

# 钙、硼营养对黄冠梨品质和果面褐斑病发生的影响

龚新明<sup>1,2</sup>, 关军锋<sup>2\*</sup>, 张继澍<sup>1\*</sup>, 及华<sup>2</sup>, 冯云霄<sup>2</sup>, 李丽梅<sup>2</sup>, 孙玉龙<sup>2</sup>

(1 西北农林科技大学生命科技学院 陕西杨凌 712100; 2 河北省农林科学院遗传生理研究所 河北石家庄 050051)

**摘要:** 为探讨钙、硼营养对黄冠梨品质和褐斑病的影响, 于幼果套袋之前进行叶面喷施 0.3%  $H_3BO_4$  (B)、0.5%  $CaCl_2$  (Ca)、0.3%  $H_3BO_4 + 0.5\% CaCl_2$  (B + Ca) 3 次, 每次间隔 7d 的试验。结果表明, 3 种处理均能显著降低果实贮藏前期果皮多酚氧化酶 (PPO) 活性、提高过氧化物酶 (POD) 活性和冷藏期间果皮褐斑指数; 其中 B + Ca 处理效果最明显, 并显著提高采收时单果重、果皮中 Ca 含量、Ca/Mg 和 Ca/K 比值; Ca、B + Ca 处理能降低果皮中可溶性酚含量; B 处理显著提高果皮和果肉中的硼含量。这说明 B + Ca 处理能明显改善黄冠梨果实采收品质和贮藏性能。

**关键词:** 黄冠梨; 钙; 硼; 褐斑病

中图分类号: S661.2 S143.7 S36.612.1

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)04-0942-06

## Effects of calcium and boron on quality and browning spot disease of Huangguan pear

GONG Xin-ming<sup>1,2</sup>, GUAN Jun-feng<sup>2\*</sup>, ZHANG Ji-shu<sup>1\*</sup>, JI Hua<sup>2</sup>, FENG Yun-xiao<sup>2</sup>, LI Li-mei<sup>2</sup>, SUN Yu-long<sup>2</sup>

(1 College of Life Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Institute of Genetics and Physiology, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China)

**Abstract:** The foliar sprayings of 0.3%  $H_3BO_4$  (B), 0.5%  $CaCl_2$  (Ca) and 0.3%  $H_3BO_4 + 0.5\% CaCl_2$  (B + Ca) before the fruit bagging stage for 3 times at 7 day intervals were carried out respectively to study effects of calcium and boron nutrition on quality and browning spot disease of Huangguan pear. The results show that polyphenol oxidase (PPO) activity of peel during prophase of storage is significantly decreased in the three treatments (B, Ca and B + Ca), while peroxidase (POD) activity is increased, and browning spot of peel is decreased during the cold storage at 0°C. These effects are obvious in the spraying of B + Ca; and fruit weight per fruit, Ca content, Ca/Mg and Ca/K of peel at harvest are significantly increased in the spraying of B + Ca. Soluble phenol content is reduced in the Ca and B + Ca treatments, and B contents of fruit peel and flesh are significantly increased in the spraying of B. Therefore, quality and storability of Huangguan pear are significantly improved for spraying of B + Ca.

**Key words:** Huangguan pear; calcium; boron; browning spot disease.

黄冠梨是中国北方近年来发展起来的优质早熟品种, 其中河北省栽培面积约 1.5 万公顷。然而, 黄冠梨在成熟季节及贮藏期间, 套袋梨果表面易发生果皮褐斑, 褐斑发生在果面皮孔周围, 严重时多个皮孔周围褐斑延伸连成一片, 形成不规则褐斑区(暂称为黄冠梨果面褐斑病)<sup>[1]</sup>, 严重降低果实的商品价值。近年来的研究证明, 黄冠梨褐斑病是一种生理性病害, 与果皮组织缺钙和酚类物质代谢失调有密

切的关系<sup>[2-4]</sup>。果实细胞结构区域化的破坏会导致 PPO 与酶促褐变的底物酚类物质接触, 引发果实组织褐变。酚类物质尤其是可溶性酚含量和成分以及 PPO 活性通常被认为是组织褐变和褐变程度的决定因素<sup>[5]</sup>。钙在延缓果实衰老和减少生理病害中的重要作用已有许多报道。苹果、梨果实发育早期套袋后, 成熟时果实钙含量降低, 引发生理病害<sup>[6-8]</sup>, 因此, 生产中及早补充果实钙素是非常必要的。微量

收稿日期: 2008-07-28

接受日期: 2009-02-23

基金项目: 国家科技支撑项目(2006BAD22B01); 石家庄市重点科技攻关项目(07152102A)资助。

作者简介: 龚新明(1984—), 男, 湖北黄冈人, 硕士研究生, 主要从事果实采收后生理与保鲜技术研究。E-mail: gongxinming@163.com

\* 通讯作者 Tel: 0311-87652136, E-mail: junfeng-guan@263.net; jishu@nwsuaf.edu.cn

元素 B 有益于梨果实对 Ca 元素的吸收运转<sup>[9]</sup>。虽然生长期喷 Ca 或 B 肥有助于提高果实品质,减少生理病害<sup>[10-14]</sup>,但 Ca 和 B 之间的相互作用如何,还存在不同的看法<sup>[9,15-16]</sup>。因此,开展了田间早期喷 Ca 和 B 是否有助于控制黄冠梨果皮褐斑病发生、增加套袋黄冠梨果实的 Ca、B 含量(以 Ca 为主)和改善贮藏期间果实品质的可能性及其生理机制的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

田间试验在 2006 年预试验的基础上,于 2007 年在河北省农林科学院石家庄果树研究所内的 10 年生黄冠梨果园进行。设 4 个处理,即分别于盛花后的第 30 d、37 d、44 d 进行 3 次叶面喷施 0.3%  $H_3BO_4$ (简称 B) 0.5%  $CaCl_2$ (简称 Ca) 0.3%  $H_3BO_4$  + 0.5%  $CaCl_2$ (简称 B + Ca)和喷清水为对照(CK),并于盛花后 45 d 进行套袋(外灰内黑加内棉纸袋)。每处理采用单株小区,重复 6 次。田间进行常规生产管理,各处理间保持一致。

于果实成熟期(盛花后 130 d)采取果实,每株自外围四周随机采取 50 个果实,之后进行果实品质及果皮、果肉的营养分析。除一部分立即进行处理的果实以外,其余样品贮藏在低温冷库( $0 \pm 1^\circ C$ )。冷藏期间观察统计果实表面褐斑病发生的情况,并定期取样测定,部分样品液氮速冻,  $-40^\circ C$  保存待测。

### 1.2 测定项目及方法

单果重采用电子天平(精确度 0.01g)称重;硬度采用手持式硬度计(0.05—5 kg 韩国产);可溶性固形物含量采用手持糖量计(0~32%)测定。

可滴定酸含量:采用酸碱滴定法,以苹果酸(%)表示测定结果<sup>[17]</sup>。

全 Ca、全 Mg、全 K 和全 B 含量:取一定量的果肉和果皮,进行样品湿消化( $HNO_3:HClO_4 = 3:1$ )后,用原子吸收分光光度法测定其 Ca、Mg、K 含量<sup>[17]</sup>;干灰化之后,姜黄素比色法测定 B 含量<sup>[17]</sup>。

可溶性酚含量测定:参照鞠志国的方法<sup>[18]</sup>测定,重复 3 次。

PPO 活性测定:取 5 g 冷冻果皮,用 pH 6.5 的 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液 20 mL,冰浴匀浆,然后在  $4^\circ C$  下冷冻,10000 r/min 离心 20 min,取上清液为粗酶液,用分光光度计法测定多酚氧化酶活性<sup>[19]</sup>。反应体系为 2 mL pH 6.5,0.1 mol/L 磷酸缓冲液,1 mL 0.1 mol/L 邻苯二酚,0.2 mL 酶液,反应温度为

$30^\circ C$ 。最后加入酶液立即在 420nm 波长测定 5—35s 吸光值的变化。酶活性以  $\Delta A_{420}/(mg \cdot min)$ ,protein 表示,重复 3 次。

POD 活性测定:在试管中加入愈创木酚反应混合液<sup>[20]</sup>最后加入上述粗酶液。立即在 470nm 下比色。酶活性以  $\Delta A_{470}/(mg \cdot min)$ ,protein 表示,重复 3 次。

可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 法测定<sup>[20]</sup>。

果皮褐变指数:果皮褐变指数分级标准为 0 级,果皮无褐变;1 级,果皮褐变面积小于 30%;2 级,果皮褐变面积占 30%~50%;3 级,果皮褐变面积大于 50%。每次统计每处理不少于 40 个果。指数计算公式:指数% =  $\sum(\text{每级果数} \times \text{级值})/(\text{总果数} \times \text{最高级值}) \times 100$ 。

试验数据采用 Excel 和 DPS 软件进行分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 喷施钙和硼肥对果实品质的影响

采收时,B、Ca、B + Ca 和 CK 处理单果重分别为 302.6、305.4、331.3 和 298.4 g,其中,B + Ca 处理显著增加了采收时果实单果重( $P < 0.05$ ),但喷 B、Ca 以及 B + Ca 3 个处理间以及 B、Ca 处理与 CK 间无明显差异。不同处理间果实硬度无显著差异。B + Ca 处理一直保持较低的可滴定酸(TA)含量。贮藏期间,不同处理对品质指标的影响有升有降(表 1)。整体看来,喷施 B、Ca、B + Ca 的处理对果实品质无不良影响,并且 B + Ca 处理明显改善了果实采收品质。

### 2.2 喷施钙和硼肥对黄冠梨果皮和果肉中全 Ca、Mg、K 和 B 含量的影响

表 2 看出,喷 B 和 Ca 有增加果皮中 Ca 含量的趋势,与对照相比,B、Ca 处理果皮 Ca 含量提高 10.9%、30.79%,而 B + Ca 则提高了 54.77%,达到显著水平。但各处理并不能显著提高果肉的全 Ca 含量。

B、B + Ca 处理显著增加果皮和果肉中 B 含量,而 Ca 处理对 B 含量增加不明显;其中 B + Ca 显著高于 B、Ca 处理,使果皮和果肉中 B 含量分别比对照提高了 1.52、1.64 倍。

在果皮中,各处理间 Mg 含量无明显变化;而果肉 Mg 含量,Ca 处理高于 B 处理,差异显著。果皮中 K 含量各处理间有降低的趋势,其中 Ca 处理与对照

表 1 喷施钙和硼肥对黄冠梨品质的影响

Table 1 Effects of Ca- and B-sprays on quality of Huangguan pear fruit

贮藏时间 (d) Storage time	处理 Treatment	硬度 (kg) Firmness	可溶性固形物 (%) SSC	可滴定酸 (%) TA
0	B	2.094 a	10.19 ab	0.092 a
	Ca	2.057 a	9.76 b	0.076 ab
	B + Ca	2.062 a	10.00 ab	0.062 b
	CK	2.092 a	10.31 a	0.0854 a
40	B	1.962 a	11.00 a	0.124 a
	Ca	1.895 b	10.68 b	0.112 b
	B + Ca	1.867 b	10.28 c	0.111 b
	CK	1.975 a	10.24 c	0.126 a
80	B	1.939 a	10.96 a	0.137 ab
	Ca	1.857 b	10.64 c	0.139 a
	B + Ca	1.833 b	10.80 b	0.128 c
	CK	1.881 b	10.80 b	0.129 bc
120	B	1.849 bc	10.96 a	0.106 c
	Ca	1.879 ab	10.88 a	0.112 b
	B + Ca	1.803 c	10.88 a	0.104 d
	CK	1.909 a	11.00 a	0.125 a
160	B	1.897 b	11.22 a	0.127 a
	Ca	1.918 ab	11.22 a	0.131 a
	B + Ca	1.959 a	10.82 b	0.107 c
	CK	1.918 ab	11.22 a	0.116 b
200	B	1.873 a	10.82 ab	0.101 b
	Ca	1.830 b	10.92 ab	0.114 a
	B + Ca	1.821 b	10.68 b	0.094 c
	CK	1.836 b	11.00 a	0.102 b

注( Note ):数值后不同小写字母表示差异达 5% 水平显著,下同 Values followed by different letters indicate significant difference at 5% level, the same bellow.

表 2 喷施钙和硼肥对黄冠梨果实中全 Ca、Mg、K 和 B 含量的影响

Table 2 Effects of Ca- and B-sprays on total contents of Ca, Mg, K and B of Huangguan pear fruit

处理 Treatment	Ca (mg/g FW)	Mg (mg/g FW)	K (mg/g FW)	B ( $\mu$ g/g FW)	Ca/Mg	Ca/K	
果皮 Peel	B	0.407 ab	0.570 a	2.035 ab	6.156 b	0.715 c	0.201 ab
	Ca	0.480 ab	0.578 a	1.720 b	3.865 c	0.831 b	0.281 a
	B + Ca	0.568 a	0.594 a	1.971 ab	7.931 a	0.955 a	0.291 a
	CK	0.367 b	0.609 a	2.253 a	3.149 c	0.603 d	0.158 b
果肉 Flesh	B	0.019 a	0.070 b	0.772 a	4.002 b	0.276 a	0.026 a
	Ca	0.020 a	0.101 a	0.904 a	2.140 c	0.202 a	0.023 a
	B + Ca	0.019 a	0.088 ab	0.922 a	5.074 a	0.218 a	0.021 a
	CK	0.016 a	0.077 ab	0.860 a	1.920 c	0.207 a	0.019 a

差异显著,但果肉中各处理间差异不显著。

表 2 还看出,各处理均能显著提高黄冠梨果皮中 Ca/Mg 比,其中 B + Ca 处理最高;处理间果肉中 Ca/Mg 未达到显著差异。Ca 和 B + Ca 处理显著提高了果皮中 Ca/K 比;果肉中无显著差异。

### 2.3 喷施钙和硼肥对黄冠梨贮期果皮可溶性酚含量的影响

采收时, Ca 和 B + Ca 处理果皮酚含量显著低于 CK;而贮藏期间,除 B 处理外,其他处理可溶性酚类物质含量呈现先降后升再降的趋势,峰值出现在

贮藏 120 d。B 处理不同于其他处理,其酚含量在 120 d 时最低,但在其他时期高于 CK(图 1)。

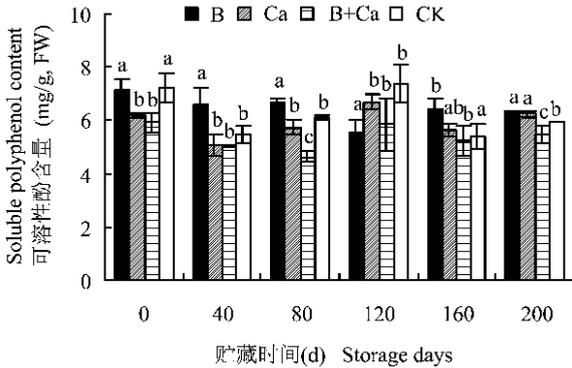


图 1 黄冠梨冷藏期间果皮可溶性酚含量的变化

Fig.1 Change of soluble polyphenol content of Huangguan pear peel during the cold storage

## 2.4 喷施钙和硼肥对黄冠梨贮藏果皮 PPO 和 POD 活性的影响

采收时,各处理果皮 PPO 活性无显著差异。贮藏 40 d 时各处理显著低于对照,40 d 后开始快速上升,高峰之后下降。不同处理的 PPO 活性高峰不同,Ca 处理峰值出现在第 160 d,而其他处理在第 120 d,说明 Ca 处理能够推迟 PPO 活性高峰的出现。贮藏前期,各处理均能够不同程度地降低果皮 PPO 活性,B+Ca 处理 PPO 活性一直处于较低水平,且显著低于对照(图 2)。

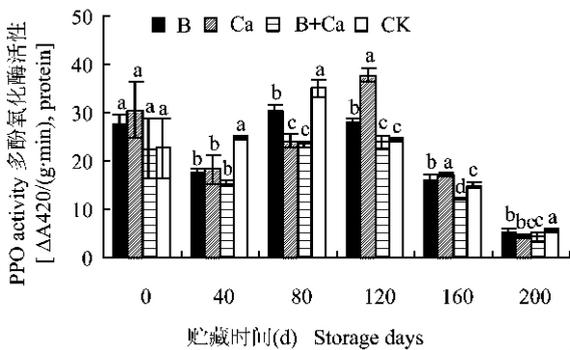


图 2 黄冠梨冷藏期间果皮 PPO 活性的变化

Fig.2 Change of PPO activity of Huangguan pear peel during the cold storage

采收时,各处理果皮中 POD 活性均显著高于对照。贮藏期间,各处理果皮 POD 活性呈现先降后升再降的趋势。除贮藏 80 d 外,各时期喷施钙或硼营养均能不同程度地延缓黄冠梨果皮 POD 活性下降,

对照组 POD 活性始终处在较低水平。说明喷施 Ca 或 B 能够保持贮藏期间尤其是贮藏前期较高的 POD 活性(图 3)。

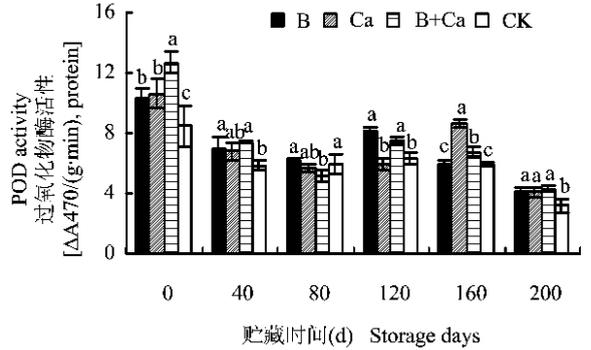


图 3 黄冠梨冷藏期间果皮 POD 活性的变化

Fig.3 Change of POD activity of Huangguan pear peel during the cold storage

## 2.5 喷施钙和硼肥对黄冠梨果皮褐斑病的影响

喷施 B 和 Ca 均可显著降低果皮褐斑指数,减轻了果皮褐斑病的发生。在贮藏前期,黄冠梨果面褐斑病已大量发生,40 d 时 B 处理、Ca 处理和 B+Ca 处理使褐斑指数分别降低了 16.9%、24.5% 和 27.2%。贮藏中、后期各处理褐斑指数略有上升,到 200 d 时喷 B、Ca 和 B+Ca 等 3 个处理间无显著差异(图 4)。可见,单喷 Ca 和 B 可达到良好控制褐斑病的效果。

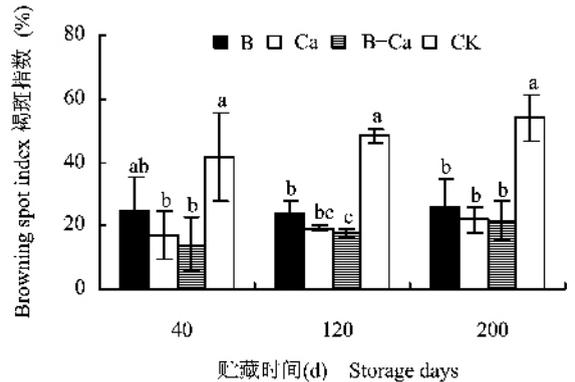


图 4 黄冠梨冷藏期间果皮褐斑指数

Fig.4 The browning spot index of Huangguan pear peel during the cold storage

## 3 讨论

叶面喷施钙肥是增加果实含钙量的途径之一,其效果与喷钙时期有一定的关系。本研究针对套袋黄冠梨成熟季节和贮藏期间果面容易发生褐斑病这

一实际情况,在前期研究证明低 Ca 与褐斑发生有密切关系<sup>[2,4]</sup>的基础上,结合果实 Ca 素吸收高峰多在果实发育早期这一规律<sup>[21]</sup>,对套袋前处于细胞分裂期的幼果进行喷施处理,尤其是与 B 肥的联合使用,有效增加了果皮中 Ca 含量(表 2)。试验结果支持果实对外源 B 与 Ca 的吸收上具有协同作用的论点<sup>[9]</sup>。此外,各处理不同程度地降低了果皮中 Mg 和 K 含量,提高了 Ca/Mg、Ca/K 比值。由于该病仅发生在果皮上,且发生后对果肉品质等无明显不良影响,试验结果也看出,喷施 B、Ca 对果肉中 Ca 含量、Ca/Mg 值和 Ca/K 值影响不大(表 2)。表明果皮中较低的 Ca 含量以及 Ca/Mg、Ca/K 比值可能是黄冠梨果皮褐斑病发生的重要原因<sup>[2]</sup>。在矿质营养的吸收上,Ca、K 呈颞颥关系,高 K 往往是导致低 Ca 的重要原因,Mg 与 Ca 间也有类似效应<sup>[21]</sup>。因此,在生产中使用增钙方法和减少钾肥的负效应具有重要意义,同时应注重平衡施肥。

对于 B 和 Ca 的关系研究,一直存在争议。一些研究认为,在梨<sup>[22]</sup>和苹果<sup>[23]</sup>中 B、Ca 之间存在协作关系;也有报道认为它们是一种颞颥关系<sup>[15]</sup>。随着研究的深入,发现 B、Ca 的相互作用因品种和 B、Ca 条件而异。同一品种,在一定的 B、Ca 浓度范围内表现为互助,超出这一范围表现为颞颥<sup>[16]</sup>。本试验结果表明,喷施 B + Ca 显著提高采收时单果重,降低可滴定酸含量,促进果皮中 Ca、B 含量的提高,有利于控制褐斑病,表现出一定的协同作用。

Ca 参与细胞壁组成,并有稳定细胞膜系统完整性作用,从而减少了可溶性酚与 PPO 的有效接触,降低酶促褐变导致的生理病害;Ca 还能抑制果实膜脂过氧化,提高组织抗氧化能力,延缓衰老和增强对多种病害的抵抗力<sup>[21-24]</sup>。本试验证明,Ca、B + Ca 处理在增加果皮 Ca 含量的同时,有效降低了果皮中可溶性酚含量,推迟 PPO 高峰时期,并且降低其活性,减少了果皮褐变。联系到上述不同处理由于显著降低 PPO 活性而降低褐斑病发生,进一步说明了黄冠梨果皮褐斑的发生与 PPO 活性较高有密切关系<sup>[3-4]</sup>。Ca 对 POD 活性的调节作用因处理浓度和时间等而异。一定浓度的外源 Ca 可以提高 POD 活性,POD 在果实贮藏过程中作用较复杂,具有一定的参与酶促褐变的作用,也具有参与细胞壁中多种结构成分的螯合作用,参与保护反应和清除过氧化物的毒害作用<sup>[24-25]</sup>。因此,喷施一定浓度的 Ca 提高了黄冠梨果皮 POD 活性,可促进清除部分活性氧,稳定细胞膜和壁结构,进而控制果皮褐斑病。

B 在植物细胞中主要定位于细胞壁,参与呼吸代谢中的磷酸戊糖途径,调节次生代谢物质如酚类物质的形成,提高果实 POD 活性<sup>[11]</sup>。本试验进一步证明,B 处理能提高黄冠梨果皮 POD 活性。值得注意的是,B 处理可溶性酚含量在贮藏 120d 时最低,在其他时期高于 CK(图 1)。一般认为,缺 B 引起植物酚含量增加,施 B 使酚含量降低<sup>[26]</sup>。由于酚类物质代谢在果实中同时存在着合成和转化,并受细胞内 PPO 和 POD 活性高低的影响。因此,B 处理对于黄冠梨这一特定品种在冷藏期间的酚类物质代谢的影响有待于进一步研究。Wojcik 等<sup>[9]</sup>和 Cakmak 等<sup>[27]</sup>研究表明,B 处理具有降低细胞膜透性的作用。因此,B 处理后有可能阻碍酚类物质与 PPO 的有效接触;同时,B 处理降低了 PPO 活性,因而减轻了果皮褐斑病的发生(图 4)。

总之,本研究结果初步表明,喷 Ca 或 B 能够降低贮藏前期 PPO 活性,提高 POD 活性,控制黄冠梨在贮藏前期迅速大量发生的果皮褐斑病;其中喷 Ca 结合喷 B 能够提高采收时单果重,降低贮藏期间可滴定酸含量,显著提高黄冠梨果皮中 Ca 和 B 含量及果肉中 B 含量,具有较好的控制酚类物质代谢和减少果面褐斑发生的作用。

#### 参 考 文 献:

- [1] 关军锋. 影响套袋黄冠梨果面褐斑发生的因素及发生机制研究[J]. 落叶果树, 2008, (5): 15-18.  
Guan J F. Influencing factors and occurrence mechanism of fruit brown spot on bagged "Huangguan" pear fruit[J]. Deciduous Fruits, 2008, (5): 15-18.
- [2] 关军锋, 及华, 冯云霄, 等. 黄冠梨果皮褐斑病与 Ca、Mg、K 营养的关系[J]. 华北农学报, 2006, 21(3): 125-128.  
Guan J F, Ji H, Feng Y X et al. The correlation of peel browning spot with nutrition of Ca, Mg, K in Huangguan pears[J]. Acta Agric. Bor.-Sin., 2006, 21(3): 125-128.
- [3] 关军锋, 及华, 冯云霄, 等. 黄冠梨果皮褐斑病与酚类物质代谢的关系[J]. 华北农学报, 2005, 20(6): 80-83.  
Guan J F, Ji H, Feng Y X et al. The correlation of peel browning spot with phenolics metabolism in Huangguan pears[J]. Acta Agric. Bor.-Sin., 2005, 20(6): 80-83.
- [4] 王文辉, 李振茹, 王志华, 等. 套袋黄冠梨黑点病与钙素营养和果实衰老的关系[J]. 果树学报, 2005, 22(6): 658-661.  
Wang W H, Li Z R, Wang Z H et al. Study on the relationship between the black spot disease of bagged Huangguan pear fruit and the fruit calcium content and senescence[J]. J. Fruit Sci., 2005, 22(6): 658-661.
- [5] Cheng G W, Crisosto C H. Browning potential, phenolic composition, and polyphenoloxidase activity of buffer extracts of peach and nectarine skin tissue[J]. J. Am. Soc. Hort. Sci., 1995, 120(5): 835-838.

- [6] 顿宝庆, 马宝焜, 孙建设, 等. 套袋红富士苹果果面斑点的发生及其与果实钙含量的关系[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(4): 37-40.  
Dun B Q, Ma B K, Sun J S *et al.* The occurring of Fuji fruit-bagged spot and the relationship with calcium content[J]. J. Agric. Univ. Hebei, 2002, 25(4): 37-40.
- [7] 何为华, 王勤, 张世英, 等. 套袋、喷钙对酥梨果实矿质营养和品质的影响[J]. 果树学报, 2003, 20(1): 18-21.  
He W H, Wang Q, Zhang S Y *et al.* Effects of bagging and calcium spraying on mineral nutrient and quality of Suli pear variety[J]. J. Fruit Sci., 2003, 20(1): 18-21.
- [8] Witney G W, Kushad M M, Barden J A. Induction of bitter pit in apple[J]. Sci. Hort., 1991, 47(1-2): 173-176.
- [9] Wojcik P, Wojcik M. Effect of boron fertilization on "Conference" pear tree vigor nutrition and fruit yield and storability[J]. Plant Soil, 2003, 256: 413-421.
- [10] 韩彦肖, 刘国胜, 李勇, 等. 钙、硼肥对黄冠梨花斑病及果皮钙含量的影响[J]. 河北农业科学, 2007, 11(1): 27-28.  
Han Y X, Liu G S, Li Y *et al.* Effect of Ca application on the Ca accumulation and the control of peel spot disease in the fruit of Huangguan pear[J]. J. Hebei Agric. Sci., 2007, 11(1): 27-28.
- [11] 梁和, 马国瑞, 石伟勇, 杨玉爱. 硼钙营养对胡柚果实激素及相关酶代谢的影响[J]. 土壤通报, 2005, 36(1): 80-85.  
Liang H, Ma G R, Shi W Y, Yang Y A. Influence of boron and calcium on metabolism of fruit hormone and some enzymes in Huyou[J]. Chin. J. Soil Sci., 2005, 36(1): 80-85.
- [12] 梁和, 石伟勇, 马国瑞, 杨玉爱. 叶面喷硼对柑桔硼钙、果实生理病害及耐贮性的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2000, 26(5): 509-512.  
Liang H, Shi W Y, Ma G R, Yang Y A. Influence of boron sprays on the boron and calcium content, fruit physiology disorder and storage of the citrus[J]. J. Zhejiang Univ. (Agric. & Life Sci.), 2000, 26(5): 509-512.
- [13] Dixon B, Sagar G R, Shorrocks V M. Effects of calcium and boron on the incidence of tree and storage pit in apples of the cultivar Egremont Russe[J]. J. Hort. Sci., 1973, 48: 403-411.
- [14] 韦剑锋, 梁和, 韦冬萍, 等. 钙硼营养对龙眼果实品质及耐贮性的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(9): 311-315.  
Wei J F, Liang H, Wei D P *et al.* Effects of calcium and boron nutrient on quality and storage of Longan fruit[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2006, 22(9): 311-315.
- [15] Yamauchi T, Hara T, Sonoda Y. Effects of boron deficiency and calcium supply on the calcium metabolism in tomato plant[J]. Plant Soil, 1986, 93: 223-230.
- [16] 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.
- [17] 全月澳, 周厚基. 果树营养诊断法[M]. 北京: 农业出版社, 1982.  
Tong Y A, Zhou H J. Nutrient diagnosis of fruit tree[M]. Beijing: Agricultural Press, 1982.
- [18] 鞠志国. 一种改进的酚类物质测定方法[J]. 莱阳农学院学报, 1989, 6(2): 48-51.  
Ju Z G. Introduction to a modified colormetric method for measuring phenolics[J]. J. Laiyang Agric. Coll., 1989, 6(2): 48-51.
- [19] Fan M H, Wang M, Zou P B. Effect of sodium chloride on the activity and stability of polyphenol oxidase from Fuji apple[J]. J. Food Biochem., 2005, 29(2): 221-230.
- [20] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.  
Zhang Z L. The experimental guide for plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 1990.
- [21] 关军锋, Saure M. 果树钙素营养与生理[M]. 北京: 科学出版社, 2005. 10-13.  
Guan J F, Saure M. The calcium nutrition and physiology of fruit tree [M]. Beijing: Science Press, 2005. 10-13.
- [22] Xuan H, Streif J, Saquet A A, Bangerth F. Boron application affects respiration and energy status of "Conference" Pears During CA-Storage[J]. Acta Hort. 2002, 628: 167
- [23] 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  $H_3BO_3$  on boron and calcium content in apple fruit[J]. Acta Hort. Sin., 2007, 34(5): 111-1116.
- [24] 关军锋. 钙与植物衰老[A]. 沈成国. 植物衰老生理与分子生物学[M]. 北京: 农业出版社, 2001. 271-322.  
Guan J F. Calcium and plant senescence[A]. Shen C G. Molecular biology and physiology of plant senescence[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2001. 94-137.
- [25] 关军锋, 李广敏, 李滨, 崔明刚.  $Ca^{2+}$  对苹果果实过氧化物酶活性及其分泌的影响[J]. 华北农学报, 2004, 19(1): 79-81.  
Guan J F, Li G M, Li B, Cui M G. The effect of  $Ca^{2+}$  on peroxidase activity and secretion of apple fruit tissues[J]. Acta Agric. Bor.-Sin., 2004, 19(1): 79-81.
- [26] 王运华, 周晓峰. 硼对棉花叶柄中无机营养、酚、酶活性和激素影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1994, 1: 61-66.  
Wang Y H, Zhou X F. Effects of boron on some elements, phenol, enzyme activity and hormone in cotton petiole[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1994, 1: 61-66.
- [27] Cakmak I, Romheld V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants[J]. Plant Soil, 1997, 193: 71-83.