

喷施不同铁肥对草莓铁养分吸收和品质的影响

于会丽, 司 鹏*, 乔宪生, 杨晓静, 高登涛, 刘智伟

(中国农业科学院郑州果树研究所, 河南 郑州 450009)

摘要:以草莓“甜查理”为试材, 研究叶面喷施硫酸亚铁、EDTA-Fe 和小分子有机螯合铁 3 种铁肥对草莓生长发育、品质和铁养分吸收的影响。结果表明: 1) 喷施 3 种铁肥均能提高叶片活性铁含量、SPAD 值以及过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT) 的活性。其中, 喷施小分子有机螯合铁处理的效果明显优于硫酸亚铁和 EDTA-Fe 处理, 较清水对照分别显著提高 76.44%、6.25%、180.00% 和 61.72%; 2) 与对照相比, 施用小分子有机螯合铁和 EDTA-Fe 的草莓果品铁含量分别显著提高 35.46% 和 27.79%, 而喷施硫酸亚铁处理对其影响不显著。同时, 喷施小分子有机螯合铁果实的糖酸比和可溶性固形物最高, 较对照分别提高了 18.70% 和 30.89%, 差异显著; 3) 相关分析结果表明, 叶片活性铁含量均与 SPAD 值、过氧化氢酶及过氧化物酶活性呈极显著线性正相关, 果实铁含量与糖酸比呈显著线性正相关。因此, 喷施铁肥可提高草莓叶片相关酶的活性和铁养分含量, 促进其生长发育, 并在一定程度上调控草莓果实铁元素的累积, 同时改善果实品质, 3 种铁肥中以小分子有机螯合铁肥在草莓上应用效果最佳。

关键词: 铁肥; 草莓; 铁含量; 品质

中图分类号: S143.7⁺2; S668.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2016) 05-0073-06

草莓作为铁元素敏感的多年生草本经济作物, 近年来随着其产业的发展, 总产量在浆果类水果中已经跃居世界第二位^[1-3]。我国北方大部分地区是高 pH 值的石灰性土壤, 草莓缺铁黄化现象相当普遍, 严重阻碍草莓正常生长发育, 影响产量和品质, 降低经济效益^[4-6]。目前农业生产中补铁的常规措施主要有叶面喷施、土壤浇施和树体埋植铁肥^[7-8], 其中, 叶面喷施是补充铁营养最直接有效的方法^[9]。国内外关于叶面喷施铁肥种类的报道很多, 按形态基本划分为含铁无机盐、螯合铁肥和有机复合铁肥 3 大类^[10-11], 其中硫酸亚铁无机盐是最常用的叶面铁肥^[12-13], 但硫酸亚铁暴露于空气中很快会被氧化成为三价铁沉淀物, 大大降低铁养分有效性^[14], 不利于改善作物缺铁现象; 螯合铁肥 (Fe-EDTA 和 Fe-EDDHA) 易被植物吸收, 一定程度上矫正果树黄化现象, 但其不易降解, 对生态

环境造成危害, 难以大面积推广应用^[15-16]; 目前有机复合铁肥, 如木质黄酸螯合铁、腐植酸铁和氨基酸铁等, 在环境中易降解, 不存在环境污染的问题, 但其含铁量低, 性质不稳定^[17], 限制其发展应用。因此, 生产中亟需研发高效、环保、低残留的生物有机复合铁肥, 以解决我国北方作物缺铁黄化问题。

有研究证明, 氨基酸类和糖醇类小分子有机物含有醇羟基、羧酸基和氨基等官能团, 这些官能团具有螯合、保湿和渗透作用, 能促进微量元素的吸收利用, 常被作为提高微量元素养分有效性的助剂^[18-19]。为此, 笔者选用上述小分子有机物与硫酸亚铁通过特殊工艺进行螯合, 制成性质稳定、无污染的小分子有机螯合铁。本研究以叶面喷施清水为对照, 以喷施硫酸亚铁、EDTA-Fe 和小分子有机螯合铁为处理, 研究其对草莓生长发育、铁养分吸收及品质的影响, 为筛选出高效、环保的铁肥提供理论依据, 以期对草莓优质高产和防治/矫正我国北方作物缺铁黄化问题提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2014 年 9 月到 2015 年 2 月在河南省荥阳市草莓基地温室进行, 温室地表覆盖地膜。土壤

收稿日期: 2015-06-23; 最后修订日期: 2015-12-20

基金项目: 郑州市重点科技攻关项目 (N2010N1006); 郑州市现代农业科技创新项目 (131PZDGC113); 中国农业科学院科技创新工程专项经费项目 (CAAS-ASTIP-2015-ZFRI)。

作者简介: 于会丽 (1987-), 女, 河南三门峡人, 研究实习员, 硕士, 主要从事果树营养与施肥技术研究。E-mail: yuhuil@caas.cn。

通讯作者: 司鹏, E-mail: sipeng@caas.cn。

为砂壤土, 有机质含量 11.23 g/kg, 铵态氮 12.26 mg/kg, 硝态氮 15.41 mg/kg, 有效磷 (P) 20.64 mg/kg, 速效钾 (K) 129.72 mg/kg, pH 值 8.5。供试材料为草莓“甜查理”, 定植密度为行距 15 cm, 株距 20 cm, 畦宽 80 cm。

供试铁肥: 硫酸亚铁 (铁含量 20.09%, 天津某公司)、EDTA-Fe (铁含量 15.26%) 和小分子有机螯合铁 (铁含量 105 g/L, 碳含量 13.5%, 由中国农业科学院郑州果树研究所研制)。

试验共设 4 个处理, 分别为 (1) 喷施清水对照; (2) 喷施硫酸亚铁; (3) 喷施 EDTA-Fe; (4) 喷施小分子有机螯合铁, 喷施铁元素浓度均为 85 mg/L。每个处理 3 次重复, 每个小区 0.8 m × 0.8 m, 定植 80 株, 完全随机区组排列。草莓 5~6 片时 (2014 年 12 月 20 日) 开始进行叶面喷施, 以后每间隔 7 d 喷施 1 次, 共喷 4 次, 喷施程度以叶正反面均匀布满雾状水滴为度, 其他条件相同, 按常规管理。

1.2 样品采集与测定

1.2.1 样品采集

喷施叶面肥一周后开始采样, 选取长势基本一致的草莓, 随机采集新叶 2~3 片, 清洗晾干后, 进行测定。

2015 年 1 月 20 日草莓第一茬果实成熟后, 选取果体饱满, 大小均匀, 颜色一致, 无病虫害, 无机械伤的成熟期果实, 清洗后, 一部分鲜样用于品质测定, 一部分烘干后供果实铁含量的测定。

1.2.2 测定指标与方法

冠幅: 用直尺测定长、宽, 计算公式为长 × 宽 × 0.73^[20]; 叶片 SPAD 值采用 SPAD-502 仪测定; 叶片活性铁含量采用 1 mol/L HCl 按 1:10 比例浸提, 原子吸收分光光度计法^[21]测定; 叶片过氧化物酶 (POD) 活性和过氧化氢酶 (CAT) 活性采用王学奎的方法测定^[22]。果实铁含量采用硝酸-高氯酸消煮, 原子吸收分光光度计法^[23]测定; 果实可溶性糖含量采用蒽酮比色法^[24]测定; 果实滴定酸含量采用氢氧化钠标准溶液滴定法^[25]测定; 抗坏血酸 (Vc) 含量采用 2,6-二氯酚靛酚法^[26]测定; 果实草莓汁液的可溶性固形物含量采用折光仪测定。

1.3 数据处理与分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 和 SAS 9.2 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对草莓生长发育的影响

试验结果表明, 喷施小分子有机螯合铁的草莓冠幅最大, 较清水对照提高 7.78%; 喷施铁肥均可提高草莓果实纵径和单果重 (表 1), 增加程度的顺序为小分子有机螯合铁 > 硫酸亚铁 > EDTA-Fe, 喷施小分子有机螯合铁草莓果实纵径和单果较对照分别增加 4.00% 和 15.23%, 但差异不显著; 而喷施 EDTA-Fe 的草莓果实横径最高, 较对照提高 3.59%。

表 1 不同处理对草莓生长发育的影响

处理	株高 (cm)	冠幅 (cm ²)	果实纵径 (cm)	果实横径 (cm)	单果重 (g)
对照	8.52 a	236.15 ab	4.00 a	3.06 a	14.44 a
硫酸亚铁	8.27 a	224.53 ab	4.11 a	3.08 a	16.19 a
EDTA-Fe	7.22 a	195.91 b	4.05 a	3.17 a	14.57 a
小分子有机螯合铁	7.88 a	254.98 a	4.16 a	3.09 a	16.64 a

注: 表中同列数值后不同字母表示处理间差异达到 5% 显著水平。下同。

2.2 不同处理对草莓叶片活性铁含量和相关生理指标的影响

新叶活性铁含量常作为诊断双子叶植物铁营养的指标。由图 1A 可知, 与对照相比, 喷施铁肥均能显著提高叶片活性铁含量, 提高幅度为 35.61%~76.44%; 比较各种铁肥处理发现, 喷施小分子有机螯合铁的草莓叶片活性铁含量最高, 较喷施硫酸亚铁和 EDTA-Fe 分别提高 30.11% 和 29.54%, 差异显著, 但喷施硫酸亚铁和 EDTA-Fe 处理间差异不

显著。

SPAD 值与叶绿素含量有较好的相关性, 叶绿素相对含量能够反映叶片黄化程度, 广泛用于评价作物缺铁状况的指标。从图 1B 可以看出, 与对照相比, 喷施铁肥均不同程度地提高草莓叶片 SPAD 值, 其中, 喷施小分子有机螯合铁的草莓 SPAD 值最大, 较对照提高 6.32%, 差异达显著水平; 而喷硫酸亚铁和 EDTA-Fe 处理较对照分别提高 0.06% 和 3.49%, 差异不明显。喷施小分子有机螯合铁处

理较硫酸亚铁处理的草莓 SPAD 值提高 6.25%，差异显著。较 EDTA-Fe 处理叶片 SPAD 值略有提高，但差异不显著。可见，喷施小分子有机螯合铁对草莓叶片 SPAD 值的提高效果最佳。

铁是过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT) 的组成成分，过氧化物酶和过氧化氢酶活性可作为植物铁营养状况的衡量指标^[27]。由图 1C、D 可知，与对照相比，喷施铁肥均不同程度地提高草莓叶片 POD 和 CAT 的活性。其中，草莓叶片 POD 活性增加程度的顺序为小分子有机螯合铁 > EDTA-Fe > 硫酸

亚铁，喷施小分子有机螯合铁处理较 EDTA-Fe 和硫酸亚铁处理分别提高 154.55% 和 61.57%，差异均达显著水平，而喷施 EDTA-Fe 的叶片 POD 活性比施用硫酸亚铁略高，但差异不显著。与对照相比，喷施铁肥均能显著提高草莓 CAT 活性，其中，施用小分子有机螯合铁的 CAT 活性最大，较对照显著提高 61.72%，其次是硫酸亚铁处理，比对照略高，但差异不明显；不同铁肥处理间，喷施小分子有机螯合铁的草莓 CAT 活性显著高于 EDTA-Fe 处理，与硫酸亚铁处理差异不显著。

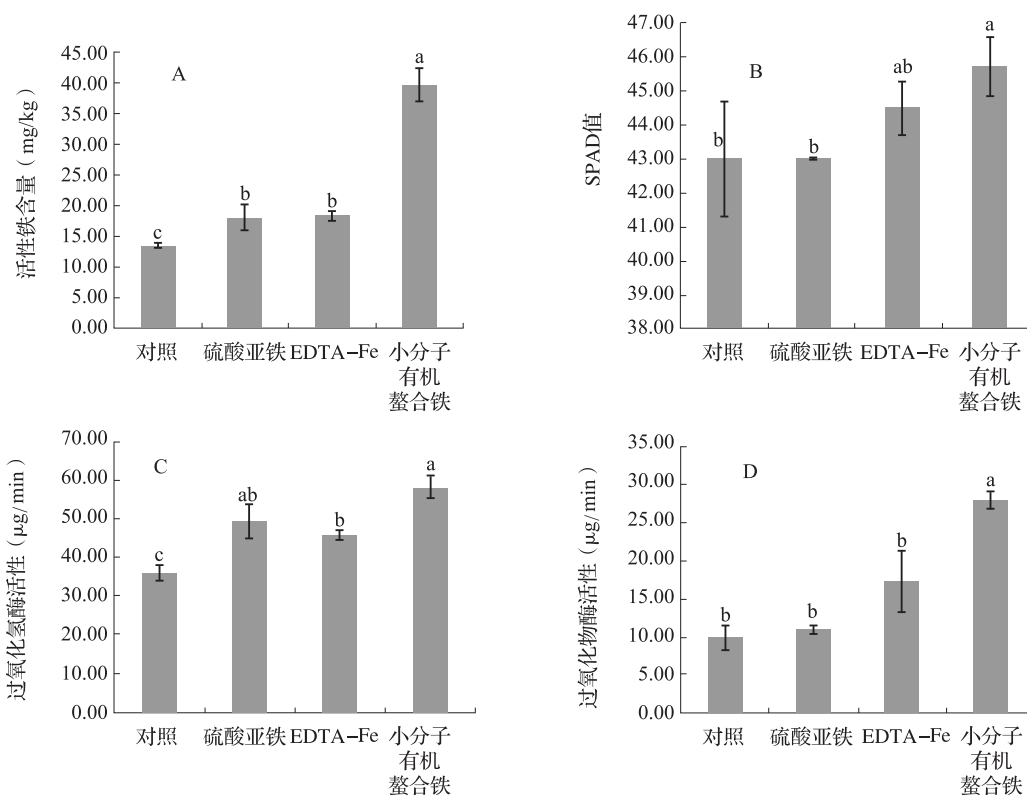


图 1 不同处理对草莓叶片活性铁和生理指标的影响

注：图中柱形图上不同字母表示处理间差异达到 5% 显著水平。

2.3 不同处理对草莓果实全铁含量及品质的影响

与对照相比，喷施铁肥均不同程度地增加草莓果实铁含量 (表 2)，增加程度的顺序为喷施小分子有机螯合铁 > EDTA-Fe > 硫酸亚铁，其中，施用 EDTA-Fe 和小分子有机螯合铁的果实铁含

量较对照分别提高 27.79% 和 35.46%，差异达显著水平，但两处理间差异不明显；与喷施硫酸亚铁相比，施用 EDTA-Fe 和小分子有机螯合铁的果实铁含量分别增加了 20.56% 和 27.80%，差异显著。

表 2 不同铁肥处理对草莓果实铁含量及品质的影响

处理	铁含量 (mg/kg)	可溶性固形物 (%)	可溶性糖 (%)	可滴定酸 (%)	糖酸比	Vc 含量 (mg/100 g FW)
对照	35.70b	6.11b	3.96a	0.44a	9.25b	59.09ab
硫酸亚铁	37.84b	7.50a	4.02a	0.42a	9.60ab	53.33b
EDTA-Fe	45.62a	6.47b	3.89a	0.42a	9.20b	53.79b
小分子有机螯合铁	48.36a	7.29a	4.24a	0.36a	11.98a	63.03a

果实可溶性固形物、糖酸比和 Vc 含量是评价草莓品质的重要指标,其含量高低决定果品营养价值和口味。从表 2 可知,喷施铁肥均能提高草莓果实可溶性固形物含量,其中,喷施硫酸亚铁和小分子有机螯合铁的草莓果实可溶性固形物较对照分别提高 22.74% 和 19.31%,差异达到显著水平;不同铁肥处理间,喷施硫酸亚铁和小分子有机螯合铁处理的草莓果实可溶性固形物分别显著高于 EDTA-Fe 处理,但两处理间差异不明显。与对照相比,喷施铁肥均能提高草莓果实可溶性糖含量,增加顺序为施用小分子有机螯合铁 > 硫酸亚铁 > EDTA-Fe。由表 2 可以看出,施用铁肥均能降低草莓可滴定酸含量,其中,喷施小分子有机螯合铁的草莓可滴定酸含量最低,较对照降低 18.18%。喷施铁肥对草莓糖酸比有一定的影响,其中,施用小分子有机螯合铁的糖酸比最大,较对照和 EDTA-Fe 分别显著提高了 29.51% 和 30.22%;喷施硫酸亚铁的糖酸比较对照提高了 3.78%,但差异不显著。同时,喷施小分子有机螯合铁可提高草莓 Vc 含量,较对照提高 6.67%。

2.4 草莓叶片活性铁含量与叶片生理指标的相关性分析

通过相关性分析可以看出(表 3),草莓叶片

活性铁的含量与 SPAD 值、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性呈极显著线性正相关,相关系数分别是 0.68**、0.84** 和 0.79**。说明喷施铁肥提高叶片活性铁的含量,影响叶绿素合成和含铁酶的活性,进而影响相关生理指标的代谢,促进草莓生长发育。

表 3 草莓活性铁含量与叶片生理指标的相关系数 (r)

项目	活性铁含量	SPAD 值	过氧化物酶活性	过氧化氢酶活性
活性铁含量	1.000 0			
SPAD 值	0.68**	1.000 0		
过氧化物酶活性	0.84**	0.71**	1.000 0	
过氧化氢酶活性	0.79**	0.60**	0.61*	1.000 0

注: *、** 分别表示差异达 5% 和 1% 显著水平。下同。

2.5 草莓果实全铁与品质的相关性分析

从表 4 可以看出,果实铁含量与果实可滴定酸呈线性负相关关系,与可溶性糖、可溶性固形物、糖酸比呈正相关关系,其中,果实铁含量与糖酸比的相关系数为 0.60*,相关性达显著水平,可见,果实中铁养分含量可明显影响草莓果实品质。

表 4 草莓果实铁含量与品质的相关性分析 (r)

项目	铁含量	可溶性糖	可滴定酸	糖酸比	可溶性固形物	Vc
铁含量	1.000 0					
可溶性糖	0.31	1.000 0				
可滴定酸	-0.56	-0.32	1.000 0			
糖酸比	0.60*	0.66*	-0.91**	1.000 0		
可溶性固形物	0.26	0.51	-0.25	0.42	1.000 0	
Vc	0.18	0.55	-0.42	0.60	0.10	1.000 0

3 小结与讨论

铁作为叶绿素合成的必需元素,是作物体内多种酶的重要组成成分和活化剂,参与植物体内氧化还原和电子传递,直接或间接地影响植物光合、呼吸作用以及物质能量的转换^[28]。叶面喷施铁肥能不同程度地提高叶片叶绿素和活性铁含量,增加 CAT 和 POD 活性,进而影响其产量和品质^[29-31]。本研究结果表明,与对照相比,所有喷施铁的处理均能提高草莓叶片 SPAD 值、活性铁含量以及 POD 和 CAT 活性(图 1);经相关分析表明,叶片活性铁含量与 SPAD 值、POD 和 CAT 活性呈显著线性正

相关(表 3)。说明,喷施铁肥能提高叶片活性铁含量,促进叶绿素的合成和增强相关酶的活性,进而影响草莓生长发育。与喷施硫酸亚铁和 EDTA-Fe 相比,施用小分子有机螯合铁更有效地促进铁养分吸收,主要原因:一是小分子有机螯合铁中铁元素以糖醇和氨基酸类小分子有机物螯合态的形式被叶片吸收,避免单独喷施硫酸亚铁使其暴露于空气氧化、沉淀等现象,促进铁养分吸收^[14];二是糖醇和氨基酸类小分子有机物具有保湿、渗透以及延展性,有降低溶液表面张力的作用,可提高叶面吸收铁养分的能力^[19,32]。所以,喷施小分子有机螯合

铁叶片活性铁含量增幅最大,影响叶绿素的合成和酶的活性,促进叶片新陈代谢。

据研究表明^[33-34],喷施铁肥不仅促进作物生长,还能提高其品质和铁养分含量。如,在水稻上喷施不同种类铁肥均能提高大米中蛋白质、氨基酸含量以及矿质营养^[35-36];喷施螯合铁可显著增加柑橘和水芹菜叶片叶绿素和铁养分含量,并提高其品质^[37-38]。本研究结果与之类似,喷施铁肥均不同程度地提高草莓果实铁含量和品质,且果实铁含量与糖酸比呈显著线性正相关关系(表2和表4);不同处理间,喷施小分子有机螯合铁更有效地促进铁养分的吸收和品质的提高,一方面可能是由于小分子有机螯合铁中添加的氨基酸和糖醇类小分子有机物促进草莓对铁养分的吸收,并影响其在作物体内的运输,提高果实中养分含量^[19],进而影响其品质;另一方面可能是糖醇和氨基酸类小分子有机物自身可为作物提供能量和生长所需的养分,能够促进作物生长发育和养分的吸收,改善品质^[39-42],但具体机理有待进一步研究。

综上所述,喷施3种铁肥对草莓铁养分吸收、叶片生理特性和果实品质的影响不同,其中,以喷施小分子有机螯合铁的应用效果最为理想,显著提高了草莓叶片SPAD值、POD和CAT活性,更好地满足草莓生长的正常需要,并促进果实铁养分累积和品质的改善,为其在农业上推广应用提供依据。

参考文献:

- [1] Lieten F. Iron nutrition of strawberries grown in peat bags [J]. Small Fruits Review, 2001, 1 (2): 103-112.
- [2] Kafkas E, Silberbush M, Paydas S. Physiological characterization of strawberry cultivars with different susceptibility to iron deficiency [J]. World Journal of Agricultural Sciences, 2007, 3: 196-203.
- [3] 郭月玲, 解振强, 王永平. 我国草莓组织培养生产研究现状及前景 [J]. 浙江农业科学, 2010, (6): 1211-1215.
- [4] Kepenek K. Effect of foliar iron applications at different growth stages on iron and some nutrient concentrations in strawberry cultivars [J]. Turk J Agric For, 2004, 28: 421-427.
- [5] Zaiter H Z, Saad I, Nimah M. Yield of iron-sprayed and non-sprayed strawberry cultivars grown on high pH calcareous soil [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1993, 24 (11-12): 1421-1436.
- [6] Pestana M, Domingos I, Gama F, et al. Strawberry recovers from iron chlorosis after foliar application of a grass-clipping extract [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2011, 174 (3): 473-479.
- [7] 王华静, 吴良欢, 陶勤南. 有机营养肥料研究进展 [J]. 生态环境, 2003, 12 (1): 110-114.
- [8] 叶优良, 张福锁, 李絮花, 等. 根际施肥对防治苹果缺铁黄叶病效果的研究 [J]. 华北农学报, 2002, 17 (1): 88-93.
- [9] Aciksoz S B, Yazici A, Ozturk L, et al. Biofortification of wheat with iron through soil and foliar application of nitrogen and iron fertilizers [J]. Plant and Soil, 2011, 349 (1), 215-225.
- [10] 何绪生. 铁肥及其使用 [J]. 磷肥与复肥, 2002, (4): 69-71.
- [11] Abadía J, Vázquez S, Rellán-álvarez R, et al. Towards a knowledge-based correction of iron chlorosis [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2011, 49 (5): 471-482.
- [12] Wei Y, Shohag M, Yang X, et al. Effects of foliar iron application on iron concentration in polished rice grain and its bioavailability [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60 (45): 11433-11439.
- [13] Yuan L, Wu L, Yang C, et al. Effects of iron and zinc foliar applications on rice plants and their grain accumulation and grain nutritional quality [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 93 (2): 254-261.
- [14] Fernandez V, Ebert G. Foliar iron fertilization: A critical review [J]. Journal of Plant Nutrition, 2005, 28 (12): 2113-2124.
- [15] Yuan Z, Van Briesen J M. The formation of intermediates in EDTA and NTA biodegradation [J]. Environmental Engineering Science, 2006, 23 (3): 533-544.
- [16] Álvarez-Fernández A, García-Marco S, Lucena J J. Evaluation of synthetic iron (III)-chelates (EDDHA/Fe³⁺, EDDHMA/Fe³⁺ and the novel EDDHSA/Fe³⁺) to correct iron chlorosis [J]. European Journal of Agronomy, 2005, 22 (2): 119-130.
- [17] Rodríguez-Lucena P, Benedicto A, Lucena J J. Use of the stable isotope ⁵⁷Fe to track the efficacy of the foliar application of lignosulfonate/Fe³⁺ complexes to correct Fe deficiencies in cucumber plants [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91 (3): 395-404.
- [18] Carrasco J, Kovačics K, Czech V, et al. Influence of pH, iron source, and Fe/ligand ratio on iron speciation in lignosulfonate complexes studied using Mossbauer spectroscopy implications on their fertilizer properties [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60 (13): 3331-3340.
- [19] 李燕婷, 肖艳, 李秀英, 等. 作物叶面施肥技术与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [20] 沙春艳. 无土栽培不同施肥方式对草莓产量和品质的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [21] Takkar P N, Kaur N P. HCl method for Fe²⁺ estimation to resolve iron chlorosis in plants [J]. Journal of Plant Nutrition, 1984, 7 (1-5): 81-90.
- [22] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术 (第2版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

- [23] GB/T23375-2009, 蔬菜及其制品中铜、铁、锌、钙、镁、硫的测定 [S].
- [24] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.
- [25] 张宪政, 陈凤玉, 王荣富. 植物生理学实验技术 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994.
- [26] 王学奎, 章文华, 赫再彬, 等. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [27] Agarwala S C, Sharma C P. The relation of iron supply to the tissue concentration of iron chlorophyll and catalase in barley plants grown in sand culture [J]. *Physiolgia Plantarum*, 1961, 14: 275-283.
- [28] 陆景陵, 张福锁, 李春俭, 等. 植物营养学 (上册) [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002.
- [29] 傅友强, 梁建平, 于智卫, 等. 不同铁形态对水稻根表铁膜及铁吸收的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17 (5): 1050-1057.
- [30] 戚亚平, 王荣娟, 姚允聪, 等. 富铁苹果发酵液对缺铁胁迫下平邑甜茶保护酶活性的影响 [J]. *中国农学通报*, 2010, 26 (18): 201-205.
- [31] 李利敏, 吴良欢, 马国瑞. 喷施铁肥对黄化樟树叶片营养状况的影响 [J]. *福建林学院学报*, 2009, 29 (4): 368-373.
- [32] 李永旗, 李鹏程, 刘爱忠, 等. 棉花叶面施肥研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2014, 30 (3): 15-19.
- [33] Obour A, Perumal R. Evaluating the effectiveness of iron chelates in managing iron deficiency chlorosis in grain sorghum [J]. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, 2015, 1 (3): 8.
- [34] 刘自飞. 木质素磺酸铁肥研制及其对花生的施用效果 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [35] He W, Shohag M J I, Wei Y, et al. Iron concentration, bio-availability, and nutritional quality of polished rice affected by different forms of foliar iron fertilizer [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141 (4): 4122-4126.
- [36] 吕倩, 吴良欢, 徐建龙, 等. 叶面喷施氨基酸铁肥对稻米铁含量和营养品质的影响 [J]. *浙江大学学报 (农业与生命科学版)*, 2010, 36 (5): 528-534.
- [37] Pestana M, Correia P J, de Varennes A, et al. Effectiveness of different foliar iron applications to control iron chlorosis in orange trees grown on a calcareous soil [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2001, 24 (4-5): 613-622.
- [38] Salarpour O, Parsa S, Sayyari M H, et al. Effect of nano-iron chelates on growth, peroxidase enzyme activity and oil essence of cress (*Lepidium sativum* L.) [J]. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 2013, 4 (Special Issue): 3583-3589.
- [39] 王莹, 史振声, 王志斌, 等. 植物对氨基酸的吸收利用及氨基酸在农业中的应用 [J]. *中国土壤与肥料*, 2008, (1): 6-11.
- [40] Rolland F, Baena-Gonzalez E, Sheen J. Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms [J]. *Annu. Rev. Plant Biol*, 2006, 57: 675-709.
- [41] Mechthild T. Transporters for amino acids in plant cells; some functions and many unknowns [J]. *Plant Biology*, 2012, 15: 315-321.
- [42] 于会丽, 林治安, 李燕婷, 等. 喷施小分子有机物对小油菜生长发育和养分吸收的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20 (6): 1560-1568.

Iron absorption and quality of strawberry affected by different forms of foliar iron fertilizer

YU Hui-li, SI Peng*, QIAO Xian-sheng, YANG Xiao-jing, GAO Deng-tao, LIU Zhi-wei (Institute of Zhengzhou Fruit Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou Henan 450009)

Abstract: The effects of iron fertilizer on iron contents and quality of strawberry (Sweet Charlie) were studied by spraying three different forms of iron fertilizer on leaves. The results showed that spraying foliar fertilizer was an effective way to increase the active iron contents, SPAD values, peroxidase (POD) and catalase (CAT) activities of strawberry leaves, especially in case of small molecular organics chelated iron fertilizer, comparing with the control (spraying water), which were respectively significantly increased by 76.44%, 6.25%, 180.00% and 61.72% respectively; Comparing with the control, the iron contents of fruit were increased remarkably by 35.46% and 27.79% by spraying small molecular organics chelated iron fertilizer and EDTA-Fe, respectively, but it showed no difference with the control when spraying FeSO₄. Moreover, ratio of sugar-acid and soluble solid substance contents were respectively improved by 18.70% and 30.89% by spraying small molecular organics chelated iron fertilizer which had significant differentiation with the control. The correlation analysis showed that there was a positive significant linear correlation between active iron content and SPAD values, POD and CAT activities of strawberry leaves, total iron content were in positive linear correlation with ratio of sugar-acid of strawberry. According to the current study, iron foliar application enhanced physiological metabolism and iron content of leaves and improved the iron accumulation to some extent and quality of strawberry, small molecular organics chelated iron fertilizer was recommended as an optimal foliar iron fertilizer.

Key words: iron fertilizer; strawberry; iron content; quality