

叶面喷施锌对农田人参锌营养、生长发育及皂苷含量的影响

杨鹤¹, 张浩^{1,2}, 郜玉钢¹, 张连学¹

(1 吉林农业大学 中药材学院, 吉林 长春 130118; 2 中国农业科学院 特产研究所, 吉林 吉林 132109)

摘要:为确定适宜人参 *Panax ginseng* 叶面喷施的 Zn 浓度范围, 采用田间试验的方法, 研究喷 Zn 浓度对人参生长、皂苷含量及叶片吸收 Zn 速率的影响. 结果表明, 人参叶片可有效吸收叶面供给的无机态 Zn^{2+} , 并可运至根部. 在 20 ~ 20 000 mg/L 质量浓度范围内, 人参叶片吸收 Zn 的速率和数量与喷施浓度呈显著正相关 ($P < 0.01, R^2 > 0.9$), 而且随着喷施浓度的升高, 从叶片向根部运输 Zn 的数量也升高. 喷施适宜质量浓度 (200 和 2 000 mg/L) Zn^{2+} 可显著改善人参的 Zn 营养状况, 促进人参生长和皂苷积累, 增强叶片过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性. 喷施浓度过高, 人参叶片受到伤害, 丙二醛 (MDA) 含量增加, CAT 活性降低, 但人参根皂苷含量显著升高, 可能与环境胁迫刺激次生代谢产物积累有关. 适宜人参叶面喷施的 Zn 质量浓度范围是 200 ~ 2 000 mg/L.

关键词: 锌浓度; 叶面喷施; 人参; 生长; 皂苷

中图分类号: S143.72

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2012)03-0311-05

Effects of Zinc Concentration on Growth, Ginsenoside Content and Zinc Content of *Panax ginseng* by Foliar Application

YANG He¹, ZHANG Hao^{1,2}, GAO Yu-gang¹, ZHANG Lian-xue¹

(1 College of Chinese Traditional Medicine, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China;

2 Institute of Special Wild Economic Animals and Plants, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Jilin 132109, China)

Abstract: In order to identify appropriate Zn concentration range of foliar spraying for ginseng, effects of zinc spraying concentration on growth, ginsenoside content and zinc absorption efficiency by leaves of ginseng were studied through field experiments. Results showed that ginseng leaves can efficiently uptake Zn^{2+} of foliar applied, and transformation of Zn from leaves to roots was found. The amount of Zn uptake by leaves had significant ($P < 0.01, R^2 > 0.9$) positive correlation with applied Zn mass concentration range from 20 – 20 000 mg/L. As spraying concentration increased, the amount of zinc transferred from leaves to roots was also enhanced. Increment of fresh mass and ginsenoside content of root were found when appropriate Zn nutrient solution (200 and 2 000 mg/L) was applied, and peroxidases (POD) and catalase (CAT) activities increased when applied rate was 200 mg/L, but spraying 2 000 mg/L Zn^{2+} led to POD activity increase and CAT activity decrease compared to control. Although malondialdehyde (MDA) content increased, CAT activity decrease and leaf burn were observed when 2 000 mg/L was supplied to ginseng leaves, and ginsenoside significantly increased in root. This may be due to of environmental pressure induced by secondary metabolite accumulation. Appropriate Zn mass concentrations of foliar application in ginseng ranged from 200 – 2 000 mg/L.

Key words: zinc concentration; foliar application; ginseng; growth; ginsenoside

收稿日期: 2011-12-01

作者简介: 杨鹤 (1983—), 女, 助理实验师, 硕士; 通信作者: 张连学 (1955—), 男, 教授, 博士, E-mail: zlxbooksea@163.com

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2007BAI38B01, 2010BAI03B01)

锌是植物必需的微量元素,其可作为多种酶的组分和辅基参与植物的代谢活动^[1]. 中国有40%的土壤缺锌^[2],缺锌导致活性氧代谢失衡^[3-4],细胞膜稳定性降低^[5],核糖核酸酶活性升高, RNA 水平降低^[6]. 当土壤 pH > 7.0 时, Zn 的溶解度显著降低,植物对锌的吸收量减少,因此,施锌肥到土壤中常常显得无效. 作为常规土壤施肥的补充,叶面施肥具有防止土壤固化,可快速被植物吸收的特点. 一些研究表明,叶面喷 Zn 可提高作物的产量和有效成分的含量^[7-8],降低病害的发生率^[9],是改善植物 Zn 营养的有效途径. 人参 *Panax ginseng* 为五加科人参属植物,是多年生宿根植物,对锌需求量较大^[10],缺锌导致人参花叶病. 人参生长3年后,土壤中 Zn 含量仅为原含量的31%^[11]. 一些研究表明,叶面喷施 Zn 可提高作物的产量,改善植物 Zn 营养状况^[12-13]. 由于不同植物叶片蜡质层和角质层的厚度和结构差异很大,导致植物叶片对叶面营养的吸收效率及对离子强度的耐受性差别很大^[14-15],叶面肥没有效果或中毒在人参产区时常发生. 但人参叶片对 Zn 的吸收和吸收后的运输情况,以及对人参叶片施 Zn 肥的有效浓度和安全浓度尚缺少研究. 本文以3年生农田栽培人参为研究对象,探讨人参叶片对不同浓度 Zn 元素的吸收规律,以及 Zn 浓度对人参生长、产量和皂苷含量的影响,旨在筛选适宜农田人参叶面喷施的 Zn²⁺ 浓度范围,为农田栽培人参的施肥提供参考.

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用人参为3年生农田栽培人参,于吉林农业大学药植物园种植,品种为“大马牙”.

1.2 试验设置

试验选择30 m²实验田,耕翻深度25 cm,做床,床宽110 cm,高20 cm. 试验区0~20 cm 土层,全 N 0.562 6 g/kg, 碱解 N 70.31 mg/kg, 速效 P 33.3 mg/kg, 全 K 0.526 7 g/kg, 速效 K 308.5 mg/kg, 全 Zn 56 mg/kg. 选择人参根质量一致的人参种苗,每平方米种植人参70株,每平方米人参根总质量控制在(270.0 ± 1.0) g,行距20 cm,株距7 cm.

试验分为5个处理,每处理3次重复,每次重复小区面积2 m². 在展叶期分别对人参叶面喷施质量浓度为0(CK)、20、200、2 000和20 000 mg/L的 ZnSO₄ 营养液,每平方米喷200 mL,在1 h内保持叶面湿润. 在喷施过程中,相邻小区用挡板隔离,参床用塑料薄膜遮盖,以防止营养液污染相邻小区和营养液渗入根际土壤,被人参根系吸收. 处理24 h后测

定人参叶片防御酶活性,48 h测定人参各部位 Zn 含量,采收期测定人参产量及皂苷含量.

1.3 试验方法

将处理后的人参样品用去污剂洗净,再用自来水冲洗干净,最后用去离子水冲洗3次,将人参样品分为根、茎、叶置于烘箱中,60 °C烘至恒质量,将人参样品粉碎,过60目筛,精确称取人参粉末0.5 g,用 HNO₃-HClO₄ 进行消煮,过滤,用 φ 为0.5%的 HNO₃ 定容至50 mL,用原子分光光度计法测定 Zn 元素含量.

丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥法测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用高锰酸钾滴定法测定;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定^[16]. 用香草醛-浓硫酸法测定人参根中总皂苷含量.

试验数据采用 Microsoft Excel (2003) 和 SPSS 13.0 统计软件进行统计分析.

2 结果与分析

2.1 人参叶片对 Zn 的吸收及吸收后的运输

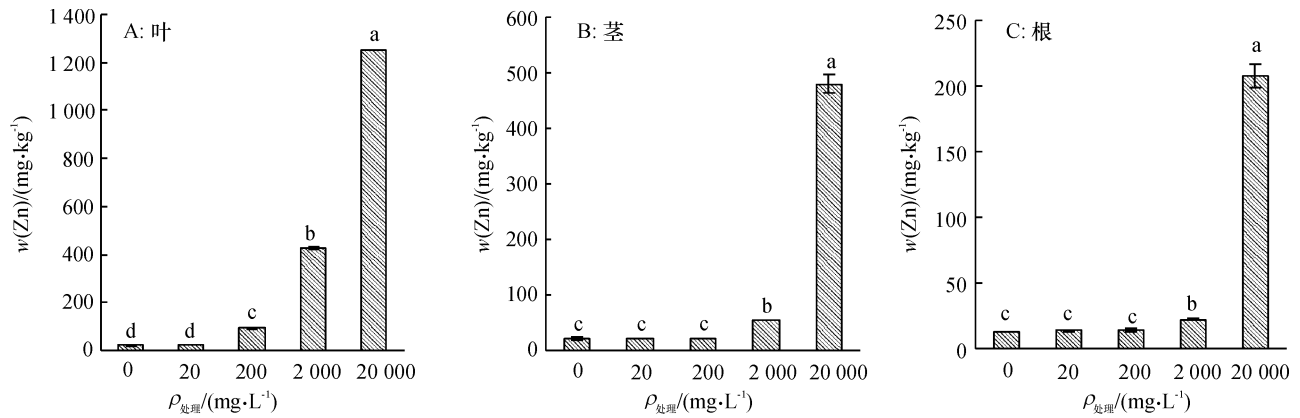
由图1A可以看出,喷施 ZnSO₄ 后,可以提高人参叶片中 Zn 的含量,只是在喷施质量浓度为20 mg/L时,人参叶片中 Zn 的含量与 CK 差异不显著,可认为在此喷施浓度下,人参叶片不吸收 Zn²⁺. 喷施 Zn²⁺ 在200~20 000 mg/L 范围内,人参叶片 Zn 含量均显著 ($P < 0.01$) 高于 CK, 分别是 CK 的4.24、19.52 和 57.35 倍,说明人参叶片可高效吸收无机态 Zn. 对人参叶中 Zn 含量与 Zn²⁺ 处理浓度进行相关性分析,结果表明:二者呈正相关, $R^2 > 0.9$. 可见,对人参叶面喷施 Zn²⁺ 的浓度越高,人参叶片吸收的 Zn 的量越多.

在人参茎中(图1B),喷施 Zn²⁺ 为20和200 mg/L时,人参茎中 Zn 的含量与 CK 差异不显著,可认为人参茎中 Zn 含量没有变化. 喷施 Zn²⁺ 为2 000 mg/L时,人参茎中 Zn 的质量比显著高于 CK ($P < 0.01$),是 CK 的2.62倍. 表明在此处理浓度下,有部分 Zn 开始向根部运输(可能是未被人参叶片利用的游离 Zn). 喷施 Zn²⁺ 为20 000 mg/L时,人参茎中 Zn 的含量达到 CK 的22.67倍,表现出人参通过韧皮部向根部运输 Zn 的速率与人参叶片吸收 Zn²⁺ 的量呈正相关的现象.

在人参根中(图1C),Zn 含量的变化规律与茎一致. 在喷施 Zn²⁺ 质量浓度为20和200 mg/L时,人参根中 Zn 含量与 CK 差异不显著. 喷施 Zn²⁺ 质量浓度为2 000和20 000 mg/L时,人参根中 Zn 含量显著高于 CK ($P < 0.01$),分别是 CK 的1.74和23.23倍.

只有人参茎中 Zn 含量升高,人参根中 Zn 的含量才会增加,并且二者呈正相关,这表明人参根中 Zn 含

量的增加是由于人参叶片吸收的 Zn^{2+} 通过韧皮部运至根部的结果。



每个柱形图中,柱子上方凡具有小写英文字母相同者表示差异不显著(Duncan's 多重比较法, $P > 0.05$)。

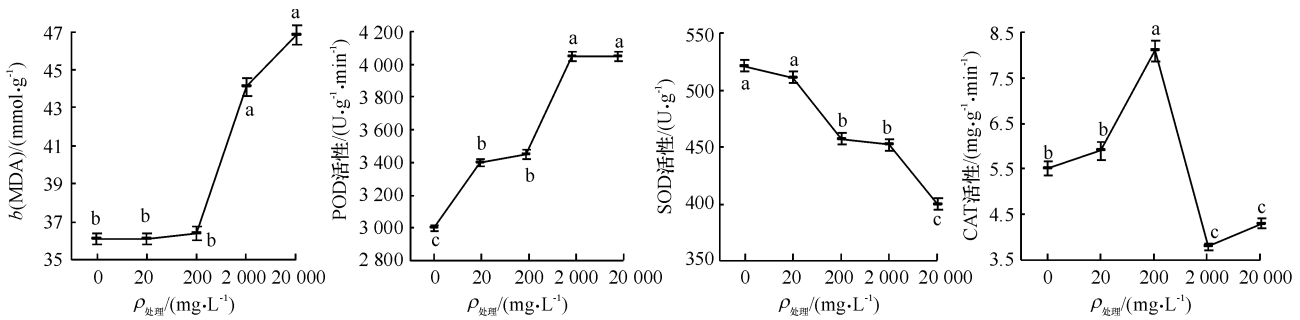
图1 Zn^{2+} 喷施质量浓度对人参叶、茎和根中 Zn 元素含量的影响

Fig. 1 Effects of foliar applying Zn^{2+} mass concentration on zinc content of ginseng leaves, stems and roots

2.2 Zn^{2+} 喷施浓度对人参叶片防御酶活性及 MDA 含量的影响

由图 2 可见,在整体趋势上,随着 Zn^{2+} 喷施质量浓度的升高,人参叶片 MDA 含量、POD 活性逐渐升高,SOD 活性逐渐降低,CAT 活性先升高后降低.在喷施 Zn^{2+} 为 20 mg/L 时,除 POD 活性略有升高外,

其他生理指标均与 CK 差异不显著.在喷施 Zn^{2+} 为 200 mg/L 时,MDA 含量与 CK 差异不显著,POD 和 CAT 活性显著高于 CK,SOD 活性显著低于 CK.在喷施 Zn^{2+} 为 2 000 和 20 000 mg/L 时,MDA 含量、POD 活性显著高于 CK,SOD 和 CAT 活性显著低于 CK.



每个坐标图中,凡具有小写英文字母相同者表示差异不显著(Duncan's 多重比较法, $P > 0.05$)。

图2 Zn^{2+} 喷施质量浓度对人参叶防御酶活性及 MDA 含量的影响

Fig. 2 Effects of Zn^{2+} spraying mass concentration on defense enzyme activities and MDA content of ginseng leaves

2.3 Zn^{2+} 喷施浓度对人参产量和皂苷含量的影响

由表 1 可知,喷施 Zn^{2+} 为 20 mg/L 时,人参单根质量与 CK 差异不显著,在喷施 Zn^{2+} 为 200 和 2 000 mg/L 时,人参单根质量显著高于 CK,分别是 CK 的 109.3% 和 127.8%,而在喷施 Zn^{2+} 为 20 000 mg/L 时,人参单根质量仅为 CK 的 81.4%。

喷施 Zn^{2+} 为 20 mg/L 时,人参总皂苷含量与 CK 差异不显著;喷施 Zn^{2+} 为 200 和 2 000 mg/L 时,人参总皂苷含量显著高于 CK,但二者间差异不显著;喷施 Zn^{2+} 为 20 000 mg/L 时,人参总皂苷含量最高,为 CK 的 148.34%。

表 1 Zn^{2+} 喷施质量浓度对人参单根质量和皂苷含量的影响¹⁾

Tab. 1 Effects of Zn^{2+} spraying mass concentration on individual root mass and ginsenoside

$\rho(Zn^{2+}) / (mg \cdot L^{-1})$	$m_{\text{单根}} / g$	$w_{\text{总}}(\text{皂苷}) / (mg \cdot kg^{-1})$
0	10.8 ± 0.5 c	26.95 ± 0.44 c
20	10.6 ± 0.5 c	27.60 ± 0.63 c
200	11.8 ± 0.6 b	29.54 ± 0.32 b
2 000	13.8 ± 0.6 a	30.84 ± 0.73 b
20 000	8.8 ± 0.4 d	39.98 ± 0.38 a

1) 同列数据后,凡具有小写英文字母相同者,表示差异不显著(Duncan's 多重比较法, $P > 0.05$)。

3 讨论

植物可通过叶片吸收矿质元素已被很多研究所证实,而由于植物种类不同,同一叶面肥的施用效果却不尽相同.因为覆盖在植物叶片表面的蜡质层和角质层的厚度和结构的差别,造成了养分到达叶肉细胞难易程度的不同,导致了植物叶片对养分吸收能力的差异.因此研究适用于作物的专用型叶面肥显得尤为重要.植物叶片的结构为不可控因素,研究专用型叶面肥应从营养液的性质入手.营养液浓度是影响营养液性质的主要因素,浓度过低,植物叶片不吸收或吸收量少,浓度过高,灼伤植物叶片^[17-18].

除喷施 Zn^{2+} 为 20 mg/L 外,其他浓度 Zn 营养液均可被人参叶片有效利用,其原因是 20 mg/L 的 Zn 营养液浓度过低,只有营养液中 Zn 含量达到一定浓度后,Zn 才可被人参叶片吸收.这一结果表明,在人参叶片吸收 Zn 时,可能存在 Zn^{2+} 被动扩散过程.对人参叶中 Zn 含量与 Zn^{2+} 处理浓度进行相关性分析表明,在一定浓度范围内(20 ~ 20 000 mg/L),人参叶片吸收 Zn 的速率和数量与喷施浓度呈显著($P < 0.01$)正相关, $R^2 > 0.9$,与 Knoche 等^[19]研究的番茄叶片对不同浓度尿素吸收规律一致.

植物叶片吸收的矿质元素能否重新分配至关重要,它决定叶面肥起作用的范围(喷施部位和未喷施部位)和喷施次数^[20].试验结果表明,在喷施 Zn^{2+} 质量浓度为 2 000 和 20 000 mg/L 时,人参叶片吸收的 Zn 有部分运输至根部,这与玉米、冷杉和水稻上的研究结果^[21-23]一致.可见,叶面喷施 $ZnSO_4$ 可同时改善人参叶和根的 Zn 营养状况.

在喷施 Zn^{2+} 质量浓度为 20 mg/L 时,除 POD 活性略有升高外,其他生理指标均未发生变化.当喷施 Zn^{2+} 为 200 mg/L 时,人参叶片 SOD 活性降低,可能由于 Zn/Cu 增高过多所致(人参叶片 Cu 质量比仅为 8 mg/kg),因为在高等植物中,以 (Cu/Zn)-SOD 为主, Cu^{2+} 作为 (Cu/Zn)-SOD 的反应中心,当 Cu^{2+} 被其他二价金属阳离子取代后,(Cu/Zn)-SOD 失活,而 Zn^{2+} 主要起稳定作用^[24].当人参叶片中 Zn/Cu 过高时, Zn^{2+} 可能与 Cu^{2+} 竞争活性中心位点,导致部分 SOD 失活,从而表现出人参叶片 SOD 活性降低的现象.MDA 是脂质过氧化的产物,其含量在一定程度上可反映脂质过氧化程度,其对细胞膜也具有伤害作用,在喷施 Zn^{2+} 为 200 mg/L 下,人参叶片 MDA 含量并未升高,表明 SOD 活性的降低并未导致活性氧代谢的失衡.而在喷施 Zn^{2+} 为 2 000 mg/L 时,虽然

人参叶片 MDA 含量和 POD 活性升高,CAT 活性降低(CAT 的生理作用是清除 H_2O_2 和调节 H_2O_2 的水平,更主要的是后者^[25],积累一定水平的 H_2O_2 可作为一种信号分子,能够刺激更多的抗氧化物质的产生,这也是植物对外界环境胁迫的一种协调适应),与 Parida 等^[26]研究高盐胁迫时防御酶活性的变化相似,但未发现人参叶片被灼伤,而且人参的产量在所有处理中最高.可能是因为这种胁迫只是短时期的,同时叶片吸收的 Zn 运输至根部促进了人参根的生长.可见,喷施 Zn^{2+} 为 2 000 mg/L 时已经达到人参叶片承受能力的警界线,应用时不应高于此质量浓度.当喷施 Zn^{2+} 升至 20 000 mg/L 时,人参叶片 MDA 含量和 POD 活性升高,SOD 和 CAT 活性降低,人参叶片被灼伤,出现许多褐色斑点,严重者地上部分枯萎,人参生长严重受阻,产量显著降低,证明此喷施浓度已经大于安全浓度,不宜在生产中应用.

在喷施 Zn^{2+} 为 200 mg/L 时,人参产量、皂苷含量显著高于 CK,证明在此喷施质量浓度下,人参叶片可以吸收叶面供给的 Zn,并可促进人参的生长,提高人参的质量,为有效喷施浓度,与苹果和石榴上的研究结果^[27-28]一致.喷施 Zn^{2+} 为 20 000 mg/L 时,虽然人参产量降低,但人参总皂苷含量增加了近 1.5 倍(显著高于 CK 和其他处理),可能的原因是:人参皂苷为次生代谢产物,在环境胁迫条件下植物次生代谢产物积累的量增加,盐分胁迫也是环境胁迫的一种,所以人参根中皂苷含量增加,与在罗勒和甘草上的研究结果^[29-30]一致.

综上所述,人参叶片吸收 Zn 的量和向根部运输量与喷施浓度呈正相关.喷施适宜浓度的 $ZnSO_4$ 可显著改善人参的 Zn 营养状况,提高人参各器官中 Zn 含量、人参产量和质量,相反,喷施浓度过低或过高,施肥不促进人参生长和人参皂苷的积累或阻碍人参生长.适宜人参叶片喷施的 $ZnSO_4$ 质量浓度范围是 200 ~ 2 000 mg/L(其具体浓度还应结合土壤 Zn 营养状况而定).

参考文献:

- [1] VALLEE B L, AULD D S. Active-site zinc ligands and activated H_2O of zinc enzymes [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1990, 87(1): 220-224.
- [2] 刘铮. 我国土壤中锌含量的分布规律[J]. 中国农业科学, 1994, 27(1): 30-37.
- [3] ROBERTO P, ISMAIL C, HORST M. Effect of zinc deficiency on proton fluxes in plasma membrane enriched vesicles isolated from bean roots[J]. Journal of Experimental

- Botany, 1993, 44(3):623-630.
- [4] ROBERTO P, ISMAIL C, HORST M. Zinc deficiency enhanced NAD(P)H-dependent superoxider radical production in plasma membrane vesicles isolated from roots of bean plants [J]. Journal of Experimental Botany, 1994, 45(1): 45-50.
- [5] BETTER W J, O'DELL B L. A critical physiological role of zinc in the structure and function of biomembranes [J]. Life Sci, 1981, 28(13): 1425-1438.
- [6] DWIVEDI R S, TAKKAR P N. Ribonuclease activity as an index of hidden hunger of zinc in crops [J]. Plant and Solid, 1974, 40(1): 173-181.
- [7] 韩建萍, 梁宗锁, 张文生. 微量元素对丹参生长发育及有效成分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 560-563.
- [8] SAWAN Z M, HAFEZ S A, BASYONY A E. Effect of nitrogen fertilization and foliar application of plant growth retardants and zinc on cottonseed, protein and oil yields and oil properties of cotton[J]. J Agronomy and Crop Science, 2001, 186, 183-191.
- [9] KOSTAS B, SIMOGLU, CHRISTOS D. Effect of foliar applied boron, manganese and zinc on tan spot in winter durum wheat[J]. Crop Protection, 2006, 25(7): 657-663.
- [10] 张连学, 常维春, 赵立波, 等. 缺锌对人参生长发育的影响及其防治研究 [J]. 中药材, 1991, 14(12): 3-5.
- [11] 王铁生. 中国人参 [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2006: 191-192.
- [12] VALENCIANO J B, MIGUÉLEZ-FRADE M M, MARCELO V, et al. Response of irrigated common bean (*Phaseolus vulgaris*) yield to foliar zinc application in Spain [J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2007, 35(3): 325-330.
- [13] BAHADUR L, MALHI C S, SINGH Z. Effect of foliar and soil applications of zinc sulphate on zinc uptake, tree size, yield, and fruit quality of mango [J]. Journal of Plant Nutrition, 1998, 21(3): 589-600.
- [14] 李燕婷, 李秀英, 肖艳, 等. 叶面肥的营养机理及应用研究进展 [J]. 中国农业科学, 2009, 42(1): 162-172.
- [15] FERNANDEZA V, EICHERT T. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization [J]. Plant Sciences, 2009, 28: 36-68.
- [16] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 210-211.
- [17] MARSCHNER H. Mineral Nutrition of Higher Plants [M]. London: Academic Press, 1995: 887.
- [18] SCHONHERR J, LUBER M. Cuticular penetration of potassium salts: Effects of humidity, anions and temperature [J]. Plant and Soil, 2001, 236(1): 117-122.
- [19] KNOCHE M, PETRACEK P D, BUKOVAC M J, et al. Urea penetration of isolated tomato fruit cuticles [J]. J Amer Soc Hort Sci, 1994, 119(4): 761-764.
- [20] PAPADAKIS I E, SOTIROPOULOS T E, THERIOS I N. Mobility of iron and manganese within two citrus genotypes after foliar applications of iron sulfate and manganese sulfate [J]. Journal of Plant Nutrition, 2007, 30(9): 1385-1396.
- [21] 张西科, 张福锁, 陆萍, 等. 不同形态 Fe, Mn, Cu, Zn 在玉米叶面施用后的吸收转移 [J]. 中国农业大学学报, 1994, 20(2): 213-217.
- [22] LIN Zhi-qing, BARTHAKUR N N, SCHUEPP P H, et al. Uptake and translocation of ⁵⁴Mn and ⁶⁵Zn applied on foliage and bark surfaces of balsam fir [*Abies balsamea* (L.) Mill] seedlings [J]. Environment and Experiment Botany, 1995, 35(4): 475-483.
- [23] WU Chun-yong, LU Ling-li, YANG Xiao-e, et al. Uptake, translocation, and remobilization of zinc absorbed at different growth stages by rice genotypes of different Zn densities [J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(11): 6767-6773.
- [24] BANCI L, BERTINI I, CRAMARO F, et al. The solution structure of reduced dimeric copper zinc superoxide dismutase [J]. Eur J Biochem, 2002, 269(7): 1905-1915.
- [25] WILLEKENS H, CHAMNONGPOL S, DAVEY M, et al. Catalase is a sink for H₂O₂ and is indispensable for stress defence in C₃ plants [J]. EMBO Journal, 1997, 16: 4806-4816.
- [26] PARIDA A K, DAS A B, MOHANTY P. Investigations on the antioxidative defence responses to NaCl stress in a mangrove, *Bruguiera parviflora*: differential regulations of isoforms of some antioxidative enzymes [J]. Plant Growth Regulation, 2004, 42(3): 213-226.
- [27] EL-SHAZLY S M, DRIS R. Response of 'Anna' apple trees to foliar sprays of chelated iron, manganese and zinc [J]. Journal of Food, Agriculture and Environment, 2004, 2(4): 126-130.
- [28] KHORSANDI F, YAZDI F A, VAZIFEHSHENAS M R. Foliar zinc fertilization improves marketable fruit yield and quality attributes of pomegranate [J]. Int J Agric Biol, 2009, 11(6): 766-770.
- [29] 姚雷, 高野泰吉, 铃木茂敏. 罗勒在盐胁迫条件下水分生理及精油含量的变化 [J]. 上海农学院学报, 2000, 18(2): 77-84.
- [30] 唐晓敏, 王文全, 杨全, 等. NaCl 处理对甘草生长、生理指标及药效成分含量的影响 [J]. 吉林农业大学学报, 2008, 30(2): 172-175.