

doi:10.11937/bfyy.20172227

## 叶面喷施铁、锌肥对黄土丘陵区 “梨枣”抗氧化性的影响

叶胜兰, 雷光宇

(陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司,  
国土资源部退化及未利用土地整治重点实验室, 陕西 西安 710075)

**摘要:**选择长势均一、生长良好的8年生山地矮化密植“梨枣”为研究对象,设置不同浓度铁、锌微肥处理对“梨枣”叶片进行叶面喷施,分析了“梨枣”中维生素C、总黄酮含量、酶含量的变化以及“梨枣”的不同浓度多酚对羟基自由基、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH·)及过氧化氢的清除率,以探索铁、锌肥对黄土丘陵区“梨枣”抗氧化性的影响。结果表明:不同处理影响“梨枣”中维生素C含量,并显著提高了总黄酮含量,其中以0.6%  $\text{FeSO}_4 + 0.3\% \text{ZnSO}_4$  (L3)处理的含量最高,达到 $2.86 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $3.02 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,分别较CK提高了21.8%和105.4%,且均与CK达到显著差异( $P < 0.05$ )。不同施肥处理有效降低枣果中抗坏血酸氧化酶及多酚氧化酶的活性。0.6%  $\text{FeSO}_4 + 0.3\% \text{ZnSO}_4$ 处理的抗坏血酸氧化酶活性表现最低,为氧化抗坏血酸 $0.069 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FW}$ ,较CK降低了75.1%;多酚氧化酶活性以L3处理的多酚氧化酶活性表现最低,为氧化抗坏血酸 $0.146 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FW}$ ,较CK降低了42.0%。不同处理“梨枣”的多酚能有效清除羟基自由基、DPPH·以及过氧化氢,其中以L3处理的效果最为显著,抗氧化性效果最优。

**关键词:**“梨枣”;铁、锌肥;多酚;抗氧化性

**中图分类号:**S 661.206<sup>+</sup>.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)24-0048-06

植物在生长过程中需要大量的营养元素,对氮、磷、钾等的需求量相对较大,但微量元素和稀土元素在提高作物品质等方面也是不可或缺的<sup>[1]</sup>。虽然植物对微量元素的需要量很少,但微量元素对植物生长发育的作用与大量元素是同等重要的。微量元素作为动植物所必需的一类营养元素,直接参与机体的各项生命活动。铁、锌元素是需求量最大的两类微量元素<sup>[2-3]</sup>,参与生命活动中重要的生化反应,还是许多功能蛋白的组成成分<sup>[4]</sup>。有研究表明<sup>[5-6]</sup>,存在植物体内的含铁螯合物主要是柠檬酸、烟酰胺和麦根酸类物质。

试验区在陕西省榆林市米脂县孟岔村山地红枣试验基地进行。该地属于典型的黄土丘陵沟壑区,其土壤侵蚀和土地沙化现象严重,植被稀少,水土流失严重,生态环境极其脆弱。而枣树的抗逆性强,对环境条件要求较低能在其它果树难以生长的恶劣生态区定植并可形成数万公顷的连片林带和林区。枣(*Zizyphus jujuba* Mill.)属鼠李科(Rhamnaceae)枣属(*Zizyphus* Mill.)植物<sup>[7]</sup>,枣的种类繁多,其中“梨枣”属于鲜食枣,营养丰富,具有保健作用<sup>[8]</sup>,且枣的药用价值已经得到广泛的研究。鲜枣的适口性强且营养丰富,研究表明,枣果实中维生素C含量达到每百克鲜枣含维生素C 3 000~8 000 mg<sup>[9]</sup>;苟茜等<sup>[10]</sup>研究发现,“灵武长枣”果实中含有丰富的奎宁酸、可溶性糖、多种矿质元素及环核苷酸等。红枣中多糖具有清

**第一作者简介:**叶胜兰(1986-),女,硕士,研究方向为植物营养及土地整治。E-mail:552769044@qq.com.

**基金项目:**陕西省自然科学基金资助项目(2016KCT-23)。

**收稿日期:**2017-07-24

除人体内氧自由基的功能,其活性大小与糖的含量正相关<sup>[11]</sup>;红枣具有中枢抑制作用,枣中的柚皮素-C-糖甙类具有引起僵住症的作用,还具有保肝抑菌、抗变态抗肿瘤等作用<sup>[12]</sup>。这些功能与其含有的环磷酸腺苷、儿茶酚等多酚类物质密切相关<sup>[13-14]</sup>。多酚类化合物,是指分子结构中有若干个酚性羟基的植物成分的总称,包括苯酚酸和黄酮类化合物。多酚类化合物都有一定的抗氧化能力,不少制品已列入天然抗氧化剂范畴,是优良的氢或电子的给予体,对能产生过氧化作用而导致结构和功能损伤的超氧阴离子和羟自由基等自由基有明显的清除作用。有研究发现<sup>[15]</sup>,枣的果皮、果肉及果核等组织中含有不同量的多酚物质及总黄酮,而抗氧化活性与总酚含量和总黄酮含量呈正相关关系。铁锌对植物的次生代谢有重要作用,锌参与谷氨酸脱氢酶、乙醇脱氢酶等的活化,而铁是过氧化物酶、过氧化氢酶等的组分,这些都是植物进行次生代谢如抗氧化等的重要物质;目前在黄土高原丘陵沟壑区已大面积种植矮化密植枣树,要达到高产优质的目的,对施肥也有

了独特的要求。因此,该试验通过研究施用不同浓度铁、锌微肥,比较得出不同处理“梨枣”的抗氧化性功能。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在陕西省榆林市米脂县孟岔村山地红枣试验基地进行。试验地年均降雨量 451.6 mm。试验地土壤以黄绵土为主,较为贫瘠。试验期滴灌灌水定额为  $135 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ,2012 年在 5 月 15 日和 6 月 10 日各灌水一次。土壤的基本物理质见表 1。土壤 pH 8.6,容重为  $1.21 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,土壤养分除了速效钾( $101.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )为中等等级外,碱解氮( $34.73 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、有机质( $2.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )、速效磷( $2.90 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )均为很低等级。且土壤中出现微量元素亏损现象<sup>[16]</sup>,土壤中有有效铁含量为  $6.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效锌含量为  $0.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效锰含量为  $5.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效铜含量为  $0.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表 1 供试土壤基础物理特性

Table 1 Basic physical characteristics of the experimental soil %				
土层 Layers/cm	砂粒 Sand(1.000~0.050 mm)	粉砂粒 Fine sand(0.050~0.001 mm)	粘粒 Clay(<0.001 mm)	物理性粘粒 Physical clay(<0.010 mm)
0~20	27.67	68.98	2.51	17.70
20~40	29.17	68.19	2.44	16.46
40~60	31.22	65.75	2.46	16.07

### 1.2 试验材料

选择长势均一、生长良好的 8 年生山地矮化密植“梨枣”(Zizyphus jujuba Mill. cv. ‘Lizao’)为研究对象。

### 1.3 试验方法

滴灌条件下基施 N、P、K,同时叶面喷施不同浓度铁锌肥。在萌芽展叶期根施基肥 1/2 尿素( $237.5 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ )、过磷酸钙( $2273 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ )和硫酸钾( $245 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ ),于果实膨大期追施 1/2 尿素。在萌芽展叶期按表 2 施铁、锌肥,喷施量为  $4 \text{ L} \cdot \text{株}^{-1}$ ,间隔 10 d 喷施 3 次。每处理 5 次重复,每棵试验树两旁选择保护树,小区面积约  $500 \text{ m}^2$ 。

表 2 枣树施肥设计方案

Table 2 Trial treatment of fertilization on jujube tree %					
处理 Treatment	CK	L1	L2	L3	L4
FeSO <sub>4</sub>	0	0.3	0.3	0.6	0.6
ZnSO <sub>4</sub>	0	0.3	0.6	0.3	0.6

### 1.4 项目测定

维生素 C 氧化酶及多酚氧化酶活性的测定参照高俊凤<sup>[17]</sup>的方法:在酶液提取时注意保持样品的新鲜以及保证整个过程在低温下进行;总黄酮含量的测定采用亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠显色法<sup>[18-20]</sup>。测定主要包括:样品提取(超声波提取)、标准曲线的制备和样品的测定;多酚提取流程<sup>[21]</sup>:枣粉碎称重加入乙醇超声提取离心分离上清液浓缩定容测定总多酚含量;总酚含量的测定

采用 Folin-Ciocalteu 比色法<sup>[22]</sup>。

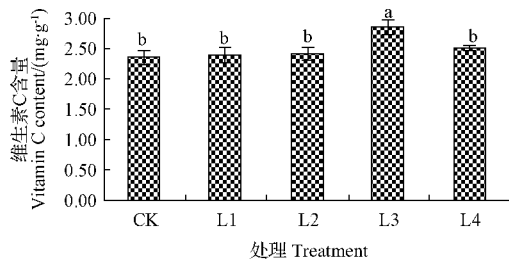
### 1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 软件整理计算试验数据,利用 SPSS 17.0 软件进行显著性差异检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 铁、锌肥处理对“梨枣”维生素 C 含量的影响

维生素 C 是衡量“梨枣”内在品质的重要指标。维生素 C 是很强的抗氧化剂,维生素 C 抗氧化活性占红枣抗氧化活性的 52.62%<sup>[23]</sup>,是红枣延缓衰老、预防心脑血管疾病等作用的主要成分之一。由图 1 可以看出,不同施肥处理提高了“梨枣”果实中维生素 C 含量;在叶面喷施的情况下,高浓度的铁利于维生素 C 的增加;不同施肥处理“梨枣”中维生素 C 含量表现为  $L3 > L4 > L2 > L1 > CK$ 。在施肥处理中, L3 处理的维生素 C 含量达到最大,为  $2.86 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,较 CK 提高了 21.8%,且与 CK 达到显著差异( $P < 0.05$ )。其它施肥处理维生素 C 含量均大于 CK,但差异不显著。



注:不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平。以下同。

Note: Different lowercase letters between treatments mean significant difference at 5% level. The same below.

图 1 不同施肥处理对“梨枣”维生素 C 含量的影响

Fig. 1 Effect of different fertilizer treatments on vitamin C content of 'pear-jujube'

### 2.2 铁、锌肥处理对“梨枣”总黄酮含量的影响

总黄酮是指黄酮类化合物,是一大类天然产物。黄酮类化合物能增进人体内维生素 C 的作用,具有清除自由基、防止血管硬化、增强血管弹性、延缓衰老、预防并治疗心脑血管疾病、降血压、降低血脂等重要作用。红枣中含有多种医疗保健物质,其中重要的一种是芦丁成分。由图 2 可知,

不同施肥处理显著提高“梨枣”总黄酮含量;不同铁锌施肥处理间的总黄酮含量差异显著,其中 L3 处理的总黄酮含量最高,达到  $3.02 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,比 CK 提高了 105.4%,且与 CK 达到显著差异( $P < 0.05$ )。不同施肥处理“梨枣”总黄酮含量大小为  $L3 > L4 > L2 > L1 > CK$ 。总体上,不同施肥处理均有效的提高了“梨枣”总黄酮含量,其中以 L3 处理的效果最为显著。

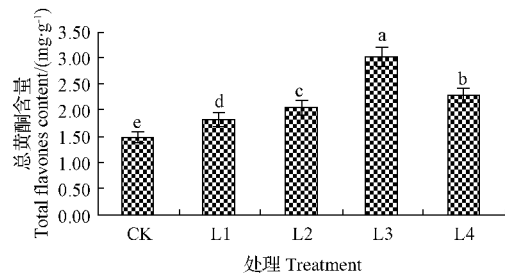


图 2 不同施肥处理对“梨枣”总黄酮含量的影响

Fig. 2 Effect of different fertilizer treatments on total flavones content of 'pear-jujube'

### 2.3 不同铁、锌施肥对“梨枣”酶含量的影响

由图 3 可知,微肥处理对“梨枣”抗坏血酸氧化酶及多酚氧化酶的活性有显著的影响。施肥处理能有效降低“梨枣”抗坏血酸氧化酶及多酚氧化酶的活性,但二者间的变化趋势有一定差异;不同处理抗坏血酸氧化酶活性表现为  $CK > L2 > L1 > L3 > L4$ , L4 处理的抗坏血酸氧化酶活性表现最低,为氧化抗坏血酸  $0.069 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FW}$ ,其次是 L3 处理,为氧化抗坏血酸  $0.141 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FW}$ ,分别较 CK 降低了 75.1% 和 48.9%,且与 CK 达到显著差异( $P < 0.05$ )。不同处理“梨枣”多酚氧化酶活性较 CK

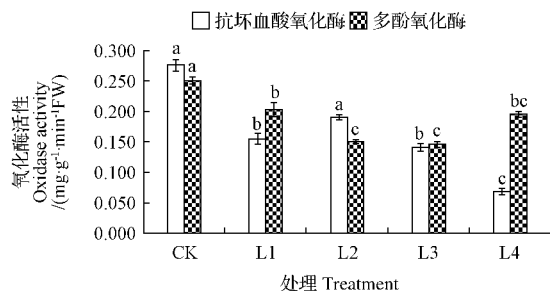


图 3 不同施肥处理对“梨枣”酶活性的影响

Fig. 3 Effect of different fertilizer treatments on oxidase activity of 'pear-jujube'

均有所下降。其中以 L3 处理的多酚氧化酶活性表现最低,为氧化抗坏血酸  $0.146 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FW}$ ,其次是 L2 处理,为氧化抗坏血酸  $0.151 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FW}$ ,分别较 CK 降低了 42.0%和 40.0%,且与 CK 达到显著差异( $P < 0.05$ ),但处理间差异不显著。综合考虑,能同时有效降低抗坏血酸氧化酶活性及多酚氧化酶活性的处理为 L3,且与 CK 差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.4 不同铁、锌处理“梨枣”多酚的抗氧化特性

### 2.4.1 不同铁、锌处理“梨枣”多酚对羟基自由基的清除能力

由图 4 可知,不同处理“梨枣”多酚对羟基自由基的清除率随着浓度的增大而增强。在浓度达到  $1.0 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  时,不同处理“梨枣”多酚对羟基自由基的清除率趋于平稳状态,且基本在  $1.2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  处清除率达到最大。以 L3 处理的“梨枣”多酚对羟基自由基的清除率达到最大,当浓度在  $1.2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  时,清除率达到 92.99%;其次是 L4 处理,达到了 85.36%。且各不同施肥处理“梨枣”多酚对羟基自由基的清除率均高于 CK。

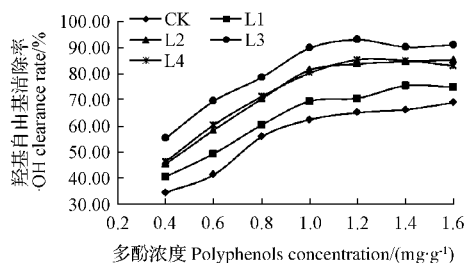


图 4 不同处理“梨枣”多酚对羟基自由基的清除能力

Fig. 4 Scavenging effect of different treatments on  $\cdot \text{OH}$  of 'pear-jujube'

### 2.4.2 不同铁、锌处理“梨枣”多酚对 DPPH· 的清除能力

由图 5 可以看出,不同处理“梨枣”多酚对 DPPH· 的清除率随着浓度的增大而增强,且在  $0.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  处出现转折点。当浓度低于  $0.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  时,“梨枣”多酚对 DPPH· 的清除率基本呈直线增强,而当浓度大于  $0.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  时,“梨枣”多酚对 DPPH· 的清除率增加缓慢趋于稳定状态。各处理“梨枣”多酚对 DPPH· 的清除率大小依次为  $\text{L3} > \text{L4} > \text{L2} > \text{L1} > \text{CK}$ 。各施肥处理“梨枣”多酚对 DPPH· 的清除率显著高于

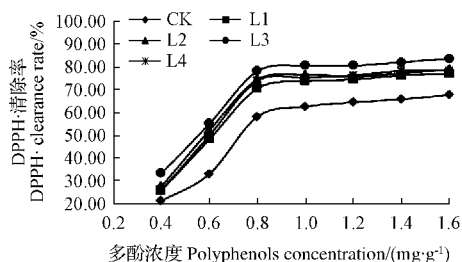


图 5 不同处理“梨枣”多酚对 DPPH· 的清除能力

Fig. 5 Scavenging effect of different treatments on DPPH· of 'pear-jujube'

CK。处理 L1、L2 和 L4 对 DPPH· 的清除率低于 L3 处理,且各处理间差异较小;L3 处理“梨枣”多酚对 DPPH· 的清除率最为显著,最高达到了 83.66%,较 CK 提高了 23.6%。

### 2.4.3 不同铁、锌处理“梨枣”多酚对过氧化氢的清除能力

由图 6 可知,不同处理“梨枣”多酚对过氧化氢的清除率随着浓度的增大而增强。当浓度达到  $1.2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  时,各处理“梨枣”多酚对过氧化氢的清除率达到最大,其中 L3 处理的“梨枣”多酚清除率最大,为 93.03%。且不同施肥处理“梨枣”多酚对过氧化氢的清除率均高于 CK。

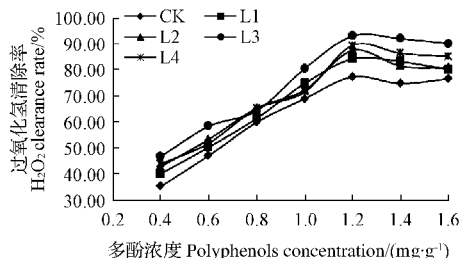


图 6 不同处理“梨枣”多酚对过氧化氢的清除能力

Fig. 6 Scavenging effect of different treatments on  $\text{H}_2\text{O}_2$  of 'pear-jujube'

## 3 结论

通过叶面喷施不同浓度铁、锌肥,研究陕北山地“梨枣”维生素 C、总黄酮及酶含量的变化以及“梨枣”多酚对羟基自由基、DPPH· 和过氧化氢的清除能力,得出以下结论:在叶面喷施不同浓度的铁、锌肥条件下,提高了“梨枣”中维生素 C 及总黄酮的含量,降低枣果中抗坏血酸氧化酶及多酚氧化酶的活性。且“梨枣”的多酚能有效清除羟基自由基、DPPH· 以及过氧化氢。说明铁锌肥能

有效提高“梨枣”的抗氧化特性,其中以 0.6%  $\text{FeSO}_4 + 0.3\% \text{ZnSO}_4$  处理的抗氧化性效果最优。

### 参考文献

- [1] WHITE J G, ZAS R J. Mapping soil micronutrients[J]. Field Crops Res, 1999, 60: 11-26.
- [2] 周晓今, 陈茹梅, 范云六. 植物对铁元素吸收、运输和储存的分子机制[J]. 作物研究, 2012, 26(5): 605-610.
- [3] AOYAMA T, KOBAYASHI T, TAKAHASHI M. OsYSL18 is a rice iron(III)-deoxymugineic acid transporter specifically expressed in reproductive organs and phloem of lamina joints[J]. Plant Mol Biol, 2009, 70(6): 681-692.
- [4] KOAYA T N K, Nishizawa Iron uptake, translocation, and regulation in higher plants[J]. Annu Rev Plant Biol, 2012, 63: 131-152.
- [5] BROWN J C R L. Effect of iron on the transport of citrate into the xylem of soybeans and tomatoes[J]. Plant Physiol, 1971, 47(6): 836-840.
- [6] TIFFIN L O. Iron translocation II. Citrate/Iron ratios in plant stem exudates[J]. Plant Physiol, 1966, 41(3): 515-518.
- [7] 闫忠心, 鲁周民, 刘坤, 等. 我国红枣资源加工利用研究现状与展望[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 2(6): 102-108.
- [8] 鲁周民, 刘坤, 闫忠心, 等. 枣果实营养成分及保健作用研究进展[J]. 园艺学报, 2010, 37(12): 2017-2024.
- [9] 高梅秀. 枣主要营养成分的影响因素[J]. 中国果树, 2003(5): 27-29.
- [10] 苟茜, 王敏, 冀晓龙, 等. 不同成熟度灵武长枣食用及营养品质研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 98-104.
- [11] IZALDIN M H. Food compos annl[M]. London: Academic Press, 1987: 59.
- [12] 樊君, 吕磊, 尚红伟. 大枣的研究与开发进展[J]. 食品科学, 2003, 24(4): 161-163.
- [13] 杨永祥, 陈锦屏, 吴曼. 红枣营养保健价值及其加工利用的研究进展[J]. 农产品加工, 2009(1): 52-56.
- [14] 雷昌贵, 陈锦屏, 卢大新. 红枣的营养成分及其保健功能[J]. 现代生物医学进展, 2006, 6(3): 56-62.
- [15] ZHANG H, JIANG L Y. Systematic evaluation of antioxidant capacities of the ethanolic extract of different tissues of jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) from China[J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(6): 1461-1465.
- [16] MARSCHNER H. Mineral nutrition of higher plants[M]. London: Academic Press, 1995: 321-340, 347-364.
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [18] 霍文兰, 刘步明, 曹艳萍. 陕北红枣总黄酮提取及其抗氧化性研究[J]. 食品科技, 2006(10): 45-47.
- [19] 李铭芳, 席峰, 李清龙, 等. 红枣中生物黄酮的提取及分析方法研究[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(6): 1156-1159.
- [20] 孙群, 胡景江. 植物生理学研究技术[M]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2006.
- [21] 李霄, 曹艳萍, 马向荣. 陕北红枣多酚抗氧化性研究与比较[J]. 应用化工, 2012, 41(8): 1368-1371.
- [22] 周云凯, 李伟平, 田莎莎, 等. 白及块茎和须根总酚含量的测定[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(10): 161-164.
- [23] 郭长江, 韦京豫, 杨继军, 等. 66 种蔬菜、水果抗氧化活性的比较研究[J]. 营养学报, 2003, 25(2): 203-207.

## Effects of Iron and Zinc Fertilizers on Antioxidant Activity of ‘Pear-jujube’ in Loess Hilly Region

YE Shenglan, LEI Guangyu

(Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd./Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd./Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, the Ministry of Land and Resources, Xi'an, Shaanxi 710075)

**Abstract:** In order to explore the effect of iron and zinc fertilizer on the antioxidant activity of ‘pear-jujube’ in hilly loess hilly region, 8-year-old mountain dwarfing ‘pear-jujube’ with uniform and well growth were used as test objects, the effects of different concentrations of iron and zinc fertilizer on vitamin C, total flavonoid content and enzyme content were studied. The results showed that different treatments affected the content of vitamin C in ‘pear-jujube’ and significantly increased the contents of vitamin C and total flavonoids. The content of 0.6%  $\text{FeSO}_4 + 0.3\% \text{ZnSO}_4$  was  $2.86 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  and  $3.02 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ , which was 21.8% and 105.4% higher than CK respectively ( $P < 0.05$ ). The different fertilization treatments effectively reduced the activity of ascorbic acid oxidase and polyphenol oxidase in ‘pear-jujube’. Treatment of 0.6%  $\text{FeSO}_4 + 0.6\% \text{ZnSO}_4$  showed the highest activity of ascorbic acid oxidase, which was  $0.069 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{FW}$ , which was 75.1% lower than that of CK. The

doi:10.11937/bfyy.20171600

## 无机化合物对北方根结线虫 二龄幼虫存活的影响

吴晓晶<sup>1</sup>, 李程亮<sup>1,2</sup>, 周园园<sup>1</sup>, 段玉玺<sup>1</sup>, 陈立杰<sup>1</sup>

(1. 沈阳农业大学 植物保护学院, 北方线虫研究所, 辽宁 沈阳 110866;

2. 西北农林科技大学 植物保护学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**以北方根结线虫(*Meloidogyne hapla*)为靶标材料,采用离体触杀的方法,测定了8种无机化合物对北方根结线虫存活的影响,研究了北方根结线虫对无机化合物和pH的适应性,以期对北方根结线虫的生态防治提供参考依据。结果表明:不同的无机化合物对北方根结线虫J2的影响不同;同一种化合物在不同浓度下对J2的致死率也不同,并且随着无机化合物浓度的增加,J2的死亡率上升。其中, $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ 、 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 这4种化合物对J2作用最为敏感,半致死浓度 $\text{LC}_{50}$ 分别是 $0.005\ 957$ 、 $0.000\ 771$ 、 $0.000\ 159$ 、 $0.000\ 161\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,即为敏感的化合物,而其它化合物只在高浓度下致死效果明显。通过萌发试验,进一步验证了这4种无机化合物的 $\text{LC}_{50}$ 和 $\text{LC}_{90}$ 对番茄种子的影响,结果表明,其对种子的萌发均无影响,但对根的伸长有一定的抑制作用。同时通过pH试验,明确了北方根结线虫J2适宜存活的pH范围在4~12。

**关键词:**北方根结线虫;无机化合物;死亡率;pH

**中图分类号:**S 432.4<sup>+</sup>5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)24-0053-07

根结线虫病在世界范围内广泛发生,常见的根结线虫有南方根结线虫(*Meloidogyne incognita*)、

北方根结线虫(*Meloidogyne hapla*)、花生根结线虫(*Meloidogyne arenaria*)和爪哇根结线虫(*Meloidogyne javanica*)4种,它们造成的损失占整个栽培作物损失的90%以上<sup>[1-3]</sup>。在我国辽宁省,*M. hapla*主要危害露地花生,且以锦州、兴城花生种植区危害最为严重。

病害的发生往往是病害三角导致的,即寄主的感病性、寄生物的致病性以及利于病原物发生的环境条件<sup>[4]</sup>。北方根结线虫病的发生和危害与环境条件密切相关,说明*M. hapla*对其生存环境有一定的适应性。由于北方根结线虫病是一种典

**第一作者简介:**吴晓晶(1989-),女,福建三明人,博士研究生,研究方向为植物线虫学。E-mail:wuxiaojing0106@163.com

**责任作者:**段玉玺(1964-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事植物病理学和线虫学的教学与科研等工作。E-mail:duanyx6407@163.com

**基金项目:**农业部公益性行业科研专项资助项目(201103018,200903040-03);国家自然科学基金资助项目(31471748)。

**收稿日期:**2017-07-24

activity of polyphenol oxidase was the lowest in  $0.146\ \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}\text{FW}$ , which was 42.0% lower than CK. The polyphenols treated with different treatments could effectively remove hydroxyl radicals, DPPH· and hydrogen peroxide, among which the effect of treatment with 0.6%  $\text{FeSO}_4$  + 0.3%  $\text{ZnSO}_4$  was the most significant. Comprehensive analysis of the antioxidant effect of the treatment with 0.6%  $\text{FeSO}_4$  + 0.3%  $\text{ZnSO}_4$  was optimal.

**Keywords:** ‘pear-jujube’; iron and zinc fertilizer; polyphenols; antioxidant