

大棚油桃缺铁黄化的诊断与矫治

任玉芳, 蒋 乐, 翟丙年

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 **【目的】**明确陕西杨凌大棚油桃出现黄化现象的原因,通过对喷施铁制剂矫正效果的比较,筛选出理想的铁制剂用于果树缺铁黄化病防治。**【方法】**以陕西杨凌穆家寨发生黄化的大棚油桃为研究对象,采用土壤诊断和叶片诊断等方法确定黄化病的原因,并以清水为对照喷施不同铁制剂(FeSO_4 、EDTA-Fe、柠檬酸-Fe、腐殖酸-Fe和复合氨基酸-Fe)进行矫治,检测其对油桃叶片叶绿素和有效铁含量及光合作用指标的影响。**【结果】**油桃黄化的原因是缺铁;不同的铁制剂对油桃黄化的矫治效果有差异,其中以 EDTA-Fe、柠檬酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 的处理效果最好,显著提高了油桃叶片的叶绿素和有效铁含量,提高了油桃的净光合速率、单叶水分利用效率和 RuBP 羧化酶效率。**【结论】**柠檬酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 是矫治油桃缺铁黄化经济的铁制剂。

【关键词】 大棚油桃;黄化;诊断与矫治;铁制剂

【中图分类号】 S662.1

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)06-0099-06

Diagnosis and remedy of the nectarine chlorosis in greenhouse

REN Yu-fang, JIANG Le, ZHAI Bing-nian

(College of Recourses and Environment Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The study was to find the reasons for the greenhouse nectarine chlorosis in Yangling and select better iron preparations for remedying it. **【Method】** Soil and plant diagnosis and spraying diagnosis were used in the greenhouse nectarine in Yangling Shaanxi. The remedy effects of different iron preparations were compared by determining the content of Chlorophyll and available iron and photosynthetic rate of nectarine leaves. **【Result】** The results showed that iron deficiency was the reason for the greenhouse nectarine chlorosis in Yangling. The effects of the different iron preparations were significantly different. The EDTA-Fe, citrate-Fe and the compound amino acid-Fe treatment were much better than others. These iron preparations significantly increased the net photosynthetic rate, leaf water use efficiency and RuBP carboxylase efficiency of the nectarine leaves. **【Conclusion】** The citrate-Fe and the compound amino acid-Fe are good iron preparations for correcting nectarine chlorosis.

Key words: greenhouse nectarine; chlorosis; diagnosis and correction; iron preparation

铁是植物生长发育所必需的微量元素之一,是叶绿素合成的必需元素^[1]。缺铁使植物叶片失绿,影响植物的光合、呼吸及代谢作用^[2],严重缺铁可导致果树死亡^[3],给果农造成巨大的经济损失。在我国西北石灰性土壤地区,果树缺铁黄化一直是困扰果品生产的一大问题^[4]。因此,如何更好地诊断、矫

正果树的缺铁黄化,已经引起相关人员的普遍关注^[5],但目前此方面的研究,多集中在露地栽培条件下果树的缺铁黄化^[6],而对设施栽培条件下这一问题的深入研究还鲜见报道。目前,设施果树栽培在许多地方已经迅速发展,而且规模不断扩大,解决设施栽培条件下的果树缺铁黄化问题,对于促进该产

* [收稿日期] 2008-10-06

[基金项目] 西北农林科技大学青年学术骨干支持计划项目(01140305);西北农林科技大学专项(08080251)。

[作者简介] 任玉芳(1983—),女,河南宝丰人,在读硕士,主要从事植物营养与调控研究。

[通信作者] 翟丙年(1967—),男,陕西宝鸡人,教授,博士,硕士生导师,主要从事植物营养与调控研究。

业的健康、快速发展,具有十分重要的意义。

果树缺铁的诊断方法可分为外观诊断、根外追肥诊断和化学诊断,其中化学诊断又包括土壤诊断、叶片诊断和花器官诊断^[7]。研究人员对果树缺铁的矫正也进行了较多的研究,主要的矫正方法包括喷施铁制剂、树干注射和根际施肥,而矫正所用的铁制剂主要有硫酸亚铁和络合铁^[8]。硫酸亚铁由于容易发生氧化,所以矫正效果不太理想;络合铁虽然效果优于硫酸亚铁,却因为价格昂贵不利于在生产中推广普及。因此,寻找效果显著且经济实用的铁制剂,已成为矫正果树缺铁黄化的关键问题。

本试验以陕西杨凌穆家寨发生缺铁黄化(通过土壤诊断和化学诊断等方法明确了油桃黄化的原因)的大棚油桃为研究对象,同时使用不同的铁制剂进行叶面喷施矫治,比较不同铁制剂对油桃黄化的矫正效果,以期筛选出较为理想的铁制剂,为大棚油桃乃至所有设施栽培果树的缺铁黄化矫治提供有效的方法和途径。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试油桃品种为 99-1,树龄 4 年,栽培密度 7 496 株/hm²。

供试土壤的基本化学性质为:全氮 1.13 g/kg,碱解氮 95.38 mg/kg,全磷 1.37 g/kg,速效磷 14.29 mg/kg,全钾 15.57 g/kg,速效钾 293.74 mg/kg,水溶性钙 4.02 cmol/kg,水溶性镁 2.13 cmol/kg,有效铁 9.51 mg/kg,pH 7.77。

供试铁制剂有 FeSO₄、EDTA-Fe、柠檬酸-Fe、腐殖酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 5 种。配制 5 种铁制剂各 7.5 L,其 FeSO₄ 含量均为 1 000 mg/kg,并用氨水调节 pH 值为 4~5。络合铁中 FeSO₄ 与络合剂的物质的量比为 0.6:1^[9]。

1.2 试验方法

试验于 2007 年 8 月下旬至 2008 年 6 月上旬进行,在每 1 行或 2 行选取 2 棵黄化程度一致的油桃树作为 1 个小区,挂牌标记。试验共设 6 个处理,分别为:对照(清水)、FeSO₄、EDTA-Fe、柠檬酸-Fe、腐殖酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 处理,铁制剂施用方法均为叶面喷施。各处理随机排列,重复 3 次。铁制剂喷施时间为 03-10(展叶期)第 1 次喷施(T1),03-23(幼果期)第 2 次喷施(T2),04-07(果实膨大期)进行第 3 次喷施(T3)。

1.3 样品采集及处理

1.3.1 土壤样品 以根为圆心,在半径 1 m 的圆周上选取 4 个样点,采集 0~40 cm 的耕层土壤,同一重复不同油桃树的土样混合为一个土样,最终得到黄化树混合土样 3 个,并在对应重复里同时采集正常油桃树的土样作对照。土样混合均匀后以四分法取样,风干,磨碎,过塑料网筛后保存于封口袋中备用。用于测定分析基本理化性质的土样,在全园以“S”形多点采集,四分法混合取样。

1.3.2 植物样品 在每次喷施处理 7~10 d 后,采集树冠外围新生枝条中部完全展开的无病虫害叶片,每棵树取 30~40 片。将叶片清洗干净后,取出一部分用于叶绿素含量的测定,其余部分在 105 ℃ 下杀青 30 min,80 ℃ 下烘干,用玻璃研钵磨碎过孔径为 1 mm 的塑料网筛备用。

1.4 测定项目及方法

土壤和桃树叶片样品中的氮、磷、钾、钙、镁、有效铁和有效锌的测定,均采用文献^[10]的方法。

叶片叶绿素含量采用分光光度计比色法^[11]测定。

用 1 mol/L 盐酸浸提叶片干样^[10],测定叶片有效铁的含量。

第 3 次喷施铁制剂后 15 d 左右,选择晴天,于上午 09:00~10:00 采用 Li-6400 便携式光合仪测定叶片的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度等光合作用指标,计算单叶水分利用效率和 RuBP 羧化酶效率:

$$\text{单叶水分利用效率} = \text{净光合速率} / \text{蒸腾速率};$$

$$\text{RuBP 羧化酶效率} = \text{净光合速率} / \text{胞间二氧化碳浓度}。$$

1.5 数据处理

试验数据采用 SAS 统计软件进行分析,用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 大棚油桃叶片缺铁黄化的诊断

2.1.1 土壤养分含量 从表 1 可以看出,缺铁黄化油桃和正常油桃的土壤基本养分含量均无显著差异,其中正常油桃的土壤有效铁含量低于缺铁黄化油桃。说明,油桃缺铁黄化不是由于土壤缺铁及其他营养元素差异所引起的。

2.1.2 叶片养分含量 表 2 显示,缺铁黄化油桃和正常油桃叶片相比,叶片的氮、有效钙和有效镁含量差异均不显著;但缺铁黄化油桃叶片的有效铁含量

显著低于正常油桃,说明营养元素铁的缺乏可能是导致油桃黄化的直接原因;缺铁黄化油桃叶片的磷、钾和有效锌含量均显著高于正常油桃,提示大量元

素与微量元素的不平衡及微量元素之间的不平衡,可能是导致油桃缺铁的间接原因^[12]。

表 1 缺铁黄化和正常大棚油桃的土壤养分含量

Table 1 Soil nutrient contents of chlorosis and normal nectarines

土样 Soil sample	全氮/ (g·kg ⁻¹) Total N	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹) Alkali dispelled N	速效磷/ (mg·kg ⁻¹) Olsen P	速效钾/ (mg·kg ⁻¹) Available K	有效铁/ (mg·kg ⁻¹) Available Fe	有效锰/ (mg·kg ⁻¹) Available Mn	有效锌/ (mg·kg ⁻¹) Available Zn	有机质/ (g·kg ⁻¹) OM
缺铁黄化油桃 Chlorosis	1.14 a	95.64 a	14.36 a	300.10 a	9.68 a	11.92 a	11.57 a	19.76 a
正常油桃土 Normal	1.12 a	95.12 a	14.21 a	287.39 a	9.33 a	11.28 a	11.15 a	19.50 a

注:同列数据后标不同小写字母者表示显著差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Note: Different letters mean there are significant differences between each other at the $P < 0.05$ in the same column, the same letters mean there are no significant differences. Significant level and the symbol are used for other tables.

表 2 缺铁黄化和正常大棚油桃叶片的养分含量

Table 2 The nutrient contents of nectarine leaves in chlorosis and normal plants

叶片 Leaf sample	氮/ (g·kg ⁻¹) Nitrogen	磷/ (g·kg ⁻¹) Phosphorus	钾/ (g·kg ⁻¹) Potassium	有效钙/ (g·kg ⁻¹) Available Ca	有效镁/ (g·kg ⁻¹) Available Mg	有效铁/ (mg·kg ⁻¹) Available Fe	有效锌/ (mg·kg ⁻¹) Available Zn
缺铁黄化油桃 Chlorosis	32.50 a	1.80 a	26.20 a	2.92 a	0.90 a	47.64 b	34.28 a
正常油桃 Normal	32.80 a	1.60 b	18.10 b	3.59 a	1.03 a	68.01 a	23.53 b

2.2 喷施铁制剂对大棚油桃叶片叶绿素含量的影响

叶绿素 a 和叶绿素 b 是重要的光合色素,也是维持叶片绿色的重要色素^[13]。笔者观察发现,缺铁黄化油桃的叶片,在喷施铁制剂后出现明显的复绿现象,表明叶片的叶绿素含量在喷施铁制剂后有所增加。由表 3 可知,第 1 次喷施铁制剂后,喷施 EDTA-Fe、柠檬酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 处理的油桃,叶片叶绿素 a 含量均较高,显著高于对照、FeSO₄ 和腐殖酸-Fe 处理,而 EDTA-Fe 处理又显著高于柠檬酸-Fe 处理和复合氨基酸-Fe 处理,柠檬酸-Fe 与复合氨基酸-Fe 处理之间差异不显著。柠檬酸-Fe 和

EDTA-Fe 处理的油桃叶片,叶绿素 b 含量显著高于其他处理,复合氨基酸-Fe 处理显著高于对照、FeSO₄ 和腐殖酸-Fe 处理。喷施铁制剂后,EDTA-Fe、柠檬酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 处理油桃叶片叶绿素总量较对照显著升高,分别是对照的 2.1、1.8 和 1.6 倍,其中 EDTA-Fe 处理油桃叶片叶绿素总量最高,显著高于其他处理,其次是柠檬酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 处理;FeSO₄、腐殖酸-Fe 处理与对照之间差异均不显著。从第 1 喷施的结果可以看出,用 EDTA-Fe、柠檬酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 处理后,能有效矫正油桃叶片的缺铁黄化。

表 3 第 1 次喷施铁制剂对大棚油桃叶片叶绿素含量的影响

Table 3 Effect of the first spraying of iron preparations on the chlorophyll content of nectarine leaves

处理 Treatment	叶绿素 a/(mg·kg ⁻¹) Chlorophyll-a	叶绿素 b/(mg·kg ⁻¹) Chlorophyll-b	叶绿素 a/叶绿素 b Chl a / Chl b	叶绿素总量/(mg·kg ⁻¹) Chlorophyll
对照 Control	0.52 c	0.12 c	4.41	0.63 c
FeSO ₄	0.58 c	0.13 c	4.36	0.72 c
EDTA-Fe	1.08 a	0.24 a	4.64	1.32 a
柠檬酸-Fe Ferrous citrate	0.91 b	0.23 a	3.91	1.15 b
腐殖酸-Fe Ferrous humic acid	0.63 c	0.14 c	4.70	0.77 c
复合氨基酸-Fe Ferrous compound amino acid	0.84 b	0.19 b	4.45	1.03 b

表 4 表明,第 2 次喷施铁制剂后,EDTA-Fe、柠檬酸-Fe、腐殖酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 处理的叶绿素 a 含量及叶绿素总量均较对照显著提高,但 FeSO₄ 处理与对照之间差异不显著;EDTA-Fe 和柠檬酸-Fe 处理叶绿素 b 含量显著高于对照;除 FeSO₄

处理外,其他铁制剂处理油桃叶片叶绿素 a 与叶绿素 b 含量的比值均高于对照;EDTA-Fe、柠檬酸-Fe、腐殖酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 处理的油桃叶片,叶绿素总量均显著高于对照和 FeSO₄ 处理,其中以 EDTA-Fe 处理最高,柠檬酸-Fe 处理次之。第 2 次

喷施处理后,与其他处理相比,EDTA-Fe 和柠檬酸-Fe 及叶绿素总量上均表现出明显的优势。Fe 处理在提高油桃叶片叶绿素 a 和叶绿素 b 含量

表 4 第 2 次喷施铁制剂对大棚油桃叶片叶绿素含量的影响

Table 4 Effect of the second spraying of iron preparations on chlorophyll content of nectarine leaves

处 理 Treatment	叶绿素 a/(mg · kg ⁻¹) Chlorophyll-a	叶绿素 b/(mg · kg ⁻¹) Chlorophyll-b	叶绿素 a/叶绿素 b Chl a / Chl b	叶绿素总量/(mg · kg ⁻¹) Chlorophyll
对照 Control	0.72 d	0.18 cd	4.05	0.91 d
FeSO ₄	0.73 d	0.18 d	3.99	0.92 d
EDTA-Fe	1.32 a	0.29 a	4.60	1.61 a
柠檬酸-Fe Ferrous citrate	1.13 b	0.26 ab	4.30	1.40 b
腐殖酸-Fe Ferrous humic acid	0.92 c	0.20 cd	4.59	1.12 c
复合氨基酸-Fe Ferrous compound amino acid	0.98 c	0.23 bc	4.33	1.21 c

表 5 表明,在果实膨大期第 3 次喷施各类铁制剂后,油桃叶片叶绿素 a 含量和叶绿素总量均显著高于对照,其中复合氨基酸-Fe 处理的叶绿素总量较对照提高了 39.1%;喷施 EDTA-Fe、柠檬酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 均能显著提高叶片的叶绿素 b 含

量,其中以复合氨基酸-Fe 处理效果最好,叶绿素 b 含量显著高于其他处理,柠檬酸-Fe 处理次之。表明复合氨基酸-Fe 对油桃叶片叶绿素的提高作用效果比较持久,其次是柠檬酸-Fe。

表 5 第 3 次喷施铁制剂对大棚油桃叶片叶绿素含量的影响

Table 5 Effect of the third spraying of iron preparations on chlorophyll content of nectarine leaves

处 理 Treatment	叶绿素 a/(mg · kg ⁻¹) Chlorophyll-a	叶绿素 b/(mg · kg ⁻¹) Chlorophyll-b	叶绿素 a/叶绿素 b Chla / Chlb	叶绿素总量/(mg · kg ⁻¹) Chlorophyll
对照 Control	0.91 c	0.24 d	3.793	1.15 c
FeSO ₄	1.08 b	0.26 bcd	4.214	1.34 b
EDTA-Fe	1.08 b	0.27 bc	3.981	1.35 b
柠檬酸-Fe Ferrous citrate	1.11 b	0.28 b	3.942	1.40 b
腐殖酸-Fe Ferrous humic acid	1.07 b	0.25 cd	4.325	1.32 b
复合氨基酸-Fe Ferrous compound amino acid	1.29 a	0.32 a	4.041	1.60 a

2.3 喷施铁制剂对大棚油桃叶片有效铁含量的影响

叶片的有效铁含量可以反映植物铁素的营养水平。作为叶绿素合成所必需的前提物质,有效铁在叶绿素合成中起着重要的作用,叶片中有效铁含量与叶绿素含量呈明显的正相关关系^[14]。植物体内 60%~80% 的铁存在于光合细胞器——叶绿体中^[15],供给铁营养后植物叶绿素含量会增加,因此叶绿素含量也是植物铁营养水平的一个标志。表 6 表明,喷施不同铁制剂后,油桃叶片的有效铁含量均明显增加。第 1 次喷施后,各铁制剂处理有效铁含量均显著高于对照,其中以 EDTA-Fe 和柠檬酸-Fe

处理有效铁含量最高,复合氨基酸-Fe 处理次之,腐殖酸-Fe 处理较低;第 2 次喷施后,各铁制剂处理的有效铁含量也均显著高于对照,其中以 EDTA-Fe 处理的有效铁含量最高,显著高于其他处理,其他铁制剂处理之间无显著差异;第 3 次喷施铁制剂的效果不如前 2 次明显,各铁制剂处理间有效铁含量差异不显著,其中以柠檬酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 处理的有效铁含量较高。第 3 次喷施铁制剂后,油桃叶片有效铁含量较前 2 次下降,这可能是由于此时果实发育迅速,叶片中有效铁向果实中转运,导致叶片中有效铁含量下降所致。

表 6 喷施铁制剂对大棚油桃叶片有效铁含量的影响

Table 6 Effect of spraying of iron preparations on available-Fe content of nectarine leaves

处 理 Treatment	mg/kg			处 理 Treatment	mg/kg		
	T1	T2	T3		T1	T2	T3
对照 Control	85.74 d	70.32 c	81.80 b	柠檬酸-Fe Ferrous citrate	280.87 a	205.81 b	141.54 a
FeSO ₄	207.00 c	188.36 b	120.03 ab	腐殖酸-Fe Ferrous humic acid	211.87 c	189.67 b	124.77 ab
EDTA-Fe	284.78 a	289.74 a	117.07 ab	复合氨基酸-Fe Ferrous compound amino acid	255.15 b	214.44 b	143.61 a

2.4 喷施铁制剂对大棚油桃叶片光合特性的影响

表 7 显示,净光合速率以 EDTA-Fe 处理的最高,显著高于对照及其他铁制剂处理,其次是柠檬酸-Fe 处理、复合氨基酸-Fe 处理和腐殖酸-Fe 处理,FeSO₄ 处理与对照之间差异不显著。对照处理蒸腾速率显著低于铁制剂处理,各铁制剂处理间无显著差异。EDTA-Fe 处理的水分利用效率最高,显著高于其他处理,柠檬酸-Fe、复合氨基酸-Fe 和 FeSO₄ 处理次之,腐殖酸-Fe 处理最低。

气孔导度与光合作用密切相关,气孔导度增大是净光合速率增加的前提^[16]。本研究 EDTA-Fe、柠檬酸-Fe、复合氨基酸-Fe 和腐殖酸-Fe 处理的气孔导度均显著高于 FeSO₄ 处理和对照,FeSO₄ 处理显著高于对照,这与苏培玺等^[16]的研究结果一致。

表 7 喷施铁制剂对大棚油桃叶片光合特性的影响

Table 7 Effect of spraying of iron preparations on photosynthetic characteristics of nectarine leaves

处 理 Treatment	净光合速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Pn	蒸腾速率/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Tr	单叶水分利 用效率 WUE	气孔导度/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Gs	RuBP 羧 化酶效率 CE
对照 Control	8.32 c	4.68 b	1.71×10^{-3} c	0.62 e	0.028 c
FeSO ₄	8.41 c	5.08 a	1.95×10^{-3} b	0.66 d	0.027 c
EDTA-Fe	11.60 a	5.07 a	2.29×10^{-3} a	0.70 a	0.038 a
柠檬酸-Fe Ferrous citrate	10.40 b	5.09 a	2.05×10^{-3} b	0.69 ab	0.034 b
腐殖酸-Fe Ferrous humic acid	9.98 b	5.00 a	1.69×10^{-3} c	0.67 c	0.032 b
复合氨基酸-Fe Ferrous compound amino acid	10.37 b	5.12 a	2.04×10^{-3} b	0.68 bc	0.034 b

3 结论与讨论

微量元素之间存在拮抗作用,有效锌含量升高可能会加剧植物的缺铁黄化^[12]。有资料显示,受环境条件和植物特性的影响,不同植物有效铁含量的临界值差异较大,为 5~10 mg/kg^[18];植物正常含锌量为 25~150 mg/kg,临界含量为 20 mg/kg^[19]。本试验中缺铁黄化油桃叶片的有效锌含量,虽然显著高于正常油桃叶片,但仍在正常水平,因此油桃叶片的有效锌含量差异并非引起缺铁黄化的决定因素。土壤 pH 值升高会使土壤有效铁含量降低,本试验土壤属于微碱性,且缺铁黄化油桃和正常油桃的土壤基本养分含量差异不显著,说明油桃黄化并非土壤营养元素缺乏而引起。本研究通过对油桃叶片的营养诊断发现,黄化植株的有效铁含量显著低于正常植株,表明黄化的原因是缺铁,并且缺铁失绿现象可能是由油桃根系吸收问题造成的。

铁是叶绿素合成的必需元素,新叶片中叶绿素含量下降出现黄化是植物缺铁的典型症状。本试验第 1 次喷施铁制剂是在展叶期,喷施后叶片有效铁含量均显著提高,同时叶绿素含量也显著增加;第 2

次喷施铁制剂后,油桃叶片的净光合速率随着叶片有效铁及叶绿素含量的增加而显著增大,蒸腾速率降低,从而使水分利用效率提高,其中以 EDTA-Fe 处理效果最好,柠檬酸-Fe、复合氨基酸-Fe 和腐殖酸-Fe 处理次之。

RuBP 羧化酶是重要的光合酶之一,其羧化效率的大小是叶片中活化 RuBP 酶量多少的指标。羧化效率的提高与净光合速率的增加有良好的相关关系。本试验 RuBP 羧化酶效率与净光合速率的变化规律完全一致,这与高清华等^[17]的研究结果相符。对油桃叶片净光合速率与 RuBP 羧化酶效率间的关系进行分析,结果表明,油桃叶片净光合速率与 RuBP 羧化酶效率间呈极显著正相关关系($P < 0.001$)。

次喷施铁制剂后,叶片有效铁含量比第一次略有降低,而叶绿素含量则仍然升高,叶片复绿明显;第 3 次喷施铁制剂是在果实膨大期,喷施后叶片的有效铁含量均有不同程度的降低,但各铁制剂处理间差异不显著。第 3 次喷施铁制剂后,油桃叶片有效铁含量未随喷施次数的增加而提高,这可能是因为果实发育对养分的竞争逐渐增强,叶片的有效铁向果实中转运造成的。第 3 次喷施铁制剂后,油桃叶片叶绿素含量较前 2 次明显升高,其中以复合氨基酸-Fe 处理的效果最佳,表明复合氨基酸-Fe 对缺铁黄化的矫正效果更持久一些。

本研究中,随着喷施铁制剂次数的增加,除 EDTA-Fe 和柠檬酸-Fe 处理外,其他铁制剂处理油桃叶片的叶绿素总量均呈增加的趋势,第 3 次喷施后以复合氨基酸-Fe 处理的叶绿素总量最高,显著高于其他处理。这可能是因为复合氨基酸-Fe 在补铁的同时,还给叶片提供了丰富的氨基酸营养所致。本研究中,EDTA-Fe 和柠檬酸-Fe 处理在第 2 次喷施后,油桃叶片叶绿素含量均达到了最高值,说明这 2 种铁制剂可以迅速有效地矫正油桃叶片因缺铁引起的黄化。

与对照相比,喷施络合态铁制剂不仅矫正了油桃叶片的黄化现象,而且提高了净光合速率和水分利用效率。可见,在大棚高温、高湿和弱光的环境下,喷施铁制剂可提高果树的光合作用,改善果树的营养状况,并能增强树势,为抗病和增产奠定了基础。

本试验发现,各种铁制剂在矫治缺铁黄化中效果差异较大,其中以喷施 EDTA-Fe、柠檬酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 效果较好。考虑到 EDTA-Fe 价格因素,故作者认为,柠檬酸-Fe 和复合氨基酸-Fe 更适合在果品生产中推广使用。

[参考文献]

- [1] Miller G M, Pushnik J C. Iron chlorosis, the role of iron in chlorophyll formation [J]. *Utah Sci*, 1983, 44: 99-103.
- [2] David J, Thomas J, Jannette B. A cyanobacterium lacking iron superoxide dismutase is sensitized to oxidative stress induced with methyl viologen but is not sensitized to oxidative stress induced with norflurazon [J]. *Plant Physiol*, 1998, 116: 1593-1602.
- [3] 刘东臣,刘藏珍,谭俊璞,等. 根际操作施肥矫正苹果缺铁黄化病的研究 [J]. *河北农业大学学报*, 1999, 22(4): 19-22.
Liu D C, Liu C Z, Tan J P, et al. The study on the rhizosphere fertilization for correcting Fe-deficiency chlorosis of apple trees [J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 1999, 22(4): 19-22. (in Chinese)
- [4] Chen Y, Barak P. Iron nutrition plants in calcareous soils [J]. *Adv Agron*, 1982, 85: 217-24.
- [5] 姚晓芹,马文奇,刘东晨,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): 1-3.
Yao X Q, Ma W Q, Liu D C, et al. Advance in study on diagnose of iron-deficient chlorosis in fruits [J]. *Northern Fruits*, 2005, 1(1): 1-3. (in Chinese)
- [6] 李银国,尹克宁. 果树缺铁黄化研究进展 [J]. *热带亚热带土壤科学*, 1997, 6(2): 129-133.
Li Y G, Yin K N. Research progress on iron-deficiency chlorosis of fruit trees [J]. *Tropical and Subtropical Soil Science*, 1997, 6(2): 129-133. (in Chinese)
- [7] 薛进军,赵风平,台社珍,等. 果树体内铁及其再利用 [J]. *河北果树*, 2000(2): 4-5.
Xue J J, Zhao F P, Tai S Z, et al. The study on fruits iron in vivo and its further use [J]. *Hebei Fruits*, 2000(2): 4-5. (in Chinese)
- [8] 肖艳,李燕婷,曹一平. 不同铁制剂与施用方式对矫正花生缺铁黄化症的效果 [J]. *土壤肥料*, 2003(5): 21-25.
Xiao Y, Li Y T, Cao Y P. Effects of Fe-fertilizer composition and application methods on the iron chlorosis correction of peanut [J]. *Soils and Fertilizer*, 2003(5): 21-25. (in Chinese)
- [9] 万蕾,邢玉芬,李长荣. 螯合微肥的稳定性及其生物学效应初探 [J]. *北京农业大学学报*, 1994, 20(1): 79.
Wan L, Xing Y F, Li C R. A preliminary study on the stability and the biological effects of the micro nutrition [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis*, 1994, 20(1): 79. (in Chinese)
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2005.
Bao S D. Soil analysis in agricultural chemistry [M]. 3th Edition. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2005. (in Chinese)
- [11] 杨振德. 分光光度计测定叶绿素含量的探讨 [J]. *广西农业大学学报*, 1996, 15(2): 145-149.
Yang Z D. Studies on the determination of Chlorophyll content by spectrophotometric method [J]. *Journal of Guangxi Agricultural University*, 1996, 15(2): 145-149. (in Chinese)
- [12] 徐福利,梁银丽,杜社妮,等. 杨凌示范区日光温室蔬菜施肥现状及存在问题对策 [J]. *西北农业学报*, 2003, 12(3): 124-128.
Xu F L, Liang Y L, Du S N, et al. Fertilization situation analyses and question countermeasure of vegetable in sunlight greenhouse of Yangling demonstration zone [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2003, 12(3): 124-128. (in Chinese)
- [13] 张继澍. 植物生理学 [M]. 西安: 世界图书出版公司 1999: 198-199.
Zhang J S. Plant physiology [M]. Xian: The Word Book Publication, 1999: 198-199. (in Chinese)
- [14] Terry N. Physiology of trace element toxicity and its relation to iron stress [J]. *J Plant Nutr*, 1981, 3(1~4): 561-578.
- [15] Terry N. Limiting factors in photosynthesis I. Use of iron stress to control photochemical capacity in vivo [J]. *Plant Physiol*, 1980, 65: 114-120.
- [16] 苏培玺,杜明武,张立新,等. 日光温室草莓光合特性及对 CO₂ 浓度升高的响应 [J]. *园艺学报*, 2002, 29(5): 423-426.
Sun P X, Du M W, Zhang L X, et al. Changes of photosynthetic characteristics and response to rising CO₂ concentration in strawberry in solar greenhouse [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2002, 29(5): 423-426. (in Chinese)
- [17] 高清华,叶正文,章镇,等. 设施栽培中早熟甜油桃的光合特性研究 [J]. *农业现代化研究*, 2006, 27(4): 307-310.
Gao Q H, Ye Z W, Zhang Z, et al. Photosynthetic characteristic in precocious and sweet nectarine trees in greenhouse [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2006, 27(4): 307-310. (in Chinese)
- [18] 吕世华. 四川紫色丘陵区土壤有效铁含量与临界值探讨 [J]. *耕作与栽培*, 1995(5): 50-52.
Lu S H. Study on available iron content and the iron critical in hilly purple in Sichuan [J]. *Tillage and Cultivation*, 1995(5): 50-52. (in Chinese)
- [19] 南京农业大学. 土壤农化分析 [M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 1996.
Nanjing Agricultural University. Soil analysis in agricultural chemistry [M]. 2nd Edition. Beijing: Chinese Agriculture Press, 1996. (in Chinese)