

王正林,孟令松,李校忠,等. 铁肥及其复配剂对紫金黄脆(金陵黄脆)桃树叶片黄化的防治效果[J]. 江苏农业科学,2023,51(1):148-154.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.01.022

铁肥及其复配剂对紫金黄脆(金陵黄脆)桃树叶片黄化的防治效果

王正林¹, 孟令松², 李校忠³, 穆家壮¹, 刘广勤⁴, 渠慎春¹, 余心怡¹, 陈卫平¹

(1. 南京农业大学,江苏南京 210095; 2. 徐州市果树研究所,江苏丰县 221700;

3. 徐州子午河生态农业开发有限公司,江苏丰县 221700; 4. 江苏省农业科学院,江苏南京 210014)

摘要:为探究不同种类铁肥及其复配剂对桃树叶片缺铁性黄化病的防治效果,以紫金黄脆(金陵黄脆)为试验材料,分别于2020年秋季、2021年春季开展试验。整树叶面喷施铁肥及其复配剂(第1次喷施结束2周后喷施第2次),随后检测在第1次喷施处理21 d后桃树叶片的SPAD值和活性铁含量。结果表明,无论在春季还是秋季,叶面施用铁肥及其复配剂均可以显著提高桃树叶片的SPAD值和活性铁含量。在2020年秋季,0.5% FeSO₄、0.3% 乙二胺四乙酸铁钠(EDTA-FeNa)、0.2%和0.3%螯合氨基酸亚铁、0.5%黄腐酸铁(FA)和0.5%柠檬酸铁分别为该类型铁肥的最适溶液类型及浓度,0.3% FeSO₄+0.2% K₂SO₄+0.3% H₃BO₃为防治效果最佳的铁肥复配剂。在2021年春季,0.3% FeSO₄、0.3%和0.5% EDTA-FeNa、0.3%螯合氨基酸亚铁、0.4%和0.5%的黄腐酸铁(FA)、0.5%柠檬酸铁分别为该类型铁肥的最适溶液类型及浓度,0.3% FeSO₄+0.2% K₂SO₄+0.3%赖氨酸为防治效果最佳的铁肥复配剂。综合2年铁肥及其复配剂处理的试验数据,0.3% FeSO₄+0.2% K₂SO₄+0.3%赖氨酸处理的桃树叶片的SPAD值和活性铁含量增幅最高,防治效果最佳。

关键词:桃;缺铁性黄化病;铁肥;叶绿素;活性铁

中图分类号:S662.106 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)01-0148-07

江苏省徐州市丰县位于黄河故道地区,属黄泛

冲积平原,设施桃树面积达2 000 hm²以上^[1]。紫金黄脆(金陵黄脆)是由江苏省农业科学院育成的离核、硬质的黄肉脆桃,其果形圆整、果面光洁、短毛,相比其姐妹系金陵黄露,紫金黄脆(金陵黄脆)的含糖量更高。设施促成栽培是丰县桃栽培的一大特色,引进紫金黄脆(金陵黄脆)新品种,不仅可为丰县桃产业的发展提供品种支持,还可为建立适宜丰县乃至江苏省的紫金黄脆(金陵黄脆)新品种高效栽培技术体系提供理论依据。然而,因丰县地区土壤为沙壤土质,容易出现因缺铁导致的桃树叶

收稿日期:2022-02-20

基金项目:国家重点研发计划(编号:2019YFD1000100);江苏省科学技术厅现代农业-苏北科技专项(编号:XZ-SZ202002);江苏省“一带一路”创新合作项目(编号:BZ2019012);江苏高校优势学科建设工程;江苏桃产业技术体系-丰县推广示范基地项目(编号:JATS[2021]065)。

作者简介:王正林(1997—),男,山东淄博人,硕士研究生,从事果树栽培生理研究。E-mail:1520341233@qq.com。

通信作者:陈卫平,硕士,高级实验师,从事果树栽培生理研究。E-mail:wpchen@njau.edu.cn。

[22]梁 玮,郝文琴,石 玉,等. 不同光质下外源锌对水培生菜生长和品质的影响[J]. 北方园艺,2021(18):7-13.

[23]缪依琳. 紫茎油菜花青素的积累特性及其抗旱能力初探[D]. 杭州:浙江大学,2021.

[24]Moradi S, Kafi M, Aliniaieifard S, et al. Blue light improves photosynthetic performance and biomass partitioning toward harvestable organs in saffron (*Crocus sativus* L.)[J]. Cells,2021,10(8):1994.

[25]Park Y G, Jeong B R. How supplementary or night-interrupting low-intensity blue light affects the flower induction in *Chrysanthemum*, a qualitative short-day plant[J]. Plants (Basel,

Switzerland),2020,9(12):1694.

[26]Pandey M M, Khatoon S, Rastogi S, et al. Determination of flavonoids, polyphenols and antioxidant activity of *Tephrosia purpurea*: a seasonal study[J]. Journal of Integrative Medicine, 2016,14(6):447-455.

[27]姜 立. 橙花龙胆 DHK 底物特异性 DFR 变体基因烟草的获得[D]. 长春:长春师范大学,2021.

[28]李卫星,杨舜博,何智冲,等. 植物叶色变化机制研究进展[J]. 园艺学报,2017,44(9):1811-1824.

[29]李 涛,李运丽,李志强,等. 叶片发育影响紫罗勒花青素的强光诱导和激发能分配[J]. 植物生理学报,2014,50(5):675-682.

片黄化病。铁是植物生长发育所必需的微量营养元素之一,广泛参与植物包括光合作用、蛋白质及核酸合成等众多生理代谢过程,同时是叶绿素合成的底物。缺铁会影响叶绿素的生物合成,导致植物新叶出现黄化症状,造成植物光合作用能力下降,严重时会导致植物整株黄化,逐渐枯死^[2]。桃树出现缺铁黄化症状最终会使桃产量、品质遭受损失,从而降低经济效益。目前,施用铁肥是预防植物缺铁黄化的最简单、直接、经济的方法,但是不同类型的铁肥,效果也不尽相同。土壤中的铁主要以植物无法利用的三价铁形式存在,并且随着土壤 pH 值的升高,溶解度逐渐降低,特别是在 pH 值 >6.7 的土壤中^[3]。传统的土施铁肥有吸收效果差、用量大、无机铁肥易被碱性土壤转化成氢氧化铁等缺点^[4],而叶面施肥可以在最适的时间内精准施用,植物可以直接通过叶片吸收铁肥^[5],效率更高,而且每次的用量也较小,不仅可以节约成本,还可以避免土壤不利理化条件的影响,因而在园艺作物中被广泛应用^[6]。

本试验根据前人研究结果,选取硫酸亚铁、乙二胺四乙酸铁钠(EDTA-FeNa)、螯合氨基酸亚铁、柠檬酸铁等有机铁肥和无机铁肥,并将它们配制成不同浓度及组合的复合铁肥,研究不同浓度和类型铁肥防治桃树缺铁黄化症状的效果。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地位于江苏省徐州市丰县果树试验站,属暖温带半湿润季风气候区。供试土壤为沙壤土,基本理化性质:速效氮含量 3.315 mg/kg,速效磷含量 57.53 mg/kg,速效钾含量 376.3 mg/kg,有机质含量 20.36 g/kg,土壤 pH 值 6.93。

1.2 材料与方法

试验材料为因缺铁造成叶片出现黄化症状的三年生桃树紫金黄脆(金陵黄脆),砧木为毛桃,株行距为 1 m×2 m,树形为主干形,大棚设施促成栽培。选取 FeSO₄、EDTA-FeNa、螯合氨基酸亚铁、黄腐酸铁(FA)和柠檬酸铁等 5 种铁肥,每种铁肥设 3 个浓度梯度;同时设置 FeSO₄ + K₂SO₄、FeSO₄ + K₂SO₄ + H₃BO₃ 和 FeSO₄ + K₂SO₄ + 赖氨酸等 3 种铁肥复配剂处理。

试验分 2 次进行,第 1 次是 2020 年秋季(9 月 21 日开始),第 2 次是 2021 年春季(3 月 24 日开始)。在晴朗无风的上午,用配制好的铁肥溶液均

匀喷洒叶片,直到叶片滴水,2 周后用同样浓度的铁肥溶液重复喷施 1 次。单株处理,重复 3 次,具体试验方案见表 1。所用试剂均为分析纯级。

表 1 不同试验处理的配方

处理编号	配方
CK	清水
A ₁	0.3% FeSO ₄
A ₂	0.4% FeSO ₄
A ₃	0.5% FeSO ₄
B ₁	0.3% EDTA-FeNa
B ₂	0.4% EDTA-FeNa
B ₃	0.5% EDTA-FeNa
C ₁	0.1% 螯合氨基酸亚铁
C ₂	0.2% 螯合氨基酸亚铁
C ₃	0.3% 螯合氨基酸亚铁
D ₁	0.3% 黄腐酸铁
D ₂	0.4% 黄腐酸铁
D ₃	0.5% 黄腐酸铁
E ₁	0.3% 柠檬酸铁
E ₂	0.4% 柠檬酸铁
E ₃	0.5% 柠檬酸铁
F ₁	0.3% FeSO ₄ + 0.2% K ₂ SO ₄
F ₂	0.3% FeSO ₄ + 0.2% K ₂ SO ₄ + 0.3% H ₃ BO ₃
F ₃	0.3% FeSO ₄ + 0.2% K ₂ SO ₄ + 0.3% 赖氨酸

1.3 测定项目及方法

1.3.1 叶片叶绿素含量的测定 每株选 3 个大枝,每枝选 5 个着生位置、黄化程度基本一致的叶片并编号标记。完成第 1 次处理后,每隔 7 d 测定 1 次,总计测定 4 次。使用便携式叶绿素仪 SPAD-502,于 10:00 测定各处理叶片的 SPAD 值。每张叶片在叶尖、叶基部各取 1 个点,在叶中部取 3 个点,共 5 点,应避免测到中间主叶脉部位,每个处理重复 3 次,求平均值。由于用 SPAD-502 测得的 SPAD 值与叶绿素含量具有显著相关性,因此用 SPAD 值代表叶绿素含量。

1.3.2 叶片活性铁含量的测定 在第 1 次处理后 0、21 d 采样测定。每株选择枝条先端的 2~3 枚新展开叶片,用蒸馏水将样品洗净。用定量滤纸吸干叶片表面的水分后装入信封中,然后将样品放入烘箱内,于 105 ℃杀青 15 min,再于 80 ℃烘干至恒质量,用于后续活性铁含量的测定。活性铁含量的测定参考黄宏文的方法^[7],略有改动。将烘干至恒质量的样品磨成粉末,称取 0.10 g,放入具塞试管中,加入 10 mL 0.1 mol/L 稀 HCl 连续振荡 12 h 浸提后过

滤,用容量瓶定容至 50 mL。将定容好的溶液用 0.45 μm 水相针式过滤器过滤,装入 10 mL 离心管内,用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)测定其活性铁含量,每个处理设置 3 次生物学重复。活性铁含量计算公式:

活性铁含量(μg/g)=[测得的铁浓度(μg/mL)×定容体积(mL)]/样品干质量(g)。

1.4 数据处理

所有数据均用 Origin Pro 2020b 分析处理,用 Fisher LSD(最小显著性差异法,α=0.05)进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 FeSO₄ 处理对叶片叶绿素和活性铁含量的影响

由表 2 可以看出,在 2020 年秋季、2021 年春季,叶面喷施 3 种浓度的硫酸亚铁后,紫金黄脆(金陵黄脆)叶片的叶绿素、活性铁积累量显著增加,在

不同浓度处理之间有显著差异。在 2020 年秋季,处理后 21 d,A₃ 处理叶片的 SPAD 值和活性铁含量均最高,显著高于其他处理。与对照相比,在 3 种浓度 FeSO₄ 处理下,处理后 21 d 叶片的 SPAD 值分别增加了 95.1%(A₁ 处理)、74.0%(A₂ 处理)、120.6%(A₃ 处理),叶片的活性铁含量分别增加了 84.8%(A₁ 处理)、106.4%(A₂ 处理)、156.9%(A₃ 处理)。

由表 2 还可以看出,在 2021 年春季,A₁ 处理叶片 SPAD 值的上升速率最快,喷施后 14 d 已显著高于其他处理;处理后 21 d,A₁、A₂ 处理的叶片 SPAD 值显著高于 A₃、CK 处理。同时,处理后 21 d,A₁ 处理叶片的活性铁含量最高(593.4 μg/g),显著高于其他处理。与对照相比,在 3 种浓度 FeSO₄ 处理下,处理后 21 d 叶片的 SPAD 值分别增加了 98.9%(A₁ 处理)、88.0%(A₂ 处理)、68.6%(A₃ 处理),而活性铁含量分别增加了 199.4%(A₁ 处理)、109.8%(A₂ 处理)、81.8%(A₃ 处理)。

表 2 不同浓度 FeSO₄ 处理对叶片 SPAD 值和活性铁含量的影响

时间	编号	处理后不同时间的 SPAD 值				处理后不同时间的活性铁含量(μg/g)	
		0 d	7 d	14 d	21 d	0 d	21 d
2020 年秋季	CK	23.40±2.00a	20.73±1.23c	19.23±0.31c	17.53±0.70d	30.50±2.57a	51.26±3.00d
	A ₁	25.43±0.93a	31.60±0.85a	32.57±1.48a	34.20±1.31b	27.34±3.18a	94.74±6.33c
	A ₂	24.10±1.37a	26.47±1.05b	26.90±2.00b	30.50±1.41c	29.54±2.11a	105.80±7.43b
	A ₃	22.83±1.46a	28.67±3.01ab	31.50±5.70a	38.67±+2.51a	29.78±2.39a	131.70±1.92a
2021 年春季	CK	19.37±1.50a	21.01±3.22c	21.44±4.12d	20.42±2.43c	83.75±18.52b	198.20±11.30d
	A ₁	20.67±2.62a	36.44±1.82a	40.88±3.10a	40.61±2.90a	112.00±17.93a	593.40±11.98a
	A ₂	21.79±1.95a	34.21±3.81ab	37.63±4.70b	38.39±5.78a	116.70±12.41a	415.90±12.73b
	A ₃	20.40±2.66a	31.29±3.68b	32.93±5.37c	34.42±2.95b	113.30±20.39a	360.30±12.32c

注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

2.2 不同浓度 EDTA-FeNa 处理对叶片叶绿素、活性铁含量的影响

由表 3 可以看出,在 2020 年秋季、2021 年春季,叶面喷施 3 种浓度 EDTA-FeNa 都会使紫金黄脆(金陵黄脆)叶片的叶绿素含量和活性铁积累量显著增加,且在不同浓度处理之间有显著差异。在 2020 年秋季,B₁ 处理叶片 SPAD 值的上升速率最快,在处理后 21 d 最高,显著高于其他处理。B₃ 处理的叶片处理后 21 d 活性铁含量最高(125.50 μg/g),显著高于其他处理。与对照相比,在 3 种浓度 EDTA-FeNa 处理下,处理后 21 d 叶片的 SPAD 值分别增加了 103.5%(B₁ 处理)、77.2%(B₂ 处理)、73.8%(B₃ 处理),叶片的活性铁含量分别增加了 144.8%(B₁ 处理)、112.1%(B₂ 处理)、86.7%(B₃

处理)。

由表 3 还可以看出,在 2021 年春季,B₁ 处理的叶片 SPAD 值的上升速率最快,在处理后 21 d 显著高于 CK、B₂ 处理,B₁ 处理叶片的活性铁含量最高(337.20 μg/g),且在不同浓度处理之间无显著差异。与对照相比,在 3 种浓度 EDTA-FeNa 处理下,处理后 21 d 的叶片 SPAD 值分别提高了 118.9%(B₁ 处理)、96.3%(B₂ 处理)、108.7%(B₃ 处理),而活性铁含量则分别增加了 70.1%(B₁ 处理)、67.2%(B₂ 处理)、67.0%(B₃ 处理)。

2.3 不同浓度螯合氨基酸亚铁处理对叶片叶绿素和活性铁含量的影响

由表 4 可以看出,在 2020 年秋季、2021 年春季,叶面喷施 3 种浓度螯合氨基酸亚铁都使紫金黄

表 3 不同浓度 EDTA-FeNa 处理对叶片 SPAD 值和活性铁含量的影响

时间	编号	处理后不同时间的 SPAD 值				处理后不同时间的活性铁含量(μg/g)	
		0 d	7 d	14 d	21 d	0 d	21 d
2020 年秋季	CK	23.40 ± 2.00a	20.73 ± 1.23c	19.23 ± 0.31c	17.53 ± 0.70c	30.50 ± 2.57a	51.26 ± 3.00c
	B ₁	24.60 ± 0.62a	32.30 ± 1.41a	33.37 ± 1.01a	35.67 ± 1.44a	28.57 ± 3.47a	125.50 ± 19.60a
	B ₂	25.30 ± 1.18a	28.97 ± 0.50b	29.17 ± 0.06b	31.07 ± 0.84b	25.74 ± 2.24a	108.70 ± 13.60b
	B ₃	25.03 ± 0.29a	26.90 ± 2.40b	27.77 ± 1.79b	30.47 ± 1.32b	25.96 ± 7.29a	95.72 ± 2.66b
2021 年春季	CK	19.37 ± 1.50a	21.01 ± 3.22c	21.44 ± 4.12c	20.42 ± 2.43c	83.75 ± 18.50b	198.20 ± 11.30b
	B ₁	21.16 ± 2.76a	34.74 ± 5.14a	40.56 ± 2.50ab	44.69 ± 3.72a	114.50 ± 7.63a	337.20 ± 11.50a
	B ₂	20.58 ± 3.71a	31.27 ± 1.68b	38.48 ± 2.05b	40.08 ± 4.91b	102.20 ± 19.00ab	331.30 ± 4.80a
	B ₃	20.58 ± 2.62a	35.37 ± 2.96a	41.71 ± 2.57a	42.62 ± 2.56ab	93.33 ± 16.50b	331.00 ± 10.20a

脆(金陵黄脆)叶片的叶绿素含量、活性铁积累量显著增加,且在不同浓度之间差异显著。在 2020 年秋季,处理后 21 d,C₂ 处理叶片的 SPAD 值最高,但与 C₁ 处理相比差异不显著,C₂ 处理叶片的活性铁含量最高,显著高于 C₁ 处理、CK。与对照相比,在 3 种螯合氨基酸亚铁浓度处理下,处理后 21 d 叶片的 SPAD 值分别增加了 68.7% (C₁ 处理)、79.5% (C₂ 处理)、74.6% (C₃ 处理),而活性铁含量则分别增加了 85.2% (C₁ 处理)、164.9% (C₂ 处理)、140.1% (C₃ 处理)。

由表 4 还可以看出,在 2021 年春季,C₂ 处理叶片的 SPAD 值上升速率最快,从处理后 14 d 开始显著高于 C₃ 和 CK 处理。在处理后 21 d,C₁ 处理叶片的活性铁含量最高(321.5 μg/g)。与对照相比,在 3 种浓度螯合氨基酸亚铁处理下,处理后 21 d 叶片的 SPAD 值分别增加了 85.8% (C₁ 处理)、86.6% (C₂ 处理)、63.7% (C₃ 处理),而活性铁含量则分别增加了 62.2% (C₁ 处理)、25.3% (C₂ 处理)、59.7% (C₃ 处理)。

表 4 不同浓度螯合氨基酸亚铁处理对叶片 SPAD 值、活性铁含量的影响

时间	编号	处理后不同时间的 SPAD 值				处理后不同时间的活性铁含量(μg/g)	
		0 d	7 d	14 d	21 d	0 d	21 d
2020 年秋季	CK	23.40 ± 2.00a	20.73 ± 1.23b	19.23 ± 0.31c	17.53 ± 0.70b	30.50 ± 2.57a	51.26 ± 3.00c
	C ₁	22.50 ± 2.08a	24.90 ± 0.78a	27.80 ± 2.26b	29.57 ± 2.84a	28.85 ± 1.96a	94.91 ± 10.40b
	C ₂	24.77 ± 0.55a	27.77 ± 1.50a	30.83 ± 0.15a	31.47 ± 0.65a	30.50 ± 6.22a	135.80 ± 16.60a
	C ₃	24.07 ± 2.05a	26.57 ± 1.19a	28.20 ± 0.87ab	30.60 ± 3.86a	29.85 ± 5.94a	123.10 ± 10.50a
2021 年春季	CK	19.37 ± 1.50a	21.01 ± 3.22c	21.44 ± 4.12c	20.42 ± 2.43c	83.75 ± 18.50ab	198.20 ± 11.30c
	C ₁	21.08 ± 1.45a	30.43 ± 4.18ab	34.60 ± 3.22ab	37.94 ± 3.06a	98.72 ± 16.90a	321.50 ± 11.20a
	C ₂	20.61 ± 1.67a	33.06 ± 4.17a	36.50 ± 4.46a	38.10 ± 2.85a	67.25 ± 19.60b	248.40 ± 11.10b
	C ₃	20.17 ± 2.78a	29.51 ± 2.99b	32.23 ± 2.52b	33.43 ± 1.90b	99.94 ± 19.20a	316.60 ± 9.10a

2.4 不同浓度黄腐酸铁处理对叶片叶绿素和活性铁含量的影响

由表 5 可以看出,在 2020 年秋季、2021 年春季,叶面喷施 3 种浓度黄腐酸铁都会使紫金黄脆(金陵黄脆)叶片的叶绿素含量和活性铁积累量显著增加,且在不同浓度处理之间差异显著。在 2020 年秋季,D₁ 处理叶片的 SPAD 值增加得最快,在处理后 21 d 最高,但与 D₂、D₃ 处理间差异不显著。在处理后 21 d,D₃ 处理叶片的活性铁含量最高(123.40 μg/g)。与对照相比,在 3 种浓度黄腐酸铁

处理下,处理后 21 d 叶片的 SPAD 值分别增加了 81.8% (D₁ 处理)、69.0% (D₂ 处理)、72.7% (D₃ 处理),活性铁含量则分别增加了 77.0% (D₁ 处理)、108.9% (D₂ 处理)、140.7% (D₃ 处理)。

由表 5 还可以看出,在 2021 年春季,处理后 21 d 的 D₁ 处理、D₂ 处理和 D₃ 处理叶片的 SPAD 值基本上表现为同步增加,在处理后 21 d,D₂ 处理的 SPAD 值最高。在处理后 21 d,D₂ 处理叶片的活性铁含量最高(284.30 μg/g),显著高于 D₁、CK 处理。与对照相比,在 3 种浓度黄腐酸铁处理下,处理后

21 d 叶片的 SPAD 值分别增加了 45.3% (D₁ 处理)、51.5% (D₂ 处理)、40.4% (D₃ 处理),而活性铁含量则分别增加了 43.4% (D₂ 处理)、32.4% (D₃ 处理)、D₁ 处理则减少了 10.8%。

表 5 不同浓度黄腐酸铁处理对叶片 SPAD 值和活性铁含量的影响

时间	编号	处理后不同时间的 SPAD 值				处理后不同时间的活性铁含量(μg/g)	
		0 d	7 d	14 d	21 d	0 d	21 d
2020 年秋季	CK	23.40 ± 2.00a	20.73 ± 1.23b	19.23 ± 0.31c	17.53 ± 0.70b	30.50 ± 2.57a	51.26 ± 3.00d
	D ₁	23.93 ± 1.67a	26.20 ± 1.56a	31.63 ± 0.75a	31.87 ± 2.04a	30.40 ± 1.62a	90.74 ± 2.77c
	D ₂	24.67 ± 1.81a	26.80 ± 0.98a	27.83 ± 1.55b	29.63 ± 0.76a	33.15 ± 6.53a	107.10 ± 19.10b
	D ₃	24.93 ± 0.81a	26.77 ± 0.65a	29.20 ± 2.72ab	30.27 ± 2.76a	27.36 ± 9.40a	123.40 ± 7.47a
2021 年春季	CK	19.37 ± 1.50a	21.01 ± 3.22b	21.44 ± 4.12b	20.42 ± 2.43b	83.75 ± 18.50ab	198.20 ± 11.30b
	D ₁	19.32 ± 3.47a	28.08 ± 5.74a	28.81 ± 2.58a	29.68 ± 5.74a	65.88 ± 16.70a	176.70 ± 12.80b
	D ₂	21.59 ± 2.39a	28.82 ± 3.33a	30.30 ± 2.92a	30.93 ± 3.26a	59.26 ± 20.80b	284.30 ± 10.20a
	D ₃	21.27 ± 2.48a	25.82 ± 3.09a	28.19 ± 2.88b	28.67 ± 2.30a	89.22 ± 17.20a	262.40 ± 10.60a

2.5 不同浓度柠檬酸铁处理对叶片叶绿素和活性铁含量的影响

由表 6 可以看出,在 2020 年秋季、2021 年春季,叶面喷施 3 种浓度柠檬酸铁都能使紫金黄脆(金陵黄脆)叶片的叶绿素含量和活性铁积累量显著增加,并且在不同浓度处理之间差异显著。在 2020 年秋季,处理后 21 d,E₁ 处理叶片的 SPAD 值最高,显著高于 CK、E₂ 处理,E₃ 处理叶片的活性铁含量最高(121.80 μg/g),显著高于 CK、E₁ 处理。与对照相比,在 3 种浓度柠檬酸铁处理下,处理后 21 d 叶片的 SPAD 值分别增加了 113.2% (E₁ 处理)、79.9% (E₂ 处理)、100.2% (E₃ 处理),活性铁

含量则分别增加了 88.8% (E₁ 处理)、124.2% (E₂ 处理)、137.6% (E₃ 处理)。

由表 6 还可以看出,2021 年春季,E₃ 处理叶片的 SPAD 值上升得最快,从处理后 7 d 开始便显著高于 E₂ 和 CK 处理。处理后 21 d,E₁ 处理叶片的活性铁含量最高(525.70 μg/g),显著高于其他处理。与对照相比,在 3 种浓度柠檬酸铁处理下,处理后 21 d 叶片的 SPAD 值分别增加了 95.4% (E₁ 处理)、73.2% (E₂ 处理)、115.1% (E₃ 处理),活性铁含量则分别增加了 165.2% (E₁ 处理)、96.3% (E₂ 处理)、148.5% (E₃ 处理)。

表 6 不同浓度柠檬酸铁处理对叶片 SPAD 值、活性铁含量的影响

时间	编号	处理后不同时间的 SPAD 值				处理后不同时间的活性铁含量(μg/g)	
		0 d	7 d	14 d	21 d	0 d	21 d
2020 年秋季	CK	23.40 ± 2.00a	20.73 ± 1.23c	19.23 ± 0.31c	17.53 ± 0.70c	30.50 ± 2.57a	51.26 ± 3.00c
	E ₁	26.73 ± 1.40a	32.20 ± 2.08a	35.47 ± 3.51a	37.37 ± 3.82a	23.72 ± 5.82a	96.78 ± 9.21b
	E ₂	24.87 ± 1.33a	27.00 ± 1.41b	28.73 ± 0.81b	31.53 ± 0.86b	32.42 ± 2.76a	114.90 ± 29.60ab
	E ₃	24.73 ± 1.69a	29.87 ± 2.49ab	32.43 ± 2.87a	35.10 ± 3.60ab	31.93 ± 0.31a	121.80 ± 23.10a
2021 年春季	CK	19.37 ± 1.50a	21.01 ± 3.22c	21.44 ± 4.12c	20.42 ± 2.43d	83.75 ± 18.50a	198.20 ± 11.30d
	E ₁	19.87 ± 3.80a	36.49 ± 4.19a	38.73 ± 3.77a	39.90 ± 3.53b	65.14 ± 19.30a	525.70 ± 10.70a
	E ₂	19.90 ± 3.89a	32.79 ± 3.96b	35.48 ± 1.63b	35.37 ± 2.85c	84.49 ± 16.70a	389.10 ± 12.10c
	E ₃	21.72 ± 1.78a	39.31 ± 5.27a	41.68 ± 2.78a	43.93 ± 2.46a	62.94 ± 19.00a	492.50 ± 12.00b

2.6 不同类型铁肥复配剂处理对叶片叶绿素和活性铁含量的影响

由表 7 可以看出,在 2020 年秋季、2021 年春季,叶面喷施 3 种铁肥复配剂都使得紫金黄脆(金陵黄脆)叶片的叶绿素含量和活性铁积累量显著增加,且在不同复配剂之间差异显著。在 2020 年秋季,处理后 21 d,F₁ 处理叶片的 SPAD 值最高,显著

高于 CK,F₂ 处理叶片的活性铁含量最高(141.80 μg/g),显著高于 F₁、CK 处理。在 3 种铁肥复配剂处理下,处理后 21 d 叶片的 SPAD 值分别增加了 131.4% (F₁ 处理)、126.1% (F₂ 处理)、115.2% (F₃ 处理),活性铁含量则分别增加了 105.2% (F₁ 处理)、176.6% (F₂ 处理)、143.3% (F₃ 处理)。

由表 7 还可以看出,2021 年春季,F₃ 处理叶片的 SPAD 值上升得最快,在处理后 21 d 最高,显著高于 F₂ 和 CK 处理。F₂ 处理叶片的活性铁含量最高(692.70 μg/g),显著高于 F₃ 和 CK 处理。与对照相比,在 3 种铁肥复配剂处理下,处理后 21 d 叶片的 SPAD 值分别增加了 84.4% (F₁ 处理)、80.1% (F₂ 处理)、99.7% (F₃ 处理),活性铁含量则分别增加了 221.8% (F₁ 处理)、249.5% (F₂ 处理)、203.5% (F₃ 处理)。

表 7 不同类型铁肥复配剂处理对叶片 SPAD 值和活性铁含量的影响

时间	编号	处理后不同时间的 SPAD 值				处理后不同时间的活性铁含量(μg/g)	
		0 d	7 d	14 d	21 d	0 d	21 d
2020 年秋季	CK	23.40 ± 2.00a	20.73 ± 1.23b	19.23 ± 0.31b	17.53 ± 0.70b	30.50 ± 2.57a	51.26 ± 3.00c
	F ₁	22.13 ± 2.32a	27.53 ± 1.70a	30.43 ± 2.31a	40.57 ± 1.14a	26.17 ± 7.03a	105.20 ± 19.40b
	F ₂	22.33 ± 4.74a	28.13 ± 2.81a	31.53 ± 1.12a	39.63 ± 3.96a	27.29 ± 8.90a	141.80 ± 13.50a
	F ₃	24.70 ± 5.62a	24.57 ± 4.09ab	30.93 ± 5.54a	37.73 ± 5.64a	33.63 ± 4.39a	124.70 ± 27.90ab
2021 年春季	CK	19.37 ± 1.50a	21.01 ± 3.22b	21.44 ± 4.12c	20.42 ± 2.43c	83.75 ± 18.50a	198.20 ± 11.30c
	F ₁	21.52 ± 2.71a	33.13 ± 4.21a	36.08 ± 5.26b	37.66 ± 4.77ab	88.15 ± 20.60a	637.90 ± 49.00ab
	F ₂	21.31 ± 1.71a	33.58 ± 3.03a	35.87 ± 5.12b	36.78 ± 3.03b	90.83 ± 16.50a	692.70 ± 50.00a
	F ₃	21.74 ± 1.89a	35.94 ± 7.21a	40.10 ± 4.03a	40.77 ± 3.38a	60.40 ± 18.70a	601.60 ± 99.70b

2.7 铁肥及其复配剂对紫金黄脆(金陵黄脆)叶片 SPAD 值与活性铁含量的影响

由表 8 可以看出,在 2020 年秋季,F₂ 处理叶片的 SPAD 值与活性铁含量增长率均最高,防治效果最佳。

由表 8 还可以看出,在 2021 年春季,F₃ 处理叶片的活性铁含量增长率最高,E₁ 处理、F₁ 处理和 F₂ 处理其次,彼此之间差异不显著。B₁ 处理叶片的 SPAD 值增长率也处于最高水平。综合来看,F₃ 处理的防治效果最佳。

表 8 铁肥及其复配剂处理对叶片 SPAD 值和活性铁含量的影响

处理编号	2020 年处理后 21 d 增长率(%)		2021 年处理后 21 d 增长率(%)	
	SPAD 值	活性铁含量	SPAD 值	活性铁含量
CK	-0.25 ± 0.10e	0.69 ± 0.20f	0.06 ± 0.20j	1.42 ± 0.40i
A ₁	0.35 ± 0.10cd	2.51 ± 0.60cde	0.99 ± 0.30abcde	4.37 ± 0.70defg
A ₂	0.27 ± 0.00d	2.59 ± 0.30cde	0.76 ± 0.20efg	2.58 ± 0.30ghi
A ₃	0.70 ± 0.20ab	3.44 ± 0.30abcd	0.72 ± 0.30efg	2.23 ± 0.40ghi
B ₁	0.45 ± 0.10bcd	2.38 ± 0.40de	1.14 ± 0.30a	1.95 ± 0.10hi
B ₂	0.23 ± 0.00d	3.22 ± 0.30abcde	0.98 ± 0.30abcde	2.31 ± 0.50ghi
B ₃	0.22 ± 0.10d	4.04 ± 1.40ab	1.09 ± 0.20ab	2.60 ± 0.50ghi
C ₁	0.32 ± 0.10cd	2.29 ± 0.20de	0.81 ± 0.20cdefg	2.30 ± 0.40ghi
C ₂	0.27 ± 0.00d	3.53 ± 0.80abcd	0.86 ± 0.30bcdef	2.86 ± 0.80fghi
C ₃	0.28 ± 0.20d	3.26 ± 1.00abcde	0.69 ± 0.30fgh	2.23 ± 0.50ghi
D ₁	0.33 ± 0.00cd	1.99 ± 0.20ef	0.57 ± 0.40ghi	1.76 ± 0.50i
D ₂	0.21 ± 0.10d	2.31 ± 0.80de	0.45 ± 0.20hi	4.11 ± 1.40efgh
D ₃	0.22 ± 0.20d	3.81 ± 1.30abc	0.36 ± 0.20i	2.02 ± 0.60hi
E ₁	0.40 ± 0.10bcd	3.22 ± 0.90abcde	1.07 ± 0.40abc	7.48 ± 2.10b
E ₂	0.27 ± 0.10d	2.52 ± 0.70cde	0.87 ± 0.60abcdef	4.95 ± 0.90cdef
E ₃	0.42 ± 0.10bcd	2.82 ± 0.70bcde	1.04 ± 0.30abcd	5.49 ± 1.50bcde
F ₁	0.84 ± 0.20a	3.18 ± 1.10abcde	0.79 ± 0.40defg	6.55 ± 2.00bcd
F ₂	0.85 ± 0.50a	4.53 ± 1.70a	0.73 ± 0.20efg	6.78 ± 1.40bc
F ₃	0.60 ± 0.50abc	2.75 ± 0.90bcde	0.89 ± 0.30abcdef	9.70 ± 3.80a

3 讨论

3.1 铁肥及其复配剂对桃树缺铁黄化叶片 SPAD 值的影响

幼叶的叶脉间失绿、叶绿素浓度低是缺铁的典型特征,根、茎、叶的生长也会受到限制^[8]。铁肥防治试验结果显示,无论是在春季还是秋季,所有铁肥及其复配剂处理的桃树叶片的 SPAD 值均较 CK 显著提高,都可以在一定程度上改善紫金黄脆(金陵黄脆)缺铁导致的黄化病,其中秋季 0.3% FeSO_4 + 0.2% K_2SO_4 + 0.3% H_3BO_3 处理的叶片 SPAD 值增长率最高,其次为 0.3% FeSO_4 + 0.2% K_2SO_4 处理;春季 0.3% EDTA - FeNa 处理叶片的 SPAD 值增长率最高,其次为 0.5% 柠檬酸铁处理。岳海英等通过设施桃树采后黄叶病防治试验发现,柠檬酸铁等铁肥均能显著提高叶片的 SPAD 值^[9],本研究结果与其一致,但是在不同季节,防治效果最佳的铁肥类型及浓度存在差异,在秋季 0.5% FeSO_4 处理 21 d 后叶片的 SPAD 值显著高于其他 2 个浓度,然而在春季 0.3% FeSO_4 处理 21 d 后叶片的 SPAD 值最高,且显著高于 0.5% FeSO_4 处理。徐晓燕等研究发现,黄腐酸铁处理的叶片 SPAD 值明显高于 FeSO_4 处理^[10],本研究结果与其存在差异,在春季、秋季黄腐酸铁处理 21 d 后,叶片的 SPAD 值明显低于 FeSO_4 。有报道指出,分子量小的化合物更易于被叶片吸收^[11]。表明铁肥防治缺铁黄化病的效果可能因浓度、处理时间和环境条件及果树栽培品种的不同而不同。

3.2 铁肥及其复配剂对桃树缺铁黄化叶片活性铁含量的影响

对试验地的土壤理化分析结果表明,土壤 pH 值偏高,降低了土壤有效铁含量,不利于桃树对铁的吸收。邹春琴认为,活性铁含量比全铁含量更能代表植物的铁营养状况,植物黄化叶片的活性铁含量通常较低^[12]。本研究测定了铁肥及其复配剂处理 21 d 后桃树叶片的活性铁含量,结果显示,在秋季,除 0.3% 黄腐酸铁处理,其他铁肥处理相较于 CK 均显著增加了叶片的活性铁含量,其中秋季 0.3% FeSO_4 + 0.2% K_2SO_4 + 0.3% H_3BO_3 处理叶片的活性铁含量增长率最高,0.5% EDTA - FeNa 处理其次;春季 0.3% FeSO_4 + 0.2% K_2SO_4 + 0.3% 赖氨酸处理的叶片活性铁含量增长率最高,0.3% 柠檬酸铁处理其次。Abadia 等研究发现,用螯合形式

的铁肥进行叶面喷施的效果不好^[13],本研究结果与其相符,在春季用柠檬酸铁处理叶片时,活性铁含量增长率明显高于 EDTA - FeNa 和螯合氨基酸亚铁处理,可能由于螯合态的铁肥被叶片吸收后不能被直接利用,需要进一步还原成有效态铁,同时与其铁浓度较低也存在一定的相关性。

4 结论

叶面喷施铁肥及其复配剂对防治紫金黄脆(金陵黄脆)叶片缺铁性黄化病有良好效果,0.3% FeSO_4 + 0.2% K_2SO_4 + 0.3% 赖氨酸处理的桃树叶片 SPAD 值和活性铁含量的提高值最高,防治效果最佳。本研究为建立适宜丰县乃至江苏省地区的紫金黄脆(金陵黄脆)等桃树新品种叶片缺铁性黄化病的有效防治提供了方法。

参考文献:

- [1] 仇美华,郭德杰,马 艳,等. 沙性土壤设施桃树减肥增效技术研究[J]. 中国农学通报,2021,37(17):58-64.
- [2] 张妮娜,上官周平,陈 娟. 植物应答缺铁胁迫的分子生理机制及其调控[J]. 植物营养与肥料学报,2018,24(5):1365-1377.
- [3] Abadia J, Vázquez S, Rellán-Alvarez R, et al. Towards a knowledge-based correction of iron chlorosis [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2011, 49(5):471-482.
- [4] 肖 艳,李燕婷,曹一平. 不同铁制剂与施用方法对矫正花生缺铁黄化症的效果[J]. 土壤肥料,2003(5):21-25,28.
- [5] Fernández V, Orera I, Abadía J, et al. Foliar iron-fertilisation of fruit trees: present knowledge and future perspectives: a review [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2009, 84(1):1-6.
- [6] 汪家铭. 叶面肥开发应用前景广阔[J]. 上海化工, 1999(13):42.
- [7] 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.
- [8] 卢明艳,闫兴凯,王 强,等. 梨缺铁性黄化病研究进展[J]. 农业与技术, 2021, 41(18):35-38.
- [9] 岳海英,冯学梅,黄 岳,等. 设施桃树采后黄叶病防治试验研究[J]. 吉林农业, 2019(5):65,71.
- [10] 徐晓燕,陆 欣,王宏燕. 黄腐酸铁防治果树缺铁黄化病的研究[J]. 山西农业大学学报, 1994(2):198-200,217.
- [11] Schönherr J. Cuticular penetration of calcium salts: effects of humidity, anions, and adjuvants [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2001, 164(2):225-231.
- [12] 邹春琴. 活性铁作为植物铁营养状况诊断指标的相关研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(4):399.
- [13] Abadia J, Alvarez-Fernandez A, Morales F et al. Correction of iron chlorosis by foliar sprays [C]//International Symposium on Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants. Merano, Italy, 2002:115-121.