

罗伟君, 唐琳, 周佳丽, 等. 纳米锌肥对番茄果实锌含量与品质的强化[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(1): 184-188.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.01.028

纳米锌肥对番茄果实锌含量与品质的强化

罗伟君, 唐琳, 周佳丽, 杨肖娥

(浙江大学环境与资源学院/污染环境修复与生态健康教育部重点实验室, 浙江 杭州 310058)

摘要: 为了探究纳米锌肥对番茄果实锌富集与品质的作用, 通过在番茄开花期喷施纳米锌肥(Zn+Nano Green), 对番茄果实产量、锌含量、铁含量、维生素C含量、有机酸含量、可溶性糖含量进行了研究。结果表明, Nano Green能够增加番茄对锌肥的吸收及果实锌含量, 从而提高叶面锌肥的利用率。Zn+Nano Green250、Zn+Nano Green500、Zn+Nano Green750、Zn+Nano Green1000处理与对照(清水)相比, 番茄果实锌含量分别提高了26.9%、34.8%、24.9%、22.5%。锌肥与Nano Green配施可以显著提升番茄的产量及营养品质, 尤以Zn+Nano Green500效果最佳。与对照相比, Zn+Nano Green500处理的番茄产量增加32.3%, 锌含量增加34.8%, 铁含量增加42.9%, 维生素C含量增加40.8%, 糖酸比值增加9.9%。

关键词: 纳米锌; 番茄; 锌含量; 营养品质

中图分类号: S641.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2016)01-0184-05

Improvement of zinc concentration and quality of tomato fruit by nano zinc fertilizer

LUO Wei-jun, TANG Lin, ZHOU Jia-li, YANG Xiao-e

(College of Environmental and Resources Science, Zhejiang University/Key Laboratory of Environmental Remediation and Ecosystem Health, Ministry of Education, Hangzhou 310058, China)

Abstract: To explore the influence of nano zinc fertilizer on fruit zinc concentration and quality of tomato, foliar nano zinc fertilizer (Zn+Nano Green) was sprayed on tomato at flowering stage, and the tomato yield, the contents of zinc, iron, vitamin C, organic acid, and soluble sugar were measured. The results showed that Nano Green increased the zinc uptake by tomato and Zn in fruit, and thus improved the zinc fertilizer utilization. Compared to the control (water), the fruit zinc contents of Zn+Nano Green250, Zn+Nano Green500, Zn+Nano Green750, Zn+Nano Green1000 treatment were increased by 26.9%, 34.8%, 24.9%, and 22.5%, respectively. The Zn+Nano green treatments significantly improved the yield and quality of tomato, among which, the Zn+Nano Green500 treatment presented the best effect. The yield, zinc content, iron content, vitamin C content and sugar acid ratio of tomato with Zn+Nano Green500 treatment were increased by 32.3%, 34.8%, 42.9%, 40.8%, and 9.9% respectively as compared to CK.

Key words: nano zinc; tomato; zinc content; nutritional quality

收稿日期: 2015-06-30

基金项目: 国际 HarvestPlus 项目 (#2014H8322.ZHU)

作者简介: 罗伟君(1988-), 女, 广西藤县人, 硕士研究生, 主要从事作物铁锌营养强化研究。(E-mail) weijunluo2013@163.com

通讯作者: 杨肖娥, (Tel) 0571-88982907; (E-mail) xyang@zju.edu.cn

锌参与人体内 200 多种酶和蛋白质的组成, 作为许多酶的催化剂, 是人体必需的微量元素^[1]。目前, 世界人口的缺锌率大于 33.3%^[2], 锌缺乏是一个全球性的健康问题, 主要原因是人体锌摄入量低。锌对儿童的生长发育尤为重要, 儿童发育

不良反映其锌营养处于缺乏水平。同样,孕妇对锌的摄取量低也会影响婴儿的发育及健康。因此,通过强化作物锌营养可以有效地缓解人体锌缺乏现象。

叶面喷施锌肥是提高作物可食部锌含量的有效手段^[3-5],但由于液滴的理化性质、叶片结构等会影响作物对叶面肥的吸收和转运,叶面肥的喷施效率一般较低^[6]。有研究表明,表面活性剂可以软化叶片蜡质结构,从而增加液滴在叶片的移动性^[7];改善液滴理化性质^[8],增加其在叶面的扩散及渗透;改变叶片蜡质结构,改善叶片渗透率特征^[9]。如表面活性剂 RSO5 可以促进液滴的扩散,扩大覆盖区域,并使有效成分在液滴内均匀分布^[10]。有机硅表面活性剂可以显著降低表面张力,并促进液滴在叶面的润湿及扩散^[11]。Remya Nair 等人的研究发现,纳米材料能够更好地促使液滴在作物体内的渗透,且可以控制其有效成分的释放速率,增加叶面肥的持续性^[12]。纳米氧化锌可以通过改变细胞壁来提升渗透性,从而促进作物对养分的吸收转运^[13-14]。纳米氧化铁不仅提高了花生对铁的利用率,还促进花生对氮、磷、钾养分的吸收^[15]。但目前利用纳米锌肥提高作物锌营养的报道并不多见。本研究主要研究纳米锌肥对番茄果实锌含量与品质的影响,为研发锌高效叶面肥、提高叶面锌肥利用率、开发富锌高端农产品生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

试验于 2014 年在浙江省杭州市良渚镇荀山村进行。土壤理化性质:有机质 5.62 g/kg,全氮 1.03 g/kg,速效磷 66.35 mg/kg,速效钾 95.68 mg/kg,有效锌 3.04 mg/kg。

供试番茄品种为望舒,于 2014 年 3 月 1 日移栽。各处理统一在开花期 3 次(4 月 30 日、5 月 5 日、5 月 10 日)喷施叶面肥,喷施时用塑料薄膜遮盖地面和相邻不同处理的植株,6 月 20 日收获。供试锌肥为 0.1% $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。纳米乳液为 Nano Green,胶束粒径范围为 0~100 nm,稀释倍数分别设为 250、500、750 和 1 000。试验设 7 个处理,即(1)CK:喷施相同体积的清水;(2)Zn:单施 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;(3)Nano Green500:单施纳米乳液 500 倍稀释液;(4)Zn+Nano Green250:喷施 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 与纳米乳液 250 倍稀

液;(5)Zn+Nano Green500:喷施 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 与纳米乳液 500 倍稀释液;(6)Zn+Nano Green750:喷施 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 与纳米乳液 750 倍稀释液;(7)Zn+Nano Green1 000:喷施 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 与纳米乳液 1 000 倍稀释液。采用随机区组试验设计,各小区面积为 10 m²,株行距 40 cm×80 cm,重复 3 次,按常规田间措施管理。

1.2 测定方法

在番茄成熟期,每处理小区随机取样 10 个果实,先用 20 mmol/L 的 $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 溶液浸泡果实 15 min,再用去离子水洗涤 3 次,70 ℃ 烘干后,用 Retsch M M301 型(德国)玛瑙磨样机粉碎,所得番茄样品装入封口袋贮存在 -20 ℃ 备用。

称取 0.3 g 样品,放入聚四氟乙烯管中,加入 4 ml 的优级纯硝酸和 1 ml 优级纯双氧水,混匀并放置过夜后,置于电热板消煮。消煮程序设置为 80 ℃ 30 min,130 ℃ 2 h,160 ℃ 30 min。消化后,待温度降至室温,将消煮液体转移至容量管,加去离子水定容至 30 ml。用 ICP-MS 测定铁、锌含量。

维生素 C 的测定采用 2,6-二氯酚法;可溶性糖测定采用蒽酮法;有机酸用碱液滴定法测定;蛋白质含量用考马斯亮蓝 G-250 法测定。

1.3 数据处理

试验数据采用 Origin 8.0 制作图表,用 SPSS 16.0 软件进行单因素方差分析。如果差异显著,不同处理间的差异显著性则采用邓肯氏新复极差法进行多重比较并检验。

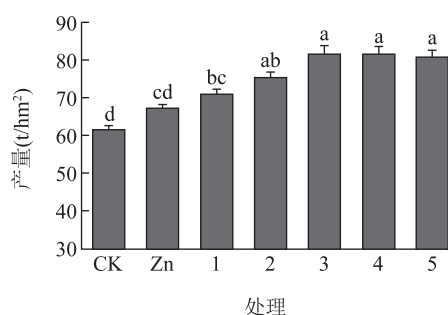
2 结果与分析

2.1 纳米锌肥喷施对番茄产量的影响

由图 1 可以看出,单施锌肥的番茄产量比对照增加了 9.2%。单施 Nano Green 的番茄产量比对照增加了 15.3%。说明锌肥和 Nano Green 均能促进番茄果实的生长发育。Zn+Nano Green250、Zn+Nano Green500、Zn+Nano Green750、Zn+Nano Green 1 000 处理与对照相比,番茄产量分别增加了 22.1%、32.3%、32.6%、31.1%。其中,Zn+Nano Green500 处理对增加番茄产量的效果最佳。说明锌肥与 Nano Green 结合更能促进番茄果实的生长发育,可以显著提高番茄产量。

2.2 纳米锌肥喷施对番茄果实锌含量的影响

如图 2 所示,单施锌肥的番茄果实锌含量比对



CK 代表喷施相同体积的清水; Zn 代表单施 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 1 代表 Nano Green500 处理, 即单施纳米乳液 500 倍稀释液; 2 代表 Zn+Nano Green250 处理, 即喷施 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 与纳米乳液 250 倍稀释液; 3 代表 Zn+Nano Green500 即喷施 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 与纳米乳液 500 倍稀释液; 4 代表 Zn+Nano Green750 处理, 即喷施 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 与纳米乳液 750 倍稀释液; 5 代表 Zn+Nano Green1 000 处理, 即喷施 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 与纳米乳液 1 000 倍稀释液。图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 1 纳米锌肥喷施对番茄产量的影响

Fig.1 The effect of nano zinc fertilizer spraying on tomato yield

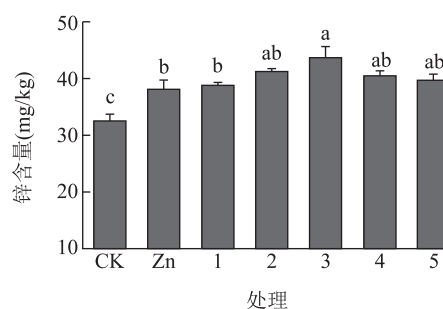
照增加了 17.6%, 差异达到显著。单施 Nano Green 的番茄果实锌含量比对照增加了 19.6%, 差异达到显著。Zn+Nano Green250、Zn+Nano Green500、Zn+Nano Green750、Zn+Nano Green1 000 处理与对照相比, 番茄果实锌含量分别提高了 26.9%、34.8%、24.9%、22.5%。其中, Zn+Nano Green500 处理果实含锌量最高, 显著高于对照、单施锌肥及单施 Nano Green 处理, 说明 Nano Green 能够促进番茄对锌肥的吸收, 而锌肥与 Nano Green 结合可以进一步提升叶面锌肥的利用率。

2.3 纳米锌肥喷施对番茄果实铁含量的影响

由图 3 可知, 单施锌肥的番茄果实铁含量比对照增加了 2.6%。单施 Nano Green 的番茄果实铁含量比对照增加了 22.0%。Zn+Nano Green250、Zn+Nano Green500、Zn+Nano Green750、Zn+Nano Green1 000 处理与对照相比, 番茄果实含铁量分别增加了 27.9%、42.9%、37.8%、23.7%, 差异达到显著。其中, Zn+Nano Green500 处理果实含铁量显著高于对照、单施锌肥处理。说明锌肥与 Nano Green 结合可以促进果实中铁的积累。

2.4 纳米锌肥喷施对番茄果实维生素 C 含量的影响

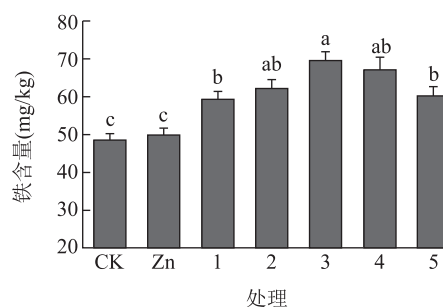
维生素 C 含量是表征番茄果实营养状况的重要指标。单施锌肥的番茄维生素 C 含量比对照增



图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。CK、Zn、Nano Green500、Zn+Nano Green250、Zn+Nano Green500、Zn+Nano Green750 和 Zn+Nano Green1 000 见图 1 注。

图 2 纳米锌肥喷施对番茄果实锌含量的影响

Fig.2 The effect of nano zinc fertilizer spraying on tomato fruit zinc concentration



图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。CK、Zn、Nano Green500、Zn+Nano Green250、Zn+Nano Green500、Zn+Nano Green750 和 Zn+Nano Green1 000 见图 1 注。

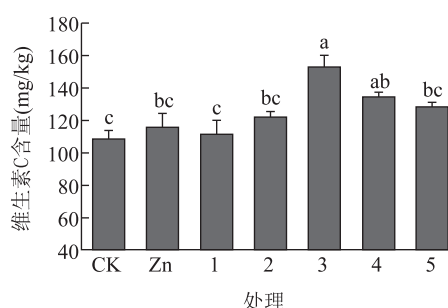
图 3 纳米锌肥喷施对番茄果实铁含量的影响

Fig.3 The effect of nano zinc fertilizer spraying on tomato fruit iron concentration

加了 6.9%。单施 Nano Green 的番茄维生素 C 含量比对照增加了 2.9%。Zn+Nano Green250、Zn+Nano Green500、Zn+Nano Green750、Zn+Nano Green1 000 处理与对照相比, 番茄果实维生素 C 含量提高了 12.6%、40.8%、23.9%、18.3%, 差异达到显著 (图 4)。其中, Zn+Nano Green500 处理, 番茄果实维生素 C 含量最高, 显著高于对照、单施锌肥和单施 Nano Green 处理。

2.5 纳米锌肥喷施对番茄果实糖酸比的影响

由图 5 可知, 单施锌肥的番茄果实糖酸比值比对照增加了 4.2%。单施 Nano Green 的番茄果实糖酸比值比对照增加了 8.5%。Zn+Nano Green250、Zn+Nano Green500、Zn+Nano Green750、Zn+Nano Green1 000 处理与对照相比, 番茄果实糖酸比值分

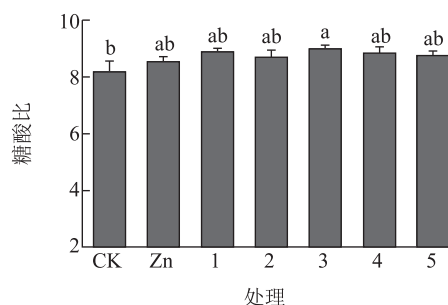


图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。CK、Zn、Nano Green500、Zn+Nano Green250、Zn+Nano Green500、Zn+Nano Green750 和 Zn+Nano Green1 000 见图 1 注。

图 4 纳米锌肥喷施对番茄果实维生素 C 含量的影响

Fig.4 The effect of nano zinc fertilizer spraying on tomato fruit Vitamin C content

别上升了 6.0%、9.9%、8.0%、6.8%。其中, Zn+ Nano Green500 处理,番茄果实糖酸比值最大,显著高于对照。



图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。CK、Zn、Nano Green500、Zn+Nano Green250、Zn+Nano Green500、Zn+Nano Green750 和 Zn+Nano Green1 000 见图 1 注。

图 5 纳米锌肥喷施对番茄果实糖酸比的影响

Fig.5 The effect of nano zinc fertilizer spraying on tomato fruit sugar acid ratio

3 讨论

液滴在叶片的渗透与表面张力相关^[16],液滴越小越容易保留在叶面,覆盖范围也越广^[17]。叶片的蜡质结构则决定着叶面肥液滴在叶面的保留时间及润湿能力^[18]。水溶液与纯水的表面张力相近,其在叶面的渗透率低。表面活性剂是提升叶面肥喷施效果的高效辅助剂,且被广泛使用^[19],其作用机制是:增加接触面的有效面积,溶解叶片蜡质结构,增加溶液溶解度等^[20]。Greene 和 Bukovac 的研究结果表明添加表面活性剂后可以降低界面表面张力,增加

NAA 在叶面的渗透率^[21]。赵青等人发现加入表面活性剂可以显著增加铁在苹果叶片的渗透率^[22]。Kraemer 等人的试验通过添加表面活性剂 RSO5,增加了液滴的扩散及覆盖面积,从而促进了钙的渗透率^[23]。表面活性剂、油和水在特定的时间间隔和温度条件下乳化形成纳米乳液,所得纳米微粒具有较大的比表面积,可以大大增加其表面结合能力,有利于叶面肥在叶片的覆盖及渗透。

本试验结果显示,锌肥与 Nano Green 配施可以提升果实的锌含量,可见 Nano Green 可以促进番茄对叶面锌肥的吸收^[24]。表面活性剂的浓度是影响叶面肥喷施效果的重要因素^[11]。界面表面张力的大小与表面活性剂的浓度相关,不同表面活性剂浓度对降低界面表面张力的能力不同。界面表面张力随表面活性剂浓度的增加呈下降趋势,在浓度达到某一值时,界面表面张力不再变化。本研究中, Nano Green 的最佳稀释倍数为 500,番茄对叶面锌肥的吸收效果达到最佳,与对照相比,果实锌含量增加了 34.8%。

刘秀梅等人指出纳米肥料可提高营养元素在植株体内的移动性,满足植株的生长和发育,从而促进作物对养分的吸收^[25]。相关研究结果表明,喷施表面活性剂可提升玉米的产量^[26]。本研究发现,单施 Nano Green 可以提高番茄果实的产量,锌肥与 Nano Green 配施可以进一步提高番茄果实的产量。锌肥与 Nano Green 结合能提升番茄果实的营养品质, Zn+Nano Green500 处理后番茄果实维生素 C 含量、糖酸比值分别高达 152.96 mg/kg、9.01。总体来看,各处理对番茄果实锌营养及品质强化产生正效应的顺序是 Zn+Nano Green>Nano Green>Zn>CK,且 Zn+ Nano Green500 效果最佳。

参考文献:

- [1] ALMENDROS P, OBRADOR A, GONZALEZ D, et al. Biofortification of zinc in onions (*Allium cepa* L.) and soil Zn status by the application of different organic Zn complexes [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 186: 254-265.
- [2] WEI Y Y, SHOHAG M J I, WANG Y Y, et al. Effect of zinc sulfate fortification in germinated brown rice on seed zinc concentration, bioavailability, and seed germination [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60: 1871-1879.
- [3] PECK A W, MCDONALD G K, GRAHAM R D. Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Journal of Cereal Science, 2008, 47: 266-274.

- [4] WANG S X, LI M, TIAN X H, et al. Foliar zinc, nitrogen, and phosphorus application effects on micronutrient concentrations in winter wheat[J]. *Agronomy Journal*, 2015, 107: 61-70.
- [5] 贾永华, 李晓龙, 牛锐敏, 等. 叶面喷锌对苹果叶片生长及产量品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(12): 218-220.
- [6] PERKINS M C, ROBERTS C J, BRIGGS D, et al. Macro and micro-thermal analysis of plant wax/surfactant interactions; plasticizing effects of two alcohol ethoxylated surfactants on an isolated cuticular wax and leaf model[J]. *Applied Surface Science*, 2005, 243: 158-165.
- [7] SCHÖNHERR J, BAUR P, UHLIG B A. Rates of cuticular penetration of 1-naphthylacetic acid (NAA) as affected by adjuvants, temperature, humidity and water quality[J]. *Plant Growth Regulation*, 2000, 31: 61-74.
- [8] SCHÖNHERR J. Calcium chloride penetrates plant cuticles via aqueous pores[J]. *Planta*, 2000, 212: 112-118.
- [9] TAMURA H, KNOCH M, HAYASI Y, et al. Selective solubilisation of tomato fruit epicuticular wax constituents by Triton X-100 surfactant[J]. *Journal of Pesticide Science*, 2001, 26: 16-20.
- [10] KRAEMER T, HUNSCHE M, NOGA G. Cuticular calcium penetration is directly related to the area covered by calcium within droplet spread area[J]. *Scientia Horticulturae*, 2009, 120: 201-206.
- [11] KNOCH M. Organosilicone surfactant performance in agricultural spray application; a review[J]. *Weed Research*, 1994, 34: 221-239.
- [12] NAIR R, VARGHESE S H, NAIR B G, et al. Nanoparticulate material delivery to plants[J]. *Plant Science*, 2010, 179: 154-163.
- [13] BRAYNER R, FERRARI-ILIOU R, BRIVOIS N, et al. Toxicological impact studies based on *Escherichia coli* bacteria in ultrafine ZnO nanoparticles colloidal medium[J]. *Nano Letters*, 2006, 6: 866-870.
- [14] SONDI I, SALOPEK-SONDI B. Silver nanoparticles as antimicrobial agent; a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria[J]. *Journal Colloid and Interface Science*, 2004, 275: 177-182.
- [15] 刘秀梅, 张夫道, 冯兆滨, 等. 纳米氧化铁对花生生长发育及养分吸收影响的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(4): 551-555.
- [16] FERNÁNDEZ V, EICHERT T. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization[J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2009, 28: 36-68.
- [17] ELLIS M C B, TUCK C R, MILLER P C H. The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles[J]. *Crop Protection*, 1997, 16: 41-50.
- [18] KOCH K, ENSIKAT H J. The hydrophobic coatings of plant surfaces; epicuticular wax crystals and their morphologies, crystallinity and molecular self-assembly[J]. *Micron*, 2008, 39: 759-772.
- [19] WANG C J, LIU Z Q. Foliar uptake of pesticides-present status and future challenge[J]. *Pesticide Biochemistry Physiology*, 2007, 87: 1-8.
- [20] STOCK D, HOLLOWAY P J. Possible mechanisms for surfactant-induced foliar uptake of agrochemicals[J]. *Pesticide Science*, 1993, 38: 165-177.
- [21] GREENE D W, BUKOVAC M J. Stomatal penetration; effect of surfactants and role in foliar absorption[J]. *American Journal of Botany*, 1974, 61(1): 100-106.
- [22] 赵青, 李晓莉, 沙琰琰, 等. 表面活性剂对铁在苹果角质膜上渗透率的影响[J]. *贵州农业科学*, 2012, 40(8): 58-60.
- [23] KRAEMER T, HUNSCHE M, NOGA G. Selected calcium salt formulations; interactions between spray deposit characteristics and Ca penetration with consequences for rain-induced wash-off[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2009, 32(10): 1718-1730.
- [24] BAUR P. Surfactant effects on cuticular penetration of neutral polar compounds; dependence on humidity and temperature[J]. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47(2): 753-761.
- [25] 刘秀梅, 张夫道, 张树清, 等. 纳米碳酸钙在花生上的施用效果研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(3): 385-389.
- [26] CHAICHI M R, NURRE P, SLAVEN J, et al. Surfactant application on yield and irrigation water use efficiency in corn under limited irrigation[J]. *Crop Science*, 2015, 55: 386-393.

(责任编辑: 陈海霞)