

喷硼对梨果硼、钙含量及石细胞形成 相关酶活性的影响

王纪忠^{1,2}, 陶书田¹, 齐开杰¹, 张虎平¹, 张茜¹, 张绍铃^{1*}

(1 南京农业大学园艺学院, 南京 210095; 2 淮阴工学院生命科学与化学工程学院, 江苏淮安 223003)

摘要: 以“黄花”梨为试验材料, 分别于幼果期、膨大期和成熟期进行叶面喷施硼酸, 研究外源硼对梨果实硼和钙含量、石细胞含量及相关酶活性的影响。结果表明, 1) 从叶面喷硼对果实吸收硼的短期效果来看, 果实发育的不同时期叶面喷施硼酸均促进果实对硼的吸收, 其各处理的促进效果顺序为幼果期 > 果实膨大期 > 果实成熟期, 不同时期叶面喷施硼酸均提高了果肉中水溶态硼、半束缚态硼和束缚态硼的含量; 2) 幼果期喷硼提高了梨果实的钙含量, 而果实膨大期和成熟期喷硼降低了果实内的钙含量, 但各时期喷硼处理均提高梨果肉细胞壁内的钙含量; 3) 不同时期叶面喷施硼酸降低了梨果石细胞含量, 果实过氧化物酶、多酚氧化酶和苯丙氨酸解氨酶活性也低于对照, 且幼果期处理效果最佳。

关键词: 梨; 硼; 钙; 石细胞; 酶活性

中图分类号: S661.2; S143.7⁺¹

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)05-1250-06

Effects of foliar application with H₃BO₃ on contents of boron and calcium and sclereid development related enzymes in pear fruits

WANG Ji-zhong^{1,2}, TAO Shu-tian¹, QI Kai-jie¹, ZHANG Hu-ping¹, ZHANG Qian¹, ZHANG Shao-ling^{1*}

(1 College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2 College of Life Sciences and Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huaian, Jiangsu 223003, China)

Abstract: An experiment was performed to investigate the changes of contents of boron and calcium, and sclereid related enzymes in ‘Huanghua’ (*Pyrus pyrifolia* Nakai cv.) pear fruits treated with foliar application with H₃BO₃. The results show that the foliar H₃BO₃ application at different developmental stages could increase the contents of soluble, semi-bound and bound boron in fruits, and at which the young fruit stage shows the best effect, followed by the swelling and ripening stages. In contrast with the application at young fruit stage, treatments at swelling and ripening stages could decrease the calcium content of pear fruits, however, the contents of calcium in cell wall are increased whenever the applications are performed. The contents of sclereid and activities of some enzymes, such as POD, PPO and PAL are decreased under the applications of H₃BO₃, and the effect of the application at young fruit stage is the best.

Key words: pear; boron; calcium; sclereid; enzyme activity

硼是果树生长发育的必需元素之一, 缺硼会导致花粉败育, 坐果率降低, 产量和品质下降, 严重缺硼时会导致顶端生长点死亡。梨果实缺硼时会形成“猴头”果或畸形果, 严重影响梨果的商品价值和食

用价值。有研究表明^[1], 硼可以促进糖的运输, 抑制酚类物质的形成。陈艳秋等^[2]研究发现, 硼与梨果实品质呈正相关, 因此生产上采用根外追肥来补充硼素营养, 以提高果实的品质。

收稿日期: 2011-03-06

接受日期: 2011-05-10

基金项目: 现代农业(梨)产业技术体系建设专项资金(nycytx-29)资助。

作者简介: 王纪忠(1976—), 男, 山东日照人, 讲师, 在读博士生, 主要从事果树栽培生理生化研究。E-mail: wjztry@126.com

* 通讯作者 Tel: 025-84396580, E-mail: nnzsl@njau.edu.cn

由于钙是构成细胞壁的主要化学成分,可以提高果实的硬度,而植物体内 90% 以上的硼存在于细胞壁中,因而长期以来硼和钙的关系一直是人们研究的疑点。有的报道认为二者是相互促进的关系,也有的认为二者相互拮抗^[3-5]。王火焰等^[6-8]研究表明,硼、钙营养是拮抗还是互助,是有条件的,不同植物以及同一植物的不同品种,同一品种在硼、钙营养从低到高某一水平表现为互助,而超过此水平或更高水平后表现为拮抗。石细胞是影响梨果实品质的重要因素之一,不仅影响梨的食用品质,而且影响其加工品质,所以降低梨果石细胞的含量,对改善梨的品质至关重要。梨果石细胞是一种由薄壁组织细胞在其初生壁上沉积木质素等而形成的,而木质素的形成与硼素的供应水平有重要的关系,硼主要通过影响与木质素合成相关的酶活性来影响其形成^[9]。因此研究有关硼如何调控石细胞形成相关酶活性是当前研究梨果实发育的一个重要内容,但有关这方面的研究鲜见报道。

鉴于此,本文以“黄花”梨为试验材料,研究不同时期叶面喷施硼酸对梨果肉硼、钙含量及石细胞发育相关酶活性的影响,旨在为解释梨果实内硼、钙关系及硼对梨果石细胞发育的影响提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设置

供试材料来自南京溧水傅家边农业示范园,梨园土壤为砂壤土,其基本养分状况为:有机质含量 15.0 g/kg、碱解氮 58.5 mg/kg、速效磷 72.5 mg/kg、速效钾 210 mg/kg、有效钙 1.72 g/kg、有效镁 0.22 g/kg、有效硼 0.45 mg/kg、有效铁 18.4 mg/kg、有效锌 1.42 mg/kg、pH 6.50,以上项目测定按鲁如坤^[10]的方法。供试品种为“黄花”梨(*Pyrus pyrifolia* Nakai cv. Huanghua),10年生树,树势中庸,常规栽培管理。单株小区,重复5次。于梨果实的幼果期(4月29日)、膨大期(6月21日)和成熟期(7月21日)叶片喷施0.3%的硼酸,以喷清水为对照。在每次处理两周后,于树冠外围采果20个果,取一部分果肉烘干用于测定硼和钙,另一部分用于细胞壁的提取和酶活性的测定。

1.2 测定方法

水溶态硼、半束缚态硼和束缚态硼参照杜昌文等^[11]的方法提取,姜黄素比色法进行测定;细胞壁的提取参照杨玉华等^[12]的方法;石细胞的测定采用张绍铃等^[13]的方法。

苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性测定按张芝芬等^[14]的方法,测定290 nm波长处反应液的吸光值,以每小时吸光值变化0.01为一个活力单位(U);过氧化物酶(POD)活性测定参照 Quiroga 等^[15]的方法,于470 nm处测定吸光值,以吸光值每分钟变化1为一个活力单位(U);多酚氧化酶(PPO)活性测定参照 Das 等^[16]的方法进行,测定波长为398 nm处吸光值,酶活性以每分钟变化0.01为一个活力单位(U);采用微波消解结合等离子发射光谱仪(ICP)法测定果肉和细胞壁中的硼和钙含量。

1.3 数据处理

试验数据方差分析、显著性检验及图表采用 Excel 2003 和 SPSS16.0 统计软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同时期喷硼酸对梨果实中硼和钙含量的影响

由图1可以看出,果实发育幼果期硼含量处于较高的水平,随着果实发育,其含量下降,到果实成熟期(8月5日)降到最低,至果实采收时(8月25日)硼含量又开始回升。呈先下降后升高的总体趋势。在果实的不同发育时期喷施0.30%硼酸结果表明,各处理都显著提高果实中的硼含量,幼果期叶面喷施硼酸果肉中的硼含量比对照增加了63.66%,膨大期增加了46.27%,成熟期增加37.84%。因此,从叶面喷硼对梨果实吸收硼的短期效果来看,其顺序为幼果期>膨大期>成熟期。但叶面喷施硼酸没有改变硼在果实中的变化规律。

果实中的钙含量变化规律与硼相似,也呈现出先下降后升高的变化规律,在果实成熟期(8月5日)降到最低,采收时(8月25日)升到最高。叶面喷施硼酸后结果显示,幼果期喷硼提高了果肉中的钙浓度,而膨大期和成熟期喷硼则降低了果肉中的钙浓度,到采收时各处理间钙含量无显著差异。但喷硼处理没有改变钙在梨果肉中的变化规律。

2.2 不同时期喷硼酸对梨果肉细胞壁中硼和钙含量的影响

图2表明,梨果肉细胞壁中的硼含量变化表现出先下降后升高的趋势,这与果肉中硼含量的变化规律相同。在果实发育的幼果期硼含量比较高,随果实的发育含量逐渐降低,到成熟期含量又升高。不同时期喷施硼酸均提高了细胞壁中的硼含量,且差异都达显著水平。喷硼处理在幼果期比对照高23.71%,膨大期高45.88%,成熟期高30.47%。膨

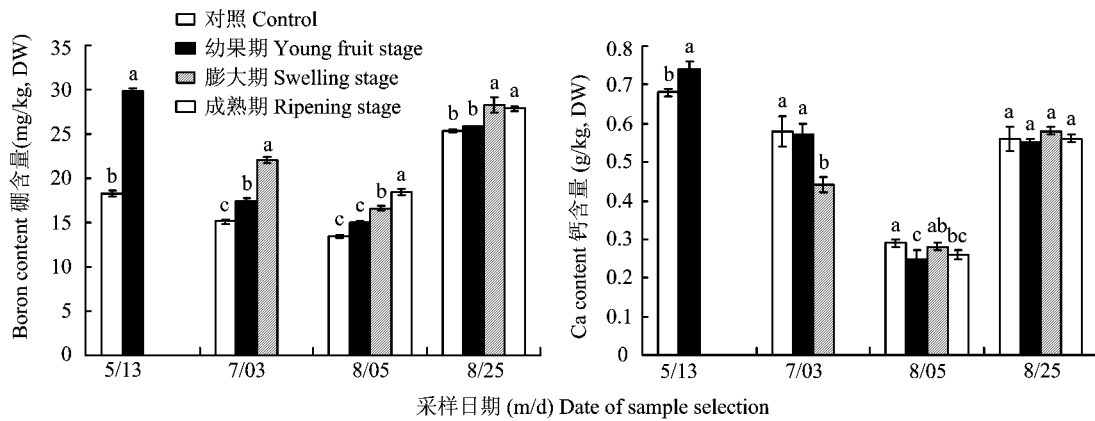


图 1 不同时期喷硼对梨果实硼和钙含量的影响

Fig. 1 Effects of the foliar application with H₃BO₃ on calcium and boron contents in flesh of pear fruits

[注 (Note): 图中柱上不同小写字母表示各处理间在 5% 水平上差异显著 Different small letters above the bars represent significant difference among treatment at the 5% level.]

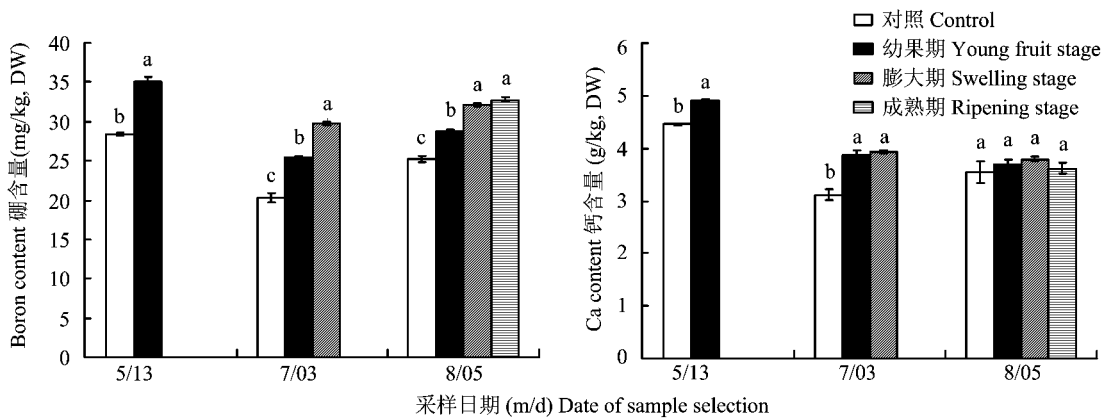


图 2 不同时期喷硼对梨果肉细胞的细胞壁中硼和钙含量的影响

Fig. 2 Effects of the foliar application with H₃BO₃ on calcium and boron contents in cell wall of pear fruits

[注 (Note): 图中柱上不同小写字母表示各处理在 5% 水平上差异显著 Different small letters above the bars represent significant difference among treatment at the 5% level.]

大期喷硼酸的效果最明显。与喷硼在果肉中的效果相比,不同时期喷硼处理对细胞壁中的硼含量的影响效果持续时间较长,如幼果期喷硼,无论是哪个采样时期,细胞壁中的硼含量与对照相比差异都极显著。

梨果肉细胞壁中的钙含量随果实发育逐渐降低(如图 2),幼果期含量较高,成熟期含量最低,但果实膨大期下降幅度大于成熟期的下降幅度。幼果期和膨大期喷施硼酸提高了细胞壁中的钙含量,与对照相比差异显著,而成熟期喷施没有明显的效果。

2.3 叶面喷硼酸对梨果肉中不同形态硼含量的影响

不同时期叶面喷施硼酸都极显著地提高了水溶态硼、半束缚态硼和束缚态硼三种形态硼的含量

(由表 1)。幼果期处理中,水溶态硼、半束缚态硼和束缚态硼含量分别比对照高 64.44%、33.33%、13.95%;膨大期处理梨果实中水溶态硼、半束缚态硼和束缚态硼含量分别比对照高 42.11%、26.09%、14.52%;而成熟期处理分别比对照高 17.39%、13.33%、18.18%,表明外源硼处理后,梨果实中水溶态硼提高的幅度大于半束缚态硼和束缚态硼提高的幅度,且从不同喷硼时期来看,幼果期处理的效果比膨大期和成熟期处理的效果好。

2.4 叶面喷硼酸对梨果石细胞含量及相关酶活性的影响

由图 3 可以看出,在黄花梨中石细胞含量呈随果实发育而降低的规律,即幼果期含量最高,膨大期次之,成熟期含量最低。幼果期和膨大期进行叶片

表 1 叶片喷硼对梨果实中硼形态及其含量的影响(mg/kg)

Table 1 Effects of the foliar application with H_3BO_3 on the water soluble B, semi-bound B and bound B

采样时期(m-d) Date of sampling	处理时期 Treatment	水溶态硼 Water soluble B	半束缚态硼 Semi-bound B	束缚态硼 Bound B
05-13	对照 Control	0.45 ± 0.02 b	0.51 ± 0.02 b	0.86 ± 0.04 b
	幼果期 Young fruit stage	0.74 ± 0.03 a	0.68 ± 0.02 a	0.98 ± 0.03 a
07-03	对照 Control	0.57 ± 0.01 c	0.69 ± 0.01 b	0.62 ± 0.03 b
	幼果期 Young fruit stage	0.78 ± 0.01 b	0.85 ± 0.01 a	0.66 ± 0.02 ab
	膨大期 Swelling stage	0.81 ± 0.02 a	0.87 ± 0.03 a	0.71 ± 0.02 a
08-05	对照 Control	0.69 ± 0.02 b	0.75 ± 0.01 c	0.55 ± 0.02 b
	幼果期 Young fruit stage	0.70 ± 0.02 b	0.78 ± 0.02 bc	0.54 ± 0.03 b
	膨大期 Swelling stage	0.80 ± 0.03 a	0.80 ± 0.01 b	0.62 ± 0.03 a
	成熟期 Ripening stage	0.81 ± 0.02 a	0.85 ± 0.02 a	0.65 ± 0.03 a

注(Note): 同列数据后不同小写字母表示各处理在 5% 的水平上差异显著 Values followed by different small letters in a column represent significant difference among treatment at the 5% level.

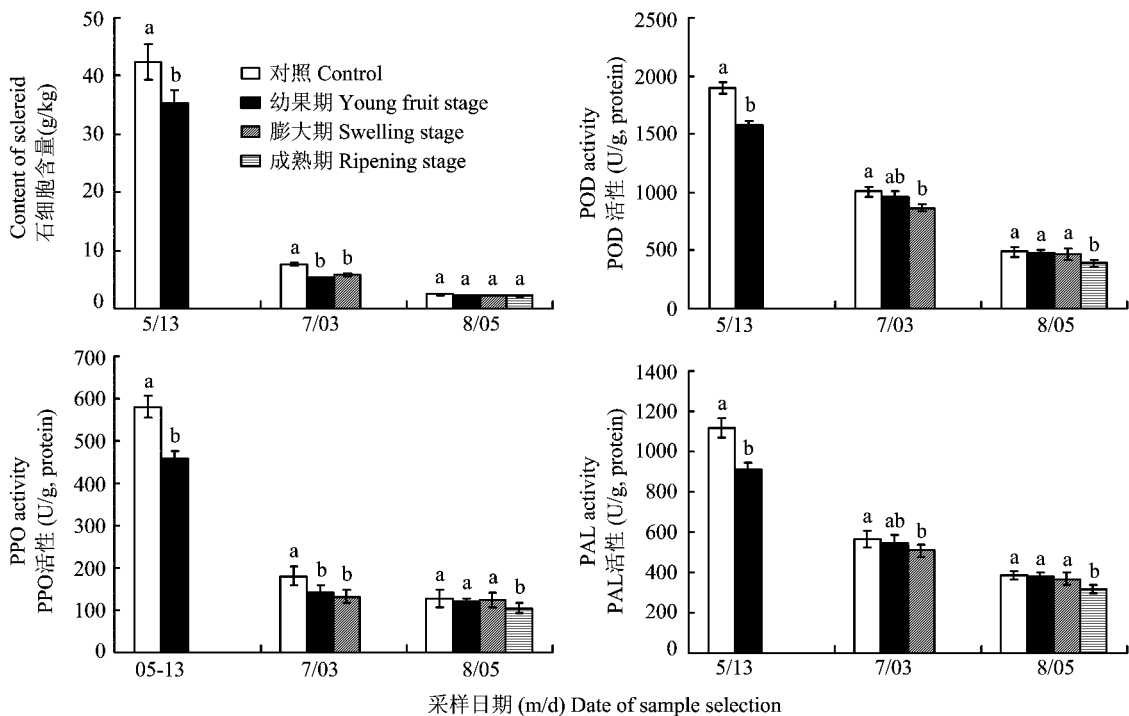


图 3 不同时期叶面喷硼酸对梨果石细胞含量及 POD、PPO 和 PAL 活性的影响

Fig. 3 Effects of the foliar application with H_3BO_3 on sclereid contents and POD, PPO and PAL activities of pear fruits

[注(Note): 图中柱上不同字母表示各处理在 5% 水平上差异显著 Different small letters above the bars represent significant difference among treatment at the 5% level.]

喷硼处理显著降低了果肉中的石细胞含量,而成熟期喷硼降低不显著。各时期喷硼处理未改变梨果肉石细胞含量的变化规律。

梨果实中石细胞的积累与 POD、PPO 和 PAL 三种酶活性存在着正相关性,酶的活性较高,会导致石

细胞密度增大^[17]。图 3 结果表明,POD、PPO 和 PAL 三种酶活性随果实发育而降低,幼果期最高,而成熟期最低,与石细胞的发育过程相似。无论是幼果期、膨大期还是成熟期叶面喷施硼酸 POD、PPO 和 PAL 活性与对照相比都显著降低,这与喷硼对石

细胞含量变化的影响相似。

3 讨论

本试验中发现“黄花”梨果实内硼的形态随果实发育的不同时期变化较大,幼果期主要以束缚态硼为主,果实发育后期主要以水溶态硼和半束缚态硼为主,而叶面喷硼可以显著提高水溶性硼的含量,另一方面,试验中发现叶面喷硼显著提高果肉和细胞壁内的硼含量,尤其是幼果期喷施,效果更显著。杜昌文等^[10]研究发现,在植物体中水溶态硼(游离态)、半束缚态硼(单糖结合态)和束缚态硼(RG-Ⅱ结合态)存在一种平衡关系。水溶性硼主要存在于细胞外,束缚态硼位于细胞壁,与钙一起构成细胞壁的组成物质,而半束缚态硼是硼的一种贮存形式,用于合成新的细胞壁。水溶性硼在果实内含量低,只在硼供应水平较高的时候才有一定的积累,其含量可以反映供硼水平,因此喷施外源硼,提高水溶性硼的含量,该部分硼存在于细胞内部和细胞之间,能在组织中从高浓度向低浓度运输,以备缺硼组织的短期利用;另一部分则以半束缚态硼形式稳定存在于细胞质中,当细胞壁需要时,就由半束缚态硼转化成束缚态硼,固定在细胞壁上,而当其它部位需要时就转化成水溶态硼,自由运输,及时地让缺硼组织或器官得到补充。另外,硼促进植物体内的物质运输,不仅促进根系营养及水分向上运输,并促进 IAA 在顶端合成后向下部运输,推动顶部光合产物向下部运输,赵竹青等^[18]研究发现,缺硼导致 IAA 在顶端积累,阻碍了光合产物向下运输,本研究中发现硼含量在果实发育后期升高,这可能与后期果实糖迅速积累及 IAA 代谢有关,具体原因有待于进一步研究。

植物体内硼与钙的关系比较复杂,对于硼和钙关系的研究报道,一直存在争议^[3]。本试验中发现幼果期叶面喷施硼酸提高果肉中钙元素的含量,而膨大期和成熟期喷施则相反。但无论是哪个时期喷施都提高了梨果实细胞壁中的钙含量。分析其原因我们认为幼果期由于新生细胞壁的形成同时需要大量的钙和硼,同时由于供试土壤中硼含量不高,而植物新生器官对二者的需求时期相同,故导致硼、钙含量同时升高,表现为促进关系,这与魏宗梅等^[19]在苹果上的研究一致。由于硼、钙主要位于细胞壁上,膨大期和成熟期果肉对硼、钙需求没有幼果期旺盛,此时水溶态和半束缚态硼比例的增加导致钙离子吸收减少,而束缚态硼主要位于细胞壁上,其比例的下降导致钙离子吸收增加,表现为拮抗关系。因此,我

们认为,梨果实内硼钙的关系不是单纯的相互促进或者相互拮抗,而到底是相互促进还是相互拮抗,与其所处的不同发育时期以及供硼水平有关,由于本研究未测定果实梨硼、钙的绝对吸收量,至于何种含量会导致硼钙发生拮抗,需要做进一步深入的研究。

陶书田等^[17]研究发现梨石细胞发育与 POD、PPO 和 PAL 酶活性呈显著正相关。石细胞的主要成份是木质素,POD、PPO 和 PAL 是果实中木质素形成的关键酶,这些酶活性低,石细胞含量就少。有研究表明^[20-22],缺硼会引起 POD、PPO 和 PAL 酶的活性增加,本试验中幼果期和膨大期喷施硼酸后,果肉中的 POD、PPO 和 PAL 三种酶活性明显低于对照,而石细胞的含量亦明显降低,这与前人研究结果相似,且幼果期叶面喷施无论是石细胞含量还是三种酶活性下降的幅度皆最大。另外,PPO 所催化的香豆酸向咖啡酸的转化是木质素合成的必要前提^[23-24],在一定数量 PPO 存在的条件下,细胞内由苯丙烷类代谢产生的香豆酸含量决定着细胞木质化的程度,而不同时期喷硼不同程度地抑制了 PPO 的酶活性,从而影响了梨果实中细胞木质化的程度,这可能是幼果期喷硼能显著降低石细胞含量的原因之一。

参考文献:

- [1] 胡桂娟,刘嘉芬,刘寄明. 苹果叶片叶绿素含量和淀粉滞留量对光合作用的影响[J]. 山东农业科学, 1994, (2): 45-50.
Hu G J, Liu J F, Liu J M. Effect of photosynthesis by the content of chlorophyll and amyllum in apple leaves [J]. Shandong Agri. Sci., 1994, (2): 45-50.
- [2] 陈艳秋,曲柏宏,牛广才,等. 梨果实矿质元素含量季节变化规律[J]. 延边大学农学报, 2000, 22(2): 109-111.
Chen Y Q, Qu B H, Niu G C *et al.* Seasonal variation regularity of mineral elements content in apple-pear fruits [J]. Agric. Sci. Yanbian Univ., 2000, 22 (2): 109-111.
- [3] Snigaram P. Calcium and boron interaction studies in tomato grown in a calcareous soil [A]. Ando T, Fujita K, Mae T *et al.* Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment [M]. The Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 1997. 649-650.
- [4] Yamauchi T. Effects of boron deficiency and calcium supply on the calcium metabolism in tomato plant [J]. Plant Soil, 1986, 93: 223-230.
- [5] Match T. Boron in plant cell wall [J]. Plants Soils, 1997, 193: 59-70.
- [6] 王火焰,王运华,吴礼树. 不同硼效率甘蓝型油菜品种的硼钙营养效应[J]. 中国油料作物学报, 1998, 20(2): 59-65.
Wang H Y, Wang Y H, Wu L S. Effects of boron-calcium nutrition on rape (*Brassica napus* L.) varieties with different boron efficiency [J]. Chin. J. Oil Crop Sci., 1998, 20(2): 59-65.

- [7] 王火焰,王运华. 不同硼效率甘蓝型油菜品种悬浮细胞的硼钙营养效应[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(1): 100-104.
Wang H Y, Wang Y H. Effects of boron-calcium nutrition on suspension-cell of rape cultivars with different boron efficiency [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2002, 8 (1): 100-104.
- [8] Wang H Y, Wang Y H, Du C W *et al.* Effects boron and calcium supply on calcium fractionation in plants and suspension cells of rape cultivars with different boron efficiency[J]. J. Plant Nutr., 2003, 26 (4): 789-806.
- [9] Wainwright I M, Palmer R L, Dugger W M. Pyrimidine pathway in boron-deficient cotton fiber [J]. Plant Physiol., 1980, 65: 893-896.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 24-214.
Lu R K. Analytical methods of soil agrochemistry[M]. Beijing: Chinese Agriculture Science and Technology Press, 1999. 24-214.
- [11] 杜昌文,王运华,徐芳森,等. 不同硼效率甘蓝型油菜品种中硼的形态及其相互关系[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(1): 105-109.
Du C W, Wang Y H, Xu F S *et al.* Study on boron forms and their relationship in rape cultivars with different boron efficiency [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2002, 8 (1): 105-109.
- [12] 杨玉华,杜昌文,吴礼树,等. 不同硼效率甘蓝型油菜品种细胞壁中硼的分配[J]. 植物生理与分子生物学学报,2002,28(5): 339-343.
Yang Y H, Du C W, Wu L S *et al.* Boron distribution in the cell wall in different boron efficiency rape cultivars (*Brassica napus*) [J]. J. Plant Physiol. Mole. Bio., 2002, 28 (5): 339-343.
- [13] 张绍铃,张振铭,乔勇进,等. 不同时期套袋对幸水梨果实品质、石细胞发育及其相关酶活性变化的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26 (7): 1369-1377.
Zhang S L, Zhang Z M, Qiao Y J *et al.* Effects of fruit bagging at different stages on pear quality and sclereid development and the activities of their related enzymes in the pear variety kousui [J]. Acta Bot. Boreal. Occident. Sin. 2006, 26 (7): 1369-1377.
- [14] 张芝芬,杨文鸽,韩素珍,等. 不同贮藏条件下竹笋苯丙氨酸解氨酶的活性变化[J]. 宁波大学学报(理工版), 2000, 13(4): 35-38.
Zhang Z F, Yang W G, Han S Z. Variation in phenylalanine ammonia-lyase activity of bamboo shoot under different storage conditions [J]. J. Ningbo Coll. (Sci. Ed.), 2000, 13 (4): 35-38.
- [15] Quiroga M, Guerrero C, Botella M A *et al.* A tomato peroxidase involved in the synthesis of lignin and suberin [J]. Plant Physiol., 2000, 122: 1119-1123.
- [16] Das J R, Bhat S G, Goeda L R. Purification and characterization of a polyphenol oxidase from the Kew cultivar of Indian pineapple fruit [J]. J. Agric. Food Chem., 1997, 45: 2031-2035.
- [17] 陶书田,张绍铃,乔勇进,等. 梨果实发育过程中石细胞团及几种相关酶活性变化的研究[J]. 果树学报,2004,21(6): 516-520.
Tao S T, Zhang S L, Qiao Y J *et al.* Study on sclereids and activities of several related enzymes during the development of pear fruit [J]. J. Fruit Sci. 2004, 21(6): 516-520.
- [18] 赵竹青,王运华,吴礼树. 缺硼对黄瓜生长素代谢的影响[J]. 华中农业大学学报,1998,17(3): 232-236.
Zhao Z Q, Wang Y H, Wu L S. Effect of Boron Deficiency on auxin metabolism in cucumber [J]. J. Huazhong Agric. Univ., 1998, 17(3): 232-236.
- [19] 魏宗梅,许雪峰,李天忠,等. 叶面喷施硼酸对苹果果实硼和钙含量的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34 (5): 1111-1116.
Wei Z M, Xu X F, Li T Z *et al.* Effect of leaf application with H₃ BO₃ on boron and calcium content in apple fruit [J]. Acta Hort. Sin., 2007, 34 (5): 1111-1116.
- [20] 何子平,皮美美,刘武定. 硼钾营养相互配合对油菜叶片 CAT 和 POD 活性及膜透性的影响[J]. 华中农业大学学报,1993, 12 (5): 468-471.
He Z P, Pi M M, Liu W D. Effect of boron and potassium interaction on the peroxidase and catalase activity in rape leaves and the root cell membrane permeability [J]. J. Huazhong Agric. Univ., 1993, 12 (5): 468-471.
- [21] 杨玉华,吴礼树,王运华,曹享云. 硼对不同甘蓝型油菜品种细胞壁酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(4): 341-346.
Yang Y H, Wu L S, Wang Y H, Cao X Y. Effect of boron on cell-wall enzyme activity of different rape cultivars [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1999, 5 (4): 341-346.
- [22] Shkol'nik M Y. Trace elements in plants [J]. Devel. Crop Sci., 1984, (6): 68-109.
- [23] Campbell M M, Ronald R. Variation in lignin content and composition [J]. Plant Physiol, 1996, 110: 3-13.
- [24] 席筠房,罗自生,程度,等. 竹笋采后木质化与多酚氧化酶、过氧化物酶和苯丙氨酸解氨酶活性的关系[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(4): 294-295.
Xi Y F, Luo Z S, Cheng D *et al.* Relationship between lignification of excised bamboo shoot and activities of polyphenol oxidase, peroxidase and phenylalanine ammonia lyase [J]. Plant Physiol. Commun., 2001, 37(4): 294-295.