12] Mengel K,Malissiovas N. Bicarbonate as a factor inducing iron chlorosis in grapevine (*Vitis vinifera*) [J]. Vitis,1981,20:235-243.
- [13] Booss A,Kolesch H,Höfner W. Reasons for chlorosis of vine (*Vitis vinifera* L.) under field conditions[J]. Z Pflanzenernähr Bodenk,1982,145:246-260.
- [14] Hamze M,Nimah M. Iron content during lime-induced chlorosis with two citrus rootstocks[J]. J Plant Nutr,1982(5):797-804.
- [15] Mengel K,Malissiovas N. Light dependent proton excretion by roots of entire vine plants (*Vitis vinifera* L.) [J]. Z Pflanzenernähr Bodenk,1982,145:261-267.
- [16] Mengel K,Bübl W,Scheren H W. Iron distribution in vine leaves with HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-induced chlorosis[J]. J Plant Nutr,1984(7):715-724.
- [17] Häussling M,Römhelt V,Marschner H. Relationship between chlorosis,iron and leaf growth in grapevines growing at different locations[J]. Vitis,1985,24:158-168.
- [18] Abadía J,Nishio J N,Monge E,et al. Mineral composition of peach tree leaves affected by iron chlorosis[J]. J Plant Nutr,1985(8):697-708.
- [19] Abadía A,Sanz M,J de las Rivas,et al. Photosynthetic pigments and mineral composition of iron deficient pear leaves[J]. J Plant Nutr,1989(12):827-838.
- [20] Schmidt S. Mögliche Zusammenhänge zwischen Bodenfaktoren und Chlorosegrad und Eisengehalt von Blättern bei Reben im Gebiet des Côtes du Rhône (Suze - La - Rousse, Frankreich) [D]. Stuttgart: University Hohenheim,1996.
- [21] Köseoglu A T. Investigation of relationships between iron status of peach leaves and soil properties[J]. J Plant Nutr,1995,18:1845-1859.
- [22] 黎秀丽. 库尔勒香梨缺铁失绿症的因子分析及其叶片诊断[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2010.
- [23] El-Jendoubi H,Igartua E,Abadía J,et al. Prognosis of iron chlorosis in pear (*Pyrus communis* L.) and peach (*Prunus persica* L. Batsch) trees using bud,flower and leaf mineral concentrations[J]. Plant Soil,2012,354:121-139.
- [24] 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.
- [25] Venkatraju K,Marschner H. Inhibition of iron-stress reactions in sunflower by bicarbonate[J]. Z Pflanzenernähr. Bodenk,1981,144:339-355.
- [26] Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants[M]. 2nd Ed. London:Academic Press Inc,1995.
- [27] Römhelt V. Effect of bicarbonate and low soil temperature on uptake and translocation of iron and on the incidence of chlorosis[M]. Bodenbewirtschaftung, Bodenfruchtbarkeit, Bodenschutz, Kongreband, Darmstadt, VDLUFA,Germany,1985:211-217.
- [28] 韩振海,沈隽.果树的缺铁失绿症一文献述评[J].园艺学报,1991,18(4):323-328.
- [29] Mengel K. Iron availability in plant tissues-iron chlorosis on calcareous soils[J]. Plant and Soil,1994,165:275-283.
- [30] Bergmann W. Nutritional Disorder of Plants-Development Visual and Analytical Diagnosis[M]. Gustav Fischer Verlag,Jena,1992.
- [31] Köseoglu A T. Investigation of relationships between iron status of peach leaves and soil properties[J]. J Plant Nutr,1995,18:1845-1859.
- [32] Mengel K and Bübl W. Distribution of iron in vine leaves with HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> induced chlorosis[J]. Z Pflanzenernähr,Bodenk,1983,146:560-571.
- [33] Bavaresco L,Giachino E,Colla R. Iron chlorosis paradox in grapevine



- [J]. J Plant Nutr, 1999, 22(10): 1589-1597.
- [34] Wallace A, Colla borators. Effect of NaCl and NaHCO<sub>3</sub> on mineral composition of two varieties of soybeans grown in soils. In regulation of the micronutrient status of plant by chelating agents and other factors[M]. Awal-lace eds, Los Angeles, CA, 1971: 30-33.
- [35] Wallace A. Effect of sodium bicarbonate and sodium sulfate superimposed upon regular nutrient solution on the mineral composition of bush bean plants. In Regulation of the micronutrient status of plants by chelating Agents and other Factors[M]. Wallace A eds, Los Angeles, CA, 1971: 68.
- [36] Mengel K, Breininger M T, Bubl W. Bicarbonate, the most important factor inducing iron chlorosis in vine grapes on calcareous soil[J]. Plant Physiol, 1984, 81: 333-344.
- [37] 朱和明. 果树缺铁失绿症的发生和防治[J]. 新疆农垦科技, 1993(4): 25-26.
- [38] Davies W J, Wilkinson S, Thompson D S. Using the plant's stress signalling system to increase water use efficiency in irrigation[M]//Haifa: Technion-Israel Institute of Technology, Battle of Haifa, Mount Carmel, Bah World Centre, History of Harifa, Harifa, 1999: 251-265.
- [39] 董慕新. 果树叶片中不同形态铁含量与失绿黄化病关系研究[J]. 果树科学, 1987, 4(4): 15-20.
- [40] 吕世华. 石灰性紫色土桃树花黄病的诊断[J]. 土壤通报, 1988, 19(2): 72-77.
- [41] 华东师范大学生物系植物生理教研组. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1986: 45-47.
- [42] Laulhere J P, Lambert J, Berducou J. Les ferritines du sorgho, caractérisation et modalités d'échange du fer[J]. C R Acad Sci Paris, 1972, 275(6): 759-762.
- [43] Oserkowsky J. Quantitative relation between chlorophyll and iron in green and chlorotic pear leaves[J]. Plant Physiology, 1933, 8(3): 449-468.
- [44] Jacobson L. Iron in the leaves and chloroplasts of some plants in relation to their chlorophyll content[J]. Plant Physiology, 1945, 20(2): 233-245.
- [45] Nikolic M, Römheld V and Neumann G. Does the leaf apoplast modulate the occurrence of iron deficiency chlorosis in *Vicia faba* L. ? [C]//In Ecology and Physiology. Cultural Practices; Proceedings of 2nd Balkan Symposium on Field Crops. Novi Sad Yugoslavia; Institute of Field and Vegetable Crops, 1998: 35-38.
- [46] 姚晓芹, 马文奇, 刘东臣, 等. 果树缺铁性黄化植株诊断方法的研究进展[J]. 北方果树, 2005(1): 1-3.
- [47] 武建林, 李有文, 李立平, 等. 植物黄化与氮磷钾营养的关系[J]. 西北农业学报, 2004, 13(1): 104-108.

## Discussion of 'Iron Chlorosis Paradox' in Fruit Trees

LIU Ze-jun, ZHAO Yue, YIN Wen-juan, HE Tian-ming

(College of Forest and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052)

**Abstract:** 'Iron chlorosis paradox' may trouble the diagnosis of Fe deficiency in fruit tree leaves. On the basis of the concept of 'iron chlorosis paradox', the research progress of 'iron chlorosis paradox' was reviewed. The relationship between 'iron chlorosis paradox' and pathogenesis hypothesis of Fe deficiency chlorosis disease, different growth conditions, different measurement indicators, different measurement methods of Fe and morphology was described. Furthermore, the existed problems of this phenomenon were analyzed. The direction to further study was proposed.

**Key words:** iron chlorosis paradox; fruit trees; discussion

中文核心期刊 黑龙江省优秀期刊 中国北方优秀期刊 全国优秀农业期刊

## 《北方园艺》征订启事

《北方园艺》是由黑龙江省农科院主管,黑龙江省园艺学会和黑龙江省农科院主办的以科学研究和技术普及相结合的园艺类综合性中文核心期刊。国内外公开发行人。刊号:ISSN 1001-0009, CN 23-1247/S;半月刊,每月15日、30日出版,大16开本,200页内文。每册定价7.0元,国内邮发代号:14-150,国外邮发代号:BM 5011。

本刊现辟有试验研究、研究简报、设施园艺、栽培技术(菜园、果园)、园林花卉、生物技术、植物保护、贮藏保鲜加工、食用菌、中草药、土壤与肥料、新品种选育、产业论坛、专题综述、经验交流、农业经纬等栏目。适合大专院校师生、科研单位技术人员、农技推广人员、园艺作物种植者、农产品经销商等人员参阅。有需要者可从邮局订阅或直接汇款至编辑部订阅。

地址:哈尔滨市南岗区学府路368号《北方园艺》编辑部

电话:0451-86674276 邮编:150086 E-mail:bfyybjb@163.com

投稿网址:bfyy.haasep.cn