

供锌水平对番茄果实抗氧化性及风味品质的影响

侯雷平¹, 吴俊华¹, 李梅兰^{1*}, 李远新^{2*}

(1 山西农业大学园艺学院, 山西太谷 030801; 2 北京市农林科学院蔬菜研究中心, 北京 100089)

摘要: 为研究不同供锌水平对番茄产量及果实风味品质的影响, 设置了不同的硫酸锌浓度的溶液培养试验。结果表明, 无论缺锌还是多锌处理, 番茄叶片叶绿素含量均显著下降; MDA 含量显著上升, POD 酶活性下降, 以缺锌处理较为明显; 缺锌处理 SOD 酶活性显著低于对照, 而多锌处理稍高于对照, 产量均下降。缺锌和多锌处理番茄果实的酸度增加, Vc 含量降低; 缺锌处理可溶性固形物显著下降, 而多锌处理与正常处理没有差别。此外, 缺锌和多锌处理果实中的番茄红素、总酚和总黄酮含量均低于正常处理, 而抗氧化力没有差别, 果实的芳香物质种类组成也发生了变化。说明适宜的锌水平是保证番茄高产、优质的重要因素。

关键词: 番茄; 锌; 抗氧化性; 风味品质

中图分类号: S641.2; S147.21

文章标识码: A

文章编号: 1008-505X(2010)03-0763-05

Effects of Zn fertilization on antioxidative capacity and flavor quality of tomato fruit

HOU Lei-ping¹, WU Jun-hua¹, LI Mei-lan^{1*}, LI Yuan-xin^{2*}

(1 College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu Shanxi 030801, China;

2 Beijing Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100089, China)

Abstract: The experiment was carried out to study the effects of different Zn²⁺ treatments on yield and flavor quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits by designing different concentration of zinc sulfate in nutrition solution. The results showed that the yield, chlorophyll content and POD activity are decreased under both deficiency and overplus of Zn²⁺ treatments, while MDA content of leaves is increased significantly. SOD activity of leaves under the Zn²⁺ deficiency is lower than that of the control, while it is not changed under the high level of Zn²⁺. Acid content of the fruits is increased under the two treatments, while the Vc content is decreased. Moreover, soluble substance content of the fruits is obviously decreased under the Zn²⁺ deficiency treatment, while it seems no remarkable change under the overplus Zn²⁺ treatment. In addition, contents of lycopene, total phenolics and total flavonoid of the fruits are all decreased under the two treatments and the types of aroma compounds are changed, while the antioxidative capacities are not markedly changed. Therefore, suitable Zn²⁺ fertilization is an important factor for producing high yield and quality of tomato fruits.

Key words: tomato; zinc; antioxidative capacity; flavor quality

番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 是深受大众喜爱的一种水果型蔬菜。由于番茄含有酚类物质和番茄红素等活性物质成分, 在维持人体健康、预防疾病方面具有重要的作用^[1-3]。因此, 有关提高番茄活性物质含量方面的研究普遍受到重视^[4]。锌是植物必需的微量元素之一, 通过影响植物的光合作用

和糖的运转而影响植物的碳水化合物代谢, 锌还与植物的氮素代谢作用有紧密联系。此外, 锌还在维持细胞膜的完整性中起着重要作用^[5], 通过与磷脂及膜蛋白质巯基相互作用来稳定生物膜。

近年来, 有关锌与农产品品质关系的研究发现, 施用锌肥能够明显改善农产品品质^[6]。锌对于蔬菜

收稿日期: 2009-10-14 接受日期: 2010-01-15

基金项目: 山西省留学回国人员科研资助项目(2007062); 山西省科技攻关计划项目(20090311022); 山西省人才引进资金项目资助。

作者简介: 侯雷平(1963—), 男, 山西垣曲人, 硕士, 副教授, 主要从事蔬菜栽培生理方面的研究。Tel: 0354-6285901, E-mail: sxndhp@126.com

* 通讯作者 E-mail: liyuanxin@nerev.com, limeilan-2@hotmail.com

产品中的 Vc 含量、可溶性糖、可溶性蛋白质等营养品质指标都具有明显的促进作用^[7]。谢建治等^[8]在研究锌处理对白菜品质的影响时发现,不仅锌极显著影响白菜地上部生物量及锌吸收量,还显著影响白菜叶绿素、Vc、还原糖、粗蛋白、粗纤维等各营养品质指标。但是,有关锌与番茄品质,尤其是活性物质含量的关系还未见报道。本试验通过进行不同供锌水平对番茄产量和品质相关指标的研究,旨在明确锌元素缺少和过量对番茄产量和风味品质的影响,为番茄生产中通过合理施用微肥来提高果实风味品质及活性物质含量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在北京蔬菜研究中心进行。采用的番茄品种为“中杂 101 号”。采用穴盘播种育苗,当幼苗长至 6~7 片真叶展开时,定植于栽培袋内进行溶液培养。袋内基质为珍珠岩,基质有效锌含量为 0.19 mg/kg。营养液所用配方为日本山崎番茄配方(略有改动)^[9]。配制时所用的水质锌含量为 0.013 mg/L。锌浓度设置参照郭世荣^[9]植物微量元素使用的范围,在标准营养液配方^[9]中加入 3 个浓度的 ZnSO₄·7H₂O: 0、0.88 和 1.76 mg/L,使锌元素浓度分别为 0(缺少)、0.2(正常)和 0.4 mg/L(过量),其余营养元素浓度不变,每个处理 6 株番茄,重复 3 次。栽培袋长约 60 cm、宽约 30 cm。每个栽培袋上定植 2 株。病虫害防治及植株调整同一般管理。灌溉采取营养液滴灌系统,采用 500 L 的贮液桶将配好的各个处理的营养液加入桶中,通过水泵和阀门控制灌溉。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶片叶绿素含量及活性氧代谢 在植株生长的盛果期时,取生长点下第 5 片真叶进行取样,取样采用重复内混合叶片取样。叶绿素含量的测定采用 80% 丙酮浸提,分光光度计法进行测定^[10];超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑法;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法;丙二醛(MDA)含量参照硫代巴比妥酸法测定^[10]。

1.2.2 产量及果实品质相关指标 在植株生长的盛果期时,随机摘取各重复内新鲜果实,混合制样。产量测定时,在田间采收后将各处理各个重复的商品果实直接称重记产。可溶性固型物采用手持型糖量计测定;可滴定酸参考 NaOH 滴定法^[11]测定;维生素 C(Vc)采用 2,6-二氯酚测定法^[12]进行测定。

1.2.3 果实的活性物质含量 取样时间及方式同 1.2.2。番茄红素含量的测定参考紫外-可见光分光光度法(公式法)^[13];总酚含量测定参考福林试剂还原比色法^[14],以没食子酸为标准样;总黄酮含量的测定采用硝酸铝-亚硝酸钠比色法^[15],以芦丁为标准样;总抗氧化力含量参考用清除有机自由基 DPPH 法评价植物抗氧化能力的方法^[16]。测定中 DPPH 溶液浓度配置为 2.0×10^{-4} mol/L。

果实芳香物质分析时,将番茄商品果实粉碎打浆后,称取 8 g 左右,采用岛津 GC/MS-QP2010 气相色谱-质谱联用仪 GC-MS 气相色谱质谱联用仪分析测定^[17],毛细管柱(DB-5MS): 30 m × 0.25 mm;膜厚度 0.25 μm;载气为高纯 He;流速 1 mL/min;进样量为 0.5 μL;程序升温,60℃保持 2 min,以 8℃/min 升温到 220℃,保持 20 min。进样口温度 250℃,EI 离子源电子能量 70 eV,质量范围 30~550u。

试验数据采用 Excel 和 SAS 软件进行统计和方差分析,数据为 3 次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 不同供锌水平对番茄叶片叶绿素及活性氧代谢的影响

缺锌和多锌处理叶片的叶绿素含量分别为 1.977 和 2.034 mg/g,显著低于正常锌处理的 3.174 mg/g(表 1)。缺锌处理的 MDA 含量显著高于正常锌处理,多锌处理的 MDA 含量亦高于正常锌处理,但差异未达显著水平。正常锌处理与多锌处理的 SOD 和 POD 活性都显著高于缺锌处理,处理间的酶活性差异不大,但以正常锌处理的 SOD 和 POD 活性最高。在果实的抗氧化力方面,处理间差异不显著,以正常锌处理为最高。说明营养液中锌浓度过低会使叶绿素含量、酶活性显著降低,叶片中膜脂过氧化产物含量明显升高,果实的抗氧化力降低;锌浓度过高(0.4 mg/L)则会降低叶片叶绿素含量及果实的总抗氧化力,但对活性氧代谢没有太大影响。

2.2 不同供锌水平对番茄果实产量及品质的影响

表 2 表明,正常供锌处理产量最高,显著高于缺锌处理,而多锌处理与正常锌处理及缺锌处理之间无明显差异。缺锌和多锌处理果实的可滴定酸含量分别为 3.62 和 3.72 g/kg,显著高于正常锌处理的 2.41 g/kg。多锌处理的可溶性固型物含量最高,为 8.18%,显著高于缺锌处理,但与正常锌处理差别不大。缺锌处理的 Vc 含量与正常锌和多锌处理差异显著,而后两者无明显差异。可见,缺锌条件下番茄

表 1 不同供锌水平对叶片叶绿素、活性氧代谢及果实抗氧化力的影响

Table 1 Effects of different zinc concentrations on chlorophyll, metabolism of active oxygen and antioxidative capacity of of tomato fruits

处理 Treatment	叶绿素 Chlorophyll (mg/g)	MDA ($\mu\text{mol/g}$, FW)	POD ($\times 10^2$ U/g, FW)	SOD (U/g, FW)	总抗氧化力 Total anti-oxidative capacity (mg/g)
缺锌 Lack of Zn	1.98 \pm 0.32 b	106.05 \pm 17.10 a	1.97 \pm 0.67 b	6.303 \pm 1.46 b	220.81 \pm 93.20 a
多锌 Excessive Zn	2.03 \pm 0.22 b	88.80 \pm 13.11 ab	4.13 \pm 1.47 a	11.165 \pm 1.89 a	283.95 \pm 38.17 a
正常锌 Normal Zn	3.17 \pm 0.45 a	63.57 \pm 17.54 b	4.33 \pm 0.95 a	10.618 \pm 2.87 a	329.30 \pm 34.68 a

注(Note): 数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters are significant at 5% level.

表 2 不同供锌水平对番茄产量及品质的影响

Table 2 Effects of different zinc concentrations on yield and quality of tomato fruits

处理 Treatment	产量(kg/plant) Yield	可滴定酸(g/kg) Total acid	可溶性固型物(%) Total soluble substance	Vc (mg/kg)
缺锌 Lack of Zn	1.80 \pm 0.20 b	3.62 \pm 0.17 a	7.11 \pm 0.63 b	99.20 \pm 14.27 b
多锌 Excessive Zn	2.27 \pm 0.15 ab	3.72 \pm 0.23 a	8.18 \pm 0.45 a	160.57 \pm 5.45 a
正常锌 Normal Zn	2.97 \pm 0.61 a	2.41 \pm 0.21 b	8.11 \pm 0.39 ab	163.01 \pm 30.76 a

注(Note): 不同字母表示差异达 5% 显著水平 Different letters are significant at 5% level.

产量及品质明显降低,但在硫酸锌浓度为 1.76 mg/L 的多锌处理中,果实除可滴定酸显著升高以外,产量及其余品质指标没有明显变化。

2.3 不同供锌水平对番茄果实活性物质的影响

表 3 显示,缺锌处理番茄红素含量为 26.81 mg/kg,显著低于正常锌处理的 51.36 mg/kg,而与多锌处理(33.64 mg/kg)差异不显著。缺锌处理总酚

含量为 453.46 mg/kg,显著低于多锌与正常锌处理。3 个处理的总黄酮含量之间的差异未达显著水平,但以正常锌处理的值最高,达 43.43 mg/kg。可见,缺锌条件下番茄部分活性物质的含量合成受抑,致使含量下降。而多锌处理对果实活性物质的含量没有显著的影响。

表 3 不同供锌水平对番茄活性物质含量的影响

Table 3 Effects of different zinc concentrations on the content of active matters of tomato fruits

处理 Treatment	番茄红素 Lycopene(mg/kg)	总酚 Total phenolics(mg/kg)	总黄酮 Total flavonoid(mg/kg)
缺锌 Lack of Zn	26.81 \pm 1.99 b	453.46 \pm 29.12 b	31.93 \pm 4.47 a
多锌 Excessive Zn	33.64 \pm 16.52 ab	577.28 \pm 32.42 a	32.29 \pm 7.93 a
正常锌 Normal Zn	51.36 \pm 9.19 a	623.76 \pm 35.69 a	43.43 \pm 8.24 a

注(Note): 数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters are significant at 5% level.

2.4 不同供锌水平对番茄果实芳香物质成分的影响

通过 GC-MS 分离鉴定不同供锌水平处理下番茄果实芳香成分的结果(图 1)看出,正常处理番茄果实芳香物质总共分离并鉴定出 50 种组分。其中醛类物质 9 种,占峰面积为 8.2%; 酮类物质 7 种,占峰面积为 7.64%; 烃类物质 9 种,占峰面积为 6.53%; 酯类物质 6 种,占峰面积 1.44%; 醇类物质 9 种,占峰面积为 2.15%; 酸类物质 1 种,占峰面积 0.1%; 萜烯类物质 6 种,占峰面积 2.1%; 呋喃环物质 2 种,占峰面积 0.75%,还有 2-异丁基硫咪唑,占峰面

积 0.65%。

缺锌处理番茄芳香物质总共有 48 种。其中醛类物质 15 种,占峰面积为 18.98%; 酮类物质 5 种,占峰面积为 17.05%; 烃类物质 6 种,占峰面积为 1.01%; 酯类物质 7 种,占峰面积 1.11%; 醇类物质 8 种,占峰面积为 7.3%; 萜烯类物质 4 种,占峰面积 0.36%; 呋喃环物质 1 种,占峰面积 0.25%,还有 2-异丁基硫咪唑,占峰面积 0.22%; 酚类物质 1 种,占峰面积 9.07%。

多锌处理番茄芳香物质的种类有 58 种。其中

醛类物质 10 种,占峰面积为 24.92%; 酮类物质 5 种,占峰面积为 5.87%; 烃类物质 16 种,占峰面积为 9.43%; 酯类物质 8 种,占峰面积 2.04%; 醇类物质 11 种,占峰面积为 5.54%; 萜烯类物质 5 种,占峰面积 0.74%; 含酚类物质 1 种,占峰面积 0.22%; 呋喃环物质 1 种,占峰面积 0.37%,还有 2-异丁基硫咪唑,占峰面积 0.71%。无酸类物质。

在不同锌浓度处理下,番茄芳香物质组成成分

互有差异。缺锌条件下,分离并鉴定出芳香物质的种类比正常锌处理的少 2 种。其醇类物质、烃类物质、酸类物质、酮类物质、呋喃环物质数量都有所减少。多锌处理的芳香物质的总数量比正常锌处理多 8 种,主要表现在烃类物质、酯类物质和醇类物质数量上。可见,缺锌会影响果实芳香物质的数量及种类,但影响作用不如其他微量元素缺乏时严重;过剩的锌营养对果实芳香物质形成有一定促进作用。

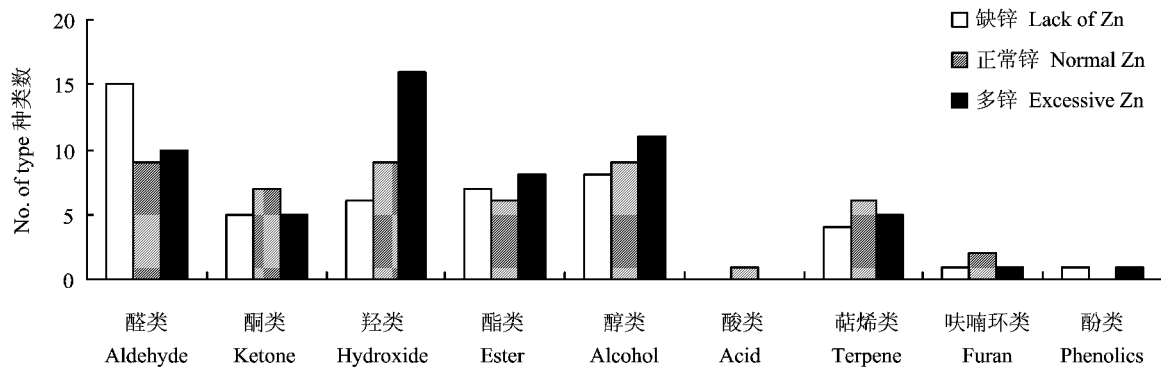


图 1 不同锌浓度处理下番茄芳香物质种类组成比较

Fig. 1 Comparison of aroma compounds of tomato fruits under different zinc concentrations

3 讨论

锌是叶绿素合成的必需元素,因此缺锌会导致叶片失绿^[18]。本试验结果表明,缺锌或锌过量都会导致叶片叶绿素含量显著下降。锌在维持细胞膜的结构完整中起着重要的作用。Welch 等^[19]研究发现,缺锌小麦³²P 的泄漏增强;张福锁^[5]报道,缺锌增加小麦根部 K⁺、氨基酸、糖和酚类物质的分泌,重新供锌给缺锌植物 12 h,渗漏大大降低。本试验的结果也表明,缺锌条件下,叶片 MDA 含量上升, SOD 和 POD 活性均降低,与他们的结果一致。

番茄含有丰富的番茄红素、酚类化合物等多种活性物质,对机体具有强的抗氧化作用,从而可以预防多种疾病^[20]。因此,如何提高番茄果实品质及其活性物质的含量,得到高品质的番茄已日益受到人们的关注^[21-22]。高的品质就是要求果实要有良好的风味、较高的营养价值和较好的商品性状。施用微肥可以提高作物的产量及品质。陈明华等^[23]报道,配施铜、钼微肥可提高小白菜维生素 C、可溶糖和硝酸盐含量,菜体硝酸盐含量远低于安全标准。适量配施铜、钼微肥对改善和提高蔬菜品质是有益的。聂兆君等^[24]研究结果表明,施用钼肥能够促进小白菜抗坏血酸氧化还原及再生循环过程,从而提

高了抗坏血酸的含量。本试验结果看出,在缺锌处理下,番茄的产量和品质显著下降,而多锌处理相对影响较小。活性物质含量无论缺锌还是多锌处理均低于正常处理;果实的芳香物质种类也发生了变化。这与前人有关施用适量微肥可提高作物产量、改善作物品质的研究报道^[25]一致。说明在番茄的栽培管理中保证适量的锌水平可以提高番茄的产量和品质。

参考文献:

- [1] 刘成伦,唐德容. 黄酮类化合物抗氧化性质的研究进展[J]. 食品研究与开发,2006,12(5): 158-160.
Liu C L, Tang D R. The research development on the anti-oxidation of flavonoids[J]. Food Res. Devel., 2006, 12(5): 158-160.
- [2] 古勇,李安明. 类黄酮生物活性的研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2006,12(2): 283-286.
Gu Y, Li A M. Progress in research of flavonoid bioactivities[J]. Chin. J. Appl. Environ. Biol., 2006, 12(2): 283-286.
- [3] 黄艳,夏秋瑜,刘四新,等. 番茄红素研究进展[J]. 华南热带农业大学学报,2006, (2): 50-55.
Huang Y, Xia Q Y, Liu S X *et al.* Research advance and application of lycopene[J]. J. South China Univ. Trop. Agric., 2006, (2): 50-55.
- [4] 吕鑫,侯丽霞,张晓明,等. 番茄果实成熟过程中番茄红素含量的变化[J]. 中国蔬菜,2009,(6): 21-24.

- Li X, Hou L X, Zhang X M *et al.* Changes of tomato lycopene contents in its growing process [J]. *Chin. Veget.*, 2009, (6): 21-24.
- [5] 张福锁. 锌营养状况对小麦根细胞膜透性的影响[J]. *植物生理学报*, 1992, 18(1): 20-28.
- Zhang F S. Effect of zinc nutritional status on membrane permeability in wheat roots[J]. *Acta Phytopy. Sin.*, 1992, 18(1): 20-28.
- [6] 董心久, 周洪华, 王金玲, 等. 离体培养下锌对春小麦子粒形成及干物质积累的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(6): 822-825.
- Dong X J, Zhou H H, Wang J L *et al.* Effects of zinc on development of grain and dry matter accumulation in spring wheat after the ear culture *in vitro*[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2006, 12(6): 822-825.
- [7] 施木田, 陈如凯. 锌硼营养对苦瓜叶片碳、氮代谢的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(2): 87-90.
- Shi M T, Cheng R K. Effect of zinc and boron nutrition on carbon and nitrogen metabolism in leaf of balsam pear[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2004, 10(2): 87-90.
- [8] 谢建治, 刘树庆, 李博文, 等. 锌处理对白菜营养品质的影响[J]. *园艺学报*, 2004, 31(5): 668-669.
- Xie J Z, Liu S Q, Li B W *et al.* Studies on the effects of heavy metal Zn on nutrition quality indicators of non-heading chinese cabbage[J]. *Acta Horticult. Sin.*, 2004, 31(5): 668-669.
- [9] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003. 114.
- Guo S R. *Soilless culture*[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003. 114.
- [10] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 72-74, 163-165, 173-174.
- Zhou Q. *The experimental guide for plant physiology*[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000. 72-74, 163-165, 173-174.
- [11] GB/T12456-90. 食品中总酸的测定方法[S].
- GB/T12456-90. Measure methods of total acid in the food [S].
- [12] GB6195-86. 水果、蔬菜维生素 C 含量的测定法[S].
- GB6195-86. Measure methods of vitamin C in the fruit and the vegetable [S].
- [13] 胡晓波, 温辉梁, 许全, 等. 番茄红素含量测定[J]. *食品科学*, 2005, 26(9): 566-569.
- Hu X B, Wen H L, Xu Q *et al.* Determination of lycopenes content [J]. *Food Sci.*, 2005, 26(9): 566-569.
- [14] 马景蕃. 桃果实酚类主要组分及其抗氧化功能研究[D]. 呼和浩特: 硕士学位论文, 内蒙古农业大学, 2005.
- Ma J F. Study on main phenolic compounds and their antioxidant activities in peaches[D]. Huhhot: Ms thesis, Inner Mongolia Agricultural University, 2005.
- [15] 张桂, 畅天狮, 刘俊果. 从芹菜中提取黄酮类物质的研究[J]. *食品科技*, 2002, 23(8): 121-125.
- Zhang G, Chang T S, Liu J G. Study on flavonoid extract from celery [J]. *Food Sci.*, 2002, 23(8): 121-125.
- [16] 彭长连, 陈少薇. 用清除有机自由基 DPPH 法评价植物抗氧化能力[J]. *生物化学与生物物理进展*, 2000, 27(6): 658-661.
- Peng C L, Chen S W. Detection of antioxidative capacity in plants by scavenging organic free radical DPPH[J]. *Prog. Biochem. Biophys.*, 2000, 27(6): 658-661.
- [17] 唐晓伟, 柴敏, 何洪巨, 等. 野生番茄抗虫品种抗虫组分的 GC-MS 分析[J]. *分析测试学报*, 2004, 23(增): 235-239.
- Tang X W, Cai M, He H J *et al.* Identification of pest-resistance compositions in wild tomatoes by GC-MS [J]. *J. Inst. Anal.*, 2004, 23(Suppl): 235-239.
- [18] 潘瑞炽. 植物生理学(第五版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 32.
- Pan R C. *Plant physiology (5th Ed.)* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004. 32.
- [19] Welch R M, Webb M J, Loneragan J F. Zinc in membrane function and its role in phosphorus toxicity[J]. *Plant Nutr.*, 1982, 9: 710-715.
- [20] 郑育, 李宝青, 叶茵洋, 等. 番茄红素在血液透析患者中的抗氧化及调脂作用[J]. *营养学报*, 2009, 31(1): 51-54.
- Zheng Y, Li B Q, Ye H Y *et al.* Effects of lycopene on oxidative stress and blood lipid in maintenance hemodialysis patients[J]. *Acta Nutr. Sin.*, 2009, 31(1): 51-54.
- [21] 翁倩, 周宝利, 于洋, 等. 外源 ABA、BR 和 ETH 对番茄果实番茄红素含量的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2007, 38(6): 784-787.
- Wen Q, Zhou B L, Yu Y *et al.* Effects of exogenous ABA, BR, ETH on changes of lycopene's contents in fruit of tomato [J]. *J. Shenyang Agric. Univ.*, 2007, 38(6): 784-787.
- [22] 刘明池, 郝静, 唐晓伟. 番茄果实芳香物质的研究进展[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(5): 1444-1451.
- Liu M C, Hao J, Tang X W. Advances in studies of aroma components in tomato fruits[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2008, 41(5): 1444-1451.
- [23] 陈明华, 林光. 施铜、钼微肥对小白菜品质影响的研究[J]. *福建农业科技*, 1998, (3): 13-14.
- Chen M H, Lin G. The study of the effects of Cu and Mo fertilizer on the quality of Chinese cabbage[J]. *Fujian Agric. Sci. Techn.*, 1998, (3): 13-14.
- [24] 聂兆君, 胡承孝, 孙学成, 等. 钼对小白菜抗坏血酸氧化还原的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(5): 976-981.
- Nie Z J, Hu C X, Sun X C *et al.* Effects of molybdenum application on redox of ascorbic acid in Chinese cabbage[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2008, 14(5): 976-981.
- [25] 王利红, 徐芳森, 王运华. 硼钼锌配合对甘蓝型油菜产量和品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(2): 318-323.
- Wang L H, Xu F S, Wang Y H. Effects of B, Mo, Zn interaction on the seed yield and quality of *Brassica napus* [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2007, 13(2): 318-323.