

# 外源硼对红地球葡萄幼苗生长及抗性相关指标的影响

杨 阳<sup>1</sup>, 谭玉超<sup>2</sup>, 常睿哲<sup>3</sup>, 任凤山<sup>1</sup>, 蒋锡龙<sup>1</sup>, 吴新颖<sup>1</sup>

(1. 山东省葡萄研究院/山东省葡萄栽培与精深加工工程技术研究中心,山东 济南 250100;  
2. 烟台张裕卡斯特酒庄有限公司,山东 烟台 264000; 3. 山东省农药科学研究院,山东 济南 250100)

**摘要:**为研究外源硼对葡萄生长及抗性相关指标的影响,以1年生红地球葡萄幼苗为试材,设置营养液硼质量浓度为0、0.2、3.1、6.2 mg/L的4个处理,处理121 d后,分析不同质量浓度硼条件下葡萄幼苗的生长量、硼、可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白质、脯氨酸、丙二醛含量、SOD(超氧化物歧化酶)、PAX(抗坏血酸过氧化物酶)、POD(过氧化物酶)、CAT(过氧化氢酶)活性等指标。结果表明,不同处理的葡萄幼苗生长出现显著差异,硼质量浓度为3.1 mg/L时有最大新梢生长量和生物质量;葡萄叶片和根系硼含量随外源硼质量浓度增加而增加,高硼(6.2 mg/L)处理的硼含量较高,叶片硼含量为448.0 mg/kg,根系硼含量为75.3 mg/kg;无硼(0 mg/L)处理的新梢生长量、根系可溶性糖含量、叶片可溶性蛋白质含量、叶片脯氨酸含量、叶片SOD活性、叶片CAT活性最小,根系淀粉含量、叶片丙二醛含量和POD活性最高;随着外源硼浓度的增加,根系可溶性糖含量、叶片可溶性蛋白质含量、叶片脯氨酸含量以及叶片CAT活性增加,根系淀粉含量、叶片POD活性降低,叶片SOD和APX活性呈先升高后降低趋势,叶片丙二醛含量呈先降低后升高趋势;高硼(6.2 mg/L)处理有较高的根系可溶性糖含量、叶片可溶性蛋白质含量、叶片脯氨酸含量以及较高的叶片CAT活性。外源硼质量浓度与葡萄叶片和根系硼含量呈显著正相关( $r=0.9501, r=0.9894$ ),与根系淀粉含量呈显著负相关( $r=-0.9782$ ),与叶片可溶性蛋白质含量呈正相关( $r=0.9233$ ),与叶片POD活性呈负相关( $r=-0.8496$ ),但不显著。适量的外源硼有利于葡萄幼苗生长,无硼(0 mg/L)和高硼(6.2 mg/L)处理抑制葡萄幼苗生长,并引起抗性相关的生理生化指标的变化。

**关键词:**红地球葡萄;硼素营养;生长;抗性指标;超氧化物歧化酶;抗坏血酸过氧化物酶;过氧化物酶;过氧化氢酶

中图分类号:S663.1 文献标志码:A 文章编号:1004-3268(2020)11-0120-08

## Effect of Boron on Growth and Resistance Related Indicators of Red Globe Grape Seedlings

YANG Yang<sup>1</sup>, TAN Yuchao<sup>2</sup>, CHANG Ruizhe<sup>3</sup>, REN Fengshan<sup>1</sup>, JIANG Xilong<sup>1</sup>, WU Xinying<sup>1</sup>

(1. Shandong Academy of Grape/Shandong Engineering Research Center for Grape Cultivation and Deep-processing, Jinan 250100, China; 2. Yantai Changyu Castel Company, Yantai 264000, China;  
3. Shandong Academy of Pesticide Sciences, Jinan 250100, China)

**Abstract:** In order to study the effect of boron on the growth and resistance related indicators of grapes, we chose one-year-old Red Globe grape seedlings as test materials, and treated them by nutrient solution

收稿日期:2020-06-20

基金项目:山东省人才计划资金支持现代农业产业体系创新团队建设项目(SDAIT-06-21);山东省重点研发计划果园花果精准调控与品质管理技术研究项目(2017CXGC0210)

作者简介:杨 阳(1982-),女,黑龙江拜泉人,农艺师,硕士,主要从事葡萄植物营养与土壤改良技术研究。

E-mail: feixiang0507@126.com

通信作者:吴新颖(1976-),女,吉林敦化人,高级农艺师,硕士,主要从事葡萄品种与栽培、病虫害综防研究。

E-mail: echomoon0622@163.com

containing 0, 0.2, 3.1, 6.2 mg/L boron respectively. After 121 days of treatment, we analyzed the physiological and biochemical indicators of grape seedlings under different boron concentrations. Those indicators included plant growth, contents of boron, soluble sugar, starch, protein, proline and malondialdehyde, activities of SOD, PAX, POD and CAT and so on. The results showed that there were significant differences in the growth of grape seedlings treated with different concentrations of boron. When the concentration of boron was 3.1 mg/L, the new shoot growth and biomass accumulation were maximum. The boron content of grape leaves and roots increased with the increase of exogenous boron concentration. For the treatment of different boron, the boron contents in leaves and roots were 448.0 mg/kg and 75.3 mg/kg, respectively. The results showed that the shoot growth, root soluble sugar content, leaf soluble protein content, leaf proline content, leaf SOD activity and leaf CAT activity were the lowest, root starch content, leaf MDA content and POD activity were the highest, with the increase of exogenous boron concentration, root soluble sugar content, leaf soluble protein content, proline content, and leaf CAT activity increased, starch content in roots and POD activity in leaves decreased, SOD and APX activities increased first and then decreased, and malondialdehyde content decreased first and then increased. High boron(6.2 mg/L) treatment had higher root soluble sugar content, leaf soluble protein content, leaf proline content and CAT activity. There were significant positive correlations between the concentration of exogenous boron and the concentration of boron in grape leaves and roots( $r=0.9501, r=0.9894$ ), significant negative correlation between exogenous boron concentration and starch content in root system( $r=-0.9782$ ), positive correlation between exogenous boron concentration and soluble protein content in leaves( $r=0.9233$ ), negative correlation between exogenous boron concentration and POD activity in leaves( $r=-0.8496$ ), while not significant. Appropriate amount of exogenous boron promoted the growth of grape seedlings, no boron(0 mg/L) and high boron(6.2 mg/L) treatments affected the growth and resistance related physiological and biochemical indexes of grape seedlings.

**Key words:** Red Globe grape; Boron nutrition; Growth; Resistance index; SOD; PAX; POD; CAT

近年来,葡萄产业发展迅速,已成为我国较为重要的经济产业<sup>[1]</sup>。然而,在葡萄生产中会受到干旱、高温、低温、病、虫等各种因素的影响,对葡萄生产造成不可挽救的损失<sup>[2-3]</sup>。有研究表明,适当增加钙、硅、钼等矿质养分,不仅可改善植物营养状况,还能有效减少或减轻各种环境及生物胁迫对植物产生的影响,进而提升植物的生产能力<sup>[4-5]</sup>。通过合理施用矿质元素来提高植物抗性,以抵御不良环境和生物胁迫,已逐渐成为植物营养学的研究热点<sup>[6]</sup>。

硼是植物生长发育所必需的微量元素,不仅具有促进细胞生长和生殖器官建成,参与碳水化合物、酚类、氮素的代谢过程等多种营养生理功能<sup>[7]</sup>,还能以多种方式直接或间接地提高植物抗性<sup>[8]</sup>。有研究认为,在抵御外界不良环境上,适当的硼可提高叶片抗氧化系统的酶活性,抑制超氧阴离子产生速率,进而提高其抗旱性<sup>[9]</sup>;在抗病性上,硼可通过改变植物细胞特性<sup>[10]</sup>,诱导植物产生系统获得性抗性<sup>[11]</sup>,以提高寄主植物对病原菌的抵抗能力。有关硼对植物各种抗性的影响研究,主要集中在马铃薯<sup>[12]</sup>、大白菜<sup>[13]</sup>、黄瓜<sup>[14]</sup>、烟草<sup>[15]</sup>、桃树<sup>[16]</sup>上,但硼对葡萄抗性影响的相关研究还未见报道。

红地球葡萄(*V. vinifera* L. cv. Red Globe)是我国栽培面积较大的鲜食葡萄品种,粒大、色艳、耐储、含糖量高,但存在抗旱性、抗病性和抗寒性弱的特点<sup>[17]</sup>。有研究表明,与野生型葡萄相比,红地球葡萄对硼元素利用率低,是硼低效品种<sup>[18]</sup>。而有关外源硼对红地球生长及各种生理生化指标的影响研究还未见报道。鉴于此,通过分析不同质量浓度硼处理条件下红地球葡萄幼苗的生长指标、根系和叶片硼含量、叶片中抗性相关指标的变化趋势以及各指标间的相关性,探究不同质量浓度硼处理对葡萄生长以及抗性指标的影响,初步探讨硼元素在提高葡萄抗性上的作用及生理机制,为葡萄硼肥的合理施用提供理论支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验设置

试验于2017年在山东省葡萄研究院温室内进行。以1年生欧洲葡萄(*V. vinifera*)红地球(Red Globe)为试材,选择主干粗细较均匀的苗木,培养前进行统一修剪,地上部保留2个芽(约10 cm),根系保留5 cm长度,于基质中培养3~5片叶时,再分别选择长势一致的苗木36棵,用蒸馏水洗去根部基质







-0.978 2);叶片可溶性蛋白质含量与叶片硼含量呈显著正相关( $r=0.984 5$ ),叶片脯氨酸含量与叶片硼含量为极显著正相关( $r=0.997 6$ );叶片 POD 活性与外界硼质量浓度及各指标间均为负相关,其中与根系可溶性糖含量和叶片可溶性蛋白质含量为显著负相关( $r=-0.965 7, r=-0.960 7$ ),叶片 CAT 活性与根系硼含量为显著正相关( $r=0.964 7$ ),与根系淀粉含量为显著负相关( $r=-0.978 7$ )。

### 3 结论与讨论

最新研究表明,葡萄对硼素的吸收量仅次于铁元素,位于微量元素中的第 2 位<sup>[21]</sup>。硼素在葡萄生产上的应用方式较单一,主要以叶面肥的形式于葡萄花期前后喷施,研究上更侧重于葡萄坐果率<sup>[22]</sup>及果实品质<sup>[23-24]</sup>的提高。而有关硼素对葡萄生长发育影响的研究,主要集中在缺硼胁迫和硼中毒方面,有研究认为,植物硼适宜和硼中毒的浓度范围较小,外界硼超过 2 mg/kg 时葡萄生长将受到抑制<sup>[25]</sup>。但也有研究表明,葡萄对硼具有较强的适应性,在极度缺硼的土壤上,葡萄仍可良好生长<sup>[26]</sup>;而当外界硼达到 13.02 mg/kg 和 19.22 mg/kg 时,葡萄叶片会出现硼中毒症状,但对葡萄产量不造成影响<sup>[25]</sup>。本试验数据显示,经过 121 d 不同浓度硼处理,红地球葡萄幼苗的生长表现出显著差异,新梢生长和生物量的积累随外界硼浓度的升高呈现先升高后降低的趋势,在硼质量浓度为 3.1 mg/L 时有最大值,且在无硼(0 mg/L)和高硼(6.2 mg/L)环境条件下植株未表现出明显胁迫症状。这一结果表明,适当的增加外界硼浓度有利于红地球葡萄的生长,而有关适宜的浓度范围及适宜量与前人研究结果有所差异,这可能与苗木品种、年龄、处理时间、试验栽培环境及硼试剂形态存在差异有关。无硼条件 121 d 未出现缺硼胁迫症状,这可能与幼苗储藏的硼以及在前期基质栽培时吸收的硼已足够 1 年生红地球葡萄生长的需求有关,也表明生产上葡萄树体可以在一定时间内抵御缺硼或高硼的环境胁迫。

本试验中,红地球葡萄叶片和根系硼含量与外源硼浓度呈显著正相关性,外源硼浓度直接影响葡萄体内硼的含量水平,这一结果与 YERMIYAHU 等<sup>[27]</sup>的研究结果一致。叶片中硼含量可作为硼缺乏和硼中毒的指标,有研究认为,葡萄叶片硼含量低于 20 mg/kg 为硼缺乏,叶片硼含量超过 150 mg/kg 为硼中毒<sup>[28]</sup>。本试验数据显示,在硼质量浓度分别为 3.1、6.2 mg/L 时,叶片硼含量可高达 378.2 mg/kg 和 448.0 mg/kg,而叶片未表现出明显硼中毒现象,

这可能与硼处理时间不够有关,在短时间内植株可能会通过其他方式来抵御硼过量的伤害。

根系中可溶性糖含量是衡量根系抗寒性能力的关键性指标之一<sup>[29]</sup>。硼可促进碳水化合物的运输和代谢,叶面喷施硼砂增加了马铃薯块茎中的蔗糖、还原性糖和淀粉含量<sup>[30]</sup>。而本试验中,葡萄根系可溶性糖含量与外源硼质量浓度呈正相关,但不显著;根系淀粉含量与外源硼质量浓度呈显著负相关。表明,外界硼浓度的增加提高了根系可溶性糖含量,但降低了淀粉含量,推测是高浓度的硼促进了根系中淀粉向可溶性糖的转化,这一结果与孙爽<sup>[31]</sup>在甜瓜上的研究一致,但与马光恕等<sup>[30]</sup>在马铃薯上的研究有所差异。

可溶性蛋白质、脯氨酸、丙二醛含量是重要的植物逆境生理指标<sup>[32]</sup>。本试验中,叶片可溶性蛋白质和脯氨酸含量与叶片硼含量分别呈显著正相关和极显著正相关,高质量浓度硼环境增加了叶片可溶性蛋白质和脯氨酸含量,这一结果与熊博等<sup>[33]</sup>的研究结果一致。而丙二醛是细胞膜过氧化的产物,可作为衡量细胞膜系统受到伤害的指标之一,POD、SOD、CAT、APX 等抗氧化系统酶活性是衡量植物抗性的重要指标。本试验中,外源硼质量浓度为 0.2 mg/kg 时,有较低的丙二醛含量,较高的 SOD 和 APX 活性;在外源硼质量浓度为 0 mg/L 和 6.2 mg/L 时,葡萄叶片丙二醛含量显著升高,而 SOD 和 APX 活性显著降低。有研究表明,适当增加硼含量可增加逆境条件下植物的保护性酶活性<sup>[34]</sup>,硼处理洋桔梗 24 h 后,洋桔梗的 SOD、CAT、APX 活性增强,尤其 CAT 活性显著增强<sup>[35]</sup>。本试验中,随着外源硼浓度的增加,POD 活性呈减少趋势,CAT 活性呈增加趋势,SOD 和 APX 活性为先升高后降低趋势。综上,当外界硼不足或过量时,会对细胞膜造成一定的伤害,此时,外源硼可通过调节抗性相关生理生化指标在一定时间内来协调和抵御这种伤害,以维持植株正常生长,但具体作用机制及调节方式还需要进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 刘凤之.中国葡萄栽培现状与发展趋势[J].落叶果树,2017(1):1-4.  
LIU F Z. The present situation and development trend of Chinese grape cultivation [J]. Deciduous Fruits, 2017(1): 1-4.
- [2] 晁无疾,李敬川.非生物胁迫及其在葡萄产业中的重要性[J].中外葡萄与葡萄酒,2011(1):63-66.

- CHAO W J, LI J C. Non-biological stress and its importance in the grape industry [J]. Sino-overseas Grapevine & Wine, 2011(1):63-66.
- [3] 王忠跃. 我国葡萄病虫害防控实践面临的挑战及防控技术研发进展 [J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2015(4): 70-72.
- WANG Z Y. The development of the challenge and prevention and control technology of grape pest control in China [J]. Sino-overseas Grapevine & Wine, 2015(4): 70-72.
- [4] 宁东峰, 梁永超. 硅调节植物抗病性的机理: 进展与展望 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(5): 1280-1287.
- NING D F, LIANG Y C. Silicon-mediated plant disease resistance: Advance and perspectives [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(5): 1280-1287.
- [5] 田永强, 黄丽萍, 张正. 矿质元素缺失或不平衡与植物病害发生关系研究进展 [J]. 中国农学通报, 2016, 32(21): 174-176.
- TIAN Y Q, HUANG L P, ZHANG Z. Research progress of the relationship between mineral nutrients deficiency or imbalance and plant disease [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(21): 174-176.
- [6] 王芳, 李振轮, 陈艳丽, 等. 钙抑制植物病害作用及机制的研究进展 [J]. 生物技术通报, 2017, 33(2): 1-7.
- WANG F, LI Z L, CHEN Y L, et al. Recent advances on inhibition mechanisms of calcium on plant diseases [J]. Biotechnology Bulletin, 2017, 33(2): 1-7.
- [7] 陆景陵. 植物营养学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 83-86.
- LU J L. Plant nutrition [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2003: 83-86.
- [8] 李娜, 李振轮, 王晗, 等. 硼抑制植物病害作用及机制的研究进展 [J]. 植物生理学报, 2014, 50(1): 7-11.
- LI N, LI Z L, WANG H, et al. Recent advances in inhibition mechanism of boron on plant diseases [J]. Plant Physiology Journal, 2014, 50(1): 7-11.
- [9] 李自龙, 张俊莲, 李宗国, 等. 硼调控干旱胁迫下马铃薯生长发育及抗性的生理机制 [J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 67-72.
- LI Z L, ZHANG J L, LI Z G, et al. The physiological mechanism of the regulation of boron on the growth and development and resistance of potato plantlets under drought stress [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(5): 67-72.
- [10] XUAN H, STREIF J, BANGERTH F. Effect of boron applications on physiological disorders in 'Conference' pears during CA-storage [J]. Acta Horticulturae, 2001, 553: 249-253.
- [11] FRENKEL O, YERMIYAHU U, FORBES G A, et al. Restriction of potato and tomato late blight development by sub-phytotoxic concentrations of boron [J]. Plant Pathol, 2010, 59(4): 626-633.
- [12] 廉华, 孙爽, 张宇, 等. 硼砂浸种处理对马铃薯幼苗形态建成及糖代谢的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015(6): 96-101.
- LIAN H, SUN S, ZHANG Y, et al. The effect of seed soaked with borax on the morphogenesis establishment and sugar metabolism of potato seedling [J]. Chinese Soil and Fertilizer, 2015(6): 96-101.
- [13] RUARO L, LIMA NETO V C, RIBEIRO JUNIOR P J. Influence of boron, nitrogen sources and soil pH on the control of club root of crucifers caused by *Plasmoidiophora brassicae* [J]. Tropical Plant Pathology, 2009, 34(4): 231-238.
- [14] 李立梅, 吴元华, 赵秀香. 硼对西瓜蔗糖代谢的影响及对黄瓜绿斑驳花叶病毒的抗性诱导 [J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(3): 57-62.
- LI L M, WU Y H, ZHAO X X. Effect of boron on sucrose accumulation in watermelon and boron-induce resistance to cucumber green mottle mosaic virus [J]. Journal of China Agricultural University, 2010, 15(3): 57-62.
- [15] 李娜. 营养元素对烟草疫霉生长发育及硼对产孢期基因转录的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- LI N. Effects of nutrient elements on the growth of *Phytophthora nicotianae* and gene differential transcription in the sporangiogenesis of *P. nicotianae* by boron [D]. Chongqing: Southwest University, 2014.
- [16] THOMIDIS T, EXADAKTYLOU E. Effect of boron on the development of brown rot (*Monilinia laxa*) on peaches [J]. Crop Protection, 2010, 29(6): 572-576.
- [17] 姚指挥, 康琳. 提高红提葡萄抗性的技术措施 [J]. 山西果树, 2013(4): 24-25.
- YAO Z H, KANG L. Technical measures to enhance the resistance of red grapes [J]. Shanxi Fruits, 2013(4): 24-25.
- [18] 黄政, 潘学军, 张文娥, 等. 缺硼胁迫对不同基因型葡萄硼效率及硼积累、分配的影响 [J]. 果树学报, 2015, 32(1): 79-86.
- HUANG M, PAN X J, ZHANG W E, et al. Effect of boron deficiency stress on boron efficiency, accumulation and distribution in different *Vitis* genotypes [J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(1): 79-86.
- [19] 金珍, 马泓冰, 回春辉, 等. 电感耦合等离子体发射光谱法测定柑桔类水果及果皮中多种微量元素 [J]. 广东微量元素科学, 2016, 23(12): 7-11.
- JIN Z, MA H B, YAN C H, et al. Determination of multiple trace elements in different parts of citrus fruits by ICP-OES [J]. Guangdong Weiliang Yuansu Kexue,

- 2016, 23(12): 7-11.
- [20] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- LI H S. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [21] 骆萌, 伍国红, 许文平, 等. 新疆吐鲁番地区‘无核白’葡萄水分和矿质元素周年吸收规律研究 [J]. 园艺学报, 2017, 44(10): 1849-1860.
- LUO M, WU G H, XU W P, et al. Water and mineral elements uptake patterns of ‘Thompson Seedless’ grapevine in Turpan, Xinjiang [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2017, 44(10): 1849-1860.
- [22] 李娟娟, 赵刚, 张永涛. 不同硼肥在红地球葡萄上的应用效果 [J]. 新疆农垦科技, 2015, 38(8): 52-53.
- LI J J, ZHAO G, ZHANG Y T. The effect of different boron fertilizer on red earth grapes [J]. Xinjiang Agricultural Reclamation Technology, 2015, 38(8): 52-53.
- [23] 冯丽丹, 李捷, 赵宾宾, 等. 叶面喷施硼肥对‘梅鹿辄’葡萄产量及果实品质的影响 [J]. 中国果树, 2016(4): 21-25.
- FENG L D, LI J, ZHAO B B, et al. The effect of foliar spraying boron fertilizer on ‘Merlot’ grape yield and quality [J]. Chinese Fruit, 2016(4): 21-25.
- [24] 黄捷, 周咏梅. 钙硼处理对巨峰葡萄夏果坐果率及品质的影响 [J]. 南方园艺, 2015, 26(5): 17-19.
- HUANG J, ZHOU Y M. Effects of calcium and boron in fruit and quality on Kyoho grape [J]. Southern Horticulture, 2015, 26(5): 17-19.
- [25] 付其如, 何纪荣. 微量元素硼对葡萄生长发育的影响 [J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 1995, 16(4): 294-298.
- FU Q R, HE J R. The effect of trace element boron on the growth of grapes [J]. Journal of Sichuan Teachers College (Natural Science Edition), 1995, 16(4): 294-298.
- [26] 潘学军, 李德燕, 张文娥. 贵州喀斯特山区野生葡萄原生境土壤因子分析 [J]. 云南农业大学学报, 2011, 26(4): 535-542.
- PAN X J, LI D Y, ZHANG W E. Analysis of habitat soil factor of wild vitis plants originated in Karst regions in Guizhou Province [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2011, 26(4): 535-542.
- [27] YERMIYAHU U, BENGAL A, SARIG P. Boron toxicity in grapevine [J]. Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science, 2006, 41(7): 1698-1703.
- [28] 王忠跃. 葡萄健康栽培与病虫害防控 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2017.
- WANG Z Y. Good agricultural practices and integrated pest management for grapevine health [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2017.
- [29] 张倩. 葡萄根系抗寒性研究 [D]. 洛阳: 河南科技大学, 2013.
- ZHANG Q. Studies on cold resistance of grape root [D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2013.
- [30] 马光恕, 廉华, 王彦宏, 等. 硼素对马铃薯淀粉合成和积累的影响 [J]. 核农学报, 2013, 27(3): 384-390.
- MA G S, LIAN H, WANG Y H, et al. The effect of element boron on potato starch synthesis and accumulation [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2013, 27(3): 384-390.
- [31] 孙爽. 硼对甜瓜糖类物质积累与品质形成的影响 [D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2016.
- SUN S. The effect of boron on accumulation and quality of sweet melon sugar [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2016.
- [32] 徐小军, 张桂兰, 周亚峰, 等. 甜瓜幼苗耐冷性相关生理指标的综合评价 [J]. 果树学报, 2015, 32(6): 1187-1194.
- XU X J, ZHANG G L, ZHOU Y F, et al. Comprehensive estimation of physiological indices related to chilling resistance of melon seedlings [J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(6): 1187-1194.
- [33] 熊博, 叶霜, 邱霞, 等. 硼对黄果柑生理及抗氧化酶活性的影响 [J]. 浙江农业学报, 2016, 28(7): 1171-1176.
- XING B, YE S, QIU X, et al. Effect of boron on physiological and antioxidant enzymes activity of Huangguogan [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2016, 28(7): 1171-1176.
- [34] 宋柏权, 刘乃新, 吴玉梅, 等. 甜菜保护酶系统对硼胁迫响应及其与内源激素相关性研究 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(27): 198-202.
- SONG B Q, LIU N X, WU Y M, et al. Effects of boron stress on protective enzyme system of sugar beet and its relationship with endogenous hormones [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(27): 198-202.
- [35] REZAEE F, CHANATI F, BEHMANESH M. Antioxidant activity and expression of catalase gene of (*Eustoma grandiflorum* L.) in response to boron and aluminum [J]. S Afr J Bot, 2013, 84: 13-18.